

# Inventar radioaktiver Abfälle

Bestandsaufnahme

Seibersdorf, 2022

## **Impressum**

Herausgeber: Österreichischer Beirat für die Entsorgung radioaktiver Abfälle –  
Entsorgungsbeirat

Medieninhaber: Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität,  
Innovation und Technologie, Radetzkystraße 2, 1030 Wien

Autorinnen und Autoren: Mats Eklund, Wolfgang Neckel (Nuclear Engineering Seibersdorf  
GmbH)

Seibersdorf, 2022.

Rückmeldungen: Ihre Überlegungen zu vorliegender Publikation übermitteln Sie bitte an  
[kontakt@entsorgungsbeirat.gv.at](mailto:kontakt@entsorgungsbeirat.gv.at).

## Inhalt

<b>1 Einleitung</b> .....	<b>4</b>
1.1 Hintergrund zum Vertrag.....	5
<b>2 Anfallende Rohabfälle und ihre Konditionierung</b> .....	<b>6</b>
2.1 Abfall-Herkunft: Medizin, Industrie und Forschung.....	6
2.2 Abfall-Herkunft: Abfälle aus Dekontaminierungs-, Dekommissionierungs- und Rückbauprojekten .....	7
2.3 Anfallende Rohabfälle.....	8
2.4 Konditionierung radioaktiver Abfälle .....	14
<b>3 Konditionierte Abfälle in Österreich</b> .....	<b>18</b>
3.1 Allgemeines.....	18
3.1.1 Anmerkungen zu den Abfalltypen .....	22
3.2 Re- und Nachkonditionierungs-Projekt .....	23
3.3 Klassifizierung und Inventar Zwischenlager .....	25
3.3.1 Klassifizierung von Abfällen - International.....	25
3.3.2 Klassifizierung von Abfällen - Österreich.....	28
3.3.3 Inventar Österreich.....	29
3.4 Bestandsaufnahme und Prognose konditionierter Abfälle.....	30
3.4.1 Volumina / Anzahl der Gebinde.....	30
3.4.2 Aktivitäten.....	39
3.4.3 Anmerkungen zur Berechnung der Aktivität.....	44
<b>4 Zusammenfassung</b> .....	<b>47</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b> .....	<b>48</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b> .....	<b>49</b>
<b>Literaturverzeichnis</b> .....	<b>50</b>

# 1 Einleitung

Dieser Bericht stellt nicht nur eine Bestandsaufnahme der in Österreich anfallenden radioaktiven Abfälle dar, sondern spiegelt auch das Inventar an aufgearbeiteten Abfällen, die am Standort der Nuclear Engineering Seibersdorf GmbH (kurz NES) in Seibersdorf im Auftrag der Republik Österreich zwischengelagert sind, wider.

Österreich ist ein Land ohne Kernkraftwerke, in den 1970er Jahren wurde in Zwentendorf ein KKW gebaut, welches allerdings – als Konsequenz aus einer Volksabstimmung im Jahr 1978 – nicht in Betrieb genommen wurde. Auch größere nukleare Anlagen wurden in Österreich nicht errichtet. Sehr wohl gab es aber Forschungstätigkeiten auf dem Gebiet der Nukleartechnik – hauptsächlich am Standort in Seibersdorf von den 1960er bis in die 1990er Jahre. So befand sich am Standort in Seibersdorf beispielsweise ein Forschungsreaktor aus dem Jahr 1959, der 1999 – nach 40 Jahren Betrieb – stillgelegt und in den Jahren von 2000 - 2006 rückgebaut (=dekommissioniert) wurde.

Die bereits durchgeführten und derzeit laufenden Rückbautätigkeiten der Laboratorien sowie Anlagen (hauptsächlich am Standort in Seibersdorf) stellen eine Quelle von radioaktiven Rohabfällen in Österreich dar. Diese Rückbautätigkeiten wurden bzw. werden von der NES durchgeführt. Einen zweiten Abfallstrom bilden die Abfälle aus der Medizin, Industrie und Forschung (Abkürzung: MIF-Abfälle bzw. Englisch: institutional waste).

Bei den Abfällen sowohl vom Rückbau als auch von der Medizin, Industrie und Forschung, handelt es sich – im Gegensatz zu hochradioaktivem Abfall, wie er beim Betrieb von Kernkraftwerken anfällt – einerseits nur um niedrig- und mittelradioaktiven Abfall mit vergleichsweise geringem „Gefährdungspotential“ sowie andererseits um ein geringes Volumen.

NES übernimmt im Auftrag der Republik die Behandlung und sichere Zwischenlagerung des aus Österreich stammenden radioaktiven Abfalls (gemäß §143 StrSchG 2020). Die NES betreibt zu diesem Zweck zahlreiche Anlagen und Einrichtungen, um die Sammlung, Sortierung, Aufarbeitung, Konditionierung und Zwischenlagerung des Abfalls entsprechend dem aktuellen Stand der Technik und gemäß den höchsten Sicherheits- und Strahlenschutzstandards durchführen zu können.

In der Folge wird auf die anfallenden Rohabfälle sowie ihre Behandlung und Aufarbeitung eingegangen. Danach wird das Inventar an fertig aufgearbeiteten (=konditionierten) Abfällen sowie dessen Prognose für 2045 – dem Zeitpunkt, an dem es nach derzeitigem Stand in ein Endlager überführt sein soll – dargestellt. Das Inventar im Jahr 2045 stellt daher für die Planung des zukünftigen Endlagers einen wichtigen Parameter dar.

## **1.1 Hintergrund zum Vertrag**

Mit dem Vertrag zwischen der Republik Österreich, vertreten durch das Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, der Gemeinde Seibersdorf und der Nuclear Engineering Seibersdorf GmbH (NES) vom 05.06.2003, GZ 57 4308/6-V/7/03, wurde die Aufarbeitung und Konditionierung von in Österreich anfallenden schwach- und mittelaktiven radioaktiven Abfällen sowie die Zwischenlagerung von konditionierten radioaktiven Abfällen der NES übertragen. NES verpflichtet sich, radioaktive Abfälle zu übernehmen, gemäß dem Stand der Technik zu sortieren, aufzuarbeiten und bis zur Endlagerung zwischenzulagern. In einer Ergänzungsvereinbarung vom 24.03.2009, abgeschlossen zwischen der Republik Österreich vertreten durch das Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, der Gemeinde Seibersdorf und der Nuclear Engineering Seibersdorf GmbH (NES) wurden Anpassungen des oben zitierten Vertrags vorgenommen, die aufgrund des inzwischen geänderten Standes der Technik und des „Zukunftskonzeptes“ der NES notwendig wurden. Mit einer Vertragsanpassung vom 04.11.2013 wurde die Laufzeit des Vertrags bis zum Jahr 2045 verlängert.

## 2 Anfallende Rohabfälle und ihre Konditionierung

Radioaktive Stoffe werden in unterschiedlichen Bereichen eingesetzt. Bei all diesen Anwendungen entsteht auch radioaktiver Abfall. Diese Anwendungen sind drei Gruppen zuzuordnen, der Medizin, Industrie und Forschung. Radioaktiver Abfall dieser Kategorie fällt in allen Industrieländern an, in Ländern, die über Kernkraftwerke verfügen, fällt er jedoch ob der kleineren Abfallvolumina gegenüber denen aus Kernkraftwerken zumeist kaum ins Gewicht.

Gemäß §3 StrSchG 2020 ist radioaktiver Abfall „Material, für die eine Weiterverwendung nicht vorgesehen ist und die als radioaktiver Abfall der behördlichen Kontrolle unterliegen“.

Neben dem MIF-Abfall fallen in Österreich auch Abfälle aus Dekontaminierungs-, Dekommissionierungs- und Rückbauprojekten an, die beim Rückbau von Anlagen und Laboratorien (hauptsächlich aus den eingangs erwähnten nuklearen Forschungsaktivitäten am Standort in Seibersdorf) entstehen.

Im Folgenden wird sowohl auf die MIF- als auch auf die Abfälle aus Dekontaminierungs-, Dekommissionierungs- und Rückbauprojekten eingegangen.

### 2.1 Abfall-Herkunft: Medizin, Industrie und Forschung

Radioaktive Stoffe, die in der Medizin zur Anwendung kommen, ergeben sich zumeist aus der medizinischen Diagnostik, aus Laboruntersuchungen, der medizinischen und pharmazeutischen Forschung sowie der Strahlentherapie.

Bei den Abfällen handelt es sich zum großen Teil um brennbares, kontaminiertes Material wie Schutzhandschuhe, Spritzen, Verbandsmaterial, medizinisches Besteck, Probenmaterial, Fläschchen usw. Aus der Strahlentherapie kommen zusätzlich auch Strahlenquellen.

Bei radioaktiven Stoffen, die in der Industrie zur Anwendung kommen, handelt es sich zumeist um umschlossene Strahlenquellen. Selbige werden beispielsweise in sicherheitsrelevanten Mess- und Steuereinrichtungen in Industrieanlagen (z.B. Messgeräte für Füllstand, Durchfluss, ...) aber auch zur Qualitätssicherung (z.B. zum Durchstrahlen und Überprüfen von sicherheitsrelevanten Schweißnähten wie bei Fernwärmeleitungen, ...) verwendet. Zu Abfällen aus der Industrie zählen auch Ionisationsrauchmelder sowie Abfall aus Labortätigkeiten.

Industrieller radioaktiver Abfall besteht daher einerseits aus umschlossenen Strahlenquellen, nicht brennbarem Abfall wie kontaminierten Anlagenteilen, aber auch brennbarem Abfall ähnlich jenem aus der Medizin.

Radioaktive Stoffe, die in der Forschung zur Anwendung kommen, entspringen einerseits der wissenschaftlichen Grundlagenforschung und angewandten Forschung als auch der medizinischen, physikalischen, chemischen und biologischen Forschung.

Ein großer Teil des radioaktiven Abfalls aus der Forschung ist brennbar (analog zur Medizin handelt es sich hier z.B. um Schutzkleidung, Reinigungsmaterial, Fläschchen, Chemikalien und Proben). Aus der Forschung kann aber auch nicht brennbarer Abfall wie beispielsweise kontaminierte Geräte oder Anlagenteile anfallen.

Beim Rückbau von Laboratorien aus der Forschung und auch der Industrie fällt hauptsächlich (kontaminierter) Bauschutt an, der dem Abfall aus Dekontaminierungs-, Dekommissionierungs- und Rückbauprojekten ähnelt (siehe [www.nes.at](http://www.nes.at) und Nationales Programm).

## **2.2 Abfall-Herkunft: Abfälle aus Dekontaminierungs-, Dekommissionierungs- und Rückbauprojekten**

Bei der Stilllegung und dem anschließenden Rückbau nuklearer Forschungsanlagen fällt radioaktiver Abfall in Form von kontaminierten Anlagenteilen, Labor-Einrichtungsgegenständen, Bauschutt, etc. an. In Österreich handelt es sich hierbei hauptsächlich um den Rückbau der Anlagen am Standort Seibersdorf, an dem in den 1960er bis 1990er Jahren intensive nukleare Forschungstätigkeiten stattfanden. Hierfür waren (und sind) umfangreiche Dekommissionierungsprojekte erforderlich.<sup>5</sup> Als Beispiel eines abgeschlossenen Projektes sei hier der Rückbau des Forschungsreaktors ASTRA

genannt, welcher im Jahr 2006 fertiggestellt werden konnte. Als Beispiel eines derzeit laufenden Rückbauprojekts seien die Heiß-Zell-Laboratorien, in denen beispielsweise Brennstoffforschung betrieben wurde (ebenfalls Standort Seibersdorf), genannt.

Abfälle aus Dekontaminierungs-, Dekommissionierungs- sowie Rückbauprojekten werden im Folgenden kurz Deko-Abfälle genannt.

Die jährlich anfallende Menge an Rohabfall schwankt dabei naturgemäß je nach Phase des Rückbauprojekts sehr stark. Es kann während eines laufenden Rückbau-Projekts innerhalb eines Jahres viel Abfall anfallen. Nach Abschluss des Projekts, sinkt der Abfall auf null.

Zusätzlich kann durch entsprechende Dekontaminierungsprozesse das Volumen an verbleibendem radioaktivem Abfall teilweise deutlich reduziert werden. Dekontaminierte Materialien und Gegenstände können nach Freimessung und behördlicher Freigabe in den konventionellen Stoffkreislauf rückgeführt oder einer konventionellen Entsorgung zugeführt werden. Dies geschieht auch in Hinblick auf den Abfall-Minimierungsgrundsatz.

Als Beispiel sei hier der Rückbau des ASTRA Forschungsreaktors am Standort Seibersdorf erwähnt, bei dem 2299 t Rohabfall anfielen. Von diesem Rohabfall mussten letztendlich nur 97 t (oder 4,2 %) als radioaktiver Abfall behandelt und konditioniert werden.

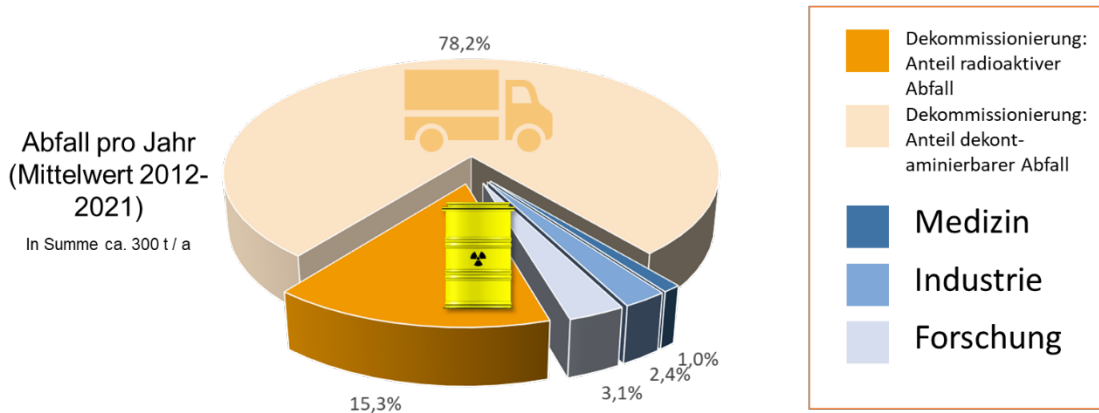
### **2.3 Anfallende Rohabfälle**

Anfallender Abfall - insbesondere aus Rückbau-Projekten - (in diesem Bericht als Rohabfall oder Brutto-Abfall bezeichnet) kann mit Dekontaminations- sowie Sortier- und Messaufwand reduziert werden, sodass nur ein kleiner Teil als radioaktiver Abfall behandelt, konditioniert und schlussendlich bis zu einer Endlagerung zwischengelagert werden muss. Letzterer wird zur Unterscheidung vom Rohabfall in diesem Bericht als Netto-Abfall bezeichnet.

Abbildung 1 stellt die Zusammenstellung der im Mittel in Österreich in den letzten 10 Jahren anfallenden Rohabfälle dar. Er ergibt sich im Durchschnitt derzeit zu 300 t Rohabfall im Jahr.



