
**Konzeption und Realisierung
eines modellgestützten Berechnungswerkzeugs
zur Bilanzierung der Transportstrecken,
der Strahlenbelastung und der Zeit für eine Anlieferung
mit und ohne Bereitstellungslager
an das Endlager Konrad**

Bilanzierungsstudie

08/2022

erstellt für

die Länder Niedersachsen und Nordrhein-Westfalen,

vertreten durch

das Niedersächsische Ministerium für Umwelt, Energie, Bauen und Klimaschutz und das
Ministerium für Arbeit, Gesundheit und Soziales des Landes Nordrhein-Westfalen

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis 6

Tabellenverzeichnis 9

Abkürzungsverzeichnis 11

1 Einleitung, Aufgabenstellung und Durchführung..... 13

2 Beschreibung der Modellgrundlagen 17

2.1 Randbedingungen aus der Endlagerung 17

2.1.1 Endlagersituation radioaktiver Abfälle mit vernachlässigbarer
Wärmeentwicklung in der Bundesrepublik Deutschland – Endlager
Konrad..... 17

2.1.2 Anforderungen an die Einlagerung und geplantes Vorgehen der BGE
zum Abruf der Gebinde 19

2.1.3 Anlieferungsbedingungen und Gebindestatus..... 22

2.1.4 Anlieferungs- und Einlagerungsvorgang..... 23

2.2 Zwischenlagersituation radioaktiver Abfälle mit vernachlässigbarer
Wärmeentwicklung in der Bundesrepublik Deutschland..... 24

2.2.1 Zwischenlagerung radioaktiver Abfälle 25

2.2.2 Derzeitiger Bestand endlagergerechter Gebinde 27

2.2.3 Prognose und Verteilung der zukünftig entstehenden Gebinde 30

2.2.4 Logistik an den Zwischenlager-Standorten..... 38

2.3 Planungen der BGZ zur Errichtung eines Bereitstellungslagers..... 42

2.4 Übersicht zu Transportmitteln für Bahn & Straße 45

2.4.1 Beschreibung der rechtlichen Rahmenbedingungen für Transporte 45

2.4.2 Beschreibung der technischen Ausführung (Schiene und Straße)..... 46

2.4.3 Beschreibung der Transportunfallhäufigkeiten 50

2.4.4 Prognose der zukünftigen Transportsituation 53

2.5 Beschreibung der Logistikketten A, B, und C 54

2.5.1 Beschreibung der Logistikketten 54

2.5.2 Beschreibung von Stoffströmen im Rahmen der Logistikketten 55

2.5.2.1	Logistikkette A	55
2.5.2.2	Logistikkette B	56
2.5.2.3	Logistikkette C	56
2.5.3	Prozessschritte an den Handhabungsorten	57
2.5.3.1	Erläuterungen zu den Darstellungen	57
2.5.3.2	Zwischenlager	59
2.5.3.3	Rangierbahnhof	59
2.5.3.4	Bereitstellungslager	60
2.5.3.5	Endlager	63
2.5.4	Transportvarianten	63
2.5.4.1	Überblick	63
2.5.4.2	Transportschritte ohne Bereitstellungslager	65
2.5.4.3	Transportschritte mit Bereitstellungslager	65
2.5.5	Betrachtungen zu den 1-2-3-Maßnahmen	66
2.5.6	Abweichungen/Störungen	67
3	Modellierung und Berechnungswerkzeug	70
3.1	Ableitung und Beschreibung der relevanten Parameter für die Logistikketten zur Ermittlung der Zielgrößen	70
3.1.1	Zielgröße „Strecke“	71
3.1.2	Zielgröße „Zeit“	73
3.1.3	Zielgröße „Exposition“	77
3.1.3.1	Definition und Bestimmung der Zielgröße „Exposition“	77
3.1.3.2	Parameter der Exposition des Personals	81
3.1.3.3	Parameter der Exposition der Bevölkerung	86
3.1.3.4	Transportunfälle	88
3.2	Ableitung von Modelldaten und Parameterwerten zur Bilanzierung	90
3.2.1	Abrufregime	91
3.2.1.1	Abrufplanung und Abrufregime	91
3.2.1.2	Abrufregime ohne Bereitstellungslager	93
3.2.1.3	Abrufregime mit Bereitstellungslager	94
3.2.2	Zielgröße „Strecke“	96
3.2.2.1	Verkehrsanbindung	96
3.2.2.2	Entfernungen – Luftlinie	96

3.2.2.3	Entfernungen - Näherungsfaktor Straße & Schiene	97
3.2.2.4	Anzahl der Transporte	97
3.2.3	Zielgröße „Zeit“	98
3.2.3.1	Aufbau der Prozessschrittanalyse	99
3.2.3.2	Prozessschritte an den Handhabungsorten.....	100
3.2.3.3	Prozessschritte im Rahmen des Transports.....	100
3.2.3.4	Ermittlung der Einlagerungsdauer	101
3.2.3.4.1	Pufferung am Endlager.....	102
3.2.3.4.2	Störungen am Endlager Konrad	102
3.2.3.4.3	Fazit zur Modellierung von Störungen beim Transport.....	104
3.2.4	Zielgröße „Exposition“	105
3.2.4.1	Exposition des Personals	105
3.2.4.2	Exposition der Bevölkerung.....	107
3.3	Entwicklung eines Berechnungswerkzeuges.....	110
4	Bilanzierung und vergleichende Betrachtung der Ergebnisse	112
4.1	Ergebnis Zielgröße „Strecke“	112
4.2	Ergebnis Zielgröße „Zeit“	114
4.3	Ergebnis Zielgröße „Exposition“	119
5	Kurzfassung.....	127
5.1	Vorgehensweise	127
5.2	Modellgrundlagen und Modellparameter	128
5.3	Ergebnisse der Bilanzierung.....	132
5.4	Ausblick	134
6	Fazit	135
7	Unterlagen.....	136
A	Anhang	144
A.1	Anhang - Prozessschrittanalyse	144
A.1.1	Prozessschrittanalyse Zwischenlager.....	144
A.1.1.1	Prozessschrittzeiten Zwischenlager	144

A.1.1.2	Radiologische Aspekte Zwischenlager	145
A.1.2	Prozessschrittanalyse Rangierbahnhof	147
A.1.2.1	Prozessschrittzeiten Rangierbahnhof	147
A.1.2.2	Radiologische Aspekte Rangierbahnhof	148
A.1.3	Prozessschrittanalyse Bereitstellungslager Einlagerung	149
A.1.3.1	Prozessschrittzeiten Bereitstellungslager Einlagerung	149
A.1.3.2	Radiologische Aspekte Bereitstellungslager Einlagerung	150
A.1.4	Prozessschrittanalyse Bereitstellungslager Auslagerung	152
A.1.4.1	Prozessschrittzeiten Bereitstellungslager Auslagerung	152
A.1.4.2	Radiologische Aspekte Bereitstellungslager Auslagerung	154
A.1.5	Prozessschrittanalyse Auslagerung Zwischenlager Konrad-Container	156
A.1.6	Prozessschrittanalyse Auslagerung Zwischenlager zylindrische Gebinde	158
A.1.7	Prozessschrittanalyse Transport	161
A.1.7.1	Prozessschrittzeiten Transport	161
A.1.7.2	Radiologische Aspekte Transport	161
A.1.8	Prozessschrittanalyse beteiligte Personen	162
A.1.9	Prozessschrittanalyse Abweichungen	163
A.1.9.1	Abweichungen – Basisdaten	163
A.1.9.2	Abweichungen – Einfluss auf die Zielgrößen	170

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1	Standorte der Reaktoren, Transportbehälterlager, Abfalllager, Landessammelstellen und Konditionierungseinrichtungen für radioaktive Abfälle in der Bundesrepublik Deutschland. Quelle: Verzeichnis radioaktiver Abfälle /U 27/, Stand Ende 2019.	26
Abbildung 2	Beispiele für endlagergerechte Abfallbehälter/Gebinde. Betonbehälter (oben links), Gussbehälter (oben rechts) und Konrad-Container Typ IV (unten). Quelle: GRS-Transportstudie 2009 /U 3/	28
Abbildung 3	Lagersituation im Zwischenlager für Container am Standort Karlsruhe (Kerntechnische Entsorgung Karlsruhe GmbH) als Beispiel für eine hohe Lagerauslastung. Quelle: www.kte-karlsruhe.de/startseite-kte/themen/zwischenlagerung ; Stand: 13.04.2022.....	39
Abbildung 4	Acht Schnittpunkte auf den Achsen der Himmelsrichtungen. Quelle: Leistungsbeschreibung /U 16/.....	44
Abbildung 5	Variation des fiktiven Standortes eines Bereitstellungslagers (blau: Endlager Konrad, rot: Bereitstellungslager, gelb: beispielhafte Zwischenlager). Quelle: Leistungsbeschreibung /U 16/	45
Abbildung 6	Abfalltransportcontainer (Typ IP-2) – 20'-Open-all-Container. Quelle: GRS-Transportstudie 2009 /U 3/, Abb. 6.5.....	47
Abbildung 7	Straßentransportfahrzeug für radioaktive Abfälle. Quelle: GRS-Transportstudie 2009 /U 3/, Abb. 6.8	48
Abbildung 8	Tragwagen für Großcontainer/Wechselbehälter der Baureihe Sgjs 712. Quelle: GRS-Transportstudie 2009 /U 3/, Abb. 6.7	50
Abbildung 9	Trend der Unfallhäufigkeiten über die Jahre. Quelle: Destatis /U 33/, /U 34/.....	53
Abbildung 10	Stoffströme der Logistikkette A. Zu Gunsten einer besseren Übersichtlichkeit wurden die anliefernden Standorte der Energieversorgungsunternehmen (EVU) und öffentlichen Hand (ÖH) nur durchnummeriert und nicht explizit benannt. Quelle: Eigene Darstellung	55
Abbildung 11	Stoffströme der Logistikkette B. Zu Gunsten einer besseren Übersichtlichkeit wurden die anliefernden Standorte der Energieversorgungsunternehmen (EVU) und öffentlichen Hand (ÖH) nur durchnummeriert und nicht explizit benannt. Quelle: Eigene Darstellung	56

Abbildung 12	Stoffströme der Logistikkette C. Zu Gunsten einer besseren Übersichtlichkeit wurden die anliefernden Standorte der Energieversorgungsunternehmen (EVU) und öffentlichen Hand (ÖH) nur durchnummeriert und nicht explizit benannt. Quelle: Eigene Darstellung.....	57
Abbildung 13	Im Rahmen dieser Studie untersuchte Transportvarianten. Quelle: Eigene Darstellung.....	64
Abbildung 14	Zielgrößen und ihre zugehörigen Parameter. Quelle: Eigene Darstellung.....	71
Abbildung 15	Parameterbaum zur Zielgröße „Strecke“. Quelle: Eigene Darstellung	72
Abbildung 16	Parameterbaum zur Zielgröße „Zeit“. Quelle: Eigene Darstellung.....	75
Abbildung 17	Parameterbaum zur Zielgröße „Exposition“. Quelle: Eigene Darstellung	79
Abbildung 18	Bis zur kompletten Einlagerung aller Gebinde ins Endlager kumulierte zu fahrende Kilometer per Straßen- und Schienentransport	113
Abbildung 19	Bis zur kompletten Einlagerung aller Gebinde ins Endlager kumulierte Transportzeiten vom Zwischenlager zum Endlager per Straßen- und Schienentransport	114
Abbildung 20	Bis zur kompletten Einlagerung aller Gebinde ins Endlager kumulierte Arbeitsstunden für die Handhabungsvorgänge an den Zwischenlagern, dem Bereitstellungslager und den Rangierbahnhöfen.....	116
Abbildung 21	Anzahl der Gebinde in den Zwischenlagern in Abhängigkeit von der simulierten Auslagerungsdauer.....	117
Abbildung 22	Anzahl der Gebinde im Endlager in Abhängigkeit von der simulierten Einlagerungsdauer. Die Kurven für A-1, B-1 und C-1 liegen übereinander.....	118
Abbildung 23	Maximale jährliche Exposition der Bevölkerung durch die angenommenen Transportprozesse.....	120
Abbildung 24	Kumulative jährliche Exposition in Form der effektiven Dosis für die Tätigkeitsgruppe LKW-Fahrer. Die effektive Dosis ist auf den kleinsten Dosiswert normiert und stellt das abdeckende Jahr mit den höchsten Dosiswerten dar.....	122

Abbildung 25	Kumulative jährliche Exposition in Form der effektiven Dosis für die Tätigkeitsgruppe Strahlenschützer im Zwischenlager. Die effektive Dosis ist auf den kleinsten Dosiswert normiert und stellt das abdeckende Jahr mit den höchsten Dosiswerten dar.....	123
Abbildung 26	Kumulative jährliche Exposition in Form der effektiven Dosis für die Tätigkeitsgruppe Strahlenschützer im Bereitstellungslager. Die effektive Dosis ist auf den kleinsten Dosiswert normiert und stellt das abdeckende Jahr mit den höchsten Dosiswerten dar.....	124
Abbildung 27	Auslagerung Zwischenlager Konrad-Container – Zeitabschnitt bis einschließlich 4 h.....	156
Abbildung 28	Auslagerung Zwischenlager Konrad-Container – Zeitabschnitt 5 h bis einschließlich 9 h.....	157
Abbildung 29	Auslagerung Zwischenlager zylindrische Gebinde – Zeitabschnitt bis einschließlich 5 h.....	158
Abbildung 30	Auslagerung Zwischenlager zylindrische Gebinde – Zeitabschnitt 6 h bis einschließlich 15 h	159
Abbildung 31	Auslagerung Zwischenlager zylindrische Gebinde – Zeitabschnitt 10 h bis einschließlich 15 h	160

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1	Behältergrundtypen sowie deren jeweiliges Bruttovolumen gemäß /U 18/, die jeweilige Anzahl in der Bundesrepublik gelagerten Gebinde und das daraus resultierende Endlagervolumen.....	29
Tabelle 2	Derzeitiger Anteil der jeweiligen Gebinde an der Gesamtanzahl ihres jeweiligen Gebindetyps.	31
Tabelle 3	Prognostizierte Anzahl endlagergerechter Gebinde sowie das daraus resultierende Endlagervolumen.....	34
Tabelle 4	Verteilung der prognostizierten endlagergerechten Gebinde auf alle von uns berücksichtigten Lagereinrichtungen für Betriebs- und Stilllegungsabfälle deutscher Kernkraftwerke und Lagereinrichtungen der öffentlichen Hand.	35
Tabelle 5	Verteilung der für diese Studie prognostizierten endlagergerechten Gebinde pro Lagereinrichtung für Betriebs- und Stilllegungsabfälle deutscher Kernkraftwerke und pro Lagereinrichtung der öffentlichen Hand.....	36
Tabelle 6	Für die Exposition relevante Prozessschritte im Zwischenlager.....	82
Tabelle 7	Für die Exposition relevante Prozessschritte am Rangierbahnhof (Weg zwischen Zwischenlager und Bereitstellungslager oder Endlager).....	83
Tabelle 8	Für die Exposition relevante Prozessschritte im Bereitstellungslager bei der Anlieferung von Gebinden.....	83
Tabelle 9	Für die Exposition relevante Prozessschritte im Bereitstellungslager bei der Ablieferung von Gebinden zum Endlager.....	84
Tabelle 10	Dosisleistungen für das Personal infolge der Exposition durch Gebinde.....	106
Tabelle 11	Dosisleistungen für das Personal infolge der Exposition durch eine Transporteinheit.	106
Tabelle 12	Dosisleistungen für das unmittelbare Transportpersonal infolge der Exposition durch Transporteinheiten.	107
Tabelle 13	Dosis pro LKW für Passanten infolge der Exposition durch eine Transporteinheit beim Straßentransport.....	107

Tabelle 14	Dosis pro Zug für Passanten infolge der Exposition durch Transporteinheiten beim Schienentransport mit einer Fahrgeschwindigkeit von 100 km/h.	108
Tabelle 15	Dosis pro Zug für Passanten infolge der Exposition durch Transporteinheiten beim Schienentransport mit einer Fahrgeschwindigkeit von 25 km/h.	109
Tabelle 16	Dosisleistungen für Anwohner an den Rangierbahnhöfen bzw. am Übergabebahnhof Beddingen infolge der Exposition durch Transporteinheiten beim Schienentransport.....	110

Abkürzungsverzeichnis

Ac	Anzahl Container
ADR	Anlagen A und B zum Übereinkommen über die internationale Beförderung gefährlicher Güter
AGG	(Abfall-)Gebindegruppe
AtEV	Atomrechtlichen Entsorgungsverordnung
AtG	Atomgesetz
Az	Anzahl zylindrische Gebinde
BAB	Bundesautobahn
BASt	Bundesanstalt für Straßenwesen
BGE	Bundesgesellschaft für Endlagerung
BGZ	Bundesgesellschaft für Zwischenlagerung
BK	Belastungsklasse
BMDV	Bundesministerium für Digitales und Verkehr
EBO	Eisenbahn-Bau- und Betriebsordnung
EG-1 bis EG-3	Exposition durch ein Gebinde in einem definierten minimalen Abstand
EL	Endlager
EntsorgÜG	Entsorgungsübergangsgesetz
ESK	Entsorgungskommission des Bundes
EVU	Energieversorgungsunternehmen
FMEA	Fehlzustandsart- und -auswirkungsanalyse
` (z. B. 20`)	Fuß (z. B. 20 Fuß)
f _{Schiene}	Näherungsfaktor für die Umrechnung von Luftlinienkilometer auf Schienenkilometer
f _{Straße}	Näherungsfaktor für die Umrechnung von Luftlinienkilometer auf Straßenkilometer
G2-Status	Beschreibt Gebinde, die die Endlagerungsbedingungen vollständig einhalten

GGVSEB	Verordnung über die innerstaatliche und grenzüberschreitende Beförderung gefährlicher Güter auf der Straße, mit Eisenbahnen und auf Binnengewässern
GRS	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit gGmbH
L	Exposition der LKW-Fahrzeugführer bzw. des Begleitpersonals
LKW	Lastkraftwagen
Mg	Megagramm
N, NO, O, SO, S, SW, W, NW	Norden, Nordost, Osten, Südost, Süden, Südwest, Westen, Nordwest
ÖH	Lagerstandorte öffentlicher Hand
OSD	Objektsicherungsdienst
RB	Rangierbahnhof
S1 bis S8	Transportschritte 1 bis 8
S _K	Kritikalitätssummenwert S _K , der das Nuklidinventar der durch thermische Neutronen spaltbaren Radionuklide begrenzt
S _s	Störfallsummenwert
StrISchG	Strahlenschutzgesetz
StrISchV	Strahlenschutzverordnung
StVO	Straßenverkehrs-Ordnung
Sv	Sievert
S _w	Summenwert S _w , der das für die thermische Beeinflussung des Wirtsgesteins verantwortliche Radionuklidinventar begrenzt
T-1 bis T-4	Exposition durch eine Transporteinheit in einem definierten minimalen Abstand
TE	Transporteinheit
WGS84	World Geodetic System 1984
Z	Exposition der Zugführer
ZBL	Zentrales Bereitstellungslager
ZL	Zwischenlager

1 Einleitung, Aufgabenstellung und Durchführung

Einleitung

Artikel 73 Absatz 1 des Grundgesetzes gibt dem Bund die ausschließliche Gesetzgebung für die Entsorgung radioaktiver Stoffe. Die Zuständigkeiten für die Endlagerung radioaktiver Abfälle werden im Atomgesetz (AtG) geregelt. § 9a Absatz 3 des AtG weist die Aufgabe, Endlager für radioaktive Abfälle zu errichten, der Bundesrepublik Deutschland zu, die Länder haben Landessammelstellen für die Zwischenlagerung der in ihrem Gebiet angefallenen radioaktiven Abfälle einzurichten.

Mit dem Entsorgungsübergangsgesetz wurde unter anderem festgelegt, dass radioaktive Abfälle aus dem Betrieb und der Stilllegung, dem sicheren Einschluss sowie dem Abbau von Kernkraftwerken und die bestehenden Zwischenlager an den Kernkraftwerksstandorten unter bestimmten finanziellen und technischen Randbedingungen an einen vom Bund mit der Wahrnehmung der Zwischenlagerung beauftragten Dritten abgegeben werden können.

Die Aufgabe, Endlager für radioaktive Abfälle zu errichten und die damit zusammenhängenden hoheitlichen Befugnisse hat der Bund der Bundesgesellschaft für Endlagerung (BGE) übertragen. Dabei können die radioaktiven Abfälle der Energieversorgungsunternehmen (EVU), die einem definierten Qualitätsstandard entsprechen, zur Zwischenlagerung in die Hand der Gesellschaft für Zwischenlagerung mbH (BGZ) übergeben werden, deren alleiniger Gesellschafter die Bundesrepublik Deutschland ist.

Mit dem Schacht Konrad ist bereits eine erste Anlage zur Endlagerung fester oder verfestigter radioaktiver Abfälle mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung in Deutschland, die derartige Abfälle aus den Zwischenlagern und Landessammelstellen aufnehmen soll, nach Atomrecht genehmigt. Der Planfeststellungsbeschluss für das Endlager Konrad enthält detaillierte Vorgaben für die Einlagerung der radioaktiven Abfälle.

Um diese Vorgaben zu erfüllen, können die radioaktiven Abfälle nicht in beliebiger Reihenfolge eingelagert werden, sondern es ergeben sich Anforderungen an die Zusammenstellung der radioaktiven Abfälle für die Anlieferung. Dies bildet den Hintergrund für die Planungen zu einem Bereitstellungslager, in dem die radioaktiven Abfälle entsprechend zur Anlieferung zusammengestellt werden könnten. So kann laut dem Entsorgungsübergangsgesetz aus dem Jahr 2017 die BGZ „ein zentrales Bereitstellungslager für radioaktive Abfälle mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung als Eingangslager für das Endlager Konrad errichten.“

Mit dem Koalitionsvertrag des Bundes für die 19. Legislaturperiode vom März 2018 hat sich die damalige Bundesregierung auf ein derartiges Lager festgelegt: "Für einen zügigen Einlagerungsbetrieb ist die Errichtung eines Bereitstellungslagers unverzichtbar. Wir wollen deshalb ein solches Bereitstellungslager einrichten und mit den Planungen dafür unverzüglich beginnen."

Die Entsorgungskommission des Bundes (ESK) kommt in ihrer Stellungnahme vom Juli 2018 zu dem Ergebnis, dass „ein Bereitstellungslager für eine optimierte Beschickung vom Endlager Konrad unabdingbar“ sei.

Der Koalitionsvertrag des Bundes für die 20. Legislaturperiode vom November 2021 stellt fest: „Genehmigte Endlager müssen zügig fertiggestellt und in Betrieb genommen werden. Hierzu gehören auch die Standortauswahl und die Errichtung des notwendigen Logistikzentrums.“

Der Suchprozess für einen möglichen Standort für ein zentrales Bereitstellungslager wurde bereits 2018 durch die BGZ begonnen.

Die Frage der Notwendigkeit für ein derartiges Bereitstellungslager wurde bisher nicht nach wissenschaftlichen Kriterien beantwortet. Als Grundlage für eine qualifizierte Beantwortung dieser Fragestellung haben daher die Länder Niedersachsen und Nordrhein-Westfalen die Konzeption und Realisierung eines modellgestützten Berechnungswerkzeugs zur Bilanzierung der Transportstrecken, der Strahlenbelastung und der Zeit für eine Anlieferung mit und ohne Bereitstellungslager an das Endlager Konrad in Auftrag gegeben.

Aufgabenstellung

Anhand eines eigens zu entwickelnden Berechnungswerkzeugs sollen im Rahmen dieser Bilanzierungsstudie drei unterschiedliche Logistikketten A, B und C modelliert werden.

Bei der Logistikkette A wird angenommen, dass alle Abfälle mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung von den Zwischenlagern direkt an das Endlager Konrad transportiert werden. Bei der Logistikkette C erfolgt der Transport dieser Abfälle über ein Bereitstellungslager. Die Logistikkette B stellt eine Mischform derart dar, dass der Transport der Abfälle der Energieversorgungsunternehmen (EVU) über ein Bereitstellungslager erfolgt, wohingegen die Abfälle aus den Zwischenlagern der öffentlichen Hand direkt an das Endlager Konrad transportiert werden.

Für die Einlagerung im Endlager Konrad soll sowohl ein Ein- als auch ein Zweischichtbetrieb modelliert und bilanziert werden. Es ist ein vereinfachtes Abrufverfahren für den Schacht Konrad zu definieren und zu implementieren.

Für eine hinsichtlich eines Bereitstellungslagers standortunabhängige Bilanzierung sind 16 verschiedene fiktive Standorte zu betrachten, die auf zwei Kreisen im Radius von 50 und 200 km jeweils in den Himmelsrichtungen N, NO, O, SO, S, SW, W, NW um das Endlager Konrad angeordnet sind. Für die Zwischenlager und das Endlager Konrad sind reale Standorte heranzuziehen.

Die Studie soll sich auf Abfallgebinde beschränken, die die Endlagerbedingungen erfüllen. Noch nicht entstandene Abfallvolumina sind auf Basis bisher angefallener Abfallvolumina abzuschätzen. Das insgesamt zu erwartende Abfallvolumen für das Endlager Konrad ist zu berücksichtigen.

Der Berechnung sind Modellannahmen zugrunde zu legen, die aus realen Rahmenbedingungen abzuleiten sind. Die Berechnungsergebnisse der Transportstrecken, der Zeit und der Strahlenbelastung sind zu bilanzieren und vergleichend zu betrachten.

Durchführung

Die TÜV NORD EnSys GmbH & Co KG hat die „Konzeption und Realisierung eines modellgestützten Berechnungswerkzeugs zur Bilanzierung der Transportstrecken, der Strahlenbelastung und der Zeit für eine Anlieferung mit und ohne Bereitstellungslager an das Endlager Konrad“ durchgeführt. Dies erfolgte für die Länder Niedersachsen und Nordrhein-Westfalen, vertreten durch das Niedersächsische Ministerium für Umwelt, Energie, Bauen und Klimaschutz und das Ministerium für Arbeit, Gesundheit und Soziales des Landes Nordrhein-Westfalen. Die Beauftragung erfolgte Ende März 2022.

Bei der Erarbeitung der für die Modellierung notwendigen Eingangsgrößen haben wir auf unsere Erfahrung im Rahmen der Produktkontrolle radioaktiver Abfälle und auf unsere Kenntnisse von Kernkraftwerken und von Lagern radioaktiver Abfälle in der Bundesrepublik Deutschland, die wir im Rahmen unserer Sachverständigentätigkeit nach § 20 AtG /R 2/ und bei der Produktkontrolle für radioaktive Abfälle im Auftrag der BGE erworben haben, zurückgegriffen.

Eingangsgrößen wurden von uns, wo möglich, recherchiert oder abgeschätzt. Zu Größen, zu denen keine Informationen vorliegen, haben wir auftragsgemäß Annahmen getroffen, die wir aus realen oder – wenn auch unter ggf. zusätzlichem Aufwand – realisierbaren Rahmenbedingungen abgeleitet haben. Erforderliche Genehmigungen, z. B. zur Errichtung und zum Betrieb eines Bereitstellungslagers und von Zwischenlagern sowie zur Durchführung von Maßnahmen zur Erfüllung der Anforderungen an die Gebinde für die Endlagerung, haben wir im Rahmen diese Studie als gegeben angenommen.

Das vorliegende Dokument ist das Ergebnis dieser Studie. Im ersten Teil werden die Grundlagen beschrieben, ein zweiter Teil beschäftigt sich vorwiegend mit den Aspekten der Modellierung, konkreten Eingangsgrößen für das Berechnungswerkzeug und den zugrundeliegenden Annahmen. Schließlich erfolgen die Bilanzierung der Zielgrößen „Strecke“, „Zeit“ und „Exposition“, die wir entsprechend den Begriffen in der Strahlenschutzgesetzgebung als Maß für die Strahlenbelastung einführen, sowie vergleichende Betrachtungen der Ergebnisse für die unterschiedlichen Logistikketten und beim Ein- bzw. Zweischichtbetrieb am Endlager Konrad.

Im Rahmen dieser Studie war keine vollständige Betrachtung aller Einflüsse möglich und es mussten vereinfachende Annahmen getroffen werden. Eine Parameterstudie, bei der zur Ermittlung des Einflusses von getroffenen Annahmen einzelne Parameterwerte oder Randbedingungen variiert und die Ergebnisse verglichen werden, war im Rahmen der Beauftragung aufgrund der zeitlichen Randbedingungen ebenfalls nicht durchführbar.

Die Untersuchung der Notwendigkeit eines Bereitstellungslagers ist nicht Gegenstand dieser Studie.

2 Beschreibung der Modellgrundlagen

Als Grundlage für die Modellierung des Berechnungswerkzeugs, werden ausgehend von Planungsunterlagen oder der tatsächlichen Situation für das Endlager Konrad, die Zwischenlager und ein Bereitstellungslager erste relevante Rahmenbedingungen und Größen ermittelt sowie Prognosen und Annahmen abgeleitet. Diese werden in den folgenden Kapiteln beschrieben. Außerdem wird die Transportsituation einschließlich der Transportunfallhäufigkeiten betrachtet und die im Rahmen dieser Studie zu modellierenden Logistikketten veranschaulicht.

Einleitend erläutern wir noch folgende Begrifflichkeiten: Der in dieser Studie verwendete Begriff Gebinde umfasst radioaktive Abfälle mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung inkl. ihrer Verpackung. Der § 5 der Atomrechtlichen Entsorgungsverordnung (AtEV) /R 1/ legt fest, dass radioaktive Abfälle an eine Anlage des Bundes zur Sicherstellung und zur Endlagerung radioaktiver Abfälle abzuliefern sind (Ablieferungspflicht). Ablieferungspflichtige sind die Eigentümer des Abfalls (Abfalleigentümer). Abfälle, welche auf Grundlage des Entsorgungsübergangsgesetzes in das Eigentum der BGZ übergegangen sind, sind somit von der BGZ zur Endlagerung abzugeben, die Abfallverursacher (EVU) treten dann nicht mehr in Erscheinung. In dieser Studie sind aber weniger die Eigentumsverhältnisse an den Gebinden als vielmehr die Standorte der Gebinde relevante Eingangsgrößen. Wir unterscheiden daher im Folgenden zwischen dem Ablieferungspflichtigen (eine Organisation) und dem (abgebenden) Standort (ein Ort / eine Anlage), an dem die Gebinde zwischengelagert werden.

2.1 Randbedingungen aus der Endlagerung

Das Endlager Konrad ist bereits zur Aufnahme von Abfällen mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung nach Atomrecht genehmigt. Im Planfeststellungsbeschluss wurden Vorgaben getroffen, die bei der Einlagerung radioaktiver Abfälle im Endlager Konrad einzuhalten sind. In diesem Kapitel beschreiben wir die Randbedingungen, die bei der Einlagerung gelten sowie die sich daraus ergebenden Anforderungen für den Abruf und die Anlieferung der Gebinde an das Endlager Konrad.

2.1.1 Endlagersituation radioaktiver Abfälle mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung in der Bundesrepublik Deutschland – Endlager Konrad

Bei Betrieb, Stilllegung und Abbau von Leistungsreaktoren, Forschungsreaktoren sowie anderen kerntechnischen Anlagen und Einrichtungen fallen neben abgebrannten Brennele-

menten auch große Mengen an radioaktiven Abfällen mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung an. Auch bei der sonstigen Verwendung radioaktiver Stoffe, z. B. in Industrie, Medizin und Forschung, fallen derartige Abfälle an. Für diese Abfälle hat sich der Gesetzgeber in der Bundesrepublik Deutschland für eine Endlagerung in tiefen geologischen Formationen entschieden, um die ionisierende Strahlung dauerhaft von den Stoffströmen der Biosphäre zu trennen. Hierfür wurde von 1967 bis 1978 in der Schachanlage Asse die Endlagerung radioaktiver Abfälle erforscht, später stand das Endlager für radioaktive Abfälle Morsleben zur Verfügung, welches aktuell stillgelegt werden soll. Für die zukünftige Endlagerung von festen oder verfestigten radioaktiven Abfällen mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung wurde das Endlager Konrad für ein Endlagervolumen von 303.000 m³ genehmigt /U 2/. Es hat die Aufgabe, die nach Endlagerungsbedingungen konditionierten und verpackten radioaktiven Abfälle mit einer vernachlässigbaren thermischen Einwirkung auf das umgebende Gebirge aufzunehmen. Die Abfälle stammen aus Wiederaufarbeitungsanlagen, Kernkraftwerken, Großforschungseinrichtungen, der Industrie, der Stilllegung und dem Abbau kerntechnischer Anlagen und aus sonstiger Herkunft /U 17/.

Das Endlager Konrad setzt sich aus Einlagerungsfeldern zusammen, welche wiederum jeweils aus mehreren 7 m breiten und 6 m hohen Einlagerungskammern von durchschnittlich 500 m Länge bestehen /U 24/. Diese sollen abschnittsweise gefüllt und nach jedem Teilabschnitt von ca. 50 m mit einer Versatzwand verschlossen werden.

Der Transport der Abfälle zum Endlager erfolgt per Bahn oder LKW in sog. Transporteinheiten. Eine Transporteinheit besteht dabei aus jeweils einem quaderförmigen oder ein bis zwei zylindrischen Gebinden. Bei den Gebinden handelt es sich um zylindrische Betonbehälter, zylindrische Gussbehälter oder quaderförmige Stahl-, Beton- und Gusscontainer, deren Außenabmessung durch die Endlagerungsbedingungen festgelegt sind /U 17/. Die zylindrischen Gebinde werden liegend auf sog. Tauschpaletten angeliefert.

Im Einschichtbetrieb können am Endlager Konrad maximal 3400 Transporteinheiten (TE) pro Jahr eingelagert werden, im Zweischichtbetrieb maximal 6800 Transporteinheiten /U 20/. Die Dauer des Einlagerungsbetriebs ist für ca. 30 Jahre geplant, hierbei wurde von einem Einschichtbetrieb ausgegangen. Zum gegenwärtigen Zeitpunkt gibt es nach unserem Kenntnisstand noch keine Entscheidung, ob der Betrieb im Ein- oder Zweischichtbetrieb oder in einer Mischform erfolgen soll.

2.1.2 Anforderungen an die Einlagerung und geplantes Vorgehen der BGE zum Abruf der Gebinde

Gebinde können nicht in beliebiger Reihenfolge und Zusammensetzung im Endlager eingelagert werden, sodass die Abruffreihenfolge vorauslaufend zu dem Abruf der Gebinde von der BGE geplant wird. Die Planungsphase beginnt mit der Abfallvoranmeldung, bei der die Ablieferungspflichtigen der Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH (BGE) eine Übersicht der im nächsten Einlagerungsjahr abrufbaren Gebinde inkl. aller relevanten Informationen vorlegen. Auf dieser Basis wird dann die Kampagnenvorplanung zur Einlagerung in das Endlager Konrad erstellt. Nach weiteren Abstimmungsprozessen wird daraus der Kampagnenplan mit einzelnen Tageschargen erstellt, aus welchem letztendlich der Abrufplan resultiert. Die Endlagerung erfolgt dabei ausschließlich für Gebinde, deren Endlagerfähigkeit auf Basis der in ihrem Auftrag durchgeführten Produktkontrolle von der BGE bestätigt wurde (G2-Gebinde). Die zur Einlagerung vorgesehenen Gebinde werden mit mindestens acht Wochen Vorlauf abgerufen. Mit dem Abruf wird die Position eines Gebindes in der Pufferhalle des Endlagers oder sein Verbleib in der Einlagerungskammer bereits festgelegt /U 20/, /U 25/

Bei der Planung sind sowohl betriebliche und organisatorische als auch sicherheitstechnische Anforderungen zu berücksichtigen /U 20/. Dazu gehören beispielsweise Stillstandszeiten von Anlagenteilen, in denen der Einlagerungsvorgang nicht fortgesetzt werden kann, die Belegung der Einlagerungskammern, der Fortschritt beim Versetzen (Verfüllen) der Einlagerungskammern und die möglichst vollständige Beladung der Stapelabschnitte beim Kampagnenwechsel /U 20/, da die in der Folgekampagne angelieferten Gebinde ggf. nicht gemeinsam mit denen der Vorgängerkampagne gestapelt werden können. Außerdem müssen ausreichende Puffermöglichkeiten für Gebinde vorhanden sein, für die eine gemischte Einlagerung erforderlich ist (siehe unten). Zusätzlich müssen Pufferplätze für Gebinde bereitgestellt werden, wenn die Einlagerung aufgrund von Betriebsstörungen vorübergehend nicht fortgesetzt werden kann /U 20/. Auch die Gebindegeometrie hat einen Einfluss auf die Reihenfolge der Einlagerung, da die Abmessungen der Gebinde, deren Masse und die Schwerpunktlage die Handhabung und Stapelbarkeit der Gebinde beeinflussen /U 20/. Im Endlager Konrad dürfen daher Stapelabschnitte nur mit festgelegten Gebindetypen bzw. Gebindetypenreihenfolgen gefüllt werden. Es sind reine Stapelabschnitte bestehend aus ausschließlich einem Gebindetyp, sowie gemischte Stapelabschnitte, in denen zwei verschiedene Gebindetypen eingelagert werden können /U 21/ (gemischte Stapelung), möglich. Die Länge eines Stapelabschnitts wird dabei in Abhängigkeit von den dort gelagerten Gebindetypen festgelegt, sodass ein optimaler Kammernutzungsgrad erreicht wird, und beträgt 1,25 m bis 2,1 m (eine Gebindelänge). Es werden abwechselnd Gruppen von quaderförmigen und zylindrischen Gebinden in die Einlagerungskammern eingebracht /U 6/.

Die Reihenfolge der Einlagerung wird des Weiteren von radiologischen Anforderungen beeinflusst /U 18/, /U 20/, /U 22/. Diese werden im Folgenden einzeln dargestellt:

- Anforderungen aus der Aktivitätsfreisetzung im bestimmungsgemäßen Betrieb: Um eine unzulässige Belastung der Wetter des Endlagers mit flüchtigen Radionukliden zu verhindern, sind Richtwerte für die pro Jahr einlagerbare Aktivität zu berücksichtigen. Aus diesen wurden gebindespezifische Garantiewerte für flüchtige Radionuklide und zwei Radionuklidgruppen für sonstige Nuklide abgeleitet. Zeigt die Bilanzierung für eines dieser Radionuklide bzw. eine dieser Radionuklidgruppen für ein Betriebsjahr, dass die Richtwerte nicht ausgeschöpft werden, können auch Gebinde eingelagert werden, welche die gebindespezifischen Garantiewerte überschreiten.
- Anforderungen aus der thermischen Beeinflussung des Wirtsgesteins: Der Summenwert S_w , der das für die thermische Beeinflussung des Wirtsgesteins verantwortliche Radionuklidinventar begrenzt, darf im Mittel über drei Stapelabschnitte den Wert 1 nicht überschreiten. Für Gebinde, deren Summenwert S_w oberhalb von 1 liegt (Sondergebände), ist daher eine gemischte Einlagerung mit Gebinden, die einen entsprechend niedrigeren S_w aufweisen (Verdünnungsgebände), erforderlich.
- Anforderungen aus der Kritikalitätssicherheit: Der Kritikalitätssummenwert S_K , der das Nuklidinventar der durch thermische Neutronen spaltbaren Radionuklide begrenzt, darf im Mittel je Stapelabschnitt den Wert 1 nicht überschreiten. Daher gilt, dass für Gebinde, deren Summenwert S_K oberhalb von 1 liegt (Sondergebände), eine gemischte Einlagerung mit Gebinden, die einen entsprechend niedrigeren S_K aufweisen (Verdünnungsgebände), erforderlich ist.
- Anforderungen aus Einzelfallprüfungen: Falls in einem Gebinde die festgelegten maximalen Massenkonzentrationen spaltbarer Stoffe überschritten werden, können die Gebinde dennoch nach einer Bewertung im Einzelfall zur Einlagerung zugelassen werden, sofern die Kritikalitätsgrenzwerte eingehalten werden. Diese Gebinde dürfen nur gemischt mit Gebinden eingelagert werden, die eine geringe Spaltstoffkonzentration aufweisen /U 22/.

Zudem muss bei den Planungen sichergestellt werden, dass die Begrenzung der Gesamtaktivität im Endlager Konrad sowie die zulässigen Massen nichtradioaktiver schädlicher Stoffe nicht überschritten werden. Weiterhin wurden aus unterstellten thermischen und mechanischen Störfällen Anforderungen an Gebinde sowie Radionuklidbegrenzungen hergeleitet, die mit dem Störfallsummenwert S_S zusammengefasst werden. Dieser muss für alle Gebinde unter 1 und für 99 % der nicht störfallfest verpackten Gebinde unter 0,1 liegen. Da sich diese Begrenzungen auf die Gesamtheit der eingelagerten Abfälle beziehen, haben sie keinen Einfluss auf die Zusammenstellung der einzelnen Einlagerungskampagnen und Tageschargen.

Auf Basis dieser Planungen teilt die BGE den Ablieferungspflichtigen den Anliefertermin mit einem Vorlauf von mindestens 8 Wochen für die einzulagernden Gebinde mit.

Sonder- und Verdünnungsgebinde

Für weitergehende Fragestellungen im Rahmen dieser Studie ist der Anteil an Gebinden von Relevanz, an die besondere Anforderungen im Rahmen der Einlagerung bestehen. Dies betrifft zum einen Sondergebände, also Gebinde, deren Wärme- oder Kritikalitätssummenwert oberhalb von 1 liegt, zum anderen Verdünnungsgebände, also Gebinde, die einen entsprechend niedrigeren Wärme- bzw. Kritikalitätssummenwert aufweisen und mit den Sondergebänden gemischt eingelagert werden. Wir haben anhand unserer Erfahrungen im Rahmen der Produktkontrolle eine Abschätzung des Anteils an Sonder- und Verdünnungsgebänden getroffen. Dabei haben wir zwischen den Abfällen aus Kernkraftwerken und denen der öffentlichen Hand bzw. der kerntechnischen Industrie unterschieden.

Bei den Gebinden mit Abfällen aus Kernkraftwerken liegen sowohl der Wärmesummenwert als auch der Kritikalitätssummenwert in der Regel deutlich unter 1 und die Massenkonzentrationen spaltbarer Stoffe deutlich unterhalb der festgelegten Maximalkonzentrationen. Eine Ausnahme bilden Gebinde mit Abfällen aus den kernnahen Bereichen, die zum Teil einen Wärmesummenwert oberhalb von 1 aufweisen. Anhand unserer Erfahrung, die wir über Anlagen gewonnen haben, bei denen die Abfälle aus kernnahen Bereichen bereits vollständig abgebaut, verpackt und dokumentiert sind, entstehen hierbei pro Reaktorblock ca. 50 Gebinde mit Wärmesummenwerten > 1 , was einem Anteil von ca. 4 % pro Reaktorblock entspricht.

Für Gebinde mit Abfällen der öffentlichen Hand gehen wir davon aus, dass der Anteil an Sondergebänden bei Forschungsreaktoren ähnlich hoch ist wie bei Kernkraftwerken. Bei Abfällen aus anderen kerntechnischen Anlagen – wie der Wiederaufarbeitungsanlage Karlsruhe – und der kerntechnischen Industrie gehen wir von einem höheren Anteil an Gebinden aus, bei denen der Wärmesummenwert oder der Kritikalitätssummenwert oberhalb von 1 liegen oder die Massenkonzentration spaltbarer Stoffe oberhalb der festgelegten Werte, ab denen eine Einzelfallprüfung erforderlich ist. Wir schätzen daher für die Abfälle der öffentlichen Hand und der Industrie einen Anteil von 10 % der Gebinde ab. Unter Berücksichtigung der Randbedingung, dass 60 % der im Endlager Konrad einzulagernden Gebinde Abfälle aus Kernkraftwerken der EVUs und 40% Gebinde der öffentlichen Hand sind (siehe Kapitel 2.2.3), ergibt sich insgesamt ein Anteil von ca. 6,5 % ($4\% \cdot 0,6 + 10\% \cdot 0,4$) für Sondergebände.

Wir gehen aufgrund unserer Erfahrung im Rahmen der Produktkontrolle davon aus, dass für einen Großteil der Gebinde, für die eine gemischte Einlagerung erforderlich ist (Sondergebilde), die Summenwerte unterhalb von 2 liegen, sodass für die gemischte Einlagerung nur ein Verdünnungsgebilde erforderlich ist, ggf. können mit einem Verdünnungsgebilde sogar zwei Sondergebilde ausgeglichen werden. Allerdings können einzelne Gebinde den für eine Verdünnung über drei Stapelreihen maximal zulässigen Wärmesummenwert von 60 bzw. den für eine Verdünnung über eine Stapelreihe maximal zulässigen Kritikalitätssummenwert von 7 aufweisen, sodass entsprechend viele Verdünnungsgebilde mit entsprechend geringen Summenwerten für die gemischte Einlagerung benötigt werden. Wir schätzen, dass insgesamt nicht mehr als die Hälfte der einzulagernden Gebilde Sondergebilde sind oder als Verdünnungsgebilde benötigt werden.

Die Anforderungen, die sich aus der unterstellten Aktivitätsfreisetzung im bestimmungsgemäßen Betrieb ergeben, beziehen sich auf die in einem Betriebsjahr eingelagerten Gebilde, sodass sich kein unmittelbarer Einfluss auf die Planung der Tageschargen ergibt. Daher haben wir diese Anforderungen bei der Abschätzung des Anteils der Sondergebilde nicht berücksichtigt.

2.1.3 Anlieferungsbedingungen und Gebindestatus

Wie oben beschrieben, werden nur Gebilde mit abgeschlossener Produktkontrolle bei der Planung der Einlagerungskampagnen berücksichtigt.

Zur Erfüllung der Anforderungen an die Gebilde für die Endlagerung sind an einem Teil der bereits produktkontrollierten Gebilde zusätzliche Maßnahmen vor der Einlagerung erforderlich. Dies ist notwendig, da für einige Eigenschaften nicht ausgeschlossen werden kann, dass sie sich während der Zwischenlagerung über einen längeren Zeitraum ändern, und der Nachweis, dass die zugehörigen Anforderungen erfüllt werden, daher nicht beliebig lange vor der Einlagerung erbracht werden kann. Wie lang der Zeitraum zwischen der Durchführung der Maßnahmen und der Anlieferung an das Endlager Konrad sein darf, hängt dabei von der Art und den Eigenschaften der Abfälle ab, sowie davon, welche der Maßnahmen durchzuführen sind. Bei den Maßnahmen handelt es sich, wie im § 2 (5) Entsorgungsübergangsgesetz /U 4/ beschrieben, um die Herstellung der Drucklosigkeit, die Entfernung freier Flüssigkeit und die Prüfung der Funktionstüchtigkeit der Behälterdichtung – die sogenannten 1-2-3-Maßnahmen:

- Hierzu gehört der Gebindeinnendruck, der bei der Anlieferung an das Endlager $< 1,2$ bar betragen muss. Bei Behältern, die eine spezifizierte Dichtheit aufweisen, kann der Innendruck im Laufe der Zwischenlagerung steigen, sodass vor Anlieferung an das Endlager der Nachweis erbracht werden muss, dass der zulässige Innendruck eingehalten wird.

- Bei verpackten Kugelharzen kann durch Alterungsprozesse des Kunststoffes während der Zwischenlagerung ggf. Wasser freigesetzt werden. Daher ist für diesen Abfallstrom vor der Anlieferung an das Endlager nachzuweisen, dass der Gehalt an freibeweglichen Flüssigkeiten nicht mehr als 1 % des Nettogebindevolumens ausmacht bzw. ist ggf. freigesetzte Flüssigkeit zu entfernen.
- Die Funktionsfähigkeit der Behälterdichtung ist in der Regel nur für einen definierten Zeitraum nachgewiesen. Bei längerfristiger Zwischenlagerung kann dieser überschritten werden, in diesem Fall muss vor der Anlieferung an das Endlager die Funktionsfähigkeit nachgewiesen oder die Dichtung getauscht werden.

Die Überprüfung der Einhaltung der Endlagerungsbedingungen durch die BGE erfolgt auf Basis der Endlagerdokumentation. Wird bei der Überprüfung festgestellt, dass die Endlagerungsbedingungen ausgenommen der noch erforderlichen Durchführung einer oder mehrerer der 1-2-3-Maßnahmen erfüllt werden, erstellt die BGE ebenfalls eine Stellungnahme zur Endlagerfähigkeit mit der Einschränkung, dass diese Maßnahmen noch durchzuführen sind. Sofern bei der Überprüfung festgestellt wird, dass die Endlagerungsbedingungen vollständig eingehalten sind, erstellt die BGE eine entsprechende Stellungnahme zur Endlagerfähigkeit und das Gebinde erlangt den G2-Status.

2.1.4 Anlieferungs- und Einlagerungsvorgang

Die Anlieferung an Schacht 2 des Endlagers Konrad¹ erfolgt über die Straße oder die Schiene. Als Transportwege auf der Straße kommen vorrangig außerörtliche Verkehrswege wie Bundesstraßen und Bundesautobahnen (BAB) in Betracht, hierbei sind insbesondere die BAB 39 (westlich gelegen), BAB 36 (östlich gelegen), BAB 2 (nördlich gelegen), BAB 7 (westlich gelegen) sowie die Bundesstraße B 248 (östlich gelegen) und die nördlich verlaufende Industriestraße Nord (K 39) als direkter Zubringer zu nennen. Der Transportweg über die Schiene erfolgt gemäß der Transportstudie /U 3/ über den nordöstlich gelegenen Rangierbahnhof Beddingen, an welchem die Zusammenführung der Containertragwagen mit Gebinden erfolgt. Nach Abschluss der Zugbildung erfolgt die Weiterbeförderung zu dem vor dem umzäunten Betriebsgelände befindlichen Übergabegleis des Endlagers Konrad.

Die aus betrieblicher Sicht ermittelte Annahmekapazität des Endlagers beträgt für die Einlagerung 3400 TE/Jahr beim Ein- und 6800 TE/Jahr beim Zweischichtbetrieb. Beim ein-

¹ Schacht 1 des Endlagers Konrad dient zur Personen- und Materialbeförderung, die Einlagerung der radioaktiven Abfälle erfolgt ausschließlich über Schacht 2.

schichtigen Betrieb ist eine Pufferung von maximal 40 TE/Tag und eine gleichzeitige Einlagerung und Pufferung ebenfalls von 40 TE/Tag möglich (wovon ca. 17 TE eingelagert werden). Aus der Pufferhalle können ca. 17 TE/Schicht eingelagert werden /U 20/.

Aus diesen Angaben ist abzuleiten, dass, beim Einschichtbetrieb im Mittel 17 TE/Tag und beim Zweischichtbetrieb im Mittel 34 TE/Tag angeliefert und eingelagert werden können. Wie in Kapitel 2.1.1 oben beschrieben, besteht eine Transporteinheit dabei aus jeweils einem quaderförmigen oder ein bis zwei zylindrischen Gebinden auf Tauschpaletten.

Angenommene Gebinde, die nicht direkt eingelagert werden, werden zunächst im Puffertunnel oder in der übertägigen Pufferhalle gelagert. Der Puffertunnel bietet Platz für neun Transporteinheiten und ist für die Pufferung von Gebinden vorgesehen, die nur gemischt eingelagert werden können, jedoch gemeinsam angeliefert werden. In der Pufferhalle stehen 154 Abstellpositionen zur Verfügung, von denen 50 einfach und 104 in Abhängigkeit von der Stapelbarkeit der Transporteinheiten zweifach belegt werden können. 24 dieser Positionen sind im störungsfreien Betrieb für Gebinde vorgesehen, die aufgrund der Anforderungen an die thermische Belastung des Wirtsgesteins und die Kritikalitätssicherheit nur gemischt eingelagert werden können. Außerdem sollen ausreichend Kapazitäten freigehalten werden, um im Falle einer Störung die planmäßig angelieferten Gebinde für drei Tage aufnehmen zu können, ohne die Anlieferung stoppen zu müssen /U 17/, /U 20/.

Bei der Einlagerung unter Tage werden in den Einlagerungskammern Abschnitte von ca. 50 m vollständig befüllt und dann versetzt. Dazu wird zunächst eine Versatzwand aus Spritzbeton errichtet und nach dem Abbinden des Spritzbetons der mit Gebinden gefüllte Hohlraum in dem hinter der Wand liegenden Einlagerungsabschnitt über durch die Spritzbetonwand geführte Rohrleitungen mit Pumpversatz verfüllt /U 2/. Für die Einlagerung stehen aus logistischen Gründen bis auf das Ende der Betriebszeit immer drei Einlagerungskammern gleichzeitig zur Verfügung, wobei der Einlagerungsbetrieb so geführt wird, dass die drei Kammern im Wechsel einen Einlagerungsfortschritt von 50 m erreichen. Um dies zu gewährleisten, findet der Einlagerungsbetrieb jeweils nur in zwei der drei Kammern statt, während in der dritten Kammer der Versatz durchgeführt wird und anschließend aushärtet /U 17/.

2.2 Zwischenlagersituation radioaktiver Abfälle mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung in der Bundesrepublik Deutschland

Da noch kein annahmefähiges Endlager zur Verfügung steht, sind alle anfallenden radioaktiven Abfälle zwischenzulagern. Eine große Anzahl von Gebinden befindet sich an diversen Standorten bereits in der Zwischenlagerung. Weitere Gebinde aus dem Betrieb und

dem Abbau der kerntechnischen Anlagen und anderen Quellen werden hinzukommen. Ausgehend vom aktuellen Bestand an Gebinden ist für diese Studie zu prognostizieren, wie viele Gebinde welcher Art noch anfallen werden. Weiterhin sind die Gesamtgebinde zur Ermittlung der Transportstrecken auf einzelne Lagerstandorte zu verteilen. Auch muss untersucht werden, wie die Lagersituation an diesen Standorten ist und wie gut einzelne Gebinde gezielt wieder ausgelagert werden können. Diese Eingangsgrößen für die Modellierung werden in diesem Kapitel abgeleitet.

2.2.1 Zwischenlagerung radioaktiver Abfälle

Die folgende Abbildung 1 gibt einen Überblick über die Standorte der Reaktoren, Transportbehälterlager, Abfalllager, Landessammelstellen und Konditionierungseinrichtungen in der Bundesrepublik Deutschland.

