



ARBEITSBERICHT NAB 24-34

Generische Sicherheitsbetrachtungen der
Einwirkungen von innen für eine
Brennelementverpackungsanlage

September 2024



ARBEITSBERICHT NAB 24-34

Generische Sicherheitsbetrachtungen der
Einwirkungen von innen für eine
Brennelementverpackungsanlage

September 2024

STICHWÖRTER

Betriebssicherheit, Sicherheitsbetrachtung,
Einwirkungen von innen, Brennelementverpackungsanlage

**Nagra | Nationale Genossenschaft
für die Lagerung radioaktiver Abfälle**
Hardstrasse 73 | 5430 Wettingen | Schweiz
+41 56 437 11 11 | info@nagra.ch | nagra.ch

Nagra Arbeitsberichte stellen Ergebnisse aus laufenden Aktivitäten dar, welche nicht zwingend einem vollumfänglichen Review unterzogen wurden. Diese Berichtsreihe dient dem Zweck der zügigen Verteilung aktueller Fachinformationen.

Zusammenfassung

Vorliegender Bericht beinhaltet eine generische Sicherheitsbetrachtung der Einwirkungen von innen für eine Brennelementverpackungsanlage (BEVA). Der Bericht bewertet und legt nachvollziehbar dar, dass die gesetzlichen und behördlichen Anforderungen erfüllbar sind.

Dabei wird bei der Auslegung der Anlage auf eine langjährige, breite und weltweite Erfahrungsbasis aus Zwischenlagern, aus Hotlaboren und aus Wiederaufarbeitungsanlagen zurückgegriffen, mit der das gesamte Spektrum der potenziell vorkommenden intern auslösenden Ereignisse bereits konstruktiv vermieden oder deren Weiterentwicklung zu radiologischen Störfällen verhindert sowie entstandene Störfälle beherrscht, beendet und eine unzulässige Freisetzung zuverlässig vermieden wird. Dies wird einerseits durch eine geeignete bautechnische Auslegung der BEVA und andererseits durch zuverlässig ausgelegte mechanisch-elektrische Hebe-/Transportfahrzeuge und Ausrüstungen sowie durch eine entsprechende Qualifikation des Personals sichergestellt.

Das hauptsächliche Sicherheitsdispositiv stellen jedoch die robusten Behälter dar, in denen die radioaktiven Abfälle eingeschlossen sind. Die Behälter sind so ausgelegt und geprüft, dass sie – in Verbindung mit den auslegungsbedingt nur begrenzt auftretenden Belastungen innerhalb der BEVA – auch im Fall eines Störfalls intakt bleiben. Folglich ist der Einschluss der radioaktiven Stoffe sichergestellt und eine Freisetzung ausgeschlossen. Einzig bei der Handhabung der radioaktiven Abfälle in der Umladezelle kann eine ereignisbedingte Freisetzung nicht ausgeschlossen werden. Die Umladezelle ist auf diese Ereignisse ausgelegt (Abluftfilterung), mit dem Ziel eine unzulässige Freisetzung in die Umwelt zu verhindern. Der quantitative Nachweis wurde im Rahmen des abdeckenden Störfalls (BE-Absturz in der Umladezelle) – der auch für die BEVA gilt – bereits vom Zwiilag erbracht. Die Dosisgrenzwerte nach Art. 123 StSV können in jedem Fall eingehalten werden bzw. werden weit unterschritten.

