

Vorschlag für Sicherheitskriterien für eine Anlage zur langfristigen Entsorgung radioaktiver Abfälle

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: AGES GmbH, Geschäftsfeld Strahlenschutz; Universität für
Bodenkulturen, Institut für Sicherheits- und Risikowissenschaften; Technische Universität
Center for Labelling and Isotope Production (CLIP), Nuclear Engineering Seibersdorf GmbH
(NES)

Wien, 2023. Stand: September 2023

Rückmeldungen: Ihre Überlegungen zu vorliegender Publikation übermitteln Sie bitte an
kontakt@entsorgungsbeirat.gv.at

Inhaltsverzeichnis

Impressum	2
Inhaltsverzeichnis	3
1 Begriffsbestimmungen	5
2 Einleitung, Überblick	8
3 Schutzziele	12
4 Indikatoren	14
4.1 Risiko	14
4.2 Dosis.....	15
4.3 Radiotoxizität	18
4.4 Zulässige Aktivitäten	19
5 Sicherheitsanforderungen	20
5.1 Grundanforderungen.....	20
5.2 Anforderungen an die Abfälle, Konditionierungsmatrix, Gebinde und Behälter.....	21
5.2.1 Einschluss radioaktiver Stoffe.....	21
5.2.2 Abfallprodukte und -gebinde.....	24
5.2.3 Stoffliche Beschreibung	28
5.2.4 Abfallbehälter	31
5.2.5 Kritikalität.....	35
5.2.6 Gasentwicklung.....	36
5.3 Anforderungen an die Errichtung des Endlagers.....	37
5.3.1 Spezifische bauliche Anforderungen	37
5.3.2 Technische Einrichtungen	39
5.3.3 Elektrotechnische Einrichtungen	39
5.3.4 Lüftungstechnik	40
5.3.5 Brandschutz und Brandschutzeinrichtungen, Explosionsschutz	40
5.4 Anforderungen an den Transport.....	41
5.5 Anforderungen an den Endlagerbetrieb, inkl. Strahlenschutz	42
5.6 Anforderungen an die Planung des Einlagerungsbetriebes	43
5.7 Anforderungen an die Überwachung der Auslegungsparameter	45
5.8 Anforderungen an Verschluss des Endlagers, Nachbetriebsphase und Stilllegung	47
5.9 Anforderungen an die Infrastruktur (Wechselwirkung mit bestehenden Anlagen)	48
6 Störfallszenarien	49
6.1 Einwirkungen von innen	49

6.2	Einwirkungen von außen	50
6.2.1	Naturbedingte Einwirkungen von außen.....	50
6.2.2	Zivilisatorisch bedingte Einwirkungen von außen	51
7	Qualitätssicherung und Qualitätskontrolle, Safety Case, Nachweisführung.....	52
7.1	Sicherheitsnachweis (“Safety Case”)	52
7.2	Qualifikation der Abfallbehälter	54
7.3	Validierung von Verfahren.....	55
7.4	Dokumentation.....	55
	Tabellenverzeichnis.....	57
	Abbildungsverzeichnis.....	58
	Literaturverzeichnis	59
	Abkürzungen.....	63

1 Begriffsbestimmungen

Abfallbehälter	Der Behälter zur Aufnahme eines Abfallprodukts (z. B. Fass, Betonbehälter, Gussbehälter, Container).
Abfallcharakterisierung	Die Ermittlung der endlagerrelevanten Eigenschaften von Abfallgebinden mit Angabe von Bandbreiten.
Abfallgebinde	Die endzulagernde Einheit aus Abfallprodukt und Abfallbehälter.
Abfallmatrix	Das ausgehärtete Fixierungsmittel, in dem radioaktiver Abfall fixiert ist.
Abfallprodukt	Verarbeiteter radioaktiver Abfall ohne Verpackung oder un- verarbeiteter radioaktiver Abfall in einem Behälter verpackt.
Aktivität (Radioaktivität)	Die Aktivität ist das Maß für die Anzahl der Kernumwandlungen eines Radionuklids oder mehrerer Radionuklide pro Zeiteinheit (i. A. Sekunde). Die Aktivität wird in Becquerel (Bq) angegeben. Die alleinige Angabe der Aktivität ohne Kenntnis des Radionuklids lässt keine Aussage über die Strahlenexposition zu.
Becquerel	SI-Einheit der Aktivität. Die Aktivität von 1 Becquerel (Bq) liegt vor, wenn 1 Atomkern je Sekunde zerfällt. $1 \text{ Becquerel (Bq)} = 2,7 \cdot 10^{-11} \text{ Curie}$
Betriebsphase	Beginnt nach Erteilung der Betriebsgenehmigung zur planmäßigen Einlagerung der radioaktiven Abfälle und endet mit dem Abschluss der Stilllegungsmaßnahmen des Endlagers einschließlich der Fertigstellung des Verschlusses.
Endlager	Lagerort für eine sichere, zeitlich unbeschränkte und wartungsfreie Aufbewahrung von Schadstoffen.

Endlagersystem	System, das das Zusammenwirken verschiedener Komponenten zum sicheren Einschluss radioaktiver Abfälle umfasst.
Funktionsindikatoren	dienen der Bewertung der Funktionsfähigkeit von Teilsystemen und Komponenten des Endlagersystems im Hinblick auf die gestellten Anforderungen.
Halbwertszeit	Zeitspanne, nach der die Anzahl der radioaktiven Atome eines Elementes auf die Hälfte der ursprünglich vorhandenen Atome gesunken ist. Nach einer Halbwertszeit hat sich entsprechend auch die Aktivität des Radionuklides halbiert
Indikator	Eine Mess- oder Bewertungsgröße zur Beurteilung einer geforderten Eigenschaft.
Ionisierende Strahlung	Elektromagnetische- oder Teilchenstrahlung (z. B. Alphastrahlung, Betastrahlung, Gammastrahlung, Röntgenstrahlung), welche die Bildung von Ionen bewirken können.
Kontamination	Speziell: Verunreinigung von Gegenständen, Räumen, Wasser, Lebensmitteln oder Menschen mit radioaktiven Stoffen
Radioaktive Abfälle	Radioaktive Materialien, für die eine Weiterverwendung nicht vorgesehen ist und die als radioaktiver Abfall der behördlichen Kontrolle unterliegen.
Radioaktive Stoffe	Stoffe, die ionisierende Strahlung spontan aussenden
Radioaktivität	Eigenschaft bestimmter Nuklide, ohne äußere Einwirkung Teilchen- oder Gammastrahlung aus dem Atomkern auszusenden
Radionuklide	Instabile Nuklide, die unter Aussendung von Strahlung in andere Nuklide zerfallen
Radiotoxizität	Radiotoxizität beschreibt die gesundheitsschädliche Wirkung inkorporierter (in den menschlichen Körper aufgenommener)

Stoffe auf Grund ihrer Radioaktivität, im Gegensatz etwa zur chemischen Wirkung (chemische Toxizität). Für die Radiotoxizität eines Stoffes ist von Bedeutung, in welchem Maße die ionisierende Strahlung körperliche Schäden bewirkt. Dies hängt ab von der Strahlenart und -energie, dem Inkorporationsweg (Weg, auf dem der Stoff in den Körper gelangt - über die Nahrung, die Atemluft, durch die intakte Haut, durch offene Wunden oder durch Injektion), der Organkonzentration, der Halbwertszeit des Radionuklids und der Verweildauer des Stoffes im Körper beziehungsweise in den Organen. In Österreich wurde die Radiotoxizität durch den Risikoindex ausgedrückt.

Risiko

Qualitative und/oder quantitative Charakterisierung eines Schadens hinsichtlich der Möglichkeit seines Eintreffens (Eintrittswahrscheinlichkeit) und der Tragweite der Schadenswirkung. Dimensionslose Zahl.

Sicherheitsindikatoren

dienen dem Nachweis der Einhaltung der Schutzziele. Sie ermöglichen die integrale Bewertung der Sicherheit des Endlagersystems.

2 Einleitung, Überblick

Die Nutzung von radioaktiven Materialien führt spezielle Risiken mit sich. Mit zunehmender Erfahrung und zunehmenden Erkenntnissen über die Natur der ionisierenden Strahlung bildete sich ein in Grundzügen international akkordierter regulatorischer Rahmen zum Umgang mit radioaktiven Materialien aus.

Der Betrieb einer kerntechnischen Anlage im Sinne absoluter Sicherheit ist nur in Ausnahmefällen möglich. Um die Nutzung solcher Anlagen trotzdem gewährleisten zu können, muss daher ein Restrisiko definiert werden, das die Auswirkungen auf ein gesellschaftlich akzeptiertes Niveau begrenzt. Zu diesem Zweck sind Sicherheitskriterien unumgänglich.

In Abbildung 1 wird die Verwendung von Sicherheitskriterien für Errichtung und Betrieb eines Endlagers für radioaktive Abfälle schematisch gezeigt. Die Darstellung folgt dabei (IAEA, 2020).

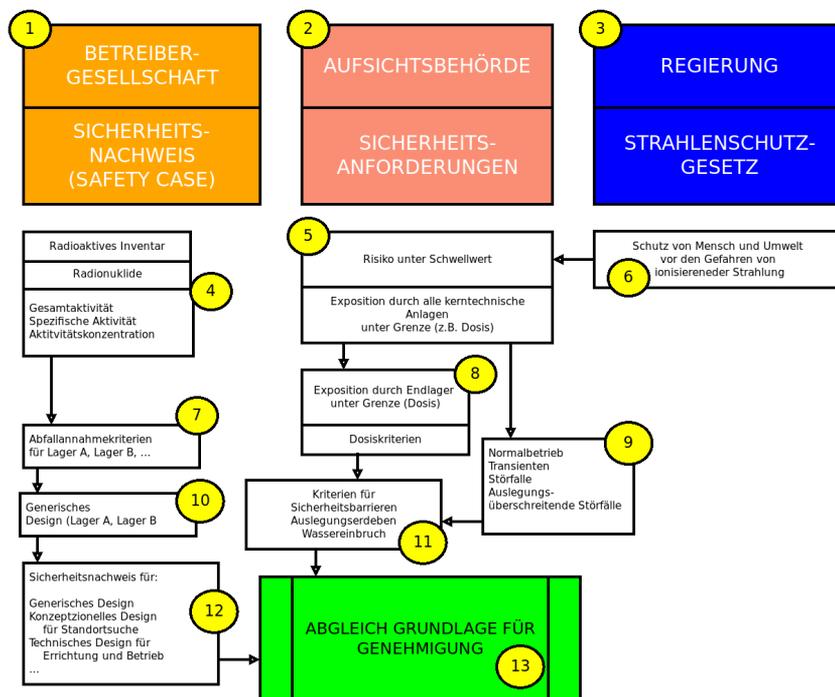


Abbildung 1: Die Verwendung von Sicherheitskriterien zur Bewilligung eines Endlagers im groben schematischen Ablauf.

Aufgabenverteilung

Wichtig für Errichtung und Betrieb eines Endlagers ist die klare Verteilung der Aufgaben. Eine Betreibergesellschaft (1) trägt die Verantwortung für Planung, Sicherheitsnachweis, Errichtung und Betrieb. Ihr gegenüber steht die Aufsichtsbehörde (2), die Sicherheitsziele und hochrangige Sicherheitskriterien vorgibt. Abgeleitete Sicherheitskriterien sind näher an der Anlage und können leichter implementiert werden. Im sogenannten „prescriptive regulatory approach“ werden diese ebenfalls von der Aufsichtsbehörde erlassen – werden sie eingehalten, gelten die hochrangigen Sicherheitskriterien ebenfalls als erfüllt, allerdings kann die Betreibergesellschaft Alternativen vorschlagen. Im „performance based regulatory approach“ müssen nachrangige Sicherheitskriterien jedenfalls von der Betreibergesellschaft vorgeschlagen werden¹. Die Grundlage für die Tätigkeit der Aufsichtsbehörde muss von Regierungsseite gesetzlich geregelt werden, zusammen mit grundlegenden Sicherheitszielen und Sicherheitsgrundsätzen. Das oberste Sicherheitsziel ist der Schutz von Mensch und Umwelt vor den Gefahren von ionisierender Strahlung (6).

Sicherheitsanforderungen Aufsicht

Dieses oberste Sicherheitsziel ist zu allgemein, um als Grundlage für die Auslegung eines Endlagers verwendet werden zu können. Aufgabe der Aufsichtsbehörde ist es daher, nachgelagert Sicherheitsanforderungen zu definieren. Die Sicherheitsanforderungen (Kriterien) müssen einerseits garantieren, dass das Restrisiko gesellschaftlich akzeptabel ist, andererseits flexibel genug, um die Nutzung nicht grundsätzlich zu verunmöglichen. Üblicherweise werden Richtwerte und Grenzen für die Strahlenexposition sowohl einer einzelnen Person, als auch einer relevanten Gruppe von Personen vorgegeben, um dieses Ziel zu erreichen (5). International üblich ist es, einen Grenzwert, der nicht überschritten werden sollte, für die Strahlendosis pro Jahr für jede Anlage vorzugeben (8). Ebenfalls muss berücksichtigt werden, dass es bei der Anlage zu Abweichungen vom Normalbetrieb kommen kann - üblicherweise unterscheidet man mindestens "Transienten", Störungen, mit deren Eintreten man rechnet, Störfälle, deren Eintreten man für unwahrscheinlich, aber möglich hält, und "Design Extension Conditions" DEC, ausgewählte, auslegungsüberschreitende Störfälle, die man für nicht wahrscheinlich hält, die aber trotzdem in ihren Auswirkungen beschränkt sein

¹ Zur Vollständigkeit sei noch der „goal setting regulatory approach“ erwähnt, bei dem lediglich hochrangige Sicherheitsziele vorgegeben werden.

sollen um zusätzliche Sicherheitsmargen zu garantieren. Jede Kategorie, also normaler Betrieb, Transienten, Störfälle und DEC (9) kommt mit eigenen Lastfällen² und Sicherheitskriterien - je öfter ein Lastfall erwartet wird, desto strikter sind die Kriterien.

Aufgabe Betreiber

Der Betreibergesellschaft kommt die Aufgabe zu, ein Endlager im Einklang mit den Sicherheitsanforderungen zu planen, der Aufsicht zur Genehmigung vorzulegen, und zu errichten. Am Anfang dieses Prozesses steht es, das radioaktive Inventar, das entsorgt werden muss, zu erheben (4). An dieser Stelle erfolgt eine Einteilung des Inventars nach Halbwertszeiten und Aktivität. Diese Einteilung ist es, die eine Beurteilung erlaubt, wie das Endlager, oder mehrerer Endlager, technisch umgesetzt werden muss und für welche Zeiträume ein sicherer Einschluss nachgewiesen werden muss (siehe Abbildung 2).

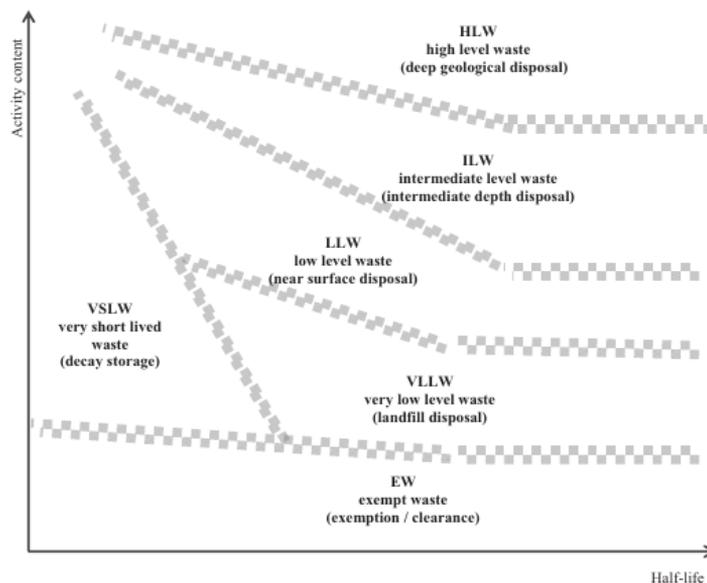


Abbildung 2: Einteilung radioaktiver Abfälle nach (IAEA, 2009)

Wurde eine Vorentscheidung getroffen, müssen Abfallannahmekriterien definiert werden (7). Diese Kriterien zielen darauf ab, sicherzustellen, dass die technische Umsetzung des

² Unter „Lastfall“ wird in diesem Zusammenhang ein Ereignis an der Anlage verstanden, das zu einer erheblichen Störung des Betriebs der Anlage führen kann.

Endlagers dem eingelagerten Abfall entspricht und erlaubt erst die Sicherheitsanalyse. Liegen verschiedene Abfallkategorien vor, kann es sinnvoll sein, verschiedene Lager zu planen (10).