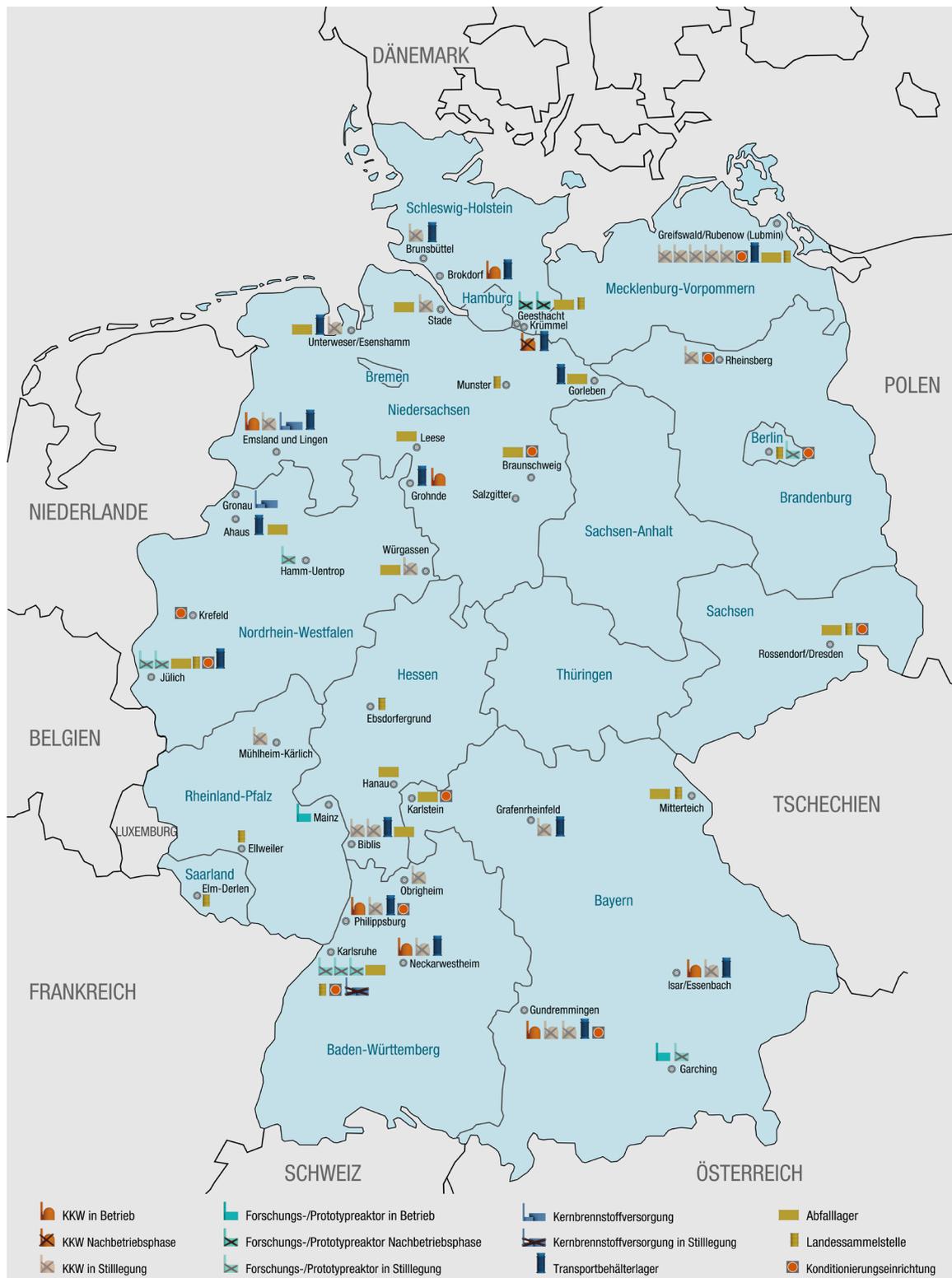


Abbildung 1 Standorte der Reaktoren, Transportbehälterlager, Abfalllager, Landessammelstellen und Konditionierungseinrichtungen für radioaktive Abfälle in der Bundesrepublik Deutschland. Quelle: Verzeichnis radioaktiver Abfälle /U 26/, Stand Ende 2019.

2.2.2 Derzeitiger Bestand endlagergerechter Gebinde

Die Ermittlung des derzeitigen Bestandes der für die Endlagerung vorgesehenen Gebinde (Container Typ I bis VI sowie Gussbehälter Typ I und II und Betonbehälter Typ I bis III) haben wir unter Verwendung vorliegender Unterlagen aus unterschiedlichen Genehmigungs- und Aufsichtsverfahren diverser Lager sowie Unterlagen des Bundes hinsichtlich des aktuellen Lagerbestandes an Gebinden durchgeführt.

Die derzeit gelagerten Gebinde sind dabei nicht gleichmäßig auf die in der Abbildung 1 dargestellten Standorte verteilt. Eine detaillierte Darstellung der Gebindeverteilung wird regelmäßig im Verzeichnis radioaktiver Abfälle /U 26/ gegeben.

Anhand unserer Recherchen (/U 26/, /U 27/) und der uns aus den unterschiedlichen Verfahren vorliegenden Unterlagen haben wir den derzeitigen Bestand der Gebinde an den in Abbildung 1 aufgeführten Standorten für die Zwischenlagerung radioaktiver Abfälle ermittelt. Nach unserer Recherche lagern derzeit wenigstens 12.670 Stück Container Typ I bis VI (quaderförmige Behälter) und 14.688 Stück Gussbehälter Typ I und II bzw. Betonbehälter Typ I bis III (zylindrische Behälter) an den von uns berücksichtigten Standorten (Verteilung: 45 % quaderförmige Gebinde, 55 % zylindrische Gebinde). Zur Verdeutlichung sind in Abbildung 2 als Beispiele für endlagergerechte Abfallbehälter/-gebilde ein Betonbehälter, Gussbehälter und Konrad-Container dargestellt.

Für die Bestandserhebung haben wir ausschließlich radioaktive Abfälle berücksichtigt, welche in die für die gemäß Endlagerungsbedingungen des Endlagers Konrad /U 18/ zugelassenen Abfallbehälter-Typen verpackt wurden. Nicht berücksichtigt haben wir Abfallfässer, welche nicht als Endlagerbehälter zulässig sind und daher noch in endlagerfähige Abfallbehälter gemäß den Endlagerungsbedingungen des Endlagers Konrad /U 18/ zu verpacken sind, sowie mit Abfällen beladene 20'-Container, die ebenfalls noch keine endlagerfähigen Gebinde darstellen.



Abbildung 2 Beispiele für endlagergerechte Abfallbehälter/Gebinde. Betonbehälter (oben links), Gussbehälter (oben rechts) und Konrad-Container Typ IV (unten). Quelle: GRS-Transportstudie 2009 /U 3/

Zur Berechnung des daraus resultierenden Endlagervolumens sind wir ausgehend von der Anzahl der Gebinde des jeweiligen Gebindetyps und dem jeweiligen Behälter-Bruttovolumen gemäß den Endlagerungsbedingungen des Endlagers Konrad /U 18/ vorgegangen:

$$\begin{aligned} & \text{Anzahl Abfallgebinde des jeweiligen Abfallgebindetypen} \\ & * \text{Behälter- Bruttovolumen des jeweiligen dazugehörigen Abfallbehälters} \\ & = \text{Endlagervolumen des jeweiligen Abfallgebindetypen} \end{aligned}$$

Beispielrechnung:

$$26 \text{ Container Typ I} * 3,9 \text{ m}^3 = 101,4 \text{ m}^3$$

Die detaillierte Darstellung unserer Rechercheergebnisse und Berechnungen ist in Tabelle 1 dargestellt.

Tabelle 1 Behältergrundtypen sowie deren jeweiliges Bruttovolumen gemäß /U 18/, die jeweilige Anzahl in der Bundesrepublik gelagerten Gebinde und das daraus resultierende Endlagervolumen.

Gebindetyp	Anzahl der gelagerten Gebinde	Bruttovolumen gemäß /U 18/ (m ³)	Endlagervolumen (m ³)
Container Typ I	26	3,9	101,4
Container Typ II	402	4,6	1.849,2
Container Typ III	307	8,7	2.670,9
Container Typ IV	8.863	7,4	65.586,2
Container Typ V	1.301	10,9	14.180,9
Container Typ VI	1.443	5,4	7.792,2
Betonbehälter Typ I	7.813	1,2	9.375,6
Betonbehälter Typ II	650	1,3	845,0
Gussbehälter Typ I	42	0,7	29,4
Gussbehälter Typ II	5.724	1,3	7.441,2
Gussbehälter Typ III	787	1,0	787,0
Summe	27.358	-	110.659

Aus der Summe der Produkte der oben genannten derzeitigen jeweiligen Anzahl an Containern und zylindrischen Behältern und den jeweiligen Volumen der Container- und zylindrischen Behältergrundtypen haben wir ein Gesamtvolumen von etwa 110.000 m³ berechnet, damit ist ca. 1/3 des gesamten Endlagervolumens von 303.000 m³ bereits erfasst.

Die zwischengelagerten Gebinde decken hinsichtlich ihrer Aktivität einen weiten Bereich (1E+8 Bq bis 1E+13 Bq gemäß /U 3/) ab und unterscheiden sich – auch innerhalb eines Behältertyps – um Größenordnungen.

Für die Ortsdosisleistung an den Gebinden setzen wir an:

- zylindrische Gebinde, 1 m Entfernung: 25 µSv/h
- quaderförmige Gebinde, 2 m Entfernung: 25 µSv/h

Dieser Ansatz entspricht der GRS-Transportstudie /U 3/. Ein Vergleich mit uns vorliegenden Gebindedaten zeigt, dass dieser Wert realistisch ist.

2.2.3 Prognose und Verteilung der zukünftig entstehenden Gebinde

Neben den bereits existierenden Gebinden werden weitere Gebinde aus den bereits vorliegenden, aber noch nicht endlagergerecht konditionierten Abfällen (Lagertanks, Fässer, 20'-Container usw.) sowie aus Abfällen, welche im Rahmen des Abbaus der kerntechnischen Anlagen anfallen, entstehen. Hierzu haben wir eine Prognose über die Verteilung aller Gebinde, die im Endlager Konrad eingelagert werden sollen, erstellt.

Bei der hier durchgeführten Prognose und Verteilung der zukünftig entstehenden Gebinde handelt es sich um eine Abschätzung und nicht um eine Darstellung genauer Zahlenangaben, da die Verteilung der zukünftig entstehenden Gebindetypen mit großen Unsicherheiten verbunden ist und nicht sicher vorhergesehen werden kann. Es existieren bislang nur beispielhafte Belegungspläne für die in der Entstehung befindlichen Zwischenlager sowie Abschätzungen für die aus dem Abbau der Kernkraftwerke anfallenden Abfälle. Die tatsächlich anfallende Gebindeanzahl sowie deren Verteilung auf die Lagereinrichtungen werden von unserem Modell abweichen. Da jedoch die zugrunde gelegte Verteilung der Gebinde in alle betrachteten Szenarien eingeht, kann sie zum Vergleich der Szenarien herangezogen werden.

Für unsere Prognose hinsichtlich der Anzahl der zukünftig anfallenden Endlagergebinde sind wir wie folgt vorgegangen:

- Ausgangszustand ist die Verteilung aus Tabelle 1 (s. o.).
- Das gemäß Planfeststellungsbeschluss für das Endlager Konrad /U 2/ vorgesehene Endlagervolumen (V_E) von 303.000 m³ wird vollständig (100 %) ausgeschöpft.
- Ausgehend vom derzeitigen Volumen endlagergerechter Gebinde von 110.659 m³ würde sich bis zur vollständigen Ausschöpfung des Endlagervolumens für das Endlager Konrad von 303.000 m³ ein Hochrechnungsfaktor von etwa 2,74 ergeben.

Hierdurch würde unterstellt werden, dass die Gebinde mit dem gleichen Verteilerschlüssel auch in Zukunft anfallen würden, wie bisher geschehen. Um eine Aussage für die zukünftig auftretenden Gebindetypen generieren zu können, haben wir die Belegungsplanungen aus den Antragsverfahren der noch zu errichtenden Zwischenlagerstätten sowie unsere Erfahrungen aus dem Abbau von Kernkraftwerken herangezogen. Es zeigt sich, dass zukünftige Stilllegungs- und Rückbauabfälle vermehrt in Container Typ I bis VI verpackt werden und somit entsprechend weniger zylindrische Gebinde anfallen werden. Weiterhin ist zu erwarten, dass ein Anteil der bisher entstandenen Betonbehälter wieder entladen wird, wobei die enthaltenen Fässer in Container umgepackt werden. Die Errichtung entsprechender Entladeeinrichtungen ist bereits beantragt. Diese Annahmen decken sich mit der aktuellen Belegung sowie mit der Belegungsplanung von uns bekannten Lagern und Hallen, in welche Rückbauabfälle eingelagert werden. Daher haben wir für

unsere Prognose unter Berücksichtigung der zur Verfügung stehenden Endlagerkapazität für die Container Typ I bis VI einen entsprechend größeren Hochrechnungsfaktor und für zylindrische Gebinde einen entsprechend niedrigeren Hochrechnungsfaktor zugrunde gelegt. Wir prognostizieren und berücksichtigen für unsere Berechnung, dass insgesamt die doppelte Anzahl Container (A_C) zu zylindrischen Gebinden (A_Z) in das Endlager eingelagert wird ($A_C = 2 A_Z$). Dieses Vorgehen führt zu einer realistischeren Verteilung der Gebindetypen für das Endlager Konrad.

- Für die Verteilung der Gebindetypen i berücksichtigen wir den derzeitigen Anteil p_{C_i} bzw. p_{Z_i} der jeweiligen Gebindetypen A_{C_i} bzw. A_{Z_i} an der Gesamtheit der Container $\sum A_{C_i}$ bzw. zylindrischen Gebinde $\sum A_{Z_i}$ (siehe Tabelle 2):

Tabelle 2 Derzeitiger Anteil der jeweiligen Gebinde an der Gesamtanzahl ihres jeweiligen Gebindetyps.

Gebindetyp	Anzahl der derzeit gelagerten Gebinde A_{C_i} bzw. A_{Z_i}	Anteil an der Summe Container bzw. zylindrischer Gebinde p_{C_i} bzw. p_{Z_i} in %
Container Typ I	26	0,21
Container Typ II	402	3,26
Container Typ III	307	2,49
Container Typ IV	8.863	71,81
Container Typ V	1.301	10,54
Container Typ VI	1.443	11,69
Summe Container Typ I bis Typ VI $\sum A_{C_i}$	12.342	100
Betonbehälter Typ I	7.813	52,03
Betonbehälter Typ II	650	4,33
Gussbehälter Typ I	42	0,28
Gussbehälter Typ II	5.724	38,12
Gussbehälter Typ III	787	5,24
Summe zylindrische Gebinde $\sum A_{Z_i}$	15.016	100

- Zur Ermittlung der Gesamtzahl an Containern A_C stellen wir die nachfolgende Formel auf, wobei V_{B_i} das jeweilige Behältervolumen ist:

$$V_E = \sum_i^n p_{C_i} * A_C * V_{B_i} + \sum_i^n p_{Z_i} * A_Z * V_{B_i}$$

mit $p_{C_i} = \frac{A_{C_i}}{\sum A_{C_i}}$ und $p_{Z_i} = \frac{A_{Z_i}}{\sum A_{Z_i}}$.

Durch Einsetzen der in Tabelle 2 genannten Werte und der oben genannten Annahme, dass $A_Z = 0,5A_C$ ergibt sich hieraus folgende Gleichung:

$$\left(\begin{array}{l} 0,21 \% * A_C * 3,9 m^3 \\ + 3,26 \% * A_C * 4,6 m^3 \\ + 2,49 \% * A_C * 8,7 m^3 \\ + 71,81 \% * A_C * 7,4 m^3 \\ + 10,54 \% * A_C * 10,9 m^3 \\ + 11,69 \% * A_C * 5,4 m^3 \end{array} \right) + \left(\begin{array}{l} 52,03 \% * 0,5 A_C * 1,2 m^3 \\ + 4,33 \% * 0,5 A_C * 1,3 m^3 \\ + 0,28 \% * 0,5 A_C * 0,7 m^3 \\ + 38,12 \% * 0,5 A_C * 1,3 m^3 \\ + 5,24 \% * 0,5 A_C * 1,0 m^3 \end{array} \right) = 303.000 m^3$$

Durch das Umstellen der Formel kann die Gesamtzahl der Container berechnet werden:

$$A_C = \frac{303.000 m^3}{\left(\begin{array}{l} 0,21 \% * 3,9 m^3 \\ + 3,26 \% * 4,6 m^3 \\ + 2,49 \% * 8,7 m^3 \\ + 71,81 \% * 7,4 m^3 \\ + 10,54 \% * 10,9 m^3 \\ + 11,69 \% * 5,4 m^3 \end{array} \right) + \left(\begin{array}{l} 52,03 \% * 0,5 * 1,2 m^3 \\ + 4,33 \% * 0,5 * 1,3 m^3 \\ + 0,08 \% * 0,5 * 0,7 m^3 \\ + 38,12 \% * 0,5 * 1,3 m^3 \\ + 52,03 \% * 0,5 * 1,2 m^3 \end{array} \right)}$$

$$A_C = 37.480 \text{ Container Typ I bis Typ VI}$$

- Wie bereits oben erwähnt, prognostizieren und berücksichtigen wir für unsere Berechnung, dass zukünftig die doppelte Anzahl Container zu zylindrischen Gebinden entstehen wird:

$$A_Z = 0,5 * 37.480 \text{ Container}$$

$$A_Z = 18.740 \text{ zylindrische Gebinde}$$

Wir prognostizieren etwa 37.480 Stück quaderförmige Gebinde (Container Typ I bis VI) und etwa 18.740 Stück zylindrische Gebinde (Guss-/Betonbehälter), das entspricht einer Gesamtsumme von etwa 56.221 (aufgerundet) endlagergerechter Gebinde mit einem Volumen von etwa 303.000 m³.

- Zur Berechnung der jeweiligen Anzahl der Container Typ I bis VI sowie der Gussbehälter Typ I bis Typ III und Betonbehälter Typ I und Typ II wird die Gesamtanzahl der Gebinde eines jeweiligen Gebindetypen (Container oder zylindrisches Gebinde) mit dem Anteil an der Gesamtanzahl an Gebinden (siehe Tabelle 2) multipliziert und auf ganze Zahlen gerundet. Im Folgenden ist dies beispielhaft für die Berechnung der Anzahl der Container Typ I (A_{CI}) dargestellt:

$$A_{CI} = 0,21 \% * 37.480 \text{ Container Typ I}$$

$$A_{CI} = 79 \text{ Container Typ I}$$

- Das resultierende Gesamtvolumen des jeweiligen Gebindetyps wird durch Multiplikation der Gebindeanzahl mit dem behälterspezifischen Bruttovolumen (gemäß Endlagerungsbedingungen /U 18/) berechnet. Im Folgenden ist dies beispielhaft für die Berechnung des Endlagervolumens für die Container Typ I dargestellt:

$$79 \text{ Container Typ I} * 3,9 \text{ m}^3 = 308 \text{ m}^3 \text{ Endlagervolumen}$$

Die Ergebnisse der Berechnung des prognostizierten Endlagervolumens für jeden Gebindetyt sind in Tabelle 3 dargestellt:

Tabelle 3 Prognostizierte Anzahl endlagergerechter Gebinde sowie das daraus resultierende Endlagervolumen.

Gebindetyt	Anzahl der Gebinde ²	Bruttovolumen gemäß /U 18/ (m ³)	Endlagervolumen (m ³)
Container Typ I	79	3,9	308
Container Typ II	1.221	4,6	5.617
Container Typ III	932	8,7	8.108
Container Typ IV	26.916	7,4	199.178
Container Typ V	3.951	10,9	43.066
Container Typ VI	4.382	5,4	23.663
Betonbehälter Typ I	9.751	1,2	11.701
Betonbehälter Typ II	811	1,3	1.054
Gussbehälter Typ I	52	0,7	36
Gussbehälter Typ II	7.144	1,3	9.287
Gussbehälter Typ III	982	1,0	982
Summe	56.221	-	303.000

- Gemäß dem Verzeichnis radioaktiver Abfälle /U 26/ ist ein Anteil der radioaktiven Abfälle von etwa 60 % aus dem Betrieb und der Stilllegung deutscher Kernkraftwerke und zu 40 % von anderen Abgebern (u. a. Forschung, kerntechnischer Industrie, Landessammelstellen) zu erwarten. Diese weiteren Abgeber fassen wir im Folgenden vereinfacht als „öffentliche Hand“ zusammen, auch wenn nicht alle dieser Ablieferungspflichtigen der öffentlichen Hand gehören.

² Nachkommastellen wurden entsprechend auf- bzw. abgerundet.

Daraus ergibt sich die in Tabelle 4 dargestellte Verteilung der von uns zu erwartenden Gebinde:

Tabelle 4 Verteilung der prognostizierten endlagergerechten Gebinde auf alle von uns berücksichtigten Lagereinrichtungen für Betriebs- und Stilllegungsabfälle deutscher Kernkraftwerke und Lagereinrichtungen der öffentlichen Hand.

	Lagereinrichtungen für Betriebs- und Stilllegungsabfälle deutscher Kernkraftwerke	Lagereinrichtungen der öffentlichen Hand
Anzahl Container Typ I bis VI	22.488	14.992
Anzahl zylindrische Gebinde	11.244	7.496

- Eine genaue Angabe, wie viele Gebinde an welchem Standort lagern werden, ist nicht möglich, da
 - die tatsächlich beim Abbau anfallenden Abfallmengen von den vorgelegten Prognosen abweichen werden,
 - die vorliegenden Daten zur Gebindeverteilung nur vorläufig bzw. beispielhaft sind und
 - die EVUs Gebinde aus dem Abbau auch in anderen Zwischenlagern als am Standort der abzubauenen Anlagen lagern werden.

Zur Vereinfachung für die Modellierung in dieser Studie werden die prognostizierten Gebinde unabhängig von der Lagerkapazität gleichmäßig auf 18 Standorte für Betriebs- und Stilllegungsabfälle deutscher Kernkraftwerke und 3 Lagerstandorte für Gebinde der öffentlichen Hand (Karlsruhe, Hanau, Greifswald) verteilt (Tabelle 5). Da es sich hier um eine vereinfachte Annahme handelt, wird die reale zukünftige Verteilung der Gebinde von unserer Prognose abweichen.

Da am Standort des Kernkraftwerkes Mülheim-Kärlich kein Zwischenlager errichtet wird, haben wir diesen Standort aus unseren Betrachtungen herausgenommen. Die aus dem Abbau des Kernkraftwerkes Mülheim-Kärlich entstehenden Gebinde werden über die anderen Standorte mitberücksichtigt.

Unsere Berechnung erfolgt dabei unter der vereinfachenden Modellannahme, dass bei Standorten, die aus 2 Reaktorblöcken bestehen/bestanden (Biblis, Gundremmingen, Neckarwestheim, Philippsburg, Isar), die doppelte Anzahl an anfallenden Gebinden unterstellt wird. Gleiches gilt für Lagerstandorte, welche Abfälle aus mehreren Standorten einlagern, d. h. für die zentralen Zwischenlager Gorleben, Ahaus und Mitterteich, sowie für das Zwischenlager Lingen, welches Abfälle aus dem Kernkraftwerk Emsland sowie

aus dem Kernkraftwerk Lingen einlagern soll. Für die weiteren 9 Standorte haben wir die einfache Anzahl an Gebinden angenommen.

Für die Lagerstandorte der öffentlichen Hand haben wir, unter Berücksichtigung der derzeitigen Lagerauslastung, 50 % dem Standort Karlsruhe und jeweils 25 % den Standorten Hanau und Greifswald zugeordnet (siehe Tabelle 5). Für die Verteilung der Gebinde der öffentlichen Hand haben wir nur diese drei Standorte berücksichtigt, da der derzeitige Anteil in den Landessammelstellen, Konditionierungseinrichtungen und anderen Einrichtungen der kerntechnischen Industrie und Forschung nur einen Anteil von etwa 3,6 % der Gesamtheit der in Tabelle 1 aufgeführten Gebinde ausmacht, der zudem mit dem fortschreitenden Rückbau der Kernkraftwerke noch sinken wird. Daher ist dies hier aus unserer Sicht vernachlässigbar. Der Anteil der auf diese Zwischenlagerorte entfallenden Gebinde wird daher bei den drei „Hauptstandorten“ (Karlsruhe, Hanau und Greifswald) der öffentlichen Hand mitberücksichtigt.

Tabelle 5 Verteilung der für diese Studie prognostizierten endlagergerechten Gebinde pro Lagereinrichtung für Betriebs- und Stillengsabfälle deutscher Kernkraftwerke und pro Lagereinrichtung der öffentlichen Hand.

Standort ³	Kapazität ⁴	Typ	Anzahl Container	Anzahl zylindrische Gebinde
zentrale Zwischenlager				
Ahaus	2	Zentrales Zwischenlager	1.664	832
Gorleben	2	Zentrales Zwischenlager	1.688 ⁵	844 ⁵
Mitterteich	2	zentrales Zwischenlager	1.664	832
Kernkraftwerke				
Biblis	2	Standortnahes Zwischenlager	1.664	832

³ Teilweise verfügen die hier aufgelisteten Standorte noch nicht über entsprechende Lagerstandorte für die prognostizierten Gebinde, daher sind diese Lagerstandorte in Abbildung 1 auch nicht symbolisch abgebildet. Wir gehen jedoch davon aus, dass die Mehrzahl der Standorte in Zukunft über einen entsprechenden Lagerstandort für die beim Abbau anfallenden Gebinde verfügen wird.

⁴ Standorte, welche aus einem Reaktorblock bestehen/bestanden, wurde die Kapazität 1 zugeordnet. Standorte, die aus zwei Reaktorblöcken bestehen/bestanden, wurde die Kapazität 2 und dementsprechend die doppelte Anzahl an prognostizierten Gebinden zugeordnet. Letzteres gilt auch für die zentralen Zwischenlager, welche Abfälle aus mehreren Standorten einlagern.

⁵ Um auf die in Tabelle 3 aufgeführten Gebindeanzahl zu kommen, wurde die aufgrund der Aufteilung auf die einzelnen Lagerstandorte entstandene Differenz (durch Auf- bzw. Abrundung der errechneten Werte) auf den Bestand für den Standort Gorleben aufgerechnet.

Standort ³	Kapazität ⁴	Typ	Anzahl Container	Anzahl zylindrische Gebinde
Brake (Unterweser)	1	Standortnahes Zwischenlager	832	416
Brokdorf	1	Standortnahes Zwischenlager	832	416
Brunsbüttel	1	Standortnahes Zwischenlager	832	416
Essenbach (Isar)	2	Standortnahes Zwischenlager	1.664	832
Grafenrheinfeld	1	Standortnahes Zwischenlager	832	416
Grohnde	1	Standortnahes Zwischenlager	832	416
Gundremmingen	2	Standortnahes Zwischenlager	1.664	832
Krümmel	1	Standortnahes Zwischenlager	832	416
Lingen (Emsland)	2	Standortnahes Zwischenlager	1.664	832
Neckarwestheim	2	Standortnahes Zwischenlager	1.664	832
Obrigheim	1	Standortnahes Zwischenlager	832	416
Philippsburg	2	Standortnahes Zwischenlager	1.664	832
Stade	1	Standortnahes Zwischenlager	832	416
Würgassen	1	Standortnahes Zwischenlager	832	416
Summe			22.488	11.244
Öffentliche Hand				
Greifswald	0,25 ⁶	Zwischenlager öffentliche Hand	3.748	1.874

⁶ Dies entspricht einer Verteilung von: 50 % Standort Karlsruhe und je 25 % Standort Hanau und Standort Greifswald.

Standort ³	Kapazität ⁴	Typ	Anzahl Container	Anzahl zylindrische Gebinde
Hanau	0,25 ⁶	Zwischenlager öffentliche Hand	3.748	1.874
Karlsruhe	0,5 ⁶	Zwischenlager öffentliche Hand	7.496	3.748
Summe			14.992	7.496
Gesamtsumme			37.480	18.740

Für die zukünftig anfallenden Gebinde setzen wir die gleichen radiologischen Bedingungen wie im Kapitel 2.2.2 beschrieben an.

2.2.4 Logistik an den Zwischenlager-Standorten

Erreichbarkeit von Gebinden

Gemäß der ESK-Stellungnahme vom 26.07.2018 /U 6/ sind die Gebinde aufgrund des jeweiligen Lagerkonzeptes teilweise nicht frei zugänglich bzw. es bestehen teilweise keine Bereiche/Flächen für umfangreiche Umlagerungsvorgänge. Dies deckt sich mit unseren Vor-Ort-Kenntnissen von den Standorten aus begleitenden Kontrollen.



Abbildung 3 Lagersituation im Zwischenlager für Container am Standort Karlsruhe (Kerntechnische Entsorgung Karlsruhe GmbH) als Beispiel für eine hohe Lagerauslastung. Quelle: www.kte-karlsruhe.de/startseite-kte/themen/zwischenlagerung; Stand: 13.04.2022.

In zwei uns bekannten Zwischenlagern werden Gebinde nicht mittels Deckenkran, sondern mittels Luftkissenfahrzeug bewegt. Quaderförmige Gebinde werden als „monolithischer Block“ gelagert, d. h. es sind immer nur die an den Stirnseiten befindlichen Gebinde zugänglich. Rundgebinde werden in Lagergassen hintereinander aufgestellt, teilweise doppel- lagig. Sollte die Auslagerung eines in der Mitte des Stapels oder einer Lagergasse liegenden Gebindes erforderlich sein, müssen zunächst alle davorliegenden Gebinde entfernt werden.

Da quaderförmige Gebinde in Zwischenlagern mit Deckenkran auch im „Block“ gelagert sind, sind jeweils nur die obersten Gebinde direkt zugänglich. Sollte ein tieferliegendes Gebinde erreicht werden müssen, wird zum Bergen ein Gebindestapel trichterförmig abgebaut. Aufgrund der erforderlichen Umstapelungsvorgänge ist dies zeitaufwändig. Die dabei abgebauten Container müssen an anderer Stelle abgestellt („gepuffert“) werden. Dies trifft insbesondere auf das Zwischenlager in Karlsruhe zu /U 28/.

Zwei uns bekannte Lager an Standorten, an denen das Kernkraftwerk bereits (weitgehend) abgebaut wurde, sind soweit gefüllt, dass kein großflächiges Umlagern der enthaltenen Gebinde möglich ist. Logistikflächen im Lager stehen aufgrund der Lagerbelegung nicht mehr zur Verfügung. Einfach zugänglich sind damit nur die obersten bzw. vordersten Behälter.

Für die im Bau befindlichen Zwischenlager ist an den uns vorliegenden Beispielbelegungen abzulesen, dass die Gebinde nach Behältertyp geordnet in einzelnen Stapeln gelagert werden, innerhalb der Stapel werden nur die obersten Gebinde direkt zugänglich sein. Umlagerungen können nur bei entsprechend niedriger Lagerauslastung (welche sich ggf. erst zu einem späteren Zeitpunkt nach der Auslagerung von Gebinden ergibt) durchgeführt werden.

Zwischenlager, welche bereits jetzt in Betrieb sind und bis zur Öffnung des Endlagers weitere Gebinde aus dem Rückbau der nebenliegenden Kernkraftwerke aufnehmen, werden sich bis zur Öffnung des Endlagers bzw. Inbetriebnahme eines zentralen Bereitstellungslagers weiter füllen. Damit verbunden ist eine Abnahme der zur Verfügung stehenden Flächen und Möglichkeiten zur Umlagerung von Gebinden. Dies haben wir in der unten vorgestellten Kategorisierung der Zwischenlager berücksichtigt.

Grundsätzlich ist das Freistellen jeglicher Gebinde möglich, dies ist jedoch mit vorausschauender Planung und logistischem und zeitlichem Aufwand sowie zusätzlicher Dosis für das Personal verbunden.

Im Kapitel 2.1.2 haben wir beschrieben, wie der grundlegende Planungsprozess für den Abruf der Gebinde ans Endlager erfolgt, im Kapitel 3.2.1 beschreiben wir, welches Abrufregime wir im Rahmen unseres Modells zugrunde legen.

Der Handhabungsaufwand ein Gebinde nach einem Abrufplan und mit einem entsprechenden Vorlauf zum Abtransport bereitzustellen, ist in den Lagern unterschiedlich und in unseren folgenden Modellierungen berücksichtigt. Dafür haben wir die Lager in drei Kategorien eingeteilt. Das Bereitstellen von Gebinden kann mit zunehmendem Gebindeabfluss erleichtert werden, sodass weniger Gebinde umgestellt werden müssen. Dieses haben wir über durchschnittliche Werte für die Erreichbarkeit von Gebinden über die Betriebsdauer der Lager berücksichtigt.

Wir haben die Lager in die folgenden Kategorien eingeteilt:

- **Kategorie 1: einfache Entnahme von Gebinden**
Diese Kategorie beschreibt Lager, bei denen jedes Gebinde direkt angefahren werden kann bzw. höchstens ein anderes Gebinde vorher umgestellt werden muss (z. B. bei doppelagiger Aufstellung).
- **Kategorie 2: erschwerte Entnahme von Gebinden**
Hier werden die Gebinde „im Block“ bzw. als Gebindestapel gelagert, können aber z. B. über einen Deckenkran von oben entnommen bzw. abgebaut werden. Es wird jedoch ein gewisser Abfluss von Gebinden unterstellt, sodass eine vollständige Füllung der Lager

nicht erreicht wird. Im Schnitt (unter der Annahme einer intelligenten Abruflogistik) müssen hier im Schnitt zwei Gebinde umgestellt werden, um ein ausgewähltes Gebinde zu erreichen.

- **Kategorie 3: stark erschwerte Entnahme von Gebinden**
Die Gebinde werden im Block gelagert, es existiert aber kein Deckenkran. Gebinde können aus dem Stapel nur „von vorn“ entnommen werden.
Oder das Lager ist soweit vollgestellt, dass die Entnahme über einen Deckenkran stark eingeschränkt ist.
Im Schnitt (unter der Annahme einer intelligenten Abruflogistik) müssen in dieser Kategorie sechs Gebinde zusätzlich umgestellt werden, bevor ein ausgewähltes Gebinde erreicht werden kann.

Nach unserer Recherche schlüsseln sich die Kategorien zur Zugänglichkeit auf die von uns im Kapitel 2.2.3, Tabelle 5 aufgeführten Standorte wie folgt auf: 2 Standorte Kategorie 1, 15 Standorte Kategorie 2 und 4 Standorte Kategorie 3.

Die Kategorie 1 beinhaltet zwei zentrale Zwischenlager mit Deckenkran und ausreichend Platz für Logistik, sodass alle Gebinde mit wenig Aufwand erreicht werden können.

Die Kategorie 2 umfasst standortnahe Zwischenlager, die vor allem Gebinde aus dem Rückbau der kerntechnischen Anlagen aufnehmen, noch nicht gefüllt sind und ausreichend Logistikflächen vorsehen.

In die Kategorie 3 fallen zwei zentrale Lager ohne Deckenkran, bei denen die Erreichbarkeit von „weiter hinten“ stehenden Gebinden stark eingeschränkt ist, sowie zwei standortnahe Lager, welche vollständig gefüllt sind, sodass im Lager keine Flächen für das Umlagern von Gebinden zur Verfügung stehen.

Abtransport-Logistik

Der Abtransport der Gebinde von den Zwischenlager-Standorten kann generell sowohl über die Straße als auch per Eisenbahn erfolgen. Nach unserer Recherche verfügen 15 der von uns im Kapitel 2.2.3, Tabelle 5 aufgeführten Standorte (2 Standorte der öffentlichen Hand, 13 Standorte der Kernkraftwerke und zentralen Zwischenlager) über einen Gleisanschluss, wenigstens auf dem Gelände.

2.3 Planungen der BGZ zur Errichtung eines Bereitstellungslagers

Gemäß Entsorgungsübergangsgesetz aus dem Jahr 2017 kann der für die Zwischenlagerung Beauftragte ein sog. „zentrales Bereitstellungslager für radioaktive Abfälle mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung als Eingangslager für das Endlager Konrad“ errichten. Eine Pflicht zur Errichtung eines derartigen Bereitstellungslagers gibt es nicht.

Für die im Rahmen dieser Studie durchzuführenden Berechnungen sind Angaben zu einem Bereitstellungslager als Eingangsgrößen für das Berechnungsmodell erforderlich. Mit den Unterlagen /U 8/ und /U 9/ hat die BGZ eine standortunabhängige technische Konzeptbeschreibung für ein Bereitstellungslager vorgelegt, die relevante Randbedingungen und die Aufgaben eines Bereitstellungslager nach den Planungen der BGZ enthält. Als für die Studie relevante Angaben haben wir aus dieser Unterlage übernommen:

- Lagerkapazität von bis zu 60.000 m³ Gebindevolumen, was entsprechend der von der BGZ angegebenen Aufteilung von zylindrischen zu quaderförmigen Gebinden einer Anzahl von ca. 15.000 Gebinden entspricht.
- Bereitstellung endlagerfähiger Gebinde für eine Just-in-Time-Anlieferung zum Endlager Konrad.
- Sicherstellung der für einen Zweischichtbetrieb des Endlagers benötigten Gebindestückzahlen pro Tag. Die Abgabekapazität beträgt am Bereitstellungslager mindestens 34 Transporteinheiten. Das entspricht der maximalen täglichen Einlagerungskapazität am Endlager im Zweischichtbetrieb.
- getrennte Ein- und Auslagerungsbereiche sowie getrennter An- und Abtransport von Gebinden vorzugsweise mit der Bahn und mittels LKW⁷.

Weitere erforderliche Annahmen zu den Modalitäten am Bereitstellungslager haben wir auf Basis der Ausführungen zur technischen Konzeptbeschreibung /U 8/, /U 9/ wie folgt getroffen:

- Die Annahmekapazität beträgt am Bereitstellungslager maximal 68 Transporteinheiten pro Tag (siehe Kapitel 3.2.1.3).
- Hinsichtlich der Gebindezugänglichkeit werden für das Bereitstellungslager auf Basis der Anforderungen gemäß ESK-Stellungnahme /U 6/, dass innerhalb des Lagers für eine gute Zugänglichkeit aller Gebinde zu sorgen ist, um möglichst einfach optimierte Einla-

⁷ Im Rahmen dieser Studie gehen wir davon aus, dass der Transport von einem Zwischenlager mit Schienenanbindung immer via Schiene erfolgt. Für Zwischenlager ohne Schienenanbindung erfolgt der Transport via LKW. Der Transport vom Bereitstellungslager zum Endlager erfolgt mit der Bahn.

gerungschargen für Konrad zusammenstellen zu können, und der technischen Konzeptbeschreibung /U 8/, /U 9/, nach der die flexible und kontinuierliche Bedienung des Abrufs der Gebinde zur Endlagerung ermöglicht werden soll, keine Einschränkungen unterstellt. Dies halten wir auch deshalb für realistisch, weil bereits bei der Einlagerung von Gebinden in ein Bereitstellungslager eine für die künftige Auslagerung günstige Anordnung der Gebinde in den Lagerbereichen vorgenommen werden kann.

Die Konzeption eines Bereitstellungslagers und der damit einhergehenden internen Prozessschritte, Lager-, Annahme- und Ablieferungskapazitäten haben einen unmittelbaren Einfluss auf die Bilanzierungsergebnisse dieser Studie. Eine Variation dieser Größen war im Rahmen dieser Studie nicht möglich und sollte bei Bedarf in einem nächsten Schritt vorgenommen werden.

Standort des Bereitstellungslagers

Im Rahmen dieser Studie sind für eine hinsichtlich eines Bereitstellungslagers standortunabhängige Bilanzierung gemäß der Leistungsbeschreibung /U 16/ für den Standort eines Bereitstellungslagers insgesamt 16 unterschiedliche Orte zu modellieren. Dabei sind jeweils acht Punkte auf einem Radius um das Endlager Konrad von 50 km und acht Punkte auf einem Radius von 200 km zu modellieren (Himmelsrichtungen N, NO, O, SO, S, SW, W, NW), siehe Abbildung 4.

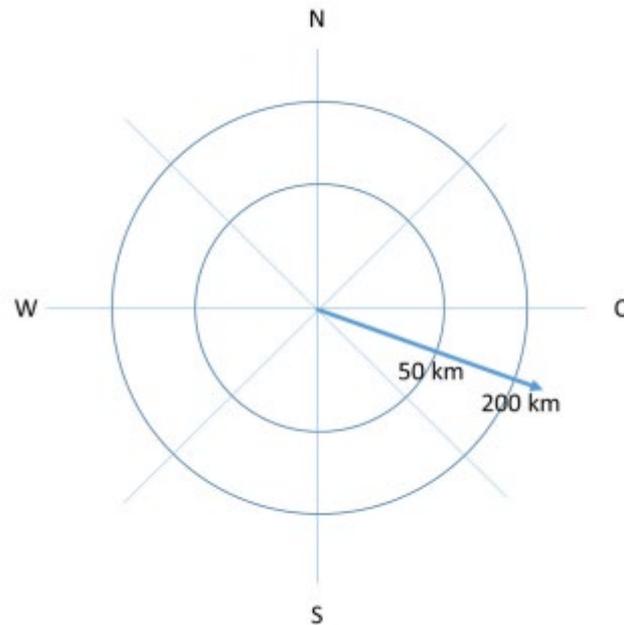


Abbildung 4 Acht Schnittpunkte auf den Achsen der Himmelsrichtungen. Quelle: Leistungsbeschreibung /U 16/

Aus der Variation des Standortes eines Bereitstellungslagers und der Anzahl der Zwischenlager (siehe beispielhaft Abbildung 5) ergeben sich eine Vielzahl an unterschiedlichen Transportstrecken. Zur Berechnung wurden im Rahmen dieser Studie auftragsgemäß Näherungsfaktoren zur Umrechnung der Luftlinienentfernung zu Straßen- und Schienenkilometer ermittelt und angewendet.

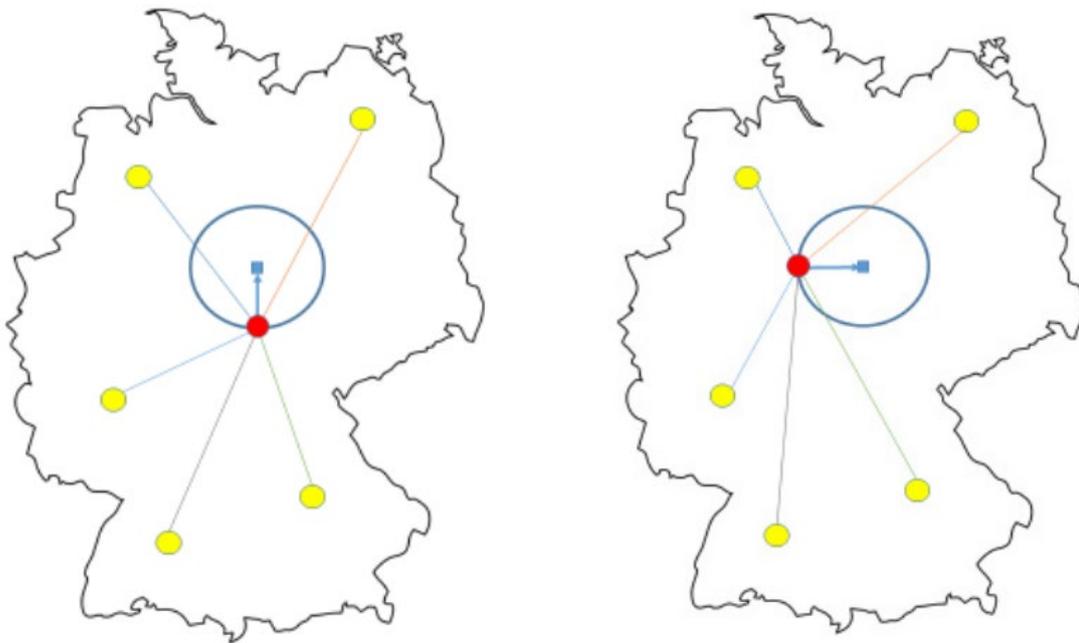


Abbildung 5 Variation des fiktiven Standortes eines Bereitstellungslagers (blau: Endlager Konrad, rot: Bereitstellungslager, gelb: beispielhafte Zwischenlager). Quelle: Leistungsbeschreibung /U 16/

2.4 Übersicht zu Transportmitteln für Bahn & Straße

In diesem Kapitel werden die für den Transport mit der Bahn und auf der Straße zu beachtenden rechtlichen Rahmenbedingungen und die daraus resultierenden Anforderungen an die Durchführung der Transporte behandelt. Des Weiteren werden die bei den Transporten zu berücksichtigenden Unfallhäufigkeiten beschrieben.

2.4.1 Beschreibung der rechtlichen Rahmenbedingungen für Transporte

Gemäß den Ausführungen im Planfeststellungsbeschluss /U 2/, Abschnitt B III 5.1 ist die Anlieferung an das Endlager Konrad von Gebinden per Straße und Schiene vorgesehen, eine Anlieferung über andere Verkehrswege wurde nicht beantragt, was die GRS-Transportstudie /U 3/ auch im Kapitel 6.1 ausführt.

Die Mitteilungspflicht zur Abgabe von radioaktiven Abfällen ist nach AtEV § 4 (2) geregelt. Demnach ist ein Transport mindestens fünf Arbeitstage vor Beginn der Beförderung der zuständigen Behörde mitzuteilen.

Weiterhin sind die ESK-Leitlinien für die Zwischenlagerung von radioaktiven Abfällen mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung zu berücksichtigen /U 29/. Die Kapitel 2.1 und 2.2 der ESK-Leitlinien /U 29/ beschreiben die Anforderungen an Abfallprodukte und Abfallbehälter. Qualifizierte Abfallbehälter müssen über einen Eignungsnachweis für die Zwischenlagerung und idealerweise auch für die Endlagerung verfügen. Für den Fall, dass eine Zwischenlagerung in Abfallbehältern erfolgt, die nicht entsprechend den gefahrgutrechtlichen Anforderungen qualifiziert sind, sind die gefahrgutrechtlichen Anforderungen von dem späteren Versandstück z. B. mit Hilfe einer Umverpackung zu erfüllen. Die Ausführung der Abfallbehälter muss geeignet sein, ihre Handhabung auch während und nach der Zwischenlagerung sicherzustellen.

Damit kann davon ausgegangen werden, dass alle Gebinde mit radioaktiven Abfällen, die aus den Zwischenlagern oder aus einem Bereitstellungslager zum Endlager transportiert werden sollen, sowohl auf der Straße als auch auf der Schiene mit gebräuchlichen Fahrzeugen transportiert werden können. Die Höchstgeschwindigkeiten auf Straße und Schiene sind dabei in der Straßenverkehrs-Ordnung (StVO) /R 6/ und der Eisenbahn-Bau- und Betriebsordnung (EBO) /R 7/ geregelt.

2.4.2 Beschreibung der technischen Ausführung (Schiene und Straße)

Die Grundlage für die Beschreibung der technischen Ausführung für die Transportfahrzeuge auf den Transportwegen Schiene und Straße bilden die GRS-Transportstudie aus dem Jahre 2009 /U 3/, die technische Konzeptbeschreibung eines zentralen Bereitstellungslagers /U 8/, die Endlagerungsbedingungen Konrad /U 18/, die Gefahrguttransportverordnung GGVSEB /R 4/ und die Anlagen A und B zum Übereinkommen über die internationale Beförderung gefährlicher Güter auf der Straße, kurz ADR /R 5/.

Zum Transport auf Schiene und Straße sind gemäß der technischen Konzeptbeschreibung /U 8/ Open-All-Container (siehe Abbildung 6) zur An- und Ablieferung von Gebinden zu berücksichtigen. Open-All-Container sind spezielle 20'-Container, bei denen sich die Hauben zur Öffnung seitlich verschieben lassen. Sowohl in /U 8/ als auch im Rahmen dieser Studie werden diese Container als 20'-Container bezeichnet. Gemäß Transportstudie /U 3/ darf das Gesamtgewicht (Eigengewicht und Zuladung) derartiger Transportcontainer auslegungsbedingt üblicherweise 24 Mg nicht überschreiten. Das Leergewicht eines 20'-Container beträgt ca. 2,3 Mg. Endlagerfähige Gebinde (Konrad-Container/beladene Tauschpalette/vier zylindrische Gebinde stehend) haben eine Masse von maximal 20 Mg und können in den Transportcontainern transportiert werden.

In dieser Studie gehen wir davon aus, dass im Mittel eine Transporteinheit (Konrad-Container, mit 1,5 zylindrischen Gebinden beladene Tauschpalette oder vier zylindrische Gebinde stehend) in den Transportcontainer eingestellt wird.



Abbildung 6 Abfalltransportcontainer (Typ IP-2) – 20'-Open-all-Container. Quelle: GRS-Transportstudie 2009 /U 3/, Abb. 6.5

Anforderungen/Ausführung Straßenfahrzeuge

Hinsichtlich der Abfallanlieferung auf der Straße werden typischerweise Lastkraftwagen oder Sattelzüge genutzt (siehe Abbildung 7). Das Gesamtgewicht eines entsprechenden LKW bzw. Sattelzuges ist gemäß den in Kapitel 6.2.2 der Transportstudie /U 3/ genannten Vorschriften des Straßenverkehrsrechts üblicherweise auf 40 Mg begrenzt. Die maximale Zuladung liegt in Abhängigkeit vom Leergewicht des LKW typischerweise in einer Größenordnung zwischen 25 bis 28 Mg. Dadurch beschränkt sich die Anzahl der Transporteinheiten im Allgemeinen auf höchstens 2 Transporteinheiten pro Straßentransport.

In dieser Studie gehen wir davon aus, dass im Mittel eine Transporteinheit (Konrad-Container oder beladene Tauschpalette) auf einem LKW transportiert wird.

Für den Straßentransport gilt gemäß Straßenverkehrs-Ordnung (StVO /R 6/) eine Höchstgeschwindigkeit von 60 km/h auf Bundesstraßen und 80 km/h auf Autobahnen. Auf sonstigen Strecken (z. B. innerorts) nehmen wir eine Geschwindigkeit von 30 km/h an.



Abbildung 7 Straßentransportfahrzeug für radioaktive Abfälle. Quelle: GRS-Transportstudie 2009 /U 3/, Abb. 6.8

Je nach zu fahrender Streckenlänge wird gegebenenfalls neben dem LKW-Fahrer auch Begleitpersonal mitfahren. Durch das Begleitpersonal ist ein Wechsel des Fahrers möglich, sodass unabhängig von den gesetzlichen Regelungen zur Arbeits- bzw. Fahrtzeit für die jeweilige Transportstrecke kein Wechsel des Transportpersonals unterstellt wird.

Anforderungen/Ausführung Schienenfahrzeuge

Gemäß den Ausführungen in Kapitel 6.2.1 der Transportstudie /U 3/ ist davon auszugehen, dass für den Transport der Gebinde auf dem Schienenweg fahrplanmäßig verkehrende Güterzüge eingesetzt werden, nachdem die Gebinde an eine Zugbildungsanlage (z. B. ein Rangierbahnhof) transportiert worden sind. Für die Beförderung von Frachtcontainern auf dem Schienenweg werden im Allgemeinen Containertragwagen eingesetzt, wie beispielsweise der Baureihe Sgjs (siehe Abbildung 8), welche vielfach für Abfalltransporte genutzt werden und eine Beladepazität von bis zu drei 20'-Frachtcontainern aufweisen, wobei die Traglast auf etwa 56 Mg begrenzt ist. Im Falle einer Verwendung von Spezialcontainern wie dem Open-all-Container, die über verschiebbare Seiten- und Oberteile verfügen, ist die Beladung derartiger Containertragwagen aus Handhabungsgründen jedoch auf maximal zwei Transportcontainer beschränkt. Grundsätzlich sind aber auch anderweitige Schienentransportmittel einsetzbar, soweit diese für die Abfallanlieferung geeignet sind und den gefahrtrechtlichen Transportvorschriften entsprechen. Auch die Betriebsprogrammstudie /U 13/ geht im Abschnitt 2 davon aus, dass der Transport auf dem Schienenweg mithilfe von mit 20'-Frachtcontainern beladenen Containertragwagen erfolgt.

Wir halten die Annahme von 2 Transporteinheiten je Containertragwagen im Hinblick auf einen möglichst wirtschaftlichen Transport für realistisch.

Hinsichtlich des Transports via Schiene wird in der Betriebsprogrammstudie für ein Bereitstellungslager /U 13/ im Abschnitt 2 davon ausgegangen, dass die Schienentransporte zu einem Bereitstellungslager im Regelgüterverkehr durchgeführt (Routinefall) werden. Dabei wird erläutert, dass die Beförderung im Regelgüterverkehr den Vorteil hat, dass die Transporte in festen Fahrplantrassen in dem jeweiligen Jahresfahrplan der DB Cargo AG eingebunden werden. Damit ist die Bereitstellung der benötigten Ressourcen (z. B. DB Mitarbeiter, Zugführungspersonal, Fahrplantrassen) gesichert und die Durchführung der Transporte wird gemäß der gewünschten Bestellung gewährleistet. Sonderzüge können nach vorheriger Anmeldung durchgeführt werden. Auf dieser Basis gehen wir in dieser Studie davon aus, dass die Eisenbahntransporte von den Zwischenlagern zum Bereitstellungslager und zum Übergabebahnhof Beddingen im Regelgüterverkehr durchgeführt werden.

Die zulässigen Höchstgeschwindigkeiten für den Güterverkehr sind in der Eisenbahn-Bau- und Betriebsordnung (EBO /R 7/) geregelt. Diese kann in Abhängigkeit von den Randbedingungen (technische Verhältnisse, Streckenverhältnisse u. a.) zwischen 50 km/h und 120 km/h liegen. Die durchschnittliche Geschwindigkeit liegt jedoch nach Angabe des Bundesministerium für Digitales und Verkehr (BMDV) /U 32/ zwischen 90-110 km/h. In dieser Studie gehen wir von einer durchschnittlichen Geschwindigkeit im Güterverkehr von 100 km/h aus.