Abbildung 1: Rohabfälle in Österreich im Mittel



Quelle: NES

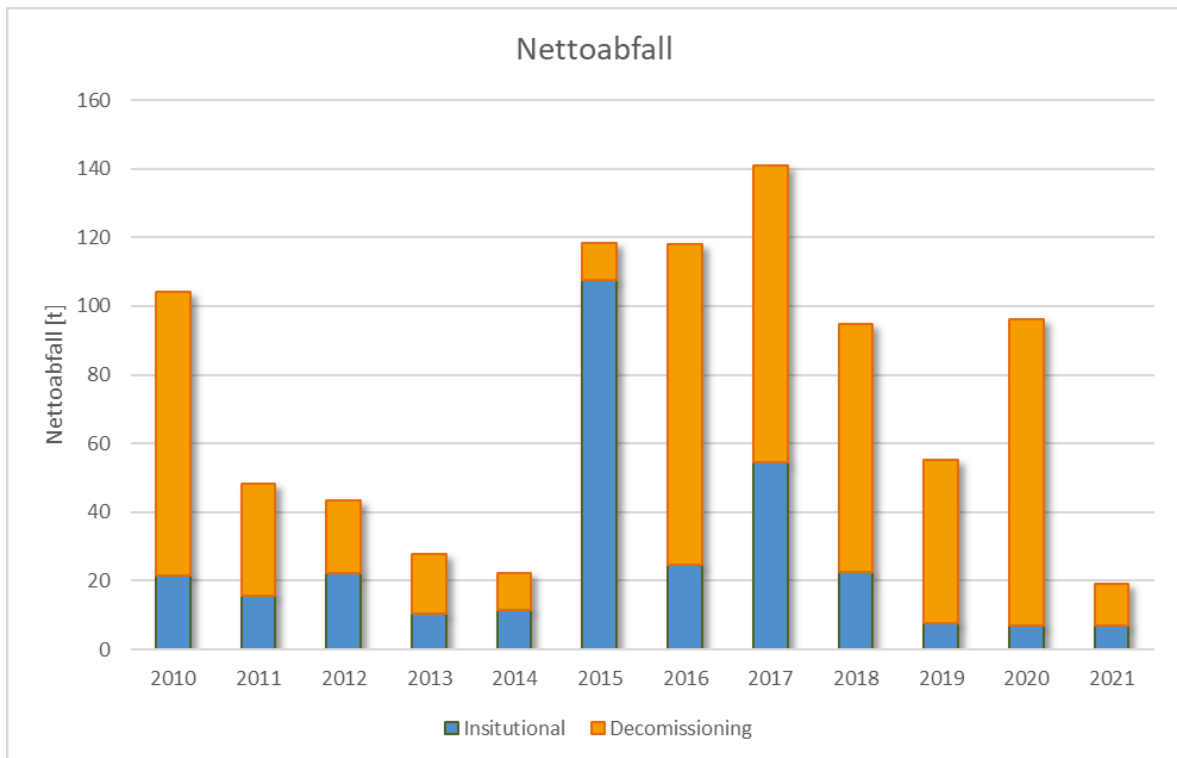
Über 90 % des Abfalls stammen aus Deko-Projekten (in Abbildung 1 orange gekennzeichnet – die Bereiche 78,2 % + 15,3 %). Allerdings musste von diesen über 90 % nur ein Teil (die 15,3 %) tatsächlich als Netto-Abfall von der NES als radioaktiver Abfall behandelt und konditioniert werden. Der Rest konnte nach entsprechender Behandlung, Sortierung, Dekontaminierung, etc. freigemessen werden.

Bei dem Anteil an Abfällen aus Medizin, Industrie und Forschung handelt es sich in der Grafik um Netto-Abfälle. In diesem Fall fand die Minimierung schon vor der Übergabe der Abfälle an die NES statt. Der gesamte Netto-Abfall ergibt sich also in der Grafik Abbildung 1 durch den dunkelblauen (Medizin), blauen (Industrie), helblauen (Forschung) und dunkel-orangen Teil (Netto-Abfall aus Deko-Projekten).

Um diese Mengen in Relation zu bringen: In Österreich lag im Jahr 2019 das allgemeine Abfallaufkommen insgesamt bei 71 Mio. t sowie das von gefährlichen Abfällen bei 1,26 Mio. t (BMK, 2021).

Eine Darstellung, die die Entwicklung des Abfallaufkommens der beiden Kategorien von Abfall-Verursachern (MIF sowie Deko-Projekte) über die letzten Jahre zeigt, ist in Abbildung 2 gegeben. Es werden hier explizit nur die Netto-Abfall-Eingänge angeführt, da es diese sind, die bei NES aufgearbeitet werden und in ein zukünftiges Endlager kommen werden.

Abbildung 2: Nettoabfälle MIF/Deko-Projekte der letzten Jahre



Quelle: NES

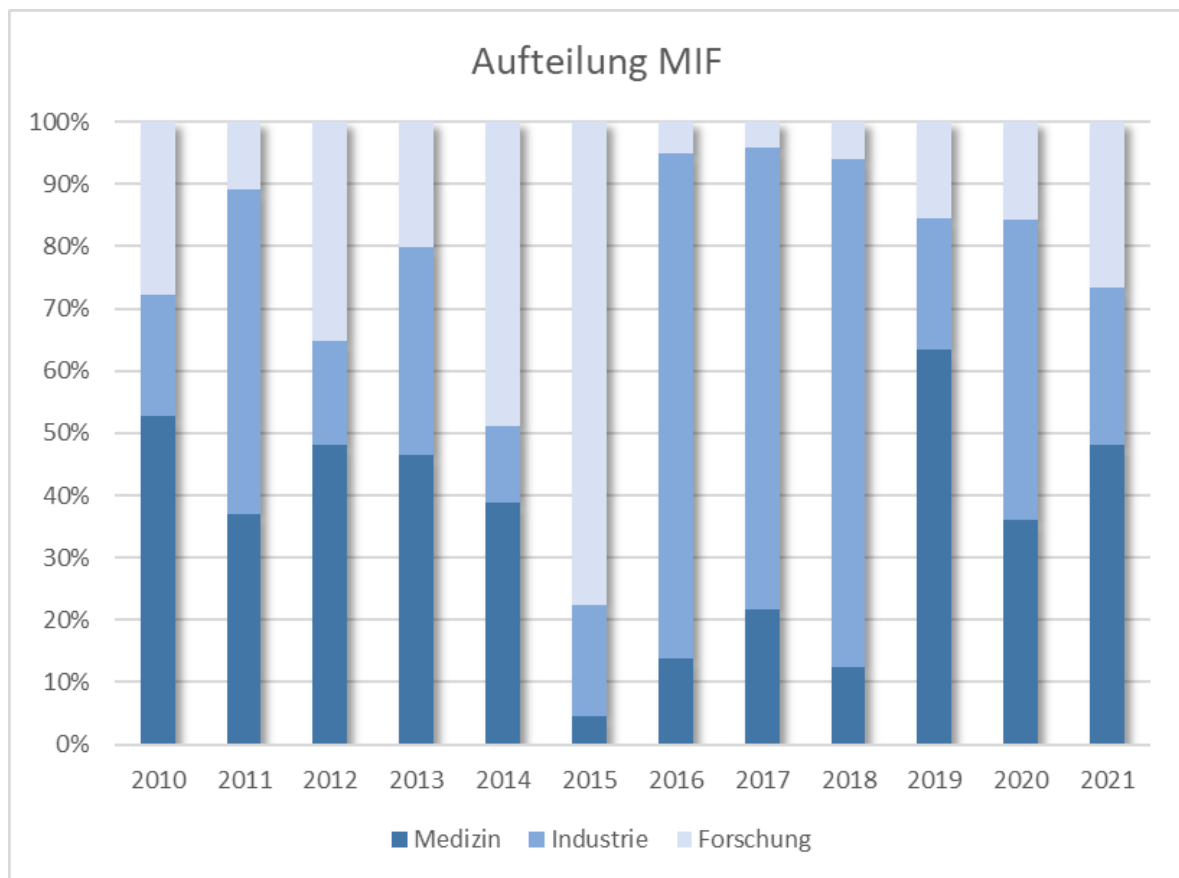
Der Verlauf der Netto-Abfälle seit 2010 zeigt die Entwicklung der letzten Jahre. Im Mittel lag das Abfall-Aufkommen bei ca. 70 t/a.

Hinsichtlich der MIF-Abfälle sind „Ausreißer“ als solche eindeutig erkennbar. Sie lassen sich hauptsächlich auf zwei einmalige Sonderprojekte zurückführen. Die Spitze an MIF-Abfällen im Jahr 2015 zeigt das erste sowie das erhöhte Aufkommen in den folgenden Jahren 2016-2018 das zweite Sonderprojekt. Ab 2019 blieb das Aufkommen von MIF-Abfällen konstant auf geringem Niveau (im Mittel 7,3 t). In Hinblick auf eine Prognose wird erwartet, dass dieses Niveau gleichbleiben wird.

Hinsichtlich der Abfälle aus Deko-Projekten am Standort in Seibersdorf zeigt sich, dass diese je nach Projekt-Verlauf stark variieren. Der Zuwachs an Netto-Abfällen in den Jahren 2016-2020 verläuft parallel mit den Rückbau-Aktivitäten der NES am Standort, welche plangemäß in den letzten Jahren erfolgten und von denen die meisten mit 2021 abgeschlossen wurden. In Hinblick auf eine Prognose der Netto-Abfälle aus Deko-Projekten sind daher weniger die Daten der Vergangenheit als die Projekt-Planung der Deko-Projekte maßgebend.

Die in Abbildung 2 dargestellten Netto-Abfälle der MIF-Verursacher-Kategorie wurden in Abbildung 3 prozentuell nach Medizin, Industrie und Forschung aufgeschlüsselt. Die Nuklide, die bei Abfällen aus der Verursacher-Kategorie Medizin im Beobachtungszeitraum 2010-2021 am häufigsten auftraten, sind: H-3, C-14, I-125, S-35, Co-57 sowie Ge-68.

Abbildung 3: Aufschlüsselung Netto-Abfälle nach MIF-Abfallverursacher in Prozent



Quelle: NES

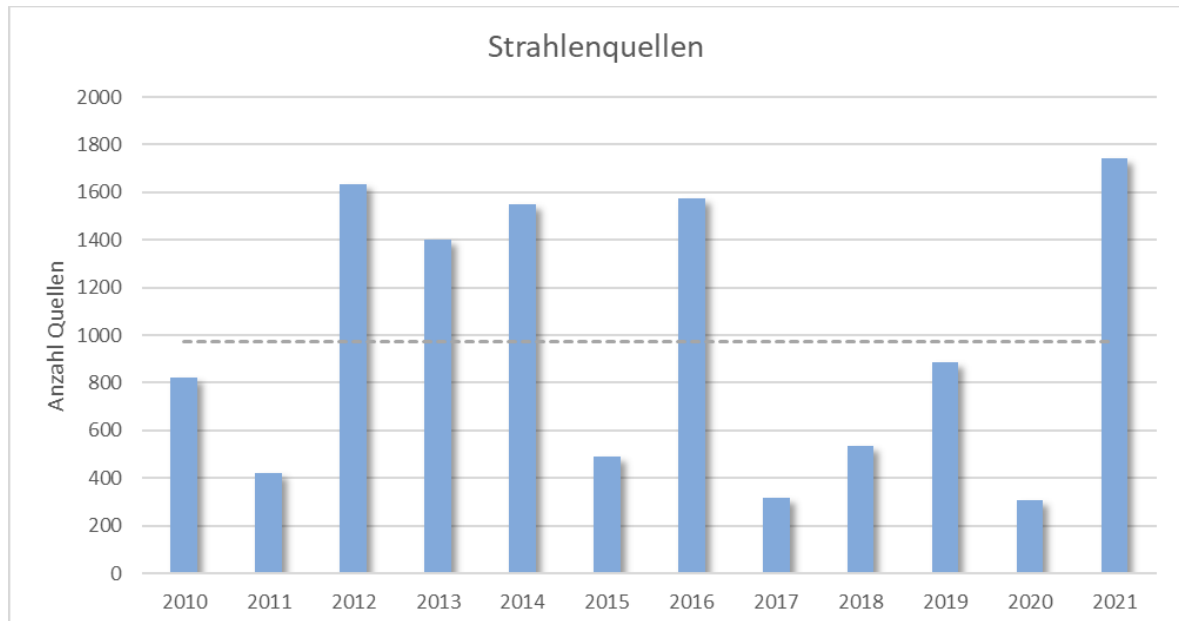
Das außertourliche Aufkommen 2015 kam aus der Forschung und die außertourlichen Aufkommen 2016-2018 kamen aus der Industrie.

Bei den bisherigen Angaben an Netto-Abfällen ist eine Kategorie von Abfällen zu kurz gekommen: die der Strahlenquellen. Bei ihnen handelt es sich praktisch ausschließlich um MIF-Abfälle. Aufgrund ihrer Größe spielen sie allerdings bei den Tonnagen keine Rolle. Ihre Anzahl seit 2010 ist in Abbildung 4 dargestellt. Im Mittel werden pro Jahr ca. 970

Strahlenquellen NES zur Entsorgung übergeben. Diese Zahl beinhaltet einerseits umschlossene radioaktive Strahlenquellen als auch Strahlenquellen, die ein geringes Volumen aufweisen und bei der Konditionierung (siehe Kapitel 3.1) ähnlich wie umschlossene Strahlenquellen behandelt werden.

Hier sei bemerkt, dass hier in den letzten Jahren verstärkt im Sinne einer Abfallminimierung auf Rückführungen bzw. Recycling gesetzt wird. Insbesondere ist daher immer vom Kunden zu prüfen, ob nicht eine Rücknahmeverpflichtung durch den Hersteller der Quellen besteht, welche anzustreben ist (siehe hierzu auch die Übernahmebedingungen und Preisliste für die Verarbeitung, Konditionierung und Zwischenlagerung von radioaktiven Abfällen der NES, welche sich auf der NES-Webseite befindet). Dies zeigt sich auch in der Entwicklung, wobei auch hier einmalige Effekte von Projekten wie z.B. der Rücknahme von Strahlenquellen für den Physikunterricht aus Schulen oder die Abgabe von Rauchmeldern auftreten. 2021 wurde ein ähnliches Projekt abgewickelt, das die Anzahl in diesem Jahr erklärt.

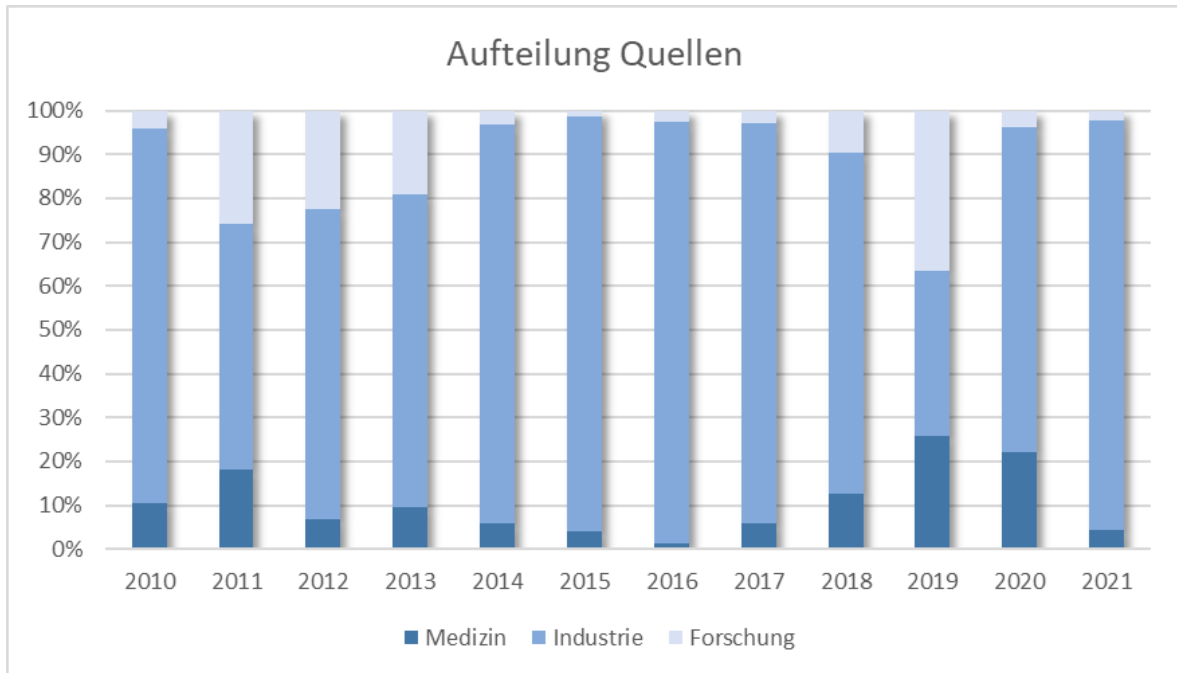
Abbildung 4: Anzahl der bei NES eingehenden Strahlenquellen der letzten Jahre



Quelle: NES

Abbildung 5 zeigt die Aufteilung der einzelnen Verursachergruppen der eingehenden Strahlenquellen in den letzten Jahren in Prozent. Es zeigt sich, dass die meisten zu entsorgenden Quellen ihre ursprüngliche Verwendung in der Industrie fanden.