Ist eine Vorentscheidung getroffen, wird nun ein generischer (standortunabhängiger) Sicherheitsnachweis erstellt (Safety Case). Ziel dieses Nachweises ist es, zu zeigen, dass die Sicherheitskriterien für alle Betriebszustände, Transienten, Störfälle und DEC eingehalten werden (12). Ergebnis einer solchen Analyse ist der Nachweis, dass, sollte einer der betrachteten Lastfälle eintreten, Freisetzungen von radioaktivem Material unter einen bestimmten Wert begrenzt ist. Um von Freisetzungen zu Dosisbelastungen zu gelangen, müssen mit Ausbreitungsrechnungen Aktivitätskonzentrationen bzw. Flächenkontaminationen ermittelt werden, von denen dann, je nach Anforderung mit verschiedenen Methoden, Dosisbelastungen abgeleitet werden.

Oft ist es zweckmäßig, die Dosiskriterien in Anforderungen an die Anlage zu übersetzen - etwa, wenn garantiert werden kann, dass die Freisetzungen aus der Anlage während eines Störfalls ein bestimmtes Niveau nicht übersteigen, können Verletzungen der Dosiskriterien ausgeschlossen werden. Wie die internationale Praxis zeigt, können solche abgeleiteten Kriterien (11) sowohl von Aufsicht als auch von Betreiberseite vorgeschlagen werden.

Dieser Abgleich des Sicherheitsnachweises mit den Anforderungen muss an mehreren Stellen im Prozess zum Endlager durchgeführt werden, mit immer größerer Detailtiefe. Der erfolgreiche Nachweis, dass die Anforderungen eingehalten werden, ist die Grundlage der Genehmigung (13).

3 Schutzziele

Schutzziele legen fest, welches Sicherheitsniveau mit Maßnahmen aller Art hinsichtlich einer bestimmten Gefahrenkategorie im Minimum erreicht werden muss. Sie sind so zu formulieren, dass sie den angestrebten Endzustand darstellen, lassen aber den Weg, wie das Ziel erreicht werden soll, möglichst offen. Mit der Erstellung von Schutzzielen wird auch die Basis für die Erfüllung des §17 Abs 2 StrSchG 2020 gelegt³.

Die Schutzziele werden im Folgenden in strategische und operationalisierte Schutzziele unterteilt. Strategische Schutzziele sind abstrakt gehalten, während operationalisierte Schutzziele mit Schwellenwerten zu hinterlegen sind. Letztere werden damit messbar gemacht und beteiligte Akteure benannt.

Aus operationalisierten Schutzzielen ergeben sich jene Maßnahmen, die durchzuführen sind, um das aktuelle Schutzniveau dem Schutzziel (Soll-Zustand) anzugleichen. Das Schutzniveau spiegelt den aktuellen Ist-Zustand eines Schutzgutes wider und wird definiert als „(...) relatives Maß für den aktuellen Schutzstatus einer kritischen Infrastruktur in Bezug auf eine spezifische Gefahr“⁴.

Endlagerung verfolgt zwei wesentliche strategische Schutzziele (Vgl. StrSchG 2020, §4, §5 und §6):

- Dauerhafter Schutz von Mensch, Tier und Pflanze, deren Lebensgrundlagen und deren natürliche Umwelt vor ionisierender Strahlung und sonstigen schädlichen oder nachteiligen Wirkungen radioaktiver Abfälle unter Wahrung bestmöglicher

³ StrSchG 2020, §17, Abs 2: *In den Bescheid, mit dem eine Bewilligung gemäß Abs. 1 erteilt wird, sind unter Berücksichtigung des Grundsatzes der Optimierung und gegebenenfalls der Errichtungsbewilligung die erforderlichen Bedingungen und Auflagen aufzunehmen, deren Erfüllung und Einhaltung für einen ausreichenden Strahlenschutz notwendig ist, wobei auch potenzielle Expositionen und radiologische Notfälle sowie gegebenenfalls die Beseitigung von radioaktiven Materialien zu berücksichtigen sind. Insbesondere ist unter Bedachtnahme auf die beabsichtigte Tätigkeit die erforderliche Anzahl von weiteren Strahlenschutzbeauftragten sowie erforderlichenfalls die Anzahl von Medizinphysikerinnen/Medizinphysikern vorzuschreiben.*

⁴ Lenz, S., 2009. Vulnerabilität Kritischer Infrastrukturen, Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe, Pf 18 67, 553008 Bonn, ISBN-13:978-3-939347-11-8

Sicherheit und Vermeidung jeglicher unnötigen Exposition oder Kontamination von Mensch und Umwelt.

- Jede Exposition oder Kontamination von Mensch, Tier und Pflanze, deren Lebensgrundlagen und deren natürliche Umwelt unter Beachtung des Standes von Wissenschaft und Technik und unter Berücksichtigung aller Umstände des Einzelfalls auch unterhalb der festgesetzten Grenzwerte so gering wie vernünftigerweise möglich zu halten.

Unabhängig von Typ und Standort des Endlagers lassen sich die operationellen Schutzziele eines Endlagers während der verschiedenen Stadien der Endlagerung definieren:

- Einschluss der radioaktiven Stoffe,
- Vermeidung unnötiger Strahlenexpositionen,
- Begrenzung und Kontrolle der Strahlenexposition
- gegebenenfalls für spezielle radioaktive Abfälle auch: sichere Einhaltung der Unterkritikalität.

Daraus ableitbar sind folgende Anforderungen auf Basis derer sich letztlich Maßnahmen zur Erreichung eines zu definierenden Schutzniveaus ergeben:

- Abschirmung der ionisierenden Strahlung,
- betriebs- und instandhaltungsgerechte Auslegung und Ausführung der Einrichtungen,
- sicherheitsgerichtete Organisation und Durchführung des Betriebes,
- sichere Handhabung, sicherer Transport und sichere Lagerung der radioaktiven Stoffe,
- Auslegung gegen Störfälle und
- sofern wegen des Freisetzungspotenzials erforderlich, Maßnahmen zur Begrenzung der Schadensauswirkungen von auslegungüberschreitenden Ereignissen.

4 Indikatoren

Zur Beurteilung der Sicherheit eines Endlagers für radioaktive Abfälle werden Bewertungskriterien benötigt. Wichtige Kriterien werden im Folgenden kurz vorgestellt.

4.1 Risiko

Im täglichen Gebrauch werden Begriffe wie Risiko, Wahrscheinlichkeit und / oder Gefahr oft synonym gebraucht.

So wird bei einer Aussage wie „Das Risiko, dass es regnet, ist hoch“ keine Information über den möglichen Schaden, der durch den Regen ausgelöst würde, gegeben.

Diese Begriffe sind jedoch fachsprachlich definiert. Das Risiko beschreibt dabei die Kombination aus einer Eintrittswahrscheinlichkeit (Exposition) für eine bestimmte Gefahr und die Größe des Schadens durch eben dieser Gefahr bei Exposition.

Ziel der Endlagerung radioaktiver Abfälle ist es, das Risiko für die Bevölkerung zu minimieren. Durch natürliche Zerfallsprozesse sinkt die Gefahr radioaktiver Abfälle mit der Zeit. Wenn das Risiko über den Prozess der Zwischenlagerung, Konditionierung und Einlagerung in etwa gleichbleiben soll, muss entsprechend die Wahrscheinlichkeit der Exposition reduziert werden (Hedin, 1997). Ein möglichst konstantes Risiko wird auch bei der Bewertung anderer kerntechnischer Anlagen zugrunde gelegt. Bei Kernkraftwerken werden verschiedene Wahrscheinlichkeitsklassen (Normalbetrieb, Transienten, Unfälle und schwere Unfälle) definiert. Mit sinkender Eintrittswahrscheinlichkeit werden höhere mögliche Freisetzungen von den Bewilligungsbehörden Aufsichtsbehörden toleriert.

Das Risiko, aufgrund eines Endlagers an tödlichem Krebs zu erkranken oder erhebliche Erbschäden zu erfahren sollte laut IAEA $10E-5$ pro Jahr nicht überschreiten (IAEA, 2011, p. 13). Auch Deutschland bezieht sich auf einen Risikogrenzwert von $10E-5$ (BMU, 2010). Das Vereinigte Königreich ist konservativer und setzt als Ziel, dass das Risiko nicht größer als $10E-6$ sein soll (Environment Agency, 2009, p. 40)

4.2 Dosis

Strahlung oberhalb einer bestimmten Schwellenenergie kann Elektronen von Atomen trennen. Eine solche Strahlung wird als ionisierende Strahlung bezeichnet. Das entstehende Atom wird als Ion bezeichnet. Dabei kann es sich sowohl um elektromagnetische Strahlung (z.B. Gammastrahlung) als auch um Strahlung aus Teilchen (z.B. Alpha- oder Beta-Teilchen) handeln. Die Wechselwirkung der Strahlung mit lebendem Gewebe und insbesondere mit der DNA kann den gesamten Organismus schwer schädigen. Die biologischen Auswirkungen einer bestimmten Strahlenbelastung wird durch die Größe Dosis beschrieben.

Die Energiedosis beschreibt, wie viel Energie pro Masseneinheit in einem bestimmten Volumen absorbiert wird. Sie wird in Einheiten von Gray (Joule pro kg) gemessen und skaliert proportional zur Anzahl der absorbierten Teilchen und zur Dauer der Exposition: doppelt so viele Teilchen einer bestimmten Energie verdoppeln die Dosis. Eine dreimal so lange Expositionszeit bei einer bestimmten Dosisleistung erzeugt die dreifache Dosis.

Verschiedene Teilchen, die dieselbe Energie deponieren, können das Gewebe unterschiedlich stark schädigen. Alphateilchen sind stark ionisierend und richten daher größeren Schaden an als die gleiche Dosis an Beta-Teilchen. Diesem Unterschied wird durch die so genannte Äquivalentdosis Rechnung getragen. Die Einheit zur Messung der Äquivalentdosis ist das Sievert (Sv). Die Umrechnung von Energiedosis in Äquivalentdosis erfolgt durch Multiplikation der Werte mit teilchenspezifischen Gewichtungsfaktoren.

Weder bei der Energiedosis noch bei der Äquivalentdosis wird die Tatsache berücksichtigt, dass Organe und Gewebe unterschiedlich empfindlich auf Schäden durch ionisierende Strahlung reagieren. Diese Unterschiede werden in der effektiven Dosis berücksichtigt. Effektive Dosen werden ebenfalls in Sievert gemessen. Dosiskoeffizienten beschreiben das Verhältnis zwischen der physikalischen Größe (Anzahl und Energie der einfallenden Teilchen) und den Auswirkungen auf das menschliche Gewebe. Die Internationale Strahlenschutzkommission (ICRP) veröffentlicht regelmäßig Dosiskoeffizienten und die oben erwähnten Gewichtungsfaktoren.

Diese Dosiskoeffizienten unterliegen der beständigen wissenschaftlichen Evaluation. Sie werden regelmäßig an die neuesten verfügbaren wissenschaftlichen Erkenntnisse aus Biologie und Physik der Strahlenexposition angepasst.

Die Auswirkungen der Strahlung können in deterministische oder frühe gesundheitliche Auswirkungen und stochastische oder verzögerte gesundheitliche Auswirkungen unterteilt werden. Frühe gesundheitliche Auswirkungen sind das Ergebnis einer hohen Exposition in kurzer Zeit. Ab einer Dosis von etwa 250 mSv kommt es zu (temporären) Veränderungen am Blutbild. Je höher die Dosis, desto gravierender sind die Auswirkungen.

Stochastische Effekte treten bei kontinuierlicher oder schwacher Exposition auf. Die Schädigung der Zellen kann zu Krebs oder Erbkrankheiten führen, muss es aber nicht. Die Anzahl bestimmter Effekte einer schwachen Exposition in einer großen Gruppe von Menschen kann geschätzt, aber nicht für einzelne Personen vorhergesagt werden. Für Einzelpersonen können nur Wahrscheinlichkeiten für das Auftreten bestimmter Effekte angegeben werden. Ein typisches Beispiel für einen stochastischen Effekt ist strahleninduzierter Krebs, der noch Jahrzehnte nach der Exposition auftreten kann. Eine höhere Exposition macht das Auftreten wahrscheinlicher, beeinflusst aber nicht unbedingt die Schwere des Effekts.

Die bisherigen Ausführungen zeigen bereits ein grundsätzliches Problem auf: Dosen lassen sich auf unterschiedliche Art und Weise und unter Zuhilfenahme unterschiedlicher Koeffizienten berechnen. So ist zum Beispiel einsichtig, dass die Ausrichtung des Körpers in Bezug auf eine Strahlungsquelle die Dosis auf bestimmte Organe beeinflusst.

Um wenigstens eine gewisse Vergleichbarkeit der berechneten Dosen zu erhalten, definiert die Internationale Strahlenschutzkommission eine „repräsentative Person“ und gibt Anleitung, wie die Individualdosis für diese Person zu ermitteln ist (ICRP, 2006).

Für den Strahlenschutz sind außerdem Kollektivdosisgrößen eingeführt worden. Dabei werden die Expositionen aller zu einer Gruppe gehörenden Personen für eine bestimmte Dauer zusammengefasst. Diese Zusammenfassung basiert auf der Annahme, dass unterschiedliche Expositionen als additiv angesehen werden können (Linear-no-threshold LNT model). Die Einheit der Kollektivdosis ist Personen-Sievert (man Sv).

Aufgrund der großen biologischen und statistischen Unsicherheiten können Kollektivdosen nicht zur Risikoabschätzung verwendet werden. Die Kollektivdosis dient dazu, verschiedene Szenarien und Maßnahmen in Bezug auf die zu erwartenden Dosen zu vergleichen.

Eine Strahlenbelastung lässt sich allein durch die natürliche Hintergrundstrahlung nicht vollständig vermeiden. Die grundlegenden Prinzipien zum Schutz der Menschen vor den gefährlichen Folgen ionisierender Strahlung sind aber immer gleich: Exposition und Dosis sollen "so niedrig wie vernünftigerweise erreichbar" gehalten werden (ALARA). Dies erreicht man dadurch, dass die Dauer der Exposition minimiert, der Abstand zur Strahlungsquelle maximiert und so viel Abschirmung wie möglich angewendet wird. In den meisten Ländern ist 1 mSv/Jahr für die allgemeine Bevölkerung als maximal zulässige Strahlungsbelastung zusätzlich zum natürlichen Hintergrund gesetzlich festgelegt angesehen (Beispiel Österreich, Deutschland, Frankreich, USA). Für die Dosisrate, die von einem Endlager für radioaktive Abfälle ausgeht, werden niedrigere Grenzwerte vorgegeben (siehe Tabelle 1). Die IAEA empfiehlt, dass die zusätzliche Dosisbelastung von einem Endlager nicht höher als 0,3 mSv/Jahr sein sollte. Dieser Wert wird auch in der deutschen Strahlenschutzverordnung als Grenzwert für die Belastung durch Abluft und Abwasser einer beliebigen kerntechnischen Anlage genannt (StrlSchV, 2018). Für ein Endlager in der Nachverschlussphase liegt der Grenzwert bei 0,01mSv/Jahr oder 0,1 mSv/Jahr, je nach Wahrscheinlichkeit des zugrundeliegenden Ereignisses. Die 0,01 mSv/Jahr für die wahrscheinliche Entwicklung entsprechen auch der Freigabegrenze für radioaktive Abfälle, ab der keine besonderen Vorkehrungen mehr getroffen werden müssen (de minimis Prinzip). In Tabelle 1 sind die Dosisbelastungen, die maximal von einem Endlager für radioaktive Abfälle ausgehen darf, für einige weitere Länder gelistet. Die IAEA toleriert zusätzlich für den Fall des menschlichen Eindringens in das Endlager Jahresdosen von bis zu 20 mSv, solange Maßnahmen getroffen werden, ein solches Eindringen nach Möglichkeit zu verhindern (IAEA, 2011).

Tabelle 1: Dosisgrenzwerte für die Bevölkerung (von einem Endlager für radioaktive Abfälle)

	Dosisgrenzwert	Anmerkung	Quelle
Deutschland	0,010 mSv/Jahr	Nachverschlussphase, wahrscheinliche Entwicklung	(BMU, 2010 Absatz 6.2)
	0,1 mSv/Jahr	Nachverschlussphase, weniger wahrscheinliche Entwicklung	(BMU, 2010 Absatz 6.3)

Frankreich	0,25 mSv/Jahr	Selbstverpflichtung ANDRA (freiwillig)	(France, 2017, p. 116)
United Kingdom	0,15 mSv/Jahr	vor der Nachbetriebsphase	(Environment Agency, 2009, p. 46)
USA	0,15 mSv/Jahr	Yucca Mountain	(Code of Federal Regulations, 2001)
IAEA	0,3 mSv/Jahr	Empfehlung	(IAEA, 2011)

4.3 Radiotoxizität

Die Radiotoxizität Ingestionsdosisrate gibt an, in welchem Ausmaß die Aufnahme bestimmter Radionuklide beziehungsweise einer Mischung, die Radionuklide enthält, den menschlichen Körper schaden würde. Dabei werden tabellierte Konversionskoeffizienten für die verschiedenen Radionuklide verwendet (ICRP, 2012).