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung.....	I
Inhaltsverzeichnis.....	III
Abkürzungsverzeichnis	IV
1 Einleitung	1
1.1 Vorgehen und Grundlagen der Sicherheitsbetrachtung	1
1.2 Randbedingungen und Massnahmen	1
1.3 Ermittlung des Spektrums bzgl. der Einwirkungen von innen	2
2 Ergebnisse der Sicherheitsbetrachtung	3
2.1 Reaktivitätsstörung und Verlust der Wärmesenke.....	3
2.2 Anlageninterner Brand und Explosion	3
2.3 Anlageninterne Überflutung	4
2.4 Fehlhandlungen des Personals (inkl. beeinträchtigtes Personal)	4
2.5 Fehlerhafte Handhabung von radioaktivem Material	6
2.6 Versagen oder Fehlfunktion von Betriebssystemen: Transport-, Hebe- und Handhabungsmitteln	7
2.7 Versagen oder Fehlfunktion von Betriebssystemen: Stromversorgung.....	7
2.8 Komponentenversagen	8
3 Literaturverzeichnis	9

Abkürzungsverzeichnis

BE	Abgebrannte Brennelemente
BEVA	Brennelementverpackungsanlage
ELB	Endlagerbehälter
ENSI	Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat
EVA	Einwirkungen von aussen
EVI	Einwirkungen von innen
HAA	Hochaktive Abfälle (abgebrannte Brennelemente und hochaktive Abfälle aus der Wiederaufarbeitung)
KEG	Kernenergiegesetz
SSK	Strukturen, Systeme und Komponenten
TB	Transportbehälter
TLB	Transport- und Lagerbehälter
WA(HAA)	Hochaktive Abfälle aus der Wiederaufarbeitung

1 Einleitung

In diesem Bericht wird die in ENSI (2018) geforderte generische Sicherheitsbetrachtung bzgl. der Einwirkungen von innen (EVI) für die Brennelementverpackungsanlage (BEVA) dokumentiert¹. Die Sicherheitsbetrachtung zeigt im Zuge des Rahmenbewilligungsgesuchs auf, dass allfällige EVI mit etablierten Massnahmen beherrschbar sind und die sicherheitstechnische Machbarkeit gegeben ist.

1.1 Vorgehen und Grundlagen der Sicherheitsbetrachtung

Die Sicherheitsbetrachtung basiert auf der systematischen Charakterisierung und Bewertung der im Störfallspektrum identifizierten EVI (siehe Kap. 1.3) unter Einbezug des in Nagra (2025) für die BEVA zugrunde liegenden exemplarischen Anlagen- und Betriebskonzepts. Der Fokus liegt auf der Identifizierung betrieblich nicht vorgesehener innerer Einwirkungen und der daraus resultierenden Belastungen (mechanisch und/oder thermisch) von hochaktiven Abfällen (HAA) oder Behältern², die unter Umständen zu einer Reduzierung oder zum Verlust der Abschirmwirkung oder zu einer Freisetzung von Radionukliden (innerhalb / ausserhalb der Anlage) führen. Ziel ist es, eine unzulässige störfallbedingte Direktstrahlung oder Freisetzung radioaktiver Stoffe für das strahlenexponierte Personal in der Anlage bzw. für die Bevölkerung in der Umgebung durch eine sicherheitsgerichtete Auslegung und Betrieb der Anlage zu vermeiden bzw. zu begrenzen. Es wird plausibel aufgezeigt, dass die Schutzziele (siehe Nagra 2025) eingehalten werden können. Die dabei aufgezeigten Massnahmen dienen somit der Reduzierung der Häufigkeit und/oder des Ausmasses bzw. der Konsequenzen des betrachteten Ereignisses. Die finale Ausgestaltung und Funktionalität der Massnahmen erfolgt nach Kernenergiegesetz im Rahmen des weiteren Bewilligungsverfahrens.

1.2 Randbedingungen und Massnahmen

Im Folgenden werden relevante Randbedingungen und Massnahmen aufgelistet, die der Sicherheitsbetrachtung zugrunde liegen:

- Sicherheits- und strahlenschutztechnische Grundsätze werden bei der Auslegung und bei den Betriebsprozessen wie folgt berücksichtigt:
 - Die verschlossenen TLB bzw. ELB (verpackt in Transportbehälter) sind robust gegen externe und interne Einwirkungen ausgelegt und nicht brennbar.
 - Die Ortsdosisleistung der TLB/ELB – insbesondere in Verbindung mit ihren Abschirm- bzw. Transportbehältern – ist begrenzt (entsprechend den Transportbedingungen).
 - Die Umladezelle gewährleistet auch im Störfall die notwendige Rückhaltung radioaktiver Stoffe und sorgt durch ihre Abschirmung für eine zulässige Ortsdosisleistung im Service-/Bedienbereich.
 - Der Bau und die Montage der BEVA ist vollständig abgeschlossen, die Strukturen, Systeme und Komponenten (SSK) sind entsprechend ihrer Auslegung qualitätsgeprüft, installiert, in Betrieb gesetzt und im Rahmen einer Kaltinbetriebnahme auf Betriebseignung und -sicherheit getestet.

¹ Eine standortspezifische Charakterisierung der Einwirkungen von aussen (EVA) erfolgt mit der Charakterisierung und Bewertung der Standorteignung in Nagra (2025).

² Der Begriff «Behälter» fasst die Transport- und Lagerbehälter (TLB) bzw. die Endlagerbehälter (ELB) zusammen.

- Ein Zonenkonzept (Einrichtung von Zonen und Gebieten) wurde entsprechend den strahlenschutztechnischen Anforderungen (z. B. Zugänge, Unterdrucklüftung, Abluftfilterung) umgesetzt.
 - Die erforderlichen Prüf-, Wartungs- und Instandhaltungsroutinen sind implementiert.
 - Bei Bedarf besteht die Möglichkeit, den Betrieb (vorbeugend oder im Ereignisfall) jederzeit kontrolliert zu unterbrechen, um eine Beeinträchtigung oder eine Gefährdung des Personals bzw. von Systemen auszuschliessen. Ein paralleles Auftreten von ereignisbedingten Fehlhandlungen bzw. -funktionen lässt sich somit vermeiden.
 - Zugänge für Intervention und Rettung sind vorhanden.
- Die Grundsätze zur Organisation und zum Personal gemäss Nagra (2025) sind entsprechend umgesetzt. Dies betrifft insbesondere, dass das Personal in ausreichender Anzahl vorhanden, entsprechend qualifiziert, geschult³ und ausgerüstet sowie eingewiesen und vertraut mit der Anlage, den Ausrüstungen, dem Betrieb und der Instandhaltung ist.

1.3 Ermittlung des Spektrums bzgl. der Einwirkungen von innen

Die Bestimmung des Spektrums der zu unterstellenden Einwirkungen von innen ergibt sich unter Berücksichtigung anlagentechnischer Gegebenheiten. Für die Erstellung des Spektrums werden grundsätzlich die gesetzlichen und behördlichen Vorgaben und Verordnungen (insbesondere KEG (2003), KEV (2004) und UVEK (2009)) berücksichtigt⁴. Als EVI gelten folgende Ereignisse:

- Reaktivitätsstörung
- Verlust der Wärmesenke
- Anlageninterner Brand
- Anlageninterne Explosion
- Anlageninterne Überflutung
- Fehlhandlung des Personals (inkl. beeinträchtigtes Personal)
- Fehlerhafte Handhabung von radioaktivem Material
- Versagen oder Fehlfunktion von Betriebssystemen und
- Komponentenversagen

³ Im Betrieb erfolgen periodisch oder nach Bedarf weitere Unterweisungen, Schulungen und Notfallübungen zur Aufrechterhaltung bzw. Aktualisierung des Sicherheitsbewusstseins.

⁴ Dabei wird mindestens auf die in Art. 4 UVEK (Gefährdungsannahmen für Störfälle mit Ursprung innerhalb der Anlage) genannten Störfalltypen sowie weitere anlagenspezifische Störfälle eingegangen, soweit sie für die BEVA zutreffen.

2 Ergebnisse der Sicherheitsbetrachtung

2.1 Reaktivitätsstörung und Verlust der Wärmesenke

Reaktivitätsstörung und Verlust der Wärmesenke sind – wie bereits in Nagra (2025) ausführlich erläutert – für eine BEVA nicht relevant und können daher ausgeschlossen werden.