Abbildung 8 Tragwagen für Großcontainer/Wechselbehälter der Baureihe Sgjs 712. Quelle: GRS-Transportstudie 2009 /U 3/, Abb. 6.7

2.4.3 Beschreibung der Transportunfallhäufigkeiten

Im Folgenden werden die zu erwartenden Transportunfallhäufigkeiten beim Schienentransport, Rangierbetrieb und Straßentransport beschrieben. Die Unfallhäufigkeiten basieren auf den detaillierten und komplexen Untersuchungen der Transportstudie /U 3/ zum Transportunfallrisiko in Kapitel 8 aus /U 3/. Abschließend erfolgt in diesem Kapitel eine Aussage zur Übertragbarkeit der Ergebnisse der Transportstudie /U 3/ zum Zwecke der Verwendung im Rahmen dieser Studie.

Datenbasis

Im Rahmen der Ermittlung der Transportunfälle unterschied die Transportstudie /U 3/ zwischen Unfällen während des Schienentransports, Unfällen während Rangiervorgängen von Schienentransportwagen und Unfällen während des Straßentransports. Hierzu wurden die folgenden Zeiträume betrachtet:

- Zur Ermittlung der Unfallhäufigkeiten im Güterzugverkehr wurden bundesweite Daten mit den Zeiträumen von 1979 bis 1988, 1998 bis 1995 sowie 1996 bis 2001 untersucht.

- Zur Ermittlung der Unfallhäufigkeiten während Rangiervorgängen wurden beim früheren Rangierbahnhof Braunschweig die Zeiträume von 1987 bis 1989 betrachtet. Gemäß der Transportstudie /U 3/ lag die Zahl der gemeldeten Rangierunfälle, bezogen auf die Zahl der rangierdienstlich behandelten Wagen, zum Zeitpunkt der Auswertung über dem Durchschnitt anderer großer Rangierbahnhöfe, was unter anderem auf die besondere Betriebsweise des Rangierbahnhofs Braunschweig als sogenannter Gefällebahnhof zurückzuführen ist.
- Zur Ermittlung der Unfallhäufigkeiten während des Straßentransports betrachtete die Transportstudie /U 3/ eine bundesweite Sonderauswertung der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) aus den Jahren 2000 und 2005. Gemäß Transportstudie /U 3/ kommen vorrangig außerörtliche Verkehrswege wie Bundesstraßen und Bundesautobahnen in Betracht. Im Rahmen der Ermittlung der Unfallhäufigkeiten wurden insbesondere Transporte auf Autobahnen untersucht.

Ermittelte Unfallhäufigkeiten beim Schienentransport gemäß Transportstudie /U 3/

Im Güterzugverkehr ist mit einer Gesamtunfallhäufigkeit von $0,36 \cdot 10^{-6}$ Zugunfällen pro Kilometer zu rechnen. Dabei ist zu berücksichtigen, dass ein Großteil der Unfälle und der Auswirkungen ausschließlich das Triebfahrzeug aufgrund seiner hohen Masse betreffen. Die Wahrscheinlichkeit, dass bei einem Unfall mindestens ein Eisenbahnwagen mit radioaktivem Abfall betroffen ist, beträgt laut Kapitel 8.5.1 der Transportstudie /U 3/ 0,033.

Die Wahrscheinlichkeit, dass es bei einem Unfall im Güterverkehr, bei dem mindestens ein Eisenbahnwagen mit radioaktivem Abfall betroffen ist, zu einer Freisetzung radioaktiver Stoffe kommt, beträgt laut Kapitel 8.5.1 der Transportstudie /U 3/ 0,83.

Ermittelte Unfallhäufigkeiten beim Rangierbetrieb

Für den Rangierbetrieb wurde in der Transportstudie /U 3/ eine Unfallhäufigkeit von 7,5 Unfallereignissen pro 1 Million rangierter Eisenbahnwagen ermittelt.

Die Wahrscheinlichkeit, dass es bei einem Unfall beim Rangierbetrieb zu einer Freisetzung radioaktiver Stoffe kommt, beträgt laut Transportstudie /U 3/ 0,55.

Ermittelte Unfallhäufigkeiten beim Straßentransport

Im Straßengüterverkehr ist laut Transportstudie /U 3/ mit einer Gesamtunfallhäufigkeit von $0,29 \cdot 10^{-6}$ LKW-Unfällen pro Kilometer zu rechnen.

Die Wahrscheinlichkeit, dass es bei einem Unfall im Straßengüterverkehr beim Transport von radioaktiven Abfällen zu einer Freisetzung radioaktiver Stoffe kommt, beträgt laut Kapitel 8.5.2 der Transportstudie /U 3/ 0,66.

Übertragbarkeit der Ergebnisse

Die Unfallhäufigkeiten zum Schienen- und Straßentransport wurden im Rahmen der Transportstudie /U 3/ bundesweit ermittelt und erst in einem weiteren Schritt auf den Standort Endlager Konrad (im Fokus der Transportunfallrisikoanalyse aus /U 3/) übertragen. Es ist somit anzunehmen, dass die in der Transportstudie /U 3/ ermittelten Unfallhäufigkeiten zum Schienen- und Straßentransport im Kontext dieser Studie auf die Transportwege vom Zwischenlager zum Endlager (Logistikkette A) sowie vom Zwischenlager über Bereitstellungs-lager zum Endlager (Logistikketten B und C) anwendbar sind. Auch die Wahrscheinlichkeit, dass bei einem Unfall mindestens ein Containertragwagen betroffen ist, kann im Kontext dieser Studie auf einen Transport via Sonderzug/Vollzug (ausschließlich Containertragwagen mit radioaktiven Abfällen) angewendet werden.

Die Unfallhäufigkeiten beim Rangierbetrieb wurden im Rahmen der Transportstudie /U 3/ auf Basis der Daten am Rangierbahnhof Braunschweig ermittelt. Gemäß Transportstudie /U 3/ lag die Anzahl der am Rangierbahnhof Braunschweig gemeldeten Rangierunfälle, bezogen auf die Zahl der rangierdienstlich behandelten Eisenbahnwagen, zum Zeitpunkt der Auswertung über dem Durchschnitt anderer großer Rangierbahnhöfe. Wir setzen die in der Transportstudie /U 3/ ermittelten Unfallhäufigkeiten beim Rangierbetrieb im Kontext dieser Studie als abdeckend an.

Zur Absicherung der Größenordnung der in der Transportstudie /U 3/ ermittelten Unfallhäufigkeiten haben wir eine Analyse zum Trend der Unfallhäufigkeiten zwischen den Jahren 2005 bis 2019 durchgeführt. Hierzu wurden die Schienenverkehrsunfälle auf Basis der Daten des Statistischen Bundesamtes /U 30/ erhoben, dabei insbesondere solche, welche aus Entgleisungen von Eisenbahnfahrzeugen, Zusammenstößen von Zügen, Aufprallen auf Gegenstände und sonstigen Unfällen resultieren. Die Ergebnisse in Abbildung 9 zeigen den Trend der jährlichen Unfallhäufigkeiten im Schienenverkehr. Es darf angenommen werden, dass dieser Trend auch auf solche Schienentransporte übertragbar ist, wie sie im Sinne dieser Studie zum Transport der radioaktiven Abfälle geplant sind.

Die Unfallhäufigkeiten von Güterkraftfahrzeugen im Straßenverkehr wurden auf Basis der Daten des Statistischen Bundesamtes /U 31/ erhoben. Güterkraftfahrzeuge enthalten auf Basis des Statistischen Bundesamtes /U 31/ LKW bis einschließlich 3,5 t sowie über 3,5 t, Sattelzugmaschinen, Zugmaschinen und übrige Güterkraftfahrzeuge. Die in Abbildung 9

dargestellten Ergebnisse zeigen den Trend der jährlichen Unfallhäufigkeiten im Straßengüterverkehr. Es darf angenommen werden, dass dieser Trend auch auf solche LKW-Transporte übertragbar ist, wie sie im Sinne dieser Studie zum Transport der radioaktiven Abfälle geplant sind.

Die Ergebnisse in Abbildung 9 zeigen im Mittel einen überwiegend fallenden Trendverlauf, sodass wir zu dem Ergebnis kommen, dass die im Rahmen der Transportstudie /U 3/ (Dezember 2009) ermittelten Unfallhäufigkeiten im Sinne dieser Studie (Juli 2022) geeignet sind, da sie für die zukünftige Situation abdeckend sind. Diese Annahme ist für alle drei Logistikketten konservativ.

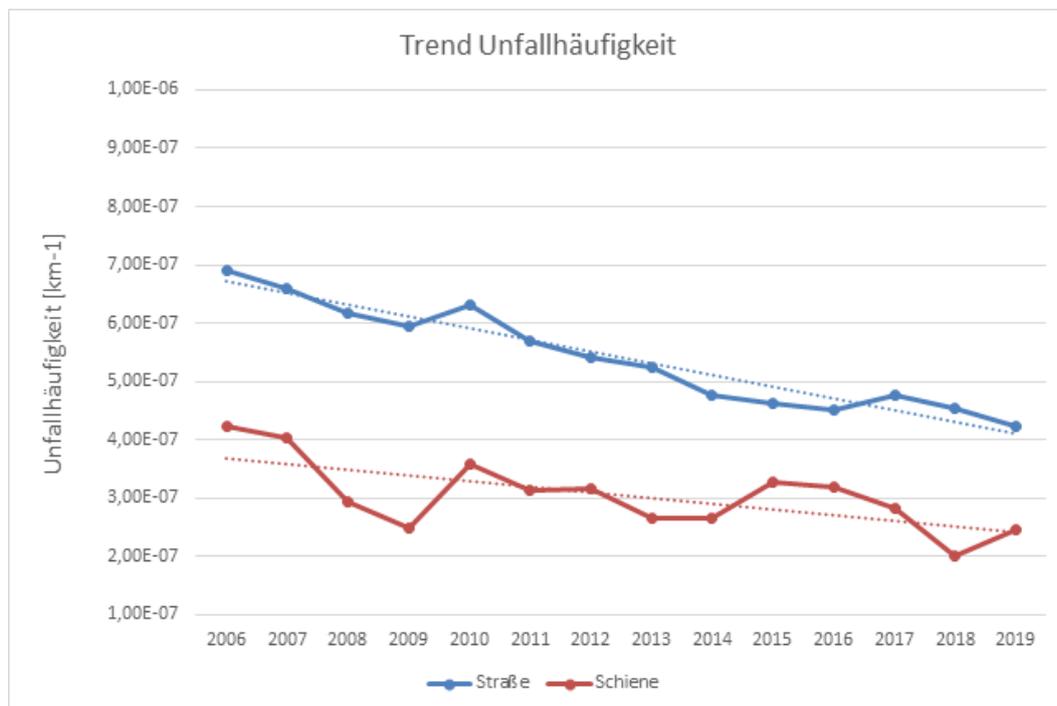


Abbildung 9 Trend der Unfallhäufigkeiten über die Jahre. Quelle: Destatis /U 30/, /U 31/

2.4.4 Prognose der zukünftigen Transportsituation

Aus heutiger Sicht können die in dieser Studie getroffenen Annahmen zur Logistik über den Zeitraum bis zur Schließung des Endlagers herangezogen werden. Dies betrifft die technischen Ausführungen, welche sowohl zur internen Logistik an den Standorten als auch zum Transport zwischen den Standorten herangezogen werden.

Auch die Transportmodalitäten (Transportzeit, Transportfrequenz, Kapazitäten, Logistik) und Transportszenarien können weitgehend als konstant bis zur Schließung des Endlagers betrachtet werden.

Die Transportunfallhäufigkeiten (siehe Abbildung 9) des Schienen- und Straßentransports zeigen einen fallenden Trendverlauf. Auf der Basis der technischen Entwicklung der Sicherheitssysteme im Schienen und Straßenverkehr sind unsere Annahmen daher als konservativ zu werten.

2.5 Beschreibung der Logistikketten A, B, und C

Im den folgenden Kapiteln werden die Logistikketten A, B und C einschließlich der zugehörigen Prozessschritte im Rahmen der Handhabung von Gebinden sowie die Transportvariante und -schritte dargestellt und beschrieben.

Auf Basis der identifizierten Prozess- und Transportschritte werden in Kapitel 2.5.6 mögliche Abweichungen von diesen identifiziert. Detaillierte Angaben zu Zeitdauern für die Handhabung und den Transport als auch die Beschreibung der Auswirkung der Abweichungen auf die Zielgrößen (Strecke, Zeit, Exposition) sind dem Anhang A.1 beigefügt.

Bei der Analyse der Logistikketten sind zusätzlich die Maßnahmen zu betrachten, die zur Erfüllung von Anforderungen an die Gebinde für die Endlagerung erforderlich sind, da der Nachweis, dass die entsprechenden Anforderungen erfüllt sind, für einen Teil der Gebinde nicht beliebig lange vor der Einlagerung erbracht werden kann, siehe auch Kapitel 2.1.3. Zu diesen sogenannten 1-2-3-Maßnahmen führen wir im Kapitel 2.5.5 dieser Studie weitere Betrachtungen durch.

2.5.1 Beschreibung der Logistikketten

Hinsichtlich der Transportlogistik von den Zwischenlagerstandorten zum Endlager Konrad sind gemäß der Leistungsbeschreibung des Auftraggeber /U 16/ drei verschiedene Varianten zu untersuchen und bilanzieren – die Logistikketten A, B und C.

Im Rahmen der Logistikkette A werden die Gebinde der Zwischenlagerstandorte direkt zum Endlager Konrad transportiert, während im Rahmen der Logistikkette C die Gebinde der Zwischenlagerstandorte zunächst in ein zentrales Bereitstellungslager transportiert werden, bevor sie von dort zum Endlager Konrad transportiert werden. Im Rahmen der Logistikkette B werden ausschließlich die Gebinde der Zwischenlager für Abfälle der Kernkraftwerke (EVU) vor dem Transport zum Endlager Konrad zu einem zentralen Bereitstellungslager transportiert, während die Gebinde der Zwischenlager für Abfälle der öffentlichen Hand direkt zum Endlager Konrad transportiert werden.

Die Logistikketten bestehen dabei aus verschiedenen Prozessschritten, die sich in Prozessschritte an den Handhabungsorten (Zwischenlager, Rangierbahnhof, Bereitstellungslager, Endlager) sowie Transportschritte (Straße, Schiene) klassifizieren und unterschiedlich kombinieren lassen.

2.5.2 Beschreibung von Stoffströmen im Rahmen der Logistikketten

Die Stoffströme geben eine Übersicht über die betrachteten Transportpfade. Sie bilden daher eine Basis für die Modellierung. Der Begriff des „Stoffstroms“ ist im kerntechnischen Regelwerk nicht definiert. Im Rahmen dieser Studie betrachten wir als Stoffstrom den Weg der für das Endlager Konrad bestimmten Gebinde vom abgebenden Standort oder dem Bereitstellungslager je nach Logistikkette entweder zum Bereitstellungslager oder zum Endlager Konrad.⁸

2.5.2.1 Logistikkette A

In der Logistikkette A werden die Abfälle direkt ans Endlager Konrad abgeliefert, daher entspricht die Anzahl der Stoffströme der Summe der anliefernden Standorte. Da im Rahmen dieser Studie 18 Lagerstandorte von Energieversorgungsunternehmen (EVU) sowie 3 Lagerstandorte öffentlicher Hand (ÖH) betrachtet werden, ergibt sich eine Gesamtzahl von 21 Stoffströmen (siehe Abbildung 10).

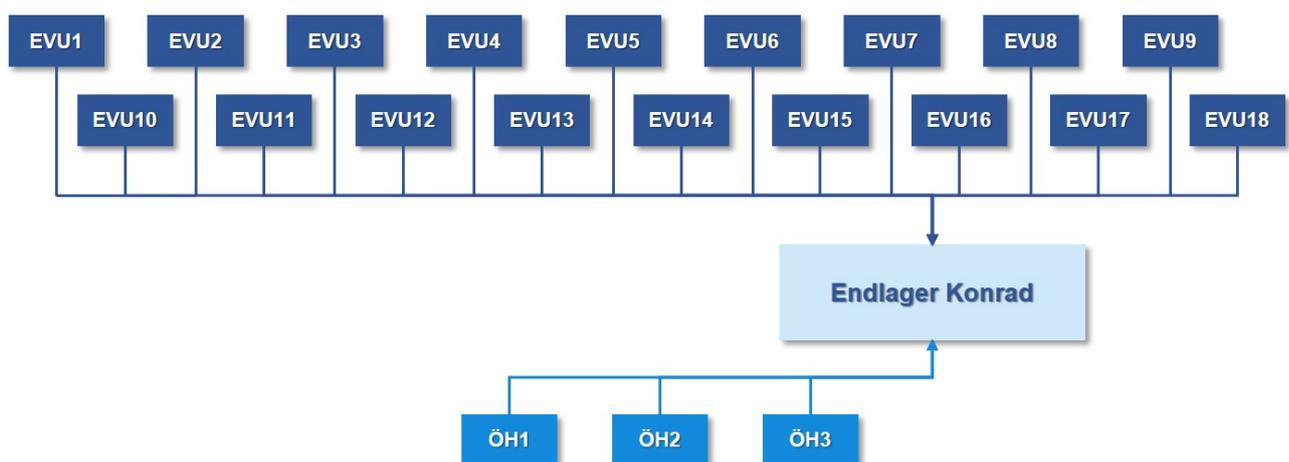


Abbildung 10 Stoffströme der Logistikkette A. Zu Gunsten einer besseren Übersichtlichkeit wurden die anliefernden Standorte der Energieversorgungsunternehmen (EVU) und öffentlichen Hand (ÖH) nur durchnummeriert und nicht explizit benannt. Quelle: Eigene Darstellung

⁸ Wir weisen darauf hin, dass sich die Definition eines Stoffstroms in anderen Zusammenhängen von der hier getroffenen Definition unterscheiden kann.

2.5.2.2 Logistikkette B

In der Logistikkette B werden die Abfälle der EVU zunächst an ein Bereitstellungslager geliefert und die Abfälle der öffentlichen Hand direkt zum Endlager Konrad geliefert. Daraus ergibt sich die Anzahl der Summe der Stoffströme aus den 18 Stoffströmen der EVU zum Bereitstellungslager, dem Stoffstrom vom Bereitstellungslager zum Endlager Konrad sowie den Stoffströmen aus den drei Einrichtungen der öffentlichen Hand zum Endlager Konrad. Sie beträgt somit 22 (siehe Abbildung 11).

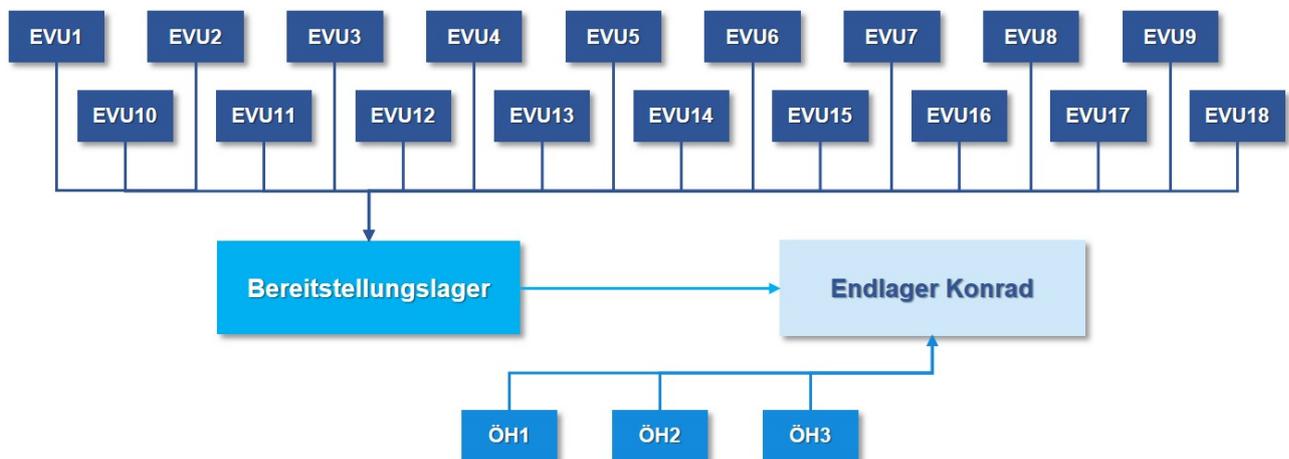


Abbildung 11 Stoffströme der Logistikkette B. Zu Gunsten einer besseren Übersichtlichkeit wurden die anliefernden Standorte der Energieversorgungsunternehmen (EVU) und öffentlichen Hand (ÖH) nur durchnummeriert und nicht explizit benannt. Quelle: Eigene Darstellung

2.5.2.3 Logistikkette C

In der Logistikkette C, in der alle Abfälle zunächst an ein Bereitstellungslager geliefert werden, ergibt sich die Gesamtzahl der Stoffströme von 22 aus den Stoffströmen der insgesamt 21 abgebende Standorte zum Bereitstellungslager und dem Stoffstrom vom Bereitstellungslager zum Endlager Konrad (siehe Abbildung 12).

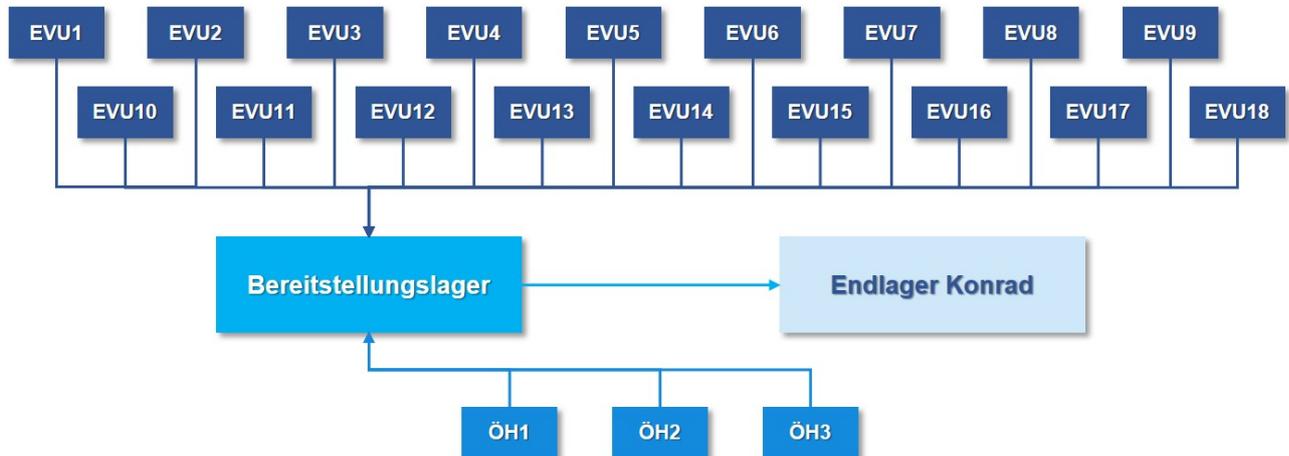


Abbildung 12 Stoffströme der Logistikkette C. Zu Gunsten einer besseren Übersichtlichkeit wurden die anliefernden Standorte der Energieversorgungsunternehmen (EVU) und öffentlichen Hand (ÖH) nur durchnummeriert und nicht explizit benannt. Quelle: Eigene Darstellung

Die Stoffströme sind in Anzahl und Umfang dabei unabhängig vom Standort des etwaigen Bereitstellungslagers.

2.5.3 Prozessschritte an den Handhabungsorten

Innerhalb der einzelnen Logistikketten sind Handhabungsvorgänge mit den Gebinden erforderlich. Die während Handhabungsvorgänge durchzuführenden Prozessschritte sind abhängig vom Handhabungsort und von der Logistikkette. Dieses Kapitel dient der Erfassung der Handhabungsvorgänge und der damit verbundenen Prozessschritte, um die unterschiedlichen Logistikketten zu bilanzieren und miteinander vergleichen zu können.

2.5.3.1 Erläuterungen zu den Darstellungen

An den jeweiligen Handhabungsorten, für die in den nachfolgenden Kapiteln die einzelnen Prozessschritte beschrieben werden, finden mehrere ortsspezifische/innerbetriebliche Transportvorgänge statt. Zur besseren Übersicht haben wir diese Transportvorgänge in einem Prozessschritt „Transport“ zusammengefasst.

Im Rahmen des Prozessschrittes „Transport“ finden die Vorgänge

- Anheben
- horizontaler Transport des Gebindes
- Absenken

- Ausrichten des Gebindes (Kippen oder Aufstellen) – das Kippen eines zylindrischen Gebindes ist erforderlich, um es zur Lieferung zum Endlager auf eine Tauschpalette zu verladen.
- Öffnen und Schließen von Toren
statt.

Nach unserem Kenntnisstand gibt es derzeit an den Zwischenlagern keine Wendevorrichtungen, mit denen das Kippen und Ablegen von zylindrischen Gebinden auf den Tauschpaletten durchgeführt werden können. Nach unseren Erfahrungen, die wir im Rahmen von Prüftätigkeiten zur Auslegung, Herstellung und Abnahmeprüfung von Hebezeugen und Handhabungseinrichtungen in verschiedenen kerntechnischen Projekten erworben haben, bewerten wir es als technisch umsetzbar, derartige Wendevorrichtungen zu fertigen und in den Zwischenlagern zum Einsatz zu bringen.

Im Rahmen der nachfolgend dargestellten Prozessschritte verwenden wir die Begriffe „Gebinde“ und „Transporteinheit“. Ein Gebinde ist hierbei ein Konrad-Container oder ein zylindrischer Behälter einschließlich des darin enthaltenen radioaktiven Abfalls, während eine Transporteinheit die Anzahl an Gebinden bezeichnet, die in einem Transportcontainer transportiert wird. Dabei sind drei Varianten zu betrachten:

- Transport eines Konrad-Containers
- Liegender Transport von bis zu zwei zylindrischen Gebinden auf einer Tauschpalette. Für den direkten Transport von zylindrischen Gebinden zum Endlager ist das oben erwähnte Ausrichten notwendig, da zylindrische Gebinde aufrechtstehend zwischengelagert und zum Endlager Konrad waagrecht liegend auf Tauschpaletten transportiert werden. Beim liegenden Transport auf Tauschpaletten gehen wir im Mittel von 1,5 zylindrischen Gebinden pro Tauschpalette aus.
- Stehender Transport von zylindrischen Gebinden vom Zwischenlager zum Bereitstellungslager, entsprechend der üblichen Transportweise von zylindrischen Behältern. Eine Transporteinheit umfasst in diesem Falle nach unserer Einschätzung im Mittel vier stehend transportierte zylindrische Gebinde.

Einzelne Schritte können bei der Handhabung eines Transportcontainers mehrfach erfolgen, wie z. B. die Beladung mit mehreren zylindrischen Gebinden.

2.5.3.2 Zwischenlager

Am Zwischenlager finden die nachfolgend aufgeführten Prozessschritte statt. Die Erstellung der Auflistung für die Prozessschritte am Standort eines Zwischenlagers fand dabei maßgeblich auf der Grundlage unserer Kenntnisse der Betriebsabläufe entsprechender Lager aus den atom- bzw. strahlenschutzrechtlichen Genehmigungs- und Aufsichtsverfahren statt:

0. Abruf eines Gebindes
1. Bereitstellen des Personals
2. Bereitstellen der Handhabungseinrichtungen
3. Freistellen eines Gebindes
4. Anslagen des Gebindes
5. Transport des Gebindes vom Lagerplatz zum Messplatz
6. Abschlagen des Gebindes
7. Ausgangsmessung Gebinde
8. Anslagen des Gebindes
9. Transport des Gebindes vom Messplatz in den auf dem Transportfahrzeug befindlichen Transportcontainer (zylindrisches Gebinde: bei direkter Anlieferung an das Endlager zuzüglich Kippen und Ablegen auf Tauschpalette)⁹
10. Abschlagen des Gebindes einschließlich Ladungssicherung und Schließen des Transportcontainers
11. Radiologische Ausgangsmessungen Transportfahrzeug und Ladung
12. Transport des beladenen Transportcontainers mit dem Transportfahrzeug zum Werktor
13. Sicht- und Unterlagenkontrolle am Werktor

2.5.3.3 Rangierbahnhof

An einem Rangierbahnhof finden im Rahmen der Handhabung von Gebinden entsprechend unserer Einschätzung die nachfolgend aufgeführten Prozessschritte statt:

1. Bereitstellen des Personals

⁹ Da das Kippen und Ablegen zylindrischer Gebinde entweder im Zwischenlager oder im Bereitstellungslager gleichartig durchgeführt werden muss, wird bei dieser vergleichenden Studie von deren weiterer Berücksichtigung abgesehen.

2. Begleitpapiere prüfen
3. Eisenbahnwagen/Wagenverband mit dem Gebinde vom anliefernden Zug abkoppeln
4. Eisenbahnwagen/Wagenverband mit dem Gebinde auf dem Rangierbahnhof verschieben
5. Eisenbahnwagen/Wagenverband mit dem Gebinde an den weiterführenden Zug an-koppeln

2.5.3.4 Bereitstellungslager

Am zentralen Bereitstellungslager finden die nachfolgend aufgeführten Prozessschritte statt. Die Erstellung der Auflistung für die Prozessschritte am Standort eines zentralen Bereitstellungslagers fand dabei maßgeblich auf der Grundlage der technischen Konzeptbeschreibung /U 8/ statt. Den in der technischen Konzeptbeschreibung /U 8/ darüber hinaus beschriebenen Prozess der Anlieferung von leeren Transportcontainern zum Bereitstellungs-lager haben wir nachfolgend nicht berücksichtigt, da dieser unabhängig von der An- oder Ablieferung von Gebinden erfolgt. Wir haben jedoch die relevanten Prozessschritte zur Ablieferung sowie das Fehlen von leeren Transportcontainern im Rahmen unserer Betrachtung möglicher Abweichungen für den Abtransport von Gebinden aus dem Bereitstellungs-lager berücksichtigt. Die laut der technischen Konzeptbeschreibung optionale zweite radio-logische Eingangsmessung haben wir bei der Modellierung und Bilanzierung der Prozess-schritte vollständig mitberücksichtigt, da der Unterlage nicht zu entnehmen ist, nach welchen Kriterien eine zweite Eingangsmessung erfolgen soll. Eine zweite radiologische Eingangsmessung führt zu längeren Handhabungszeiten/Arbeitszeiten und einer höheren Exposition für das Personal.

Anlieferung

Die Prozessschritte für die Anlieferung von Gebinden am Bereitstellungslager sind die folgenden:

1. Bereitstellen des Personals
2. Bereitstellen der Handhabungseinrichtungen
3. Sicht- und Unterlagenkontrolle vor dem Werktor
4. Transport der Transportcontainer auf dem anliefernden Fahrzeug vor den Verladebereich 1/Halle 5
5. Öffnen des Transportcontainers

6. Radiologische Eingangsmessung
7. Anschlagen des Gebindes
8. Transport des Gebindes mithilfe des Portalkrans auf die Förderanlage des Verladebereichs 1
9. Abschlagen des Gebindes

Optionale Schritte 10 bis 17 zur Durchführung einer zusätzlichen Eingangsmessung

10. Transport des Gebindes mithilfe der Förderanlage in den Verladebereich 1
11. Anschlagen des Gebindes
12. Transport des Gebindes mithilfe des Krans der Halle 5 zur Messstation in Halle 5
13. Abschlagen des Gebindes
14. Weitere radiologische Eingangsmessungen
15. Anschlagen des Gebindes
16. Transport des Gebindes mithilfe des Krans der Halle 5 zur Förderanlage des Verladebereichs 1
17. Abschlagen des Gebindes

Ende der optionalen Schritte zur Durchführung einer zusätzlichen Eingangsmessung

18. Transport des Gebindes mithilfe der Förderanlage des Verladebereichs 1 bis zum Abschirmtor einer der Hallen 2-4
19. Anschlagen des Gebindes
20. Transport des Gebindes mithilfe des Krans einer der Hallen 2-4 zum Stellplatz
21. Abschlagen des Gebindes

Auslieferung/Ablieferung

Die Prozessschritte für die Ablieferung von Gebinden zum Endlager sind die folgenden:

22. Bereitstellen des Personals
23. Bereitstellen der Handhabungseinrichtungen
24. Anschlagen eines leeren Transportcontainers

25. Transport des leeren Transportcontainers von der Pufferfläche in Halle 1 oder der Wetterschutzhalle mithilfe des Krans der Halle 1 oder der Förderanlage der Wetterschutzhalle zur Messstation in Halle 1
26. Abschlagen des leeren Transportcontainers
27. Öffnen des leeren Transportcontainers
28. Anschlagen des Gebindes
29. Transport des Gebindes von seinem Stellplatz in einer der Hallen 2-4 mithilfe des Krans einer der Hallen 2-4 in den Verladebereich 2
30. Abschlagen des Gebindes
31. Transport des Gebindes mithilfe der Förderanlage des Verladebereichs 2 in Halle 1
32. Anschlagen des Gebindes
33. Transport des Gebindes mithilfe des Krans der Halle 1 in den leeren Transportcontainer
34. Abschlagen des Gebindes
35. Radiologische Kontrolle des Gebindes und des Transportcontainers
36. Anschlagen des beladenen Transportcontainers
37. Transport des beladenen Transportcontainers mithilfe des Krans in Halle 1 zur Bereitstellfläche
38. Abschlagen des beladenen Transportcontainers
39. Anschlagen des beladenen Transportcontainers
40. Transport des beladenen Transportcontainers mithilfe des Krans in Halle 1 auf die Förderanlage des Verladebereichs 2
41. Abschlagen des beladenen Transportcontainers
42. Transport des beladenen Transportcontainers mithilfe der Förderanlage des Verladebereichs 2 in den Außenbereich für den Abtransport
43. Anschlagen des beladenen Transportcontainers
44. Transport des beladenen Transportcontainers mithilfe des Portalkrans auf den Containertragwagen
45. Abschlagen des beladenen Transportcontainers
46. Radiologische Ausgangsmessungen Transportfahrzeug und Ladung

47. Transport des beladenen Transportcontainers mithilfe des abliefernden Fahrzeugs zum Werktor
48. Sicht- und Unterlagenkontrolle am Werktor

2.5.3.5 Endlager

Bei der Betrachtung der Zielgrößen Strecke, Zeit und Exposition sind bezüglich der Abläufe am Endlager keine relevanten Unterschiede zwischen den Logistikketten A, B und C zu erwarten. Da im Rahmen dieser Studie die Bilanzierung der o. g. Zielgrößen die Unterschiede zwischen den verschiedenen Varianten verdeutlichen soll, endet die Prozessschrittanalyse deshalb am Werktor des Endlagers Konrad.

2.5.4 Transportvarianten

Innerhalb der einzelnen Logistikketten sind einzelne Transportschritte erforderlich, die sich zu unterschiedlichen Transportvarianten zusammensetzen. So können je nach Logistikkette und Bedingung an den Zwischenlagern unterschiedliche Transportmittel zum Einsatz kommen. Dieses Kapitel gibt einen Überblick über die im Rahmen dieser Studie zum Tragen kommenden Transportvarianten und ihre Zuordnung zu den Logistikketten. Es stellt des Weiteren dar, aus welchen Transportschritten sich eine Transportvariante zusammensetzt.

2.5.4.1 Überblick

Hinsichtlich des Transportes von den Zwischenlagerstandorten zum Endlager kommen im Rahmen dieser Studie die in Abbildung 13 dargestellten Varianten zum Tragen. Wie oft welche Variante zur Anwendung kommt, ergibt sich aus den Verkehrsanbindungen der Zwischenlager (siehe Kapitel 2.2.4) und den im Rahmen dieser Studie getroffenen Annahmen, die in Kapitel 3.2 dargestellt werden.

Bilanzierungsstudie

August 2022

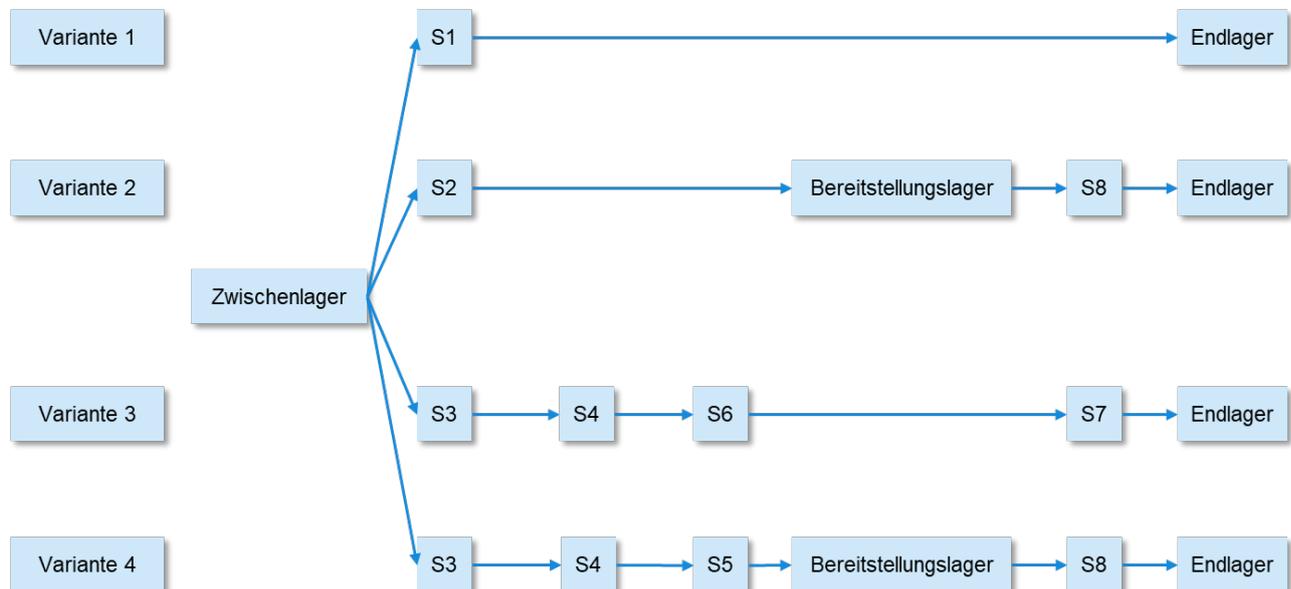


Abbildung 13 Im Rahmen dieser Studie untersuchte Transportvarianten. Quelle: Eigene Darstellung

Die in Abbildung 13 dargestellten Schritte (S) stehen für die möglichen Transportschritte eines Gebindes von einem Zwischenlager zum Endlager (Logistikketten A, B und C). Hinsichtlich des Schienentransports gehen wir davon aus, dass dieser im Mittel über zwei Rangierbahnhöfe läuft. Der Übergabebahnhof Beddingen ist in dieser Betrachtung nicht enthalten, diesen weisen wir stets explizit aus:

- S1: Transport vom Zwischenlager zum Endlager per LKW
- S2: Transport vom Zwischenlager zum Bereitstellungslager per LKW
- S3: Transport vom Zwischenlager zu einem Rangierbahnhof per Bahn
- S4: Transport von einem Rangierbahnhof zu einem Rangierbahnhof per Bahn
- S5: Transport von einem Rangierbahnhof zum Bereitstellungslager per Bahn
- S6: Transport von einem Rangierbahnhof zum Übergabebahnhof Beddingen per Bahn
- S7: Transport vom Übergabebahnhof Beddingen zum Endlager per Bahn
- S8: Transport vom Bereitstellungslager zum Endlager per Bahn

Den Zeitbedarf, die beteiligten Personen, die radiologische Relevanz für die beteiligten Personen und die allgemeine Bevölkerung und bei Bedarf den minimalen Abstand zu den Gebinden sowie potenzielle Abweichungen bei den einzelnen Schritten werden zur besseren Übersichtlichkeit im Anhang A.1 dargestellt.

2.5.4.2 Transportschritte ohne Bereitstellungslager

Für den Transport bei Logistikkette A, Transport ohne Bereitstellungslager, sind die Varianten 1 und 3 anwendbar.

Bei Variante 1 werden die Gebinde vom Zwischenlager per LKW direkt zum Endlager Konrad transportiert. Mit dieser Variante werden die Zwischenlager betrachtet, welche über keine Schienenanbindung verfügen.

Bei Variante 3 werden die Gebinde vom Zwischenlager per Bahn zu einem Rangierbahnhof und anschließend von dort aus per Bahn über einen weiteren Rangierbahnhof bis zum Übergabebahnhof Beddingen transportiert an welchem die Transportwagen zu längeren Wagenverbänden mit ausschließlich Gebinden zusammengeführt werden. Anschließend werden die Gebinde per Bahn vom Übergabebahnhof Beddingen zum Endlager Konrad transportiert.

2.5.4.3 Transportschritte mit Bereitstellungslager

Für den Transport bei Logistikkette C, bei der der Transport aller Abfälle über ein Bereitstellungslager erfolgt, sind die Varianten 2 und 4 anwendbar. Da die Logistikkette B eine Mischung aus A und C darstellt, wird die Logistikkette B abschließend erläutert.

Bei Variante 2 werden die Gebinde vom Zwischenlager per LKW zum Bereitstellungslager transportiert. Anschließend werden die Gebinde per Bahn vom Bereitstellungslager zum Endlager Konrad transportiert.

Bei Variante 4 werden die Gebinde vom Zwischenlager per Bahn zu einem Rangierbahnhof und anschließend von dort aus per Bahn über einen weiteren Rangierbahnhof bis zum Bereitstellungslager transportiert. Anschließend werden die Gebinde per Bahn vom Bereitstellungslager zum Endlager Konrad transportiert.

Bei Logistikkette B sind prinzipiell alle Varianten anwendbar, jedoch beschränkt sich der Transport von Gebinden der Zwischenlager für Abfälle der EVU auf die Varianten 2 und 4, während für die Gebinde der Zwischenlager für Abfälle der öffentlichen Hand der Transport mithilfe der Varianten 1 und 3 möglich ist.

2.5.5 Betrachtungen zu den 1-2-3-Maßnahmen

Wie einleitend bereits im Kapitel 2.5 beschrieben, sind zusätzlich die Maßnahmen zu betrachten, die zur Erfüllung von Anforderungen an die Gebinde für die Endlagerung erforderlich sind, die wie in § 2 (5) Entsorgungsübergangsgesetz /U 4/ dargestellt, „erst zum Zeitpunkt der Anlieferung an das Endlager Konrad erfüllt werden können; dies betrifft die Herstellung der Drucklosigkeit, die Entfernung freier Flüssigkeit und die Prüfung der Funktionstüchtigkeit der Behälterdichtung“, die sogenannten 1-2-3-Maßnahmen, die wir im Kapitel 2.1.3 genauer beschreiben. Der „Zeitpunkt der Anlieferung“ ist im Entsorgungsübergangsgesetz nicht näher eingegrenzt.

Die Notwendigkeit für diese Maßnahmen ergibt sich bei einem Teil der Gebinde, abhängig von der Art der enthaltenen Abfälle und der Art der Behälter sowie der Länge der Zwischenlagerungszeit. Die Notwendigkeit für die Maßnahmen ist unabhängig davon, ob ein zentrales Bereitstellungslager existiert oder nicht. Die Maßnahmen und Möglichkeiten für ihre Durchführung werden detailliert im Anhang IV des öffentlich-rechtlichen Vertrags zwischen der Bundesrepublik Deutschland und den Kernkraftwerksbetreibern /R 8/ dargestellt, der zur Umsetzung des Entsorgungsübergangsgesetzes abgeschlossen wurde. In Anlage IV von /R 8/ werden mobile Einrichtungen beschrieben, mit denen diese Maßnahmen durchgeführt werden können. Demnach könne „gewährleistet werden, dass auch nach einer längeren Bereitstellungslagerung eine Abgabe der Gebinde an das Endlager Konrad unter vollständiger Einhaltung der Endlagerungsbedingungen möglich ist.“ Die Verfügbarkeit eines zentralen Bereitstellungslagers wird dabei nicht vorausgesetzt. „Bereitstellungslagerung“ bezeichnet in dem Vertrag /R 8/ mit seinen Anlagen die Zwischenlagerung in Einrichtungen des Bundes nach Übergabe der radioaktiven Abfälle durch die Betreiber.

Vor diesem Hintergrund gehen wir in dieser Studie davon aus, dass die 1-2-3-Maßnahmen an den einzelnen Zwischenlagerstandorten durchgeführt werden können, wie in Anlage IV von /R 8/ beschrieben.

Wenn die Maßnahmen an Zwischenlagerstandorten nicht durchgeführt werden sollen oder können (weil z. B. räumliche und technische Voraussetzungen nicht gegeben sind oder nicht ohne Weiteres hergestellt werden können) und in Folge dessen die Maßnahmen an anderen Orten durchgeführt werden müssten, kann daraus bei einem entsprechend hohen Anteil von Gebinden, an denen die 1-2-3-Maßnahmen erforderlich sind, ein relevanter Einfluss auf die Zielgrößen entstehen.

Im Zuge der Diskussionen um ein zentrales Bereitstellungslager wurde die Frage der 1-2-3-Maßnahmen als eine Begründung für ein solches Bereitstellungslager aufgegriffen. So nennt die ESK in ihrer Stellungnahme von 2018 /U 6/ die 1-2-3-Maßnahmen als einen

Grund für die Notwendigkeit für ein zentrales Bereitstellungslager. In diesem würden geeignete technische Einrichtungen mit Lüftungs-/Filteranlagen und Strahlenschutzmesseinrichtungen benötigt. Entsprechend der Konzeptplanung werden von der BGZ im zentralen Bereitstellungslager entsprechende Einrichtungen vorgesehen (siehe /U 8/, Abschnitt 4.2).

Zum Anteil der Gebinde, an denen die 1-2-3-Maßnahmen erforderlich werden, sind nach unserer Kenntnis bislang keine Angaben veröffentlicht worden. In der ESK-Stellungnahme von 2018 /U 6/ wird der Begriff „einige Gebinde“ verwendet. In der Anlage IV des Vertrages /R 8/ steht diesbezüglich: „Bei einem Teil der Gebinde kann nicht per se angenommen werden, dass die Anforderungen auch nach längerer Zwischenlagerzeit erfüllt werden.“

Zur Einschätzung, an welchem Anteil der Gebinde die 1-2-3-Maßnahmen durchgeführt werden müssen und ob aus den mit den 1-2-3-Maßnahmen verbundenen Handhabungen und Transporten ein relevanter Einfluss auf die Zielgrößen entstehen könnte, haben wir die uns vorliegenden Informationen zu den radioaktiven Abfällen und die Erfahrungen aus der Sachverständigentätigkeit ausgewertet. Dabei haben wir berücksichtigt, dass für das Entfernen freier Flüssigkeiten vorwiegend Abfälle aus Ionenaustauscherharzen in Frage kommen, deren Anteil an Gebinden jedoch mit dem fortschreitenden Abbau der Kernkraftwerke weniger wird. Demgegenüber werden vermehrt aktivierte Teile der Reaktoren verpackt. Damit wächst der Anteil an Gebinden, die dichtheitsgeprüft sind und somit für die Maßnahmen Herstellung der Drucklosigkeit und Prüfung der Funktionstüchtigkeit der Behälterdichtung in Frage kommen.

Auf Basis dieser Betrachtungen schätzen wir ab, dass insbesondere bei Gebinden aus Betrieb und Abbau der Kernkraftwerke die 1-2-3-Maßnahmen an mehreren Prozent der Gebinde erforderlich sein werden. Bei Gebinden aus der öffentlichen Hand wird der Anteil geringer sein.

In Hinblick auf eine weitergehende Betrachtung dieser Fragestellung halten wir es daher für wichtig, das Thema der 1-2-3-Maßnahmen auch unter dem Logistikaspekt zu betrachten. Die für eine belastbare Analyse notwendigen Betrachtungen und Datenerhebungen übersteigen den Rahmen dieser Studie und sollten bei Bedarf in einem nächsten Schritt vorgenommen werden.

2.5.6 Abweichungen/Störungen

Hinsichtlich der potenziellen Abweichungen und der daraus resultierenden Auswirkungen (auf Strecke, Handhabungs- und Transportzeit, Exposition der Bevölkerung und des beteiligten Personals) haben wir die in Kapitel 2.5.3 und 2.5.4 beschriebenen Prozess- und

Transportschritte untersucht. Mögliche Auswirkungen haben wir im Folgenden kurz zusammengefasst.

Detaillierte Informationen zu den Abweichungen, zur Häufigkeit der Abweichungen, zur Zuordnung der Abweichungen zu den Handhabungsorten oder Transportszenarien und die Beschreibung der Auswirkung der Abweichungen auf die Zielgrößen (Strecke, Zeit, Exposition) werden zur besseren Übersichtlichkeit im Anhang A.1 dargestellt.

Strecke

Die Auswirkungen auf die Zielgröße Strecke lassen sich im Wesentlichen zu dem folgenden Punkt zusammenfassen:

- Während eines Transports werden Sperrungen, Staus oder Baustellen umfahren

Zeit

Die Auswirkungen auf die Zielgröße Zeit lassen sich im Wesentlichen zu den folgenden Punkten zusammenfassen:

- Verzögerungen bei der Bereitstellung von Personal oder Handhabungseinrichtungen
- Verzögerungen bei der Bereitstellung oder Handhabung von Transportcontainern
- Verzögerungen beim Freistellen oder Umlagern eines Gebindes während des Auslagerns
- Verzögerungen infolge von Handhabungsschäden am Gebinde (z. B. Lackschaden)
- Verzögerungen beim Transport – z. B. Fahrzeugschäden, Umfahren von Sperrungen, Staus oder Baustellen
- Verzögerungen infolge von Transportschäden (Personenschaden/Gebindeschaden ohne und mit Freisetzung)

Sollte es erforderlich sein, ein für einen Transport nach § 4 AtEV gemeldetes Gebinde zu ersetzen (z. B. in Folge Gebindeschaden beim Verladen) oder das Transportmittel zu wechseln (Ausfall der Bahn und Wechsel zu LKW-Transport), so ist zu beachten, dass nach § 4 (2) AtEV eine neue Mitteilung des Transports an die zuständige Behörde mit einer Frist von mindestens fünf Arbeitstagen vor Beginn der Beförderung an die zuständige Behörde zu erfolgen hat. Aus den Erfahrungen unserer Sachverständigentätigkeit gehen wir für die Erstellung und den Versand der erforderlichen Dokumente von mind. 10 Werktagen aus. In Kapitel 3.2.3.4.3 leiten wir ab, dass Transporte, welche nicht oder nur teilweise am Endlager ankommen, durch die in der Pufferhalle am Endlager vorhandenen Gebinde ersetzt werden

können. Im Rahmen dieser Studie haben wir daher Abweichung und Verzögerungen, welche Folge einer neu zu erstellenden Transportmeldung sind, vernachlässigt und nicht modelliert.

Exposition Bevölkerung

Die Auswirkungen auf die Zielgröße Exposition (Bevölkerung) lassen sich im Wesentlichen zu den folgenden Punkten zusammenfassen:

- Verzögerungen beim Transport führen zu einer erhöhten Exposition
- Transportschäden mit Freisetzung führen zu einer erhöhten Exposition

Exposition beruflich exponiertes Personal

Die Auswirkungen auf die Zielgröße Exposition (beruflich exponiertes Personal) lassen sich im Wesentlichen zu den folgenden Punkten zusammenfassen:

- Verzögerungen beim Transport führen zu einer erhöhten Exposition
- Verzögerungen und Maßnahmen infolge von Transportschäden führen zu einer erhöhten Exposition (Gebindeschaden ohne und mit Freisetzung)
- Verzögerungen und Maßnahmen infolge von Handhabungsschäden führen zu einer erhöhten Exposition (Gebindeschaden ohne und mit Freisetzung)
- Bei der Messung festgestellte Grenzwertüberschreitungen (Kontamination, Dosisleistung) erfordern Maßnahmen, welche zu einer erhöhten Exposition führen

3 Modellierung und Berechnungswerkzeug

In diesem Kapitel werden die Modellparameter, die zur Beschreibung und für einen Vergleich der Logistikketten erforderlich sind, beschrieben und ermittelt. Der Vergleich der Logistikketten erfolgt dabei über die Zielgrößen „Strecke“, „Zeit“ und „Exposition“. Ferner wird ein Überblick über das entwickelte Berechnungswerkzeug gegeben.

3.1 Ableitung und Beschreibung der relevanten Parameter für die Logistikketten zur Ermittlung der Zielgrößen

Im Folgenden werden die Parameter beschrieben, welche zur Ermittlung der Zielgrößen „Strecke“, „Zeit“ und „Exposition“ benötigt werden. Wie in Kapitel 2.5.3.5 ausgeführt, wird das Endlager Konrad für die Beschreibung der Zielgrößen nicht betrachtet, da bei der Betrachtung der Zielgrößen Strecke, Zeit und Exposition aus den Prozessen am Endlager keine Unterschiede zwischen den Logistikketten A, B und C zu erwarten sind. Gemäß Kapitel 2.5.3.5 endet die Prozessschrittanalyse am Werktor des Endlagers Konrad.

Die Parameter der jeweiligen Zielgrößen werden in den folgenden Kapiteln 3.1.1 bis 3.1.3 zu den Zielgrößen „Strecke“, „Zeit“ und „Exposition“ beschrieben. Auf das übergeordnete Abrufregime wird in Kapitel 3.2.1 eingegangen. Eine Parameterübersicht ist in Abbildung 14 gegeben.