Im Kontext der Endlagerung radioaktiver Abfälle wird dabei davon ausgegangen, dass die Zusammensetzung der radioaktiven Abfälle im Endlager der Zusammensetzung entspricht, die in den Körper aufgenommen wird. Dies ist eine sehr weitreichende Annahme, da unterschiedliche Radionuklide ein unterschiedliches Mobilitätsverhalten, zum Beispiel aufgrund unterschiedlicher Löslichkeiten in Wasser, zeigen. Nur ein Teil der eingelagerten Nuklide aus einem Endlager kommt mit der Biosphäre und letztendlich mit dem Menschen in Kontakt (Schmidt et al., 2013). Die Radiotoxizität ist nur von der Zusammensetzung des radioaktiven Abfalls abhängig. Weder die Form, in der er vorliegt, noch Lagerungsart oder -ort machen einen Unterschied.

Der Radiotoxizitätsindex auf Basis des Endlagerinventars stellt somit nur ein unzureichendes Maß zur Bewertung der von diesem Endlager ausgehenden Gefahr dar. Er beschreibt vor allem die Situation eines geplanten oder unbeabsichtigten Eindringens des Menschen in die Lagerstätte. Es wird angenommen, dass die Wahrscheinlichkeit der Aufnahme in den

Körper für alle Radionuklide gleich ist. Eine Bewertung der Langzeitsicherheit eines Endlagers muss aber mehr berücksichtigen als die Radiotoxizität des Gesamtinventars allein. Dies wird im Rahmen von Langzeitsicherheitsanalysen für einen konkreten, hypothetischen Endlagerstandort getan.

Zusätzlich zu den radiologischen Grenzwerten müssen auch nichtradiologische Grenzwerte, bspw. für Schadstofffreisetzungen, beachtet werden.

4.4 Zulässige Aktivitäten

Das Ziel der Endlagerung ist es, die Freisetzung von Radionuklide zu vermeiden, um Mensch und Umwelt zu schützen. Die mögliche gesundheitliche Gefährdung des Menschen wird durch die Dosis bestimmt. In der Allgemeinen Strahlenschutzverordnung sind Dosisgrenzwert für die Exposition der Bevölkerung (§6) gegeben. Dosisbelastungen sind allerdings hoch situationspezifisch. Die Aktivität (oder Aktivitätskonzentrationen) hingegen ist eine reine Messgröße und physikalisch eindeutig bestimmt.

Deswegen werden aus den Dosisgrenzwerten maximal zulässige Aktivitätsinventare für die einzelnen Radionuklide durch Modellierung und Gewichtung verschiedener Expositionspfade bestimmt. Dabei sind insbesondere die Löslichkeit der verschiedenen Radionuklide aus der Abfallmatrix, die mögliche Einbringung in verschiedene Stoffkreisläufe und das Verhalten potentiell exponierter Personen zu betrachten. Das maximale Aktivitätsinventar wird pro Gebinde und für die gesamte Anlage angegeben und ist standortspezifisch (IAEA, 2008).

Je nach Radionuklid kann die höchstmögliche Aktivitätskonzentration im Gebinde / Endlager auch durch andere Parameter vorgegeben sein. Dazu gehören zum Beispiel die Vermeidung von Kritikalitäten oder die notwendige Abfuhr entstehender Wärme. Höhere Dosisraten erfordern zudem strengere Abschirmmaßnahmen während Konditionierung und Einlagerung.

5 Sicherheitsanforderungen

5.1 Grundanforderungen

Die radioaktiven Abfälle müssen kurz-, mittel- und langfristig sicher von der Biosphäre ferngehalten werden. Dies fordert ein ethisches Gebot, Schäden für Mensch und Umwelt zu vermeiden. Es betrifft das gesamte zeitliche Spektrum im Umgang mit den Abfällen von der Einlagerung in Behälter, über Transportvorgänge, notwendige Zwischenlagerung, Einlagerung in das Endlager bis hin zum Zustand des verschlossenen Lagers und für die Zeit danach.

Der dauerhafte Schutz von Mensch und Umwelt ist unter Beachtung folgender aus den allgemeinen Schutzziele ableitbarer Sicherheitsziele zu erreichen:

- Die Endlagerung muss sicherstellen, dass Mensch und Umwelt angemessen vor radiologischer und sonstiger Gefährdung geschützt werden.
- Die radioaktiven und sonstigen Schadstoffe in den Abfällen müssen im einschlusswirksamen Endlagersystem konzentriert und eingeschlossen und damit möglichst lange von der Biosphäre ferngehalten werden.
- Die Endlagerung muss sicherstellen, dass Freisetzungen radioaktiver Stoffe aus dem Endlager langfristig die aus der natürlichen Strahlenexposition resultierenden Risiken nicht oder nur sehr wenig erhöhen.
- Die potenziellen Auswirkungen der Endlagerung für Mensch und Umwelt sollen das Maß heute akzeptierter Auswirkungen nicht übersteigen.
- Die Endlagerung darf die Artenvielfalt nicht gefährden. Dabei wird davon ausgegangen, dass auch terrestrische Ökosysteme sowie andere Spezies in ihrer Art geschützt werden, wenn der Mensch als Individuum vor ionisierender Strahlung geschützt ist.
- Die anderweitige Nutzung der natürlichen Ressourcen darf durch die Endlagerung nicht unnötig eingeschränkt werden.

- Die Auswirkungen der Endlagerung auf Mensch und Umwelt dürfen außerhalb der österreichischen Landesgrenzen nicht größer sein als innerhalb Österreichs zulässig.
- Das Endlagerkonzept, einschließlich der benötigten Technologien und der Behälter muss von Anfang an so ausgelegt werden, dass Optionen zur Rückholung oder Bergung nicht unterlaufen werden. Diese Forderung hat auch Einfluss auf die Anforderungen an die langfristige Haltbarkeit der Behälter. (Reversibilität von Entscheidungen)
- Das Endlager ist so zu errichten und zu betreiben, dass für den zuverlässigen langfristigen Einschluss der radioaktiven Abfälle in der Nachverschlussphase keine Eingriffe oder Wartungsarbeiten erforderlich werden (Vermeidung unzumutbarer Belastungen für zukünftige Generationen).

Zusätzliche Sicherheitsanforderungen ergeben sich aus dem österreichischen Strahlenschutzgesetz (StrSchG 2020), dass jede unnötige Strahlenexposition oder Kontamination von Mensch und Umwelt zu vermeiden ist und jede Strahlenexposition oder Kontamination von Mensch und Umwelt unter Beachtung des Standes von Wissenschaft und Technik und unter Berücksichtigung aller Umstände des Einzelfalls auch unterhalb der Grenzwerte so gering wie möglich zu halten ist (vgl dazu zB StrSchG 2020, §5.)

5.2 Anforderungen an die Abfälle, Konditionierungsmatrix, Gebinde und Behälter

5.2.1 Einschluss radioaktiver Stoffe

Der österreichische radioaktive Abfall wird von der NES GmbH in Seibersdorf gesammelt, aufgearbeitet, konditioniert und zwischengelagert. Da es noch kein Endlager in Österreich gibt, existieren dafür bisher auch keine Annahmekriterien (Waste Acceptance Criteria WAC). Es wurden daher WAC für das Zwischenlager der NES GmbH in Seibersdorf definiert sich an internationalen Beispielen für vergleichbare nieder- und mittelradioaktive Abfälle, für die bereits Endlager oder weiter fortgeschrittene Endlagerprojekte existieren. Die WAC für das Zwischenlager stellen somit bereits zum großen Teil Anforderungen dar, die auch für das Endlager gelten werden und können somit als Ausgangsbasis für diese genommen

werden. Ergänzt werden müssen jedenfalls endlagerspezifische Anforderungen wie beispielsweise jene hinsichtlich der Endlagerbehälter (over-pack). Um auf die konkreten Anforderungen des zukünftigen österreichischen Endlagers reagieren zu können, wird jedoch bei der Konditionierung fürs Zwischenlager nach maximaler Flexibilität getrachtet. So werden beispielsweise hochdruckverpresste Abfälle (Presslinge) in 200L Fässer eingebracht, aber noch nicht mit Beton vergossen. In den WAC des Zwischenlagers werden unter anderem die Standardbehälter (d.s. 200L Fässer) definiert, es werden die Abfallarten (Art der Konditionierung) festgelegt, strahlenschutzrelevante Eigenschaften beschrieben sowie Angaben zum Abfallprodukt und Anforderungen an die Dokumentation festgehalten.

Bei der endlagergerechten Konditionierung von radioaktiven Abfällen entsteht in unterschiedlichen Verfahren (z.B. Verbrennen, Verpressen, Betonieren, ...) das eigentliche **Abfallprodukt**, dieses wird in einen **Abfallbehälter** (Endlagerbehälter) verpackt und daraus entsteht das fertige **Abfallgebilde**, das dann in das Endlager verbracht werden kann. Die im österreichischen Zwischenlager befindlichen Fässer sind in diesem Sinn daher als Abfallprodukt zu verstehen, da davon auszugehen ist, dass sie für die Endlagerung noch in einen geeigneten Endlagerbehälter eingebracht werden müssen. Teilweise befindet sich der Abfall jedoch auch schon in Behältern, die – erforderlichenfalls nach zusätzlichen Arbeitsschritten wie vergießen mit Beton – direkt in ein Endlager verbracht werden können und nicht mehr in einen Überbehälter verpackt werden müssen. Diese können somit als Abfallgebilde betrachtet werden (Konrad- und MOSAIK-Behälter, diese haben z.B. in Deutschland eine Zulassung als Endlagerbehälter).

In einem Endlager sollen radioaktive Abfälle so lange von der Biosphäre abgeschlossen werden, bis von ihnen keine Gefährdung für Menschen und Umwelt mehr ausgeht. Umgesetzt wird dies in der Regel durch ein sogenanntes „Multi-Barrier“ Konzept, bei dem verschiedene Barrieren die Ausbreitung der radioaktiven Stoffe verhindern oder verzögern. Zu diesen Barrieren können je nach Auslegung des Endlagers folgende Komponenten zählen:

- Abfallprodukt (-matrix)
- (Endlager-) Behälter, in dem der Abfall (das Abfallprodukt) verpackt ist
- Backfill-Material, mit dem die Abfallgebilde im Endlager verfüllt werden
- Etwaige zusätzliche technische Barrieren (z.B. Dichtschichten, Betonkavernen, Erdüberdeckung, ...)
- Geologische Formationen und Umwelt-/Umgebungsgegebenheiten

Die detaillierten Anforderungen an die endzulagernden Abfallgebinde (WAC) ergeben sich aus der (standortspezifischen) Sicherheitsanalyse des jeweiligen Endlagers, wobei hier die Art des Endlagers (z.B. Oberflächen(nahes) Lager, geologisches Endlager, Bohrlochlager, ...) einen entscheidenden Einfluss hat. Ziel ist dabei immer die Sicherheit des Lagers im Routinebetrieb, bei unterstellten Störfällen sowie in der Phase nach Verschluss des Lagers. Von besonderer Bedeutung ist unter anderem, ob dem Abfallgebinde selbst eine Barrierenfunktion (Verhinderung bzw. Verzögerung der Ausbreitung radioaktiver Stoffe) zukommt, oder ob diese vom Design des Endlagers selbst übernommen wird (z.B. Backfill-Material, technische Barrieren, Geologie, ...). Im ersten Fall ist bei kurzlebigen nieder- und mittelradioaktiven Abfällen von einer notwendigen Integrität des Abfallgebundes von 300-500 Jahren auszugehen, im zweiten Fall hat das Abfallgebinde selbst nach der Einlagerung keine Sicherheitsfunktion mehr. Dennoch wird auch in diesem Fall ein Mindestmaß an Dauerhaftigkeit und Widerstandsfähigkeit an das Abfallgebinde zu stellen sein, da es jedenfalls eine etwaige Zwischenlagerung, den Transport zum Endlager, das Handling im Zuge der Einlagerung sowie eine eventuelle Rückholung zumindest bis zum Verschluss des Lagers sicher überstehen muss. Es ist daher eine Beständigkeit der Gebinde für diesen Zeitraum erforderlich, erfahrungsgemäß ist somit auch hier in der Regel von einer nötigen Beständigkeit des Gebundes für etwa 50 Jahre auszugehen. Bei den österreichischen Verhältnissen wird es bezüglich der an die Abfallgebinde zu stellenden Anforderungen auch eine große Rolle spielen, ob diese am Ort der Zwischenlagerung hergestellt und dann zum Endlager verbracht werden (Einhaltung der Transportbestimmungen oder geeignete Überbehälter) oder erst am Ort der Endlagerung hergestellt werden sollen.

Als Beispiele für Endlager, in denen die Gebinde keine Barrierenfunktion ausüben, können Oberflächenlager für kurzlebige niederradioaktive Abfälle oder geologische Lager für langlebige nieder- und mittelradioaktive Abfälle genannt werden. Je nach Auslegung und Design des Lagers kann jedoch eine Barrierenfunktion des Gebundes sehr wohl auch bei Oberflächenlagern für kurzlebige schwachradioaktive Abfälle erforderlich sein, da etwa Cäsium und Strontium in der Regel sehr gut in Wasser löslich sind und von geologischen Materialien schlecht gebunden werden, wodurch es bei Zutritt von Grundwasser zu einer unkontrollierten Verbreitung kommen könnte.

Auch wenn die detaillierten Anforderungen an Abfallprodukt, Abfallgebinde und Abfallbehälter erst im Rahmen der Sicherheitsanalyse für das Endlager unter Berücksichtigung aller Rahmenbedingungen wie Standort, Auslegung des Endlagers und der Sicherheitsbarrieren, etc. entwickelt werden können, gibt es doch allgemein gültige Punkte, die in den folgenden beiden Kapiteln dargelegt werden sollen.

5.2.2 Abfallprodukte und -gebinde

In diesem Kapitel werden Anforderungen an das Abfallprodukt bzw. das Abfallgebinde beschrieben. Je nach Art der Anforderung ist diese entweder vom Abfallprodukt selbst oder in Verbindung mit dem Abfallbehälter, also vom Abfallgebinde als Ganzem zu erfüllen.

- Das Abfallprodukt muss in fester Form vorliegen.
- Das Abfallprodukt bzw. seine Bestandteile dürfen nicht faulen, gären oder sich sonst biologisch oder mikrobiell verändern bzw. zersetzen.
- Im Abfallgebinde dürfen sich bis auf sinnvoll erreichbare und nicht vermeidbare Restgehalte keine Flüssigkeiten oder Gase in Ampullen, Flaschen o.ä. befinden.
- Im Abfallgebinde dürfen sich bis auf sinnvoll erreichbare und nicht vermeidbare Restgehalte keine frei beweglichen Flüssigkeiten befinden, noch dürfen diese vom Abfallprodukt unter üblichen Lagerungs- und Handhabungsbedingungen freigesetzt werden.
- Das Abfallprodukt darf keine selbstentzündlichen oder explosiven Stoffe enthalten.
- Hohlräume im Abfallgebinde sind so gering wie technisch möglich zu halten. Neben dem Aspekt der optimalen Ausnutzung des Behältervolumens aus finanziellen Gründen können Hohlräume Nachteile hinsichtlich der mechanischen Stabilität der Gebinde während der Handhabung und des Transports mit sich bringen und zu Problemen nach der Einlagerung ins Endlager führen (z.B. Nachgeben der Gebinde infolge des Drucks durch die Stapelung der Gebinde oder die Konstruktion des Endlagers, in der Folge Einsinken der Endlager-Überdeckung, ...). Daneben können Hohlräume zwischen dem Abfallprodukt und dem Behälter zu lokalen Korrosionserscheinungen führen, da es hier zu Kondensation und Sauerstoffzutritt zur Behälteroberfläche kommen kann. Überdies könnten sich in Hohlräumen im ungünstigsten Fall explosive Atmosphären ausbilden. Da beim Herstellungsprozess der Abfallgebinde manchmal Effekte wie Schwinden oder Schwellen des Materials in der ersten Zeit nach der Produktion auftreten können, sind diese – sofern notwendig und sinnvoll – zu berücksichtigen und durch zusätzliche Maßnahmen (z.B. Nachfüllen nach einer gewissen „Ruhezeit“) zu entschärfen. Derartige Maßnahmen sind nicht notwendig, wenn durch die Auswahl des Abfallbehälters sichergestellt ist oder auf

sonstige Weise nachgewiesen werden kann, dass die Hohlräume zu keinen Problemen führen können.