2.2 Anlageninterner Brand und Explosion

Ziel

Die Entstehung von anlageninternen Bränden oder Explosionen wird durch die Auslegung weitestgehend ausgeschlossen. In Verbindung mit den robusten Behältern wird eine Freisetzung radioaktiver Stoffe durch einen Brand verhindert. In der Umladezelle werden Brandlasten und Zündquellen vermieden, die Entstehung eines Brandes in der Umladezelle ist ausgeschlossen.

Massnahmen und generische Bewertung

Die SSK der BEVA sind nicht brennbar oder schwer brennbar, wobei nicht brennbare Materialien gemäss z. B. den Brandschutzrichtlinien der Vereinigung Kantonalen Feuerversicherungen⁵ verwendet werden. Die Brandlasten werden auf das notwendige Mindestmass begrenzt, sodass keine bedeutenden Mengen an mobilen oder ortsfesten Brandlasten vorhanden sind. Zudem werden in der BEVA – auf Basis der eingesetzten Betriebsmittel – keine bzw. keine bedeutenden Mengen explosionsfähiger Stoffe aufbewahrt oder gehandhabt. Dies gilt insbesondere für den Kontroll- und Überwachungsbereich, in denen die radioaktiven Abfälle und Behälter gehandhabt werden. Zudem ist die Anzahl der bei einem potenziellen Brand betroffenen Behälter durch das Betriebskonzept, das auf einer bedarfsgerechten Anlieferung, Abfertigung und Auslieferung basiert, begrenzt. Periodisch durchgeführte Brandlastinspektionen verhindern die Akkumulation von deponiertem brennbarem Material, insbesondere im Bereich von Flucht- und Interventionswegen.

Die HAA selbst sind als nicht brennbar einzustufen. Ausserhalb der Umladezelle sind die HAA in robusten Behältern verpackt, die ebenfalls nicht brennbar sind und zudem einen ausreichenden Schutz gegen allfällige thermische Belastungen bieten.

Durch die Einrichtung von Brandzonen und -abschnitten werden die verbleibenden Brandlasten entsprechend ihrem Gefahrenpotenzial räumlich getrennt. Ein entsprechender Feuerwiderstand der brandabschnittsbegrenzenden Strukturen verhindert eine Brandausbreitung bzw. einen Brandübergriff in benachbarte Bereiche. Dies wird auch dadurch unterstützt, dass die Auslegung und Abstände benachbarter Gebäude entsprechend den dann gültigen Richtlinien ausgeführt werden. Somit wird vermieden, dass Brände benachbarter Gebäude auf die BEVA übergreifen können. Die BEVA ist zudem mit adäquaten Blitzschutzeinrichtungen (intern und extern) ausgerüstet.

Wo notwendig, wird die BEVA entsprechend den Anforderungen der Brandzonen und -abschnitte überwacht. Durch eine Brandmeldeanlage (oder Personal) wird ein möglicher Brandherd frühzeitig erkannt, lokalisiert und kann zeitnah in der Entstehungsphase bekämpft werden. Dem Gefahrenpotenzial angepasste Brandbekämpfungssysteme werden bereitgestellt. Die Brandbekämpfung kann zudem durch weitere, ggf. externe Einsatzkräfte, für die eine adäquate Zugänglichkeit zu gewährleisten ist, unterstützt werden (externe Feuerwehr bzw. PSI). Über die Brandmeldezentrale erfolgt die kontrollierte Brandfallsteuerung, wie z. B. das Steuern der Lüftungsanlage, der Aufrechterhaltung der Unterdruckstaffelung und das Schliessen der Brandschutztore/-türen.