Abbildung 5: Prozentuelle Aufteilung der MIF-Verursacherguppen von Quellen



Quelle: NES

Bezüglich der Strahlenquellen sei erwähnt, dass nicht nur die Verursacher angehalten sind, in Hinblick auf Rückführungen zu Herstellern sowie Lieferanten tätig zu werden, sondern dass NES hier einerseits auch die Verursacher unterstützt und andererseits selbst um Rückführungen bemüht ist. Das größte Projekt dieser Art fand im Jahr 2020 statt, als sowohl ursprünglich in der Medizin eingesetzte, bestückte Köpfe von zwei Bestrahlungsanlagen sowie 64 Co-60 Quellen aus dem Bodenlager der Heißen Zellen mit einer Aktivität von ca.  $58,8 \cdot 10^{12}$  Bq (Aktivität zum Auslieferungsdatum im Jahr 2020) einem Recycling zugeführt werden konnten.

Hier sei auch auf die sogenannte Abfallhierarchie verwiesen, die bei jedem integrierten Abfallmanagement zur Anwendung kommt (siehe Abbildung 6).

Abbildung 6: Abfallhierarchie radioaktiver Stoffe



Quelle: NES

Die Abbildung zeigt die Abfallhierarchie radioaktiver Stoffe von A bis F. A steht für Vermeidung, B für Minimierung, C für Wiederverwendung, D für Recycling, E für Konditionierung und F für Zwischen- sowie Endlagerung. Die einzelnen Schritte sind in einer Pyramide dargestellt, wobei das A für Abfallvermeidung an höchster Stelle steht, um die Priorisierung darzustellen.

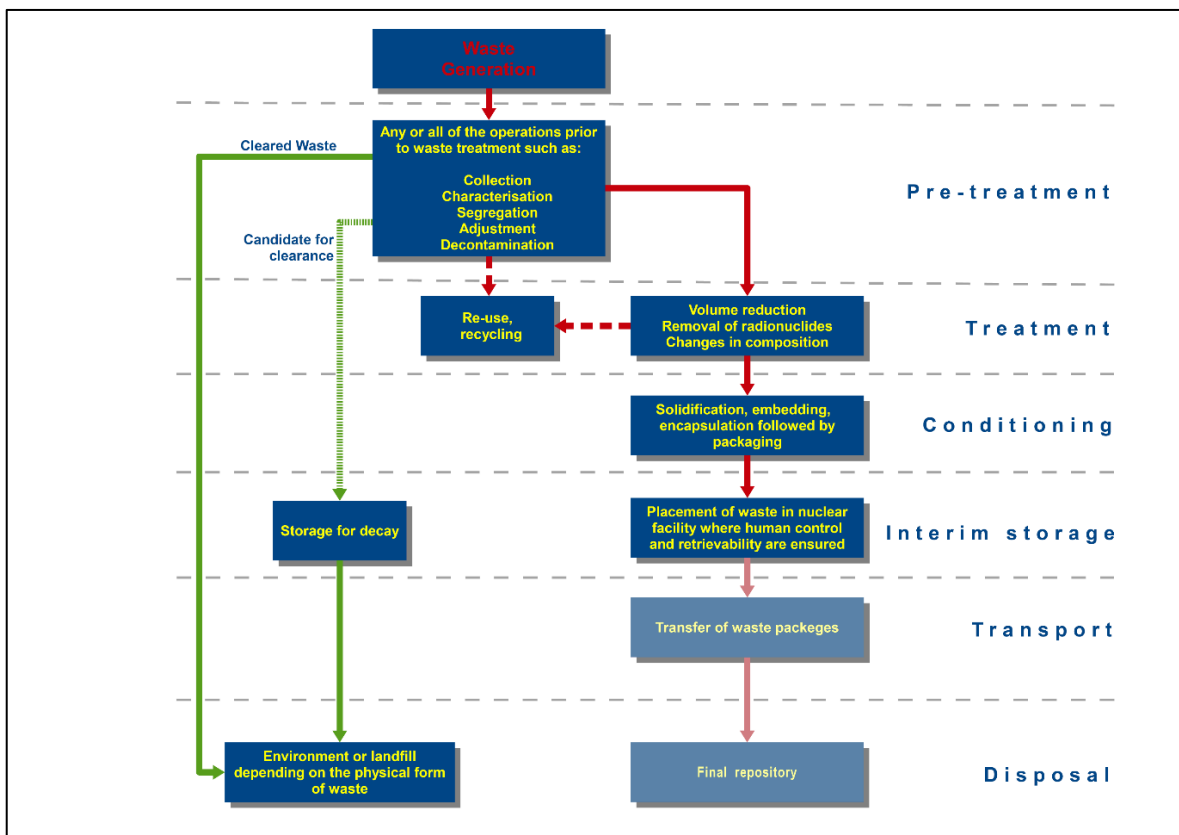
## 2.4 Konditionierung radioaktiver Abfälle

Eingegangene Abfälle (Netto-Abfälle) werden von NES konditioniert. Konditionierung in diesem Zusammenhang bedeutet die Überführung des Abfalls in eine chemisch und physikalisch stabile Form und Einschluss in ein Gebinde. Bei den Gebinden handelt es sich in der Regel um 200-Liter Fässer. Dies ist notwendig, damit der Abfall über eine längere Zeitspanne sicher zwischengelagert und später einer Endlagerung zugeführt werden kann. NES wendet hierzu modernste Verfahren an, um den radioaktiven Abfall in eine stabile

und vor allem sichere Form zu bringen und dabei auch eine größtmögliche Volumenreduktion zu erzielen (siehe auch Nationales Programm).

Im internationalen Umfeld sowie in den Vorgaben und Richtlinien der internationalen Atomenergiebehörde spricht man in diesem Zusammenhang vom Materialfluss des Abfalls: Vom Entstehen des Abfalls beim Verursacher (waste generator) über die Anlieferung beim Entsorger (NES), die Vorbehandlung (pre-treatment), die nachfolgende Behandlung (treatment) und Konditionierung (conditioning) bis zur Zwischenlagerung (interim storage) und letztlich zum Transport und Einlagerung in ein Endlager (final repository, disposal). Diese Schritte sowie die dahinterstehenden Techniken sind in Abbildung 7 dargestellt.

Abbildung 7: Materialfluss und Behandlungsweg



Quelle: NES

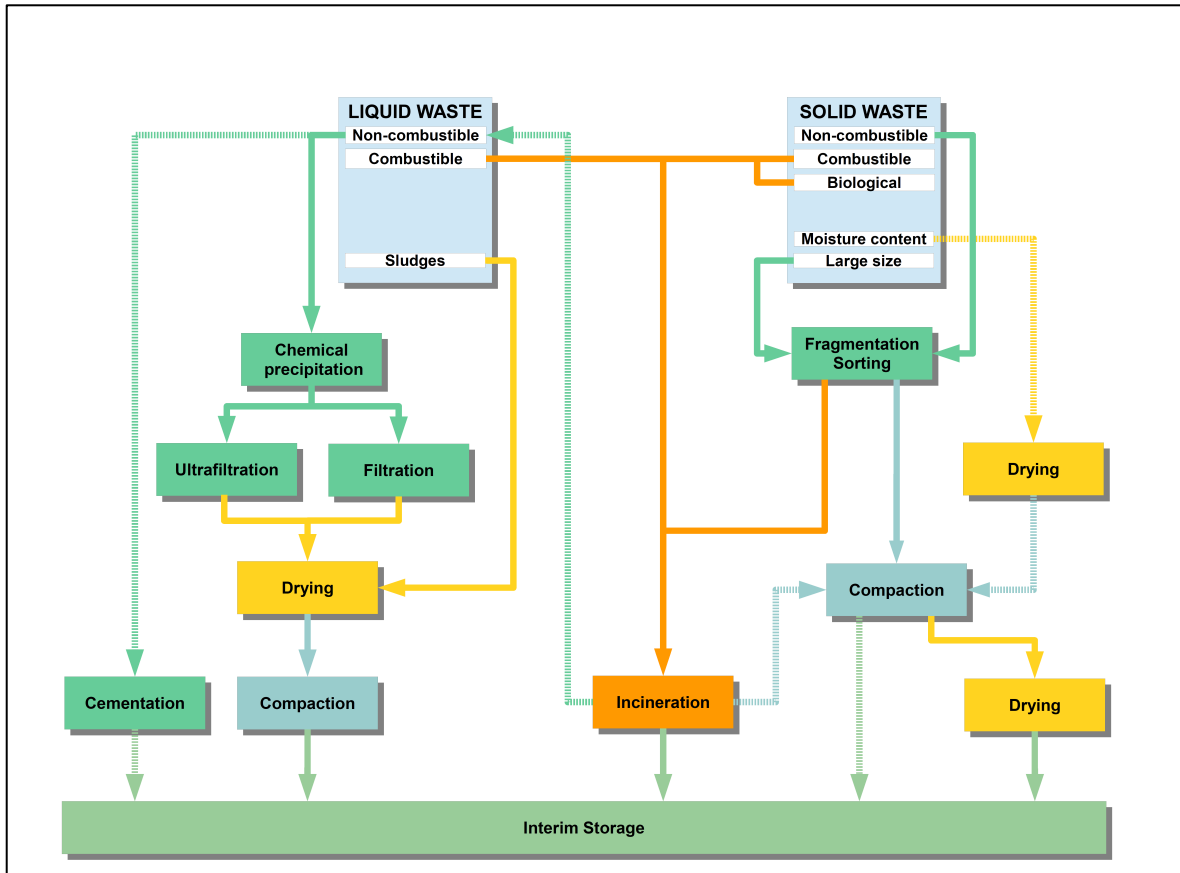
NES deckt all die Verfahren und Techniken vom pre-treatment über treatment, conditioning und interim storage ab. Einzig die beiden, in Abbildung 7 heller dargestellten

Schritte Transport und Disposal sind durch NES nicht abgedeckt und daher in Abbildung 7 heller dargestellt.

Die Behandlung und Konditionierung der Abfälle erfolgt abhängig von der Abfallkategorie, welche den Aggregatzustand des Abfalls (fest oder flüssig) bzw. dessen Eigenschaften (brennbar oder nicht-brennbar) wiedergibt. Abbildung 8 zeigt den Materialfluss bei der Aufarbeitung des Abfalls gemäß diesen Kategorien. So werden brennbare Abfälle in die Verbrennungsanlage eingebracht. Flüssige Abfälle (z.B. das zur Rauchgaswäsche der Verbrennungsanlage verwendete Betriebsabwasser) werden in der Wasserreinigung durch chemische Fällung und nachfolgende Filtration gereinigt. Der entstehende Schlamm wird getrocknet und hochdruckverpresst. Feste, nicht brennbare Abfälle werden nach einer Sortierung hochdruckverpresst und getrocknet bevor die entstehenden Pellets in 200-Liter Transferlagerfässer zur Zwischenlagerung eingebracht werden. Für die einzelnen Schritte verfügt NES über hervorragend ausgebildetes Personal sowie modernste Einrichtungen. Für genauere Ausführungen zu den Anlagen siehe das Nationale Programm sowie die NES-Webseite.



Abbildung 8: Vereinfachte Darstellung des Materialflusses sowie der Verfahren zur Behandlung und Konditionierung von Abfällen gemäß ihrer Abfallkategorie



Quelle: NES

Nach Behandlung und Konditionierung der Rohabfälle (Netto-Abfälle) werden diese in den dafür vorgesehenen Transferlagerhallen zwischengelagert. Die Hallen sind entsprechend klimatisiert, um eine Kondensation an den Gebinden und eine daraus resultierende Gefahr von Korrosionserscheinungen sicher ausschließen zu können. Bei der Auslegung, Planung und Errichtung der Hallen wurden aktuelle Erdbeben-Normen und Gutachten hinsichtlich der Folgen eines Flugzeugabsturzes auf die Hallen berücksichtigt, sodass die eingebrachten Fässer mindestens bis 2045 sicher gelagert werden können.

Da die Behandlung kontinuierlich erfolgt, ist die Anzahl der Gebinde im Zwischenlager für die Auslegung einer zukünftigen Endlagerung die relevante Größe. Durch Beachtung der Abfall-Minimierung gemäß der Abfallhierarchie (siehe Abbildung 6) ergeben sich aus den Rohabfällen eine Anzahl von konditionierten Abfallgebinden (zumeist 200-Liter Fässer), auf die im nächsten Kapitel eingegangen wird, und die für eine Prognose maßgeblich ist.

# 3 Konditionierte Abfälle in Österreich

## 3.1 Allgemeines

Unter neu konditionierten Zwischenlager-Abfallgebinden versteht sich der in eine Matrix eingeschlossene Abfall, eingebracht in einen Behälter (zumeist ein 200-Liter Fass). Es wird hier zwischen drei verschiedenen Haupt-Typen unterschieden, welche in Abbildung 9 dargestellt sind.

Abbildung 9: Typen von Zwischenlager-Abfallgebinden v.l.n.r. Pellet Fass, Asche-Fass, homogen-zementiertes Fass (Symbolbilder)



Quelle: NES

Bei der Abfall-Matrix handelt sich um unter Hochdruck (mindestens 30 MPa) kompaktierte Presslinge (sogenannte Pellets), um in Niro-Kartuschen eingeschlossene Aschen der Verbrennungsanlage sowie um homogen zementierte Abfälle (wie Schlämme und Salze).

Bei den Behältern handelt es sich immer um gemäß ADR (UNECE, 2023) zugelassene Typ-A Transportbehälter.

Darüber hinaus werden Quellen in Quellen-Fässer konditioniert. Für die Konditionierung von Strahlenquellen können verschiedene Behälter-Systeme zum Einsatz kommen, die

sowohl auf unterschiedliche Geometrie (z.B. Stab- oder Punktquellen), als auch auf unterschiedliche Nuklide (hinsichtlich Strahlenart und Halbwertszeit) Rücksicht nehmen. Die Quellen befinden sich nach dem Ausbau in Innenbehältern wie beispielsweise Edelstahlkartuschen oder Bleibehältern, die in ein 200-Liter Fass (evtl. zur Aufnahme der Behälter vorbetoniert) eingestellt und einbetoniert werden. Quellenfässer werden in der Regel nach Radionuklid sortenrein, jedenfalls aber nach Halbwertszeit sortiert konditioniert.

Aufgrund des geringen Aufkommens und Volumens der Quellen werden diese Quellenfässer teilweise über einen Zeitraum von 10 Jahren befüllt und enthalten eine Vielzahl von Quellen (z.B. um die 6.000 Quellen aus Rauchmeldern; oder um die 500 Fundstücke mit Radium-Aktivität (z.B. Radon-Emanatoren oder Objekte aus Mineraliensammlungen); oder um die 300 Tritium Quellen (z.B. als Leuchtmittel aus Anzeigen)).

Abgesehen von diesen in 200-Liter Fässern (die die Standardgebände darstellen) konditionierten Abfällen gibt es auch sogenannte Sondergebände. Als Sondergebände werden alle Gebände bezeichnet, bei denen es sich um keine 200-Liter Fässer handelt.

Der Lagerstand des Zwischenlagers (Stand Dezember 2021) ist in Tabelle 1 angegeben.

Tabelle 1: Lagerstand Zwischenlager – Dezember 2021

Gebände	LH12/12A	LH13	LH14	LH15
<b>200 Liter Fässer</b>	7612 SL und 232 LL	1199 SL und 1 LL	2706 SL und 10 LL	632 alle SL
<b>400 Liter Fässer</b>	120 SL und 9 LL	-	-	-
<b>Konrad Container</b>	-	-	-	5 alle SL
<b>Mosaik® Behälter</b>	-	-	-	5 alle SL
<b>Quellenbehälter</b>	-	-	-	1 alle SL

LH12/12A umfasst auch Gebände, die derzeit in Bearbeitung sind.

Die Abkürzung LL (für „long-lived“) steht für Gebände, die als langlebiger Abfall klassifiziert sind (siehe Kapitel 3.3 zur Klassifizierung) und SL (für „short-lived“) steht für die restlichen Gebände, die als kurzlebig definiert sind.

Bei LH12 bzw. LH12A handelt es sich um die (Doppel-)Lagerhalle Nummer 12, welche die ursprüngliche Lagerhalle für konditionierte Abfallgebilde darstellte, in der die Gebilde dicht gepackt gelagert wurden. Bei den Lagerhallen LH13-LH15 (siehe Abbildung 10) handelt es sich um die neu errichteten Lagerhallen, die alle neuen, zukünftigen sowie die nachkonditionierten Gebilde aus der alten Zwischenlagerhalle 12 aufnehmen werden. In ihnen werden die konditionierten Gebilde solcherart in horizontaler Lage in Regalen gelagert, dass jedes einzelne inspiziert werden kann.