- Die Abfallgebinde sind ohne Überdruck zur Einlagerung anzuliefern. Ein Druckaufbau infolge Gasbildung im Gebinde ist beispielsweise durch Korrosionsprozesse, Radiolyse und andere chemische oder biologische Prozesse möglich. Ist eine Gasbildung und damit der Aufbau eines Überdrucks im Gebinde durch die Art der Konditionierung nicht mit Sicherheit auszuschließen und ist ein solcher aufgrund der Beschaffenheit des Abfalls zu befürchten, dürfen die Abfallgebinde mit geeigneten Druckentlastungsvorrichtungen (z.B. Sintermetallfilter, Ventile, ...) ausgeführt werden. Dabei ist jedoch nachzuweisen, dass dadurch keine strahlenschutzrelevanten Probleme wie unzulässige Freisetzungen entstehen können und die Druckentlastungsvorrichtungen auch in ausreichendem Maß langzeitbeständig sind (z.B. hinsichtlich Korrosion oder Umwelteinwirkungen im Endlager), sofern deren Funktion auch im Endlager noch sicherheitstechnisch relevant ist. Grundsätzlich ist jedoch bereits beim Konditionierungsprozess alles zu unternehmen, sodass eine Gasbildung in den Abfallgebinden so weit wie möglich unterbunden wird (z.B. durch Inertisierung des Materials, Trocknung der Abfälle/Gebinde, ...).
- Es ist eine Oberflächendosisleistung⁵ von 2 mSv/h sowie eine Dosisleistung von 0,1 mSv/h in 1 m Entfernung von zylindrischen Gebinden sowie in 2 m Entfernung bei quaderförmigen Gebinden als Maximalwert einzuhalten.
- Es sind die Grenzwerte für die Oberflächenkontamination¹ 1 Bq/cm² für Gesamt-Betastrahler sowie 0,1 Bq/cm² für Gesamt-Alphastrahler einzuhalten.
- Der Gehalt an spaltbaren Stoffen (U-233, U-235, Pu-239, Pu-241) in den Abfallgebinden ist so zu beschränken, dass eine Kritikalität unter worst-case Annahmen (z.B. Sättigung mit Grundwasser, ungünstigste Geometrie, ...) mit Sicherheit ausgeschlossen werden kann. Dies ist einerseits für jedes einzelne Gebinde zu betrachten, andererseits ist auch die Anordnung der Gebinde im Endlager und die

⁵ Diese Anforderungen sind insbesondere für die Handhabung der Gebinde bis zur Einlagerung in das Endlager bedeutend

gegenseitige Beeinflussung zu berücksichtigen⁶.

- Sofern bei der Herstellung des Abfallprodukts (Konditionierung) ein Fixierungsmittel verwendet wird, sind folgende Anforderungen zu erfüllen:
 - Reaktionen zwischen Abfall, Fixierungsmittel und Verpackung (Behälter) sind auf eine sicherheitstechnisch unbedenkliche Rate zu beschränken.
 - Das Fixierungsmittel muss vollkommen abgebunden haben und erstarrt sein.
 - Die Hohlräume im Abfallgebinde sind weitestgehend zu minimieren (siehe dazu auch Punkt weiter oben), daher sind Hohlräume im Abfall, zwischen etwaigen Innenbehältern sowie zwischen Abfall und Abfallbehälter mit geeigneten fließfähigen Mitteln zu vergießen, erforderlichenfalls hat eine technische Verdichtung z.B. durch Rütteln zu erfolgen.
 - Werden für das Fixierungsmittel radioaktiv kontaminierte Materialien (z.B. Stäube, Flüssigkeiten, ...) verwendet, so sind diese in der Bilanzierung des Radionuklidinventars des Gebindes zu berücksichtigen.

- Bei möglicher Freisetzung radioaktiver Gase (z.B. Tritium, Radon, ...) sind alle für die ausreichende Dichtheit der Gebinde notwendigen Maßnahmen zu ergreifen, wobei alle Stadien der Abfallbehandlung (Lagerung, Transport, Einlagerung, Nach-Verschluss Phase) zu berücksichtigen sind. Dabei sind auch die Aspekte eines möglichen Druckaufbaus und der möglichen sicherheitstechnischen Auswirkungen in die Überlegungen einzubeziehen.

- Die Grenzwerte des Radionuklidinventars (Aktivitäten) pro Gebinde, die sich aus der Sicherheitsanalyse des Endlagers ergeben, sind einzuhalten. In der Regel ergeben sich diese Grenzwerte pro Gebinde aus der Begrenzung der Gesamtaktivität, die in das Endlager eingebracht werden darf und dem Volumen des Endlagers. Daraus kann dann die mittlere Aktivität und somit die zulässige Aktivität pro Gebinde bestimmt werden, wobei jedoch auch unterstellte Störfälle wie „human intrusion“ berücksichtigt werden müssen, die eine zusätzliche lokale Begrenzung der Aktivitäten mit sich bringen können. Darüber hinaus sind die einschlägigen Grenzwerte aus den Transportbestimmungen wie ADR einzuhalten, sofern die Gebinde noch transportiert

⁶ Bei der Betrachtung der Kritikalitätssicherheit können beispielsweise die Bestimmungen für Versandstücke gemäß ADR oder die Regelungen in den Annahmebedingungen für das Zwischenlager der NES GmbH berücksichtigt werden

werden müssen. Diese sind von der Typisierung und Zulassung der verwendeten Behälter abhängig, gemäß ADR sind für Typ A Behälter beispielsweise die A2-Werte einzuhalten.

- Bei der Befüllung der Behälter ist darauf zu achten, dass etwaige Korrosionsschutzbeschichtungen (z.B. Lackierung) nicht beschädigt werden. Sofern erforderlich, sind diese durch geeignete Maßnahmen (z.B. Inliner) zu schützen.
- Neben einer möglichst vollständigen Befüllung der Behälter ist auch so weit wie technisch sinnvoll erreichbar eine gleichmäßige Massenverteilung über den Behälterboden anzustreben.
- Die Abfallprodukte müssen gemäß den in den Annahmebedingungen des Endlagers (aus Sicherheitsanalyse) festgelegten Konditionierungsarten konditioniert sein. Als geeignet sind aus heutiger Sicht jedenfalls hochdruckverpresste nicht-brennbare Abfälle, homogen zementierte Abfälle und konditionierte Aschen aus der Verbrennung brennbarer radioaktiver Abfälle anzusehen. Wie diese Abfallprodukte weiterverarbeitet werden müssen (z.B. Einbringen in den Endlagerbehälter, Vergießen mit Beton, ...), wird den noch zu entwickelnden WAC zu entnehmen sein.
- Die Abfallgebände müssen die (mechanischen) Anforderungen, die sich aus den Annahmebedingungen des Endlagers ergeben (aus der Sicherheitsanalyse, z.B. maximale Gebindemasse, Druckfestigkeit (min. 3 N/mm^2 bei homogen zementierten Abfällen), Durchstoßfestigkeit, Dichtigkeit der Gebände, Korrosionsbeständigkeit, Feuerbeständigkeit, ...), erfüllen. Diese ergeben sich aus den Anforderungen für die Handhabung, den Transport, die Einlagerung und die Langzeitstabilität im Endlager und den dabei zu berücksichtigenden Rahmenbedingungen und Störfällen wie Handhabungsprozesse, Stapelhöhe, mögliche Sturzhöhe, Brandlasten, etc. Jedenfalls sind jedoch die Transportbestimmungen (z.B. ADR Versandstücke der Type A) zu erfüllen, sofern die Endkonditionierung nicht erst am Standort des Endlagers stattfindet.
- Die Abfallgebände müssen für Zwischenlagerung, Transport, Einlagerung und bis zum Verschluss eine eindeutige und dauerhafte Kennzeichnung (z.B. Prägenummer, Beschriftung mit dauerhafter Farbe o.ä.) aufweisen, mit der eine Zuordnung zur Dokumentation möglich ist.

Anmerkung: Die Lagerposition bei Einbringung der Gebinde ist zu dokumentieren und so die Schnittstelle zur Dokumentation des jeweiligen Gebindes zu erhalten.

- Für alle Abfallgebinde muss eine vollständige Dokumentation gemäß den Anforderungen des Endlagers vorhanden sein und vor der Anlieferung zum Endlager vorliegen. Jedenfalls müssen folgende Daten vorliegen:
 - Information zum Behältertyp
 - Gesamtmasse
 - Aktivitätsinventar
 - Abfallart/Konditionierungsart
 - Abfalltyp (chemische, stoffliche Informationen)
 - Oberflächen-Dosisleistung
 - Oberflächenkontaminationskontrolle
 - Druckentlastungsvorrichtungen ja/nein; wenn ja, welche
 - Trocknung der Abfälle
 - Klassifizierung der Abfälle (insbesondere Klassifizierung als short-lived oder long-lived)
 - Fixierungsmittel ja/nein; wenn ja, welches
 - Durchgeführte Inspektionen und Qualitätskontrollen

- Bezüglich des Aktivitätsinventars sind in der Dokumentation alle Radionuklide samt Aktivität und Bezugsdatum anzuführen, die eine – in den detaillierten Annahmebedingungen des Endlagers zu definierende – Geringfügigkeitsgrenze überschreiten. Für die Sicherheitsberechnungen und -analysen herangezogene Leitnuklide, die z.B. die langfristige Sicherheit des Endlagers bestimmen, sind in jedem Fall zu deklarieren.

5.2.3 Stoffliche Beschreibung

Enthalten Materialien Radionuklide oder sind mit diesen kontaminiert und werden die Grenzwerte für eine Freigabe überschritten (womit die Behandlung wie konventioneller Abfall nicht möglich ist), werden diese als radioaktive Abfälle deklariert. Für die Klassifizierung als radioaktiver Abfall sind etwaige chemotoxische Eigenschaften nicht relevant. Das Hauptaugenmerk bei der Dokumentation lag daher lange fast ausschließlich beim Radioaktivitätsinventar. Es zeigt sich im internationalen Vergleich allerdings, dass die stoffliche Beschreibung der radioaktiven Abfälle hinsichtlich ihrer Endlagerfähigkeit nicht außer Acht zu lassen

ist. Daher wird die stoffliche Beschreibung der radioaktiven Abfälle in Österreich seit 2012 ebenfalls – in Form der unten beschriebenen Abfalltypen gemäß den Übernahmebedingungen des österreichischen Zwischenlagers – dokumentiert.

Grundsätzlich gibt es drei Haupt-Abfallströme (für genauere Informationen sei hier auf die NES- Inventarstudie für den Entsorgungsbeirat verwiesen):

- Abfälle aus Dekommissionierungsprojekten
- Abfälle aus Medizin, Industrie und Forschung (MIF)
- Altabfälle.

Ein Großteil der Dekommissionierungsabfälle (z.B. Bauschutt, Erdaushub, ...) kann einer Freigabe zugeführt werden. Für die Freigabe ist es erforderlich, dass chemische Gutachten gemäß Deponieverordnung für das Material durchgeführt werden, damit es auf einer konventionellen Deponie entsorgt werden kann. Die Daten aus diesen Gutachten werden auch dem Anteil an radioaktivem Abfall aus dem gleichen Projekt bzw. mit der gleichen Herkunft zugeordnet, da es sich stofflich/chemisch um dasselbe Material handelt.

Anmerkung: Diese Vorgangsweise mit einer Vergabe an externe Laboratorien für die chemische Charakterisierung ist für Proben von radioaktiven Abfällen nicht geeignet, da zu meist die dafür nötige strahlenschutzrechtliche Bewilligung des Labors nicht vorliegt. Hierfür wird daher zurzeit auf die Labors der NES zurückgegriffen.

Bei MIF-Abfällen handelt es sich (neben Strahlenquellen) vielfach um brennbare Abfälle. Deren Asche wird ebenfalls chemisch charakterisiert.

Altabfälle werden im Zuge des Nach- und Rekonditionierungsprojekts, das derzeit bei der NES läuft, nicht nur nach neuestem Stand der Technik aufgearbeitet, sondern es wird auch ihre stoffliche Beschreibung dokumentiert. Hierzu werden u.a. eine Fotodokumentation angelegt, ihre stoffliche Zusammensetzung beschrieben sowie chemische Daten aus Beprobungen dokumentiert. Bei Altabfällen handelt es sich hauptsächlich einerseits um homogen und andererseits um inhomogen zementierte Abfälle. Bei homogen zementierten Abfällen werden zur stofflichen Charakterisierung Frässtaub-Proben herangezogen. Bei inhomogenen Mischabfällen werden Stichproben entnommen. Ihre chemische Zusammensetzung kann aufgrund der erstellten Fotodokumentation über Stoffvektoren erfasst werden. Damit wird nach Abschluss des Re- und Nachkonditionierungsprojekts auch eine stoffliche Beschreibung der Altabfälle vorliegen.

Bezüglich der chemischen Parameter sind die Anforderungen aus den Sicherheitsanalysen des Endlagers zu berücksichtigen (ergeben sich beispielsweise aus der Relevanz des Grundwasserschutzes am Endlagerstandort). Jedenfalls ist zur stofflichen Beschreibung die Zuordnung zu den Abfalltypen gemäß den Anforderungen des österreichischen Zwischenlagers durchzuführen. Darin sind die in Tabelle 2 angeführten Abfalltypen enthalten.

Tabelle 2: Abfalltypen zur stofflichen Beschreibung

Asche	Filterzubehör	Metall Eisen	Schlamm
Asphalt	Glas	Metall verzinkt	Schotter/Sand
Bauschutt	Graphit	Metall sonstige	Schrott
Beton	Kabel	Mineralwolle	Sonstiges nicht brennbar ⁷
Bitumen	Keramik	Nicht brennbarer Laborabfall	Staub
Elektroschrott	Kunststoff (nicht verbrennbar, z.B. PVC)	Quellen	Ziegel
Erde	Metall Aluminium	Schamott	
Filter	Metall Blei	Schlacke	

Ist eine Zuordnung zu den o.a. Typen bei Altabfällen aufgrund fehlender Informationen nicht eindeutig möglich, sind diesbezüglich begründete Schätzungen durchzuführen.

Darüber hinaus ist - sofern erforderlich - eine Begrenzung der chemischen Schadstoffe im Endlager (z.B. analog zu den Regelungen des konventionellen Abfallrechts) möglich. Dabei wird jedoch einerseits die sicherheitstechnische Auslegung des Endlagers, die voraussichtlich komplexer und hochwertiger sein wird als bei konventionellen Deponien von Bedeutung sein (z.B. Typ des Endlagers, technische Barrieren, ...) und andererseits müssen die technische Umsetzbarkeit von Messverfahren für etwaige zusätzlich notwendige Charakterisierungen sowie deren Unsicherheiten berücksichtigt werden.

⁷ In diesem Fall ist zumindest eine ausführliche textliche Beschreibung notwendig

Grundsätzlich kann nicht ausgeschlossen werden, dass sich aus den noch zu entwickelnden Endlageranforderungen die Notwendigkeit weiterer chemisch-stofflicher Charakterisierungen der Abfälle (über die bisher und im Rahmen der derzeit laufenden Nach- und Rekonditionierung erhobenen Daten hinaus) ergibt.