⁵ VKF-Brandschutzvorschriften: <https://www.bsvonline.ch/de/vorschriften/#c-richtlinien>

Fazit

In den Kontroll- und Überwachungsbereichen existieren keine oder keine relevanten Brandlasten. Eine unzulässige Freisetzung von radioaktiven Stoffen in die Anlage bzw. in die Umwelt ist aufgrund der begrenzt vorhandenen Brandlasten, der zeitnahen Brandbekämpfung, der widerstandsfähigen Behälter (TLB und ELB in TB) und der Nichtbrennbarkeit der gehandhabten radioaktiven Stoffe nicht zu unterstellen. Insgesamt wird die BEVA die Anforderungen an einen Brandschutz gemäss Stand der Technik erfüllen (in Anlehnung an ENSI (*in Überarbeitung*)).

2.3 Anlageninterne Überflutung**Ziel**

Anlageninterne Überflutungen – insbesondere in den Kontrollbereichen – sind zu vermeiden.

Massnahmen und generische Bewertung

Die wenigen in der BEVA betriebenen wasserführenden Systeme und darin gehandhabten Flüssigkeitsmengen werden auf ein für den Betrieb notwendiges Minimum begrenzt. Sie befinden sich nach Möglichkeit auf einem Niveau unterhalb der Bereiche, in denen radioaktive Stoffe gehandhabt werden. Relevante Einrichtungen bzw. Systeme werden gegen Auswirkungen einer (lokalen) Überflutung geschützt, um deren Funktionserhalt im Ereignisfall sicherzustellen (z. B. erhöhte Lage elektrischer Systeme auf Sockeln). In der Umladezelle und angrenzenden Vor- bzw. Nachbereitungsbereichen (Kontrollbereiche) befinden sich keine wasserführenden Systeme (oder andere Flüssigkeiten). Ausserhalb dieser Bereiche sind die Abfälle stets in den dichten Behältern eingeschlossen, und die Bereiche sind kontaminationsfrei. Eine Freisetzung von radioaktiven Stoffen in die Umwelt ist somit auslegungsbedingt ausgeschlossen.

Fazit

In der Umladezelle und angrenzenden Vor- bzw. Nachbereitungsbereichen befinden sich keine wasserführenden Systeme. Eine anlageninterne lokale Überflutung ausserhalb dieser Bereiche ist äusserst unwahrscheinlich; unzulässige Auswirkungen sind aufgrund der begrenzt gehandhabten Flüssigkeitsmengen und der Kontaminationsfreiheit der Anlage nicht zu erwarten. Eine Freisetzung von radioaktiven Stoffen infolge einer internen Überflutung ist daher ausgeschlossen.

2.4 Fehlhandlungen des Personals (inkl. beeinträchtigtes Personal)**Ziel**

Die langjährigen Betriebserfahrungen ähnlicher Anlagen werden bei der Auslegung der SSK der BEVA berücksichtigt. Menschliche Fehlhandlungen sind, soweit wie möglich und nötig, unter Nutzung technischer, administrativer und/oder überwachender Massnahmen zu vermeiden bzw. rechtzeitig zu erkennen.

Massnahmen und generische Bewertung

Fehlhandlungen des Personals beziehen sich auf eine Fehlbedienung im Rahmen der Tätigkeiten⁶ und können weder im Normalbetrieb noch bei der Beherrschung eines Störfalls grundsätzlich ausgeschlossen werden. Die kognitiven Begrenzungen des Menschen sind anzuerkennen und bei der Arbeitsumgebung, den Prozessen und Tätigkeiten so zu berücksichtigen, dass menschlichen Fehlern vorgebeugt wird (z. B. durch Automatisierung). Dabei bilden die Erfahrungen im Bereich der menschlichen und organisatorischen Faktoren (HOF-Erfahrungen) von vergleichbaren Anlagen (insbesondere Zwiilag) die Basis, um potenzielle Fehlerquellen und deren systematischen Ursache(n) bei der Auslegung der BEVA zu vermeiden. Die periodische Schulung des entsprechend ihren Aufgaben ausgebildeten Personals und der über alle Organisationseinheiten verankerten Sicherheitskultur zielt zudem darauf ab, die Häufigkeit von Fehlhandlungen zu minimieren und auch ihre möglichen Auswirkungen zu begrenzen.