Abbildung 10: Transferlagerhallen 13 und 14 von außen (links), sowie LH14 von innen (rechts)



Quelle: NES

Bei den Konrad Containern (á ca. 5 m<sup>3</sup>) sowie Mosaik<sup>®</sup> Behältern (á 1,3 m<sup>3</sup>) in LH15 handelt es sich um Sondergebilde, die die Abfälle vom Rückbau des ASTRA Forschungsreaktors am Standort in Seibersdorf beinhalten. Sie sind im Foto in Abbildung 11 gezeigt.

Abbildung 11: Sonderbehälter in LH15



Quelle: NES

Bei den 400-Liter Fässern handelt es sich ebenfalls um Sondergebinde mit konditionierten Abfällen, welche im Rahmen des Nach- und Rekonditionierungsprojektes zukünftig bearbeitet werden. Zu einem großen Teil handelt es sich dabei um 200-Liter Fässer die – zu Abschirmungszwecken – in 400-Liter Fässer eingestellt worden sind.

Bei dem extra ausgewiesenen „Quellenbehälter“ handelt es sich um den Drehkranz vom Triga Mk2 Forschungsreaktor des Atomintitutes aus dem Jahr 1983. Für den Drehkranz wird nach derzeitigem Stand eine Nachkonditionierung erst nach einer weiteren Abkling-Lagerung in Betracht gezogen. Danach soll er geöffnet, das Metallkonstrukt zerteilt und die Teile sortiert werden, bevor sie konditioniert werden. Zusätzlich zu dieser Beschreibung der unterschiedlichen Gebinde-Formen und der radiologischen Angaben zum Gebinde wird der Abfall auch seit 2012 um eine stoffliche Beschreibung ergänzt. Hierzu werden die in Tabelle 2 dargestellten Abfalltypen als Beschreibung herangezogen.

Tabelle 2: Abfalltypen

Abfalltypen	
Asche 1)	Metall Blei
Asphalt	Metall Eisen 5)
Bauschutt 2)	Metall verzinkt 5)
Beton	Metall sonstige
Bitumen	Mineralwolle 6)
Elektroschrott	Nicht brennbarer Laborabfall
Erde	Quellen
Filter	Schamott
Filterzubehör 3)	Schlacke
Glas	Schlamm
Graphit	Schotter/Sand
Kabel	Schrott
Keramik	Sonstiges nicht brennbar
Kunststoff (nicht brennbar) 4)	Staub 7)
Metall Aluminium	Ziegel

### 3.1.1 Anmerkungen zu den Abfalltypen

1. Falls es sich um Flugasche bzw. Asche-Filterkerzen handelt, ist dies anzugeben.
2. Asbesthaltige Baumaterialien müssen gesondert beschrieben werden.
3. Hier ist ausschließlich Zubehör der Kategorie „Fest nicht Brennbar“ gemeint, z.B. Metallrahmen. Falls die Metallart bekannt ist, ist diese zu spezifizieren.
4. Hierbei handelt es sich hauptsächlich um PVC, aber auch Gummi (die Art ist jedenfalls zu spezifizieren).
5. Falls bekannt, ist zu spezifizieren, ob es sich um Eisen oder Stahl handelt.
6. Falls bekannt, ist zu spezifizieren, um welche Art es sich handelt.
7. Staubsaugersäcke und Kehricht fallen unter diesen Abfalltyp.

Diese Abfalltypen sind zusätzlich mit Angaben von Massenteilen (Kilogramm) verknüpft. Ebenfalls verknüpft werden alle zur Verfügung stehenden chemischen Gutachten oder

Analysen zu den jeweiligen Abfällen. Erstere ergeben sich bei Deko-Projekten aus den für die Freigabe und spätere Deponierung auf einer konventionellen Deponie nötigen chemischen Gutachten (gemäß Deponieverordnung) der jeweiligen Charge, bei der auch Abfall angefallen ist. Für Altabfälle geschieht dies im Zuge des laufenden Re- und Nachkonditionierungs-Projekts.

### **3.2 Re- und Nachkonditionierungs-Projekt**

In Hinblick auf die Zwischenlagerung von konditionierten, radioaktiven Abfällen am Standort der NES in Seibersdorf sowie in Hinblick auf die Endlagerung ist das derzeit bei NES laufende Re- und Nachkonditionierungs-Projekt von zentraler Bedeutung.

Bereits in den siebziger Jahren wurde das Forschungszentrum Seibersdorf mit der Sammlung und Konditionierung der in Österreich anfallenden radioaktiven Abfälle betraut. Zu diesem Zweck wurden in der Folge sukzessive Einrichtungen zur Konditionierung und Zwischenlagerung (z.B. Sortier-, Komprimier- und Verbrennungsanlage, Zwischenlagerhallen, ...) errichtet. Die radioaktiven Abfälle wurden aufgrund der damals geltenden strahlenschutzrechtlichen Bedingungen, nach den damals vorhandenen Möglichkeiten und dem damaligen Stand der Technik und Wissenschaft konditioniert und zwischengelagert. Diese Vorgehensweise und damit der Zustand der älteren Gebinde mit radioaktivem Abfall entspricht nicht mehr den aktuellen internationalen Standards und widerspricht den derzeit geltenden Transferlagerbedingungen sowie Annahmebedingungen von internationalen Endlagern für vergleichbare radioaktive Abfälle. Einige Fässer weisen auch Korrosionserscheinungen auf, die einerseits auf Kondenswasserbildung an den Fässern (die alten Zwischenlagerhallen besaßen noch keine entsprechende Temperierung und Entfeuchtung der Raumluft) und andererseits auf Reaktionen der Stahlfässer mit im Abfall vorhandenem bzw. gebundenem Wasser (es standen noch nicht alle erforderlichen Konditioniereinrichtungen, insbesondere keine Trocknungsanlagen zur Verfügung) zurückzuführen sind. Zusätzlich besteht für die Fässer zum Teil aufgrund einer fehlenden bzw. lückenhaften Dokumentation zur Zusammensetzung der Abfälle zusätzlicher Dokumentationsbedarf, da in den letzten Jahren die Anforderungen an die erforderlichen Informationen zu radiologischen, physikalischen und chemischen Eigenschaften erheblich gestiegen und strenger geworden sind.

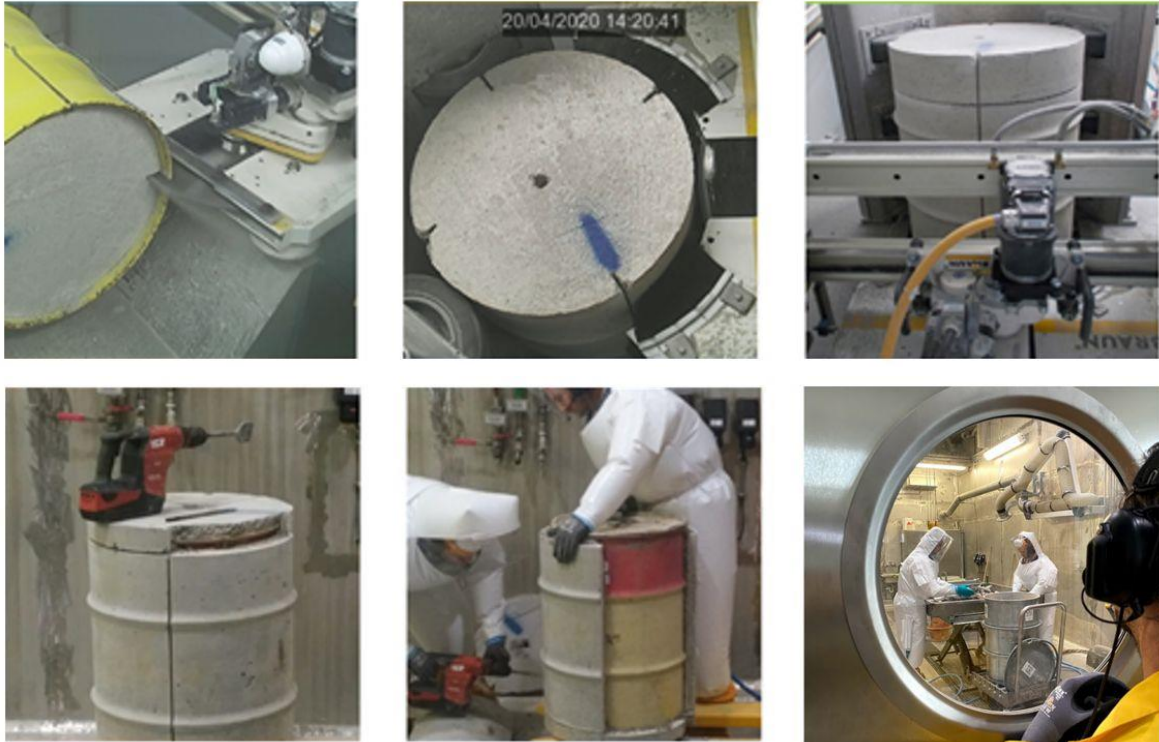
Zum Zeitpunkt des Beginns der Umsetzung des großen Modernisierungsprojektes (NES-Zukunftskonzept) im Jahr 2009 lagerten ca. 10.000 derartige Fässer mit radioaktivem Abfall im Zwischenlager, die nicht nach dem aktuellen Stand von Wissenschaft und Technik konditioniert wurden. Bei diesen Abfallgebinden kann eine langzeitstabile Zwischenlagerung bis mindestens zum Jahr 2045 sowie eine ausreichende Dokumentation nicht garantiert werden, sodass hierfür geeignete Zusatzmaßnahmen in Form einer Nach- und Rekonditionierung notwendig wurden.

Seit 2009 wurden die Entsorgungs- und Lagereinrichtungen der Nuclear Engineering Seibersdorf (NES) am Standort Seibersdorf im Rahmen des „Zukunftskonzeptes“ (ZKK) umfassend modernisiert. Ein Teil dieses Projektes ist auch die oben angeführte Nach- und Rekonditionierung von Abfallgebinden. Das bedeutet, dass alle älteren, bei der NES lagernden Abfallgebinde in den modernisierten Anlagen einer neuerlichen Konditionierung unterzogen und so auf den aktuellen Stand der Technik gebracht werden. Mit der Anwendung neuer Behandlungsmethoden, die durch das Modernisierungsprojekt möglich sind, kann dabei zusätzlich auch eine erhebliche Verringerung der Abfallmenge erreicht werden. Siehe hierzu folgende Publikationen bzw. Konferenzbeiträge (Braun & Nittmann, 2021), (Neckel, et al., 2021).

Bei der Nach- und Rekonditionierung werden historische konditionierte Abfälle aus den Fässern entfernt (entweder herausgehoben oder herausgeschnitten) und wieder in neue, moderne Fässer eingebracht oder der enthaltene Abfall wird gänzlich geöffnet und z.B. brennbare Inhalte verbrannt sowie nicht brennbare Inhalte einer Hochdruck-Verpressung zugeführt. Es kommt dabei zu einer zusätzlichen Abfallminimierung. Abbildung 12 zeigt beispielhaft Fotos von den nötigen Arbeitsschritten bei der Rekonditionierung eines Abfallgebindes, bei dem sich Rohabfall in einem 100-Liter Fass befand, welcher ursprünglich in ein 200-Liter Fass einbetoniert worden war.



Abbildung 12: Arbeitsschritte bei der Rekonditionierung



Quelle: NES

Fässer dieser Art werden in einer Schutzkabine in einer Bearbeitungsbox (Caisson) zuerst mittels einer eigens für dieses Projekt entwickelten, Fässerlegeanlage fernbedient aufgeschnitten. In einem zweiten Arbeitsschritt wird der Abfall von NES-Mitarbeitern in fremdbelüfteten Schutzanzügen entnommen und zur weiteren Verarbeitung sortiert.

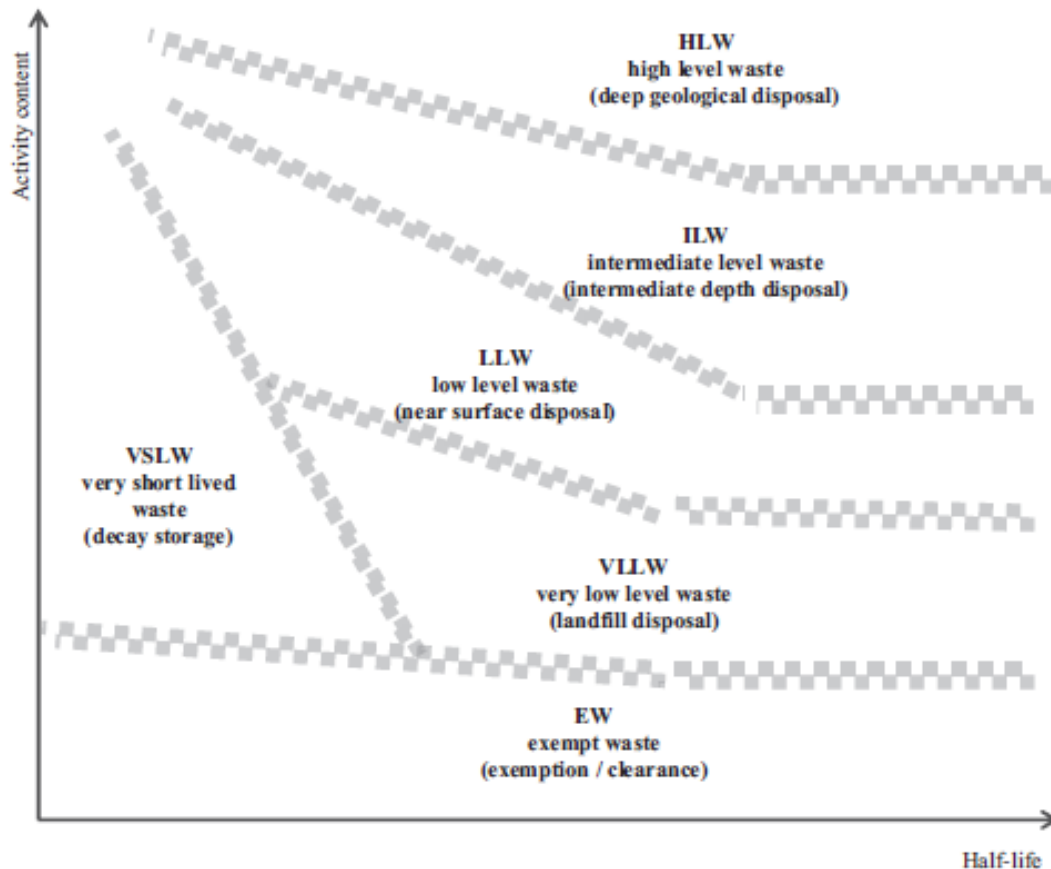
### 3.3 Klassifizierung und Inventar Zwischenlager

#### 3.3.1 Klassifizierung von Abfällen - International

Die Klassifizierung des radioaktiven Abfalls bei NES basiert auf der Empfehlung der EU-Kommission (Commission Recommendation of 15 September 1999 on a classification system for solid radioactive waste 1999/669/EC, Euratom), welche wiederum auf der Klassifizierung der IAEA aus dem Jahr 1994 beruht.

Die Klassifizierung ist abhängig vom Aktivitätsinventar sowie dessen Halbwertszeit und nimmt Bezug auf den angedachten Entsorgungspfad des Abfalls. Die IAEA-Klassifizierung aus dem Jahr 2009 ist in Abbildung 13 dargestellt.