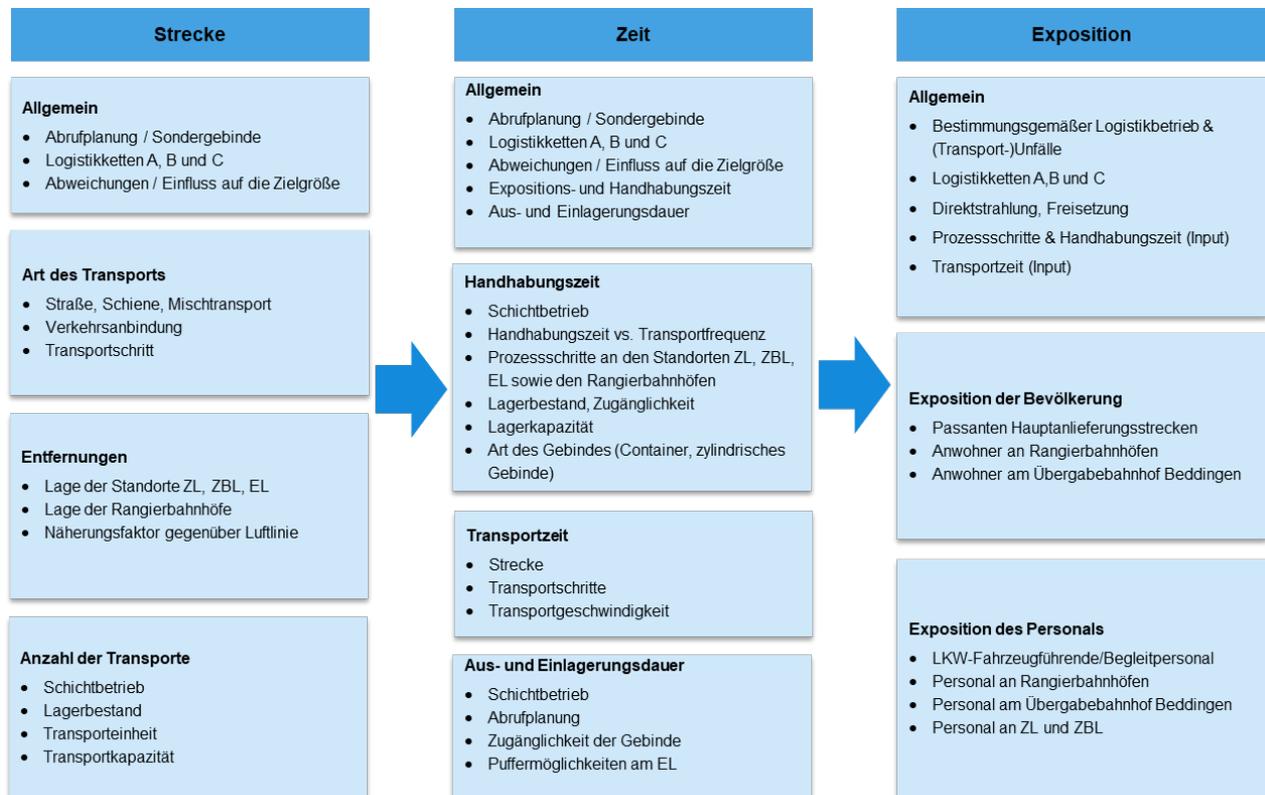


Abbildung 14 Zielgrößen und ihre zugehörigen Parameter. Quelle: Eigene Darstellung

3.1.1 Zielgröße „Strecke“

Als Zielgröße „Strecke“ definieren wir die Summe der mit Zügen (Wagenverband) und LKW gefahrenen Wegstrecken.

Die Zielgröße „Strecke“ ist wie in Abbildung 15 dargestellt abhängig von

- der Art des Transports (Straße oder Schiene),
- den jeweiligen Transportentfernungen (z. B. von den Zwischenlagern zum Bereitstellungslager),
- der Anzahl der jeweiligen Transporte und
- dem Einfluss von Abweichungen auf die Zielgröße „Strecke“ (z. B. zusätzliche Wege/Transportentfernungen zum Umfahren von Sperrungen, Staus oder Baustellen).

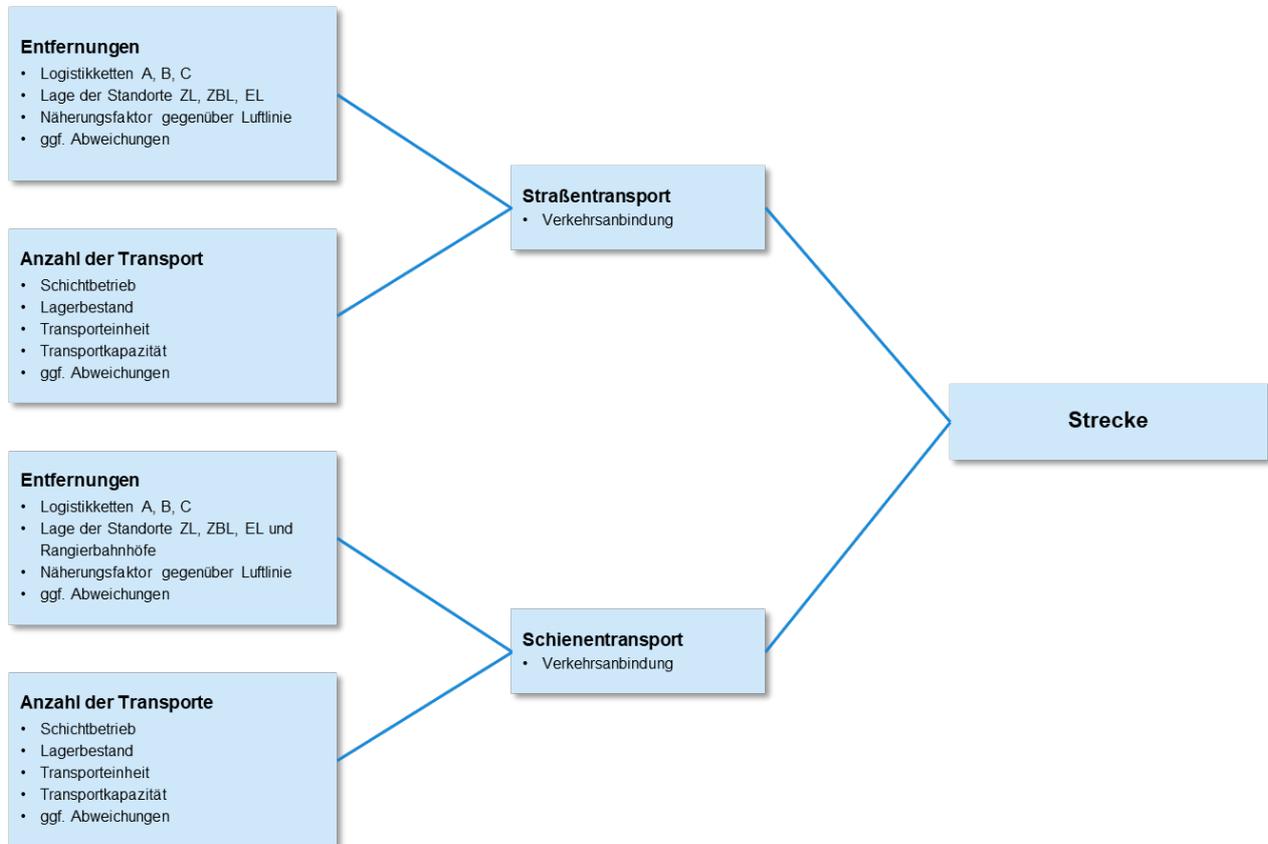


Abbildung 15 Parameterbaum zur Zielgröße „Strecke“. Quelle: Eigene Darstellung

Im Folgenden werden die in Abbildung 15 gegebenen Parameter für die Zielgröße „Strecke“ näher erläutert.

Art des Transports

- Inwieweit der Transport via Straße oder Schiene erfolgt, ist am Standort von der Verkehrsanzbindung abhängig. An Standorten mit Schienenanzbindung erfolgt der Transport vorzugsweise via Schiene. Handelt es sich um einen Standort ohne Schienenanzbindung, so erfolgt der Transport via LKW - z. B. vom Zwischenlager zum Endlager Konrad (Variante 1 – siehe Kapitel 2.5.4.1).

Entfernungen

- Abhängig von den Logistikketten A, B, C: Die Logistikketten B und C enthalten jeweils Transportwege/Entfernungen zu einem Bereitstellungslager und von dort zum Endlager, die Logistikette A betrachtet den Transport ohne Berücksichtigung eines Bereitstellungslagers – insofern unterscheiden sich die zu ermittelnden Entfernungen.

- Abhängig von der Lage der Standorte: Die Transportentfernungen sind von der örtlichen Lage der 21 Zwischenlager (siehe Kapitel 2.2.3), den gegebenen 16 möglichen Standorten eines Bereitstellungslagers (siehe Kapitel 2.3), dem Standort des Endlagers Konrad sowie der Lage der für den Schienentransport erforderlichen Rangierbahnhöfe abhängig. Wie in Kapitel 2.5.4.1 beschrieben gehen wir in dieser Studie davon aus, dass der Schienentransport im Mittel über zwei Rangierbahnhöfe läuft.
- Abhängig von dem Näherungsfaktor: Unter Berücksichtigung der 21 Zwischenlagerstandorte und der 16 möglichen Standorte für ein Bereitstellungslager ergeben sich 336 mögliche Verbindungsstrecken. Dazu kommt jeweils die Strecke vom Bereitstellungslager zum Endlager, also 16 zusätzliche Verbindungsstrecken. Beim Transport direkt zum Endlager sind 21 Verbindungsstrecken zu betrachten. Zudem sind beim Schienentransport je Transportstrecke im Mittel zwei Rangierbahnhöfe zu berücksichtigen (siehe Kapitel 2.5.4.1). Um die Transportentfernungen vereinfacht abzubilden, sind gemäß dem Anhang zur Leistungsbeschreibung der Studie /U 16/ Luftlinienentfernungen zu ermitteln und mit Näherungsfaktoren in Fahrkilometer per Bahn und auf der Straße umzurechnen, siehe auch Kapitel 2.3.

Anzahl der Transporte

- Abhängig vom Lagerbestand je Zwischenlager
- Abhängig von der Transporteinheit: der Anzahl an Gebinden je Transporteinheit (Konrad Container / Tauschpalette oder stehender Transport von Rundgebinden)
- Abhängig von der Transportkapazität: der Anzahl an Transporteinheiten je LKW oder Containertragwagen sowie der Anzahl an Containertragwagen je Zug

Abweichungen

- Wie in Kapitel 2.5.6 beschrieben lassen sich die Auswirkungen auf die Zielgröße „Strecke“ durch Abweichungen im Wesentlichen zu dem folgenden Punkt zusammenfassen:
Während eines Transports werden Sperrungen, Staus oder Baustellen umfahren: hierdurch sind zusätzliche Transportentfernungen zu berücksichtigen.

3.1.2 Zielgröße „Zeit“

Bei der Betrachtung der Zielgröße „Zeit“ ist zwischen der Handhabungszeit (kumulierte Zeit zum Umgang mit Gebinden, z. B. als Input für die Zielgröße Exposition), der Transportzeit

(kumulierte Transportzeiten in Abhängigkeit von der Anzahl an Transporten und der jeweiligen Transportentfernungen) sowie der Einlagerungs- und Auslagerungsdauer an den Handhabungsorten zu unterscheiden.

Die Zielgröße „Zeit“ ist wie in Abbildung 16 dargestellt abhängig von

- der Handhabungszeit (Handhabung an den Handhabungsorten – siehe Kapitel 2.5.3) und diese ist abhängig von
 - den Gegebenheiten an den Handhabungsorten (z. B. Lagerstatus, -bestand und Zugänglichkeit) sowie
 - dem Einfluss von Abweichungen auf die Zielgröße „Zeit“ (z. B. zusätzlicher Zeitbedarf zur Behebung von Handhabungsschäden am Gebinde: Lackschaden etc.).
- der Transportzeit (Transport zwischen den Handhabungsorten) und diese ist abhängig von
 - der Art des Transports (Straße oder Schiene),
 - den jeweiligen Transportentfernungen (z. B. von den Zwischenlagern zum Bereitstellungslager),
 - der Anzahl der jeweiligen Transporte und
 - dem Einfluss von Abweichungen auf die Zielgröße „Zeit“ (z. B. zusätzlicher Zeitbedarf zum Umfahren von Sperrungen, Staus oder Baustellen).

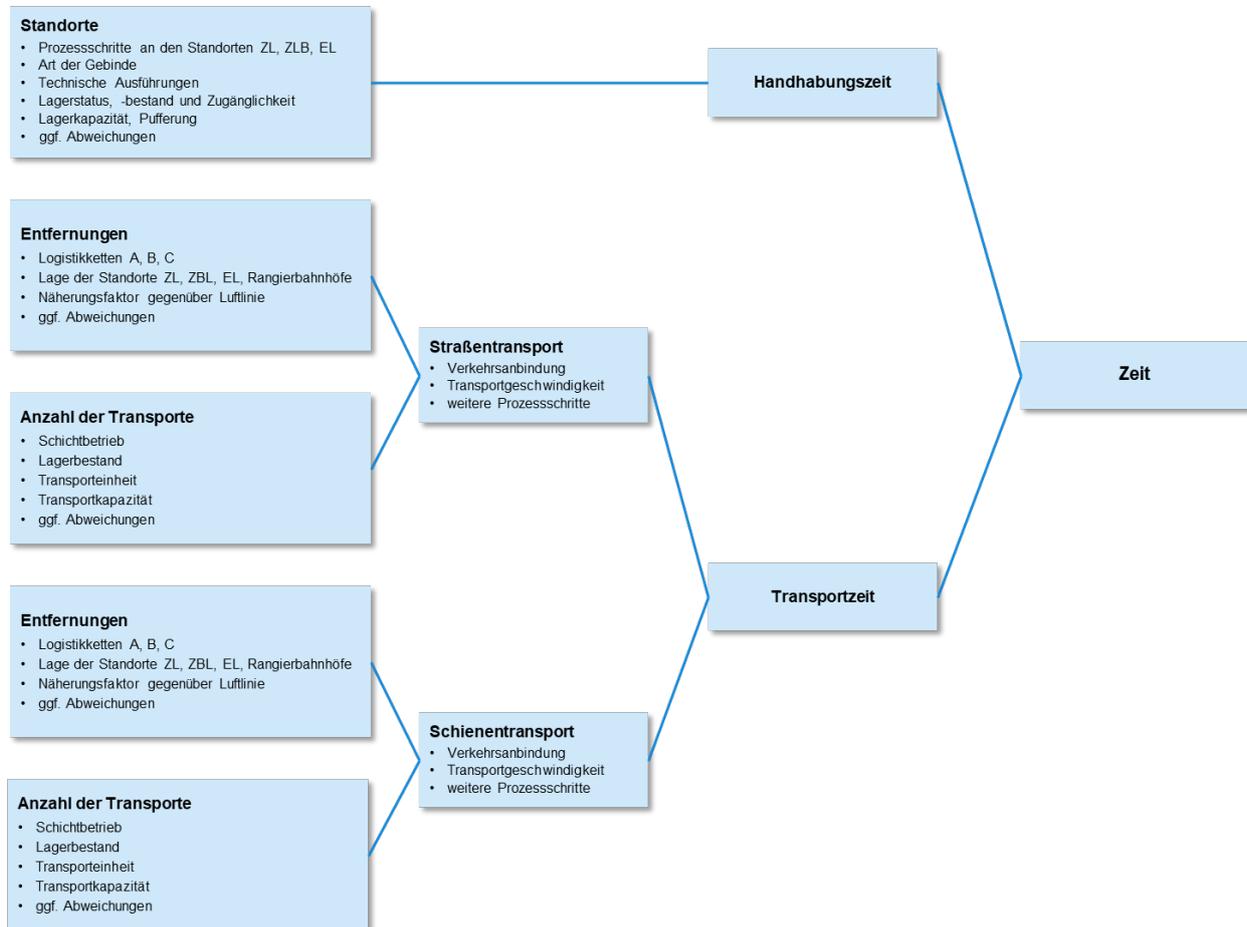


Abbildung 16 Parameterbaum zur Zielgröße „Zeit“. Quelle: Eigene Darstellung

Im Folgenden werden die in Abbildung 16 gegebenen Parameter für die Zielgröße „Zeit“ näher erläutert.

Handhabungszeit

- Abhängig von den Gegebenheiten an den Handhabungsorten: Die an den Handhabungsorten erforderlichen Prozessschritte zum Umgang mit den Gebinden (siehe Kapitel 2.5.3) sind abhängig von den Randbedingungen an den Handhabungsorten (Zwischenlager, Rangierbahnhof, Bereitstellungslager, Endlager):
 - Art der Gebinde: quaderförmig oder zylindrisch, besonderes Gebinde im Sinne der Reihenfolge der Einlagerung.
 - Technische Ausführungen: Art der Hebezeuge und Transportmittel, z. B. Deckenkran, Gabelstapler.
 - Lagerstatus, -bestand und Zugänglichkeit: die Zeit zur Freistellung ist z. B. abhängig von der Zugänglichkeit und diese wiederum vom aktuellen Lagerbestand.

Transportzeit

- Straßentransport
 - Identische Punkte wie in Kapitel 3.1.1
 - Abhängig von der Transportgeschwindigkeit: Für den LKW-Transport sind die im Kapitel 2.4.2 beschriebenen Transportgeschwindigkeiten von 60 km/h auf Bundesstraßen, 80 km/h auf Autobahnen und 30 km/h auf sonstigen Strecken zu berücksichtigen.
 - Abhängig von weiteren Prozessschritten: Für den LKW-Transport sind ggf. spezifische Prozessschritte zum Be- und Entladen zu berücksichtigen.
- Schienentransport:
 - Identische Punkte wie in Kapitel 3.1.1
 - Abhängig von der Transportgeschwindigkeit: Für den Schienentransport sind die im Kapitel 2.4.2 beschriebenen Transportgeschwindigkeiten von 100 km/h sowie 25 km/h für den abschließenden Transportschritt vom Übergabebahnhof Beddingen zum Endlager zu berücksichtigen.
 - Abhängig von weiteren Prozessschritten: Für den Schienentransport sind ggf. spezifische Prozessschritte zum Rangieren sowie Be- und Entladen zu berücksichtigen.
- Entfernungen
 - Die Transportzeit ist abhängig von den zurückgelegten Strecken (identische Punkte wie in Kapitel 3.1.1) und der Transportgeschwindigkeit.
- Anzahl der Transporte
 - Identische Punkte wie in Kapitel 3.1.1 - die Transportzeit ist abhängig von den zurückgelegten Strecken (Entfernungen und Anzahl der Transporte) und der Transportgeschwindigkeit.

Abweichungen

- Wie in Kapitel 2.5.6 beschrieben lassen sich die Auswirkungen auf die Zielgröße „Zeit“ im Wesentlichen zu den folgenden Punkten zusammenfassen:
 - Verzögerungen bei der Bereitstellung von Personal oder Handhabungseinrichtungen.
 - Verzögerungen bei der Bereitstellung oder Handhabung von Transportcontainern
 - Verzögerungen beim Freistellen oder Umlagern eines Gebindes während des Auslagerns.
 - Verzögerungen infolge von Handhabungsschäden am Gebinde (z. B. Lackschaden).
 - Verzögerungen beim Transport – z. B. Umfahren von Sperrungen, Staus oder Baustellen.

- Verzögerungen infolge von Transportschäden (Personenschaden/Gebindeschaden ohne und mit Freisetzung).

Einlagerungsdauer

Die Einlagerungsdauer am Endlager Konrad und die Zeit bis zur vollständigen Leerung der Lager ist abhängig von der Anzahl der Gebinde die täglich in an das Endlager angeliefert werden und dort in die Einlagerungskammern verbracht werden und der Anzahl der Arbeitstage. Diese Größen hängen wiederum vom Ein- oder Zweischichtbetrieb am Endlager Konrad und von den Aus- und Anlieferungskapazitäten der Zwischenlager und eines Bereitstellungslagers ab.

3.1.3 Zielgröße „Exposition“

In den folgenden Kapiteln wird die im Rahmen dieser Studie zu bilanzierende Zielgröße „Exposition“ eingeführt und die dafür bestimmenden Parameter werden festgelegt. Außerdem werden radiologische Unfallfolgen beim Schienentransport, Rangierbetrieb und Straßentransport beschrieben.

3.1.3.1 Definition und Bestimmung der Zielgröße „Exposition“

Exposition ist die Einwirkung ionisierender Strahlung auf den menschlichen Körper durch Strahlungsquellen und kann durch innere Exposition (z. B. durch die Inhalation freigesetzter Radionuklide) und äußere Exposition (durch Direktstrahlung ausgehend von Behältern mit radioaktivem Abfall) auftreten.

Bei der Bestimmung der Exposition betrachten wir, wie in Abbildung 17 dargestellt, die Handhabung an den Standorten (Zwischenlager, Rangierbahnhof, Bereitstellungslager) und den Transport zwischen den Standorten. Dies wird im Folgenden als unfallfreier Logistikbetrieb beschrieben. Dabei unterteilen wir unsere Betrachtungen in betroffenes Personal (Tätigkeitsgruppen) und die allgemeine Bevölkerung (Einzelperson der Bevölkerung), die jeweils durch Direktstrahlung exponiert werden. Exposition durch Freisetzung radioaktiver Stoffe aus den Behältern betrachten wir im unfallfreien Logistikbetrieb nicht, da die Abfallbehälter gemäß Endlagerungsbedingungen /U 18/ und Verordnung zur Beförderung gefährlicher Güter /R 4/, /R 5/ eine spezifizierte Dichtheit vorweisen müssen, sodass im unfallfreien Logistikbetrieb keine relevante Freisetzung zu unterstellen ist.

Zusätzlich untersuchen wir die Exposition, die aus der Freisetzung von radioaktiven Stoffen bei Transportunfällen resultiert. Dabei werden die Häufigkeit und Schwere der Unfälle sowie das Aktivitätsinventar in Verbindung mit der Anzahl der betroffenen Gebinde berücksichtigt.

In Kapitel 2.5.6 wurden mögliche Abweichungen in den einzelnen Prozessschritten aufgezeigt und die daraus folgenden Auswirkungen identifiziert. Diese wirken sich zum einen auf die Transportzeit aus und sind über die Zielgröße „Zeit“ definiert. Zum anderen werden Gebindeschäden mit Freisetzung als mögliche Abweichung definiert. Gebindeschäden mit Freisetzung während des Transports zwischen den Standorten werden in Kapitel 3.1.3.4 „Transportunfälle“ behandelt. Eine Freisetzung in Folge von Gebindeschäden an den Standorten betrachten wir im Rahmen dieser Studie nicht. Die Auswirkungen von Störfällen auf die Bevölkerung, zu denen Gebindeschäden mit Freisetzung gehören, werden an den Standorten Zwischenlager, Bereitstellungslager und Endlager bereits im Rahmen der jeweiligen Genehmigungsverfahren untersucht. Die Eindämmung der Folgen einer Freisetzung am Standort für das Personal ist Teil des jeweiligen betrieblichen Regelwerks am Standort. Die Eintrittswahrscheinlichkeit dieser Störfälle am Standort ändert sich durch die geänderte Transportlogistik nicht relevant, sodass wir für die Bevölkerung und das Personal auf die jeweiligen standortspezifischen Untersuchungen verweisen und diese im Rahmen dieser Studie nicht weiter berücksichtigen.

Die Zielgröße „Exposition“ ist wie in Abbildung 17 dargestellt abhängig von

- der Art des Betriebs (unfallfreier Logistikbetrieb oder Transportunfälle),
- der Art des Transports (Straßen- oder Schienentransport),
- der Handhabung an den Standorten und
- dem Transport zwischen den Standorten.

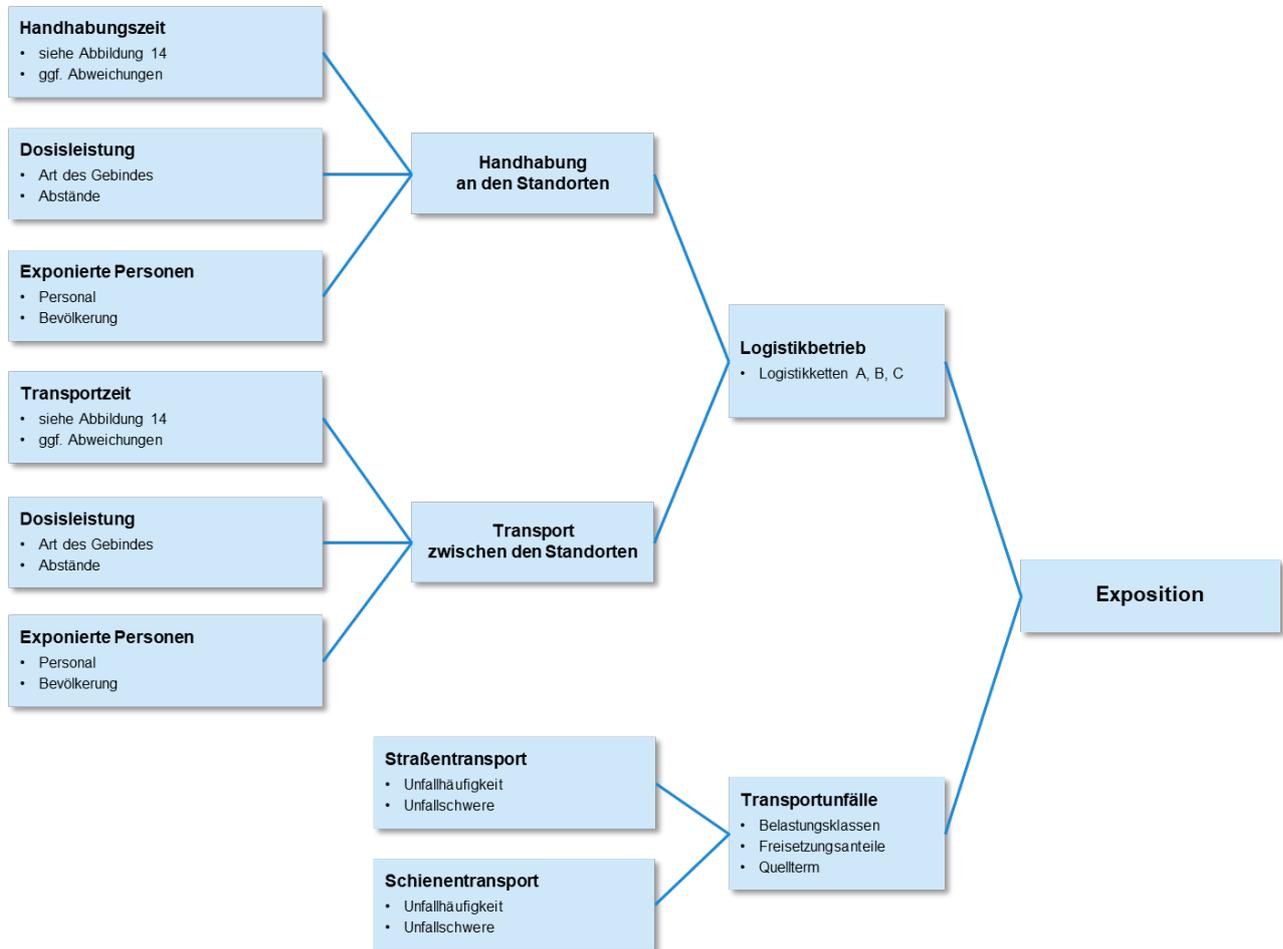


Abbildung 17 Parameterbaum zur Zielgröße „Exposition“. Quelle: Eigene Darstellung

Im Folgenden beschreiben wir Eingangsgrößen und Abhängigkeiten, die sich auf die Zielgröße Exposition auswirken.

Art des Betriebs

- Logistikbetrieb

- Abhängig von den Logistikketten A, B, C: Die Logistikketten B und C enthalten jeweils Transportwege/Entfernungen zu einem Bereitstellungslager und von dort zum Endlager, die Logistikkette A betrachtet den Transport ohne Berücksichtigung eines Bereitstellungslagers – insofern unterscheiden sich die zu ermittelnden Expositionen in Bezug auf die exponierten Personen.

- Transportunfälle

- Belastungsklassen: Die in der Transportstudie /U 3/ definierten Belastungsklassen für mechanische und thermische Einwirkungen werden auch in dieser Studie herangezogen und sind abhängig von der Unfallschwere.
- Freisetzungsteile: Die in der Transportstudie /U 3/ definierten Freisetzungsteile für mechanische und thermische Einwirkungen auf Abfallbehälter sind abhängig von der Belastungsklasse und werden auch in dieser Studie herangezogen.
- Quellterm: Der Quellterm bestimmt sich aus der transportierten Aktivität und dem Freisetzungsteil. Die resultierende Freisetzung aus dem transportierten radioaktiven Abfall ergibt den Quellterm für die radiologische Betrachtung zur Ermittlung der Exposition.

Art des Transports

- Straßentransport / Schienentransport

- Unfallhäufigkeit und Unfallschwere: Die Art des Transportes bestimmt die Unfallhäufigkeit in Verbindung mit der Schwere des Unfalls und hat einen Einfluss auf die Berechnung der radiologischen Unfallfolgen. Die Unfallhäufigkeit wird in Kapitel 2.4.3 beschrieben, auf die Unfallfolgen gehen wir im Kapitel 3.1.3.4 ein.

Handhabung an den Standorten

- Handhabungszeit

- Siehe Kapitel 2.5.3 mit den angegebenen Erklärungen und möglichen Abweichungen gemäß Kapitel 2.5.6.

- Dosisleistung

- Abhängig von der Art des Gebindes: Je nach Art der transportierten Gebinde (quader- oder zylinderförmig) gibt es unterschiedliche Dosisbegrenzungen, sodass sich die Exposition für das Personal ändert.
- Abhängig von den Abständen: Mit größerem Abstand vom Gebinde verringert sich die Exposition in Form der Dosisleistung.

- Exponierte Personen

- Personal: Das Personal an den Standorten (Zwischenlager, Rangierbahnhof, Bereitstellungslager) ist abhängig von den jeweiligen Prozessschritten einer Exposition ausgesetzt. Es wird die kumulative jährliche Exposition einer Tätigkeitsgruppe des Personals bestimmt.

- Bevölkerung: Die Bevölkerung an den Standorten der Rangierbahnhöfe ist einer möglichen Exposition ausgesetzt. Es wird die Exposition an dem nächstmöglichen Wohngebäude für die Einzelperson der Bevölkerung bestimmt.

Transport zwischen den Standorten

- Transportzeit
 - Siehe Kapitel 2.5.4 mit den angegebenen Erklärungen und möglichen Abweichungen gemäß Kapitel 2.5.6.
- Dosisleistung
 - Abhängig von der Art des Gebindes: Je nach Art der transportierten Gebinde (quader- oder zylinderförmig) gibt es unterschiedliche Dosisbegrenzungen, sodass sich die Exposition für das Personal ändert.
 - Abhängig von den Abständen: Mit größerem Abstand vom Gebinde verringert sich die Exposition in Form der Dosisleistung.
- Exponierte Personen
 - Personal: Das Personal beim Transport (Straße oder Schiene) ist abhängig von den jeweiligen Prozessschritten einer Exposition ausgesetzt. Es wird die kumulative jährliche Exposition der Tätigkeitsgruppe bestimmt.
 - Bevölkerung: Die Bevölkerung an den Hauptanlieferungsstrecken der Transporte ist einer möglichen Exposition ausgesetzt. Es wird die Exposition in festgelegten Abständen für die Einzelperson der Bevölkerung bestimmt.

In den folgenden Kapiteln wird auf die Exposition durch den unfallfreien Logistikbetrieb sowie durch Transportunfälle eingegangen. Der Logistikbetrieb führt dabei zu Expositionen zum einen für das beteiligte Personal an den verschiedenen Standorten und das Transportpersonal und zum anderen für die allgemeine Bevölkerung.

3.1.3.2 Parameter der Exposition des Personals

Im Kapitel 2.5 werden die zu betrachtenden Logistikketten (A, B und C) und die mit der Handhabung der Gebinde in Verbindung stehenden Prozessschritte an den verschiedenen Standorten (Zwischenlager, Rangierbahnhof und Bereitstellungslager) dargestellt. Die im Kapitel 2.5.3.3 getroffenen Annahmen zu einem Rangierbahnhof repräsentieren ebenso den Übergabebahnhof Beddingen. Von den im Kapitel 2.5.3 aufgeführten Prozessschritten sind die in den folgenden Tabellen aufgelisteten Prozessschritte für das Personal an den

Standorten von uns als relevant für die Exposition identifiziert worden. Weitere Informationen zu den einzelnen Prozessschritten können den Anhängen A.1.1.2, A.1.2.2, A.1.3.2, und A.1.4.2 entnommen werden.

Im Sinne der Minimierung der Exposition werden die dargestellten Prozessschritte in ausreichender Entfernung zu den vorhandenen Gebindestapeln durchgeführt, sodass wir annehmen, dass beim jeweiligen Prozessschritt das beteiligte Personal eine relevante Exposition nur durch das unmittelbar transportierte Gebinde bzw. die TE mit Angabe des minimalen Abstands erfährt. Für die Gebindeanzahl in einer TE werden die Angaben gemäß Kapitel 2.5.3.1 verwendet. Durch den unterschiedlichen Aufbau der verschiedenen Zwischenlager sind die aufgelisteten Prozessschritte nicht an allen Standorten der Zwischenlager relevant für die Exposition. Für den Vergleich der verschiedenen Logistikketten sind diese Unterschiede nicht relevant, da sich für die Zahl der Schritte an den Zwischenlagern keine Unterschiede aus den verschiedenen Logistikketten ergeben. Wir vernachlässigen diese Unterschiede daher im Rahmen dieser Studie und nehmen nur eine Unterscheidung zwischen den Zwischenlagern und einem Bereitstellungslager vor.

Tabelle 6 Für die Exposition relevante Prozessschritte im Zwischenlager.

Prozess-ID	Prozessschritt	Minimaler Abstand zum Gebinde [m]
ZL-3	Freistellen eines Gebindes	2
ZL-4	Anschlagen des Gebindes	2
ZL-5	Transport des Gebindes	2
ZL-6	Abschlagen des Gebindes	2
ZL-7	Ausgangsmessung Gebinde	1
ZL-8	Anschlagen des Gebindes	2
ZL-9	Transport des Gebindes	2
ZL-10	Abschlagen des Gebindes	1
ZL-11	Ausgangsmessungen	2
ZL-12	Transport des Transportcontainers	3

Tabelle 7 Für die Exposition relevante Prozessschritte am Rangierbahnhof (Weg zwischen Zwischenlager und Bereitstellungslager oder Endlager).

Prozess-ID	Prozessschritt	Minimaler Abstand zum Gebinde [m]
RB-3	Eisenbahnwagen/Wagenverband abkoppeln	5
RB-4	Eisenbahnwagen/Wagenverband verschieben	5
RB-5	Eisenbahnwagen/Wagenverband ankoppeln	5

Tabelle 8 Für die Exposition relevante Prozessschritte im Bereitstellungslager bei der Anlieferung von Gebinden.

Prozess-ID	Prozessschritt	Minimaler Abstand zum Gebinde [m]
ZBL-4	Transport des Transportcontainers	3
ZBL-5	Öffnen des Transportcontainers	1
ZBL-6	Radiologische Eingangsmessung	1
ZBL-7	Anschlagen des Gebindes	2
ZBL-8	Transport des Gebindes	3
ZBL-9	Abschlagen des Gebindes	2
Optionale Schritte 10 bis 17 zur Durchführung einer zusätzlichen Eingangsmessung		
ZBL-10	Transport des Gebindes	3
ZBL-11	Anschlagen des Gebindes	2
ZBL-12	Transport des Gebindes	3
ZBL-13	Abschlagen des Gebindes	2
ZBL-14	Weitere radiologische Eingangsmessung	1
ZBL-15	Anschlagen des Gebindes	2
ZBL-16	Transport des Gebindes	3
ZBL-17	Abschlagen des Gebindes	2
Ende der optionalen Schritte		
ZBL-18	Transport des Gebindes	3
ZBL-19	Anschlagen des Gebindes	2
ZBL-20	Transport des Gebindes	3
ZBL-21	Abschlagen des Gebindes	2

Tabelle 9 Für die Exposition relevante Prozessschritte im Bereitstellungslager bei der Ablieferung von Gebinden zum Endlager.

Prozess-ID	Prozessschritt	Minimaler Abstand zum Gebinde [m]
ZBL-28	Anschlagen des Gebindes	2
ZBL-29	Transport des Gebindes	3
ZBL-30	Abschlagen des Gebindes	2
ZBL-31	Transport des Gebindes	3
ZBL-32	Anschlagen des Gebindes	2
ZBL-33	Transport des Gebindes in den leeren Transportcontainer	2
ZBL-34	Abschlagen des Gebindes	1
ZBL-35	Radiologische Kontrolle des Gebindes und des Containers	1
ZBL-36	Anschlagen des beladenen Transportcontainers	2
ZBL-37	Transport des beladenen Transportcontainers	3
ZBL-38	Abschlagen des beladenen Transportcontainers	2
ZBL-39	Anschlagen des beladenen Transportcontainers	2
ZBL-40	Transport des beladenen Transportcontainers	3
ZBL-41	Abschlagen des beladenen Transportcontainers	2
ZBL-42	Transport des beladenen Transportcontainers	3
ZBL-43	Anschlagen des beladenen Transportcontainers	2
ZBL-44	Transport des beladenen Transportcontainers	3
ZBL-45	Abschlagen des beladenen Transportcontainers	2
ZBL-46	Ausgangsmessungen	2
ZBL-47	Transport des beladenen Transportcontainers	3

Aus den in den Tabellen dargestellten Prozessschritten haben wir insbesondere anhand der Abstände standortunabhängig sieben verschiedene Expositionsfälle abgeleitet, die alle radiologisch relevanten Prozessschritte hinsichtlich der Exposition abdeckend beschreiben. Diese Expositionsfälle sind

- EG-1 = Exposition durch ein Gebinde in einem minimalen Abstand von 1 m,
- EG-2 = Exposition durch ein Gebinde in einem minimalen Abstand von 2 m,

- EG-3 = Exposition durch ein Gebinde in einem minimalen Abstand von 3 m,
- T-1 = Exposition durch eine Transporteinheit in einem minimalen Abstand von 1 m,
- T-2 = Exposition durch eine Transporteinheit in einem minimalen Abstand von 2 m,
- T-3 = Exposition durch eine Transporteinheit in einem minimalen Abstand von 3 m und
- T-4 = Exposition durch eine Transporteinheit in einem minimalen Abstand von 5 m.

Für alle Expositionsfälle an den Standorten gehen wir von einer unabgeschirmten Exposition aus. Wir nehmen an, dass das Personal an den verschiedenen Standorten in Vollzeit am Standort tätig ist.

Neben der Exposition an den einzelnen Standorten tritt ebenfalls eine Exposition für das unmittelbar an den Transporten zwischen den Standorten beteiligte Personal auf. Dazu haben wir folgende Expositionsfälle definiert, die durch die transportierten Gebinde verursacht werden:

- L = Exposition der Tätigkeitsgruppe LKW-Fahrzeugführer bzw. Begleitpersonal
- Z = Exposition der Tätigkeitsgruppe Zugführer

Im Expositionsfall „L“ gehen wir davon aus, dass je nach zu fahrender Streckenlänge gemäß Kapitel 2.4.2 gegebenenfalls neben dem LKW-Fahrzeugführer auch Begleitpersonal mitfährt. Das Begleitpersonal hält sich in der Fahrzeugkabine auf, sodass im Sinne der Exposition kein Unterschied zwischen dem LKW-Fahrzeugführer und dem möglichen Begleitpersonal besteht. Wir nehmen eine Abschirmwirkung durch die Fahrerkabine sowie einen minimalen Abstand der LKW-Fahrzeugführer bzw. des Begleitpersonals zum Gebinde von 2 m an. Gemäß Kapitel 2.4.2 sind für den Transport spezielle Transportcontainer zu berücksichtigen, in die im Mittel eine Transporteinheit gestellt wird. 20'-Container haben ungefähr die doppelte Länge im Vergleich zu Konrad-Containern oder einer Tauschpalette. Um eine sichere Handhabung mit einer symmetrischen Gewichtsverteilung zu gewährleisten, ist davon auszugehen, dass die Gebinde nicht an einem Ende im Transportcontainer platziert werden. Zudem ist weiterhin von einem gewissen Abstand zwischen Zugmaschine und Auflieger auszugehen, sodass der angenommene Abstand von 2 m konservativ niedrig angesetzt ist. Diese Annahme ist für alle drei Logistikketten konservativ und bewirkt, dass sich in der Bilanzierung die Expositionswerte aller Logistikketten erhöhen.

Im Expositionsfall „Z“ unterstellen wir durch den Aufbau der Lokomotive mit massiven Metallstrukturen eine erhebliche Abschirmwirkung bei einem minimalen Abstand des Lokführers zum Gebinde von 15 m. Die Exposition des Lokführers ist aus diesen Gründen radiologisch nicht relevant und wird von uns nicht weiter betrachtet.

Zur Ermittlung der auftretenden Dosisleistung für die einzelnen Expositionsfälle verwenden wir als Ausgangspunkt die in Kapitel 2.2.2 angesetzte mittlere Ortsdosisleistung von $25 \mu\text{Sv/h}$ in 1 m Entfernung von zylindrischen Gebinden und in 2 m Entfernung von quaderförmigen Gebinden. Zur Bestimmung des damit verbundenen Aktivitätsinventars gehen wir konservativ im Hinblick auf die abdeckenden Dosiskoeffizienten von Co-60 aus. Mittels Abschirmberechnungen bestimmen wir die auf das Personal einwirkende Dosisleistung.

3.1.3.3 Parameter der Exposition der Bevölkerung

Durch die Abfalltransportfahrzeuge (LKW und Güterzug) treten Expositionen für Passanten und Anwohner auf, die sich in der Nähe aufhalten. Da die Vorgaben für die Ortsdosisleistung zur Beförderung gefährlicher Güter /R 4/, /R 5/ eingehalten werden müssen, tritt eine in Bezug auf den Grenzwert für die allgemeine Bevölkerung /R 3/ relevante Exposition nur im unmittelbaren Nahbereich eines Abfalltransportfahrzeugs auf. In der Transportstudie /U 3/ wurde festgestellt, dass in einer Entfernung von etwa 30 – 40 m die Strahleneinwirkung nur noch im Bereich der natürlichen Umgebungsstrahlung liegt. Betrachtet werden somit ganzjährig anwesende Anwohner an Transportstrecken mit hohen Abfallverkehrsaufkommen oder Passanten, die sich zum Transportzeitpunkt entlang des Transportweges aufhalten könnten.

Die Untersuchung konzentriert sich daher auf die Region des Bereitstellungslagers und des Endlagers, da zu erwarten ist, dass sich dort die höchste Verkehrsdichte und damit die potenziell höchsten Expositionen ergeben. Damit abgedeckt sind Anwohner oder Passanten an anderen Verkehrswegen, die im geringeren Umfang von Transporten mit radioaktivem Abfall betroffen sind, wie z. B. auf Wegen von einem Zwischenlager zu einem Rangierbahnhof. Im Gegensatz zum Personal gehen wir im Folgenden einzeln auf die exponierten Anwohner/Passanten ein. Wir untersuchen für die exponierte Einzelperson der Bevölkerung die möglichen Streckenabschnitte mit der potentiell höchsten Verkehrsdichte und unterstellen Daueraufenthalt.

Analog zur Transportstudie /U 3/ unterstellen wir für Anwohner und Passanten der Hauptanlieferungsstrecken einen unabgeschirmten Aufenthalt im Freien. In der Transportstudie /U 3/ wurden für die Abstände zu den Abfalltransporten während der Vorbeifahrt Abstände von 5 m und 10 m angenommen, die wir auch im Rahmen dieser Studie für die Berechnung der Exposition verwenden.

Für die Anwohner der bekannten Rangierbahnhöfe wird der tatsächlich vorliegende Abstand zur nächstmöglichen Wohnbebauung angesetzt. Für die Logistikketten A und B werden für

den Schienentransport an das Endlager die folgenden Annahmen getroffen: Für den Rangierbahnhof Seelze verwenden wir den in der Transportstudie /U 3/ angesetzten Abstand von 100 m zur nächsten Wohnbebauung für die Gleisbereiche, die für reguläre Transporte zum Rangierbahnhof Beddingen in Betracht kommen. Für den Rangierbahnhof Beddingen ermitteln wir abweichend von der Transportstudie /U 3/ anhand frei verfügbarem Kartenmaterial im nördlichen Bereich einen minimalen Abstand von ca. 100 m (statt 130 m gemäß Transportstudie /U 3/) zum nächstgelegenen Wohngebäude.

Für die Logistikketten B und C werden für den Schienentransport an ein Bereitstellungslager die folgenden Annahmen getroffen: Für die möglichen Rangierbahnhöfe in der Nähe eines der 16 zu modellierenden Standorte eines Bereitstellungslagers (siehe Kapitel 2.3) ist nur das Abschätzen eines Abstands zur nächsten Wohnbebauung möglich. Vorschriften zu einem Mindestabstand zwischen Wohngrundstücken und Bahngleisen der Rangierbahnhöfe existieren nach unserer Recherche nicht. Zur Vergleichbarkeit der Ergebnisse nehmen wir daher für den Fall des Rangierbahnhofs in der Nähe des Bereitstellungslagers einen Abstand von 100 m zum nächstgelegenen Wohngebäude an.

Zur realitätsnahen Expositionsrechnung gehen wir analog zur Transportstudie /U 3/ nicht von einem permanenten Aufenthalt im Freien aus, sondern anteilig von 75 % Aufenthalt innerhalb von Wohngebäuden und 25 % Aufenthalt im Freien. Dies ist im Vergleich zu den Vorgaben der Anlage 11 StrlSchV /R 10/ abdeckend, da mehr Aufenthalt im Freien berücksichtigt wird. Für den Aufenthalt in Gebäuden berücksichtigen wir in Anlehnung an die Anlage 11 StrlSchV /R 10/ pauschal einen Schwächungsfaktor von 3 durch die erhöhte Abschirmung der Gebäudestrukturen.

Als weitere Personengruppe wurden in der Transportstudie /U 3/ die Beschäftigten der Schlackenverwertung der nahe am Endlager gelegenen Stahlwerke untersucht. Dabei wurde unterstellt, dass eine Exposition in einem Mindestabstand von 50 m nur während der kurzen Zeit des Abkippens der Schlacke (Expositionszeit kleiner als eine halbe Stunde) bei etwa 10 % der eingehenden Abfalltransporte auftritt. Im Vergleich zur Transportstudie /U 3/ mit 2300 TE pro Jahr gehen wir auf Basis von Kapitel 2.1.1 in Übereinstimmung mit den Genehmigungsunterlagen für das Endlager Konrad mit 17 TE pro Tag und 200 Arbeitstagen pro Jahr im Einschichtbetrieb von 3400 TE pro Jahr aus, was einer Erhöhung der Anlieferung an das Endlager um ca. den Faktor 1,5 entspricht. Aus einem möglichen Zweischichtbetrieb würde für einen einzelnen Beschäftigten der Schlackenverwertung keine höhere Exposition folgen, da diese auch im Schichtbetrieb arbeiten. Ebenso ist die Annahme der 3400 TE unabhängig von der gewählten Logistikkette. Zur Bestimmung der maximalen effektiven Dosis für Beschäftigte der Schlackenverwertung kann daher ohne explizite Neuberechnung der Wert gemäß Transportstudie /U 3/ abdeckend mit einem Faktor 1,5 multipliziert werden.

3.1.3.4 Transportunfälle

In diesem Kapitel werden die radiologischen Unfallfolgen beim Schienentransport, Rangierbetrieb und Straßentransport beschrieben. Die radiologischen Unfallfolgen basieren auf den detaillierten und komplexen Untersuchungen der Transportstudie /U 3/. Abschließend erfolgt in diesem Kapitel eine Aussage zur Übertragbarkeit der Ergebnisse der Transportstudie /U 3/ zum Zwecke der Verwendung im Rahmen dieser Studie.

Unfallfolgen gemäß Transportstudie /U 3/

Zur quantitativen Erfassung von Unfallrisiken in der Endlagerregion wurde in der Transportstudie /U 3/ eine Unterteilung in neun Belastungsklassen vorgenommen, die durch die unterstellten Aufprallgeschwindigkeiten sowie durch die Branddauer und -temperatur bestimmt werden. Die Belastungsklassen (BK) 1, 4 und 7 repräsentieren ausschließlich mechanische Belastungen, Die übrigen BK umfassen dagegen Unfallsituationen, in denen es zusätzlich zu einem Brand kommt.

Die Beschreibung der Transportunfallhäufigkeiten wurde von uns im Kapitel 2.4.3 vorgenommen.

Zur Festlegung der möglichen Quellterme wurde in der Transportstudie /U 3/ ein Unfallsimulationsprogramm eingesetzt, welches das betrachtete Transportaufkommen in Bezug auf die Abfälle und unterschiedliche Transportkonfigurationen wie die Anzahl der Abfallwagen im Güterzug sowie die möglichen Unfallbelastungen anhand der Belastungsklassen berücksichtigt. Daraus wurden Freisetzungsklassen definiert, die zusammen mit der bestimmten Eintrittshäufigkeit die Grundlage für die radiologische Berechnung bilden.

Mit dem für jede Freisetzungsklasse bestimmten Quellterm sind in der Transportstudie /U 3/ mögliche Expositionen von Personen und die Kontamination von Bewuchs und Boden bis zu einer Entfernung von 25 km vom Freisetzungsort berechnet worden.

Übertragbarkeit der Ergebnisse

Die für die Quelltermbestimmung verwendeten Freisetzungsteile aus der Transportstudie /U 3/ wurden im Zuge einer weiteren Studie /U 34/ aktualisiert. Dabei wurden für einzelne Gebindegruppen (AGG) die Freisetzungsteile vor dem Hintergrund aktueller Entwicklungen und neuerer Erkenntnisse aktualisiert.

Die Änderungen in der AGG 2 beziehen sich auf die Belastungsklassen (BK) 5, 6, 8 und 9 /U 34/. Dabei wurden die Freisetzungsteile aus der Transportstudie /U 3/ dahingehend

aktualisiert, dass sie um einen Faktor 20 kleiner sind. Zum einen würden sich damit geringe Aktivitätsfreisetzungen und daraus folgend kleinere effektive Dosen ergeben und zum anderen treten diese BK gemäß Transportstudie /U 3/ bei Rangierunfällen nicht auf sowie bei Schienen- und Straßenunfällen nur mit einer relativen Häufigkeit kleiner 3 %.

Die Änderungen in der AGG 5 und 7 beziehen sich auf die BK 5 bis 9 und für die AGG 5 zusätzlich noch auf die BK 2 /U 34/. Für die BK 5 bis 9 wurden die Freisetzunganteile aus der Transportstudie /U 3/ dahingehend aktualisiert, dass sie maximal um einen Faktor 2,5 größer sind. Die BK 5, 6, 8 und 9 treten gemäß Transportstudie /U 3/ bei Rangierunfällen nicht auf sowie bei Schienen- und Straßenunfällen nur mit einer relativen Häufigkeit kleiner 3 %. Die BK 7 tritt bei Rangierunfällen nicht auf und bei Straßenunfällen mit einer relativen Häufigkeit kleiner 5 % /U 3/. Lediglich für Schienenunfälle ergibt sich dagegen eine deutlich größere relative Häufigkeit von ca. 25 % /U 3/. Die Änderungen in der BK 7 beziehen sich jedoch ausschließlich auf Partikeldurchmesser > 10 µm. Partikel dieser Größe werden in den Modellen als nicht lungengängig angenommen, sodass der Expositionspfad Inhalation nicht beeinflusst wird. Bei der Änderung in der BK 2 sind die Freisetzunganteile mit einem Faktor von ca. 1,2 nur geringfügig größer geworden /U 34/.

Die Änderung in der AGG 8 bezieht sich auf die BK 8 mit einem um den Faktor 1,2 höheren Freisetzunganteil /U 34/ im Vergleich zur Transportstudie /U 3/ sowie einer relativen Häufigkeit in Bezug auf Schienen- und Straßenunfälle kleiner 1 %.

Die Anpassung der Freisetzunganteile durch die Aktualisierung /U 34/ im Vergleich zur Transportstudie /U 3/ erfolgte zusammenfassend somit für 16 von insgesamt 144 verschiedenen Freisetzunganteilen für sonstige Aerosole, die auch in der Transportstudie als radiologisch relevant dargestellt wurden (Cs-137, Sr-90, Co-60, Am-241). Aufgrund der geringen Eintrittswahrscheinlichkeit der Mehrzahl der mit diesen Anpassungen verbundenen Freisetzunganteile ergibt sich ausschließlich ein geringfügiger Einfluss auf die Berechnungen, sodass wir es als gerechtfertigt ansehen, die in der Transportstudie /U 3/ verwendeten Freisetzunganteile auch im Kontext dieser Studie anzusetzen.

Im Kapitel 2.4.3 wurde von uns bereits dargestellt, dass die in der Transportstudie /U 3/ angesetzten Unfallhäufigkeiten pro Kilometer in der Endlagerregion auf diese Studie übertragbar sind. Die insgesamt zu unterstellenden Unfälle pro Jahr für den Straßen- und den Schienentransport ordnen wir in Kapitel 4.3 ein.

Die in der Transportstudie /U 3/ verwendete Berechnungsmethodik basiert auf einer probabilistischen Risikoanalyse, ausgehend von einem Quellterm freigesetzter luftgetragener Radionuklide. Für die Ausbreitungsberechnung wurde ein Lagrange-Partikelmodell verwendet, da für die zu unterstellenden Randbedingungen (u. a. niedrige Freisetzungshöhe bei moderaten Rauigkeitsverhältnissen) die Ausbreitung mittels Gauß-Modell nur bedingt geeignet ist

/U 3/. Für die Windrichtung, Windgeschwindigkeit, Diffusionskategorie und Niederschläge wurden Messdaten der meteorologischen Station am Schacht Konrad aus den Jahren 2002 bis 2006 verwendet. Da sich die spezifischen Randbedingungen am Standort Konrad und in der Umgebung nicht geändert haben, die Wetterstatistik aus einer fünfjährigen Zeitreihe gewisse meteorologische Veränderungen bereits beinhaltet und sich die Störfallberechnungsgrundlagen /U 33/ nicht geändert haben, ist somit anzunehmen, dass die Ausbreitungs- und Dosisberechnungen gemäß Transportstudie /U 3/ im Rahmen dieser Studie ebenfalls anwendbar sind. Neben der Endlagerregion ist auch die Region um ein mögliches Bereitstellungslager in Bezug auf Transportunfälle zu betrachten. Da bisher kein Standort für ein Bereitstellungslager festgelegt wurde, ist eine Vorhersage zum umgebenden Gelände, zu Gebäuden und zu den meteorologischen Daten für Ausbreitungsberechnungen nicht möglich. In der Transportstudie /U 3/ wurden für die Ausbreitungsberechnungen horizontal homogene Bedingungen angenommen, die zu abdeckenden Expositionen im Vergleich zu Inhomogenitäten bezüglich des Geländes und Gebäudestrukturen aufgrund einer verstärkten Verdünnung luftgetragener radioaktiver Stoffe führen. Somit ist anzunehmen, dass die resultierende Exposition durch Transportunfälle in der Region um ein mögliches Bereitstellungslager im Bereich der Ergebnisse der Transportstudie /U 3/ liegt.

Ebenso hat sich der in der Transportstudie /U 3/ betrachtete Störfallplanungswert von 50 mSv gemäß § 49 StrlSchV-2001 /R 9/ im Zuge der Aktualisierung des Strahlenschutzrechts nicht geändert. Der Störfallplanungswert von 50 mSv ist fortgeschrieben in § 104 StrlSchV-2018 /R 10/ in Verbindung mit § 194 StrlSchV-2018 /R 10/.