Weitere Fehlhandlungen des Personals können im Rahmen der Strahlenschutz Tätigkeiten auftreten, wobei eine Kontamination bzw. Kontaminationsverschleppung⁷ ausschliesslich im Rahmen der Umverpackung (Umladezelle) oder beim An-/Abdocken der Behälter an die Umladezelle auftreten kann (Kontrollbereich). Eine Kontaminationsverschleppung aus der Umladezelle wird im Rahmen von Strahlenschutzmessungen (vor/nach dem Abkoppeln der Behälter) vermieden bzw. unmittelbar erkannt, wobei Prüf- und Qualitätskontrollen menschliche Fehlhandlungen minimieren. Aufgrund der robusten Auslegung (der Behälter) wird auch im Fall eines Auslegungsstörfalls eine Kontamination der Anlage ausserhalb der Umladezelle ausgeschlossen. Zudem kann es zur Verletzung von Abschirm- und/oder Zutrittsbestimmungen kommen (z. B. unkontrollierter Zutritt von Personal in Überwachungs- oder Kontrollbereiche), die aber keine Auswirkungen auf die Bevölkerung oder die Umwelt ausserhalb des Betriebsareals haben und ebenfalls durch eine entsprechende Auslegung und Organisation soweit wie möglich vermieden werden.

Fazit

Infolge einer hohen Sicherheitskultur durch eine adäquate fachliche Ausbildung und periodische Weiterbildung des Personals sowie aufgrund des Anlagendesigns und einer dem etablierten Stand der Technik entsprechenden Automatisierung der wesentlichen Betriebsabläufe wird die Häufigkeit von Fehlhandlungen praktisch ausgeschlossen und deren Auswirkungen begrenzt. In Verbindung mit der Verwendung robuster Behälter bzw. der Handhabung der HAA in einer Umladezelle sind keine radiologischen Folgen für die Bevölkerung und die Umwelt zu erwarten.

⁶ Beispielsweise bei der Nutzung der Manipulatoren, Krananlagen oder Transportfahrzeugen, die u. a. zu einem Lastanprall/-absturz führen können.

⁷ Beinhaltet die Nichterkennung einer Kontamination, unvollständige Dekontamination, fehlerhaftes Freigabeverfahren etc.

2.5 Fehlerhafte Handhabung von radioaktivem Material

Die unter dem Thema fehlerhafte Handhabung von radioaktivem Material zugeordneten und im Rahmen der generischen Sicherheitsbetrachtung berücksichtigten Störfälle fokussieren auf Ereignisse im Zusammenhang mit der Handhabung der abgebrannten Brennelemente (BE) und der verglasten hochaktiven Abfälle (HAA(WA)) innerhalb der Umladezelle. Folgende Ereignisse werden betrachtet, wobei bzgl. der radiologischen Konsequenzen der BE-Absturz das abdeckende Ereignis darstellt (vgl. auch Argumentation in Nagra 2025):

- BE/HAA(WA)-Absturz bei Handhabung der HAA innerhalb der Umladezelle
- BE/HAA(WA)-Anprall bei Handhabung der HAA innerhalb der Umladezelle
- Verkanten von Brennelementen beim Umladevorgang (im TLB bzw. ELB) und
- Umgang mit weiteren Abweichungen (z.B. geometrischen Verformungen)

Ziel

Eine fehlerhafte Handhabung von radioaktivem Material ist grundsätzlich durch eine sicherheitsgerichtete Auslegung der SSK der Umladezelle als auch dem sicherheitsgerichteten Betrieb zu verhindern. Auswirkungen einer fehlerhaften Handhabung dürfen zu keiner unzulässigen Freisetzung von radioaktiven Stoffen in die Umwelt führen. Der Umgang mit Abweichungen bzw. der Bewältigung eines Ereignisses ist bei der Auslegung zu berücksichtigen.