Abbildung 13: Illustration des Klassifikations-Schemas der IAEA aus dem Jahr 2009



Quelle: IAEA GSG-1 2009, Fig. 1

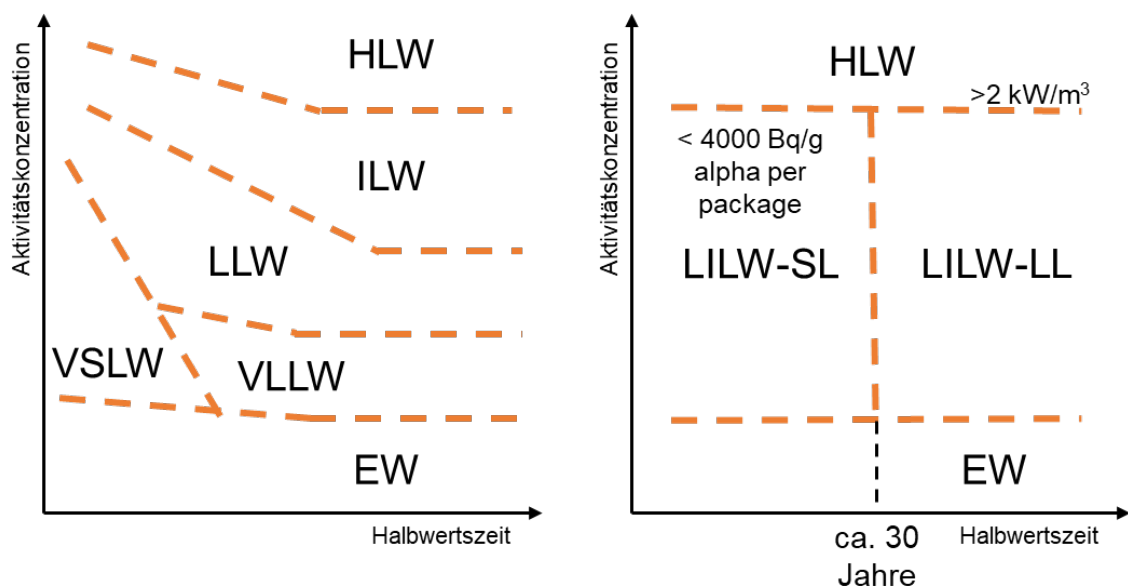
Gemäß dieser Klassifizierung gibt es folgende Kategorien:

- Bei EW (exempt waste) handelt es sich um Abfälle unter der Freigrenze bzw. freigebbaren Abfall.
- Bei VSLW (very short lived waste) handelt es sich um Abfälle mit Nukliden, die eine Halbwertszeit unter 100 Tagen haben und welche daher nach einer Abklinglagerung freigabefähig sind.
- VLLW (very low level waste) ist Abfall, der für eine Entsorgung in einer Deponie vorgesehen ist (und dessen Aktivitätskonzentration zumeist unter 100 Bq/g liegt).

- LLW (low level waste) ist Abfall, der für eine Entsorgung in einem oberflächennahen Lager in Frage kommt. Zumeist liegt dessen spezifische Beta/Gamma-Aktivität im Bereich von 10 kBq/g.
- ILW (intermediate level waste) ist Abfall, bei dem keine Wärmeentwicklung auftritt, in dem sich aber so viel Aktivität von langlebigen Radionukliden (d.h. Radionuklide, deren Halbwertszeit größer als die der Radionuklide Cs-137 und Sr-90 sind – d.h. größer als ca. 30 Jahre) befindet, dass eine bessere Isolierung sowie Einhausung des Abfalls von der Biosphäre benötigt wird, als er durch ein oberflächennahes Endlager gegeben ist.
- Von HLW (high level waste) spricht man bei Abfall mit Wärmeentwicklung ( $> 2 \text{ kW/m}^3$ ). Selbiger soll in einem geologischen Tiefenlager entsorgt werden.

Die ältere Klassifizierung (IAEA 1994) unterscheidet allerdings nicht zwischen Low und Intermediate level Waste. Die Unterschiede sind in Abbildung 14 schematisch dargestellt.

Abbildung 14: Vergleich der Schemas der IAEA-Klassifizierung 2009 (links) mit der von 1994 (rechts)



Quelle: in Anlehnung an IAEA

Die Unterscheidung zwischen short-lived (SL) und long-lived (LL) Abfall wird bei dem Grenzwert der spezifischen Aktivität von 4000 Bq/g pro Gebinde für lang-lebige, Alpha-

strahlende Nuklide gezogen. Insgesamt, über das gesamte Abfallaufkommen, liegt der Grenzwert für langlebige, Alpha-strahlende Nuklide im Abfall bei 400 Bq/g.

Unabhängig von der Klassifizierung ist es allerdings immer der spezifische Sicherheitsnachweis (für das jeweilige Endlager) sowie die Prüfung der Sicherheitsbehörde, die die endlagerspezifischen Kriterien (wie u.a. Aktivitätskonzentrationen) festlegen.

### **3.3.2 Klassifizierung von Abfällen - Österreich**

Aus den vorher genannten internationalen Vorgaben leitet sich die derzeit in Österreich gültige Klassifizierung radioaktiver Abfälle ab:

Abklingabfall: (Transition radioactive waste / VSLW): Abfall der Radionuklide mit Halbwertszeiten < 100 Tage. Dieser wird so lange gelagert, bis die Radioaktivität abgeklungen ist und der Abfall nach Freimessung und Freigabe durch die Behörde als inaktiver konventioneller Abfall entsorgt werden kann.

VLLW (very low level waste): Diese Abfallkategorie gibt es in Österreich nicht, sie wird allerdings zu einem großen Teil durch die (eingeschränkte) Freigabe abgedeckt.

LILW-SL (low and intermediate level waste – short lived): Hier kann als Grenzwert für langlebige Alpha-strahlende Nuklide pro Gebinde 4000 Bq/g verwendet werden, wobei für das Abfallaufkommen insgesamt der Grenzwert bei 400 Bq/g liegt. Um diese Grenze auf keinen Fall zu überschreiten, wird bei der derzeitig in diesem Bericht dargestellten Angaben als Grenzwert für langlebige Alpha-strahlende Nuklide generell auch für Einzelbinde der Wert von 400 Bq/g verwendet (und nicht 4000 Bq/g). Die diesbezüglichen Angaben (Anzahl LL-Gebinde) sind daher als konservativ (worst-case) zu betrachten.

LILW-LL (low and intermediate level waste – long lived): Abfall mit einer Konzentration langlebiger Nuklide die den obenstehenden Grenzwert für LILW-SL übersteigt.

HLW (high level waste): HLW sowie SNF (spent nuclear fuel) fällt in Österreich nicht an. Die abgebrannten Brennelemente des Forschungsreaktors der TU-Wien müssen gemäß §49 StrSchG 2020 an den Hersteller/Lieferanten rückgeführt werden.

### 3.3.3 Inventar Österreich

Das derzeit in Österreich im Zwischenlager der NES am Standort in Seibersdorf befindliche Inventar setzt sich aus den in Tabelle 1 dargestellten Gebinden zusammen. Es handelt sich dabei um insgesamt 12.532 Gebinde. Aus diesen Angaben sowie der Klassifizierung gemäß 3.3.2 ergeben sich folgende Volumina (Stand 31.12.2021):

- LILW-SL: 2.512 m<sup>3</sup>
- LILW-LL: 52 m<sup>3</sup>

Insgesamt sind dies 2.564 m<sup>3</sup>.

Anmerkung: Das Volumina der LILW-LL Bestände lag in der Vergangenheit schon höher und konnte letztes Jahr durch das Rekonditionierungsprojekt um ca. 10 m<sup>3</sup> reduziert werden.

Österreich fällt daher unter die Kategorie von Ländern mit einem kleinen Inventar an radioaktivem Abfall. Die Grenze liegt bei ca. 10.000 m<sup>3</sup> bzw. Ländern mit Forschungsreaktoren aber keinen Kernkraftwerken. Zum Vergleich:

- Das Endlager Konrad in Deutschland ist für 303.000 m<sup>3</sup> LILW ausgelegt (BGE, 2023).
- Das Endlager für LILW in in El Cabril in Spanien ist für 45.000 m<sup>3</sup> ausgelegt (Abfälle werden dort seit 2001 entsorgt) (IAEA, 2003).
- Das Endlager L'Aube in Frankreich für LILW-SL ist für 1 Million m<sup>3</sup> ausgelegt (mit 2018 wurden dort 393.000 Gebinde eingelagert (ANDRA, 2023).

Die Gesamtaktivität des österreichischen konditionierten Abfalls unter Berücksichtigung des Abklingverhaltens bezogen auf den 31.12.2021 ergibt sich zu (siehe auch Kapitel 3.4.2):

- LILW-SL:  $4,02 \cdot 10^{15}$  Bq
- LILW-LL:  $5,66 \cdot 10^{12}$  Bq

Die Gesamtaktivität im Zwischenlager beläuft sich auf  $4,03 \cdot 10^{15}$  Bq (bezogen auf den 31.12.2021).

Das derzeitige Inventar stellt den größten Anteil (sowohl bezogen auf das Volumen als auch auf die Aktivität) des zukünftig in ein Endlager zu verbringenden Abfalls dar. Selbiges ergibt sich schon aus der Tatsache, dass es sich hierbei um den Abfall handelt, der sich seit den 1970er Jahren aus ganz Österreich angesammelt hat. Diese Abfälle sollen inklusive der zukünftig anfallenden Abfälle bis zum Jahr 2045 in ein Endlager verbracht werden. Daher ist in Hinblick auf die Auslegung des Endlagers die Prognose des Abfall-Aufkommens ebenfalls relevant.

### **3.4 Bestandsaufnahme und Prognose konditionierter Abfälle**

#### **3.4.1 Volumina / Anzahl der Gebinde**

Hinsichtlich einer Prognose der Anzahl von Abfall-Gebinden, die bis 2045 anfallen, wird einerseits vom Bestand ausgegangen, welcher den größten Anteil liefert und andererseits wird eine Prognose für die in Zukunft anfallenden Abfälle erstellt. Selbige Prognose beruht sowohl auf Annahmen hinsichtlich der bisherigen Entwicklung (insbesondere in Hinblick auf MIF-Abfälle) als auch auf Annahmen hinsichtlich geplanter Projekte und die für diese Projekte geschätzten Abfallmengen (letzteres trifft hauptsächlich für Deko-Projekte zu).

Zusätzlich sind Einmal-Effekte von Projekten zu berücksichtigen. Die zwei Hauptprojekte in diesem Zusammenhang wären einerseits das derzeit laufende Re- sowie Nachkonditionierungsprojekt und andererseits die Prognose der Abfälle aus der Dekommissionierung des TRIGA Forschungsreaktors des Atominstitutes der TU Wien.

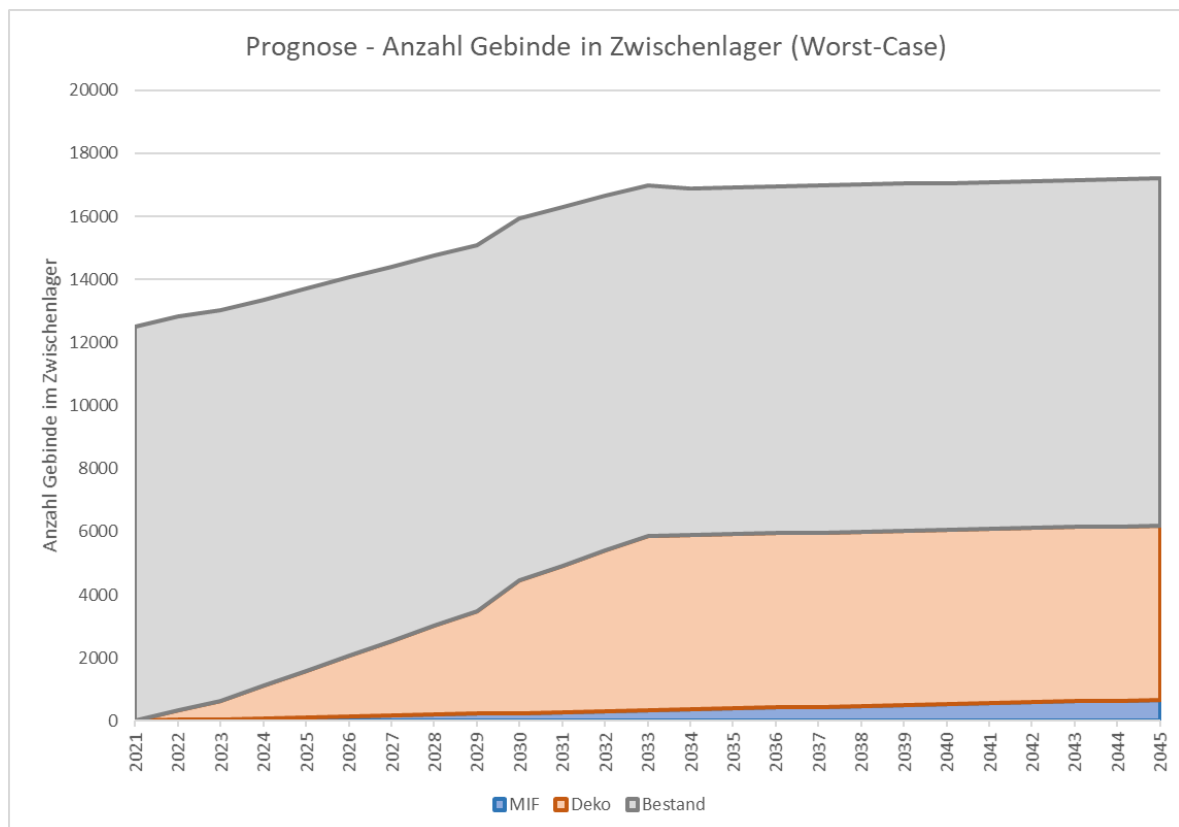
Geht man vom derzeitigen Bestand an Gebinden im Zwischenlager aus und arbeitet die prognostizierten Zuwächse sowie auch eine Reduktion der Fasszahl (durch das Rekonditionierungsprojekt) über die nächsten Jahre ein, so ergibt sich die Darstellung in Abbildung 15.

Der Bestand von ca. 12.500 Gebinden im Jahr 2021 ist Grau hinterlegt, während prognostizierte Gebinde mit konditionierten Abfällen aus Deko-Projekten Orange und prognostizierte Gebinde mit konditionierten Abfällen von MIF-Verursachern Blau dargestellt sind. Folgende Annahmen stellen die Grundlage dieser Prognose dar:

## MIF-Abfälle

In Kapitel 2.3 zeigte sich, dass die anfallenden Rohabfälle der MIF-Verursachergruppe, abgesehen von Spitzen einmaliger Projekte, relativ konstant bleiben. In der ersten Prognose wurde daher von einem Mittelwert der letzten 10 Jahre, der bei ca. 30 Fässern liegt, ausgegangen und dieser linear fortgesetzt.

Abbildung 15: Anzahl der Gebinde im Zwischenlager - Worst-Case Prognose



Quelle: NES

## Abfälle aus Deko-Projekten

Die meisten Deko-Projekte am Standort in Seibersdorf konnten abgeschlossen werden, sodass größere Abfallmengen nur noch von einem Deko-Großprojekt stammen können, welches 2033 abgeschlossen wird. Danach sind derzeit keine weiteren Projekte geplant.

Auch bei diesem Projekt wird es zu einer Abfall-Minimierung kommen. Die Prognose geht, ausgehend vom geschätzten Volumen, davon aus, dass nur 15 % des Rohabfalls

konditioniert werden müssen und teilt diese Menge (ca. 440 Fass/Jahr) auf die Jahre bis 2033 auf.

Ein weiteres Deko-Projekt ist die Dekommissionierung des Forschungsreaktors des Atominstutts. Dieser Abfall könnte auch der MIF-Verursachergruppe (Forschung) zugeordnet werden, ist allerdings in der Darstellung unter Deko berücksichtigt. Zu der Abfallmenge wurde hier die konservative Annahme von 500 Fässern zugrunde gelegt und im Jahr 2030 als Einmal-Effekt hinzugefügt. Es handelt sich hierbei um eine ältere Worst-Case Schätzung. Bei dem Jahr 2030 handelt es sich um eine Annahme, da den Autoren das tatsächliche Datum des Abfallaufkommens nicht bekannt ist.

### **Nach- und Rekonditionierungsprojekt**

Das bei NES laufende Nach- und Rekonditionierungsprojekt, bei dem vormals konditionierter Abfall aus der LH12/LH12A nach neuem Stand der Technik geöffnet, untersucht sowie neuerlich konditioniert wird (siehe Kapitel 3.2), hat auch einen Einfluss auf die Prognose. Unter Beachtung des Abfall-Minimierungsprinzips sowie unter Verwendung der in den letzten Jahren erneuerten Anlagen der NES wird es zu einer Reduktion der Fässer kommen.