5.2.4 Abfallbehälter

Bei der Auswahl der Endlagerbehälter, in die die Abfallprodukte verpackt werden, sind zahlreiche Aspekte und Anforderungen zu beachten, die sich einerseits aus den Rahmenbedingungen bei der Konditionierung und Zwischenlagerung ergeben und andererseits durch die Auslegung und das Design des Endlagers bedingt werden. Darüber hinaus werden wesentliche Anforderungen aus der (standortspezifischen) Sicherheitsanalyse des Endlagers entstehen:

- Die Behälter müssen für die Aufnahme der Abfallprodukte unter Berücksichtigung der Konditionierungsverfahren geeignet sein.
- Geometrie und Abmessungen müssen einerseits eine möglichst effiziente Nutzung des Füllvolumens durch die Abfallprodukte ermöglichen und andererseits eine effiziente Stapelung unter bestmöglicher Raumnutzung des Endlagers gewährleisten. Überdies sind die Handhabungsmöglichkeiten (z.B. Kran, Stapler, maximale Massen, etc.) zu berücksichtigen.
- Die Behälter müssen die mechanischen Eigenschaften, die sich aus der Auslegung und der Sicherheitsanalyse des Endlagers ergeben, erfüllen (z.B. Stapelbarkeit, Druckfestigkeit, Beständigkeit gegen Absturz und Feuer, ...). Dabei sind einerseits der Routinebetrieb und andererseits unterstellte Störfälle zu berücksichtigen. Jedenfalls sind mindestens die Anforderungen gemäß den Transportbestimmungen einzuhalten, sofern die Behälter nicht erst am Ort des Endlagers befüllt werden.
- Die Behälter müssen für die geplanten bzw. vorhandenen Handhabungsvorrichtungen (z.B. Kran, Stapler, ...) geeignet sein und die erforderlichen Manipulationsvorrichtungen (z.B. Staplerlaschen, Anhängösen, ...) besitzen.
- Die Dichtheit der Behälter muss der sicherheitstechnischen Auslegung des Endlagers und den Annahmen und Festlegungen in der Sicherheitsanalyse

entsprechen. Dabei spielt die Festlegung, ob die Abfallgebinde eine Barrierefunktion im Endlager wahrnehmen, eine wesentliche Rolle. Die Dichtheitsanforderungen sind insbesondere auch bei der Auslegung des Behälterverschlusses zu beachten. Erforderlichenfalls sind geeignete Dichtungen (Kunststoff, Gummi, Metall, ...) zu verwenden, die – sofern den Gebinden eine Barrierefunktion zukommt - den Umweltbedingungen im Endlager langfristig widerstehen müssen (z.B. beständig gegen Strahlung, chemische und biologische Degradation, ...)

- Die Behälter müssen hinsichtlich Langzeitbeständigkeit (z.B. Korrosion, chemische und biologische Degradation, ...) den Anforderungen des Endlagers entsprechen. Dabei spielt die Festlegung, ob und wie lange die Gebinde eine Barrierefunktion erfüllen, die entscheidende Rolle.
- Die Behälter müssen ausreichende Abschirmwirkung besitzen, um die Einhaltung der zulässigen Dosisleistungen sicherzustellen. Die Verwendung von geeigneten Innenbehältern zur Abschirmung ist prinzipiell zulässig.
- Die Behälteroberfläche muss aus Gründen der einfachen und sicheren Handhabung (möglichst keine vorstehenden Bauteile, Kanten, etc.) und Dekontaminierbarkeit (möglichst glatte/polierete/beschichtete Oberfläche) möglichst glatt und frei von Einbauten sein.
- Die strukturelle Festigkeit der Behälter darf nicht durch konstruktive oder prozessbedingte Aspekte in einem sicherheitstechnisch relevanten Maß geschwächt werden (z.B. lokale Spannungen durch sprunghafte Änderung der Wandstärke, Schwächung der Struktur durch Bearbeitungsprozesse wie Schweißen, ...)
- Bestehen die Behälter aus korrosionsfähigen Materialien, so sind entsprechende Korrosionsschutzmaßnahmen wie Beschichtungen, Lackierungen, etc. vorzusehen.
- Ist eine Kontaktkorrosion durch den Kontakt von Abfallprodukt und Behälter bzw. zwischen den Behältern oder den Behältern und Einbauten des Endlagers zu befürchten, sind geeignete Gegenmaßnahmen zu ergreifen (z.B. Liner, Abstandshalter, ...)

- Sofern notwendig sind geeignete, im erforderlichen Maß langzeitbeständige Druckentlastungsvorrichtungen wie Sintermetallfilter oder Ventile in den Behältern zu verwenden.
- Die zulässige Gesamtmasse ist an den Behältern deutlich lesbar und dauerhaft anzuschreiben.
- Für die Behälter ist eine vollständige Dokumentation sowie die Dokumentation über alle diesbezüglichen Kontrollen, Messungen, Prüfungen, etc. erforderlich.

Als Behältermaterial stehen eine Vielzahl von Optionen zur Verfügung, in der Praxis haben sich aber folgende Materialein als sinnvoll erwiesen:

- Stahl(blech):
 - Vorteile sind beispielsweise die leichte Bearbeitbarkeit, die guten mechanischen Eigenschaften des Materials (z.B. geringe Sprödigkeit, hohe Verformbarkeit, ...), die große Erfahrung mit derartigen Behältern sowie die relativ niedrigen Kosten.
 - Nachteil ist die Korrosionsanfälligkeit, auch für kurze Lagerzeiten ist ein entsprechender Korrosionsschutz unverzichtbar. Allerdings wird durch den Korrosionsprozess Sauerstoff entzogen, wodurch eine reduzierende Atmosphäre entsteht, die eine schlechte Löslichkeit zur Folge hat und überdies können durch die entstehenden Korrosionsprodukte auch Radionuklide sehr gut gebunden werden. Für Endlagerkonzepte, bei denen die Abfallbinde eine (längerfristige) Barrierefunktion im Endlager übernehmen, ist Stahl(blech) jedoch als Behälterwerkstoff praktisch nicht geeignet.
- Rostfreier Stahl:
 - Vorteil ist die bessere Korrosionsbeständigkeit des Materials.
 - Nachteile sind die höheren Kosten und die teilweise schlechteren mechanischen Eigenschaften. Überdies kommt es unter einigen Umgebungsbedingungen ebenfalls zu größeren Korrosionserscheinungen (z.B. bei Vorhandensein von Chloriden oder Sulfaten). Behälter aus rostfreiem Stahl haben sich international bisher als Endlagerbehälter nicht in größerem Umfang durchgesetzt.

- Gusseisen:
 - Dickwandige Behälter aus Gusseisen (z.B. MOSAIK-Behälter) werden in zylindrischer Form für die Lagerung von stärker strahlenden (ILW), z.B. Co-haltigen Abfällen verwendet. Sie werden in Wandstärken bis zu >20cm hergestellt und können erforderlichenfalls mit zusätzlichen Abschirmschichten z.B. aus Blei versehen werden.
 - Vorteile sind die exzellente Abschirmwirkung, die hohe mechanische Stabilität und die Langlebigkeit auch unter Endlagerbedingungen.
 - Nachteile sind die hohen Kosten und der große Materialverbrauch, derartige Behälter kommen nur für stärker strahlende Abfälle in Betracht, für niederradioaktive Abfälle kommen sie nicht in Frage.

- Beton:
 - Vorteile sind die gute Widerstandsfähigkeit gegen Strahlung, die teilweise günstigen mechanischen Eigenschaften, die gute Korrosionsbeständigkeit, die relativ geringen Kosten sowie die große Erfahrung mit diesem Behältermaterial.
 - Nachteile sind das große Gewicht im Vergleich zu dem Abfall, den sie enthalten, einige mechanische Eigenschaften (z.B. Sprödigkeit) sowie der Umstand, dass Beton bis zu einem gewissen Grad durchlässig für (Grund-) Wasser ist. Dabei ist jedoch zu berücksichtigen, dass Flüssigkeiten, die von außen bis an den Abfall gelangen, in der Regel einen sehr hohen pH-Wert aufweisen und somit langlebige Radionuklide im Abfall eine sehr schlechte Löslichkeit haben, wodurch eine Freisetzung stark verzögert wird. Um für Endlagerbehälter geeignete mechanische Eigenschaften zu erzielen, ist jedenfalls der Einsatz von Bewehrungsmaßnahmen erforderlich. Diese stellen dann wiederum eine Korrosionsgefahr dar, insbesondere, wenn bei Verwendung von Eisenstäben die Betonüberdeckung nicht in ausreichendem Maß gegeben ist. Allerdings können anstelle von herkömmlichen Stahlstäben beispielsweise auch nicht korrodierende Fasern als Bewehrung verwendet werden, wodurch Korrosionsprobleme langfristig vermieden werden können.
 - Betonbehälter haben sich bei nieder- und mittelradioaktiven Abfällen insbesondere bei einigen schon seit vielen Jahren in Betrieb befindlichen Oberflächenlagern sehr gut bewährt.

5.2.5 Kritikalität

Da im österreichischen Zwischenlager keine Abfälle mit kritikalitätsrelevantem Gehalt an Spaltstoffen gelagert werden, sind keine speziellen Maßnahmen zur Kritikalitätskontrolle erforderlich. Hinsichtlich der zukünftigen Einlagerung im Endlager müssen sich die Konzentrations- und Massenbegrenzungen der thermisch spaltbaren Nuklide U-233, U-235, Pu-239 und Pu-241 in den Abfallgebinden an den Annahmekriterien des Endlagers und diesbezüglichen Bedingungen orientieren. Sofern Abfälle mit höherem Spaltstoffgehalt oder mit Gemischen von Spaltstoff und die Neutronenbilanz beeinflussenden Stoffen, wie z. B. Grafit, Borsäure, etc. gelagert werden sollen, ist im Einzelfall eine behördliche Prüfung durchzuführen.

Die IAEA hält im Safety Standard für die Entsorgung radioaktiver Abfälle allgemein fest, dass bei der Auslegung und beim Betrieb einer Entsorgungsanlage darauf zu achten sei, dass Unterkritikalität gewährleistet ist. Die Entwicklung der Kritikalitätsgefahr nach der Einlagerung der Abfälle und dem Verschluss der Anlage soll analysiert und beurteilt werden (IAEA 2011)⁸. Der Safety Guide zu Sicherheitsnachweisen enthält keine genaueren Vorgaben (IAEA 2012)⁹, wohl aber der Safety Guide zum Umgang mit spaltbarem Material. Dort legt die IAEA dar, dass die sicherheitsrelevanten Auswirkungen eines Kritikalitätsereignisses in einem Endlager vor allem in der Schwächung schützender Barrieren und den Auswirkungen auf Transportmechanismen für Radionuklide liegen. Direkte, unmittelbare radiologische Auswirkungen auf Mensch und Umwelt sind aufgrund der schützenden Barrieren weniger relevant. Die schützenden Barrieren führen aber auch dazu, dass ein Kritikalitätsereignis im ver-

⁸ IAEA 2011, The Safety Case and Safety Assessment for the Disposal of Radioactive Waste. IAEA Safety Standards for protecting people and the environment. Specific Safety Guide No. SSG-23. Vienna.

⁹ IAEA 2012, Disposal of Radioactive Waste. IAEA Safety Standards for protecting people and the environment. Specific Safety Requirements No. SSR-5. Vienna.

schlossenen Endlager – anders als in einer Kernanlage, die aktiv betrieben wird, voraussichtlich erst spät erkannt wird (IAEA 2014, S. 45f.)¹⁰. Die daraus ableitbaren Anforderungen an die Abfallprodukte und -gebinde sind unter 5.2.2 festgelegt.

5.2.6 Gasentwicklung

Wie schon in 5.2.2 dargelegt, können bei der Endlagerung radioaktiver Abfälle durch die Korrosion von Metallteilen und die Zersetzung organischer Stoffe sowie durch Radiolyse Gase entstehen. Das Ausmaß der Gasbildung hängt von den vorhandenen Mengen an reagierenden Stoffen und insbesondere der Verfügbarkeit von Wasser ab. Die Gase können die Wirksamkeit von Barrieren beeinträchtigen, das chemische Milieu und damit die Mobilität von Radionukliden beeinflussen und als treibende Kraft für die Ausbreitung von Radionukliden wirken. Zusätzlich zu den in 5.2.2 eingeführten Bedingungen an die Abfallprodukte und -gebinde können auch weitere allgemeine Maßnahmen im Endlager zur Reduktion der Gasbildung getroffen werden:

- Die Gasbildung kann durch ein unzureichendes Wasserangebot begrenzt werden. Das Wasserangebot wird durch den Wassergehalt der radioaktiven Abfälle und des Versatzes sowie durch die Menge eines möglichen Wasserzutritts aus der Lagerumgebung bestimmt. Sofern kein Wasser für Reaktionen zur Verfügung steht, findet keine Gasbildung durch Korrosion und auch nicht durch mikrobielle Zersetzung statt.
- Als Maßnahme zur Reduktion der Folgeprozesse der Gasbildung sind technische Maßnahmen vorzusehen, die das chemische Milieu bei einem reduzierenden Redoxpotential und neutral bis schwach alkalischen pH-Werten puffern. Unter diesen Bedingungen erreichen die Auflösungsraten der technischen Barrieren und die Löslichkeiten der Radionuklide minimale Werte sowie die Sorption der Radionuklide an Feststoffoberflächen optimale Werte.

¹⁰ IAEA 2014, Criticality Safety in the Handling of Fissile Material. IAEA Safety Standards for protecting people and the environment. Specific Safety Guide No. SSG-27. Vienna.

5.3 Anforderungen an die Errichtung des Endlagers

Die in diesem Kapitel aufgeführten Anforderungen gelten für alle neu zu errichtenden baulichen Einrichtungen des Endlagers. Die baulichen Einrichtungen des Endlagers sind entsprechend der jeweiligen Landesbauordnung des Bundeslandes und gemäß den allgemein anerkannten Regeln der Technik, österreichischen und internationalen Normen sowie hinsichtlich des Strahlenschutzes der sinngemäßen Anwendung der bestehenden Vorgaben der österreichischen Strahlenschutzgesetzgebung¹¹ zu errichten. Soweit nicht dadurch abgedeckt, können sich aus den sicherheitstechnischen Untersuchungen zum bestimmungsgemäßen Betrieb des Endlagers bis zum Ende der vorgesehenen Betriebszeit weitere Auslegungsanforderungen ergeben.

5.3.1 Spezifische bauliche Anforderungen

- Bei der Auslegung des Endlagers ist der Platzbedarf für die Durchführung von Inspektionen
 - der vor der endgültigen Einlagerung verpackten radioaktiven Abfälle und danach bis zum Verschluss des Lagers gelagerten radioaktiven Abfallgebinde,
 - der technischen Einrichtungen und
 - des Lagerbauwerk selbst zu berücksichtigen.
- Bei der Auslegung der Lagereinrichtung und aller Betriebsgebäude ist die vorgesehene Nutzungsdauer im Hinblick auf die Dauerhaftigkeit und Funktionsfähigkeit der Baustoffe zu berücksichtigen.
- Der Boden der Lagereinrichtung und aller Betriebsgebäude muss eine ausreichende Druck- und Verschleißfestigkeit aufweisen.
- Die Bodenplatte der Lagereinrichtungen muss für das Befahren mit Transportfahrzeugen und für die Behälterlasten entsprechend der vorgesehenen Belegung ausgelegt sein. Dabei sind auch Teilbelegungszustände zu berücksichtigen.

¹¹ Siehe dazu AllgStrSchV 2020, §67ff

- Bei der Auslegung der Lagereinrichtung ist auch der Anprall von Lasten bei Transportvorgängen zu berücksichtigen, sofern dieser nicht durch andere Maßnahmen ausgeschlossen ist. Ebenso sind die Kranlasten und Lasten anderer schwerer Anlagenteile, sowie Sonderlasten aus den Einwirkungen von innen (Kapitel 6.1) und von außen (Kapitel 6.2) zu berücksichtigen.
- Die für die Lagereinrichtung und für das Hantieren der radioaktiven Abfälle notwendigen Gebäude verwendeten Baustoffe müssen grundsätzlich ohne brennbare Bestandteile oder nur geringen Anteilen von brennbaren Stoffen (Baustoffklassen A1 und A2) nach Normenserie ÖNORM EN 1350112 (Teile 1 bis 5) sein. Falls aus Gründen des Verwendungszwecks (z. B. Dekontaminations-beschichtungen) nicht brennbare Baustoffe nicht verfügbar sind, kann auf Baustoffe mit „sehr begrenztem Beitrag zum Brand“ (Baustoffklasse B) zurückgegriffen werden. Das Lagergebäude muss für den Lastfall Brand (siehe ÖNORM EN 13501) standsicher ausgelegt sein.
- Alle oberirdischen Anlagen des Endlagers sind mit Erdungs- und Blitzschutzanlagen entsprechend dem konventionellen Regelwerk (ÖVE/ÖNORM EN 6230513) auszustatten. Höhere Anforderungen sind nur dann zu berücksichtigen, wenn Überwachungs- und Schutzfunktionen betroffen sein können; in diesem Fall sind zusätzliche Blitzschutzmaßnahmen zu ergreifen.
- Die Fußbodenoberkante aller oberirdischen Gebäude des Endlagers müssen oberhalb des Wasserstandes für das hundertjährige Hochwasser liegen, ansonsten sind bauliche Maßnahmen gegen das Eindringen von Wasser zu treffen. Temporäre Maßnahmen sind für das zehntausendjährige Hochwasser vorzusehen. Bei der Ermittlung des Bemessungswasserstands ist der Stand von Wissenschaft und Technik zu berücksichtigen.
- Zur Festlegung der Art der Erdbebenauslegung des Lagerbauwerks ist anlagenspezifisch zu untersuchen, ob durch postulierte Schäden infolge eines Erdbebens - z. B. Einsturz eines Gebäudes am Standort, Absturz schwerer Lasten, Herabfallen bzw. Umstürzen von verpackten radioaktiven Abfällen oder Brand - die Exposition durch Freisetzung radioaktiver Stoffe in der Umgebung zu einer Überschreitung eines noch gesetzlich festzulegenden Wertes zur Begrenzung der

¹² EN 13501, Klassifizierung von Bauprodukten und Bauarten zu ihrem Brandverhalten

¹³ ÖVE/ÖNORM EN 62305, Blitzschutz

Exposition durch Störfälle führen kann. Ist dies der Fall, sind die Anlagenteile des Endlagers in sinngemäßer Anwendung der Normenserie ÖNORM EN 1998¹⁴ gegen Erdbeben auszulegen.