Massnahmen und generische Bewertung

Aus dem langjährigen nationalen und internationalen Betrieb von Kernanlagen und der etablierten Handhabung von BE/HAA(WA) sowie der Handhabung defekter BE liegen bereits heute umfangreiche Erfahrungen und Massnahmen zur Vermeidung bzw. Beherrschung der oben genannten Ereignisse vor (z. B. Zwiilag oder Wiederaufbereitungsanlage in La Hague).

Um Abweichungen und Ereignisse während des Umladeprozesses zu verhindern bzw. mögliche radiologische Konsequenzen zu beherrschen und zu begrenzen, erfolgt die Handhabung der HAA in einer Umladezelle mit Systemen, die speziellen kerntechnischen Anforderungen unterliegen und zum Zeitpunkt des Baus – wie die Umladezelle selbst – den etablierten Stand von Wissenschaft und Technik berücksichtigen. Die Handhabung wird dabei dem etablierten Stand der Technik und der Erfahrung entsprechend weitgehend automatisch durchgeführt, wobei die Arbeiten in der Umladezelle entsprechend überwacht werden. Eine angemessene, sicherheitsgerichtete Wartung und Instandhaltung der SSK (inkl. evtl. Funktionskontrollen) sorgen für eine weitere Reduzierung von Abweichungen bzw. Störfällen. Bei der Auslegung wird der Umgang mit Abweichungen bzw. die Bewältigung eines Ereignisses gemäss den Erfahrungen berücksichtigt.

Zur Begrenzung möglicher radiologischer Konsequenzen wird die Umladezelle gemäss dem Strahlenschutzkonzept zur kontrollierten Zone gehören, die entsprechend den gesetzlichen und behördlichen Anforderungen an diese Zone ausgelegt wird. Dies beinhaltet auch ein entsprechendes Lüftungssystem mit Unterdruck, gerichteter Luftführung sowie permanente Filterung der Abluft aus der Umladezelle vor Abgabe an die Umwelt. Eine unzulässige Freisetzung von Radionukliden in die Umwelt wird damit auch im Ereignisfall vermieden, wie dies bereits heute im Zwiilag anhand des abdeckenden Störfalls «BE-Absturz in der heissen Zelle» unter z. T. konservativen Annahmen quantitativ nachgewiesen wird (abgeschätzte Individualdosis beträgt in 200 m Abstand zum Emissionsort ca. 0.09 mSv, siehe hierzu Zwiilag 1999).

Fazit

HAA werden ausschliesslich in einer entsprechend dem etablierten Stand von Wissenschaft und Technik ausgelegten Umladezelle gehandhabt. Dies umfasst auch die Einrichtung einer kontrollierten Zone, wobei alle Anforderung an deren Ausgestaltung berücksichtigt werden. Eine unzulässige Freisetzung von Radionukliden kann – analog dem Zwiilag – ausgeschlossen werden.

2.6 Versagen oder Fehlfunktion von Betriebssystemen: Transport-, Hebe- und Handhabungsmitteln

Das Versagen von Handhabungsmittel im Zusammenhang mit der Handhabung radioaktiver Abfälle in der Umladezelle wurde in Kap. 2.5 thematisiert und bewertet. Die unter dem Thema Versagen oder Fehlfunktion der Transport-, Hebe- und Handhabungsmittel zugeordneten Ereignisse fokussieren sich in diesem Kapitel auf Ereignisse im Zusammenhang mit dem Transport und der Handhabung der Behälter. Folgende Ereignisse werden betrachtet:

- TLB bzw. ELB-Anprall/Absturz bei Krantransport und
- Absturz (schwerer) Lasten auf TLB bzw. ELB

Ziel

Grundsätzlich sollen die genannten Ereignisse sowohl durch die Auslegung der SSK als auch durch einen sicherheitsgerichteten Betrieb möglichst verhindert werden.