3.2 Ableitung von Modelldaten und Parameterwerten zur Bilanzierung

In diesem Kapitel werden die Parameter quantifiziert, welche zur Ermittlung der Zielgrößen „Strecke“, „Zeit“ und „Exposition“ benötigt werden. Grundlage ist das Kapitel 3.1, in welchem die Parameter beschrieben wurden.

Als wichtiges Element wird zunächst in Kapitel 3.2.1 auf das Abrufregime eingegangen, das am Beginn der Logistikketten steht.

Die Parameterwerte der jeweiligen Zielgrößen werden in den folgenden Kapitel 3.2.2 zur Zielgröße „Strecke“, Kapitel 3.2.3 zur Zielgröße „Zeit“ und Kapitel 3.2.4 zur Zielgröße „Exposition“ beschrieben.

Für einen Großteil der Ergebnisse der in Kapitel 3.2.3 beschriebenen Prozessschrittanalyse wird auf den Anhang A.1 verwiesen.

Wie in Kapitel 2.5.3.5 ausgeführt, ist das Endlager Konrad nicht Bestandteil der Prozessschrittanalyse, da bei der Betrachtung der Zielgrößen „Strecke“, „Zeit“ und „Exposition“ aus den Prozessen am Endlager keine Unterschiede zwischen den Logistikketten A, B und C zu erwarten sind.

3.2.1 Abrufregime

In den folgenden Kapiteln wird der Abruf der Gebinde aus den Zwischenlagern und einem Bereitstellungslager beschrieben, der am Beginn der Logistikketten steht. Aufbauend auf den in den Unterlagen /U 20/, /U 25/ beschriebenen Prozessen zum Abruf der Gebinde, den im Kapitel 2 beschriebenen Modellgrundlagen, insbesondere zu den Anforderungen an die Einlagerung, zur Anzahl der Zwischenlager und der Gebindezugänglichkeit in diesen sowie zur Annahmekapazität an einem Bereitstellungslager wird ein vereinfachtes Abrufregime für die Logistikketten mit und ohne Bereitstellungslager entwickelt.

3.2.1.1 Abrufplanung und Abrufregime

Wie im Kapitel 2.1.2 beschrieben, erfolgt die Planung der Abrufreihenfolge der Gebinde zur Einlagerung im Endlager Konrad vorauslaufend zu dem tatsächlichen Abruf der jeweiligen Gebinde /U 20/. Der Planungsprozess zum Abruf der Gebinde an den Zwischenlagern ist im Konzept zur Abruflogistik der BGE /U 25/ näher beschrieben.

Über dieses Konzept hinaus haben wir keine detaillierte Kenntnis zu einem zwischen den abliefernden Standorten und der BGE abgestimmtem Abrufverfahren oder einem Abrufregime, in dem übergeordnete logistische Kriterien festgelegt sind, nach denen die abgebenden Standorte die abrufbaren Gebinde melden und nach denen die BGE den Abruf tätigt.

Das Abrufregime hat einen sehr großen Einfluss auf die Ergebnisse der Bilanzierung der Zielgrößen „Strecke“ und „Zeit“. Beispielsweise wird der Zeitpunkt, an dem die jeweiligen Zwischenlager keine Gebinde mehr enthalten, unmittelbar vom Abrufregime beeinflusst, und die Anzahl der Transportkilometer beim Eisenbahntransport ist davon abhängig, wie viele Gebinde täglich aus einem Zwischenlager ausgelagert und gemeinsam in einem Wagenverband abtransportiert werden.

Auftragsgemäß haben wir ein vereinfachtes Abrufverfahren in unserem Berechnungsmodell implementiert. Als Grundannahme setzen wir dabei an, dass die Zwischenlager alle annähernd gleichmäßig geleert werden sollen. Wir haben dieses Abrufregime gewählt, da es für

alle Logistikketten anwendbar ist und sich daher gut für eine Bilanzierung eignet. Das Abrufregime wird in den folgenden beiden Kapiteln beschrieben und Annahmen zu der Anzahl arbeitstäglich auszulagernder TE werden daraus abgeleitet.

Ausgehend von den Angaben zur Einlagerung ins Endlager Konrad, siehe Kapitel 2.1.4, ergeben sich am Endlager Konrad 200 Einlagerungstage/Jahr. Wir gehen im Rahmen dieser Studie von 4 Arbeitstagen/Woche für die Aus- und Einlagerung aus, was ca. 209 Arbeitstagen/Jahr entspricht. Die Diskrepanz von 9 Tagen ist im Rahmen der Genauigkeit dieser Studie vernachlässigbar.

Die Annahme eines Abrufregimes ist mit vielen unterschiedlichen Faktoren belegt und daher mit großen Unsicherheiten behaftet, gleichzeitig hat es einen maßgeblichen Einfluss auf die Berechnungsergebnisse. Eine Variation verschiedener denkbarer Abrufregime (z. B. gleichzeitiger Zeitpunkt der Leerung aller oder gezielte frühzeitige Leerung einzelner Lager, Gebindeaufteilung beim Abruf 40:60 öffentliche Hand zu EVU wie von der BGE /U 25/ vorgesehen) oder eine Parameterstudie der Einflussfaktoren übersteigt jedoch den Rahmen dieser Studie und sollte bei Bedarf in einem nächsten Schritt vorgenommen werden.

Im Rahmen dieser Modellierung haben wir uns auf den Abruf von G2-Gebinden beschränkt und damit die Annahme verbunden, dass stets ausreichend Gebinde mit G2-Status vorliegen. Ebenfalls damit verbunden ist die Annahme, dass ein kontinuierlicher Abruf sowohl aus den Zwischenlagern als auch aus dem Bereitstellungslager möglich ist. Diese Annahme wird im Folgenden hergeleitet.

Die Ablieferungspflichtigen lassen im Rahmen der Planungsphase der BGE mit der Abfallvoranmeldung eine Übersicht der abrufbaren Gebinde zukommen. Auf Basis der abrufbaren Gebinde wird daraufhin die Kampagnenplanung und der Abrufplan erstellt /U 25/. Im Rahmen dieser Planung muss also sichergestellt werden, dass die verfügbaren G2-Gebinde die Anforderungen an die Zusammenstellung in den Einlagerungskammern des Endlagers erfüllen. Hierfür ist der Anteil an Gebinden, an die besondere Anforderungen bestehen, ausschlaggebend.

Im Kapitel 2.1.2 haben wir den von uns abgeschätzten Anteil an Sondergebinden und Verdünnungsgebinden als mit insgesamt weniger als 50% beschrieben. Da Sondergebinde einer gemischten Einlagerung im Endlager zugeführt werden müssen, besteht hinsichtlich ihrer Auswahl im Rahmen der Kampagnenplanung aus unserer Sicht die Anforderung, dass über die gesamte Einlagerungsdauer in das Endlager Konrad hinweg Sondergebinde möglichst gleichmäßig verteilt eingelagert werden. Werden Gebinde mit niedrigen Summenwerten zum Ausgleich der Summenwerte von Sondergebinden ebenfalls einer gemischten Einlagerung zugeführt (und sie somit als Verdünnungsgebinde eingesetzt), ist dies ebenfalls

im Rahmen der Kampagnenplanung zu berücksichtigen. Verdünnungsgebinde können jedoch aufgrund ihrer geringen Summenwerte deutlich flexibler als Sondergebände eingesetzt werden und stellen daher im Rahmen der Kampagnen und Abrufplanung eine geringere Herausforderung dar als diese. Alle anderen G2-Gebinde können nach unserer Recherche im Rahmen der Kampagnenplanung frei ausgewählt werden.

Aufgrund des aus unserer Sicht geringen Anteils von 6,5 % an Sondergebänden und des moderaten Anteils an Verdünnungsgebänden in Verbindung mit den täglich an den Lagern auszulagernden Gebänden bei dem von uns angenommenen Abrufregime (siehe Kapitel 3.2.1.2 und 3.2.1.3) halten wir die Annahme eines kontinuierlichen Abrufs aus den Lagern für gerechtfertigt.

3.2.1.2 Abrufregime ohne Bereitstellungslager

Wie oben beschrieben, setzen wir im Rahmen dieser Studie als vereinfachtes Abrufregime voraus, dass die Zwischenlager möglichst zum gleichen Zeitpunkt keine Gebinde mehr enthalten sollen. Das zentrale Zwischenlager Karlsruhe hat gemäß unseren Darstellungen in Kapitel 2.2.3 die größte Lagerkapazität und erfüllt nach unserer Einschätzung Voraussetzungen hinsichtlich der Verfügbarkeit und Zugänglichkeit von Gebänden derart, dass von dort arbeitstäglich 6 TE vom Endlager Konrad abgerufen werden können, was wir im Rahmen des vereinfachten Abrufregimes zu Grunde legen. Das bedeutet, dass beim Einschichtbetrieb am Endlager Konrad (17 TE/Tag) täglich 6 TE aus dem zentralen Zwischenlager Karlsruhe und zusammen 11 TE aus weiteren Zwischenlagern abgerufen werden, wobei aus einzelnen Zwischenlagern je maximal 2 TE kommen.

Bei einem Zweischichtbetrieb am Endlager (34 TE/Tag) werden beispielsweise 6 TE aus dem zentralen Zwischenlager Karlsruhe abgerufen und jeweils 2 TE aus 14 Zwischenlagern.

Die Annahme, dass über den gesamten Einlagerungszeitraum gemittelt täglich 6 TE im zentralen Zwischenlager Karlsruhe und zwischen 1 und 2 TE pro Zwischenlager an den anderen Standorten ausgelagert werden, halten wir trotz einer teilweise eingeschränkten Zugänglichkeit aufgrund der von uns durchgeführten Prozessschrittanalyse (siehe unsere Darstellungen in Anhang A.1.5 und A.1.6) und angesichts der oben beschriebenen vorlaufenden Abrufplanung unter Einsatz eines Abrufmanagements für realistisch. Dies setzt allerdings optimierte Abläufe und einen entsprechenden Personalaufbau zur Etablierung eines ggf. erforderlichen Zweischichtbetriebs auch an den Zwischenlagern voraus. Damit verbunden ist die Annahme, dass stets so viele Gebände mit G2-Status vorliegen, dass ein

kontinuierlicher Abruf aus den verschiedenen Lagern möglich ist. Durch ein Abrufmanagement kann sichergestellt werden, dass in die Kampagnenvorplanung nur solche G2-Gebinde eingehen, deren Zugänglichkeit nicht übermäßig eingeschränkt ist. Mit dem Fortgang der Auslagerung von Gebinden und dadurch, dass ab einem gewissen Zeitpunkt kein gleichzeitiger Einlagerungsbetrieb mehr stattfindet, wird sich die logistische Situation entspannen und die Auslagerung an den Zwischenlagern erleichtert.

Die Zusammenstellung der täglichen Einlagerungschargen halten wir aufgrund der geringen Anzahl an Sondergebinden in Verbindung mit der großen Anzahl an Zwischenlagern, aus denen jeweils täglich nur 1 bis 2 TE für die Zusammenstellung der Einlagerungschargen und zum Ausgleich der 6 TE aus Karlsruhe geeignet sein müssen, für durchführbar. Insbesondere halten wir es für realistisch, dass in den verschiedenen Zwischenlagern unter Berücksichtigung einer geeigneten Vorausplanung genügend geeignete Gebinde zugänglich sein werden.

3.2.1.3 Abrufregime mit Bereitstellungslager

Als ein relevanter Grund für die Errichtung eines Bereitstellungslagers wird u. a. in /U 6/ die Notwendigkeit einer optimierten Anordnung der in das Endlager einzulagernden Gebinde, um eine genehmigungskonforme Beschickung des Endlagers zu gewährleisten, angegeben. Von Belang ist in diesem Zusammenhang ein möglichst großer Stoffstrom an Gebinden zum Bereitstellungslager hin, um dieses zu befüllen, und ein möglichst kontinuierlicher Stoffstrom von dort zum Endlager Konrad. Die Annahme- und Aufnahmekapazität an einem Bereitstellungslager spielt demnach eine ebenso große Rolle bei diesem Stoffstrom wie die Ablieferungsmöglichkeiten der einzelnen Zwischenlager und die Einlagerungskapazitäten am Endlager Konrad.

Auslagerung und Abtransport an einem Bereitstellungslager

Wie in Kapitel 2.3 ausgeführt, gehen wir im Rahmen dieser Studie davon aus, dass die Prozesse und Kapazitäten für ein Bereitstellungslager so gestaltet werden, dass ein Abtransport der Gebinde von einem Bereitstellungslager zum Endlager Konrad entsprechend der Einlagerungskapazität von 17 TE/Tag im Einschichtbetrieb bzw. 34 TE/Tag im Zweischichtbetrieb am Endlager möglich ist, d. h. die Einlagerungskapazität am Endlager Konrad ist hier zeitlich bestimmend. Der planmäßige Transport erfolgt per Schiene in Wagenverbänden, die bis zu 12 TE transportieren (siehe BGZ /U 19/). Zylindrische Gebinde werden entsprechend den Einlagerungsbedingungen am Endlager Konrad liegend auf Transportpaletten zum Endlager transportiert. Für zylindrische Gebinde gehen wir, wie in Kapitel 2.5.3.1 ausgeführt, im Mittel von 1,5 Gebinde je Transporteinheit aus.

Annahme- und Aufnahmekapazität an einem Bereitstellungslager

Hinsichtlich der Annahme- und Aufnahmekapazität an einem Bereitstellungslager sind den uns bisher vorliegenden konzeptionellen Unterlagen zum Bereitstellungslager /U 8/, /U 9/ keine konkreten Informationen zu entnehmen. Um jedoch eine flexible und kontinuierliche Bedienung des Abrufs der Gebinde zur Endlagerung zu ermöglichen, ist eine Voraussetzung, dass mindestens so viele Gebinde ans Bereitstellungslager transportiert werden, wie vom Endlager abgerufen werden. Um zudem noch ein Auffüllen des Bereitstellungslagers in unserem Berechnungsmodell zu ermöglichen, setzen wir für die Anlieferung den Faktor 2 gegenüber dem Abruf ans Endlager für den Zweischichtbetrieb an. Das bedeutet, dass arbeitstäglich bis zu 68 TE ans Bereitstellungslager transportiert werden, solange dieses noch nicht gefüllt ist.

Auslagerung und Abtransport von den Zwischenlagern

Als ein weiterer Grund für ein Bereitstellungslager wird von der BGZ die Minimierung von Transportstrecken (km pro Wagenverband) durch die Zusammenstellung von TE in größeren Wagenverbänden beim Schienenverkehr genannt /U 19/. Um diesen Umstand zu berücksichtigen, gehen wir davon aus, dass die Wagenverbände bei den Logistikketten mit Bereitstellungslager erst dann die Zwischenlager verlassen, wenn die maximal mögliche Zuglänge an den Zwischenlagern infolge der Freistellung der Gebinde erreicht ist. Erst dann erfolgt der Transport zum Bereitstellungslager.

Bei den Logistikketten mit Bereitstellungslager erfolgt die Zusammenstellung der für die Einlagerung in Endlager erforderlichen Gebinde in einem Bereitstellungslager und die Gebindeauswahl muss nicht über die Gesamtheit der Zwischenlager erfolgen. Dies führt dazu, dass man bei der Auslagerung aus den Zwischenlagern hinsichtlich der Gebindeauswahl flexibler ist und dort täglich mehr TE als bei der Logistikkette ohne Bereitstellungslager ausgelagert werden können.

Für das Berechnungsmodell treffen wir hier die Annahme, dass täglich 6 TE aus dem zentralen Zwischenlager Karlsruhe an ein Bereitstellungslager transportiert werden und von 6 bis 7 weiteren Zwischenlagern Wagenverbände mit jeweils 10 TE pro Tag ein Bereitstellungslager erreichen. Dabei treffen wir eine weitere Annahme, dass an den Zwischenlagern der EVU täglich jeweils 3 TE ausgelagert und für den Transport bereitgestellt werden und an den Lagern Hanau und Greifswald jeweils 4 TE. Diese Auslagerungs- und Bereitstellungsvorgänge erachten wir aufgrund der von uns durchgeführten Prozessschrittanalyse (siehe unsere Darstellungen in Anhang A.1.5 und A.1.6) bei optimierten Abläufen und entsprechendem Personalaufbau zur Etablierung eines ggf. erforderlichen Zweischichtbetriebs

auch an den Zwischenlagern als durchführbar. Dabei ist zu berücksichtigen, dass der Transport von Rundgebinden zum Bereitstellungslager stehend erfolgen kann und somit bei diesen Transportstrecken ein TE aus 4 Rundgebinden besteht.

3.2.2 Zielgröße „Strecke“

Im Folgenden werden die in Kapitel 3.1.1 beschriebenen Parameter der Zielgröße „Strecke“ mit den zugehörigen Parameterwerten belegt. Wie im Kapitel 3.1.1 hergeleitet, sind als Parameter zur Ermittlung dieser Zielgröße die Verkehrsanbindung an den jeweiligen Lagern, die Entfernungen sowie die Anzahl der Transporte relevant, die Gegenstand der folgenden Kapitel sind.

3.2.2.1 Verkehrsanbindung

Wie in Kapitel 2.2.4 beschrieben verfügen 15 der von uns berücksichtigten 21 Zwischenlager-Standorte über einen Gleisanschluss. Für sechs der Zwischenlager-Standorte wird der Transport demnach über die Straße erfolgen. Das Endlager Konrad verfügt über einen Schienenanschluss (siehe Kapitel 2.1.4), ebenso wie das zu betrachtende Bereitstellungslager (siehe Kapitel 2.3).

3.2.2.2 Entfernungen – Luftlinie

Wie in Kapitel 3.1.1 beschrieben ergeben sich unter Berücksichtigung der 21 Zwischenlagerstandorte und der 16 möglichen Standorte für ein Bereitstellungslager 336 mögliche Verbindungsstrecken. Hinzu kommen Strecken vom Bereitstellungslager zum Endlager sowie die Strecken von den Zwischenlagern zum Endlager. Um die Transportentfernungen vereinfacht abzubilden, sind gemäß dem Anhang zur Leistungsbeschreibung der Studie /U 16/ Luftlinienentfernungen zu ermitteln und mit Näherungsfaktoren in Fahrkilometer per Bahn und auf der Straße umzurechnen. Zur Ermittlung der Näherungsfaktoren wurden die Strecken zwischen den Zwischenlagern und dem Endlager gewählt.

Für die Berechnung der jeweiligen Luftlinienentfernung zwischen einem Zwischenlagerstandort und dem Endlager wurden die Standortkoordinaten in der Form Grad°, Bogenminute' und Bogensekunde" verwendet. Diese wurden zunächst in Dezimalgrad umgerechnet. Die Bestimmung der Entfernung erfolgte mit einem selbstgeschriebenen C++-Programm, welches den Abstand zweier Punkte auf der Erde ausgehend von einem WGS84-Ellipsoiden errechnet. Der WGS84 Referenzellipsoid berücksichtigt die Abplattung der Erde und erreicht im Allgemeinen eine Genauigkeit von 50 Metern.

3.2.2.3 Entfernungen - Näherungsfaktor Straße & Schiene

Wie in Kapitel 2.1.4 beschrieben, erfolgt der Straßentransport ans Endlager Konrad überwiegend auf außerörtlichen Verkehrswegen wie Bundesstraßen und Bundesautobahnen (BAB). Gleiches gilt für den Straßentransport an ein Bereitstellungslager. Die Entfernungen für den Straßentransport wurden mit Hilfe von Google Maps /U 35/ bestimmt. Die Entfernungen für den Schienentransport wurden unter den Randbedingungen bestimmt, dass vom jeweiligen Zwischenlager zunächst der nächstgelegene Rangierbahnhof angefahren wird, anschließend immer der Rangierbahnhof Seelze, der Übergabebahnhof Beddingen und schließlich das Endlager Konrad. Die Entfernungsbestimmung erfolgte mit dem Online-Service der BRouter Routing Engine, basierend auf OpenStreetMap /U 36/. Für die Bestimmung des Näherungsfaktors Luft-Straße konnten somit 21 Zwischenlagerstandorte bzw. Entfernungspaare und für die Bestimmung des Umrechnungsfaktors Luft-Schiene 15 Zwischenlagerstandorte bzw. Entfernungspaare einbezogen werden. Aus den Quotienten für jedes Wertepaar wurden dann die Näherungsfaktoren als Mittelwert errechnet. Unter Berücksichtigung aller streckenspezifischen Näherungsfaktoren ergab sich ein allgemeingültiger Näherungsfaktor

- $f_{\text{Straße}}=1,3\pm 0,08$ (Mittelwert \pm Standardabweichung) für die Umrechnung Luft-Straße und
- $f_{\text{Schiene}}=1,8\pm 0,3$ für die Umrechnung Luft-Schiene.

Die mitbestimmten empirischen Standardabweichungen sind für die Umrechnung Luft-Straße kleiner als für die Umrechnung Luft-Schiene. Für die auf diese Weise ermittelten Näherungsfaktoren wurde in der Literatur nach Vergleichswerten gesucht. Der hier ermittelte Wert für die Umrechnung Luft-Straße stimmt gut mit dem Wert von $f=1,4$ aus /U 37/ überein. Ein übertragbarer Literaturwert für die näherungsweise Umrechnung einer Luft- auf eine Schienenentfernung wurde nicht gefunden.

3.2.2.4 Anzahl der Transporte

Für die Anzahl der Transporte sind die Parameter Lagerbestand, Transporteinheit und Transportkapazität näher zu bestimmen.

Den Lagerbestand bzw. die prognostizierte Anzahl endlagergerechter Gebinde haben wir in Kapitel 2.2 hergeleitet und in Tabelle 5 je Zwischenlager-Standort ausgewiesen.

Wie in Kapitel 2.4 beschrieben umfasst eine Transporteinheit

- einen Konrad-Container oder

- eine Tauschpalette, bestehend aus im Mittel 1,5 zylindrischen Gebinden liegend für den Transport vom Zwischenlager oder Bereitstellungslager zum Endlager, oder
- 4 zylindrische Gebinde, welche stehend vom Zwischenlager zum Bereitstellungslager transportiert werden.

Hinsichtlich der Transportkapazität nimmt ein Transportcontainer eine Transporteinheit (siehe Kapitel 2.4.2) auf, somit

- einen Konrad-Container oder
- eine Tauschpalette oder
- 4 stehende Gebinde.

Des Weiteren ist zwischen Straßen- und Schienentransport zu unterscheiden. Gemäß Kapitel 2.4.2

- wird via LKW ein Transportcontainer mit je einer Transporteinheit transportiert.
- werden via Schiene zwei Transportcontainer je Containertragwagen transportiert – somit zwei Transporteinheiten je Containertragwagen.

Hinsichtlich der Transportkapazität nehmen wir auf Basis der Transportstudie /U 3/ an, dass die Rangierbahnhöfe und der Übergabebahnhof Beddingen (siehe Kapitel 2.1.4) geeignet sind, auch die Spitzenlast des Endlagers täglich abzufertigen (34 TE pro Tag im Zweischichtbetrieb). Die Umlauf- bzw. Umstellzeiten an den Rangierbahnhöfen und am Übergabebahnhof betragen zwischen 3 bis 6 Stunden /U 3/. Im Mittel setzen wir 4,5 Stunden an.

Die täglichen Transporte ausgehend von den täglichen Auslagerungsvorgängen an den Zwischenlagern oder an einem Bereitstellungslager haben wir in den Kapiteln zum Abrufregime (Kapitel 3.2.1.2, Kapitel 3.2.1.3) dargelegt. Wir nehmen an, dass die zur Umsetzung des Abrufregimes erforderlichen Transport- und Streckenkapazitäten zur Verfügung stehen: LKW, Lokomotiven, Transportcontainer, Kapazitäten auf den Strecken (Straße, Schiene) und an den Rangierbahnhöfen.

3.2.3 Zielgröße „Zeit“

Im Folgenden werden die in Kapitel 3.1.2 beschriebenen Parameter der Zielgröße „Zeit“ mit den zugehörigen Parameterwerten belegt. Hinsichtlich der Zielgröße „Zeit“ ist zwischen Handhabungszeit, Transportzeit sowie Einlagerungs- und Auslagerungsdauer an den Handhabungsorten zu unterscheiden. Da der Parameter Zeit auch relevant für die Ermittlung der

Exposition ist, wurde in die Prozessschrittanalyse auch die Ermittlung von Eingangsgrößen für die Berechnung der Exposition integriert.

3.2.3.1 Aufbau der Prozessschrittanalyse

Im Folgenden werden die Elemente der Prozessschrittanalyse kurz erläutert. Die detaillierten Ergebnisse können dem Anhang A.1 entnommen werden.

- A.1.1: Es werden die Prozessschritte dargestellt (siehe Kapitel 2.5.3.2), wie sie im Umgang mit einem Gebinde am Standort eines Zwischenlagers typischerweise stattfinden. Hierbei werden die folgenden Informationen und Parameterwerte aufgeführt: Prozessschritt, Zeitdauer Prozessschritt [min], Radiologische Relevanz (Bevölkerung, beruflich exponierte Personen), Angabe, inwieweit der Dosisbeitrag über „eines“ oder „mehrere“ Gebinde erfolgt, minimaler Abstand zu den Gebinden [m], Zeitanteil der radiologischen Exposition bezogen auf die Prozessschrittdauer.
- A.1.2: Es werden die Prozessschritte dargestellt (siehe Kapitel 2.5.3.3), wie sie im Umgang mit einem Gebinde an einem Rangierbahnhof typischerweise stattfinden. Die aufgeführten Informationen und Parameter sind die gleichen wie in dem Anhang A.1.1.
- A.1.3: Es werden die Prozessschritte dargestellt (siehe Kapitel 2.5.3.4), wie sie beispielsweise im Umgang mit einem Gebinde am Standort eines Bereitstellungslagers im Rahmen der Einlagerung stattfinden. Die aufgeführten Informationen und Parameter sind die gleichen wie in dem Anhang A.1.1.
- A.1.4: Es werden die Prozessschritte dargestellt (siehe Kapitel 2.5.3.4), wie sie beispielsweise im Umgang mit einem Gebinde am Standort eines Bereitstellungslagers im Rahmen der Auslagerung stattfinden. Die aufgeführten Informationen und Parameter sind die gleichen wie in dem Anhang A.1.1.
- A.1.5: Im Rahmen der Auslagerung von Gebinden an einem Zwischenlager ist hinsichtlich der Anzahl der Transporteinheiten, welche pro Tag bereitgestellt werden können, zu berücksichtigen, dass einige der Prozessschritte parallel abgehandelt werden können. Hierbei haben wir Verzögerungen beim Freistellen eines Gebindes (Zwischenlager Kategorie in Abhängigkeit der Zugänglichkeit – siehe Kapitel 2.2.4) berücksichtigt. Dies haben wir anhand der Abbildungen im Anhang A.1.5 für die Auslagerung von Konrad-Containern überschlägig untersucht. Im Rahmen der Modellierung haben wir die Annahme getroffen, dass an den Lagern ein Zweischichtbetrieb etabliert werden kann.
- A.1.6: Im Rahmen der Auslagerung von Gebinden an einem Zwischenlager ist hinsichtlich der Anzahl der Transporteinheiten, welche pro Tag bereitgestellt werden können, zu berücksichtigen, dass einige der Prozessschritte parallel abgehandelt werden können.

Hierbei haben wir Verzögerungen beim Freistellen eines Gebindes (Zwischenlager Kategorie in Abhängigkeit der Zugänglichkeit – siehe Kapitel 2.2.4) berücksichtigt. Dies haben wir anhand der Abbildungen im Anhang A.1.6 für die Auslagerung von zylindrischen Gebinden überschlägig untersucht. Im Rahmen der Modellierung haben wir die Annahme getroffen, dass an den Lagern ein Zweischichtbetrieb etabliert wird.

- A.1.7: Es werden die Prozessschritte dargestellt (siehe Kapitel 2.5.4), wie sie zur Beförderung via Straße oder Schiene typischerweise stattfinden. Die Zeitdauer der einzelnen Transportschritte ist dabei abhängig von der modellierten Entfernung (siehe Kapitel 3.2.2.3) sowie den angenommenen Transportgeschwindigkeiten. Die zu den radiologischen Aspekten aufgeführten Informationen und Parameter sind die gleichen wie in dem Anhang A.1.1.
- A.1.8: Es werden die im Rahmen der Prozessschrittanalysen ermittelten beruflich exponierten Personen aufgeführt.
- A.1.9: Es werden die im Rahmen der Prozessschrittanalyse ermittelten Abweichungen und deren Auswirkungen auf die Zielgrößen dargestellt. Zu jeder Abweichung werden Häufigkeiten angegeben - als Grundlage zur Festlegung der Häufigkeitsklassen diente der Entwurf der DIN EN 60812:2015-08 zur Fehlzustandsart- und -auswirkungsanalyse (FMEA) /R 11/.

3.2.3.2 Prozessschritte an den Handhabungsorten

Die relevanten Parameterwerte der an den Handhabungsorten identifizierten Prozessschritte zur Ermittlung der Handhabungszeit (siehe Kapitel 3.1.2) können der Prozessschrittanalyse im Anhang A.1 entnommen werden.

Wie in Kapitel 2.5.3.5 ausgeführt, wird das Endlager Konrad für die Beschreibung der Zielgrößen nicht betrachtet, da bei der Betrachtung der Zielgrößen „Strecke“, „Zeit“ und „Exposition“ aus den Prozessen am Endlager keine relevanten Unterschiede zwischen den Logistikketten A, B und C zu erwarten sind. Gemäß Kapitel 2.5.3.5 endet die Prozessschrittanalyse am Werktor des Endlagers Konrad.

3.2.3.3 Prozessschritte im Rahmen des Transports

Die relevanten Parameterwerte der Transportschritte zur Ermittlung der Transportzeit (siehe Kapitel 3.1.2) können größtenteils der Prozessschrittanalyse im Anhang A.1 entnommen werden. Die Transportzeit ist von den zurückgelegten Strecken (siehe Kapitel 3.2.2.2 und

Kapitel 3.2.2.3) und den jeweiligen Transportgeschwindigkeiten (Straße oder Schiene) abhängig.

Für die Transportgeschwindigkeiten wurden die folgenden Annahmen getroffen (siehe Kapitel 2.4):

- Straßentransport
 - Für den LKW-Transport sind die im Kapitel 2.4.2 beschriebenen Transportgeschwindigkeiten von 60 km/h auf Bundesstraßen, 80 km/h auf Autobahnen und 30 km/h auf sonstigen Strecken zu berücksichtigen.
 - Auf Basis der gemäß Kapitel 3.2.2.2 und 3.2.2.3 ermittelten Streckenabschnitte nehmen wir im Mittel eine Geschwindigkeit von 70 km/h an.
- Schientransport:
 - Für den Schienentransport sind die im Kapitel 2.4.2 beschriebenen Transportgeschwindigkeiten von 100 km/h sowie 25 km/h für den abschließenden Transportschritt vom Übergabebahnhof Beddingen zum Endlager zu berücksichtigen.

3.2.3.4 Ermittlung der Einlagerungsdauer

Die Zielgröße der gesamten Einlagerungsdauer ergibt sich aus den nacheinander ablaufenden Auslagerungen aus den Zwischenlagern, je nach Logistikkette aus den Anlieferungen und Auslagerungen eines Bereitstellungslagers und aus der Einlagerung in das Endlager unter Berücksichtigung des Abrufregimes und der Prozessschritte mit den zugehörigen Zeiten.

Die im Rahmen dieser Studie getroffenen Annahmen zur Auslagerung aus den Lagern haben wir im Kapitel 3.2.1 erläutert. Eine wichtige Randbedingung ist dabei die Zugänglichkeit von G2-Gebinden.

Ob Störungen im Transport zwischen den Lagern zeitbestimmend sein können und mit modelliert werden müssen, wird im Folgenden analysiert. Dabei kommt dem Aspekt der Pufferung von Gebinden am Endlager eine besondere Bedeutung zu, den wir anhand der vorliegenden Informationen aus dem Planfeststellungsbeschluss /U 2/ und der Systembeschreibung Abruf und Einlagerungsvorgang /U 20/ näher beleuchten.

3.2.3.4.1 Pufferung am Endlager

Am Endlager Konrad angenommene Gebinde, die nicht direkt eingelagert werden, werden zunächst im Puffertunnel oder in der Pufferhalle gelagert.

Die Pufferhalle dient gemäß Planfeststellungsbeschluss /U 2/ zur Pufferung angelieferter Gebinde, die aus betrieblichen Gründen oder bei Betriebsstörungen nicht unmittelbar zur Endlagerung gebracht werden. Von den in der Pufferhalle zur Verfügung stehenden 154 Abstellpositionen können 50 Positionen einfach und, in Abhängigkeit von der Stapelbarkeit der TE, 104 Positionen doppelt belegt werden (siehe auch Kapitel 2.1.4). Dies ergibt in Summe max. 258 Abstellplätze. Davon sind im störungsfreien Betrieb 24 Abstellplätze für TE vorgesehen, die aufgrund der Anforderungen an die thermische Belastung des Wirtsgesteins und die Kritikalitätssicherheit nur gemischt eingelagert werden können (Sondergebände – siehe Kapitel 2.1.2) und gleichzeitig angeliefert werden /U 20/. Darüber hinaus werden grundsätzlich Abstellkapazitäten für drei Tageseinlagerungskampagnen freigehalten und nur bei Störungen der Einlagerung oder bei Störungen der Anlieferung belegt /U 2/ Anhang B-15. Dies sind beim Einschichtbetrieb 51, im Zweischichtbetrieb 102 Abstellplätze. Rechnerisch ergibt sich daraus, dass weitere 132 Abstellplätze zur Pufferung von Gebinden in der Pufferhalle zur Verfügung stehen.

Dabei ist zu beachten, dass die Beladung der Pufferhalle sowohl aus Gründen des Strahlenschutzes wie auch aus Gründen freier Plätze im Bedarfsfall so gering wie möglich gehalten wird /U 20/.

Darüber hinaus ist eine Pufferung von neun TE im Puffertunnel möglich. Hier ist neben der Pufferung von Transporteinheiten bei Störungen im Einlagerungsvorgang die Pufferung von Gebinden vorgesehen, die nur gemischt eingelagert werden können (Sondergebände).

3.2.3.4.2 Störungen am Endlager Konrad

Zu dem Umgang mit Störungen beim Einlagerungsvorgang gilt, dass bei Störungen am Endlager Konrad, die noch vor der Pufferhalle auftreten, ankommende Abfälle nicht immer bis zu dieser transportiert werden können. In einem solchen Fall werden die Transportfahrzeuge in Warteposition (LKW-Parkplätze, Puffergleis) gebracht, bis die Störung beseitigt ist. Störungen, die sich nicht innerhalb einer Schicht beheben lassen, sind dabei gemäß der Systembeschreibung zum Abruf und Einlagerungsvorgang /U 20/ nicht zu erwarten.

Bei Störungen am Endlager Konrad, die während der Abfertigung nach der Pufferhalle auftreten, werden ankommende Abfälle in der Pufferhalle gepuffert, bis die Einlagerung fortgesetzt werden kann. Bei Störungen mit einer Dauer von weniger als drei Tagen können alle

unterwegs befindlichen Gebinde angenommen werden /U 2/. Der Abruf wird ggf. modifiziert fortgesetzt, die Gebinde werden gepuffert und nach der Beendigung der Störung eingelagert. Dauert die Störung länger als drei Tage, werden Liefertermine für noch nicht auf dem Weg befindliche Gebinde abgesagt und neu angesetzt /U 20/.

Treten Störungen in der Anlieferung derart auf, dass ein Transport nicht oder nicht termingerecht ankommt, kann gemäß der Unterlage /U 20/, Kapitel 2.2. der Einlagerungsvorgang mit gepufferten Gebinden fortgesetzt werden und die verspäteten Gebinde werden am Endlager zu einem anderen Zeitpunkt angenommen.

Gemäß dem Konzept Abruflogistik /U 25/ ist jedoch bei der betrieblichen Umsetzung eines Abrufplans sicherzustellen, dass ausschließlich Gebinde des freigegebenen Kampagnenplans eingelagert werden. Bei Abweichungen aus logistischen Gründen ist danach zu unterscheiden, ob es sich um Abweichungen innerhalb des zulässigen Rahmens handelt oder nicht. So können Gebinde, die keine Sondergebände sind und die nicht einer gemischten Einlagerung zugeführt werden müssen, an einer beliebigen Position der geplanten Stapelabschnitte eingelagert werden, ohne dass sich Auswirkungen auf die sicherheitstechnischen Planungen ergeben. Die Reihenfolge der Anlieferung dieser Gebinde ist von untergeordneter Rolle. Sondergebände können entsprechend der geführten Nachweise eingelagert werden. Ihre Einlagerung erfolgt unter Berücksichtigung der mit diesen zusammen in einem oder drei Stapelabschnitten eingelagerten Gebinden (siehe Kapitel 2.1.2), sodass die Position bzw. die eingeplanten Gebinde von Bedeutung sind /U 25/.

Nur Abweichungen innerhalb des zulässigen Rahmens, die zu Änderungen von Lieferterminen führen, bedürfen einer Revisionierung des Abrufplans. Abweichungen außerhalb des zulässigen Rahmens bedürfen einer Revisionierung des Kampagnenplans mit Freigabe durch den Betreiber /U 25/.

Wir leiten daraus ab, dass es bei einer Kampagnenplanung, die bereits Ersatzgebände mit einplant, bei einer Störung in der Anlieferung möglich ist, sowohl Gebinde, die weder einer gemischten Einlagerung noch einer gemischten Stapelung zugeführt werden, als auch Verdünnungsgebände zu ersetzen. Nach unserer Erfahrung und wie eingangs dieser Studie beschrieben, ist eine große Anzahl von Gebinden mit sehr geringer Ausschöpfung der relevanten Grenzwerte zu erwarten. Den Anteil an Sondergebänden haben wir auf unter 10% geschätzt.

3.2.3.4.3 Fazit zur Modellierung von Störungen beim Transport

Den uns vorliegenden Unterlagen ist zu entnehmen, dass die Pufferhalle nicht dafür vorgesehen ist, die Anlieferung der TE grundsätzlich so zu planen, dass die TE mit einem definierten Vorlauf angeliefert und planmäßig zwischengepuffert werden. Unseres Erachtens ist jedoch die Annahme berechtigt, dass in der Pufferhalle Gebinde bereitstehen (insbesondere auch solche mit niedrigen Ausschöpfungen der Grenzwerte), die als Ersatz für nicht gelieferte TE genutzt werden, da neben den Abstellplätzen, die grundsätzlich für die Störungen der Einlagerung nach der Pufferhalle freigehalten werden müssen, und denen, die für Sondergebände vorgesehen sind, noch mehr als einhundert Abstellplätze für TE, die aus betrieblichen Gründen nicht unmittelbar zur Endlagerung verbracht werden, in der Pufferhalle zur Verfügung stehen.

Unseres Erachtens können somit die Puffermöglichkeiten am Endlager dazu beitragen, sowohl zu unterstellende kurzzeitige Störungen am Endlager als auch Störungen bei der Anlieferung aufzufangen. Zudem können insbesondere bei dem Fall ohne Bereitstellungslager weitere zielgerichtete Maßnahmen entlang der gesamten Logistikkette umgesetzt werden, die im Fall von Störungen die Wahrscheinlichkeit für Verzögerungen bei der Einlagerung in das Endlager Konrad reduzieren. In diesem Zusammenhang sind beispielsweise das Vorhalten von Ersatz-LKW¹⁰ an zentralen Orten oder die Erstellung eines Konzepts zum Abruf von alternativen Gebinden aus anderen Zwischenlagern bei Störungen während der Freistellung eines Gebindes oder dessen Weitertransports zu nennen, das die Anforderungen an Transportmeldungen aus der AtEV /R 1/ berücksichtigt.

Dennoch ist festzustellen, dass der Fall ohne Bereitstellungslager, der im logistischen Sinne einer just-in-time-Anlieferung an das Endlager nahekommt, im Hinblick auf die Freistellung und den Transport von Gebinden von den Zwischenlagern zum Endlager fehleranfälliger ist als der Fall mit Bereitstellungslager. Im Fall mit Bereitstellungslager können Störungen bei der Auslagerung an Zwischenlagern durch die Anzahl an Gebinden, die in einem Bereitstellungslager vorhanden sind, ausgeglichen werden. Dadurch haben Störungen bei der Auslagerung aus den Zwischenlagern keinen Einfluss auf die Einlagerung ins Endlager. Massive Störungen bei der Auslagerung aus allen Zwischenlagern gleichzeitig müssen nicht angenommen werden, sodass davon ausgegangen werden kann, dass Fehlmengen an Gebinden, die durch solche Störungen an einzelnen Zwischenlagern auftreten, durch andere Zwischenlager ausgeglichen werden können und eine ausreichende Füllung eines Bereitstellungslagers gegeben ist.

¹⁰ Ein Ersatz-LKW würde hierbei den ursprünglich angedachten LKW ersetzen. Für einen Wechsel des Transportmittels (Schiene ↔ Straße) wäre eine neue Transportmeldung nach AtEV erforderlich.

Ohne Bereitstellungslager verzögert sich hingegen die Einlagerung in das Endlager, wenn eine bestimmte Anzahl und Schwere von Störungen bei der Freistellung und dem Transport von Gebinden von den Zwischenlagern zum Endlager überschritten wird. Eine solche Häufung von Störungen ist nicht auszuschließen. Es muss aber nicht angenommen werden, dass entsprechende Abweichungen so häufig sind, dass sie einen relevanten Einfluss auf die Gesamtdauer der Einlagerung haben. Dies gilt auch für nicht auszuschließende Störungen an einem Bereitstellungslager und dem Transport von dort zum Endlager Konrad.

Störungen in der Anlieferung finden daher keinen Eingang in unser Berechnungsmodell. Störungen in der Logistikkette gehen ausschließlich in Form von Abweichungen an den Zwischenlagern, am Bereitstellungslager und an den Rangierbahnhöfen im Hinblick auf längere Handhabungszeiten und somit auf die Zielgröße „Exposition“ in die Bilanzierung ein.

3.2.4 Zielgröße „Exposition“

Im Kapitel 3.1.3 wurde die Zielgröße „Exposition“ für die Betrachtung im Rahmen dieser Studie definiert und die betroffenen Personengruppen wurden identifiziert.

Zur Ermittlung der auftretenden Dosisleistung für die einzelnen Expositionsfälle verwenden wir als Ausgangspunkt die im Kapitel 2.2 angesetzte mittlere Ortsdosisleistung von 25 $\mu\text{Sv/h}$ in 1 m Entfernung von zylindrischen Gebinden und in 2 m Entfernung von quaderförmigen Gebinden. Zur Bestimmung des damit verbundenen Aktivitätsinventars gehen wir konservativ in Hinblick auf die abdeckenden Dosiskoeffizienten von Co-60 aus. Das Aktivitätsinventar ist ein notwendiger Eingangsparameter für die Abschirmberechnungen, mit denen wir die auf das Personal und die Bevölkerung einwirkende Dosisleistung bestimmt haben.

3.2.4.1 Exposition des Personals

Für die Exposition des Personals haben wir anhand der Abstände standortunabhängig sieben verschiedene Expositionsfälle abgeleitet, die alle radiologisch relevanten Prozessschritte hinsichtlich der Exposition abdeckend beschreiben. Die Randbedingungen (Behältertyp, Anzahl Gebinde, Abstand zum Behälter) zu den einzelnen Expositionsfällen sind im Kapitel 3.1.3.2 beschrieben.

In Tabelle 10 sind die Dosisleistungen für das Personal an den Standorten (Zwischenlager, Bereitstellungslager) infolge der Exposition durch Gebinde aufgelistet.

Tabelle 10 Dosisleistungen für das Personal infolge der Exposition durch Gebinde.

Expositionsfall	Behältertyp	Anzahl Gebinde	Abstand des Behälters zum Personal [m]	Mittlere Dosisleistung [mSv/h]
EG-1	Quader	1	1	5,8E-02
EG-2			2	2,5E-02
EG-3			3	1,3E-02
EG-1	Zylinder		1	2,5E-02
EG-2			2	9,0E-03
EG-3			3	4,6E-03

In Tabelle 11 sind die Dosisleistungen für das Personal an den Standorten (Rangierbahnhof, Bereitstellungslager) infolge der Exposition durch eine Transporteinheit aufgelistet.

Tabelle 11 Dosisleistungen für das Personal infolge der Exposition durch eine Transporteinheit.

Expositionsfall	Behältertyp	Anzahl Gebinde in der TE	Abstand des Behälters zum Personal [m]	Mittlere Dosisleistung [mSv/h]
T-1	Quader	1	1	5,8E-02
T-2			2	2,5E-02
T-3			3	1,3E-02
T-4			5	5,5E-03
T-1	Zylinder	1,5	1	2,4E-02
T-2			2	8,8E-03
T-3			3	4,4E-03
T-4			5	1,7E-03
T-1		4	1	4,5E-02
T-2			2	1,7E-02
T-3			3	9,0E-03
T-4			5	3,6E-03

In Tabelle 12 sind die Dosisleistungen für das unmittelbare Transportpersonal infolge der Exposition durch Transporteinheiten aufgelistet. Wir berücksichtigen wie erläutert hier nur

den Straßentransport mit dem LKW (Expositionsfall L), da die Exposition des Lokführers (Expositionsfall Z) aufgrund der massiven Bauweise der Lokomotive und der damit einhergehenden Abschirmung radiologisch nicht relevant ist.

Tabelle 12 Dosisleistungen für das unmittelbare Transportpersonal infolge der Exposition durch Transporteinheiten.

Expositionsfall	Behältertyp	Anzahl Gebinde in der TE	Abstand des Behälters zum Personal [m]	Mittlere Dosisleistung [mSv/h]
L	Quader	1	2	1,4E-02
	Zylinder	1,5		7,2E-03
		4		1,4E-02

3.2.4.2 Exposition der Bevölkerung

Durch die Abfalltransportfahrzeuge (LKW und Güterzug) treten Expositionen für Passanten und Anwohner auf, die sich in der Nähe aufhalten. Im Gegensatz zum Personal gehen wir einzeln auf die exponierten Anwohner/Passanten ein. Die Randbedingungen (Behältertyp, Anzahl Gebinde und TE, Abstand zum Behälter) zu den einzelnen Expositionsfällen sind im Kapitel 3.1.3.3 beschrieben.

In Tabelle 13 sind die Dosiswerte für Passanten infolge der Exposition durch eine Transporteinheit pro vorbeifahrendem LKW aufgelistet. Für die Ermittlung der Exposition von Passanten durch Straßentransport haben wir gemäß den Angaben in Kapitel 3.2.3.3 eine durchschnittliche Fahrgeschwindigkeit des LKWs von 30 km/h unterstellt, da nicht auszuschließen ist, dass der Transport per LKW in der betrachteten Region um ein Bereitstellungslager und das Endlager z. B. durch eine geschlossene Ortschaft erfolgt.

Tabelle 13 Dosis pro LKW für Passanten infolge der Exposition durch eine Transporteinheit beim Straßentransport.

Expositionsfall	Anzahl TE	Behältertyp	Anzahl Gebinde in der TE	Abstand des Behälters zur Bevölkerung [m]	Mittlere Dosis pro LKW [mSv]
Passanten durch Straßentransport	1	Quader	1	5	2,1E-06
		Zylinder	1,5		6,1E-07
			4		1,4E-06
	1	Quader	1	10	9,9E-07
		Zylinder	1,5		2,7E-07
			4		6,4E-07

In Tabelle 14 und Tabelle 15 sind die Dosiswerte für Passanten durch Exposition beim Schienentransport aufgelistet. Betrachtet werden hierbei nur die Güterzüge mit TE in der Region des Bereitstellungslagers und des Endlagers, da zu erwarten ist, dass sich dort die höchste Verkehrsdichte und damit die potenziell höchsten Expositionen ergeben. Im Fall ohne Bereitstellungslager werden Zügeinheiten mit 14 TE vom Übergabebahnhof Beddingen zum Endlager transportiert. Beim Betrieb mit Bereitstellungslager gehen wir von Zügeinheiten mit 12 TE vom Rangierbahnhof zum Bereitstellungslager¹¹ sowie der gleichen Anzahl vom Bereitstellungslager zum Endlager aus. Gemäß den Angaben in Kapitel 3.2.3.3 wird eine durchschnittliche Fahrgeschwindigkeit des Zugs von 100 km/h unterstellt. Für die Strecke vom Übergabebahnhof Beddingen zum Endlager ist die Geschwindigkeit auf 25 km/h begrenzt. Auf dem Streckenabschnitt vor einem Bereitstellungslager haben wir ebenfalls eine Geschwindigkeit von 25 km/h¹¹ angesetzt. Tabelle 14 stellt die Dosis pro vorbeifahrendem Zug bei einer Geschwindigkeit von 100 km/h dar, Tabelle 15 bei einer Geschwindigkeit von 25 km/h.

Tabelle 14 Dosis pro Zug für Passanten infolge der Exposition durch Transporteinheiten beim Schienentransport mit einer Fahrgeschwindigkeit von 100 km/h.

Expositionsfall	Anzahl TE	Behältertyp	Anzahl Gebinde in der TE	Abstand des Behälters zur Bevölkerung [m]	Mittlere Dosis pro Zug [mSv]
Passanten durch Schienentransport	12	Quader	1	5	2,5E-05
		Zylinder	1,5		7,3E-06
			4		1,8E-05
		Quader	1	10	9,9E-06
		Zylinder	1,5		2,7E-06
			4		6,8E-06

¹¹ Die Werte 12 TE und 25 km/h auf den Streckenabschnitten zwischen Rangierbahnhof vor dem Bereitstellungslager bis zum Bereitstellungslager wurden nur für die Zielgröße „Exposition“ angesetzt. Diese Werte lassen sich aus der Betriebsprogrammstudie /U 13/ und der Überlegung herleiten, dass die Transporte am Rangierbahnhof vor einem Bereitstellungslager zu längeren Wagenverbänden zusammengefasst werden und vor der Einfahrt in ein Bereitstellungslager auf einem längeren Streckenabschnitt verlangsamt fahren. Beides hat einen Einfluss auf die Exposition der Bevölkerung. Für die Zielgrößen „Strecke“ und „Zeit“ ist dieser Einfluss im Rahmen der Genauigkeit dieser Studie vernachlässigbar, daher wurde für diese Zielgrößen mit den übergeordneten Werten 10 TE und 100 km/h gerechnet.

Tabelle 15 Dosis pro Zug für Passanten infolge der Exposition durch Transporteinheiten beim Schienentransport mit einer Fahrgeschwindigkeit von 25 km/h.

Expositionsfall	Anzahl TE	Behältertyp	Anzahl Gebinde in der TE	Abstand des Behälters zur Bevölkerung [m]	Mittlere Dosis pro Zug [mSv]
Passanten durch Schienentransport	12	Quader	1	5	9,9E-05
		Zylinder	1,5		2,9E-05
			4		7,0E-05
	14	Quader	1		1,3E-04
		Zylinder	1,5		3,9E-05
	12	Quader	1		10
			1,5	1,1E-05	
		Zylinder	4	2,7E-05	
			1	5,3E-05	
	14	Quader	1	1,4E-05	
		Zylinder	1,5		

In Tabelle 16 sind die Dosisleistungen für Anwohner an den Rangierbahnhöfen infolge der Exposition durch Transporteinheiten beim Schienentransport aufgelistet. Aufgrund des Einflusses der verschiedenen Rangierprozesse und der Position auf den Rangierbahnhöfen auf die Exposition nehmen wir vereinfacht und konservativ an, dass ein mit 14 TE (ohne Bereitstellungslager) bzw. mit 12 TE (mit Bereitstellungslager) beladener Zug für die komplette Handhabungszeit im kürzesten Abstand zum nächstgelegenen Wohngebäude steht. Sollten weitere Züge mit TE auf den Gleisen der Rangierbahnhöfe stehen, schirmen diese sich gegenseitig ab, sodass maximal ein Zug gleichzeitig zu betrachten ist. Im Fall ohne Bereitstellungslager ist die Betrachtung des Übergabebahnhofs Beddingen aufgrund der dortigen Zusammenstellung des mit 14 TE beladenen Zugs konservativ gegenüber anderen Rangierbahnhöfen wie z. B. Seelze. Im Fall mit Bereitstellungslager deckt der Rangierbahnhof vor dem Bereitstellungslager aufgrund der dortigen Zusammenstellung des mit 12 TE beladenen Zugs alle anderen Rangierbahnhöfe mit ab. Der Übergabebahnhof Beddingen ist bei Logistikketten mit Bereitstellungslager hinsichtlich der Exposition der Anwohner im Vergleich zum beschriebenen Rangierbahnhof vernachlässigbar, da wir davon ausgehen, dass die vom Bereitstellungslager ausgehenden Wagenverbände mit 12 TE am Übergabebahnhof allenfalls eine andere Zugmaschine bekommen und daher deutlich geringere Aufenthaltszeiten als die Züge am Rangierbahnhof vor dem Bereitstellungslager haben.

Tabelle 16 Dosisleistungen für Anwohner an den Rangierbahnhöfen bzw. am Übergabebahnhof Beddingen infolge der Exposition durch Transporteinheiten beim Schienentransport.

Expositionsfall	Anzahl TE	Behältertyp	Anzahl Gebinde in der TE	Abstand des Behälters zur Bevölkerung [m]	Mittlere Dosisleistung [mSv/h]
Anwohner an Bahnhöfen	12	Quader	1	100	5,6E-05
		Zylinder	1,5		1,8E-05
			4		3,6E-05
	14	Quader	1		6,6E-05
		Zylinder	1,5		2,1E-05

3.3 Entwicklung eines Berechnungswerkzeuges

Das Berechnungswerkzeug zur Bilanzierung der relevanten Parameter wurde mit Silverfrost® FTN95 for Microsoft® .NET and Win32, Plato Version 4.4.0 erstellt. Hierzu wurden eigens das Hauptprogramm sowie 10 Subroutinen, die vom Hauptprogramm aufgerufen werden, programmiert. Von den genannten Subroutinen dienen drei der Berechnung der zeitlichen Ein- und Auslagervorgänge für die Logistikketten A, B und C, eine der Berechnung der Zeiten, die mit der Handhabung der Gebinde in den Zwischenlagern und in dem Bereitstellungslager verbunden sind, eine der Berechnung der Expositionen von Einzelpersonen der Bevölkerung und Tätigkeitsgruppen des Personals, vier dem Einlesen der Daten aus vier Input-Dateien und eine der graphischen Ausgabe der Ergebnisse. Die Berechnung von Strecken und sonstiger Zeiten erfolgt in dem Hauptprogramm selbst und in den Subroutinen zur Berechnung der zeitlichen Ein- und Auslagervorgänge für die Logistikketten A, B und C.