Es wird eine Reduktion um ca. 1.500 Fässer erwartet, welche – da das Projekt bis 2035 laufen soll – aliquot in der Prognose berücksichtigt wurde. Das Ergebnis dieser Prognose (welche teilweise „Worst-Case“ Annahmen trifft) für die bis 2045 anfallenden und für ein Endlager bestimmten Gebinde ist in Tabelle 3 dargestellt.

Tabelle 3: Worst-Case Prognose - Anzahl Gebinde 2045

<b>Abfallherkunft</b>	<b>Anzahl an Gebinden</b>
<b>Bestand im Zwischenlager 2021</b>	12.500
<b>Reduktion durch neuerliche Konditionierung (Rekondtionierungsprojekt)</b>	-1.500
<b>Abfälle aus Medizin, Industrie &amp; Forschung bis 2045</b>	700
<b>Dekommissionierung bis 2045</b>	5.000
<b>Dekommissionierung Forschungsreaktor TRIGA Center Atominstitut</b>	500
<b>Gesamt bis 2045</b>	<b>17.200</b>



Die Gebinde dieser Prognose für 2045 stellen ein Volumen von insgesamt 3.500 m<sup>3</sup> dar. Der Anteil von LILW-LL davon wäre 100 m<sup>3</sup> (also unter 3 %).

Selbiges kann relevant sein, da auch in oberflächennahen Endlagern eine geringe Konzentration von LILW-LL möglicherweise (abhängig vom jeweiligen Lager-Konzept und technologischen Barrieren sowie der Sicherheitsanalyse) erlaubt sind (IAEA, 2010).

Nimmt man den eigentlichen Grenzwert von 4.000 Bq/g langlebige Alpha-Aktivität als Grundlage, würde sich die Zahl zumindest halbieren.

Diese Annahme ist in Hinblick auf die Auslegung der Größe des für den Abfall benötigten Endlagers unter dem Gesichtspunkt getroffen worden, dass das Lager den angefallenen Abfall aufnehmen können soll und dass eine Überschätzung der Abfallmenge weniger Konsequenzen hat als eine Unterschätzung.

Dennoch wurde, um die Schwankungsbreite darzulegen, für diese Studie eine zweite, „Best-guess“-genannte, Prognose erarbeitet. Bei dieser Prognose flossen folgende, zusätzliche Überlegungen ein:

### **MIF-Abfälle (best-guess)**

Obzwar der langjährige Mittelwert an konditionierten Fässern pro Jahr höher ist, zeigt Kapitel 2.3 jedoch auch, dass er, insbesondere in den letzten 3 Jahren, abgenommen hat. Um dem Rechnung zu tragen wurde in der zweiten Prognose von einem reduzierten Anfall von Fässern mit Abfällen der MIF-Verursachergruppe ausgegangen (ca. 10 Gebinde / Jahr). Dies erscheint aufgrund der langjährigen Erfahrung der NES als durchaus gerechtfertigt. Zu berücksichtigen ist jedenfalls auch, dass der Anteil der zukünftigen MIF-Fässer am gesamten Abfallvolumen nur sehr gering und nahezu vernachlässigbar ist (vgl. dazu z.B. Abbildung 15).

### **Abfälle aus Deko-Projekten (best-guess)**

Die ursprüngliche Schätzung des radioaktiven Abfallanteils (Netto-Abfall) des, bis ins Jahr 2033 laufenden Deko-Projekt zu bearbeitenden Materials, liegt bei 15 %. Durch die NES-Eigenentwicklung der sogenannten „Erdmessenanlage“ zusammen mit einer Sieb- und

Brechanlage, bei der auch eine Aussortierung von kontaminierten Teilen erfolgt, kommt es zu einer zusätzlichen Abfall-Minimierung. Für die „Best-Guess“ Prognose wurde daher eine zusätzliche Reduktion des Netto-Abfalls auf nur 5 % des Rohabfalles angenommen. Dies stützt sich auf den derzeitigen Stand des Projektes, bei dem der Netto-Abfall weniger als 1 % des Rohabfalls ausmachte.

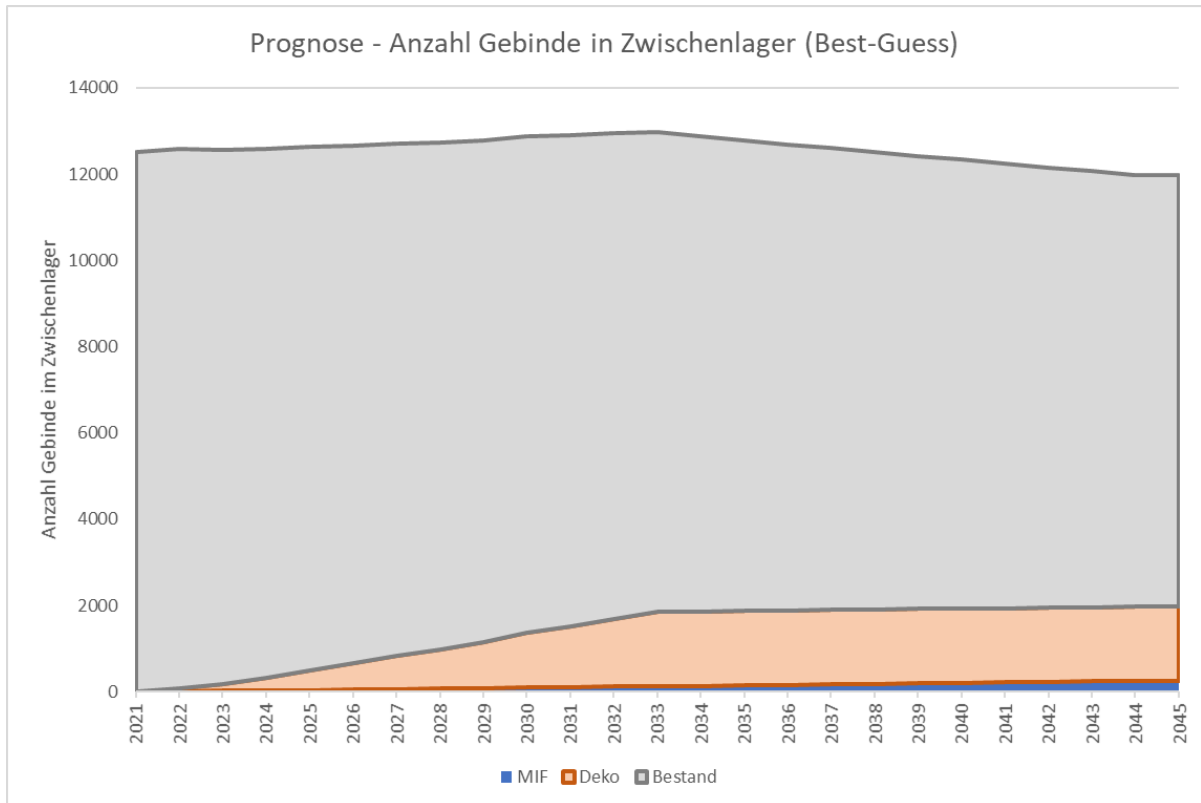
Hinsichtlich der Prognose des Abfallaufkommens aus der Dekommissionierung des Forschungsreaktors des Atominstutts wurde in dieser Überlegung mit 10 m<sup>3</sup> Abfall gerechnet, was ungefähr 50 200-Liter Fässern entspricht. In der obigen Betrachtung wird von anderen Behältertypen (Sondergebunden) ausgegangen, weswegen diese – für diese Darstellung – in „200 Liter Fassäquivalente“ umgerechnet wurde.

Die Informationen stammen aus einer unverbindlichen Kostenschätzung zum Rückbau des TRIGA Reaktors durch die NES aus dem Jahr 2014 sowie die dahinterliegenden Daten von Dr. Villa / Atominstitut unter Verwendung der Erfahrungen von Ing. Meyer sowie DI Djuricic / NES aus dem ASTRA-Reaktor Rückbau.

### **Nach- und Rekonditionierungsprojekt (best-guess)**

Abgesehen von der Reduktion um 1.500 Fässer durch die Rekonditionierung wurde für diese „Best-Guess“ Prognose zusätzlich von einer Reduktion, aufgrund eines geplanten Freigabeprojekts, von abgeklungenen, homogen zementierten, Abfällen ausgegangen. In einem Pilotversuch, der im letzten Jahr durchgeführt wurde, wurde eine mögliche Vorgehensweise hierfür getestet. Die Annahme im Rahmen dieser Studie wäre eine zusätzliche Reduktion um 1.000 Fässer dieses Typs. Die Reduktion infolge dieses Projektes wurde in der Prognose nach Abschluss des Nach- und Rekonditionierungsprojektes aliquot auf 10 Jahre aufgeteilt. Die tatsächliche Dauer sowie zeitliche Planung dieses möglicherweise zukünftigen Projekts steht derzeit noch nicht fest. Berücksichtigt man diese zusätzlichen Überlegungen ergibt sich die Darstellung der zeitlichen Entwicklung des Lagerstandes folgendermaßen (siehe Abbildung 16).

Abbildung 16: Anzahl der Gebinde im Zwischenlager - Best-Guess Prognose



Quelle: NES

Es zeigt sich, dass unter diesen Annahmen die Zahl der Gebinde gegenüber der derzeitigen Anzahl nicht wachsen wird bzw. evtl. sogar leicht zurückgehen könnte. Dies untermauert die eingangs erfolgte Einschätzung, dass es sich bei den für 2045 prognostizierten 3.500 m<sup>3</sup> an Abfallgebänden um eine Zahl handelt, die für die maximale Auslegung des Lagervolumens verwendet werden kann.

### Anmerkung

Nach der bis 2045 geplanten Überstellung der konditionierten Abfälle ins Endlager und der Einlager-Kampagne dieser - dann über mehr als 80 Jahre akkumulierten - Abfälle, sind derzeit kaum noch neue Abfälle absehbar. Die Ausnahme hierbei wären weiter anfallende MIF-Abfälle mit ca. 10 konditionierten Gebänden / Jahr - was ca. 2 m<sup>3</sup>/Jahr entspricht – sowie die durch eine Dekommissionierung der Anlagen und Einrichtungen der NES anfallenden Abfälle. Letztere können im Worst-Case auf ca. 60 m<sup>3</sup> geschätzt werden. Damit würde die Differenz von ca. 1.000 m<sup>3</sup> im konditionierten Abfallvolumen zwischen der durchgeführten „Best Guess“ Abschätzung und dem Worst-Case von 3.500 m<sup>3</sup>

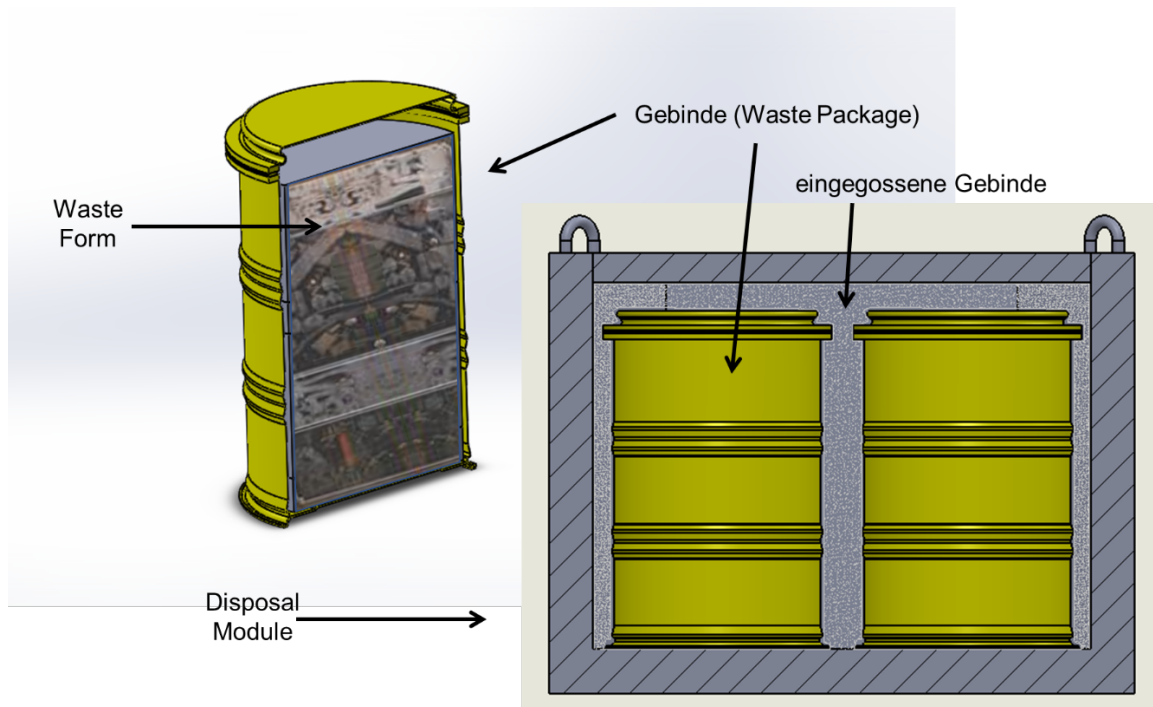
Abfallvolumen nicht nur die Deko der Anlagen und Einrichtungen der NES, sondern auch alle weiteren in absehbarer Zukunft anfallenden radioaktiven Abfälle abdecken. Die für die Prognosen verwendeten Eckdaten sind in Tabelle 4 zusammengefasst.

Tabelle 4: Zusammenfassung der Eckdaten aus den Prognosen

Periode	Abfallherkunft	Worst-Case	Best-Guess
<b>bis 2045</b>	MIF-Abfälle	30 kond. Gebinde/Jahr	10 kond. Gebinde/Jahr
	Deko-Projekte Seibersdorf (abgeschlossen 2033 danach keine Abfälle mehr)	ca. 440 kond. Gebinde/Jahr	ca. 150 kond. Gebinde/Jahr
	Dekommissionierung Forschungsreaktor TRIGA Atominstitut	500 kond. Gebinde	50 kond. Gebinde
	Nach- und Rekonditionierungsprojekt	Reduktion um 1.500 kond. Gebinde	Reduktion um 2.500 kond. Gebinde
<b>nach 2045</b>	MIF-Abfälle		10 kond. Gebinde/Jahr
	Deko NES		300 kond. Gebinde

Bei den Betrachtungen bisher wurde allerdings nur das Abfallvolumen der konditionierten Gebinde an sich abgedeckt. Tatsächlich werden die konditionierten Abfallgebilde vor einer Einbringung in das zukünftige Endlager höchstwahrscheinlich noch in Überbehälter (disposal module) einbetoniert werden. Dieser stellt dann die erste, technische Barriere in Hinblick auf das Endlager dar und wird – zusammen mit den eingeschlossenen Abfallgebilden – als „Disposal Module“ bezeichnet. In diesem Schritt werden die Gebinde (falls nötig) noch mit (höchstwahrscheinlich) Betonmilch vergossen werden, um Hohlräume zu schließen. Bei diesen Gebinden wird es sich wahrscheinlich um Container aus Beton oder Metall handeln, in die – abhängig von der Größe – eine Anzahl von 200-Liter Fässern einbetoniert werden können. Abbildung 17 zeigt die schematische Darstellung eines solchen Konzepts.

Abbildung 17: Gebinde und Überbehälter gezeichnet NES gemäß IAEA



Quelle: NES in Anlehnung IAEA

Die Maße sowie die Tonnage dieser Gebinde werden u.a. abhängig von dem Hebezeug sein, welches zur Einbringung der Gebinde in das Endlager zur Verfügung steht. Aufgrund dieses Überbehälters vergrößert sich das Volumen des zu entsorgenden Abfalls, was das benötigte Lagervolumen weiter erhöht.

Zur Abschätzung dieser Volumenvergrößerung werden einige Beispiele aus dem internationalen Umfeld in der Folge herangezogen. Die Abschätzung wird für ein Beispiel konkretisiert, welches das geplante oberflächen-nahe Endlager in Dessel/Belgien darstellt (ONDRAF, 2022).

### Slowenien

Bei dem geplanten slowenischen Endlager für LILW-SL sowie LILW-LL, bei dem es sich um ein Oberflächen-Nahes Lager vom Typ Silo handelt, sollen Container verwendet werden, in die 3x3x3 200 Liter Fässer eingebracht werden können. Ein solcher Container hätte ein Maximalgewicht von 60 Tonnen.