Massnahmen und generische Bewertung

Aus dem langjährigen nationalen und internationalen Betrieb von Kernanlagen und der etablierten Handhabung von TLB liegen umfangreiche Erfahrungen und Massnahmen zur Vermeidung bzw. Bewältigung dieser Ereignisse vor, die bei der Planung und Auslegung der BEVA berücksichtigt werden. Grundsätzlich werden die genannten Ereignisse durch die Behälter (TLB und ELB in TB) abgedeckt, da diese den Einschluss der radioaktiven Stoffe auch nach einer ereignisbedingten Belastung, die zudem durch die Auslegung der Anlage begrenzt ist (z. B. Handhabungsgeschwindigkeiten bzw. -höhen), gewährleisten und es nachweislich zu keiner Freisetzung kommt.

Fazit

Die robust ausgelegten Behälter bleiben auch nach einem Ereignis intakt und die radioaktiven Stoffe eingeschlossen, sodass eine Freisetzung von Radionukliden ausgeschlossen werden kann.

2.7 Versagen oder Fehlfunktion von Betriebssystemen: Stromversorgung**Ziel**

Die BEVA wird zuverlässig und bedarfsgerecht mit elektrischer Energie versorgt.

Massnahmen und generische Bewertung

Der teilweise oder totale Ausfall der Stromversorgung (intern / extern) führt zu einem teilweisen oder totalen Ausfall der elektrisch versorgten Systeme der BEVA. Durch das sichere Anlagenverhalten, das bei einem Stromausfall dadurch charakterisiert ist, dass die Prozesse unterbrochen werden bzw. stehen bleiben, kann es zu keinen Freisetzungen von Radionukliden kommen. Der Stromausfall ist in der Auslegung der Systeme zu berücksichtigen.

Fazit

Bei einem Ausfall der Stromversorgung (inkl. Totalausfall (Blackout)) ist infolge der sicheren Anlagen- und Behälterauslegung eine Freisetzung von Radionukliden ausgeschlossen. Der Einschluss der radioaktiven Abfälle bleibt gewährleistet, und somit sind keine radiologischen Folgen für die Bevölkerung und die Umwelt zu erwarten.

2.8 Komponentenversagen

In der BEVA befinden sich zu keiner Zeit betriebliche Komponenten mit gasförmigem oder flüssigem radioaktivem Inventar. Demnach kann auch kein Versagen von betrieblichen Komponenten unterstellt werden, bei dem es zu einer Freisetzung von radioaktiven Stoffen in die Umgebung kommen kann.

3 Literaturverzeichnis

ENSI (2018): Präzisierungen der sicherheitstechnischen Vorgaben für Etappe 3 des Sachplans geologische Tiefenlager, Sachplan geologische Tiefenlager, Etappe 3, ENSI 33/649. Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat ENSI, Brugg.

ENSI (*in Überarbeitung*): Brandschutz. Richtlinie für schweizerische Kernanlagen ENSI-G18. Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat ENSI, Brugg.

KEG (2003): Kernenergiegesetz (KEG), vom 21. März 2003, Stand am 01. Januar 2024. Systematische Sammlung des Bundesrechts SR 732.1, Schweiz.

KEV (2004): Kernenergieverordnung (KEV), vom 10. Dezember 2004, Stand am 01. Januar 2024. Systematische Sammlung des Bundesrechts SR 732.11, Schweiz.

Nagra (2025): Rahmenbewilligungsgesuch für eine Brennelementverpackungsanlage - Sicherheitsbericht. Nagra Technischer Bericht NTB 24-02.

UVEK (2009): Verordnung des UVEK über die Gefährdungsannahmen und die Bewertung des Schutzes gegen Störfälle in Kernanlagen vom 17. Juni 2009, Stand am 1. Februar 2019. Systematische Sammlung des Bundesrechts, SR 732.112.2, Schweiz.

Zwilag (1999): Absturz einer Last in der Heissen Zelle, Ergänzungsbericht zum FSAR Band II, Dok.-Nr.: ZWI 3124/D022, Rev. 00.