Die Input-Dateien enthalten im ASCII-Format die Daten, die für die Berechnung benötigt werden. Das sind im Wesentlichen Ortskoordinaten, Angaben zu Schienenanschlüssen, Transportgeschwindigkeiten, Zeiten infolge von Prozessschritten in Lagern und Rangierbahnhöfen einschl. der Häufigkeiten von Abweichungen und Störungen und den damit zusätzlich verbundenen Zeiten, Dosisleistungen bzw. Einzeldosen für repräsentative Personen der Bevölkerung und des Personals für unterschiedliche Expositionsfälle und Entfernungen zu Gebinden sowie die Expositionsdauern. Des Weiteren sind die Anzahl der Gebinde in den Zwischenlagern aufgeteilt in Container und zylindrische Gebinde, die maximale Anzahl auszulagernder Gebinde pro Tag, die Einlagerungsparameter ins Endlager, die zu betrachtende Zeitspanne sowie Parameter für die graphische Ausgabe hinterlegt.

Mit dem Berechnungswerkzeug wird u. a. die zeitliche Entwicklung der Lagerbelegung berechnet. Als festes kleinstes Zeitintervall ist in dem Programm ein Wert von 8 Stunden hinterlegt, sodass für jeden Tag die Belegung zu drei Zeitpunkten berechnet wird.

Die Auslagerung aus dem Zwischenlager Karlsruhe wird in Zweijahresintervallen festgelegt. Die Leerung der anderen Lager wird derart berechnet, dass die in das Endlager und in ein Bereitstellungslager maximal einzulagernde Menge und die entsprechend der Prozessschrittanalyse maximal aus dem jeweiligen Zwischenlager auslagerbare Menge nicht überschritten werden. Hierbei wird bevorzugt aus den Zwischenlagern mit der geringsten Leerung ausgelagert. Bei der Logistikkette A ist die Auslagerung von maximal 2 Transporteinheiten pro Tag und Zwischenlager fest im Programm verankert.

Als Ergebnis werden die Zielgrößen „Strecke“ und „Zeit“ sowie die jährliche Exposition einer Einzelperson der Bevölkerung und die kumulative jährliche Exposition einer Tätigkeitsgruppe des Personals für alle berechneten Szenarien in Ausgabedateien geschrieben. Außerdem wird die zeitliche Entwicklung der Belegung sämtlicher Lager ausgegeben.

Die Überprüfung des Berechnungswerkzeugs erfolgte gemäß der in der TÜV NORD EnSys anzuwendenden Verfahrensanweisung S-VA-900-2 „Qualifizierung von Rechenprogrammen“ für Software der Stufe 1 für komplexe selbstentwickelte Software.

4 Bilanzierung und vergleichende Betrachtung der Ergebnisse

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der Zielgrößen „Strecke“, „Zeit“ und „Exposition“ anhand von Abbildungen dargestellt sowie beschrieben, verglichen und ggf. analysiert. Grundlage für die Bilanzierung sind die Kapitel 3.1 und 3.2, in denen die Parameter für die Bilanzierung beschrieben und quantifiziert wurden. Diese wurden als Inputparameter für das Berechnungswerkzeug (vgl. Kapitel 3.3) verwendet. Mit Hilfe des Berechnungswerkzeugs wurden die Zielgrößen für die Logistikketten A, B und C jeweils unter der Annahme eines Einschicht- bzw. Zweischichtbetriebs im Endlager berechnet. Entsprechend den Angaben im Kapitel 2.3 wurden dabei 16 fiktive Standorte für ein Bereitstellungslager in die Berechnung mit einbezogen.

Die Berechnungsergebnisse hängen unmittelbar von den im Rahmen dieser Studie getroffenen Annahmen und Parameterwerte ab und sind immer in diesem Zusammenhang zu sehen.

4.1 Ergebnis Zielgröße „Strecke“

In Abbildung 18 sind für die Zielgröße „Strecke“ die bis zur kompletten Einlagerung aller Gebinde kumulierten insgesamt zu fahrenden Kilometer dargestellt. Diese setzen sich aus den im Schienen- (Wagenverbände) und Straßentransport (LKW) zurückzulegenden Kilometern zusammen. Die Buchstaben A, B und C beziehen sich auf die verschiedenen Logistikketten. Die angehängten Zahlen -1 und -2 beziehen sich auf einen Einschicht- bzw. Zweischichtbetrieb am Endlager. Die Balken für „Minimal“ und „Maximal“ der Logistikketten B und C stellen die möglichen Unterschiede durch den Einfluss der 16 möglichen Standorte des Bereitstellungslagers dar.

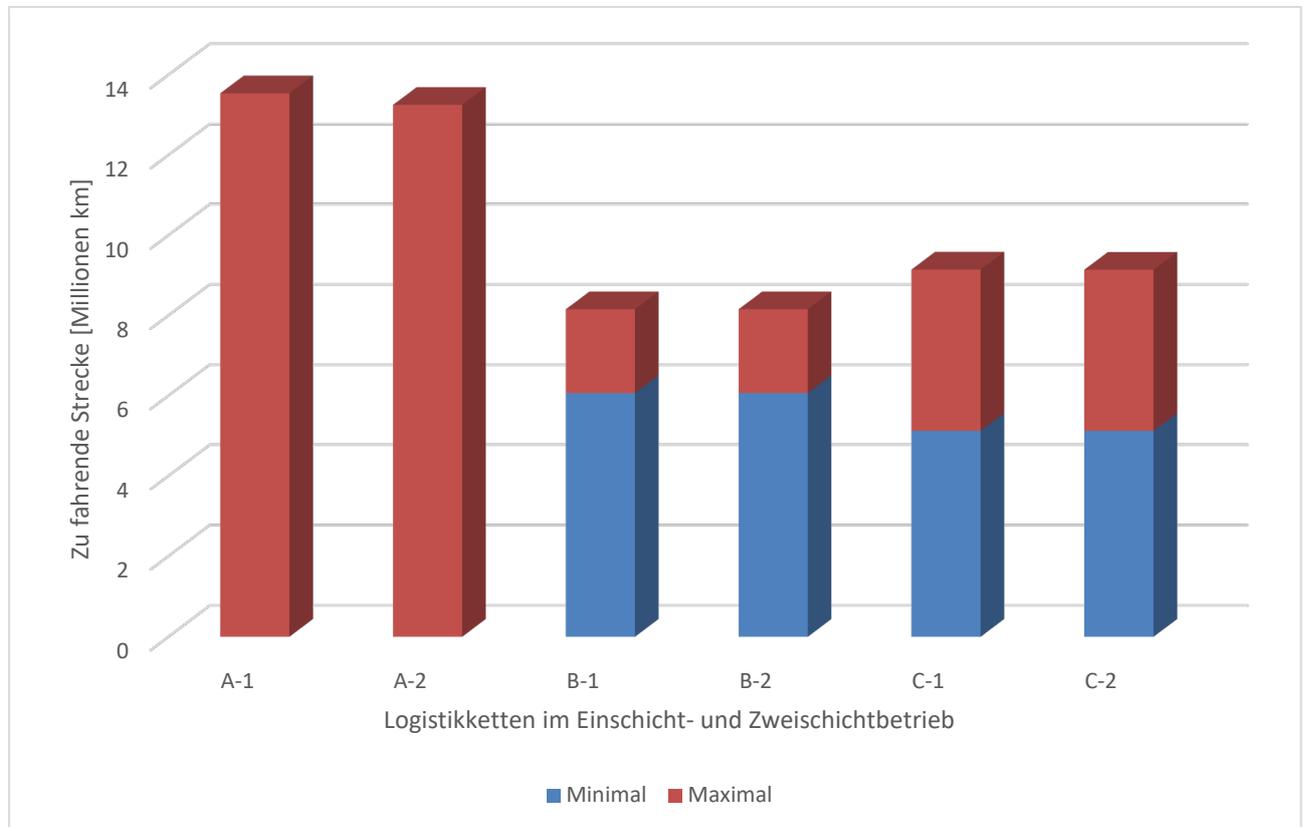


Abbildung 18 Bis zur kompletten Einlagerung aller Gebinde ins Endlager kumulierte zu fahrende Kilometer per Straßen- und Schienentransport

Wie in Abbildung 18 dargestellt, wirkt sich eine Umstellung von Ein- auf Zweischichtbetrieb im Endlager nur bei der Logistikkette A geringfügig auf die zu fahrenden Kilometer aus. Dies hängt von geänderten Transportbedingungen zwischen dem Rangierbahnhof Seelze und dem Übergabebahnhof Beddingen ab.

Die insgesamt zu fahrenden Kilometer sind für die Logistikketten B und C bei Nutzung eines Bereitstellungslagers deutlich kleiner als für die Logistikkette A. Für die Logistikketten B und C können pro Schienentransport mehr Gebinde transportiert werden, da die Wagenverbände zu größeren Einheiten zusammengestellt werden können. Das betrifft sowohl die Anlieferung an ein Bereitstellungslager, die nicht Just-in-Time erfolgen muss, als auch die Strecke zwischen einem Bereitstellungslager und dem Endlager. Zusätzlich erfolgt die Anlieferung der zylindrischen Gebinde an ein Bereitstellungslager stehend, sodass vier Gebinde zu einer Transporteinheit zusammengefasst werden können.

Bei der Logistikkette C ist der Einfluss des Standortes eines Bereitstellungslagers größer, weil alle Gebinde über ein Bereitstellungslager transportiert werden, während bei Logistikkette B die Gebinde der öffentlichen Hand direkt zum Endlager geschickt werden. Der minimale Wert für die insgesamt zu fahrende Strecke ergibt sich für ein Bereitstellungslager an

einem fiktiven Standort in 50 km Entfernung Richtung Süd-West. Die insgesamt am längsten zu fahrende Gesamtstrecke tritt bei einem fiktiven Standort eines Bereitstellungslagers in 200 km Entfernung Richtung Nord-Ost auf.

4.2 Ergebnis Zielgröße „Zeit“

In Abbildung 19 sind für die Zielgröße „Zeit“ die bis zur kompletten Einlagerung aller Gebinde kumulierten Transportzeiten vom Zwischenlager zum Endlager mit möglichen Zwischenstationen (Rangierbahnhof, Bereitstellungslager) per Straßentransport und Schienentransport dargestellt. Die Buchstaben A, B und C beziehen sich auf die verschiedenen Logistikketten. Die angehängten Zahlen -1 und -2 beziehen sich auf einen Einschicht- bzw. Zweischichtbetrieb am Endlager. Die angehängten Zahlen -1 und -2 beziehen sich auf einen Einschicht- bzw. Zweischichtbetrieb am Endlager. Die Balken für „Minimal“ und „Maximal“ der Logistikketten B und C stellen die möglichen Unterschiede durch den Einfluss der 16 möglichen Standorte des Bereitstellungslagers dar.

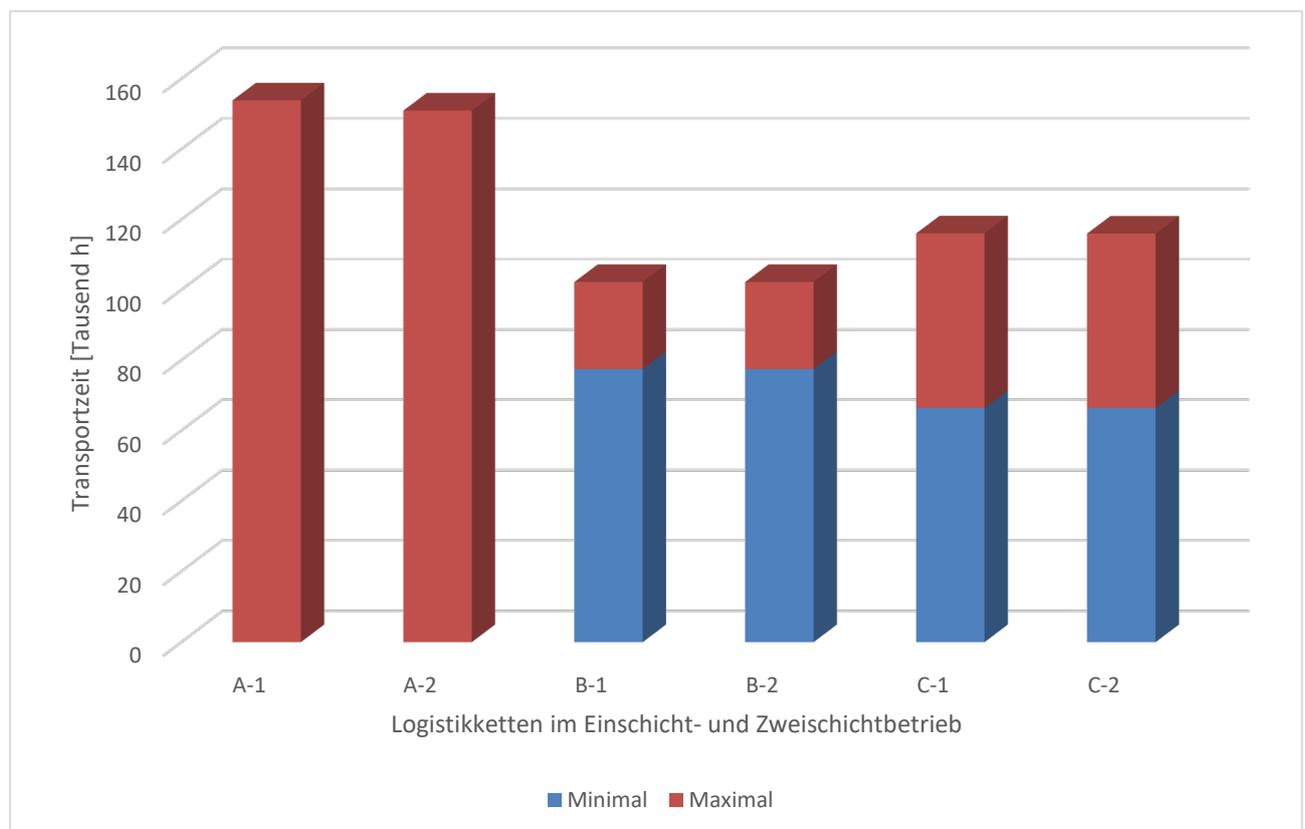


Abbildung 19 Bis zur kompletten Einlagerung aller Gebinde ins Endlager kumulierte Transportzeiten vom Zwischenlager zum Endlager per Straßen- und Schienentransport

Wie in Abbildung 19 dargestellt, wirkt sich eine Umstellung von Ein- auf Zweischichtbetrieb im Endlager nur bei der Logistikkette A geringfügig auf die Transportzeit aus. Dies hängt

von geänderten Transportbedingungen zwischen dem Rangierbahnhof Seelze und dem Übergabebahnhof Beddingen ab.

Die gesamten Transportzeiten sind für die Logistikketten B und C bei Nutzung eines Bereitstellungslagers deutlich kleiner als für die Logistikkette A. Für die Logistikketten B und C können pro Schienentransport mehr Gebinde transportiert werden, da die Wagenverbände zu größeren Einheiten zusammengestellt werden können. Das betrifft sowohl die Anlieferung an ein Bereitstellungslager, die nicht Just-in-Time erfolgen muss, als auch die Strecke zwischen einem Bereitstellungslager und dem Endlager. Zusätzlich erfolgt die Anlieferung der zylindrischen Gebinde an ein Bereitstellungslager stehend, sodass vier Gebinde zu einer Transporteinheit zusammengefasst werden können. Je nach Standort eines Bereitstellungslagers werden mit der Logistikkette C mehr oder weniger Transportzeit im Vergleich zur Logistikkette B benötigt.

In Abbildung 20 sind für die Zielgröße „Zeit“ die bis zur kompletten Einlagerung aller Gebinde kumulierten Arbeitsstunden für die Handhabungsvorgänge in der jeweiligen Logistikkette unter Berücksichtigung der Handhabungen an den Standorten der Zwischenlager, am Bereitstellungslager und an den Rangierbahnhöfen dargestellt. Die Buchstaben A, B und C beziehen sich auf die verschiedenen Logistikketten. Die angehängten Zahlen -1 und -2 beziehen sich auf einen Einschicht- bzw. Zweischichtbetrieb am Endlager.

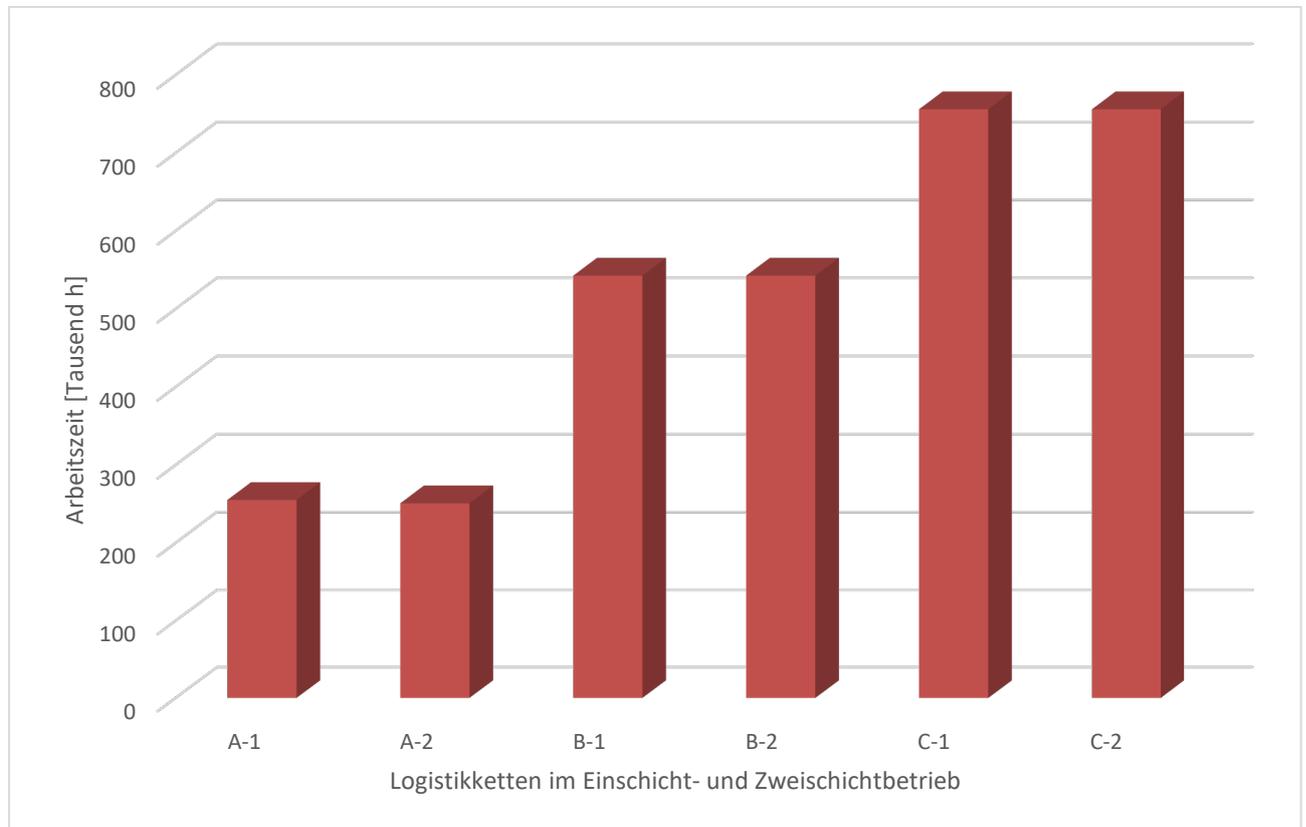


Abbildung 20 Bis zur kompletten Einlagerung aller Gebinde ins Endlager kumulierte Arbeitsstunden für die Handhabungsvorgänge an den Zwischenlagern, dem Bereitstellungslager und den Rangierbahnhöfen

Wie in Abbildung 20 dargestellt, wirkt sich eine Umstellung von Ein- auf Zweischichtbetrieb im Endlager kaum (Logistikkette A) bis gar nicht (Logistikketten B und C) auf die Arbeitszeiten aus, da die Gesamtanzahl der gehandhabten Gebinde bis zur kompletten Einlagerung gleich ist. Einen Einfluss auf die Arbeitszeit haben in Logistikkette A lediglich die verschiedenen Handhabungsschritte an den Rangierbahnhöfen.

Die gesamten Arbeitszeiten sind für die Logistikketten B und C bei Nutzung eines Bereitstellungslagers deutlich größer als für die Logistikkette A. Für die Logistikketten B und C werden im Bereitstellungslager für jedes ankommende Gebinde ein zusätzlicher Einlagerungsprozess und ein zusätzlicher Auslagerungsprozess benötigt.

In Abbildung 21 ist für die Zielgröße „Zeit“ die Anzahl der Gebinde in den Zwischenlagern in Abhängigkeit von der simulierten Auslagerungsdauer dargestellt. Die Buchstaben A, B und C beziehen sich auf die verschiedenen Logistikketten. Die angehängten Zahlen -1 und -2 beziehen sich auf einen Einschicht- bzw. Zweischichtbetrieb am Endlager.

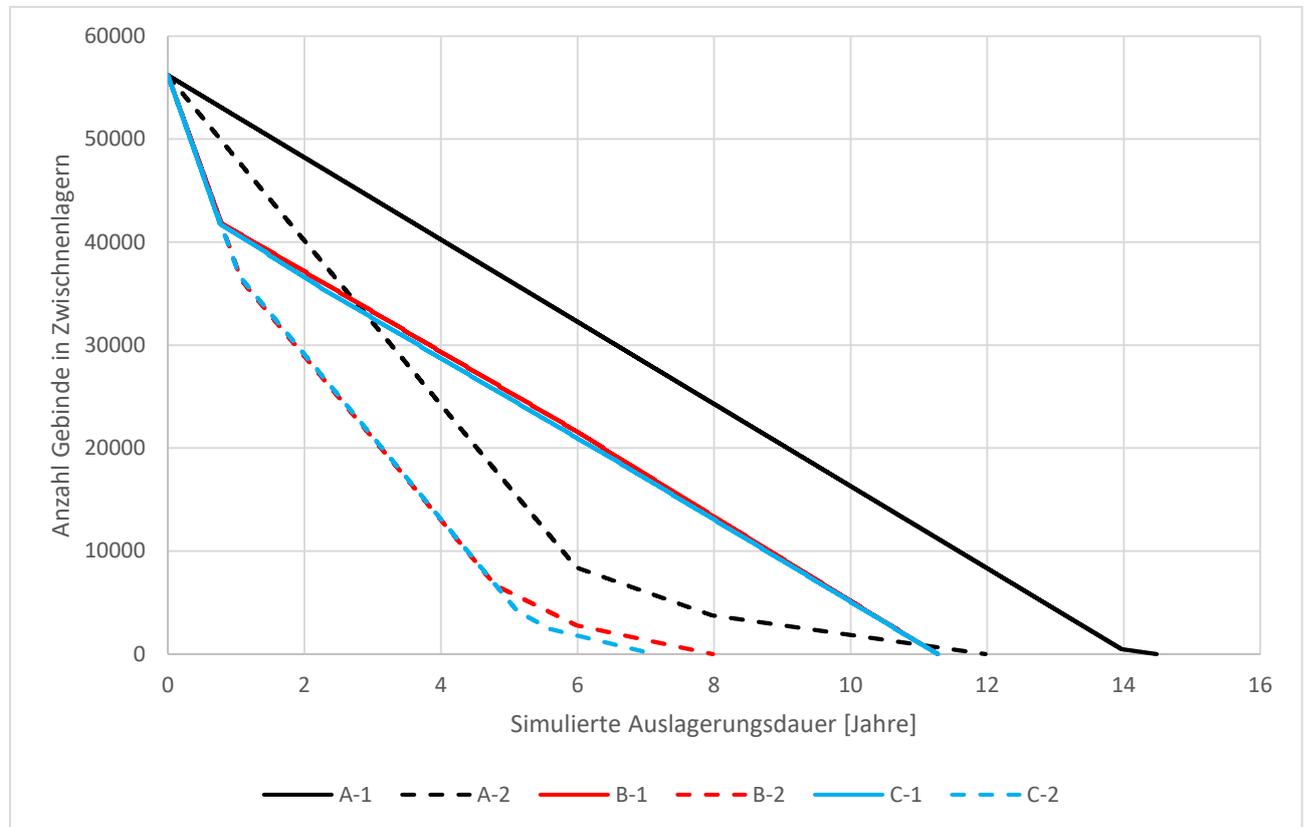


Abbildung 21 Anzahl der Gebinde in den Zwischenlagern in Abhängigkeit von der simulierten Auslagerungsdauer.

Wie in Abbildung 21 dargestellt, verringert sich die Dauer bis zur kompletten Auslagerung aller Gebinde in den Zwischenlagern bei Umstellung von Ein- auf Zweischichtbetrieb im Endlager deutlich, da im Einschichtbetrieb die Einlagerungskapazität des Endlagers begrenzend wird. Die Dauer bis zur kompletten Auslagerung aller Gebinde aus den Zwischenlagern ist für die Logistikketten B und C bei Nutzung eines Bereitstellungslagers jeweils im Einschicht- und Zweischichtbetrieb kleiner als für die Logistikkette A.

Die Unterschiede in der zeitlichen Belegung der Zwischenlager zwischen den verschiedenen Logistikketten resultieren aus den Annahmen für die Auslagerungen aus den einzelnen Zwischenlagern (siehe Kapitel 3.2.1). Dies gilt ebenfalls für den sich abflachenden Kurvenverlauf im Zweischichtbetrieb bei allen Logistikketten, der daraus resultiert, dass die Zwischenlager der EVU sich schneller leeren und zum Ende des Auslagerungsprozesses nur noch aus den Lagern der öffentlichen Hand ausgelagert werden kann.

In Abbildung 22 ist für die Zielgröße „Zeit“ die Anzahl der Gebinde im Endlager in Abhängigkeit von der simulierten Einlagerungsdauer dargestellt. Die Buchstaben A, B und C beziehen sich auf die verschiedenen Logistikketten. Die angehängten Zahlen -1 und -2 beziehen sich auf einen Einschicht- bzw. Zweischichtbetrieb am Endlager.

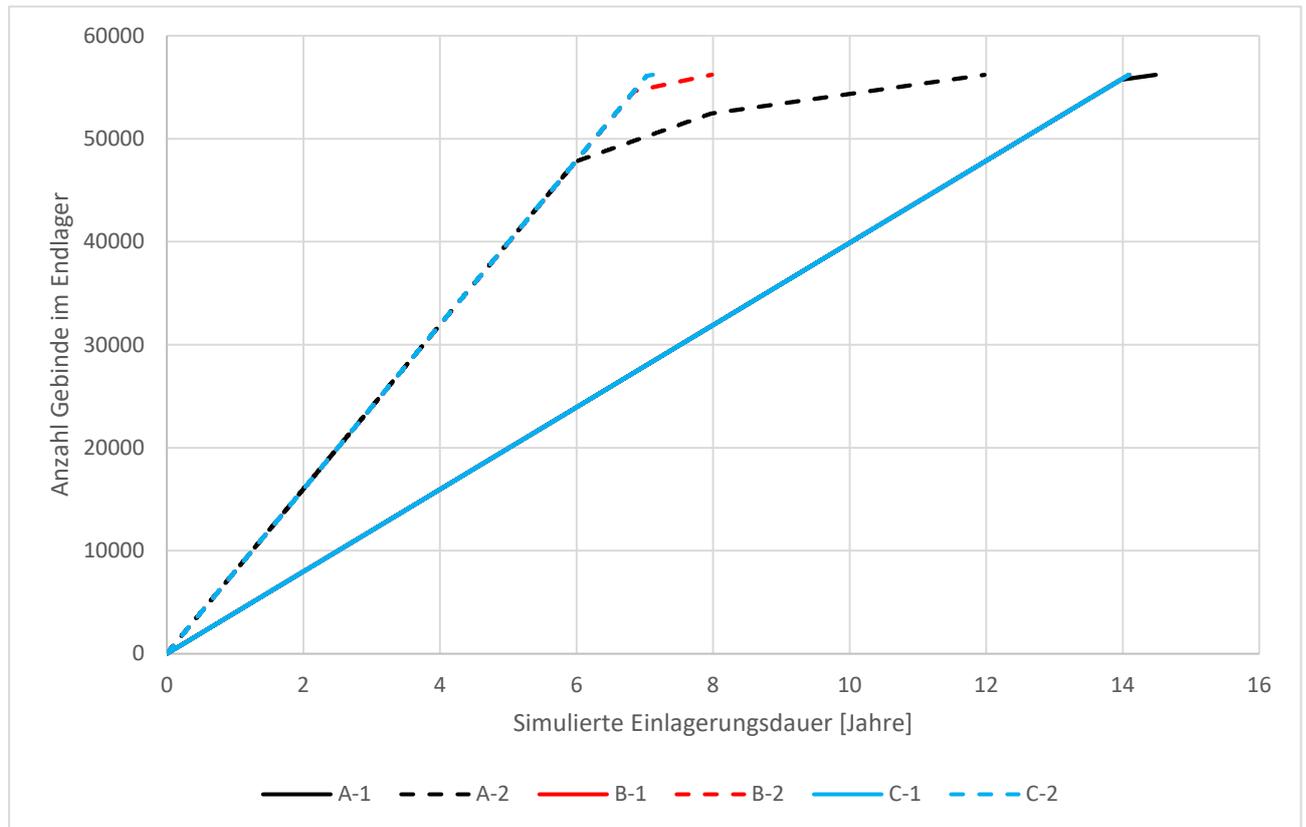


Abbildung 22 Anzahl der Gebinde im Endlager in Abhängigkeit von der simulierten Einlagerungsdauer. Die Kurven für A-1, B-1 und C-1 liegen übereinander.

Wie in Abbildung 20 dargestellt, verringert sich bei einem Zweischiebtbetrieb die Gesamteinlagerungsdauer für alle Logistikketten.

Im Einschichtbetrieb gibt es nur geringe Unterschiede für die Logistikketten A, B und C.

Bei der Logistikkette A ist die Einlagerungsdauer beim Zweischiebtbetrieb größer als bei den Logistikketten B und C. Dies resultiert aus dem zu Abbildung 19 beschriebenen Sachverhalt, dass zum Ende des Auslagerungsprozesses nur noch aus den Lagern der öffentlichen Hand ausgelagert werden kann, da die Lager der EVU bereits leer sind. Da die Anzahl möglicher Auslagerungsvorgänge aus den Lagern der öffentlichen Hand begrenzt ist, kann in dieser Phase die volle Einlagerungskapazität des Endlagers nicht genutzt werden.

4.3 Ergebnis Zielgröße „Exposition“

Exposition der Bevölkerung

In Abbildung 23 sind für die Zielgröße „Exposition“ die maximalen Expositionen für die Bevölkerung unter Berücksichtigung der im Kapitel 3.1.3.3 genannten Parameter dargestellt. Die Buchstaben A, B und C beziehen sich auf die verschiedenen Logistikketten. Die angehängten Zahlen -1 und -2 beziehen sich auf einen Einschicht- bzw. Zweischichtbetrieb am Endlager. Die berechneten Werte für die Transporte auf der Straße und der Schiene beziehen sich auf Passanten in einem bestimmten Abstand zum Transportweg in der Region um ein Bereitstellungslager bzw. das Endlager, da dort die höchste Verkehrsdichte beim Transport der radioaktiven Stoffe vorherrschen wird. Der Wert für einen Rangierbahnhof bezieht sich im Fall der Logistikkette A auf die Anwohner in der Nähe des Übergabebahnhofs Bedingungen, im Fall der Logistikketten B und C auf die Anwohner in der Nähe des Rangierbahnhofs vor dem Bereitstellungslager.

Dargestellt ist die Exposition in Form einer maximalen jährlichen effektiven Dosis, die durch die Transporte erhalten werden kann. Das Jahr, in dem jeweils die maximale effektive Dosis auftritt, ist abhängig vom angenommenen Schichtbetrieb und der Logistikkette. Als Vergleich ist der Dosisgrenzwert von 1 mSv/a für die jährliche Exposition einer Einzelperson der Bevölkerung in Anlehnung an die Vorgaben des § 80 StrlSchG /R 3/ eingezeichnet.

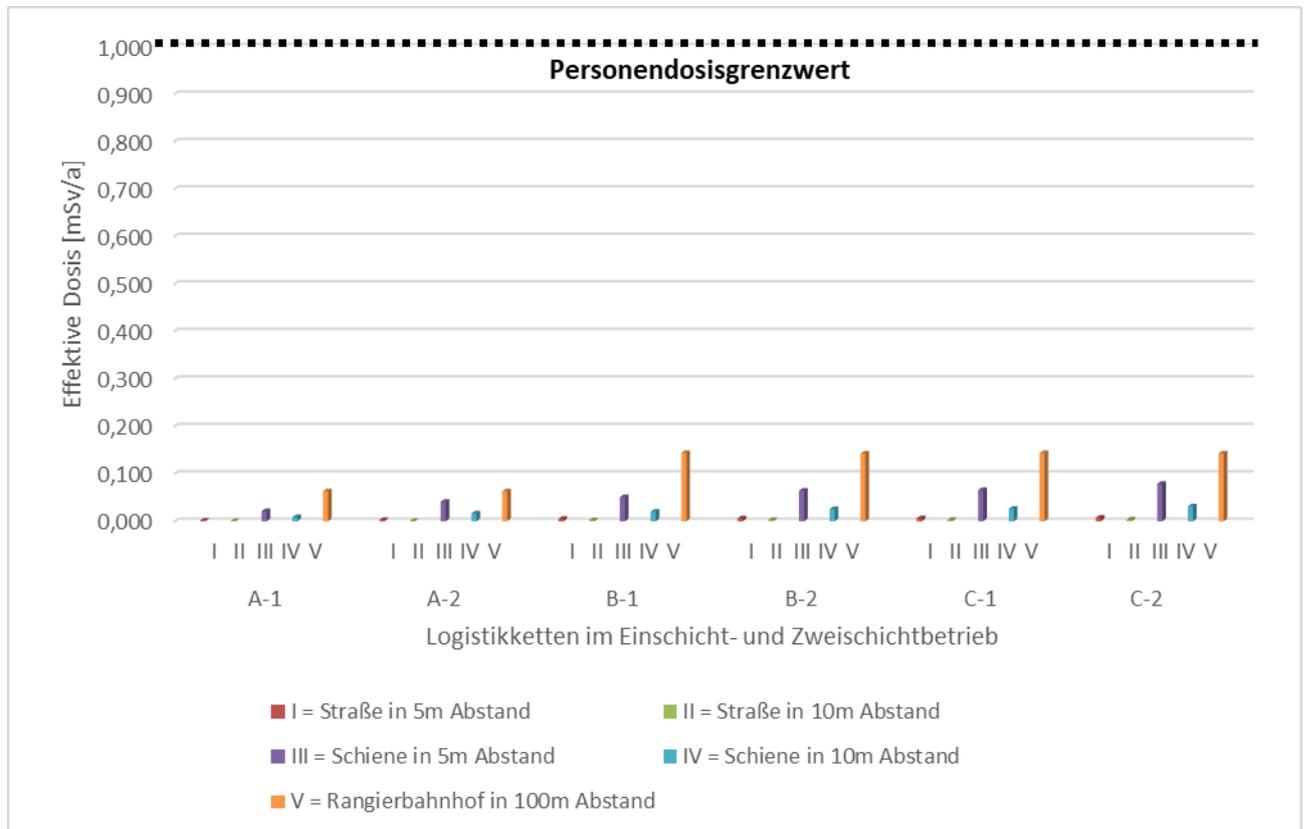


Abbildung 23 Maximale jährliche Exposition der Bevölkerung durch die angenommenen Transportprozesse

Wie in Abbildung 23 dargestellt, wirkt sich eine Umstellung von Ein- auf Zweischichtbetrieb im Endlager über alle Logistikketten nur auf die in einem Jahr von LKWs oder Wagenverbänden ausgehende Exposition in einem Abstand von 5 m bzw. 10 m aus. Die im Zweischichtbetrieb verursachte effektive Dosis wird maximal um den Faktor 2 größer im Vergleich zum Einschichtbetrieb. Auf die von den Wagenverbänden am Rangierbahnhof ausgehende Exposition hat der Ein- oder Zweischichtbetrieb keine Auswirkung, da ein höherer Durchsatz nur durch parallele Bearbeitung am Rangierbahnhof möglich ist. Dabei ist zu unterstellen, dass der Wagenverband mit dem kürzesten Abstand zur nächsten Wohnbebauung die Exposition dominiert und gleichzeitig abschirmend auf danebenstehende Wagenverbände wirkt.

Die effektive Dosis am Rangierbahnhof ist für die Logistikketten B und C bei Nutzung eines Bereitstellungslagers größer als für die Logistikkette A. Da die Annahmekapazitäten des Bereitstellungslagers als doppelt so groß unterstellt wurden wie die des Endlagers, finden zu Beginn der Einlagerung deutlich mehr Transporte zum Bereitstellungslager im Vergleich zur direkten Verbringung ins Endlager statt, was eine höhere Exposition für die Anwohner und Passanten verursacht.

Im Vergleich zum Grenzwert der jährlichen Exposition für Einzelpersonen der Bevölkerung von 1 mSv/a gemäß den Vorgaben des § 80 StrlSchG /R 3/ verursachen insbesondere die Vorbeifahrten auf der Straße oder der Schiene nur effektive Dosiswerte deutlich unter 0,1 mSv/a. Die berechnete effektive Dosis für die Anwohner an den Rangierbahnhöfen von kleiner 0,2 mSv/a beruht auf der konservativen Annahme, dass der gesamte Wagenverband für die komplette Handhabungszeit im minimalen Abstand von 100 m zur nächstgelegenen Wohnbebauung steht. Im Vergleich dazu beträgt die gesamte natürliche Exposition für die Bevölkerung in Deutschland durchschnittlich 2,1 mSv/a.

Exposition des Personals

Im Folgenden zeigen wir beispielhaft die Exposition verschiedener Tätigkeitsgruppen und Expositionsorte unter Berücksichtigung der Logistikketten sowie dem Ein- und Zweischichtbetrieb im Endlager. Die Exposition für das Personal wird durch die Strahlenschützer vor Ort gemäß dem Minimierungsgebot des Strahlenschutzgesetzes /R 3/ weiter minimiert. Die von uns berechneten Absolutwerte sind deshalb lediglich dazu geeignet, Unterschiede zwischen den betrachteten Logistikketten aufzuzeigen, sodass wir uns für eine normierte Darstellung entschieden haben. Die Normierung erfolgt jeweils auf den kleinsten Dosiswert jeder Tätigkeitsgruppe, sodass aus den folgenden Abbildungen kein Rückschluss auf Unterschiede zwischen den verschiedenen Tätigkeitsgruppen zu ziehen ist.

In Abbildung 24 ist für die Zielgröße „Exposition“ die kumulative jährliche Exposition in Form der effektiven Dosis für die Tätigkeitsgruppe LKW-Fahrer dargestellt. Die effektive Dosis ist auf den kleinsten Dosiswert normiert und stellt das abdeckende Jahr mit den höchsten Dosiswerten dar. Die Buchstaben A, B und C beziehen sich auf die verschiedenen Logistikketten. Die angehängten Zahlen -1 und -2 beziehen sich auf einen Einschicht- bzw. Zweischichtbetrieb im Endlager.

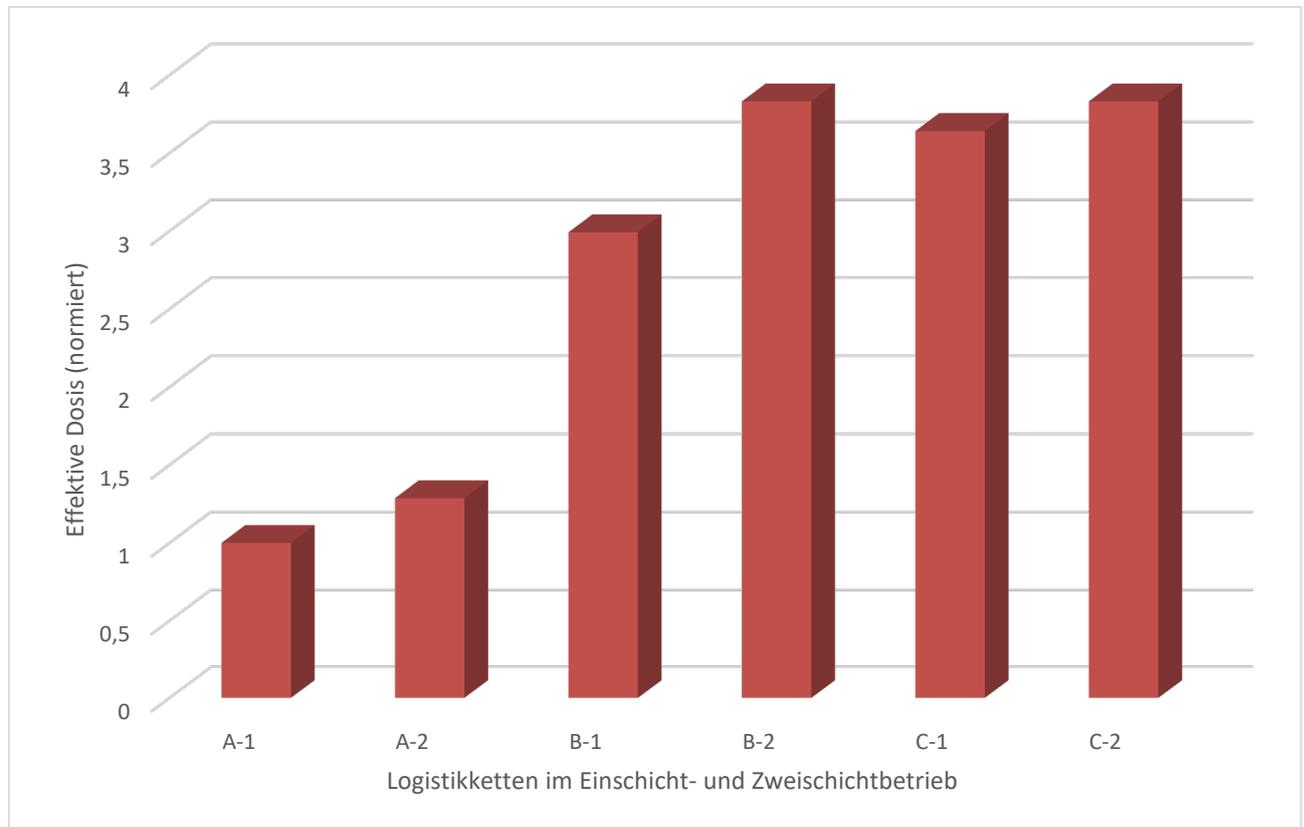


Abbildung 24 Kumulative jährliche Exposition in Form der effektiven Dosis für die Tätigkeitsgruppe LKW-Fahrer. Die effektive Dosis ist auf den kleinsten Dosiswert normiert und stellt das abdeckende Jahr mit den höchsten Dosiswerten dar.

Wie in Abbildung 24 dargestellt, korreliert die kumulative Jahresdosis der LKW-Fahrer nicht linear mit der Strecke in Abbildung 18 und der Zeit in Abbildung 19, da die Betrachtung der Exposition für ein Jahr erfolgt. Die Abbildung 24 zeigt, dass eine Umstellung von Ein- auf Zweischichtbetrieb im Endlager sich sichtbar auf die kumulierte effektive Jahresdosis für die Tätigkeitsgruppe der LKW-Fahrer in einem Jahr auswirkt, da die Gesamtanzahl der Transporte in einem geringeren Zeitraum durchgeführt wird.

Die kumulierte effektive Jahresdosis ist für die dargestellten Tätigkeitsgruppen für die Logistikketten B und C bei Nutzung eines Bereitstellungslagers deutlich größer als für die Logistikkette A. Dabei gilt die gleiche Einordnung wie für die Umstellung von Ein- auf Zweischichtbetrieb. Die erhöhten Dosiswerte resultieren aus einem erhöhten Transportaufkommen insbesondere zu Beginn der Auslagerung Richtung Bereitstellungslager im Vergleich zum Transportaufkommen zum Endlager.

In Abbildung 25 ist für die Zielgröße „Exposition“ die kumulative jährliche Exposition in Form der effektiven Dosis für die am höchsten exponierte Tätigkeitsgruppe der Strahlenschützer

in einem Zwischenlager dargestellt. Die effektive Dosis ist auf den kleinsten Dosiswert normiert und stellt das abdeckende Jahr mit den höchsten Dosiswerten dar. Die Buchstaben A, B und C beziehen sich auf die verschiedenen Logistikketten. Die angehängten Zahlen -1 und -2 beziehen sich auf einen Einschicht- bzw. Zweischichtbetrieb im Endlager.

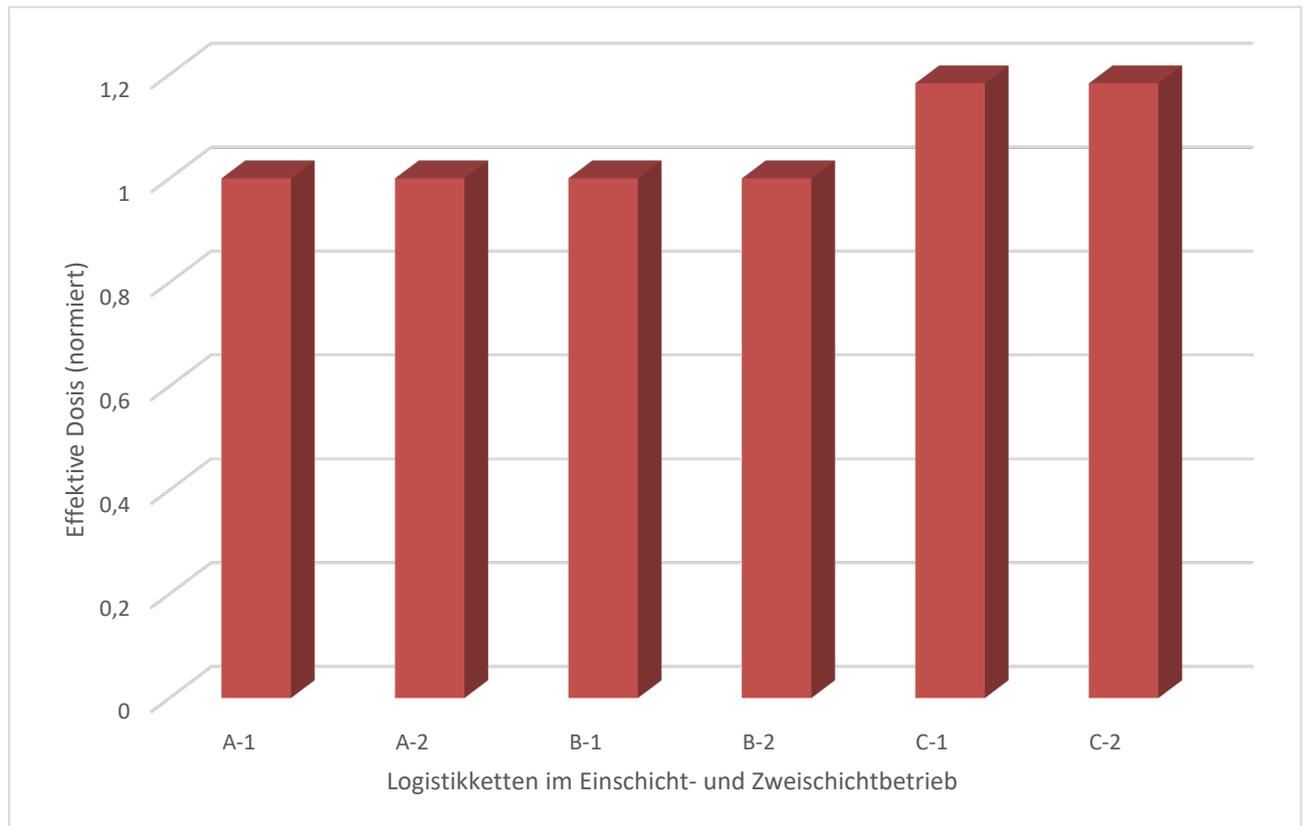


Abbildung 25 Kumulative jährliche Exposition in Form der effektiven Dosis für die Tätigkeitsgruppe Strahlenschützer im Zwischenlager. Die effektive Dosis ist auf den kleinsten Dosiswert normiert und stellt das abdeckende Jahr mit den höchsten Dosiswerten dar

Wie in Abbildung 25 dargestellt, wirkt sich eine Umstellung von Ein- auf Zweischichtbetrieb im Endlager nicht auf die kumulierte effektive Jahresdosis für die Tätigkeitsgruppe der Strahlenschützer im Zwischenlager aus. Bestimmend für diesen Wert ist das Zwischenlager Karlsruhe. Bei einer Erhöhung der Annahmekapazität des Endlagers ist keine erhöhte Auslagerung aus diesem Zwischenlager zu erwarten, sondern nur ein zusätzlicher Abruf aus weiteren Zwischenlagern.

Im Fall der Logistikkette B werden zylindrische Gebinde nur aus den Zwischenlagern der EVU und im Fall der Logistikkette C aus allen Zwischenlagern stehend zum Bereitstellungs-lager transportiert. Da aus dem Zwischenlager Karlsruhe, einem Lager der öffentlichen Hand, stets mit 6 TE pro Tag ausgelagert wird, ergibt sich für die Logistikkette B kein Unter-

schied zur Logistikkette A. Im Fall der Logistikkette C werden mehr Gebinde im Zwischenlager Karlsruhe gehandhabt, weil eine TE im Unterschied zu den anderen Logistikketten aus 4 zylindrischen Gebinden bestehen kann, was zu einer größeren effektiven Jahresdosis führt.

In Abbildung 26 ist für die Zielgröße „Exposition“ die kumulative jährliche Exposition in Form der effektiven Dosis für die Tätigkeitsgruppe Strahlenschützer im Bereitstellungslager dargestellt. Die effektive Dosis ist auf den kleinsten Dosiswert normiert und stellt das abdeckende Jahr mit den höchsten Dosiswerten dar. Die Buchstaben A, B und C beziehen sich auf die verschiedenen Logistikketten. Die angehängten Zahlen -1 und -2 beziehen sich auf einen Einschicht- bzw. Zweischichtbetrieb im Endlager.

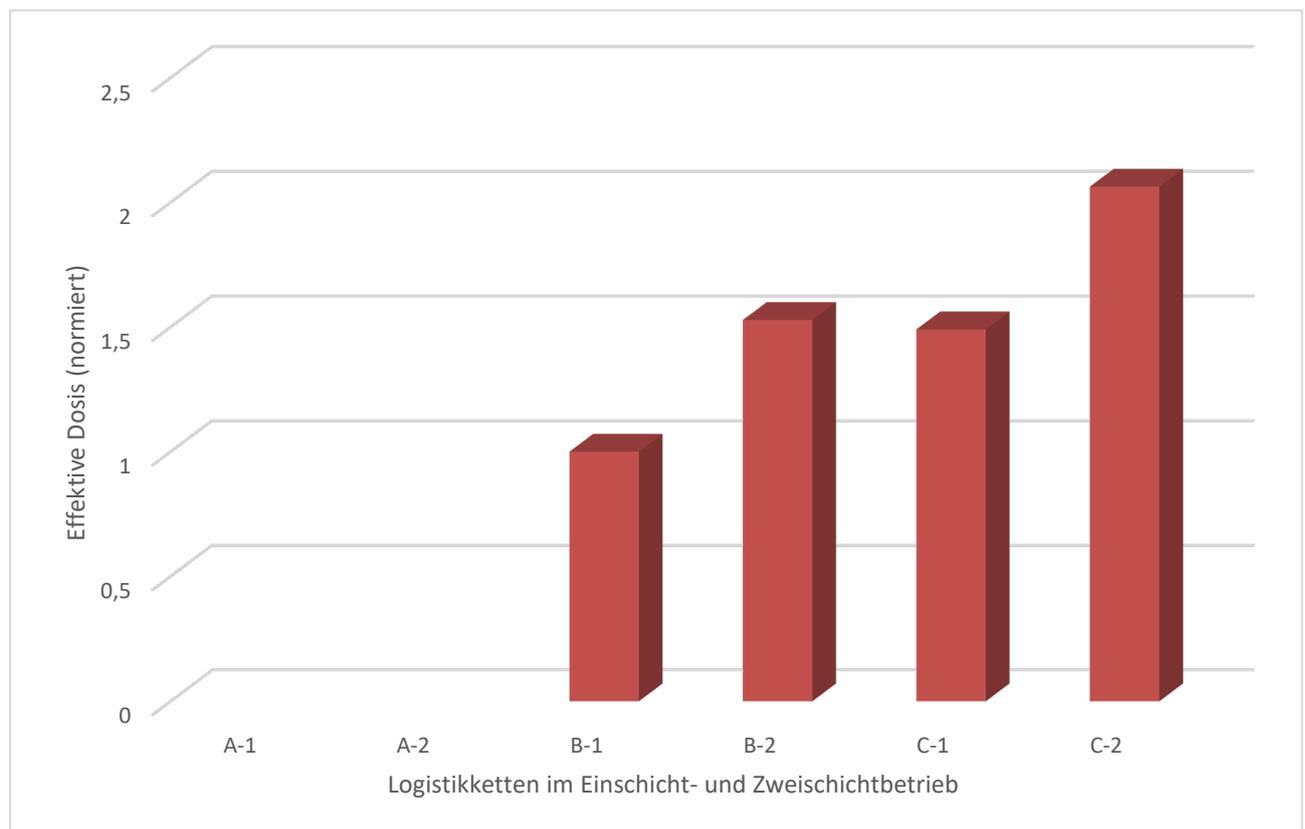


Abbildung 26 Kumulative jährliche Exposition in Form der effektiven Dosis für die Tätigkeitsgruppe Strahlenschützer im Bereitstellungslager. Die effektive Dosis ist auf den kleinsten Dosiswert normiert und stellt das abdeckende Jahr mit den höchsten Dosiswerten dar.

Wie in Abbildung 26 dargestellt, wirkt sich eine Umstellung von Ein- auf Zweischichtbetrieb im Endlager deutlich auf die kumulierte effektive Jahresdosis für die Tätigkeitsgruppe der Strahlenschützer im Bereitstellungslager in einem Jahr aus, da doppelt so viele Auslagevorgänge Richtung Endlager möglich sind und sich entsprechend die Handhabungszeiten erhöhen.