## Ungarn

In das LILW-Endlager in Bataapati/Ungarn werden 3x3 200-Liter Fässer in einen Beton-Container eingebracht (Nos, et al., 2012).

## Frankreich

Im Centre de l'Aube, einem oberflächen-nahen Endlager für LILW in Frankreich, werden 400 Liter Fässer (mit kompaktierten Pellets aus 200 Liter Fässern) sowie 5 oder 10 m<sup>3</sup> Container direkt in die Kammern des Endlagers eingegossen (Potier, kein Datum).

## Spanien

Das Oberflächen-Endlager in El Cabril (ENRESA, 2022) in Spanien hat getrennte Bereich für VLLW als auch für LILW ausgelegt. Abfall für letzteren Bereich wird in 200 Liter Fässern angeliefert, welche in einen Beton-Container einbetoniert werden (ca. 25 t; Maße: 2,25 x 2,25 x 2,20 m) (Zuloaga, 1997). Neuere Beton-Container haben nur die Hälfte der Höhe und haben Platz für 9 200 Liter Fässer. Eine solche Konfiguration würde daher das Volumen von 2 m<sup>3</sup> (für 9 Fässer) auf ca. 5,6 m<sup>3</sup> erhöhen. Das entspräche einer Volumenvergrößerung von ca. 280 %.

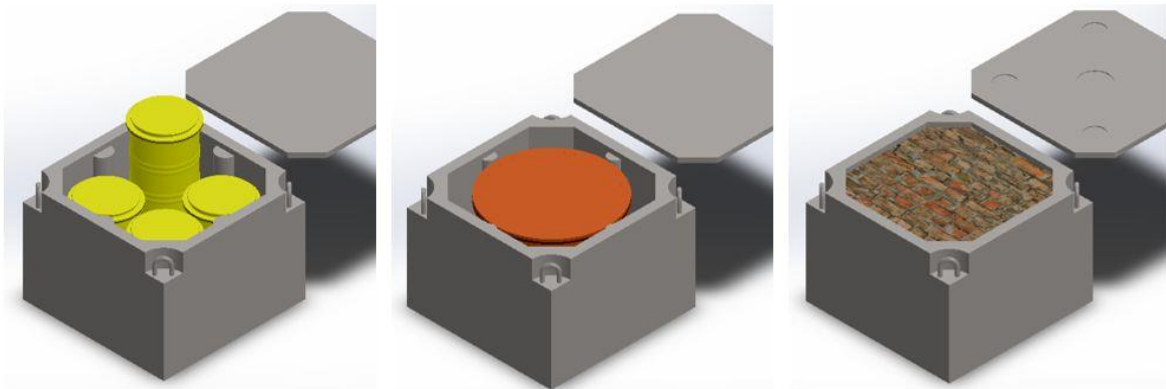
## Belgien

Bei dem geplanten, oberflächennahen Endlager für LILW in Dessel, Belgien werden Fässer in Betoncontainer einzementiert, bevor sie in die einzelnen Lager-Abteile eingebracht werden. Es sind drei Arten von Betoncontainern (monoliths) geplant:

- Type I Monolith: Mit folgenden Maßen (Länge/Breite/Höhe) 1,94 x 1,94 x 1,35 m. Dieser Typ ist für das Einbringen von 2x2 400 Liter Fässern bzw. 5 200 Liter Fässern vorgesehen.
- Typ II Monolith: Mit folgenden Maßen (Länge/Breite/Höhe) 1,94 x 1,94 x 1,62 m. Dieser Typ ist für jeweils einen Sonderbehälter (non standard Behälter) vorgesehen).
- Typ III Monolith: Mit folgenden Maßen (Länge/Breite/Höhe) 1,94 x 1,94 x 1,62 m. Dieser Typ ist für Großteile vorgesehen.

Abbildung 18 zeigt eine schematische Darstellung der drei Typen von Monolithen.

Abbildung 18: Überbehälter (Monolith Typ I, Typ II und Typ III) für Dessel; Zeichnung NES gemäß ONDRAF/NIRAS adaptiert



Quelle: (in Anlehnung ONDRAF/NIRAS, 2022)

Geht man von diesen Angaben (Seetharam, et al., 2011) aus, und berücksichtigt die Daten der Worst-Case Prognose dieses Kapitels (mit 17.200 Gebinden für das Jahr 2045 bzw. einem Volumen von 3.500 m<sup>3</sup>), ergäbe sich daraus ein Bedarf von 3.444 Typ I Monolithen (für 200 und 400 Liter Fässer), sowie von 5 Typ II Monolithen für die 5 Mosaik<sup>®</sup> Container. Trifft man weiters die Annahme, dass die 5 Konrad Container keines weiteren Überbehälters bedürfen, ergibt sich aus den 3.500 m<sup>3</sup> Abfallvolumen ein Volumen-Bedarf für ein hypothetisches Endlager, das ähnliche Container wie in Belgien verwendet, von 17.200 m<sup>3</sup>. Das entspricht einer Verfünffachung des Volumens.

### 3.4.2 Aktivitäten

Neben der Fasszahl bzw. dem Volumen des Gesamtinventars ist auch das Aktivitätsinventar von Bedeutung. Hierfür wurde vom derzeitigen Stand ausgegangen. Dieser stellt den größten Teil des Abfalls und insbesondere auch der Aktivität des zukünftigen Abfalls dar (vergleiche hierzu Abbildung 15 bzw. Abbildung 16). Zusätzlich sei angemerkt, dass sich das Aktivitätsinventar eines jeden einzelnen, konditionierten Gebindes aus vielen Teil-Angaben zusammensetzt: Es handelt sich einerseits um Daten der Abfall-Eingänge (u.a. Deklaration der jeweiligen Kunden, Eingangsmessungen, Beprobungen), als auch Messdaten nach einzelnen Bearbeitungsschritten sowie auch Messdaten aus den abschließenden, Gammaskopie-Messungen. Sie alle zusammen genommen ergeben das Aktivitätsinventar eines Gebindes. Für diese Studie wurde eine zerfallskorrigierte Berechnung der Aktivitäten durchgeführt. In dieser automatisierten Berechnung des Aktivitätsinventars eines jeden einzelnen Gebindes

wurden, in einem ersten Schritt, die unterschiedlichen, bei jedem Behandlungsschritt anfallenden, Aktivitätsangaben – um einen Vergleich zu ermöglichen – auf ein Referenzdatum bezogen und dann verglichen. In Folge wurden dann die jeweils höheren Aktivitätsangaben für das jeweilige Nuklid ausgewählt (Im Zusammenhang mit dem Strahlenschutz wird bei einer solchen Vorgangsweise gerne von einer „konservativen“ Methode gesprochen, bei der die Aktivitäten lieber überschätzt als unterschätzt werden.) und insgesamt die dieserart zustande gekommene Aktivität jedes einzelnen Gebindes auf 4 unterschiedliche Bezugs-Datumsangaben abkling-berechnet. Die 4 Daten waren:

- Derzeit (31.12.2021)
- Bei der Endlagerung (31.12.2045)
- Nach 300 Jahren in der Endlagerung (31.12.2345)
- Nach 1000 Jahren (31.12.3345)

Ausnahme stellen hier Fässer dar, die im Rahmen der Re- und Nachkonditionierung zerlegt wurden. Hier wurde bei der Propagierung einzig der resultierende Hauptteil (und keine Bruchstücke) berücksichtigt. Auch wurden bei Aschefässern Vorgängeraktivitäten von C-14 und H-3 nicht propagiert da diese Aktivitäten höchstwahrscheinlich nicht in der Asche vorhanden sind.

Bei den 300 Jahren handelt es sich um die angenommene Periode der institutionellen Kontrolle (IAEA, 2003) des Endlagers. An diese anschließend wurde noch ein weiteres Datum gewählt, das nach einer Beendigung dieser Phase noch 1000 Jahre in die Zukunft geht. Insgesamt wurden für diese Berechnung über 250.000 Aktivitätsangaben berücksichtigt. Es wurden nur Aktivitäten berücksichtigt deren Referenz- bzw. Messdatum vor dem 31.12.2021 lag. Tabelle 5 zeigt die sich auf diese Art ergebenden Summen-Aktivitäten der derzeit vorhandenen konditionierten Gebinde zu den 4 unterschiedlichen Daten. Es wurde die wissenschaftliche Notation verwendet und z.B. 3,99E+15 statt  $3,99 \cdot 10^{15}$  geschrieben.



Tabelle 5: Gesamtinventar Nuklidspezifisch inklusive Abklingberechnung

<b>Nuklid</b>	<b>31.12.2021 [Bq]</b>	<b>31.12.2045 [Bq]</b>	<b>31.12.2345 [Bq]</b>	<b>31.12.3345 [Bq]</b>
<b>H-3</b>	3,99E+15	1,03E+15	4,90E+07	0
<b>Ni-63</b>	1,98E+13	1,67E+13	2,10E+12	2,06E+09
<b>Cs-137</b>	7,29E+12	4,19E+12	4,13E+09	0
<b>Am-241</b>	3,90E+12	3,75E+12	2,32E+12	4,66E+11
<b>Ag-108m</b>	2,60E+12	2,50E+12	1,52E+12	2,89E+11
<b>Sr-90</b>	1,62E+12	9,08E+11	6,55E+08	0
<b>Ra-226</b>	1,28E+12	1,27E+12	1,11E+12	7,22E+11
<b>C-14</b>	7,66E+11	7,64E+11	7,37E+11	6,53E+11
<b>Kr-85</b>	7,43E+11	1,58E+11	6,35E+02	0
<b>Fe-55</b>	5,46E+11	1,23E+09	0	0
<b>Co-60</b>	3,81E+11	1,62E+10	0	0
<b>Pu-239</b>	3,78E+11	3,78E+11	3,75E+11	3,64E+11
<b>Cm-244</b>	2,35E+11	9,37E+10	9,60E+05	0
<b>Ni-59</b>	1,72E+11	1,72E+11	1,71E+11	1,70E+11
<b>Th-232</b>	3,99E+10	3,99E+10	3,99E+10	3,99E+10
<b>Th-228</b>	3,92E+10	3,99E+10	3,99E+10	3,99E+10
<b>Pm-147</b>	3,21E+10	5,65E+07	0	0
<b>Pu-241</b>	1,27E+10	3,98E+09	2,03E+03	0
<b>U-238</b>	8,63E+09	8,63E+09	8,63E+09	8,63E+09
<b>Pu-238</b>	8,26E+09	6,83E+09	6,38E+08	2,36E+05
<b>U-234</b>	7,94E+09	7,94E+09	7,94E+09	7,94E+09
<b>Pu-240</b>	5,43E+09	5,80E+09	5,87E+09	5,28E+09
<b>Pu-242</b>	3,32E+09	3,32E+09	3,32E+09	3,32E+09
<b>Sm-151</b>	3,30E+09	2,75E+09	2,72E+08	1,23E+05
<b>Kr-81</b>	3,11E+09	3,11E+09	3,10E+09	3,10E+09
<b>Cl-36</b>	2,92E+09	2,92E+09	2,91E+09	2,91E+09

<b>Nuklid</b>	<b>31.12.2021 [Bq]</b>	<b>31.12.2045 [Bq]</b>	<b>31.12.2345 [Bq]</b>	<b>31.12.3345 [Bq]</b>
<b>U-233</b>	2,59E+09	2,59E+09	2,59E+09	2,58E+09
<b>Ba-133</b>	1,93E+09	3,98E+08	0	0
<b>Tc-99</b>	1,51E+09	1,51E+09	1,51E+09	1,51E+09
<b>Sb-125</b>	1,29E+09	3,09E+06	0	0
<b>U-235</b>	1,27E+09	1,27E+09	1,27E+09	1,27E+09
<b>Eu-152</b>	1,24E+09	3,62E+08	6,60E+01	0
<b>Eu-154</b>	5,38E+08	7,76E+07	0	0
<b>Tl-204</b>	5,35E+08	6,56E+06	0	0
<b>Cf-252</b>	2,66E+08	4,93E+05	0	0
<b>Ac-227</b>	2,04E+08	9,59E+07	9,40E+06	3,58E+07
<b>Nb-94</b>	1,61E+08	1,61E+08	1,59E+08	1,54E+08
<b>Mn-54</b>	7,15E+07	0	0	0
<b>Na-22</b>	5,39E+07	9,02E+04	0	0
<b>I-129</b>	5,05E+07	5,05E+07	5,05E+07	5,05E+07
<b>Ho-166m</b>	3,48E+07	3,43E+07	2,88E+07	1,62E+07
<b>Np-237</b>	3,41E+07	6,38E+07	3,53E+08	7,26E+08
<b>Cd-109</b>	2,78E+07	5,50E+01	0	0
<b>Bi-207</b>	1,97E+07	1,16E+07	1,60E+04	0
<b>Th-229</b>	9,20E+06	1,46E+07	8,17E+07	2,93E+08
<b>Pb-205</b>	7,40E+06	7,40E+06	7,40E+06	7,40E+06
<b>Gd-153</b>	5,34E+06	0	0	0
<b>Am-243</b>	5,08E+06	5,07E+06	4,93E+06	4,49E+06
<b>Th-230</b>	4,43E+06	6,18E+06	2,80E+07	1,00E+08
<b>Ca-41</b>	3,00E+06	3,00E+06	2,99E+06	2,97E+06
<b>Cs-134</b>	2,71E+06	8,26E+02	0	0
<b>Co-57</b>	2,05E+06	0	0	0
<b>Pa-231</b>	1,56E+06	2,21E+06	1,02E+07	3,66E+07
<b>Bi-208</b>	1,19E+06	1,19E+06	1,19E+06	1,18E+06

Nuklid	31.12.2021 [Bq]	31.12.2045 [Bq]	31.12.2345 [Bq]	31.12.3345 [Bq]
Eu-155	7,18E+05	2,18E+04	0	0
Ge-68	6,23E+05	0	0	0
Eu-150	5,24E+05	3,34E+05	1,19E+03	0
U-232	4,39E+05	3,45E+05	1,69E+04	1,00E+00
Ru-106	3,77E+05	0	0	0
Hf-178m	1,19E+05	6,95E+04	8,50E+01	0
Os-194	3,89E+04	2,43E+03	0	0
Cm-248	3,71E+04	3,91E+04	3,91E+04	3,91E+04
U-236	3,24E+04	3,64E+04	8,92E+04	2,54E+05
Nb-93m	3,19E+04	1,14E+04	0	0
Pu-244	1,23E+04	1,23E+04	1,23E+04	1,23E+04
Nb-92	7,49E+03	7,49E+03	7,49E+03	7,49E+03
Po-208	7,01E+03	2,20E+01	0	0
Cm-243	5,82E+03	3,29E+03	3,00E+00	0
Zn-65	4,88E+03	0	0	0
Pu-236	4,78E+03	1,40E+01	0	0
Sn-119m	3,69E+03	0	0	0
Ca-45	2,26E+03	0	0	0
Cd-113m	1,73E+03	5,32E+02	0	0
Pm-146	1,48E+03	7,30E+01	0	0
Cm-246	1,30E+03	1,30E+03	1,24E+03	1,07E+03
Ag-110m	8,20E+01	0	0	0
Au-195	2,00E+00	0	0	0
<b>Summe</b>	<b>4,03E+15</b>	<b>1,07E+15</b>	<b>8,45E+12</b>	<b>2,78E+12</b>

Diese Berechnung ergibt die in Kapitel 3.3.3 genannte Gesamtaktivität von  $4,03 \cdot 10^{15}$  Bq.