5.3.2 Technische Einrichtungen

Die technische Auslegung der Hebezeuge, die für die Handhabung der technischen Großkomponenten, verpackten radioaktiven Abfälle und Behälter eingesetzt werden, orientiert sich an den Ergebnissen der Analyse der Ereignisse im bestimmungsgemäßen Betrieb und bei Störfällen. Sie müssen die allgemeinen Sicherheitsvorschriften und Anforderungen (siehe auch BGBl Nr 68/1985¹⁵) einhalten. Die Hebezeuge und Einrichtungen müssen so beschaffen sein, dass die technischen Großkomponenten, verpackten radioaktiven Abfälle und Behälter bei der Lagerung sicher gehandhabt werden können. Dazu sind regelmäßige Wartungen und Prüfungen durchzuführen. Wenn die Hebezeuge und Transporteinrichtungen über einen längeren Zeitraum nicht verwendet werden, können diese regelmäßigen Maßnahmen durch Prüfungen vor der Wiederinbetriebnahme ersetzt werden. Die Wartungs- und Prüfintervalle sind der Nutzung und der erforderlichen Betriebsbereitschaft anzupassen.

Ist bei Versagen von Hebezeugen oder Transporteinrichtungen eine Exposition durch innere Exposition oder durch externe Exposition über noch gesetzlich festzulegenden Werten zu besorgen, sind zusätzliche Maßnahmen zu ergreifen. Auch nach dem Abschluss der Einlagerung ist sicherzustellen, dass alle notwendigen Hebezeuge und Transporteinrichtungen vor Ort vorhanden sind bzw. kurzfristig beschafft und eingesetzt werden können.

5.3.3 Elektrotechnische Einrichtungen

Die Elektroschutzverordnung 2012 – ESV 2012¹⁶ ist für alle Einrichtungen des Endlagers einzuhalten.

Die elektrotechnischen Einrichtungen müssen für die vorgesehene Lagerungsdauer bis zum Verschluss des Endlagers ausgelegt werden, wenn sie durch die eingelagerten radioaktiven

¹⁴ ÖNORM EN 1998, Eurocode 8: Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben

¹⁵ Verordnung des Bundesministers für soziale Verwaltung vom 5. Dezember 1984, mit der eine ÖNORM über Prüfvorschriften für Krane und Hebezeuge verbindlich erklärt wird, StF: BGBl. Nr. 68/1985

¹⁶ Verordnung über den Schutz der Arbeitnehmer/innen vor Gefahren durch den elektrischen Strom (Elektroschutzverordnung 2012 – ESV 2012), BGBl II Nr. 33/2012

Abfälle nur unter erheblichem strahlenschutztechnischem Aufwand zugänglich sind. Die Wartungs- und Prüfintervalle sind der Nutzung und der erforderlichen Betriebsbereitschaft anzupassen.

5.3.4 Lüftungstechnik

Eine ausreichende Begrenzung der relativen Feuchte der Raumluft aller Betriebsgebäude, in denen die radioaktiven Abfälle für die Einlagerung in das Endlager vorbereitet werden, ist sicherzustellen. Die Integrität und Transportierbarkeit der verpackten radioaktiven Abfälle muss gewährleistet bleiben und darf nicht durch Korrosionsprozesse gefährdet werden. Zu diesem Zweck kann eine Raumluftkonditionierung der Einrichtungen erforderlich sein. Dazu können Luftentfeuchtungsanlagen oder (Boden-)Heizungen eingesetzt werden. Erforderlichenfalls sind Maßnahmen festzulegen, die eine ausreichende bodennahe Lüftung der gestapelten verpackten radioaktiven Abfälle ermöglichen. Zu diesem Zweck können die verpackten radioaktiven Abfälle z. B. auf Gitterroste abgestellt werden.

5.3.5 Brandschutz und Brandschutzeinrichtungen, Explosionsschutz

Das Endlager muss über einen Brandschutz in der Betriebsphase verfügen. Für alle baulichen Einrichtungen des Endlagers ist ein Brandschutzkonzept zu erstellen, in dem die Einzelmaßnahmen des vorbeugenden baulichen sowie anlagentechnischen Brandschutzes, des organisatorischen (betrieblichen) Brandschutzes sowie der abwehrende Brandschutz dargestellt sind. Unter Berücksichtigung der Nutzung, des Brandrisikos und des zu erwartenden Schadenausmaßes sind die Einzelkomponenten und ihre Verknüpfung im Hinblick auf die radiologischen Schutzziele zu beschreiben.

Für die gesamte vorgesehene Lagerungsdauer sind Maßnahmen zur Vermeidung von Brandlasten und Zündquellen, zur frühzeitigen Erkennung und zur wirksamen Bekämpfung eines Brandes festzulegen. Ist eine Bildung von explosiven Gasgemischen durch eine Freisetzung aus den eingelagerten radioaktiven Abfällen zu unterstellen, sind geeignete Maßnahmen zur Vermeidung zu treffen. Das Endlager ist so auszulegen, dass Explosionen ausgeschlossen sind.

Der sichere Einschluss der radioaktiven Abfälle in den eingelagerten Abfallbehältern muss auch hinsichtlich des Brandschutzes durch den Nachweis der Integrität der verpackten radioaktiven Abfälle während des gesamten Zeitraums bis zum Verschluss gewährleistet sein,

da sich durch einen Verlust des sicheren Einschlusses der radioaktiven Abfälle auch die Brandlast im Lager erhöhen kann.

5.4 Anforderungen an den Transport

Für den Transport gefährlicher Güter existiert ein internationales Regelwerk, mit dem der sichere Transport dieser sensiblen Güter grundsätzlich gewährleistet ist. Die Vorschriften werden unter Berücksichtigung von Erkenntnissen in Wissenschaft und Technik laufend überprüft und weiterentwickelt. Grundlage der Vorgaben bilden die Empfehlungen des UN-ECOSOC Committee TDG and GHS, Sub-Committee TDG und im speziellen für den Transport radioaktiver Stoffe die „Empfehlungen für die Beförderung radioaktiver Stoffe (SSR-6)“ der IAEA (IAEA, 2018).

Diese Empfehlungen für die sichere Beförderung gefährlicher Güter bilden die Grundlage der verbindlichen verkehrsträgerspezifischen Rechtsvorschriften zur Beförderung gefährlicher Güter für

- Straßenverkehr (ADR)
- Eisenbahn (RID)
- Binnenschifffahrt (ADN/ADNR)
- Seeschifffahrt (IMDG-Code) und
- Luftverkehr (IATA/ICAO-TI)

In Österreich sind diese Regelungen im Gefahrgutbeförderungsgesetz – GGBG¹⁷ und Gefahrgutbeförderungsverordnung - GGVO¹⁸ in der jeweils gültigen Fassung rechtlich verankert.

¹⁷ Bundesgesetz über die Beförderung gefährlicher Güter (Gefahrgutbeförderungsgesetz – GGBG), BGBl. I Nr. 145/1998, idgF

¹⁸ Verordnung des Bundesministers für Wissenschaft und Verkehr über die Beförderung gefährlicher Güter (Gefahrgutbeförderungsverordnung – GGBV), BGBl. II Nr. 303/1999, idgF

5.5 Anforderungen an den Endlagerbetrieb, inkl. Strahlenschutz

Während der Betriebsphase des Endlagers sind die nach der Allgemeinen Strahlenschutzverordnung 2020 geltenden Anforderungen für den Schutz der Beschäftigten, der Bevölkerung und der Umwelt einzuhalten.

- Radiologisches Schutzziel für den Menschen ist die Begrenzung der Individualdosis unter Beachtung der Anforderungen der Strahlenschutzverordnung zur Vermeidung unnötiger Strahlenexposition und Dosisreduzierung.
- Jede unnötige Strahlenexposition oder Kontamination von Mensch und Umwelt ist zu vermeiden.
- Wirksamkeit und Aufwand der Schutzmaßnahmen gegen die Wirkung ionisierender Strahlung sind entsprechend dem Stand von Wissenschaft und Technik und unter Beachtung der Verhältnismäßigkeit abzuwägen. Für den Abwägungsprozess können auch konventionelle Sicherheitsaspekte (z.B. Auswirkungen sonstiger toxischer Stoffe) bedeutsam sein.

Der Betrieb des Lagers hat so zu erfolgen, dass die nach dem Stand von Wissenschaft und Technik erforderliche Vorsorge gegen Schäden getroffen ist. Dabei sind insbesondere folgende Betriebszustände zu betrachten:

- alle Vorgänge zum erstmaligen Erreichen des Normalbetriebszustandes (Inbetriebnahme),
- der Betrieb und Betriebsstörungen,
- die Beherrschung von Störfällen sowie die Beseitigung ihrer Folgen.

Zur sicheren Durchführung der Betriebsvorgänge ist der gesamte Betrieb geeignet zu strukturieren. Dazu sind folgende Anforderungen einzuhalten:

- Alle Betriebsvorgänge sind klar darzulegen und die dafür erforderliche Qualifikation des Betriebspersonals ist festzulegen.
- Insbesondere sind die erforderlichen personellen, organisatorischen und die Sicherheit betreffenden administrativen Voraussetzungen zu schaffen und nachzuweisen. Die Zuständigkeiten und Verantwortlichkeiten sind klar festzulegen.

- Alle Einrichtungen, die zur sicheren Durchführung des Betriebs erforderlich sind, sind anzugeben.
- Die Ergebnisse und Erfahrungen des Betriebs sind jährlich systematisch auszuwerten und zur kontinuierlichen Verbesserung der Betriebsabläufe zu verwenden.
- Für Notfälle sind Notfallpläne auszuarbeiten und an einer ständig besetzten Stelle im Betrieb verfügbar zu halten.
- In Abstimmung mit der zuständigen Behörde sind wiederkehrende Sicherheitsnachweise vorzulegen, die insbesondere die während des Betriebs gewonnenen weiteren Erkenntnisse berücksichtigen. Sie dienen der Optimierung des Sicherheitskonzeptes und der Maßnahmen zur Stilllegung und des endgültigen Verschlusses des Endlagers.
- Neben den routinemäßigen Betriebs- und Strahlenschutzüberwachungsmaßnahmen ist ein Überwachungsprogramm für das in Betrieb befindliche Endlager zu planen und durchzuführen. Dieses Programm dient der Bestätigung der betrieblichen Auslegungsparameter, die in das Sicherheitskonzept und den Sicherheitsnachweis eingeflossen sind. Ergebnisse und Konsequenzen aus dem Überwachungsprogramm sind der zuständigen Behörde anzuzeigen.
- Einrichtungen für Handhabung, Transport und Einlagerung der Abfallgebinde sind so auszulegen, dass die Strahlenexposition des Betriebspersonals, der Bevölkerung und der Umwelt möglichst gering bleibt. Bei Störungen an diesen Einrichtungen müssen die Abfallgebinde intakt bleiben. Bei Störfällen muss die Möglichkeit bestehen, deren Auswirkungen zu begegnen.

5.6 Anforderungen an die Planung des Einlagerungsbetriebes

Vor Beginn des Lagerbetriebs sind alle technischen Einrichtungen des Lagers Inbetriebsetzungsprüfungen zu unterziehen. Diese Prüfungen sind in einem Inbetriebsetzungsprogramm festzulegen. Sie dienen dem Nachweis, dass die Einrichtungen des Lagers für den geplanten Betrieb geeignet errichtet wurden.

Für Handhabung, Transport und Einlagerung ist die Isolation der Radionuklide durch die Abfallform und den Abfallbehälter zu gewährleisten. Sofern flüchtige Radionuklide unvermeidlich aus den Abfallgebinden austreten, sind entsprechende Strahlenschutzmaßnahmen zum Schutz des Betriebspersonals, der Bevölkerung und der Umwelt vorzusehen.

Die Anzahl der offenen Einlagerungsbereiche (Strecken, Kammern, Bohrlöcher) ist unter Beachtung einer betrieblich erforderlichen Vorhaltung und sicherheitstechnischen Vorgaben zu minimieren. Im Fall einzelner verschlussfähiger Einlagerungsbereiche sind diese so kurzzeitig wie möglich offen zu halten und nach beendeter Nutzung nach den Vorgaben aus dem Verfüll- und Verschlusskonzept zu verschließen.

Vor der ersten Einlagerung von radioaktiven Abfällen ist der gesamte Handhabungs- und Abfertigungsablauf einschließlich der Strahlenschutzmaßnahmen zu erproben. Bei dieser Erprobung werden gegebenenfalls noch vorhandene Mängel im Ablauf erkannt, der Umgang mit verpackten radioaktiven Abfällen und Großkomponenten optimiert, sowie die vorgesehenen Verfahrensweisen angepasst und endgültig festgelegt. Vor der ersten Einlagerung einer neuen Behälterart ist jeweils eine inaktive Erprobung durchzuführen.

Es sind nur solche radioaktiven Abfälle zur Endlagerung anzunehmen, welche den Endlagerungsbedingungen genügen. Bei der Anlieferung der radioaktiven Abfälle sind diese einer Eingangskontrolle zu unterziehen. Die Eingangskontrolle dient der Verifikation, dass es sich dabei tatsächlich um die angemeldeten radioaktiven Abfälle handelt, für die die Annahmefähigkeit festgestellt worden ist und muss folgende Prüfungen umfassen:

- Zustand und Kennzeichnung der Abfalleinheit.
- Dosisleistung und nicht festhaftende Oberflächenkontamination der Abfalleinheit.
- Übereinstimmung mit weiteren deklarierten Angaben (nach Maßgabe betrieblicher Vorgaben).

Für den Fall, dass die angelieferten radioaktiven Abfälle nicht den deklarierten Angaben entsprechen und ggf. die Annahmebedingungen des Endlagers nicht erfüllen, ist ein geeignetes Vorgehen zu entwickeln und festzulegen. Ebenso ist für derartige Fälle das Melde- und Berichtswesen festzulegen.

Es sind Unterlagen anzulegen, die alle Betriebsvorgänge sowie die bei Störungen und Störfällen zu ergreifenden Maßnahmen in Betriebsanweisungen beschreiben. Diese Unterlagen

haben alle betriebstechnischen und sicherheitstechnischen Anweisungen, Grenzwerte und Bedingungen zu enthalten, die für den Betrieb des Endlagers, den Umgang mit Störungen und die Beherrschung von Störfällen erforderlich sind. Ebenso zu diesen Unterlagen gehören die technischen Annahmebedingungen sowie ggf. die für das Endlager geltenden Betriebsordnungen. Hierunter fallen beispielsweise

- die personelle Betriebsorganisation,
- die Instandhaltungsordnung,
- die Strahlenschutzordnung,
- die Wach- und Zugangsordnung,
- die Alarmordnung,
- die Brandschutzordnung und
- die Erste-Hilfe-Ordnung.

Insbesondere sind in den Unterlagen alle die Sicherheit berührenden Aspekte zu behandeln. Damit soll sichergestellt werden, dass das Personal bei Betriebsvorgängen bzw. im Bedarfsfall bei Störungen und Störfällen zügig und handlungssicher die erforderlichen Maßnahmen einleiten und durchführen kann.

Außerdem ist die Vorgehensweise bei der Änderung oder Ergänzung von Anlagenteilen und Verfahren festzulegen.

Für die Gliederung und den Aufbau der Unterlagen sowie im Hinblick auf allgemeine Anforderungen an die Gestaltung der Unterlagen können sinngemäß die §69 – §75 und Anlage 15 der AllgStrSchV 2020 zur Orientierung herangezogen werden. Sämtliche Unterlagen sind der zuständigen Behörde vom Betreiber zur Prüfung vorzulegen.

5.7 Anforderungen an die Überwachung der Auslegungsparameter

In der Betriebsphase wird ein Überwachungsprogramm zur Verifizierung der Werte der Auslegungsparameter, die in die Sicherheitsanalyse eingeflossen sind, durchgeführt. Werden signifikante Abweichungen von den Auslegungsdaten bzw. prognostizierten Zuständen festgestellt, ist die Einlagerung zu unterbrechen. Ihre Auswirkungen auf die Sicherheit des Endlagerbauwerks sind zu analysieren. Im Rahmen der Optimierung ist ggf. eine Modifizierung des Endlagerkonzeptes bzw. des weiteren Betriebes vorzusehen. Die Sachverhalte sind der zuständigen Behörde vorzulegen.