Im Fall der Logistikkette B werden Gebinde nur aus den Zwischenlagern der EVU und im Fall der Logistikkette C aus allen Zwischenlagern zum Bereitstellungslager transportiert. Dies führt bei der Logistikkette C zu einem höheren Durchsatz von Gebinden im Bereitstellungslager und damit auch zu einer höheren Jahresdosis der Tätigkeitsgruppe der Strahlenschützer.

Transportunfall

In Kapitel 3.1.3.4 haben wir beschrieben, dass sich die Randbedingungen im Rahmen dieser Studie für die Berechnung der Exposition durch Transportunfälle nur geringfügig von denen der Transportstudie Konrad /U 3/ unterscheiden, sodass eine Übertragbarkeit hinsichtlich der Freisetzungsteile und der Ausbreitungsberechnung gegeben ist.

In der Transportstudie Konrad /U 3/ wird dargestellt, dass das Individualrisiko als grobe Orientierung abgeschätzt werden sollte, wobei es nur darum ging, die Größenordnung dieses Risikos in etwa zu erfassen. Es wird im Kapitel 8.7.3 von /U 3/ für 80 % Bahntransport und 20 % LKW-Transport abgeleitet, dass die Häufigkeit eines Abfalltransportunfalls in der Standortregion etwa 10^{-6} pro Jahr beträgt, bei dem für Entfernungen um 150 m in der Hauptausbreitungsrichtung – und mit größerem Abstand weiter abnehmend – als Unfallfolge Strahlenexpositionen auftreten können, die der mittleren natürlichen Strahlenexposition eines Jahres von etwa 2,1 mSv/a entsprechen oder diese übersteigen. Die Eintrittshäufigkeit für über den Wert von 2,1 mSv/a hinausgehende Expositionen nimmt dabei entsprechend den Ergebnissen der Transportstudie /U 3/ deutlich ab. Dabei sind bei den berechneten Strahlenexpositionen keine Gegenmaßnahmen in Bezug auf die langfristigen Expositionspfade wie Bodenstrahlung und Ingestion unterstellt worden.

Neben den in Kapitel 3.1.3.4 betrachteten Einflussgrößen ist die freisetzbare Aktivität beim Transport auf der Straße und der Schiene entscheidend für die Bestimmung der Exposition. Wir haben im Rahmen dieser Studie in Übereinstimmung mit der Transportstudie Konrad /U 3/ für den Straßentransport maximal eine TE pro LKW unterstellt. Für den Schienentransport haben wir ebenso in Übereinstimmung mit der Transportstudie Konrad /U 3/ maximal 14 TE pro Wagenverband unterstellt. Zudem haben wir analog zur Transportstudie Konrad /U 3/ beim Transport zum Endlager angenommen, dass eine TE aus einem quaderförmigen Gebinde oder aus im Mittel 1,5 zylindrischen Gebinden besteht. Zusätzlich haben wir angenommen, dass mittels Schienentransport 12 TE zum Bereitstellungslager gebracht werden. Dabei können einzelne TE auch vier zylindrische Gebinde enthalten. Aufgrund des höheren Aktivitätsinventars der quaderförmigen Gebinde wird der Transport von vier zylindrischen Gebinden pro TE durch die 14 TE zum Endlager abdeckend berücksichtigt. Da sich somit die Freisetzungsteile, die Ausbreitungsrechnung und das Aktivitätsinventar nicht relevant

ändern im Vergleich zur Transportstudie Konrad /U 3/, sind die dort /U 3/ ausgewiesenen effektiven Dosiswerte nach Transportunfällen auf unsere Studie übertragbar.

Die Unfallhäufigkeiten der Transportstudie /U 3/ werden jährlich in der Endlagerregion ausgewiesen und setzen sich zusammen aus der Unfallhäufigkeit pro gefahrenem Kilometer und der zurückgelegten Strecke. Die Endlagerregion wurde in einem Umkreis von 25 km um das Endlager definiert. Da die Unfallhäufigkeit vom Beförderungsmittel (LKW oder Güterzug) abhängt, haben wir zunächst den Anteil der Beförderungsmittel in der Logistikkette A bestimmt. Mit Hilfe unseres Berechnungswerkzeuges haben wir für alle zu betrachtenden Strecken bei der Logistikkette A einen Anteil an LKW-Transporten von 30 % der Strecke berechnet. In Hinblick auf die Endlagerregion bedeutet dies im Vergleich zur Transportstudie /U 3/ eine auf niedrigem Niveau erhöhte Eintrittswahrscheinlichkeit. Für die Logistikketten B und C erhöht sich die Wahrscheinlichkeit eines Transportunfalls in der Endlagerregion aufgrund der vermehrten Anlieferung vom Bereitstellungslager zum Endlager über die Schiene insgesamt nicht.

Bei den Logistikketten B und C mit Bereitstellungslager ist aufgrund des erhöhten Transportaufkommens auch die Region um das Bereitstellungslager in Hinblick auf Transportunfälle zu betrachten. Aufgrund unserer Erkenntnisse zur Strecke, zu Beförderungsanteilen über Schiene und Straße und Unfallhäufigkeiten kommen wir zu dem Schluss, dass die Unfallhäufigkeit der Endlagerregion auf die Region des Bereitstellungslagers übertragbar ist.

Somit ist die in der Transportstudie /U 3/ vorgenommene Bewertung der Transportunfallrisiken in der Endlagerregion in der Gesamtheit auf diese Studie übertragbar. Für die Endlagerregion ist daher das Unfallrisiko unabhängig von der betrachteten Logistikkette. In der Region eines Bereitstellungslagers ergibt sich ein entsprechendes Unfallrisiko bei Logistikketten mit einem Bereitstellungslager.

5 Kurzfassung

Diese Kurzfassung der Studie ist in vier Teile gegliedert, in denen wir die Vorgehensweise bei der Bearbeitung beschreiben, näher auf die Modellgrundlagen eingehen, Modellparameter, Eingangs- und Zielgrößen beschreiben und herleiten sowie die Ergebnisse der Bilanzierung darstellen. Wir schließen mit einem Ausblick und einer Schlussbemerkung.

5.1 Vorgehensweise

Auftrag

Die TÜV NORD EnSys GmbH & Co KG wurde mit der „Konzeption und Realisierung eines modellgestützten Berechnungswerkzeugs zur Bilanzierung der Transportstrecken, der Strahlenbelastung und der Zeit für eine Anlieferung mit und ohne Bereitstellungslager an das Endlager Konrad“ beauftragt.

Hinsichtlich der Transportlogistik von den Zwischenlagerstandorten zum Endlager Konrad waren anhand eines eigens zu entwickelnden Berechnungswerkzeugs verschiedene Varianten zu untersuchen und zu bilanzieren:

- In der Logistikkette A werden die Abfälle direkt ans Endlager Konrad abgeliefert.
- In der Logistikkette B werden die Abfälle der Energieversorgungsunternehmen zunächst an ein Bereitstellungslager geliefert und die Abfälle der öffentlichen Hand direkt zum Endlager Konrad geliefert.
- In der Logistikkette C werden alle Abfälle zunächst an ein Bereitstellungslager geliefert, bevor sie von dort ans Endlager Konrad transportiert werden.

Für eine hinsichtlich eines Bereitstellungslagers standortunabhängige Bilanzierung waren 16 verschiedene fiktive Standorte zu variieren, die auf zwei Kreisen im Radius von 50 und 200 km jeweils in den Himmelsrichtungen N, NO, O, SO, S, SW, W, NW um das Endlager Konrad angeordnet sind. Für die Zwischenlager und das Endlager Konrad waren reale Standorte heranzuziehen.

Für jede Logistikkette und jeden Modellstandort eines Bereitstellungslagers sollte am Endlager Konrad sowohl ein Einschicht- als auch ein Zweischichtbetrieb für die Einlagerung unterstellt werden. Für den Abruf der Gebinde war ein vereinfachtes Abrufverfahren zu definieren.

Für die Berechnung und Modellierung erforderliche Annahmen waren aus realen Rahmenbedingungen abzuleiten. Die Ergebnisse sollten bilanziert und vergleichend betrachtet werden.

Bearbeitung

In einem ersten Schritt der Bearbeitung wurden die Modellgrundlagen ermittelt, dazu wurde die Situation am Endlager Konrad, an den Zwischenlagern und an einem Bereitstellungslager beschrieben. Dabei wurden bereits erste Annahmen und Rahmenbedingungen für die Modellierung und Berechnung getroffen. Außerdem wurden die Transportsituation beschrieben und die zu untersuchenden Logistikketten veranschaulicht.

In einem zweiten Schritt wurden die zu bilanzierenden Zielgrößen „Strecke“, „Zeit“ und „Exposition“ als Maß für die Strahlenbelastung eingeführt und die Parameter ermittelt, die diese beeinflussen. Für diese Parameter wurden Werte ermittelt. Hier wurden weitere, zum Teil anhand einer detaillierten Prozessschrittanalyse abgeleitete, Annahmen getroffen.

Für die Umsetzung des Modells unter Berücksichtigung der ermittelten Rahmenbedingungen und Parameter und die Bilanzierung wurde ein Berechnungswerkzeug programmiert und intern validiert.

Mit den definierten Annahmen und Parameterwerten wurden die Berechnungen durchgeführt und Ergebnisse ermittelt. Diese wurden zur Veranschaulichung grafisch dargestellt und in einem letzten Schritt verglichen und analysiert.

5.2 Modellgrundlagen und Modellparameter

Endlagersituation – Endlager Konrad

Für die zukünftige Endlagerung von festen oder verfestigten radioaktiven Abfällen mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung wurde das Endlager Konrad für ein Endlagervolumen von 303.000 m³ genehmigt. Es hat die Aufgabe, die nach den Endlagerungsbedingungen konditionierten und verpackten radioaktiven Abfälle aufzunehmen. Im Einschichtbetrieb können am Endlager Konrad maximal 3400 Transporteinheiten pro Jahr (17 pro Tag) eingelagert werden, im Zweischichtbetrieb maximal 6800 Transporteinheiten (34 pro Tag). Eine Transporteinheit besteht aus einem Transportcontainer, der entweder ein quaderförmiges Gebinde oder mehrere zylindrische Gebinde enthält. Die Dauer des Einlagerungsbetriebs ist für ca. 30 Jahre geplant, hierbei wurde von einem Einschichtbetrieb ausgegangen.

Gebinde, bestehend aus radioaktiven Abfällen und ihrer Verpackung, können nicht in beliebiger Reihenfolge und Zusammensetzung im Endlager eingelagert werden, sodass die Abrufreihenfolge vorauslaufend zu dem Abruf der Gebinde geplant wird. Bei der Planung der Einlagerungskampagnen werden nur solche Gebinde berücksichtigt, für welche anhand einer Überprüfung der Einhaltung der Endlagerungsbedingungen durch die Bundesgesellschaft für Endlagerung (BGE) die Endlagerfähigkeit ohne Einschränkung festgestellt wurde. Diese Gebinde werden als G2-Gebinde bezeichnet.

Zwischenlagersituation

Die Ermittlung des derzeitigen Bestandes der für die Endlagerung vorgesehenen Gebinde wurde unter Verwendung vorliegender Unterlagen aus unterschiedlichen Genehmigungs- und Aufsichtsverfahren diverser Lager sowie Unterlagen des Bundes hinsichtlich des aktuellen Lagerbestandes an Gebinden durchgeführt. Als Gesamtsumme für das Endlager wurden etwa 56.000 Gebinde prognostiziert und auf Basis vereinfachter Annahmen auf 21 Zwischenlagerstandorte verteilt.

Die logistischen Randbedingungen an den Zwischenlagern sind sehr unterschiedlich. Es wurden 3 Kategorien zur Zugänglichkeit von Gebinden unter Berücksichtigung eventuell erforderlicher Umstapelungsvorgänge zur Erreichbarkeit eines Gebindes definiert und die Lager entsprechend zugeordnet. Dabei wurden ein optimales Abrufregime und eine relativ gute Zugänglichkeit der abgerufenen Gebinde unterstellt. Ferner wurde angenommen, dass sich die Aus- und Einlagerung von Gebinden nicht gegenseitig behindern. Für die Betrachtungen wurde des Weiteren angenommen, dass stets eine ausreichende Menge an G2-Gebinden für die Einlagerung im Endlager bereitgestellt werden kann, auch unter Berücksichtigung von sog. „Sondergebinden“, deren Einlagerung weitergehenden Randbedingungen unterliegt.

Planungen zur Errichtung eines Bereitstellungslagers

Gemäß dem Entsorgungsübergangsgesetz aus dem Jahr 2017 kann der für die Zwischenlagerung Beauftragte (d. h. die Bundesgesellschaft für Zwischenlagerung BGZ) ein sog. „zentrales Bereitstellungslager für radioaktive Abfälle mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung als Eingangslager für das Endlager Konrad“ errichten.

Die BGZ hat bereits eine standortunabhängige technische Konzeptbeschreibung für ein solches Bereitstellungslager vorgelegt. Im Rahmen dieser Studie wurde von einem Bereitstellungslager ausgegangen, das die von der BGZ beschriebenen Bedingungen erfüllt. Die Lagerkapazität dieses Bereitstellungslagers soll 60.000 m³ Gebindevolumen betragen, der An-

und Abtransport von Gebinden soll vorzugsweise mit der Bahn und mittels LKW erfolgen. Die An- und Abgabekapazität wurde im Rahmen dieser Studie mit maximal 68 Transporteinheiten pro Tag angenommen. Hinsichtlich der Zugänglichkeit der Gebinde wurden für ein Bereitstellungslager keine Einschränkungen unterstellt.

Gemäß Aufgabenstellung wurden 16 fiktive Standorte für ein Bereitstellungslager berücksichtigt.

Transportmittel

Der Transport der Gebinde zum Endlager Konrad ist per Straße und Schiene vorgesehen. Es wird davon ausgegangen, dass alle Gebinde mit radioaktiven Abfällen, die aus Zwischenlagern oder aus einem Bereitstellungslager zum Endlager transportiert werden sollen, sowohl auf der Straße als auch auf der Schiene mit gebräuchlichen Fahrzeugen transportiert werden können. Sofern ein Zwischenlager-Standort über einen Gleisanschluss verfügt, wurde ausschließlich ein Transport der Gebinde per Schiene angenommen, für die anderen Zwischenlager ein Transport auf der Straße. Zwischen einem Bereitstellungslager und dem Endlager wurde ein Schienentransport angesetzt.

Wir sind davon ausgegangen, dass für den Transport der Gebinde auf dem Schienenweg fahrplanmäßig verkehrende Güterzüge eingesetzt werden, nachdem die Gebinde an einen Rangierbahnhof transportiert worden sind.

Prozessschritte

Die zu untersuchenden Logistikketten A, B und C bestehen aus verschiedenen Prozessschritten, die sich in Prozessschritten an den Handhabungsorten (Zwischenlager, Rangierbahnhof, Bereitstellungslager, Endlager) sowie Transportschritten (Straße, Schiene) klassifizieren und unterschiedlich kombinieren lassen. Im Rahmen dieser Studie wurden diese Prozessschritte analysiert und sowohl mit Arbeitszeiten als auch Expositionszeiten für das Personal für den bestimmungsgemäßen betrieblichen Ablauf hinterlegt. Zusätzlich wurden mögliche Abweichungen von den regulären betrieblichen Abläufen hinsichtlich ihrer Häufigkeit und der Auswirkungen untersucht.

Abrufregime

Zur Anzahl an notwendigen und möglichen Auslagerungsvorgängen, die an den Zwischenlagern durchgeführt, und der Zahl von Gebinden, die dort zu Transporten zusammengestellt werden, wurde ein vereinfachtes Abrufregime mit dem Ziel einer möglichst gleichmäßigen

Leerung der Zwischenlager entwickelt. Es wurde davon ausgegangen, dass die Aus- und Einlagerung an 4 Arbeitstagen/Woche erfolgt. Für die Zwischenlager wurde davon ausgegangen, dass ein Zweischichtbetrieb etabliert werden kann. Für die Logistikkette ohne Bereitstellungslager wurde für die Anlieferung ans Endlager Konrad angesetzt, dass täglich 6 TE aus dem zentralen Zwischenlager Karlsruhe und aus weiteren Zwischenlagern jeweils bis zu 2 TE abgerufen und transportiert werden. Für die Logistikketten mit Bereitstellungslager wurde für die Anlieferung an dieses angesetzt, dass aus dem zentralen Zwischenlager Karlsruhe täglich 6 TE, an Zwischenlagern der EVU jeweils 3 TE und an den Lagern Hanau und Greifswald jeweils 4 TE ausgelagert werden. Für den Schienentransport werden Wagenverbände mit jeweils 10 TE zusammengestellt. Der Transport vom Bereitstellungslager ans Endlager erfolgt mit der Schiene in Wagenverbänden mit jeweils 12 TE.

Das Abrufregime hat einen großen Einfluss auf die Ergebnisse der Bilanzierung.

Zielgrößen

Die Zielgröße „Strecke“ beschreibt die Summe der mit Zügen und LKW gefahrenen Wegstrecken in km, die abhängig ist von den zu überbrückenden Entfernungen und der Anzahl der Transporte. Die zu überbrückenden Entfernungen sind abhängig von den entsprechenden Logistikketten und der Lage der Standorte. Zur Ermittlung der Transportstrecken wurden die Näherungsfaktoren 1,3 und 1,8 zur Umrechnung von Luftlinienentfernung auf Straßenkilometer und Schienenkilometer ermittelt und angesetzt. Die Anzahl der Transporte ist insbesondere beeinflusst vom Lagerbestand an den Lagern, der Anzahl der Transporteinheiten, der Transportkapazität sowie der Entscheidung, wie viele Transporteinheiten pro Schienentransport verschickt werden.

Bei der Zielgröße „Zeit“ wird zwischen der Handhabungszeit als kumulierte Zeit zum Umgang mit Gebinden an den Lagern und an den Rangierbahnhöfen, der Transportzeit als kumulierte Transportzeiten in Abhängigkeit von der Anzahl an Transporten und den jeweiligen Transportentfernungen sowie der Einlagerungs- und Auslagerungsdauer an den Handhabungsorten unterschieden. Die Handhabungszeit wird durch die Gegebenheiten an den jeweiligen Handhabungsorten beeinflusst. Für die Transportzeit spielen neben den für die Zielgröße „Strecke“ genannten Einflussfaktoren auch die Transportgeschwindigkeit sowie Prozessschritte beim Rangieren eine Rolle.

Im Hinblick auf die Auslagerungsdauer aus den Zwischenlagern und die Einlagerungsdauer ins Endlager wurde im Rahmen dieser Studie analysiert, dass die vorlaufende Logistik an den Zwischenlagern grundsätzlich in der Lage ist, den Bedarf am Endlager bei einem Zweischichtbetrieb zu decken. Dabei wurde von einem ausreichenden Personalaufbau an den Zwischenlagern ausgegangen und von einem geringen Anteil an Sondergebinden (ca.

6,5 %). Weiterhin wurde mit einbezogen, dass am Endlager Pufferflächen zur Bereitstellung von Ersatzgebinden zur Verfügung stehen. Aus diesen Gründen wurde abgeleitet, dass Störungen beim Transport im Hinblick auf die Einlagerungsdauer nicht quantitativ betrachtet werden müssen.

Hinsichtlich der Zielgröße „Exposition“ ist zwischen der Exposition aus dem ungestörten Logistikbetrieb und aus Transportunfällen zu unterscheiden. Durch den Logistikbetrieb erfahren das Personal an den Handhabungsorten und das Transportpersonal eine Exposition, für die Bevölkerung ist der Transport einschließlich der Rangierzeiten zu betrachten. Die Exposition ist in erster Linie durch die Handhabungszeit, die Dosisleistung der Gebinde und die Abstände der Personen zu den Gebinden beeinflusst.

Für die Exposition des Personals wurde zur Bilanzierung die kumulative Jahresdosis einer bestimmten Tätigkeitsgruppe betrachtet.

Zur Ermittlung der relevanten Exposition der Bevölkerung wurden z. B. ganzjährig anwesende Anwohner an Transportstrecken mit hohem Abfallverkehrsaufkommen oder Passanten, die sich zum Transportzeitpunkt entlang des Transportweges aufhalten könnten, betrachtet. An den Standorten der Rangierbahnhöfe wurde die maximale jährliche Exposition an dem nächstmöglichen Wohngebäude für die Einzelperson der Bevölkerung bestimmt.

Als Mittelwert der Ortsdosisleistung wurden $25 \mu\text{Sv/h}$ in 1 m Entfernung von zylindrischen Gebinden und in 2 m Entfernung von quaderförmigen Gebinden angesetzt.

5.3 Ergebnisse der Bilanzierung

Die Berechnungsergebnisse hängen unmittelbar von den im Rahmen dieser Studie getroffenen Annahmen und Parameterwerten ab und sind immer in diesem Zusammenhang zu sehen.

Strecke

Im Ergebnis der Bilanzierung der Zielgröße „Strecke“ lässt sich festhalten, dass die Logistikkette A im Vergleich zu den Logistikketten B und C die größte Anzahl an zu fahrenden Transportkilometern verursacht. Dies lässt sich insbesondere auf die Zusammenstellung von größeren Wagenverbänden beim Schienenverkehr für einen Transport über ein Bereitstellungslager zurückführen.

Bei den Logistikketten mit Bereitstellungslager ergibt sich der minimale Wert für die insgesamt zu fahrende Strecke für ein Bereitstellungslager an einem fiktiven Standort in 50 km

Entfernung in Richtung Südwest vom Endlager und der maximale Wert an einem fiktiven Standort eines Bereitstellungslagers in 200 km Entfernung in Richtung Nordost.

Der Einfluss des Ein- oder Zweischichtbetriebs am Endlager Konrad auf die zu fahrenden Kilometer ist sehr gering.

Zeit

Die Bilanzierung der kumulierten Transportzeit korreliert mit den vorher genannten Ergebnissen zur Strecke.

Die Bilanzierung der kumulierten Arbeitszeit für die Handhabung erhöht sich bei den Logistikketten B und C gegenüber A, da durch ein Bereitstellungslager für jedes Gebinde ein zusätzlicher Einlagerungsprozess, ein zusätzlicher Auslagerungsprozess und interne Umlagerungsprozesse entstehen. Dafür werden in Summe mehr Arbeitsstunden benötigt als für das Freistellen eines bestimmten Gebindes im Zwischenlager in der Logistikkette A.

Die Dauer bis zur kompletten Auslagerung aller Gebinde aus den Zwischenlagern ist beim Zweischichtbetrieb im Endlager kürzer als beim Einschichtbetrieb. Die Dauer bis zur kompletten Auslagerung aller Gebinde aus den einzelnen Zwischenlagern ist für die Logistikketten B und C bei Nutzung eines Bereitstellungslagers kürzer als für die Logistikkette A. Die Lager der EVU sind bei den von uns getroffenen Annahmen schneller geleert als die Lager der öffentlichen Hand.

Die Gesamtdauer für die Einlagerung in das Endlager Konrad verringert sich bei einem Zweischichtbetrieb für alle Logistikketten. Im Einschichtbetrieb ergeben sich nur sehr geringe Unterschiede für die Logistikketten A, B und C. Beim Zweischichtbetrieb ist bei der Logistikkette A die Einlagerungsdauer größer als bei den Logistikketten B und C. Dies resultiert daraus, dass zum Ende des Auslagerungsprozesses nur noch aus den Lagern der öffentlichen Hand ausgelagert werden kann, da die Lager der EVU bereits leer sind und so die volle Einlagerungskapazität des Endlagers nicht genutzt werden kann.

Exposition

Die jährliche Exposition der Bevölkerung ist von einem Ein- und Zweischichtbetrieb am Endlager Konrad beeinflusst, da hiervon die Anzahl der zu transportierenden Gebinde abhängt. Aufgrund der hohen Annahmekapazität an einem Bereitstellungslager, die dort zu vielen Transporten führt, erhöht sich bei den Logistikketten B und C die jährliche Exposition für die Bevölkerung gegenüber der Logistikkette A. Der maximale Wert, der die Anwohner an Ran-

gierbahnhöfen betrifft, liegt mit kleiner als 0,2 mSv pro Jahr deutlich unterhalb des Grenzwerts der jährlichen Exposition für Einzelpersonen der Bevölkerung von 1 mSv pro Jahr gemäß den Vorgaben des § 80 Strahlenschutzgesetz /R 3/. Im Vergleich dazu beträgt die durchschnittliche effektive Dosis aus natürlicher Strahlung 2,1 mSv pro Jahr für die Bevölkerung in Deutschland.

Personal, welches sich in den Zwischenlagern bzw. im Bereitstellungslager lange oder/und dicht an den Gebinden aufhält, ist am höchsten exponiert. Durch die zusätzlichen Handhabungsschritte an einem Bereitstellungslager ergibt sich eine zusätzliche Exposition für das dort tätige Personal.

Bestimmend für die jährliche Exposition des Personal in Zwischenlagern ist das Zwischenlager Karlsruhe, da dort die meisten Gebinde ausgelagert werden. Eine Erhöhung der Annahmekapazität des Endlagers beim Wechsel von Ein- auf Zweischichtbetrieb führt zu keiner höheren Exposition des Personals, da keine erhöhte Auslagerung aus diesem Zwischenlager erfolgt, sondern nur ein zusätzlicher Abruf aus einer erhöhten Anzahl von weiteren Zwischenlagern. Im Fall der Logistikkette C werden mehr Gebinde im Zwischenlager Karlsruhe gehandhabt, was zu einer größeren effektiven Jahresdosis führt.

Der Ein- oder Zweischichtbetrieb am Endlager Konrad hat eine Auswirkung auf die jährliche Exposition der Gruppe der LKW-Fahrer, da in kürzerer Zeit mehr Gebinde transportiert werden müssen. Gleiches gilt für das Personal eines Bereitstellungslagers.

Die in der GRS-Transportstudie /U 3/ vorgenommene Bewertung der Transportunfallrisiken in der Endlagerregion ist in ihrer Gesamtheit auf diese Studie übertragbar. Für die Endlagerregion ist daher das Unfallrisiko unabhängig von der betrachteten Logistikkette. In der Region eines Bereitstellungslagers ergibt sich ein entsprechendes Unfallrisiko bei den Logistikketten B und C, bei denen ein Bereitstellungslager angenommen wird.

5.4 Ausblick

Im Rahmen der Bearbeitung wurden einige Aspekte identifiziert, die einen relevanten Einfluss auf das Bilanzierungsergebnis haben oder haben können und daher einer weitergehenden Betrachtung bedürfen. Dies sind beispielsweise die Wahl des Abrufregimes einschließlich der von uns getroffenen Annahmen zur Gebindezugänglichkeit an den Zwischenlagern, die Annahmen zur Kapazität eines Bereitstellungslagers sowie die Berücksichtigung der sog. 1-2-3-Maßnahmen.

6 Fazit

Im Rahmen dieser Studie haben wir ein modellgestütztes Berechnungswerkzeug konzipiert und realisiert.

Ausgehend von bereits vorhandenen Informationen und von durch uns getroffenen Annahmen haben wir die Anlieferung von Gebinden an das Endlager Konrad mit und ohne Bereitstellungslager im Ein- und Zweischichtbetrieb modelliert.

Die dafür durchgeführten Untersuchungen ergaben, dass mit einer geeigneten Vorausplanung des Gebindeabrufs das Endlager Konrad mit und ohne Bereitstellungslager sowohl im Ein- als auch im Zweischichtbetrieb beschickt werden kann.

Mit dem Berechnungswerkzeug haben wir für die von uns getroffenen Annahmen die drei Zielgrößen „Strecke“, „Zeit“ und „Exposition“ berechnet, bilanziert und verglichen:

- Die Transportstrecken und -zeiten nehmen mit einem Bereitstellungslager ab.
- Die Handhabungszeiten und die Exposition des Personals sowie die maximale jährliche Exposition der Bevölkerung nehmen mit einem Bereitstellungslager zu.
- Die Dauer bis zur kompletten Auslagerung aller Gebinde aus den einzelnen Zwischenlagern ist mit einem Bereitstellungslager kürzer.
- Die Gesamtdauer der Einlagerung ist beim Einschichtbetrieb am Endlager Konrad unabhängig von der betrachteten Variante. Beim Zweischichtbetrieb am Endlager Konrad ist die Gesamtdauer der Einlagerung mit Bereitstellungslager kürzer.

Im Rahmen der Untersuchungen zu dieser Studie hat sich gezeigt, dass das gewählte Ab-rufregime an den Zwischenlagern einen signifikanten Einfluss insbesondere auf die Zielgrößen „Strecke“ und „Zeit“ hat und daher weitergehend betrachtet werden sollte.

Es wird versichert, dass diese Studie unparteiisch und nach bestem Wissen und Gewissen frei von Ergebnisweisungen erstellt wurde.

7 Unterlagen

Vom Auftraggeber zur Berücksichtigung vorgegebene Dokumente

- /U 1/ Gesellschaft für Reaktorsicherheit (GRS) mbH
Transportstudie Konrad
Sicherheitsanalyse des Transports radioaktiver Abfälle zum Endlager Konrad
GRS - 84
Juli 1991
- /U 2/ Niedersächsisches Umweltministerium
Planfeststellungsbeschluss für die Errichtung und den Betrieb des Bergwerkes
Konrad in Salzgitter als Anlage zur Endlagerung fester oder verfestigter radio-
aktiver Abfälle mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung
vom 22.05.2002
- /U 3/ Gesellschaft für Reaktorsicherheit (GRS) mbH
Transportstudie Konrad 2009
Sicherheitsanalyse des Transports radioaktiver Abfälle zum Endlager Konrad
GRS - 256
Dezember 2009
- /U 4/ Gesetz zur Regelung des Übergangs der Finanzierungs- und Handlungspflich-
ten für die Entsorgung radioaktiver Abfälle der Betreiber von Kernkraftwerken
(Entsorgungsübergangsgesetz); EntsorgÜG
Ausfertigungsdatum: 27.01.2017
- /U 5/ Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation, Building and Nu-
clear Safety
Joint Convention on the Safety of Spent Fuel Management and on the Safety of
Radioactive Waste Management
Report of the Federal Republic of Germany for the Sixth Review Meeting in May
2018
- /U 6/ Stellungnahme der Entsorgungskommission
Sicherheitstechnische und logistische Anforderungen an ein Bereitstellungsla-
ger für das Endlager Konrad
vom 26.07.2018

- /U 7/ Koalitionsvertrag zwischen CDU, CSU und SPD
Ein neuer Aufbruch für Europa; Eine neue Dynamik für Deutschland; Ein neuer Zusammenhalt für unser Land
19. Legislaturperiode
vom 12. März 2018
- /U 8/ BGZ - Gesellschaft für Zwischenlagerung mbH
Zentrales Bereitstellungslager Konrad (ZBL)
Technische Konzeptbeschreibung
BGZ B 096/2019
vom 25.11.2019
- /U 9/ BGZ - Gesellschaft für Zwischenlagerung mbH
Zentrales Bereitstellungslager Konrad (ZBL)
Anhang - Technische Konzeptbeschreibung
BGZ B 096/2019
vom 25.11.2019
- /U 10/ BGZ - Gesellschaft für Zwischenlagerung mbH
Standortempfehlung „Zentrales Bereitstellungslager Konrad“
vom 28.08.2019
- /U 11/ Öko-Institut e.V. – Institut für angewandte Ökologie
Stellungnahme zur Herleitung der Standortempfehlung „Zentrales Bereitstellungslager Konrad“ der BGZ
vom 08.01.2020
- /U 12/ Öko-Institut e.V. – Institut für angewandte Ökologie
Bewertung der grundsätzlichen Eignung des Standorts Würigassen für die Errichtung und den Betrieb eines Zentralen Bereitstellungslagers Konrad (ZBL)
vom 09.01.2020
- /U 13/ DAHER – DAHER NUCELAR TECHNOLOGIES GmbH; DB NETZE
Betriebsprogrammstudie zur Realisierung des Transportaufkommens zum/vom LoK Würigassen – 08/SP
SV-0741/00-BSR
vom 25.02.2021

- /U 14/ NUSEC – Nuklear-Umwelttechnik, Service, Engineering, Consulting
Technischer Bericht
Studie der Straßenanbindung des Logistikzentrums Konrad (LoK) in Würiggassen
Berichts-Nr. 121, Rev. 0
vom 17.12.2021
- /U 15/ Koalitionsvertrag 2021 – 2015
zwischen DER Sozialdemokratischen Partei Deutschlands (SPD),
BÜNDNIS90 / DIE GRÜNEN und den Freien Demokraten (FDP)
Mehr Fortschritt wagen; Bündnis für Freiheit, Gerechtigkeit und Nachhaltigkeit
- /U 16/ Niedersächsisches Ministerium für Umwelt, Energie, Bauen und Klimaschutz
Leistungsbeschreibung zur Vergabe
Studie: Konzeption und Realisierung eines modellgestützten Berechnungswerk-
zeugs zur Bilanzierung der Transportstrecken, der Strahlenbelastung und der
Zeit für eine Anlieferung mit und ohne Bereitstellungslager an das Endlager
Konrad inkl. Anlage
Az.: 41-2021, Version 1

Zusätzliche Dokumente

- /U 17/ Bundesamt für Strahlenschutz, BfS
Systembeschreibung Einlagerungssystem, Bd. 1 und 2
EU 208
vom 20.02.1997
- /U 18/ Bundesamt für Strahlenschutz, BfS
Anforderungen an endzulagernde radioaktive Abfälle
(Endlagerungsbedingungen, Stand: Dezember 2014)
Endlager Konrad
Fachbereich Sicherheit nukleare Entsorgung
vom 18.12.2014
- /U 19/ BGZ - Gesellschaft für Zwischenlagerung mbH
Logistikzentrum Konrad – Aktueller Stand
9. Symposium Lagerung und Transport radioaktiver Stoffe
07. bis 08.09.2021

- /U 20/ Bundesamt für Strahlenschutz, BfS
Systembeschreibung Abruf und Einlagerungsvorgang
(Verknüpfungen, Meldungen, Aufschreibungen)
EU 226
vom 25.02.1997
- /U 21/ Dr. Philip J. Harding, Brenk Systemplanung GmbH
Dipl.-Ing. Jost Kolb, Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH
Vollautomatisierte Abrufplanung von Gebinden unter Berücksichtigung der
Transport und Lagerlogistik sowie von radiologischen Randbedingungen in das
Endlager Konrad
Tagungsband des 14. Internationalen Symposiums "Konditionierung radioakti-
ver Betriebs- und Stilllegungsabfälle" einschließlich des 14. Statusberichts des
BMBF „Stilllegung und Rückbau kerntechnischer Anlagen“
27.-29. März 2019
- /U 22/ Bundesamt für Strahlenschutz, BfS
Endlager Konrad, Produktkontrolle radioaktiver Abfälle, radiologische Aspekte –
Endlager Konrad, Stand: Oktober 2010)
Fachbereich Sicherheit nukleare Entsorgung
SE-IB-30/08-REV-1 vom Oktober 2010
- /U 23/ Bundesamt für Strahlenschutz, BfS
Technische Beschreibung des Sonderbehandlungsraumes, der Einbauten, Ge-
räte und Betriebsabfälle
EU 173
vom 20.02.1997
- /U 24/ Bundesamt für Strahlenschutz, BfS
Planung Grubengebäude
EU 279
vom 20.02.1997
- /U 25/ Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH, BGE
Konzept Abruflogistik – Endlager Konrad
vom 08.06.2017
- /U 26/ Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit
Verzeichnis radioaktiver Abfälle
(Bestand zum 31. Dezember 2019 und Prognose)
Januar 2021

- /U 27/ Deutscher Bundestag
19. Wahlperiode
Drucksache 19/32620
Antwort der Bundesregierung auf die Kleine Anfrage der Abgeordneten Hubertus Zdebel, Victor Perli, Lorenz Gösta Beutin, weiterer Abgeordneter und der Fraktion DIE LINKE.– Drucksache 19/32318 –
Kosten und Verteilung schwach- und mittelradioaktiver Abfälle in den Zwischenlagern der Bundesgesellschaft für Zwischenlagerung mbH
29.09.2021
- /U 28/ KTE – Kerntechnische Entsorgung Karlsruhe
Qualifizierungs- und Überwachungskonzept der KTE
Umsetzung der ESK-Leitlinien für die Zwischenlagerung radioaktiver Abfälle it vernachlässigbarer Wärmeentwicklung
9. Symposium Lagerung und Transport radioaktiver Stoffe
08.09.2021
- /U 29/ EMPFEHLUNG der Entsorgungskommission
Leitlinien für die Zwischenlagerung von radioaktiven Abfällen mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung
Stand vom 09.12.2021
- /U 30/ Destatis
Eisenbahnverkehr
Betriebsdaten des Schienenverkehrs
Fachserie 8, Reihe 2.1
2020
Erschienen am 15. Oktober 2021
- /U 31/ Destatis
Verkehrsunfälle
Unfälle von Güterkraftfahrzeugen im Straßenverkehr
2020
Artikelnummer: 5462410-20700-4
Erschienen am 7. Januar 2022
- /U 32/ Forschungs-Informations-System (FIS)
Bundesministerium für Digitales und Verkehr (BMDV)
Betriebstechnische Grenzparameter für Güterzüge
Stand des Wissens: 23.09.2020
Internetrecherche vom 25.04.2022

- /U 33/ Empfehlung der Strahlenschutzkommission
Störfallberechnungsgrundlagen zu § 49 StrlSchV
Neufassung des Kapitels 4: Berechnung der Strahlenexposition
Verabschiedet in der 186. Sitzung der SSK am 11.09.2003
- /U 34/ Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH
Überprüfung des unfallbedingten Freisetzungsverhaltens bei der Beförderung
radioaktiver Stoffe
GRS-482
Oktober 2017
- /U 35/ Routenplanung für verschiedene Start- und Endkoordinaten innerhalb von
Deutschland, Google Maps, Mai 2022, maps.google.com.
- /U 36/ Online-Service der BRouter Routing Engine basierend auf OpenStreetMap, Ent-
fernungsbestimmung für verschiedene Start- und Endkoordinaten innerhalb von
Deutschland mit der Eisenbahn,
https://brouter.de/brouter-web/#map=5/51.656/17.271/osm-mapnik-german_style&profile=rail
- /U 37/ Boscoe, F. P., Henry, K. A., and Zdeb, M. S. (2012). A Nationwide Comparison
of Driving Distance Versus Straight-Line Distance to Hospitals. The Profes-
sional Geographer: The Journal of the Association of American Geographers,
64(2), 10.1080/00330124.2011.583586.
<https://doi.org/10.1080/00330124.2011.583586>

Regelwerk

- /R 1/ Atomrechtliche Entsorgungsverordnung
Verordnung über Anforderungen und Verfahren zur Entsorgung radioaktiver Ab-
fälle (Atomrechtliche Entsorgungsverordnung – AtEV) vom 29. November 2018
(BGBl. I S. 2034, 2172; 2021 I S. 5261)
- /R 2/ Atomgesetz
Gesetz über die friedliche Verwendung der Kernenergie und den Schutz gegen
ihre Gefahren (Atomgesetz - AtG) in der Fassung der Bekanntmachung vom
15. Juli 1985 (BGBl. I S. 1565), zuletzt geändert durch die Bekanntmachung
vom 3. Januar 2022 (BGBl. I S. 14)

- /R 3/ Strahlenschutzgesetz
Gesetz zum Schutz vor der schädlichen Wirkung ionisierender Strahlung (Strahlenschutzgesetz - StrlSchG) vom 27. Juni 2017 (BGBl. I S. 1966), zuletzt geändert durch die Bekanntmachung vom 3. Januar 2022 (BGBl. I S. 15)
- /R 4/ Verordnung über die innerstaatliche und grenzüberschreitende Beförderung gefährlicher Güter auf der Straße, mit Eisenbahnen und auf Binnengewässern) (Gefahrgutverordnung Straße, Eisenbahn und Binnenschifffahrt - GGVSEB) in der Fassung der Bekanntmachung vom 26. März 2021 (BGBl. I S. 481), die zuletzt durch Artikel 3 Absatz 5 des Gesetzes vom 2. Juni 2021 (BGBl. I S. 1295) geändert worden ist"
- /R 5/ Anlagen A und B zu dem Übereinkommen vom 30. September 1957 über die internationale Beförderung gefährlicher Güter auf der Straße (ADR) vom 16. November 2021 (BGBl. II Nr. 24 vom 25.11.2021 S. 1184)
- /R 6/ Straßenverkehrs-Ordnung (StVO)
Stand: Zuletzt geändert durch Art. 13 G v. 12.7.2021 I 3091
- /R 7/ Eisenbahn-Bau- und Betriebsordnung (EBO)
Stand: Zuletzt geändert durch Art. 2 V v. 5.4.2019 I 479
- /R 8/ Öffentlich-rechtlicher Vertrag zwischen der Bundesrepublik Deutschland, den EVU und weiteren Gesellschaften sowie der Landeshauptstadt München zur Umsetzung des Entsorgungskonsens, den der am 27. April 2016 verabschiedete Abschlussbericht der Kommission zur Überprüfung der Finanzierung des Kernenergieausstiegs anstrebte
Berlin, 26.06.2017
- /R 9/ Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) [StrlSchV-2001]
Verordnung über den Schutz vor Schäden durch ionisierende Strahlen (Strahlenschutzverordnung – StrlSchV) vom 20. Juli 2001 (BGBl. I S. 1714; 2002 I S. 1459), die zuletzt durch nach Maßgabe des Artikel 10 durch Artikel 6 des Gesetzes vom 27. Januar 2017 (BGBl. I S. 114, 1222) geändert worden ist
- /R 10/ Verordnung zum Schutz vor der schädlichen Wirkung ionisierender Strahlung (Strahlenschutzverordnung - StrlSchV) vom 29. November 2018 (BGBl. I S. 2034, 2036), die zuletzt durch Artikel 1 der Verordnung vom 8. Oktober 2021 (BGBl. I S. 4645) geändert worden ist

Bilanzierungsstudie

August 2022

/R 11/ DIN EN 60812. Fehlzustandsart- und -auswirkungsanalyse (FMEA). Entwurf
August 2015

A Anhang

A.1 Anhang - Prozessschrittanalyse

A.1.1 Prozessschrittanalyse Zwischenlager

A.1.1.1 Prozessschrittzeiten Zwischenlager

ID	Prozessschritt	Ergänzende Beschreibung	Typ Schritt	Min. Zeit [min]	Max. Zeit [min]	Annahme [min]
ZL-0	Abruf eines Gebindes	Entscheidung des ZBL- oder EL-Betreibers, dass Gebinde angeliefert werden sollen; Trigger für den Prozess		-	-	-
ZL-1	Bereitstellen des Personals	Bereitstellen Personal		5	30	10
ZL-2	Bereitstellen der Handhabungseinrichtungen	Bereitstellen Hebezeuge / Handhabungseinrichtungen		5	30	10
ZL-3	Freistellen eines Gebindes	Die angefragten Gebinde werden freigestellt	Handhabung	-	-	-
ZL-4	Anschlagen des Gebindes	Gebinde anschlagen	An-/Abschlagen	5	15	10
ZL-5	Transport des Gebindes	Transport Gebinde vom Lagerplatz zum Messplatz	Transport (Kran oder Flurförderfahrzeug)	5	15	10
ZL-6	Abschlagen des Gebindes	Gebinde abschlagen	An-/Abschlagen	3	10	5
ZL-7a	Ausgangsmessung Gebinde (Konrad-Container)	Dosisleistung, Kontamination messen	Messung	45	90	60
ZL-7b	Ausgangsmessung Gebinde (Rundgebilde)	Dosisleistung, Kontamination messen	Messung	30	60	40
ZL-8	Anschlagen des Gebindes	Gebinde anschlagen	An-/Abschlagen	5	15	10
ZL-9	Transport des Gebindes	Transport des Gebindes vom Messplatz in den auf dem Transportfahrzeug befindlichen Transportcontainer	Transport (Kran oder Flurförderfahrzeug)	5	15	10
ZL-10	Abschlagen des Gebindes	Gebinde abschlagen inkl. Ladungssicherung, daher hier auch längere Zeiten als bei ZL-6	An-/Abschlagen	10	20	15
ZL-11	Radiologische Ausgangsmessungen Transportfahrzeug und Ladung	Dosisleistung messen	Messung	10	30	20

ID	Prozessschritt	Ergänzende Beschreibung	Typ Schritt	Min. Zeit [min]	Max. Zeit [min]	Annahme [min]
ZL-12	Transport des beladenen Transportcontainers	Transport des Transportcontainers auf dem Anlagengelände mit dem Transportfahrzeug zum Werktor	Transport (Transportfahrzeug)	15	25	20
ZL-13	Unterlagenprüfung	Sicht- und Unterlagenkontrolle am Werktor		5	30	10

A.1.1.2 Radiologische Aspekte Zwischenlager

ID	Bevölkerung radiologisch relevant	Beruflich exponierte Personen	Person radiologisch relevant?	minimaler Abstand (bei Exposition durch einzelnes Gebinde)	Zeitfaktor minimaler Abstand	Erklärung Zeitfaktor
ZL-0	Nein	-	Nein	-	-	
ZL-1	Nein	-	Nein	-	-	
ZL-2	Nein	-	Nein	-	-	
ZL-3	Nein	ZL-P-2 ZL-P-3	Ja	2 m 3 m	0,2 0,2	Handhabung erfolgt i.d.R. fernbedient. Wenige Lager haben Flurförderfahrzeuge, dort ist der Fahrer dann näher am Gebinde. Daher (im Schnitt) 0,2 für Fahrer des Flurförderfahrzeuges sowie 0,2 für einen Einweiser
ZL-4	Nein	ZL-P-2 ZL-P-3	Ja	2 m	0,2 0,2	Handhabung erfolgt i.d.R. fernbedient. 2 Personen zur Einweisung/Kontrolle
ZL-5	Nein	ZL-P-2 ZL-P-3	Ja	2 m	0,2 0,2	Handhabung erfolgt i.d.R. fernbedient. Wenige Lager haben Flurförderfahrzeuge, dort ist der Fahrer dann näher am Gebinde. Daher (im Schnitt) 0,2 für Fahrer des Flurförderfahrzeuges sowie 0,2 für einen Einweiser
ZL-6	Nein	ZL-P-2 ZL-P-3	Ja	2 m	0,2 0,2	Handhabung erfolgt i.d.R. fernbedient. 2 Personen zur Einweisung/Kontrolle
ZL-7a	Nein	ZL-P-5	Ja	1m, 2m	0,05 / 0,25	Direkter Kontakt am Behälter nur für Wischtestnahme (3 Minuten), Dosisleistungsmessung erfolgt mit Tele (15 Minuten)

ID	Bevölkerung radiologisch relevant	Beruflich exponierte Personen	Person radiologisch relevant?	minimaler Abstand (bei Exposition durch einzelnes Gebinde)	Zeitfaktor minimaler Abstand	Erklärung Zeitfaktor
ZL-7b	Nein	ZL-P-5	Ja	1m, 2m	0,08 / 0,25	Direkter Kontakt am Behälter nur für Wischtestnahme (3 Minuten), Dosisleistungsmessung erfolgt mit Tele (10 Minuten)
ZL-8	Nein	ZL-P-2 ZL-P-3	Ja	2 m	0,2 0,2	Handhabung erfolgt i.d.R. fernbedient. 2 Personen zur Einweisung/Kontrolle
ZL-9	Nein	ZL-P-2 ZL-P-3	Ja	2 m	0,2 0,2	Handhabung erfolgt i.d.R. fernbedient. 2 Personen zur Einweisung/Kontrolle
ZL-10	Nein	ZL-P-2 ZL-P-3	Ja	1 m	0,2 0,2	Anbringen Transportsicherung
ZL-11	Nein	ZL-P-5	Ja	2 m	0,5	DL-Messung Fahrzeug / Versandstück
ZL-12	Nein	ZL-P-2	Ja	3m	0,5	Keine DL für den Fahrer, aber eine Person läuft neben dem Transportfahrzeug her / Einweiser
ZL-13	Nein	ZL-P-4 oder ZL-P-6 ZL-P-7	Ja	-	-	keine Person im Strahlenfeld

A.1.2 Prozessschrittanalyse Rangierbahnhof

A.1.2.1 Prozessschrittzeiten Rangierbahnhof

ID	Prozessschritt	Ergänzende Beschreibung	Min. Zeit [min]	Max. Zeit [min]	Annahme [min]
RB-1	Bereitstellen des Personals	Bereitstellen Personal	5	30	10
RB-2	Begleitpapiere prüfen	Überprüfung der Übereinstimmung der Begleitpapiere mit den Daten der angekündigten Anlieferung im System	5	30	10
RB-3	Eisenbahnwagen/Wagenverband abkoppeln	Eisenbahnwagen/Wagenverband mit dem Gebinde vom anliefernden Zug abkoppeln	15	30	20
RB-4	Eisenbahnwagen/Wagenverband verschieben	Eisenbahnwagen/Wagenverband mit dem Gebinde auf dem Rangierbahnhof verschieben	30	60	45
RB-5	Eisenbahnwagen/Wagenverband ankoppeln	Eisenbahnwagen/Wagenverband mit dem Gebinde an den weiterführenden Zug ankoppeln	15	30	20

A.1.2.2 Radiologische Aspekte Rangierbahnhof

ID	Bevölkerung radiologisch relevant	Beruflich exponierte Personen	Person radiologisch relevant?	minimaler Abstand (bei Exposition durch einzelnes Gebinde)	Zeitfaktor minimaler Abstand	Erklärung Zeitfaktor
RB-1	Nein	-	Nein	-	-	-
RB-2	Ja	RB-P-1 RB-P-2 RB-P-3	Ja	-	-	keine Person im Strahlenfeld
RB-3	Ja	RB-P-1 RB-P-2 RB-P-3	Ja	5m	1	-
RB-4	Ja	RB-P-1 RB-P-2 RB-P-3	Ja	5m	1	-
RB-5	Ja	RB-P-1 RB-P-2 RB-P-3	Ja	5m	1	-

A.1.3 Prozessschrittanalyse Bereitstellungslager Einlagerung

A.1.3.1 Prozessschrittzeiten Bereitstellungslager Einlagerung

ID	Prozessschritt	Ergänzende Beschreibung	Typ Schritt	Min. Zeit [min]	Max. Zeit [min]	Annahme [min]
ZBL-1	Bereitstellen des Personals			5	30	10
ZBL-2	Bereitstellen der Handhabungseinrichtungen			5	30	10
ZBL-3	Sicht- und Unterlagenkontrolle	Sicht- und Unterlagenkontrolle vor dem Werktor	Unterlagenprüfung	5	30	10
ZBL-4	Transport der Transportcontainer	Transport der Transportcontainer auf dem anliefernden Fahrzeug auf dem Anlagengelände vor den Verladebereich 1/Halle 5	Transport (Transportfahrzeug)	15	25	20
ZBL-5	Öffnen des Transportcontainers		Handhabung	5	15	10
ZBL-6a	Radiologische Eingangsmessung (Konrad-Container)	Dosisleistung, Kontamination messen	Messung	45	90	60
ZBL-6b	Radiologische Eingangsmessung (Rundgebände)	Dosisleistung, Kontamination messen	Messung	30	60	40
ZBL-7	Anschlagen des Gebindes		An-/Abschlagen	5	15	10
ZBL-8	Transport des Gebindes	Transport des Gebindes mithilfe des Portalkrans auf die Förderanlage des Verladebereichs 1	Transport (Kran)	5	15	10
ZBL-9	Abschlagen des Gebindes		An-/Abschlagen	3	10	5
Optionale Schritte 10 bis 17 zur Durchführung einer zusätzlichen Eingangsmessung						
ZBL-10	Transport des Gebindes	Transport des Gebindes mithilfe der Förderanlage in den Verladebereich 1	Transport (Förderanlage)	5	15	10
ZBL-11	Anschlagen des Gebindes		An-/Abschlagen	5	15	10
ZBL-12	Transport des Gebindes	Transport des Gebindes mithilfe des Krans der Halle 5 zur Messstation in Halle 5	Transport (Kran)	5	15	10
ZBL-13	Abschlagen des Gebindes		An-/Abschlagen	3	10	5
ZBL-14a	Weitere radiologische Eingangsmessungen (Konrad-Container)	Dosisleistung, Kontamination messen	Messung	45	90	60
ZBL-14b	Weitere radiologische Eingangsmessungen (Rundgebände)	Dosisleistung, Kontamination messen	Messung	30	60	40

ID	Prozessschritt	Ergänzende Beschreibung	Typ Schritt	Min. Zeit [min]	Max. Zeit [min]	Annahme [min]
ZBL-15	Anschlagen des Gebindes		An-/Abschlagen	5	15	10
ZBL-16	Transport des Gebindes	Transport des Gebindes mithilfe des Krans der Halle 5 zur Förderanlage des Verladebereichs 1	Transport (Förderanlage)	5	15	10
ZBL-17	Abschlagen des Gebindes		An-/Abschlagen	3	10	5
Ende der optionalen Schritte zur Durchführung einer zusätzlichen Eingangsmessung						
ZBL-18	Transport des Gebindes	Transport des Gebindes mithilfe der Förderanlage des Verladebereichs 1 bis zum Abschirmtor einer der Hallen 2-4	Transport (Förderanlage)	5	15	10
ZBL-19	Anschlagen des Gebindes		An-/Abschlagen	5	15	10
ZBL-20	Transport des Gebindes	Transport des Gebindes mithilfe des Krans einer der Hallen 2-4 zum Stellplatz	Transport (Kran)	5	15	10
ZBL-21	Abschlagen des Gebindes		An-/Abschlagen	3	10	5

A.1.3.2 Radiologische Aspekte Bereitstellungslager Einlagerung

ID	Bevölkerung radiologisch relevant	Beruflich exponierte Personen	Person radiologisch relevant?	minimaler Abstand (bei Exposition durch einzelnes Gebinde)	Zeitfaktor minimaler Abstand	Erklärung Zeitfaktor
ZBL-1	Nein	-	Nein	-	-	
ZBL-2	Nein	-	Nein	-	-	
ZBL-3	Nein	ZL-P-4 oder ZL-P-6 oder RB-P-3 ZBL-P-1	Ja	-	-	keine Person im Strahlenfeld
ZBL-4	Nein	ZBL-P-3	Ja	3 m	0,5	Keine DL für den Fahrer, aber eine Person läuft neben dem Transportfahrzeug her / Einweiser
ZBL-5	Nein	ZBL-P-4 ZBL-P-3	Ja	1 m	0,2 0,2	Entfernen Transportsicherung
ZBL-6a	Nein	ZBL-P-5	Ja	1m, 2m	0,05 / 0,25	Direkter Kontakt am Behälter nur für Wischtestnahme (3 Minuten), Dosisleistungsmessung erfolgt mit Tele (15 Minuten)