### 3.4.3 Anmerkungen zur Berechnung der Aktivität

- Beim Vorhandensein bestimmter kurzlebiger Nuklide, welche von einem langlebigen Mutternuklid stammen können, wurde angenommen, dass das Mutternuklid und sämtliche Tochternuklide gleichermaßen ebenfalls im Abfall vorhanden sind (säkulares Gleichgewicht). Hierzu wurde aus Gründen der Konservativität immer der höchste Aktivitätswert verwendet. Die Zerfallsreihen folgender Nuklide wurden auf diese Art berücksichtigt: Th-232+, Th-228+, U-238+, Ra-226++, U-235+, Pu-246+, Sr-90+.
  - Th-232+: Th-232, Ra-228, Ac-228
  - Th-228+: Th-228, Ra-224, Rn-220, Po-216, Pb-212, Bi-212, Po-212 (64 %), Tl-208 (36 %)
  - U-238+: U-238, Th-234, Pa-234, Pa-234m
  - Ra-226++: Ra-226, Rn-222, Po-218, Pb-214, Bi-214, Po-214, Pb-210, Bi-210, Po-210
  - U-235+: U-235, Th-231
  - Pu-246+: Pu-246, Am-246
  - Sr-90+: Sr-90, Y-90
- Das mögliche Einwachsen von Tochternukliden wurde unter Verwendung der Zerfallsreihen – es wurden die Bateman-Gleichungen berücksichtigt – in Hinblick auf die Aktivitäten für die 4 Datumsangaben ebenfalls berücksichtigt.
- Unsicherheitsfaktoren wie Messunsicherheiten wurden für diese Berechnung nicht berücksichtigt. Zusätzlich sei angemerkt, dass auch in Zukunft, im Zuge des Re- und Nachkonditionierungsprojektes, Beprobungen und zusätzliche Messungen durchgeführt werden, welche die historischen Messdaten und Aktivitätsangaben ergänzen werden. Auch wurden die Aktivitäten aufgrund der (mehrfach) konservativen Herangehensweise definitiv überschätzt, was aber in Hinblick auf Sicherheitsanalysen sowie Auslegung eines zukünftigen Endlagers von Vorteil sein kann.
- Nuklide mit einer Halbwertszeit kleiner als 100 Tage wurden in der Tabelle nicht berücksichtigt.

Teilweise befinden sich bei Altdaten Aktivitätsangaben mit „kleiner als“ z. B. < 1 Ci für welche im Rahmen der Studie die konservative Annahme der maximalen Aktivität getätigt wurde. Altdaten werden durch zusätzliche Messungen, welche im Zuge des Re- und Nachkonditionierungsprojektes durchgeführt werden, aktualisiert werden.

Insgesamt zeigt sich hierbei, dass die größte Reduktion der Aktivität innerhalb der ersten 300 Jahre stattfindet – in der Nuklidliste zeigen sich zwischen den Gesamtaktivitäten im Jahr 2345 verglichen mit denen im Jahr 3345 nur geringe Unterschiede –, was in Hinblick auf die Auslegung eines zukünftigen Endlagers von Vorteil ist. Selbiges bestätigt ebenfalls die Klassifizierung eines Großteils der Abfälle als LILW-SL.

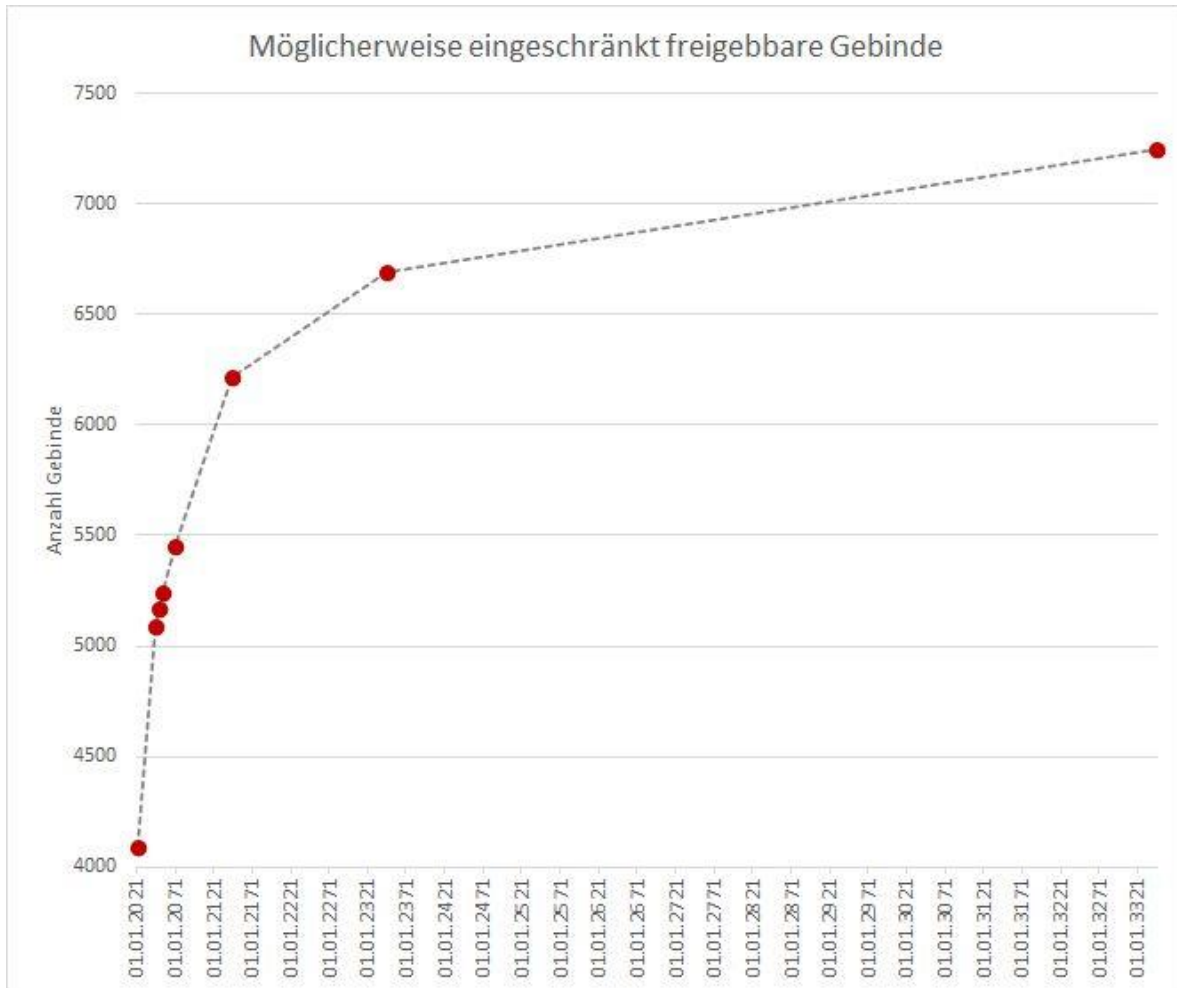
Mit den dieserart bestimmten Aktivitäten der einzelnen Gebinde konnte auch ihr Potential in Hinblick auf eine Prüfung auf Freigabefähigkeit durchgeführt werden. Die Untersuchung wurde hinsichtlich einer eingeschränkten Freigabe (gemäß §110 AllgStrSchV 2020) durchgeführt, wobei die Grenzwerte aus Spalte 6 herangezogen wurden (gemäß der Anlagen zur AllgStrSchV 2020, Abschnitt D, Tabelle 1, Spalte 6).

Ausgehend vom derzeitigen Wissensstand sowie aktueller Datenlage, wird die Gesamtzahl der möglicherweise eingeschränkt freigegebenen Fässer – zu den gleichen Bezugsdaten wie für Tabelle 5 – in der folgenden Tabelle 6 gelistet. Die Daten aus Tabelle 6 sind in Abbildung 19 als Graph dargestellt.

Tabelle 6: Anzahl der möglicherweise eingeschränkt freigegebenen Fässer

Datum	Anzahl
31.12.2021	4087
31.12.2045	5092
31.12.2050	5167
31.12.2055	5242
31.12.2070	5455
31.12.2145	6219
31.12.2345	6693
31.12.3345	7247

Abbildung 19: Möglicherweise eingeschränkt freigebbare Gebinde



Quelle: NES

Hier zeigt sich ein großes Potential zu einer möglichen Reduktion von Abfallgebinden, die aufgrund des Abklingverhaltens der enthaltenen Radionuklide möglicherweise nicht einer Endlagerung zugeführt werden müssten. Ähnlich wie zuvor ergibt sich das größte Potential schon kurzfristig (bis 2045).

Die Daten in Hinblick auf eine eingeschränkte Freigabe gemäß §110 AllgStrSchV 2020 wurden erhoben, um das Minimierungspotential vor einer möglichen Endlagerung darzustellen. Sie sind nicht gedacht, um einen Zeitraum für die Auslegung eines Endlagers oder die Sicherung von Barrieren eines selbigen abzuleiten. Für letztere sei auf die IAEA Safety Standards SSR-5 sowie SSG-23 verwiesen.

## 4 Zusammenfassung

Ausgehend von den Rohabfällen wurde auf deren Behandlung (unter Berücksichtigung des Abfall-Minimierungsprinzips) und auf die entstehenden, konditionierten Abfallgebände eingegangen. Es wurde gezeigt, dass das österreichische Inventar an Gebänden dieserart im Jahr 2045, unter Annahme von Worst-Case Überlegungen, nicht über 17.200 Fässern bzw. 3.500 m<sup>3</sup> betragen wird.

Diese Abfälle sind als LILW klassifiziert. Davon werden maximal 100 m<sup>3</sup> als LILW-LL zu klassifizieren sein (also unter 3 % der Gesamtabfallmenge). Der große Rest ist als LILW-SL einzuordnen.

Aufgrund dieser Klassifizierung ist gemäß internationalen Regelwerken der IAEA eine Endlagerung in einem oberflächen-nahen Lager technisch möglich. In Hinblick auf den LL-Anteil gibt es technisch mehrere Möglichkeiten: 1. Einlagerung gemeinsam mit den SL-Abfall, allerdings in ein Abteil mit zusätzlichen Barrierefunktionen. 2. Einlagerung in ein hybrides Endlager, das zwei unterschiedliche Arten der Endlagerung an einem Standort vorsieht. 3. Ein Endlager für SL-Abfälle und ein zweites (an einem anderen Standort) für die LL-Abfälle.

Es wurde an internationalen Beispielen für ähnlichen Abfall gezeigt, dass die konditionierten Abfallgebände zumeist in Beton-Container einzementiert werden. Dies stellt eine weitere Barriere dar. Ein solches Vorgehen vergrößert das Abfallvolumen (z.B. um das 5-fache). Diesem erhöhten Bedarf an Volumen zur Einlagerung sollte in der Planung des Endlagers Rechnung getragen werden.

Die Gesamtaktivität im Zwischenlager derzeit beläuft sich auf  $4,03 \cdot 10^{15}$  Bq. Selbige wird in Zukunft nicht überschritten werden.

Es laufen derzeit einige Projekte zur Reduktion des Alt-Bestands an konditionierten Abfällen. In diesem Zusammenhang findet das Re- und Nachkonditionierungs-Projekt besondere Erwähnung. Darüber hinaus wurden auch weitere Möglichkeiten der Minimierung der Anzahl der Fässer angesprochen, die sich aus der Möglichkeit einer eingeschränkten Freigabe ergeben.

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Lagerstand Zwischenlager – Dezember 2021.....	19
Tabelle 2: Abfalltypen.....	22
Tabelle 3: Worst-Case Prognose - Anzahl Gebinde 2045.....	32
Tabelle 4: Zusammenfassung der Eckdaten aus den Prognosen.....	36
Tabelle 5: Gesamtinventar Nuklidspezifisch inklusive Abklingberechnung.....	41
Tabelle 6: Anzahl der möglicherweise eingeschränkt freigebbaren Fässer.....	45



## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Rohabfälle in Österreich im Mittel .....	9
Abbildung 2: Nettoabfälle MIF/Deko-Projekte der letzten Jahre .....	10
Abbildung 3: Aufschlüsselung Netto-Abfälle nach MIF-Abfallverursacher in Prozent .....	11
Abbildung 4: Anzahl der bei NES eingehenden Strahlenquellen der letzten Jahre .....	12
Abbildung 5: Prozentuelle Aufteilung der MIF-Verursacherguppen von Quellen .....	13
Abbildung 6: Abfallhierarchie radioaktiver Stoffe.....	14
Abbildung 7: Materialfluss und Behandlungsweg.....	15
Abbildung 8: Vereinfachte Darstellung des Materialflusses sowie der Verfahren zur Behandlung und Konditionierung von Abfällen gemäß ihrer Abfallkategorie.....	17
Abbildung 9: Typen von Zwischenlager-Abfallgebinden v.l.n.r. Pellet Fass, Asche-Fass, homogen-zementiertes Fass (Symbolbilder) .....	18
Abbildung 10: Transferlagerhallen 13 und 14 von außen (links), sowie LH14 von innen (rechts) .....	20
Abbildung 11: Sonderbehälter in LH15 .....	21
Abbildung 12: Arbeitsschritte bei der Rekonditionierung .....	25
Abbildung 13: Illustration des Klassifikations-Schemas der IAEA aus dem Jahr 2009.....	26
Abbildung 14: Vergleich der Schemas der IAEA-Klassifizierung 2009 (links) mit der von 1994 (rechts) .....	27
Abbildung 15: Anzahl der Gebinde im Zwischenlager - Worst-Case Prognose .....	31
Abbildung 16: Anzahl der Gebinde im Zwischenlager - Best-Guess Prognose .....	35
Abbildung 17: Gebinde und Überbehälter gezeichnet NES gemäß IAEA.....	37
Abbildung 18: Überbehälter (Monolith Typ I, Typ II und Typ III) für Dessel; Zeichnung NES gemäß ONDRAF/NIRAS adaptiert.....	39
Abbildung 19: Möglicherweise eingeschränkt freigebbare Gebinde.....	46

## Literaturverzeichnis

ANDRA, 2023. ANDRA. [Online]  
[www.international.andra.fr](http://www.international.andra.fr)  
[Zugriff am 1. März 2023].

BGE, 2023. [Online]  
[www.bge.de](http://www.bge.de)  
[Zugriff am 2. März 2023].

BMK, 2021. *Die Bestandsaufnahme der Abfallwirtschaft in Österreich - Statusbericht 2021*.  
Wien: Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und  
Technologie.

Braun, R. & Nittmann, G., 2021. *Anlage für die Re- und Nachkonditionierung von  
Abfallgebinden*. Dresden, KONTEC.

ENRESA, 2022. ENRESA. [Online]  
<https://www.enresa.es/eng/index/activities-and-projects/el-cabril>  
[Zugriff am 1. März 2023].

IAEA, 2003. *Derivation of activity limits for the disposal of radioactive waste in near  
surface disposal facilities, IAEA-TECDOC-1380*.

IAEA, 2003. *Radioactive Waste Management Status and Trends*.

IAEA, 2010. *Disposal Approaches for Long Lived Low and Intermediate Level Radioactive  
Waste*.

IAEA, 2022. *Status and Trends in Spent Fuel and Radioactive Waste Management*.

ONDRAF/NIRAS, 2022. ONDRAF. [Online]  
[https://www.ondraf.be/sites/default/files/pdf\\_files/Panelen%20infomarkt.pdf](https://www.ondraf.be/sites/default/files/pdf_files/Panelen%20infomarkt.pdf)  
[Zugriff am 1. März 2023].

Neckel, W., Nittmann, G. & Steininger, R., 2021. *Reconditioning of historic radioactive  
waste in Austria. IAEA International Conference on Radioactive Waste Management*.

Nos, B., Molnar, P. & Baksay, A., 2012. *Disposal of Low and Intermediate Level Waste in Hungary*. Rudarsko-geološko-naftni zbornik, Band 24, S. 81-85.

ONDRAF, 2022. ONDRAF. [Online]

[https://www.ondraf.be/sites/default/files/pdf\\_files/Panelen%20infomarkt.pdf](https://www.ondraf.be/sites/default/files/pdf_files/Panelen%20infomarkt.pdf)

[Zugriff am 1. März 2023].

Potier, J. M.: *ANDRA's Centre de l'Aube: Design, construction, operation of a state of the art surface disposal facility for low and intermediate level waste*.

Seetharam, S., Perko, J. & Mallants, D., 2011. *Model assumptions for the cementitious near field of the Dessel near surface repository, NIROND-TR 2008-12E*.

UNECE, 2023. *About the ADR - Agreement concerning the International Carriage of Dangerous Goods by Road*. [Online]

<https://unece.org/about-adr>

[Zugriff am 28. Februar 2023].

Zuloaga, P., 1997: *Low and intermediate level disposal in Spain (El Cabril facility)*. NETEC workshop on shallow land disposal technology, Taejon (Korea, Republic of), ETDEWEB.

**Österreichischer Beirat für die Entsorgung radioaktiver Abfälle**

[kontakt@entsorgungsbeirat.gv.at](mailto:kontakt@entsorgungsbeirat.gv.at)

[entsorgungsbeirat.gv.at](http://entsorgungsbeirat.gv.at)