Das Überwachungskonzept während der Einlagerungsphase soll mindestens folgende Aspekte beinhalten:

- Eine Bewertung der Abfall-, Behälter- und Lagereigenschaften in Bezug auf zu erwartende nachteilige Veränderungen der Handhabbarkeit der verpackten radioaktiven Abfälle oder Aktivitätsaustritte oder - verschleppungen, eine Beschreibung des Prüfverfahrens (z. B. Stichprobenverfahren, Referenzgebindeverfahren, Rotationsverfahren oder eine Kombination dieser Verfahren),
- Angaben zur Durchführung der Prüfungen (z. B. Sichtprüfungen direkt ohne oder mit Hilfsmitteln (z. B. Spiegel) oder indirekt (z. B. Kamera),
- Angaben zu den festgelegten Prüfintervallen und Prüflosgrößen und
- eine Beschreibung der Dokumentation der Prüfergebnisse mit entsprechenden Regelungen bei Feststellung von Veränderungen.

Ziel des Überwachungskonzepts ist es, ausgehend von den durchgeführten Prüfungen auf den Zustand der Gesamtheit der gelagerten radioaktiven Abfälle schließen und somit nachteilige Veränderungen frühzeitig erkennen zu können. Das Überwachungskonzept ist mit der Aufsichtsbehörde abzustimmen, ebenso wie die zu ergreifenden Maßnahmen bei Handlungsbedarf.

Abhängig von der tatsächlichen Dauer und den Bedingungen der Einlagerungsphase ins Endlager kann nicht ausgeschlossen werden, dass Maßnahmen zur Wiederherstellung der Konformität mit den Annahmebedingungen des Endlagers erforderlich werden. Hierfür ist ein Reparaturkonzept zu erstellen.

Werden Schäden festgestellt und haben diese einen relevanten Einfluss auf den Aktivitätseinschluss oder sind Einschränkungen bei der Handhabbarkeit oder bei der Einhaltung von Anforderungen des Brandschutzes nicht auszuschließen, sind Reparaturmaßnahmen zu ergreifen. Damit dies im Bedarfsfall realisierbar ist, sind Einrichtungen und Maßnahmen kurzfristig verfügbar zu halten. Wenn keine eigenen Behandlungsanlagen zur Verfügung stehen, sind z. B. Overpacks für den Transport bereitzuhalten oder es ist auf andere Weise sicherzustellen, dass diese bei Bedarf rechtzeitig im erforderlichen Umfang verfügbar gemacht werden können.

Zur Verfolgung und Überprüfung der Entwicklung der Einlagerungsbereiche nach Einlagerung der radioaktiven Abfälle sind während der Betriebsphase in den jeweiligen Endlagerungsbereichen an ausgewählten Orten repräsentative Messprogramme vorzusehen und Auswertezeitpunkte festzulegen. Zur Bestätigung der in den Sicherheitsanalysen zur Anwendung gelangten Modellvoraussetzungen sind so weit als möglich gezielte Beobachtungen vorzunehmen.

Ergebnisse aus dem Überwachungsprogramm sind im Hinblick auf die Optimierung des Sicherheitskonzeptes zu bewerten und in Form eines Sicherheitsberichtes der zuständigen Behörde zur Prüfung vorzulegen.

5.8 Anforderungen an Verschluss des Endlagers, Nachbetriebsphase und Stilllegung

Am Ende der Betriebsphase (Einlagerungsphase) wird das Endlager in der Nachbetriebsphase verschlossen. Die Nachbearbeitungsphase endet mit der Stilllegung des Endlagers. Ab diesem Zeitpunkt ist unter normalen Umständen kein weiterer Betrieb am Standort vorgesehen. Die Nachbetriebsphase muss also darauf abzielen, das Endlager zur Stilllegung in einen Zustand zu bringen, der ohne weitere Überwachung zumindest über die geplante Laufzeit stabil bleibt.

Die Nachbetriebsphase beginnt mit einer Überprüfung des Istzustandes des Lagers. Im Rahmen dieser Überprüfung sind zumindest die folgenden Aspekte festzuhalten und der Behörde vorzulegen:

- Vergleich des Istzustandes des Lagers mit den in die Sicherheitsanalyse eingeflossenen Auslegungsparametern.
- Endgültiges eingelagertes Inventar inklusive Festlegung von Leitnukliden und deren Aktivitäten.
- Dokumentation der tatsächlich verwendeten Abfallbehälter und –gebinde sowie der Baumaterialien, die zum Einschluss der Abfallgebinde dienen.
- Gutachten über den baulichen Zustand der für den Einschluss relevanten Gebäudeteile
- Geplante Maßnahmen für den endgültigen Einschluss des Lagers sowie der damit verbundenen Maßnahmen an der Oberfläche/Außenseite des Lagers
- Dokumentation der Umgebungsüberwachung

Ziel dieser Überprüfung ist es, den tatsächlichen Zustand des Lagers direkt vor dem Einschluss festzuhalten, um gegebenenfalls Abweichungen von den Auslegungsparametern feststellen zu können und, wo notwendig, weitere Maßnahmen für einen sicheren Einschluss zu ergreifen.

Nach positiver Überprüfung durch die Behörde kann der endgültige Einschluss und darauf folgend die Stilllegung des Lagers vorgenommen werden. Nach der Stilllegung ist der Ort des Lagers in die Radioaktivitätsüberwachung (§125 StrSchG) einzubinden.

Frühestens fünf aber spätestens 10 Jahre nach Stilllegung des Lagers wird durch eine unabhängige Stelle durch Messungen von Bewuchs, Bodenproben und Oberflächenwässern der Einschluss der radioaktiven Abfälle überprüft.

5.9 Anforderungen an die Infrastruktur (Wechselwirkung mit bestehenden Anlagen)

Nach Stilllegung des Endlagers muss sichergestellt werden, dass der sichere Einschluss der radioaktiven Abfälle nicht durch menschliche äußere Einflüsse gefährdet wird. Im Bereich des Endlagers dürfen keine Arbeiten durchgeführt werden, die Teile des Lagers freilegen oder beschädigen könnten. Dafür muss durch entsprechende Festlegungen in z.B. der Bauordnung gesorgt werden.

Jegliche Bauarbeiten oder geplanten Errichtungen am Gelände selbst bzw. im möglichen Einflussbereich des Endlagers unter Beachtung der lokalen geologischen Gegebenheiten, müssen zusätzlich zu allen rechtlichen Rahmenbedingungen auch hinsichtlich ihres möglichen Einflusses auf den sicheren Einschluss der radioaktiven Abfälle überprüft und genehmigt werden.

6 Störfallszenarien

In der Störfallanalyse für das Endlager müssen auch Störfälle betrachtet werden, die nach der Stilllegung des Endlagers dazu führen könnten, dass die Schutzziele nicht erreicht werden. Insbesondere ist darauf zu achten, dass durch die hohe Dauer des notwendigen Einschlusses der radioaktiven Abfälle auch eine Kombination von Störfällen betrachtet werden muss, die nicht in unmittelbarer zeitlicher Nähe zueinander liegen.

6.1 Einwirkungen von innen

Die in Kapitel 5.2 festgehaltenen Anforderungen an Abfälle, Konditionierungsmatrix, Behälter und Gebinde dienen großteils dazu, Sorge zu tragen, dass die eingelagerten Abfälle in einer möglichst inerten und stabilen Form vorliegen. Das dient dazu, mögliche Einwirkungen von innen auszuschließen. Im Sinne einer Analyse möglicher Störfälle ist es aber notwendig, auch Situationen zu betrachten, die unerwartet auftreten können bzw. die auf unbemerkte Abweichungen von den Anforderungen zurück zu führen sind.

Relevant sind dabei alle Einwirkungen von innen, die in ihren Auswirkungen Freisetzung von relevanten Mengen radioaktiver Stoffe verursachen können. Dies kann durch eine Mobilisierung (chemisch, physikalisch) der radioaktiven Stoffe und einer gleichzeitigen Verletzung des Einschlusses eintreten.

Für eine Störfallanalyse eines Endlagers sind jedenfalls die folgenden Szenarien als Einwirkungen von innen zu betrachten:

- Entstehung chemischer Reaktionen, die in der Folge zu einem Druckaufbau in den Behältern oder zu verstärkter (beschleunigter) Korrosion führen können.
- Entstehung radiolytischer Reaktionen, die in der Folge zu einem Druckaufbau in den Behältern oder zu verstärkter (beschleunigter) Korrosion führen können.
- Chemische oder radiolytische Reaktionen die, eventuell gemeinsam mit Wassereintritt oder Kondensation, zu einer Mobilisierung der eingeschlossenen Radionuklide in flüssigem oder gasförmigem Zustand führen können.
- Wärmeentwicklung aufgrund von chemischen oder radiolytischen Reaktionen bzw. als direkte Konsequenz der Aktivitätskonzentration.

- Zerstörung der Behälter oder Gebinde durch das Einbrechen oder Verstürzen von ungefüllten Hohlräumen.

6.2 Einwirkungen von außen

Unter Berücksichtigungen der Sicherheitskriterien für die Einlagerung sind Einwirkungen von innen als eher unwahrscheinlich zu klassifizieren. Einwirkungen von außen sind im Gegenzug kaum kontrollierbar und müssen daher betrachtet werden.

6.2.1 Naturbedingte Einwirkungen von außen

Aktuell (im Jahr 2022) steigt die Wahrscheinlichkeit extremer Wetterereignisse stark an. Bei der Betrachtung von naturbedingten Ereignissen als Auslöser von Störfällen ist daher die aktuelle Entwicklung von Wetterereignissen zu berücksichtigen und die entsprechenden Wahrscheinlichkeiten gegebenenfalls zu korrigieren.

Folgende naturbedingte Einwirkungen von außen, die Störfälle verursachen können sind jedenfalls zu betrachten:

- Wassereinträge, sowohl durch das Eindringen von Oberflächenwasser als auch durch einen erhöhten Grundwasserspiegel
- Unterspülung der Gebäude bzw. der zum Einschluss dienenden Strukturen
- Erdbeben
- Sturm
- Blitzeinschlag
- Bruch von für den Einschluss dienenden Strukturen durch pflanzlichen Bewuchs
- Weitere naturbedingte Einwirkungen von außen, die (auch langfristig) zu einer Beschädigung der zum Einschluss dienenden Strukturen führen können

6.2.2 Zivilisatorisch bedingte Einwirkungen von außen

Störfälle können auch durch zivilisatorische Einwirkungen von außen eintreten. Dazu zählen unbeabsichtigte Ereignisse (siehe Kapitel 5.9) aber auch absichtlich herbeigeführte Ereignisse.

In einer Störfallanalyse müssen jedenfalls unbeabsichtigte zivilisatorische Einwirkungen wie zum Beispiel:

- Beschädigung der für den Einschluss relevanten Strukturen durch Baumaßnahmen
- Beschädigung der für den Einschluss relevanten Infrastruktur
- Erhöhung der Schadenswahrscheinlichkeit durch extreme Wetterereignisse durch Veränderungen an der Oberflächenstruktur des Geländes bzw. der Strukturen

betrachtet werden und nach Möglichkeit schon bei Bau, Betrieb und Einschluss durch entsprechende Maßnahmen eingeschränkt werden.

Absichtlich herbeigeführte Ereignisse, die zu einem Störfall führen können, sollten in einer eigenen Sicherheitsanalyse (security) betrachtet werden. Dabei ist zu beachten, dass die Implementierung von Sicherheitsmaßnahmen integrativ mit den notwendigen Sicherheitsmaßnahmen erfolgt und das Niveau der Sicherheitsmaßnahmen der tatsächlichen radiologischen Gefahr angepasst wird¹⁹.

¹⁹ IAEA 2018, Nuclear Security Series No. 27-G, Physical Protection of Nuclear Material and Nuclear Facilities (Implementation of INFCIRC/225/REVISION 5), International Atomic Energy Agency, Vienna, 2018

7 Qualitätssicherung und Qualitätskontrolle, Safety Case, Nachweisführung

7.1 Sicherheitsnachweis ("Safety Case")

Der Sicherheitsnachweis oder Safety Case wird von der Betreibergesellschaft erarbeitet und weist nach, dass die Sicherheitsanforderungen bzw Sicherheitskriterien, die die Aufsicht fordert, erfüllt werden. Der Sicherheitsnachweis ist ein "living document" und begleitet die Anlage vom Beginn der Planung bis zu ihrer Stilllegung und darüber hinaus in die Nachbetriebsphase. Je nach Planungsstand erhöht sich die Detailschärfe. Ein erster Sicherheitsnachweis wird erarbeitet, sobald, nach Klassifizierung des Inventars, eine Vorentscheidung getroffen wurde, welcher Lagertyp angestrebt werden sollte. Mit generischen Annahmen wird gezeigt, dass die Wahl des Lagers dem geplanten Inventar angemessen ist, das bedeutet, dass keine Freisetzungen zu erwarten sind, die die Dosisrichtwerte überschreiten würden (generisches Design und generischer Sicherheitsnachweis).

In einem nächsten Schritt wird das Design, zusammen mit grundsätzlich möglichen Standorten, weiter eingeschränkt. Ein "konzeptionelles Design" wird erarbeitet, dass es erlaubt, standortspezifische Sicherheitsanforderungen abzuleiten. Der Sicherheitsnachweis wird entsprechend angepasst.

Wurde ein Standort gewählt, wird ein technisches Design erarbeitet. Der Sicherheitsnachweis ist nun an den gewählten Standort sowie das gewählte Design angepasst und ist die Grundlage für die Baugenehmigung.

Der Sicherheitsnachweis muss grundsätzlich immer die Sicherheit über alle Betriebsphasen und darüber hinaus nachweisen. Solange das Lager unter behördlicher Kontrolle steht, muss darüber hinaus eine periodische Sicherheitsüberprüfung durchgeführt werden (in der Regel alle zehn Jahre), in der das Design und der Sicherheitsnachweis gegen den Stand von Wissenschaft und Technik gehalten werden. Sollte neues Wissen gewonnen worden sein, könnten Nachrüstungen verlangt werden.

Konventionelle Risikoabschätzungen lassen sich nur schwer auf ein Endlager für radioaktive Abfälle übertragen. Die relevanten Zeiträume, für die der sichere Einschluss nachzuweisen ist, sind, bedingt durch lange Halbwertszeiten bestimmter Radionuklide in den Abfällen, teilweise extrem groß. Gleichzeitig können durch komplexe und indirekte Effekte Konsequenzen an unerwarteten Orten auftreten. Es gibt bis jetzt nur sehr begrenzt Erfahrungen auf diesem Gebiet. Zusätzlich lassen sich Experimente, auch wieder bedingt durch die langen Zeiträume, nur schwer durchführen.

Der Sicherheitsnachweis ist eine Sammlung von Argumenten und Beweisen zum Nachweis der Sicherheit einer Anlage und der Erfüllung aller geltenden rechtlichen Anforderungen. Er umfasst die Sicherheitsbewertung, aber auch Informationen über die Belastbarkeit und Zuverlässigkeit der Bewertung und der getroffenen Annahmen. Die Zeit, für die der Sicherheitsnachweis geführt werden muss, wird durch die Zusammensetzung der eingelagerten Abfälle bestimmt. Je länger die Halbwertszeit sicherheitsrelevanter Nuklide ist, desto länger muss der sichere Einschluss gewährleistet sein.

Generell sind auch bei einem Endlager alle bereits vorhandenen Gesetze und Bestimmungen anzuwenden. Es wird davon ausgegangen, dass für die Zeit vor dem Verschluss des Endlagers die bereits vorhandenen Regeln/Bestimmungen/Gesetze zur Betriebssicherheit und dem Strahlenschutz, der Personensicherheit, der Arbeitssicherheit und dem Gesundheitsschutz und bezgl. Auswirkungen auf die Umwelt ausreichen. Deswegen konzentriert sich dieser Bericht auf die Zeit nach dem Verschluss des Endlagers. Es ist zu beachten, dass die Betriebsphase Auswirkungen auf die Langzeitsicherheit haben kann (Wolf et al., 2020, p. 17). So muss zum Beispiel laut den Schweizer Aufsichtsbehörden geprüft werden, ob während der Betriebsphase zu Beschädigungen eines Endlagerbehälters kam (Nagra, 2014, p. 7). Im englischen wird zwischen dem „safety case“ und dem „integrated safety case“ unterschieden, wobei letzterer sowohl die Betriebs- als auch die Nachverschlussphase betrachtet. Für den Sicherheitsnachweise wird in der Regel ein iteratives Verfahren angewendet (Canadian Nuclear Safety Commission, 2021, p. 10; Nagra, 2002, p. 10; Preter et al., 2001, p. 17)

Der Sicherheitsnachweis muss sowohl die normale Entwicklung des Endlagers als auch mögliche unerwartete Ereignisse wie das vorzeitige Versagen einzelner Barrieren oder das Eindringen von außen behandeln. Unerlässlich sind dabei Modelle, die den Transport der unterschiedlichen Radionuklide durch die Geosphäre in die Biosphäre für die verschiedenen Szenarien simulieren. Vor allem bei Endlagern nahe der Oberfläche müssen Szenarien des

beabsichtigten und unbeabsichtigten menschlichen Eindringens betrachtet werden. Die Folgen eines solchen Eindringens müssen minimiert werden – was ggf. erfordert, zumindest bestimmte Teile der radioaktiven Abfälle in tieferliegenden Schichten zu lagern.

Je nach Lagertyp beziehungsweise Einlagerungsgestein sind unterschiedliche Szenarien zu analysieren. So ist z.B. bei der Einlagerung Ton eine wichtige Barriere (Preter et al., 2001), die möglichst wenig beeinflusst werden sollte.

Dabei muss mindestens betrachtet werden (Canadian Nuclear Safety Commission, 2021)

- Die Entwicklung der Zusammensetzung / Gesamtaktivität des Inventars
- radionuklidspezifische Freisetzungsraten
- Entwicklung der technologischen Barrieren (bsp. Behälter)
- Entwicklung der natürlichen Barrieren (bsp. Gesteinsschichten)
- der Transport der Radionuklide bis in die Biosphäre
- vom Endlager ausgehende Exposition und mögliche Folgen (Canadian Nuclear Safety Commission, 2021)

Aus der Szenarioanalyse heraus lassen sich Akzeptanzkriterien für Inhalt und Aufbau einzelner Abfallgebinde als auch für die gesamte Anlage ableiten. Dies umfasst sowohl Menge und Zusammensetzung des Abfalls als auch die notwendige Konditionierung und die Auslegung des Lagers. <https://www.osti.gov/servlets/purl/883449>

7.2 Qualifikation der Abfallbehälter

Abfallbehälter können als eine der Barrieren im Endlagerkonzept vorgesehen werden. In diesem Fall sind sie in einer Art zu konzipieren und zu fertigen, dass sie als Sicherheitsbarriere nach Verschluss des Endlagers dienen können. Gleichzeitig müssen Unfälle während der Fertigung und Einlagerung vermieden werden. Falls eine Rückholbarkeit auch nach dem Ende der Einlagerungsphase gewünscht ist, müssen die Behälter für diesen Zeitraum ihre Integrität behalten.

Die Anforderung an einen Abfallbehälter sind auch von dem gewählten Endlagerkonzept abhängig. Die geochemischen Bedingungen am Einsatzort müssen bei der Auswahl der verwendeten Materialien beachtet werden. (Endlagerkommission, 2016, p. 367)

Die einzulagernden Abfallbehälter müssen denen im Sicherheitsnachweis angenommen Anforderungen sowohl im Einlagerungs- als auch in der Nachbetriebsphase komplett entsprechen (IAEA, 2011, p. 39). Erstrebenswert ist es, Abfallbehälter auch experimentell zu überprüfen.

7.3 Validierung von Verfahren

Experimentelle Überprüfung der für die Endlagerung verwendeten Verfahren ist aufgrund der langen Zeiträume nur schwer möglich. Deswegen ist in der Regel auch das Betrachten von geo- und hydrologischen Vergleichsformationen und deren zeitliche Entwicklung zulässig.

Die zur Führung des Sicherheitsnachweises verwendeten Verfahren müssen entsprechen validiert werden. Das bedeutet, dass sowohl überprüft werden muss, ob die Computermodele korrekt arbeiten und ob die Problemstellung der Wirklichkeit ausreichend nahekommt.

Seltene Ereignisse („Jahrtausendhochwasser, Jahrhunderterdbeben“) treten aufgrund der langen Verschlusszeiten mit großer Wahrscheinlichkeit auf. Das muss beim Führen des Sicherheitsnachweises beachtet werden.

7.4 Dokumentation

Eine umfassende Dokumentation ist relevanter Aspekt zur Gewährleistung der Sicherheit eines Endlagers. Bereits während der Planungsphase des Endlagers sollte evaluiert werden, welche Informationen in welcher Form an zukünftige Generationen weitergegeben werden (müssen). Hierzu werden alle vorstellbaren Situationen analysiert. Gleichzeitig kann auf bereits gemacht Erfahrungen mit anderen kerntechnischen Anlagen, insbesondere Endlagern für radioaktive Abfälle, zurückgegriffen werden. (Endlagerkommission, 2016, p. 359ff). Die Endlagerkommission empfiehlt auch, alle Daten in geeigneter Weise aufzubewahren und nicht zu vernichten, da noch nicht absehbar ist, welche Daten in Zukunft gebraucht werden könnten. Die Daten sollten außerdem an mindestens zwei räumlich getrennten Orten aufbewahrt werden.

Es scheint sinnvoll, zwischen mindestens zwei verschiedenen Zeiträumen zu unterscheiden: mittelfristig wird es sicherlich eine gewisse Form der Überwachung geben – und selbst sie vor allem dazu dient, die erwartungsgemäße Entwicklung des Endlagers zu bestätigen. Daran schließt sich die Periode an, in der keine Überwachung geplant ist. In diesem Fall muss sichergestellt werden, dass die zukünftige Bevölkerung vor der möglichen Gefahr gewarnt wird. Hierzu gibt es international unterschiedlichen Ansätze (Mraz, 2018).

Vor allem im Kontext der Endlager für hochradioaktive Abfälle wird auch immer wieder über ein sogenanntes „Rolling-Stewardship-Programm“ gesprochen. Hierbei werden die vorhandenen Daten und Dokumente aktiv von einer damit beauftragten Organisation gewartet. Die Weitergabe der Informationen an die nächste Generation ist dabei entscheidend.

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Dosisgrenzwerte für die Bevölkerung (von einem Endlager für radioaktive Abfälle)	17
Tabelle 2: Abfalltypen zur stofflichen Beschreibung.....	30

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Die Verwendung von Sicherheitskriterien zur Bewilligung eines Endlagers im groben schematischen Ablauf.....	8
Abbildung 2: Einteilung radioaktiver Abfälle nach (IAEA, 2009).....	10

Literaturverzeichnis

BMU, 2010. Sicherheitsanforderungen an die Endlagerung wärmeentwickelnder radioaktiver Abfälle. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit.

Bundesgesetz über Maßnahmen zum Schutz vor Gefahren durch ionisierende Strahlung (Strahlenschutzgesetz 2020 – StrSchG 2020); BGBl. I Nr. 50/2020.

Canadian Nuclear Safety Commission, 2021. Waste management, Volume III: Safety Case for the Disposal of Radioactive Waste.

Code of Federal Regulations, 2001. Part 197 - Public Health and Environmental Radiation Protection Standards for Yucca Mountain, Nevada.

EN 13501, Klassifizierung von Bauprodukten und Bauarten zu ihrem Brandverhalten

Endlagerkommission, 2016. Abschlussbericht der Kommission Lagerung hoch radioaktiver Abfallstoffe. Kommission Lagerung hochradioaktiver Abfallstoffe.

Environment Agency, 2009. Near-surface Disposal Facilities on Land for Solid Radioactive Waste - Guidance on Requirements for Authorisation.

France, 2017. Sixth National Report on Compliance with the Joint Convention Obligations.

Hedin, A., 1997. Spent Nuclear Fuel - How Dangerous is it? A Report from the Project "Description of Risk" (Technical Report 97-13). Swedish Nuclear Fuel and Waste Management Co, Stockholm, Sweden.

IAEA, 1999. The Physical Protection of Nuclear Material and Nuclear Facilities, INFCIRC/ 225/Rev.4(Corr.), International Atomic Energy Agency, Vienna.

IAEA, 2008. Disposal Aspects of Low and Intermediate Level Decommissioning Waste, TECDOC series. International Atomic Energy Agency, Vienna.

IAEA, 2009. Classification of Radioactive Waste, General safety guides. International Atomic Energy Agency, Vienna.

IAEA, 2011. Disposal of Radioactive Waste, Specific safety requirements. International Atomic Energy Agency, Vienna.

IAEA, 2012. Disposal of Radioactive Waste. IAEA, Safety Standards for protecting people and the environment. Specific Safety Requirements No. SSR-5. Vienna.

IAEA, 2014. Criticality Safety in the Handling of Fissile Material. IAEA Safety Standards for protecting people and the environment. Specific Safety Guide No. SSG-27. Vienna.

IAEA, 2018. Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material. IAEA Safety Standard Series No SSR-6. Vienna.

IAEA 2018, Nuclear Security Series No. 27-G, Physical Protection of Nuclear Material and Nuclear Facilities (Implementation of INFCIRC/225/REVISION 5), International Atomic Energy Agency, Vienna.

IAEA, 2020. Design Principles And Approaches For Radioactive Waste Repositories, Nuclear Energy Series No. NW-T-1.27, Vienna.

ICRP, 2006. Assessing Dose of the Representative Person for the Purpose of the Radiation Protection of the Public. (No. ICRP Publication 101a. Ann. ICRP 36 (3).).

ICRP, 2012. Compendium of dose coefficients based on ICRP publication 60. ICRP publication 119. Ann. ICRP 41(Suppl.).

Lenz, S., 2009. Vulnerabilität Kritischer Infrastrukturen, Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe, Pf 18 67, 553008 Bonn, 2009, ISBN-13:978-3-939347-11-8

Mraz G., 2018. Knowledge Preservation for Nuclear Waste Repositories. WUA, Vienna.

Nagra 2002. Demonstration of Disposal Feasibility for Spent Fuel, Vitrified High-level Waste and long-lived Intermediate-level Waste (Entsorgungsnachweis). National Cooperative for the Disposal of Radioactive Waste, Switzerland.

Nagra 2014. Arbeitsbericht NAB 14-51: Ergänzende Sicherheitsbetrachtungen für die Untertageanlagen der geologischen Tiefenlager in der Betriebsphase: Vorgaben, Vorgehen und Dokumentation der Ergebnisse.

ÖNORM B 1998-1, Eurocode 8: Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben - Teil 1: Grundlagen, Erdbebeneinwirkungen und Regeln für Hochbauten - Nationale Festlegungen zu ÖNORM EN 1998-1 und nationale Erläuterungen 2017-07-01

ÖNORM B 1998-3, Eurocode 8 - Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben - Teil 3: Beurteilung und Ertüchtigung von Gebäuden - Nationale Festlegungen zu ÖNORM EN 1998-3 und nationale Erläuterungen 2018-10-15

ÖNORM EN 1998-1, Eurocode 8: Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben - Teil 1: Grundlagen, Erdbebeneinwirkungen und Regeln für Hochbauten (konsolidierte Fassung), 2013-06-15

ÖNORM EN 1998-3, Eurocode 8: Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben - Teil 3: Beurteilung und Ertüchtigung von Gebäuden (konsolidierte Fassung), 2013-10-01

ÖNORM EN 1998-4, Eurocode 8 - Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben - Teil 4: Silos, Tankbauwerke und Rohrleitungen, 2007-02-01

ÖNORM EN 1998-5, Eurocode 8: Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben - Teil 5: Gründungen, Stützbauwerke und geotechnische Aspekte, 2005-05-01

ÖNORM EN 1998-6, Eurocode 8: Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben - Teil 6: Türme, Maste und Schornsteine, 2005-12-01

ÖVE/ÖNORM EN 62305-1 - Blitzschutz - Teil 1: Allgemeine Grundsätze (IEC 62305-1:2010, modifiziert) (deutsche Fassung). Ausgabe: 2012-07-01

ÖVE/ÖNORM EN 62305-2, Blitzschutz - Teil 2: Risiko-Management (IEC 62305-2:2010, modifiziert) (deutsche Fassung). Ausgabe: 2013-06-01

ÖVE/ÖNORM EN 62305-3 Bbl 1, Blitzschutz - Teil 3: Schutz von baulichen Anlagen und Personen - Beiblatt 1: Zusätzliche Informationen für bauliche Anlagen mit explosionsgefährdeten Bereichen. Ausgabe: 2013-11-01

ÖVE/ÖNORM EN 62305-3 Bbl 2, Blitzschutz - Teil 3: Schutz von baulichen Anlagen und Personen - Beiblatt 2: Auswahl der Mindest-Blitzschutzklasse und der Prüfintervalle für bauliche Anlagen. Ausgabe: 2013-02-01

ÖVE/ÖNORM EN 62305-3, Blitzschutz - Teil 3: Schutz von baulichen Anlagen und Personen (IEC 62305-3:2010, modifiziert) (deutsche Fassung). Ausgabe: 2012-07-01

ÖVE/ÖNORM EN 62305-4, Blitzschutz - Teil 4: Elektrische und elektronische Systeme in baulichen Anlagen (IEC 62305-4:2010, modifiziert) (deutsche Fassung). Ausgabe: 2012-07-01

Preter, P. de, Lalieux, P., Cool, W., 2001. Technical overview of the SAFIR 2 report - Safety Assessment and Feasibility Interim Report 2. ONDRAF/NIRAS, http://www.ondraf.be/sites/default/files/Safir2_apercutech_eng.pdf.

Schmidt, G., Kirchner, G., Pistner, C., 2013. Endlagerproblematik - Können Partitionierung und Transmutation helfen? Technikfolgenabschätzung - Theorie und Praxis 22, 52–58.

StrlSchV, 2018. Verordnung zum Schutz vor der schädlichen Wirkung ionisierender Strahlung (Strahlenschutzverordnung - StrlSchV).

Verordnung der Bundesministerin für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie, des Bundesministers für Soziales, Gesundheit, Pflege und Konsumentenschutz und der Bundesministerin für Digitalisierung und Wirtschaftsstandort über allgemeine Maßnahmen zum Schutz vor Gefahren durch ionisierende Strahlung (Allgemeine Strahlenschutzverordnung 2020 – AllgStrSchV 2020); BGBl. II Nr. 339/2020.

Verordnung des Bundesministers für soziale Verwaltung vom 5. Dezember 1984, mit der eine ÖNORM über Prüfvorschriften für Krane und Hebezeuge verbindlich erklärt wird, StF: BGBl. Nr. 68/1985.

Verordnung über den Schutz der Arbeitnehmer/innen vor Gefahren durch den elektrischen Strom (Elektroschutzverordnung 2012 – ESV 2012), BGBl II Nr. 33/2012.

Wolf, J., Lommerzheim, A., Bertrams, N., Buhmann, D., Filbert, W., Förster, B., Herold, P., Leonhard, J., Noseck, U., Prignitz, S., 2020. Bewertung der Abhängigkeiten zwischen dem sicheren Bau und Betrieb eines Endlagers für hochradioaktive Abfälle und der Langzeitsicherheit: Synthese der Ergebnisse aus dem Vorhaben BASEL, GRS. Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH, Köln Garching b. München Berlin Braunschweig.

Abkürzungen

ADN	Europäisches Übereinkommen über die internationale Beförderung von gefährlichen Gütern auf Binnenwasserstraßen
ADR	Europäisches Übereinkommen über die internationale Beförderung gefährlicher Güter auf der Straße.
BGBI.	Bundesgesetzblatt
ECOSOC	Economic and Social Council - Wirtschaft- und Sozialrat der UNO
GHS	Global Harmonisiertes System der Klassifizierung und Kennzeichnung (gefährlicher Chemikalien/Güter).
IAEA	International Atomic Energy Agency - Internationale Atomenergie-Organisation
IATA	International Air Transport Association
ICAO	International Civil Aviation Organization - Internationale Zivilluftfahrt-Organisation
ICAO-TI	Technical Instructions for the Safe Transport of Dangerous Goods by Air - Technische Anweisung für die sichere Beförderung gefährlicher Güter im Luftverkehr (der ICAO)
ICRP	International Commission on Radiological Protection – Internationale Strahlenschutzkommission
IMDG Code	International Maritime Dangerous Goods Code - Internationaler Code für die Beförderung gefährlicher Güter mit Seeschiffen
RID	Ordnung für die internationale Eisenbahnbeförderung gefährlicher Güter
TDG	Transport of Dangerous Goods
TRANSSC	Transport Safety Committee der IAEA - Beratergremium der IAEA für die Beförderung radioaktiver Stoffe
UNO	United Nations Organization - Vereinte Nationen

Österreichischer Beirat für die Entsorgung radioaktiver Abfälle

kontakt@entsorgungsbeirat.gv.at

entsorgungsbeirat.gv.at