ID	Bevölkerung radiologisch relevant	Beruflich exponierte Personen	Person radiologisch relevant?	minimaler Abstand (bei Exposition durch einzelnes Gebinde)	Zeitfaktor minimaler Abstand	Erklärung Zeitfaktor
ZBL-6b	Nein	ZBL-P-5	Ja	1m, 2m	0,08 / 0,25	Direkter Kontakt am Behälter nur für Wischtestnahme (3 Minuten), Dosisleistungsmessung erfolgt mit Tele (10 Minuten)
ZBL-7	Nein	ZBL-P-4 ZBL-P-3	Ja	2 m	0,2 0,2	Handhabung erfolgt i.d.R. fernbedient. 2 Personen zur Einweisung/Kontrolle
ZBL-8	Nein	ZBL-P-3	Ja	3 m	0,5	eine Person läuft nebenher
ZBL-9	Nein	ZBL-P-4 ZBL-P-3	Ja	2 m	0,2 0,2	Handhabung erfolgt i.d.R. fernbedient. 2 Personen zur Einweisung/Kontrolle
Optionale Schritte 10 bis 17 zur Durchführung einer zusätzlichen Eingangsmessung						
ZBL-10	Nein	ZBL-P-3	Ja	3 m	0,5	eine Person läuft nebenher
ZBL-11	Nein	ZBL-P-4 ZBL-P-3	Ja	2 m	0,2 0,2	Handhabung erfolgt i.d.R. fernbedient. 2 Personen zur Einweisung/Kontrolle
ZBL-12	Nein	ZBL-P-3	Ja	3 m	0,5	eine Person läuft nebenher
ZBL-13	Nein	ZBL-P-4 ZBL-P-3	Ja	2 m	0,2 0,2	Handhabung erfolgt i.d.R. fernbedient. 2 Personen zur Einweisung/Kontrolle
ZBL-14a	Nein	ZBL-P-5	Ja	1m, 2m	0,05 / 0,25	Direkter Kontakt am Behälter nur für Wischtestnahme (3 Minuten), Dosisleistungsmessung erfolgt mit Tele (15 Minuten)
ZBL-14b	Nein	ZBL-P-5	Ja	1m, 2m	0,08 / 0,25	Direkter Kontakt am Behälter nur für Wischtestnahme (3 Minuten), Dosisleistungsmessung erfolgt mit Tele (10 Minuten)
ZBL-15	Nein	ZBL-P-4 ZBL-P-3	Ja	2 m	0,2 0,2	Handhabung erfolgt i.d.R. fernbedient. 2 Personen zur Einweisung/Kontrolle
ZBL-16	Nein	ZBL-P-3	Ja	3 m	0,5	eine Person läuft nebenher
ZBL-17	Nein	ZBL-P-4 ZBL-P-3	Ja	2 m	0,2 0,2	Handhabung erfolgt i.d.R. fernbedient. 2 Personen zur Einweisung/Kontrolle
Ende der optionalen Schritte zur Durchführung einer zusätzlichen Eingangsmessung						
ZBL-18	Nein	ZBL-P-3	Ja	3 m	0,5	eine Person läuft nebenher
ZBL-19	Nein	ZBL-P-4 ZBL-P-3	Ja	2 m	0,2 0,2	Handhabung erfolgt i.d.R. fernbedient. 2 Personen zur Einweisung/Kontrolle
ZBL-20	Nein	ZBL-P-3	Ja	3 m	0,5	eine Person läuft nebenher

ID	Bevölkerung radiologisch relevant	Beruflich exponierte Personen	Person radiologisch relevant?	minimaler Abstand (bei Exposition durch einzelnes Gebinde)	Zeitfaktor minimaler Abstand	Erklärung Zeitfaktor
ZBL-21	Nein	ZBL-P-4 ZBL-P-3	Ja	2 m	0,2 0,2	Handhabung erfolgt i.d.R. fernbedient. 2 Personen zur Einweisung/Kontrolle

A.1.4 Prozessschrittanalyse Bereitstellungslager Auslagerung

A.1.4.1 Prozessschrittzeiten Bereitstellungslager Auslagerung

ID	Prozessschritt	Ergänzende Beschreibung	Typ Schritt	Min. Zeit [min]	Max. Zeit [min]	Annahme [min]
ZBL-22	Bereitstellen des Personals			5	30	10
ZBL-23	Bereitstellen der Handhabungseinrichtungen			5	30	10
ZBL-24	Anschlagen eines leeren Transportcontainers			-	-	-
ZBL-25	Transport des leeren Transportcontainers	Transport des leeren Transportcontainers von der Pufferfläche in Halle 1 oder der Wetterschutzhalle mithilfe des Krans der Halle 1 oder der Förderanlage der Wetterschutzhalle zur Messstation in Halle 1		-	-	-
ZBL-26	Abschlagen des leeren Transportcontainers			-	-	-
ZBL-27	Öffnen des leeren Transportcontainers			-	-	-
ZBL-28	Anschlagen des Gebindes		An-/Abschlagen	5	15	10
ZBL-29	Transport des Gebindes	Transport des Gebindes von seinem Stellplatz in einer der Hallen 2-4 mithilfe des Krans einer der Hallen 2-4 in den Verladebereich 2	Transport (Kran)	5	15	10
ZBL-30	Abschlagen des Gebindes		An-/Abschlagen	3	10	5
ZBL-31	Transport des Gebindes	Transport des Gebindes mithilfe der Förderanlage des Verladebereichs 2 in Halle 1	Transport (Förderanlage)	5	15	10
ZBL-32	Anschlagen des Gebindes		An-/Abschlagen	5	15	10

ID	Prozessschritt	Ergänzende Beschreibung	Typ Schritt	Min. Zeit [min]	Max. Zeit [min]	Annahme [min]
ZBL-33	Transport des Gebindes	Transport des Gebindes mithilfe des Krans der Halle 1 in den leeren Transportcontainer	Transport (Kran)	5	15	10
ZBL-34	Abschlagen des Gebindes		An-/Abschlagen	3	10	5
ZBL-35a	Radiologische Kontrolle des Gebindes und des Transportcontainers (Konrad-Container)	Dosisleistung, Kontamination messen	Messung	45	90	60
ZBL-35b	Radiologische Kontrolle des Gebindes und des Transportcontainers (Rundgebinde)	Dosisleistung, Kontamination messen	Messung	30	60	40
ZBL-36	Anschlagen des beladenen Transportcontainers	Anschlagen inkl. vorheriger Ladungssicherung im Transportcontainer, daher hier verlängerte Zeiten gegenüber „sonstigem“ Anschlagen	An-/Abschlagen	10	20	15
ZBL-37	Transport des beladenen Transportcontainers	Transport des beladenen Transportcontainers mithilfe des Krans in Halle 1 zur Bereitstellfläche	Transport (Kran)	5	15	10
ZBL-38	Abschlagen des beladenen Transportcontainers		An-/Abschlagen	3	10	5
ZBL-39	Anschlagen des beladenen Transportcontainers		An-/Abschlagen	5	15	10
ZBL-40	Transport des beladenen Transportcontainers	Transport des beladenen Transportcontainers mithilfe des Krans in Halle 1 auf die Förderanlage des Verladebereichs 2	Transport (Kran)	5	15	10
ZBL-41	Abschlagen des beladenen Transportcontainers		An-/Abschlagen	3	10	5
ZBL-42	Transport des beladenen Transportcontainers	Transport des beladenen Transportcontainers mithilfe der Förderanlage des Verladebereichs 2 nach draußen	Transport (Förderanlage)	5	15	10
ZBL-43	Anschlagen des beladenen Transportcontainers		An-/Abschlagen	5	15	10
ZBL-44	Transport des beladenen Transportcontainers	Transport des beladenen Transportcontainers mithilfe des Portalkrans auf den Containertragwagen	Transport (Kran)	5	15	10
ZBL-45	Abschlagen des beladenen Transportcontainers		An-/Abschlagen	3	10	5
ZBL-46	Radiologische Ausgangsmessungen Transportfahrzeug und Ladung	Dosisleistung messen	Messung	10	30	20

ID	Prozessschritt	Ergänzende Beschreibung	Typ Schritt	Min. Zeit [min]	Max. Zeit [min]	Annahme [min]
ZBL-47	Transport des beladenen Transportcontainers	Transport der Transportcontainer mithilfe des abliefernden Fahrzeugs zum Werktor	Transport (Transportfahrzeug)	15	25	20
ZBL-48	Unterlagenprüfung	Sicht- und Unterlagenkontrolle am Werktor	Unterlagenprüfung	5	30	10

A.1.4.2 Radiologische Aspekte Bereitstellungslager Auslagerung

ID	Bevölkerung radiologisch relevant	Beruflich exponierte Personen	Person radiologisch relevant?	minimaler Abstand (bei Exposition durch einzelnes Gebinde)	Zeitfaktor minimaler Abstand	Erklärung Zeitfaktor
ZBL-22	Nein	-	Nein	-	-	
ZBL-23	Nein	-	Nein	-	-	
ZBL-24	Nein	-	Nein	-	-	
ZBL-25	Nein	-	Nein	-	-	
ZBL-26	Nein	-	Nein	-	-	
ZBL-27	Nein	-	Nein	-	-	
ZBL-28	Nein	ZBL-P-4 ZBL-P-3	Ja	2 m	0,2 0,2	Handhabung erfolgt i.d.R. fernbedient. 2 Personen zur Einweisung/Kontrolle
ZBL-29	Nein	ZBL-P-3	Ja	3 m	0,5	eine Person läuft nebenher
ZBL-30	Nein	ZBL-P-4 ZBL-P-3	Ja	2 m	0,2 0,2	Handhabung erfolgt i.d.R. fernbedient. 2 Personen zur Einweisung/Kontrolle
ZBL-31	Nein	ZBL-P-3	Ja	3 m	0,5	eine Person läuft nebenher
ZBL-32	Nein	ZBL-P-4 ZBL-P-3	Ja	2 m	0,2 0,2	Handhabung erfolgt i.d.R. fernbedient. 2 Personen zur Einweisung/Kontrolle
ZBL-33	Nein	ZBL-P-4 ZBL-P-3	Ja	2 m	0,2 0,2	Handhabung erfolgt i.d.R. fernbedient. 2 Personen zur Einweisung/Kontrolle
ZBL-34	Nein	ZBL-P-4 ZBL-P-3	Ja	1 m	0,2 0,2	Anbringen Transportsicherung
ZBL-35a	Nein	ZBL-P-5	Ja	1m, 2m	0,05 / 0,25	Direkter Kontakt am Behälter nur für Wischtestnahme (3 Minuten), Dosisleistungsmessung erfolgt mit Tele (15 Minuten)

ID	Bevölkerung radiologisch relevant	Beruflich exponierte Personen	Person radiologisch relevant?	minimaler Abstand (bei Exposition durch einzelnes Gebäude)	Zeitfaktor minimaler Abstand	Erklärung Zeitfaktor
ZBL-35b	Nein	ZBL-P-5	Ja	1m, 2m	0,08 / 0,25	Direkter Kontakt am Behälter nur für Wischtestnahme (3 Minuten), Dosisleistungsmessung erfolgt mit Tele (10 Minuten)
ZBL-36	Nein	ZBL-P-4 ZBL-P-3	Ja	2 m	0,2 0,2	Handhabung erfolgt i.d.R. fernbedient. 2 Personen zur Einweisung/Kontrolle
ZBL-37	Nein	ZBL-P-3	Ja	3 m	0,5	eine Person läuft nebenher
ZBL-38	Nein	ZBL-P-4 ZBL-P-3	Ja	2 m	0,2 0,2	Handhabung erfolgt i.d.R. fernbedient. 2 Personen zur Einweisung/Kontrolle
ZBL-39	Nein	ZBL-P-4 ZBL-P-3	Ja	2 m	0,2 0,2	Handhabung erfolgt i.d.R. fernbedient. 2 Personen zur Einweisung/Kontrolle
ZBL-40	Nein	ZBL-P-3	Ja	3 m	0,5	eine Person läuft nebenher
ZBL-41	Nein	ZBL-P-4 ZBL-P-3	Ja	2 m	0,2 0,2	Handhabung erfolgt i.d.R. fernbedient. 2 Personen zur Einweisung/Kontrolle
ZBL-42	Nein	ZBL-P-3	Ja	3 m	0,5	eine Person läuft nebenher
ZBL-43	Nein	ZBL-P-4 ZBL-P-3	Ja	2 m	0,2 0,2	Handhabung erfolgt i.d.R. fernbedient. 2 Personen zur Einweisung/Kontrolle
ZBL-44	Nein	ZBL-P-3	Ja	3 m	0,5	Eine Person als Einweiser
ZBL-45	Nein	ZBL-P-4 ZBL-P-3	Ja	2 m	0,2 0,2	Handhabung erfolgt i.d.R. fernbedient. 2 Personen zur Einweisung/Kontrolle
ZBL-46	Nein	ZBL-P-5	Ja	2 m	0,5	DL-Messung Fahrzeug / Versandstück
ZBL-47	Nein	ZBL-P-3	Ja	3 m	0,5	Keine DL für den Fahrer, aber eine Person läuft neben dem Transportfahrzeug her / Einweiser
ZBL-48	Nein	ZBL-P-6 oder ZBL-P-7 ZBL-P-1	Ja	-	-	keine Person im Strahlenfeld

A.1.5 Prozessschrittanalyse Auslagerung Zwischenlager Konrad-Container



Abbildung 27 Auslagerung Zwischenlager Konrad-Container – Zeitabschnitt bis einschließlich 4 h

Bilanzierungsstudie

August 2022

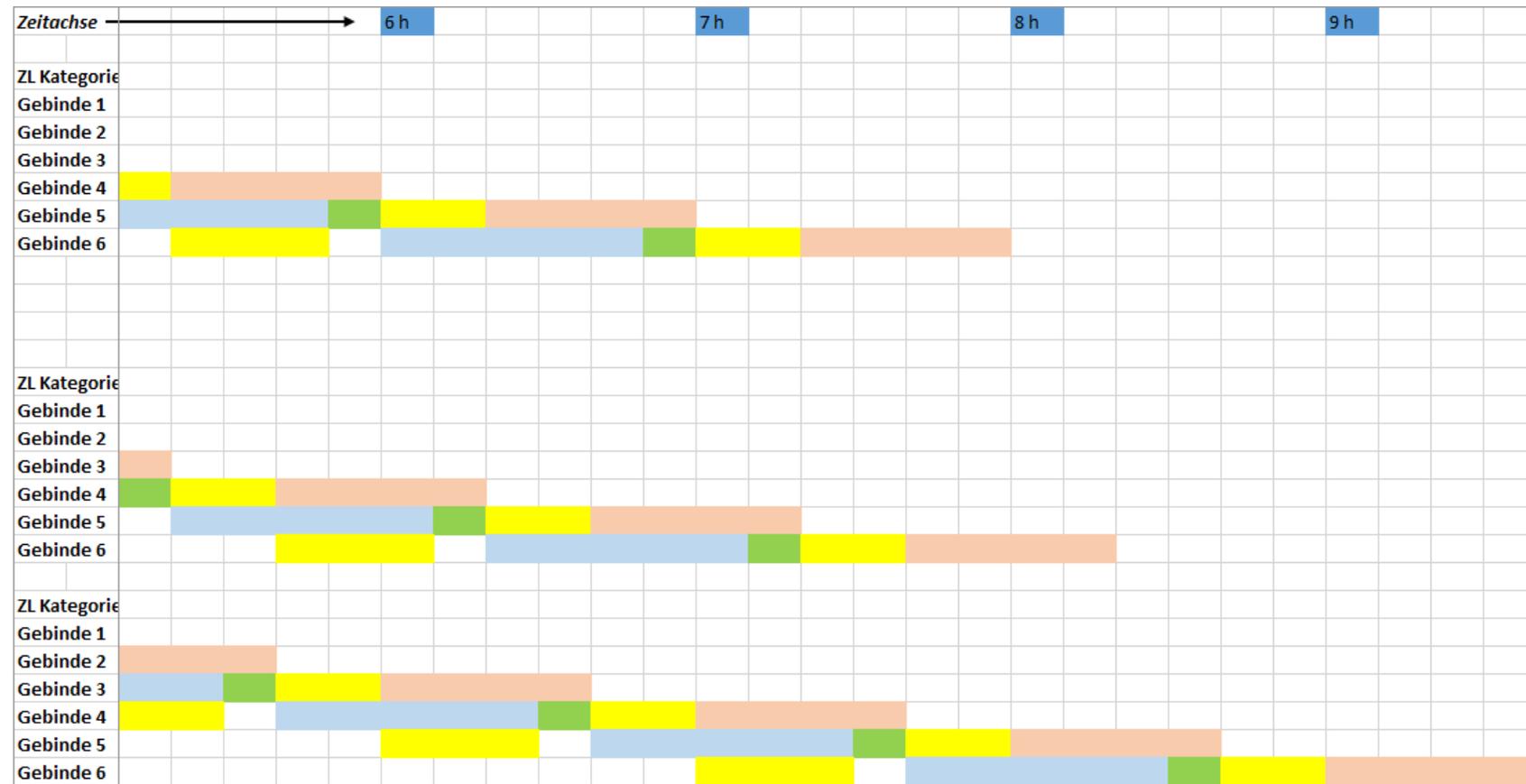


Abbildung 28 Auslagerung Zwischenlager Konrad-Container – Zeitabschnitt 5 h bis einschließlich 9 h

A.1.6 Prozessschrittanalyse Auslagerung Zwischenlager zylindrische Gebinde

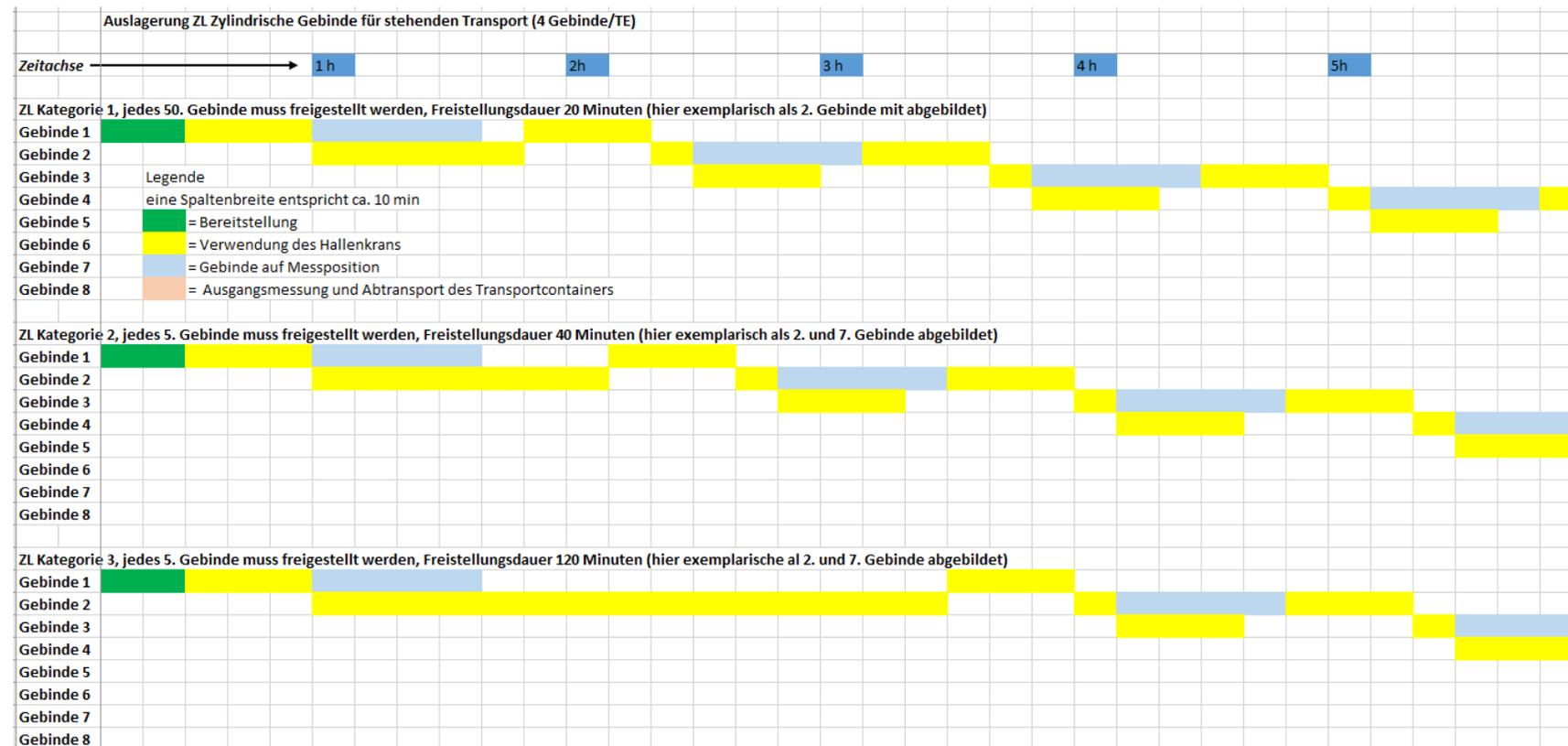


Abbildung 29 Auslagerung Zwischenlager zylindrische Gebinde – Zeitabschnitt bis einschließlich 5 h

Bilanzierungsstudie

August 2022

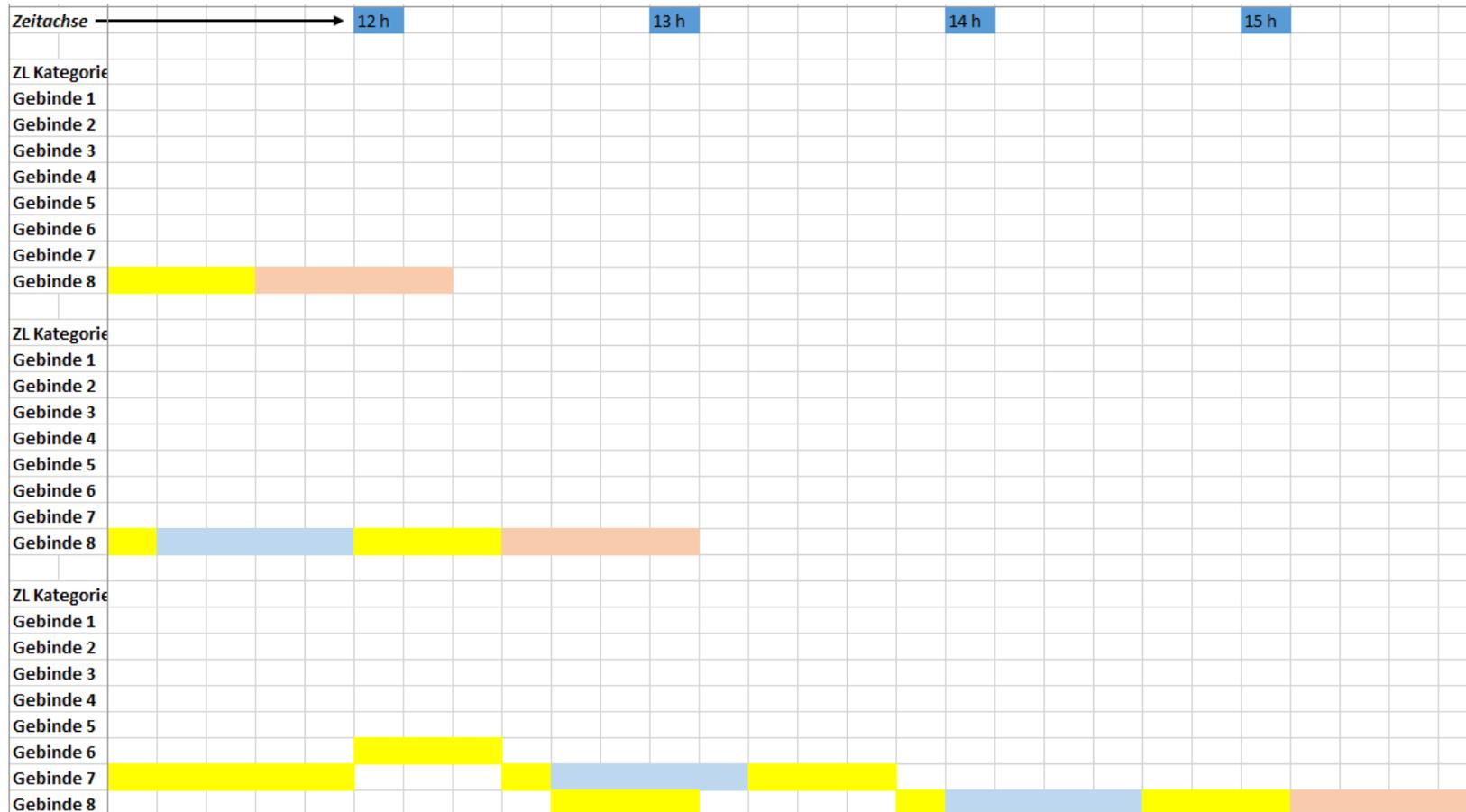


Abbildung 30 Auslagerung Zwischenlager zylindrische Gebinde – Zeitabschnitt 6 h bis einschließlich 15 h

Bilanzierungsstudie

August 2022

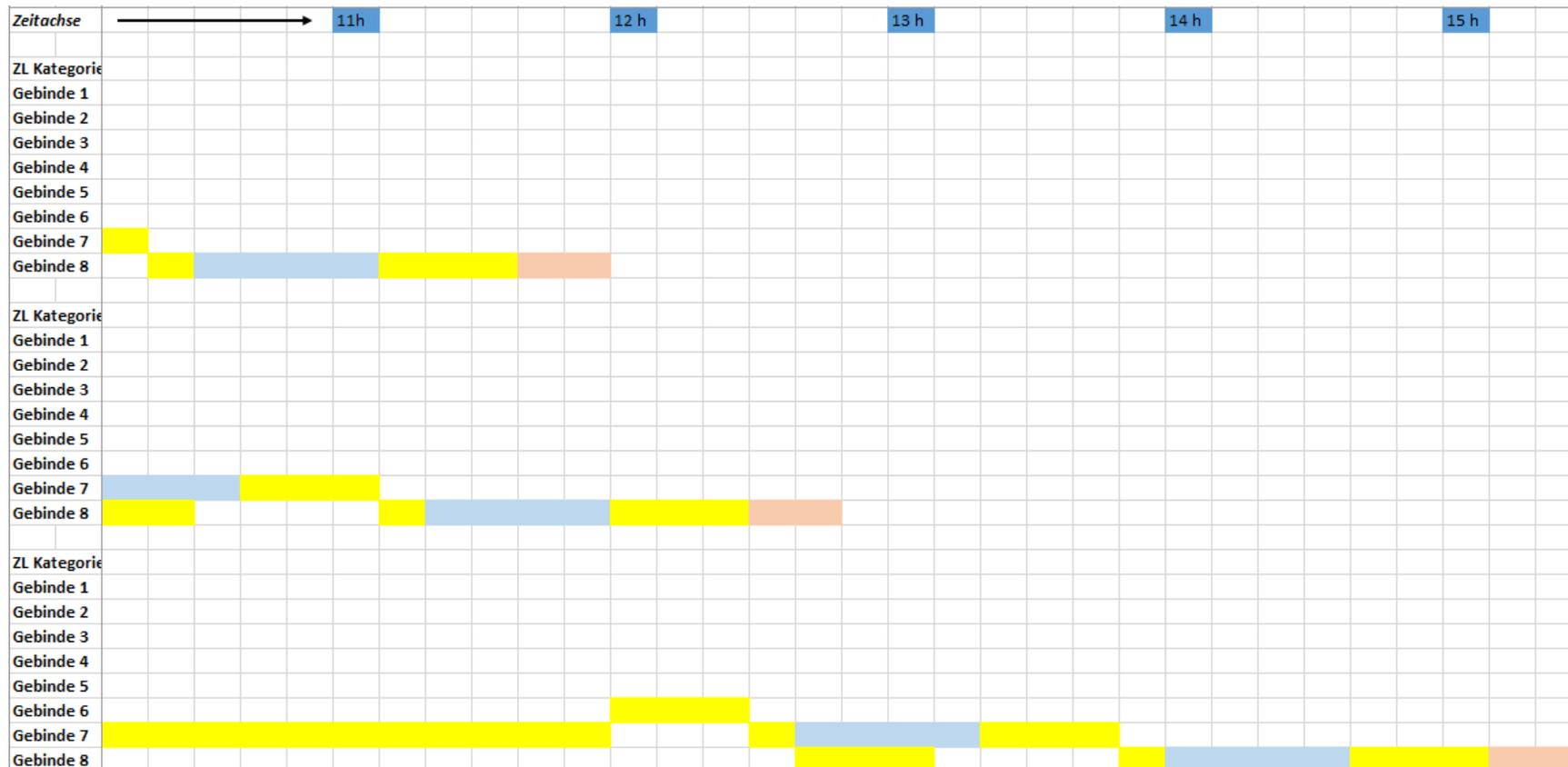


Abbildung 31 Auslagerung Zwischenlager zylindrische Gebinde – Zeitabschnitt 10 h bis einschließlich 15 h

A.1.7 Prozessschrittanalyse Transport

A.1.7.1 Prozessschrittzeiten Transport

Die Prozessschrittzeiten Transport sind abhängig von dem Verkehrsmittel (siehe Kapitel 2.4.2) und der jeweils modellierten Entfernung (siehe Kapitel 3.2.2). Eine Zusammenstellung in einer Ergebnistabelle für alle Streckenvariationen wäre somit zu umfangreich.

A.1.7.2 Radiologische Aspekte Transport

ID	Bevölkerung radiologisch relevant	Beruflich exponierte Personen	Person radiologisch relevant?	minimaler Abstand (bei Exposition durch einzelnes Gebinde)	Zeitfaktor min. Abstand
S-1	Ja	ZL-P-4	Ja	2	1
S-2	Ja	ZL-P-4	Ja	2	1
S-3	Ja	ZL-P-6	Ja	15	1
S-4	Ja	RB-P-3	Ja	15	1
S-5	Ja	RB-P-3	Ja	15	1
S-6	Ja	RB-P-3	Ja	15	1
S-7	Ja	RB-P-3	Ja	15	1
S-8	Ja	ZBL-P-7	Ja	15	1

A.1.8 Prozessschrittanalyse beteiligte Personen

Bezeichnung	Erläuterung
ZL-P-1	Kranfahrer ZL
ZL-P-2	1. Hilfskraft ZL
ZL-P-3	2. Hilfskraft ZL
ZL-P-4	Fahrer Transportfahrzeug LKW ZL
ZL-P-5	Strahlenschützer ZL
ZL-P-6	Fahrer Transportfahrzeug Bahn ZL
ZL-P-7	OSD-Mitarbeiter ZL
RB-P-1	Kranfahrer/Hilfskraft RB
RB-P-2	Strahlenschützer RB
RB-P-3	Lokführer RB
ZBL-P-1	OSD-Mitarbeiter ZBL
ZBL-P-2	Kranfahrer ZBL
ZBL-P-3	1. Hilfskraft ZBL
ZBL-P-4	2. Hilfskraft ZBL
ZBL-P-5	Strahlenschützer ZBL
ZBL-P-6	Fahrer Transportfahrzeug LKW ZBL - Der Transport vom ZBL zum Endlager wird im Rahmen der Modellierung vernachlässigt - dies betrifft die Person ZBL-P-6.
ZBL-P-7	Fahrer Transportfahrzeug Bahn ZBL

A.1.9 Prozessschrittanalyse Abweichungen

A.1.9.1 Abweichungen – Basisdaten

ID	Standort / Transportszenario	Prozessschritt	Verweis auf Prozessschritt	Prozessschritt-Abweichung	Häufigkeit Beschreibung	Häufigkeit Wert	Häufigkeit Einheit
A-1	Koordinationsstelle/ZL	Abruf eines Gebindes	ZL-0	Fehler in der Datenübermittlung	moderat / kommt gelegentlich vor: ≥ 1 aus 10^4 und < 1 aus 100	1,00E-03	pro Vorgang
A-2	ZL/RB/ZBL	Bereitstellen des Personals	ZL-1, RB-1, ZBL-1, ZBL-22	Kein Personal verfügbar	moderat / kommt gelegentlich vor: ≥ 1 aus 10^4 und < 1 aus 100	1,00E-03	pro Vorgang
A-3	ZL/RB/ZBL	Bereitstellen der Handhabungseinrichtungen	ZL-2, ZBL-2, ZBL-23	Handhabungseinrichtung bzw. Hebezeug nicht verfügbar oder defekt	moderat / kommt gelegentlich vor: ≥ 1 aus 10^4 und < 1 aus 100	1,00E-03	pro Vorgang
A-4	ZL/RB/ZBL	Sicht- und Unterlagenkontrolle	ZL-13, RB-2, ZBL-3, ZBL-48	Gebinde als beschädigt erkannt	moderat / kommt gelegentlich vor: ≥ 1 aus 10^4 und < 1 aus 100	1,00E-03	pro Vorgang
A-5	ZL/RB/ZBL	Sicht- und Unterlagenkontrolle	ZL-13, RB-2, ZBL-3, ZBL-48	Diskrepanz zwischen Angaben am Gebinde, in den Unterlagen und im System	moderat / kommt gelegentlich vor: ≥ 1 aus 10^4 und < 1 aus 100	1,00E-03	pro Vorgang
A-6	ZL/ZBL	Gebinde oder beladenen Transportcontainer anschlagen (für den Transport innerhalb geschlossener Gebäude)	ZL-4, ZL-8, ZBL-11, ZBL-15, ZBL-19, ZBL-28, ZBL-32, ZBL-36, ZBL-39	Handhabungseinrichtung bzw. Hebezeug nicht verfügbar oder defekt	moderat / kommt gelegentlich vor: ≥ 1 aus 10^4 und < 1 aus 100	1,00E-03	pro Vorgang
A-7	ZL/ZBL	Gebinde oder beladenen Transportcontainer anschlagen (für den Transport innerhalb geschlossener Gebäude)	ZL-4, ZL-8, ZBL-11, ZBL-15, ZBL-19, ZBL-28, ZBL-32, ZBL-36, ZBL-39	Hebezeug fehlerhaft angeschlagen	hoch / wahrscheinlich: ≥ 1 aus 100 und < 1 aus 10	2,00E-02	pro Vorgang
A-8	ZL/ZBL	Gebinde oder beladenen Transportcontainer an-	ZL-4, ZL-8, ZBL-11, ZBL-15, ZBL-19, ZBL-28, ZBL-32, ZBL-36, ZBL-39	Hebezeug fehlerhaft angeschlagen	klein / unwahrscheinlich: ≥ 1 aus 10^6 und < 1 aus 10^4	1,00E-05	pro Vorgang

ID	Standort / Transportszenario	Prozessschritt	Verweis auf Prozessschritt	Prozessschritt-Abweichung	Häufigkeit Beschreibung	Häufigkeit Wert	Häufigkeit Einheit
		schlagen (für den Transport innerhalb geschlossener Gebäude)					
A-9	ZL/ZBL	Gebinde oder beladenen Transportcontainer anschlagen (für den Transport innerhalb geschlossener Gebäude)	ZL-4, ZL-8, ZBL-11, ZBL-15, ZBL-19, ZBL-28, ZBL-32, ZBL-36, ZBL-39	Hebezeug fehlerhaft angeschlagen	sehr klein / unvorstellbar: < 1 aus 10 ⁶	1,00E-07	pro Vorgang
A-10	ZBL	Gebinde oder beladenen Transportcontainer anschlagen (für den Transport außerhalb geschlossener Gebäude)	ZBL-7, ZBL-43	Handhabungseinrichtung bzw. Hebezeug nicht verfügbar oder defekt	moderat / kommt gelegentlich vor: ≥ 1 aus 10 ⁴ und < 1 aus 100	1,00E-03	pro Vorgang
A-11	ZBL	Gebinde oder beladenen Transportcontainer anschlagen (für den Transport außerhalb geschlossener Gebäude)	ZBL-7, ZBL-43	Hebezeug fehlerhaft angeschlagen	hoch / wahrscheinlich: ≥ 1 aus 100 und < 1 aus 10	2,00E-02	pro Vorgang
A-12	ZBL	Gebinde oder beladenen Transportcontainer anschlagen (für den Transport außerhalb geschlossener Gebäude)	ZBL-7, ZBL-43	Hebezeug fehlerhaft angeschlagen	klein / unwahrscheinlich: ≥ 1 aus 10 ⁶ und < 1 aus 10 ⁴	1,00E-05	pro Vorgang
A-13	ZBL	Gebinde oder beladenen Transportcontainer anschlagen (für den Transport außerhalb geschlossener Gebäude)	ZBL-7, ZBL-43	Hebezeug fehlerhaft angeschlagen	sehr klein / unvorstellbar: < 1 aus 10 ⁶	1,00E-07	pro Vorgang
A-14	ZBL	leeren Transportcontainer anschlagen	ZBL-24	kein Transportcontainer verfügbar	hoch / wahrscheinlich: ≥ 1 aus 100 und < 1 aus 10	2,00E-02	pro Vorgang
A-15	ZBL	leeren Transportcontainer anschlagen	ZBL-24	Handhabungseinrichtung bzw. Hebezeug nicht verfügbar oder defekt	moderat / kommt gelegentlich vor: ≥ 1 aus 10 ⁴ und < 1 aus 100	1,00E-03	pro Vorgang
A-16	ZBL	leeren Transportcontainer anschlagen	ZBL-24	Hebezeug fehlerhaft angeschlagen	hoch / wahrscheinlich: ≥ 1 aus 100 und < 1 aus 10	2,00E-02	pro Vorgang

ID	Standort / Transportszenario	Prozessschritt	Verweis auf Prozessschritt	Prozessschritt-Abweichung	Häufigkeit Beschreibung	Häufigkeit Wert	Häufigkeit Einheit
A-17	ZBL	leeren Transportcontainer anschlagen	ZBL-24	Hebezeug fehlerhaft angeschlagen	klein / unwahrscheinlich: ≥ 1 aus 10^6 und < 1 aus 10^4	1,00E-05	pro Vorgang
A-18	ZL	Freistellen eines Gebindes	ZL-3	Kategorie 1 ZL: Abgerufenes Gebinde nicht unmittelbar verfügbar (Position unten, in Reihe 2)	hoch / wahrscheinlich: ≥ 1 aus 100 und < 1 aus 10	0,02	pro Vorgang
A-19	ZL	Freistellen eines Gebindes	ZL-3	Kategorie 2 ZL: Abgerufenes Gebinde nicht unmittelbar verfügbar (Position unten, in Reihe 2)	sehr hoch / unvermeidbar: ≥ 1 aus 10	0,2	pro Vorgang
A-20	ZL	Freistellen eines Gebindes	ZL-3	Kategorie 3 ZL: Abgerufenes Gebinde nicht unmittelbar verfügbar (Position unten, in Reihe 2)	sehr hoch / unvermeidbar: ≥ 1 aus 10	0,2	pro Vorgang
A-21	ZL/ZBL	Transport eines Gebindes oder beladenen Transportcontainers mit Hebezeug in geschlossenem Gebäude	ZL-5, ZL-9, ZBL-12, ZBL-16, ZBL-20, ZBL-29, ZBL-33, ZBL-37, ZBL-40	Abstellposition nicht verfügbar oder weiterführendes Fahrzeug nicht verfügbar	hoch / wahrscheinlich: ≥ 1 aus 100 und < 1 aus 10	0,02	pro Vorgang
A-22	ZL/ZBL	Transport eines Gebindes oder beladenen Transportcontainers mit Hebezeug in geschlossenem Gebäude	ZL-5, ZL-9, ZBL-12, ZBL-16, ZBL-20, ZBL-29, ZBL-33, ZBL-37, ZBL-40	Handhabungseinrichtung bzw. Hebezeug nicht verfügbar oder defekt	moderat / kommt gelegentlich vor: ≥ 1 aus 10^4 und < 1 aus 100	1,00E-03	pro Vorgang
A-23	ZL/ZBL	Transport eines Gebindes oder beladenen Transportcontainers mit Hebezeug in geschlossenem Gebäude	ZL-5, ZL-9, ZBL-12, ZBL-16, ZBL-20, ZBL-29, ZBL-33, ZBL-37, ZBL-40	Transportschaden	hoch / wahrscheinlich: ≥ 1 aus 100 und < 1 aus 10	2,00E-02	pro Vorgang
A-24	ZL/ZBL	Transport eines Gebindes oder beladenen Transportcontainers mit Hebezeug in geschlossenem Gebäude	ZL-5, ZL-9, ZBL-12, ZBL-16, ZBL-20, ZBL-29, ZBL-33, ZBL-37, ZBL-40	Transportschaden	klein / unwahrscheinlich: ≥ 1 aus 10^6 und < 1 aus 10^4	1,00E-05	pro Vorgang
A-25	ZL/ZBL	Transport eines Gebindes oder beladenen Trans-	ZL-5, ZL-9, ZBL-12, ZBL-16, ZBL-20, ZBL-29, ZBL-33, ZBL-37, ZBL-40	Transportschaden	sehr klein / unvorstellbar: < 1 aus 10^6	1,00E-07	pro Vorgang

ID	Standort / Transportszenario	Prozessschritt	Verweis auf Prozessschritt	Prozessschritt-Abweichung	Häufigkeit Beschreibung	Häufigkeit Wert	Häufigkeit Einheit
		portcontainers mit Hebezeug in geschlossenem Gebäude					
A-26	RB/ZBL	Transport eines Gebindes oder beladenen Transportcontainers mit Hebezeug außerhalb geschlossener Gebäude	ZBL-8, ZBL-44	Abstellposition nicht verfügbar oder weiterführendes Fahrzeug nicht verfügbar	hoch / wahrscheinlich: ≥ 1 aus 100 und < 1 aus 10	2,00E-02	pro Vorgang
A-27	RB/ZBL	Transport eines Gebindes oder beladenen Transportcontainers mit Hebezeug außerhalb geschlossener Gebäude	ZBL-8, ZBL-44	Handhabungseinrichtung bzw. Hebezeug nicht verfügbar oder defekt	moderat / kommt gelegentlich vor: ≥ 1 aus 10^4 und < 1 aus 100	1,00E-03	pro Vorgang
A-28	RB/ZBL	Transport eines Gebindes oder beladenen Transportcontainers mit Hebezeug außerhalb geschlossener Gebäude	ZBL-8, ZBL-44	Transportschaden	hoch / wahrscheinlich: ≥ 1 aus 100 und < 1 aus 10	2,00E-02	pro Vorgang
A-29	RB/ZBL	Transport eines Gebindes oder beladenen Transportcontainers mit Hebezeug außerhalb geschlossener Gebäude	ZBL-8, ZBL-44	Transportschaden	klein / unwahrscheinlich: ≥ 1 aus 10^6 und < 1 aus 10^4	1,00E-05	pro Vorgang
A-30	ZBL	Transport eines Gebindes oder beladenen Transportcontainers mit Hebezeug außerhalb geschlossener Gebäude	ZBL-8, ZBL-44	Transportschaden	sehr klein / unvorstellbar: < 1 aus 10^6	1,00E-07	pro Vorgang
A-31	ZBL	leeren Transportcontainer transportieren	ZBL-25	Handhabungseinrichtung bzw. Hebezeug nicht verfügbar oder defekt	moderat / kommt gelegentlich vor: ≥ 1 aus 10^4 und < 1 aus 100	1,00E-03	pro Vorgang
A-32	ZBL	leeren Transportcontainer transportieren	ZBL-25	Transportschaden	hoch / wahrscheinlich: ≥ 1 aus 100 und < 1 aus 10	2,00E-02	pro Vorgang
A-33	ZBL	leeren Transportcontainer transportieren	ZBL-25	Transportschaden	klein / unwahrscheinlich: ≥ 1 aus 10^6 und < 1 aus 10^4	1,00E-05	pro Vorgang

ID	Standort / Transportszenario	Prozessschritt	Verweis auf Prozessschritt	Prozessschritt-Abweichung	Häufigkeit Beschreibung	Häufigkeit Wert	Häufigkeit Einheit
A-34	ZL/RB/ZBL	Gebinde oder beladenen Transportcontainer abschlagen	ZL-6, ZL-10, ZBL-9, ZBL-13, ZBL-17, ZBL-21, ZBL-30, ZBL-34, ZBL-38, ZBL-41, ZBL-45	Schaden beim Abschlagen	hoch / wahrscheinlich: ≥ 1 aus 100 und < 1 aus 10	2,00E-02	pro Vorgang
A-35	ZL/RB/ZBL	Gebinde oder beladenen Transportcontainer abschlagen	ZL-6, ZL-10, ZBL-9, ZBL-13, ZBL-17, ZBL-21, ZBL-30, ZBL-34, ZBL-38, ZBL-41, ZBL-45	Schaden beim Abschlagen	klein / unwahrscheinlich: ≥ 1 aus 10^6 und < 1 aus 10^4	1,00E-05	pro Vorgang
A-36	ZBL	leeren Transportcontainer abschlagen	ZBL-26	Schaden beim Abschlagen	hoch / wahrscheinlich: ≥ 1 aus 100 und < 1 aus 10	2,00E-02	pro Vorgang
A-37	ZBL	leeren Transportcontainer abschlagen	ZBL-26	Schaden beim Abschlagen	klein / unwahrscheinlich: ≥ 1 aus 10^6 und < 1 aus 10^4	1,00E-05	pro Vorgang
A-38	ZL/ZBL	Messungen am Gebinde oder beladenem Transportcontainer	ZL-7, ZBL-6, ZBL-14, ZBL-35	Richtwert Kontamination wird überschritten	moderat / kommt gelegentlich vor: ≥ 1 aus 10^4 und < 1 aus 100	1,00E-03	pro Vorgang
A-39	ZL/ZBL	Messungen am Gebinde oder beladenem Transportcontainer	ZL-7, ZL-11, ZBL-6, ZBL-14, ZBL-35, ZBL-46	Richtwert Dosisleistung wird überschritten	moderat / kommt gelegentlich vor: ≥ 1 aus 10^4 und < 1 aus 100	1,00E-03	pro Vorgang
A-40	ZL/ZBL	Messungen am Gebinde oder beladenem Transportcontainer	ZL-7, ZBL-6, ZBL-14, ZBL-35	Messgeräte nicht verfügbar (defekt oder nicht kalibriert)	moderat / kommt gelegentlich vor: ≥ 1 aus 10^4 und < 1 aus 100	1,00E-03	pro Vorgang
A-41	ZL/ZBL	innerbetrieblicher Transport auf Fahrzeug außerhalb geschlossener Gebäude	ZL-12, ZBL-4, ZBL-47	Schaden beim Transport	hoch / wahrscheinlich: ≥ 1 aus 100 und < 1 aus 10	2,00E-02	pro Vorgang
A-42	ZL/ZBL	innerbetrieblicher Transport auf Fahrzeug außerhalb geschlossener Gebäude	ZL-12, ZBL-4, ZBL-47	Schaden beim Transport	klein / unwahrscheinlich: ≥ 1 aus 10^6 und < 1 aus 10^4	1,00E-05	pro Vorgang
A-43	ZL/ZBL	innerbetrieblicher Transport auf Fahrzeug außerhalb geschlossener Gebäude	ZL-11, ZBL-4, ZBL-46	Schaden beim Transport	sehr klein / unvorstellbar: < 1 aus 10^6	1,00E-07	pro Vorgang

ID	Standort / Transportszenario	Prozessschritt	Verweis auf Prozessschritt	Prozessschritt-Abweichung	Häufigkeit Beschreibung	Häufigkeit Wert	Häufigkeit Einheit
A-44	ZBL	innerbetrieblicher Transport auf Fahrzeug innerhalb geschlossener Gebäude	ZBL-10, ZBL-18, ZBL-31, ZBL-42	Schaden beim Transport	hoch / wahrscheinlich: ≥ 1 aus 100 und < 1 aus 10	2,00E-02	pro Vorgang
A-45	ZBL	innerbetrieblicher Transport auf Fahrzeug innerhalb geschlossener Gebäude	ZBL-10, ZBL-18, ZBL-31, ZBL-42	Schaden beim Transport	klein / unwahrscheinlich: ≥ 1 aus 10^6 und < 1 aus 10^4	1,00E-05	pro Vorgang
A-46	ZBL	innerbetrieblicher Transport auf Fahrzeug innerhalb geschlossener Gebäude	ZBL-10, ZBL-18, ZBL-31, ZBL-42	Schaden beim Transport	sehr klein / unvorstellbar: < 1 aus 10^6	1,00E-07	pro Vorgang
A-47	ZBL	Öffnen des Transportcontainers	ZBL-5, ZBL-27	Werkzeug nicht verfügbar	moderat / kommt gelegentlich vor: ≥ 1 aus 10^4 und < 1 aus 100	1,00E-03	pro Vorgang
A-48	ZBL	Öffnen des Transportcontainers	ZBL-5, ZBL-27	Komponenten zum Öffnen des Containers beschädigt	moderat / kommt gelegentlich vor: ≥ 1 aus 10^4 und < 1 aus 100	1,00E-03	pro Vorgang
A-49	RB	Eisenbahnwagen rangieren	RB-3, RB-4, RB-5	Technischer Schaden am Schienenfahrzeug	moderat / kommt gelegentlich vor: ≥ 1 aus 10^4 und < 1 aus 100	1,00E-03	pro Vorgang
A-50	RB	Eisenbahnwagen rangieren	RB-3, RB-4, RB-5	Schaden beim Transport	hoch / wahrscheinlich: ≥ 1 aus 100 und < 1 aus 10	2,00E-02	pro Vorgang
A-51	RB	Eisenbahnwagen rangieren	RB-3, RB-4, RB-5	Schaden beim Transport	Rangierunfall	7,50E-06	pro Vorgang
A-52	RB	Eisenbahnwagen rangieren	RB-3, RB-4, RB-5	Schaden beim Transport	Rangierunfall mit Freisetzung	4,13E-06	pro Vorgang
A-53	LKW-Transport	LKW-Transport zwischen Standorten	S-1, S-2, S-9	Schaden beim Transport	hoch / wahrscheinlich: ≥ 1 aus 100 und < 1 aus 10	2,00E-02	pro Vorgang
A-54	LKW-Transport	LKW-Transport zwischen Standorten	S-1, S-2, S-9	Schaden beim Transport	LKW-Unfall	2,90E-07	pro km
A-55	LKW-Transport	LKW-Transport zwischen Standorten	S-1, S-2, S-9	Schaden beim Transport	LKW-Unfall mit Freisetzung	1,91E-07	pro km

ID	Standort / Transportszenario	Prozessschritt	Verweis auf Prozessschritt	Prozessschritt-Abweichung	Häufigkeit Beschreibung	Häufigkeit Wert	Häufigkeit Einheit
A-56	LKW-Transport	LKW-Transport zwischen Standorten	S-1, S-2, S-9	Personenschaden beim Transport	LKW-Unfall mit Personenschaden	3,33E-07	pro km
A-57	LKW-Transport	LKW-Transport zwischen Standorten	S-1, S-2, S-9	Technischer Schaden am LKW	moderat / kommt gelegentlich vor: ≥ 1 aus 10^4 und < 1 aus 100	1,00E-03	pro Vorgang
A-58	LKW-Transport	LKW-Transport zwischen Standorten	S-1, S-2, S-9	Sperrung auf der Strecke	moderat / kommt gelegentlich vor: ≥ 1 aus 10^4 und < 1 aus 100	1,00E-03	pro Vorgang
A-59	LKW-Transport	LKW-Transport zwischen Standorten	S-1, S-2, S-9	Stau	hoch / wahrscheinlich: ≥ 1 aus 100 und < 1 aus 10	2,00E-02	pro Vorgang
A-60	Bahn-Transport	Bahn-Transport zwischen Standorten	S-3, S-4, S-5, S-6, S-7, S-8, S-10	Technischer Schaden am Schienenfahrzeug	moderat / kommt gelegentlich vor: ≥ 1 aus 10^4 und < 1 aus 100	1,00E-03	pro Vorgang
A-61	Bahn-Transport	Bahn-Transport zwischen Standorten	S-3, S-4, S-5, S-6, S-7, S-8, S-10	Schaden beim Transport	hoch / wahrscheinlich: ≥ 1 aus 100 und < 1 aus 10	2,00E-02	pro Vorgang
A-62	Bahn-Transport	Bahn-Transport zwischen Standorten	S-3, S-4, S-5, S-6, S-7, S-8, S-10	Schaden beim Transport	Zugunfall	1,19E-08	pro km
A-63	Bahn-Transport	Bahn-Transport zwischen Standorten	S-3, S-4, S-5, S-6, S-7, S-8, S-10	Schaden beim Transport	Zugunfall mit Freisetzung	9,86E-09	pro km
A-64	Bahn-Transport	Bahn-Transport zwischen Standorten	S-3, S-4, S-5, S-6, S-7, S-8, S-10	Personenschaden beim Transport	Zugunfall mit Personenschaden	1,57E-06	pro km
A-65	Bahn-Transport	Bahn-Transport zwischen Standorten	S-3, S-4, S-5, S-6, S-7, S-8, S-10	Sperrung auf der Strecke	moderat / kommt gelegentlich vor: ≥ 1 aus 10^4 und < 1 aus 100	1,00E-03	pro Vorgang

A.1.9.2 Abweichungen – Einfluss auf die Zielgrößen

ID	Einfluss Strecke	Einfluss Zeit	Min [min]	Max [min]	Annahme [min]	Einfluss Exposition	Bevölkerung radiologisch relevant	beruflich exponierte Personen
A-1	nein	-	-	-	-	-	-	-
A-2	nein	ja: Verzögerung, warten auf Personal	5	240	60	Nein	Nein	Nein
A-3	nein	ja: Verzögerung, warten auf Handhabungseinrichtung	5	240	60	Nein	Nein	Nein
A-4	nein	ja: Tolerierung des Schadens oder alternatives Vorgehen vor dem nächsten Prozessschritt müssen geklärt werden - im Worst Case ist Umfüllen des Gebindes erforderlich - ein neuer Transport ist dann gemäß AtEV anzumelden, Erstellung und Versand der Dokumente dauert erfahrungsgemäß mind 10 Werktage.	10	14400	60	ja: Intensivere Begutachtung des Gebindes	Nein	Ja
A-5	nein	ja: Tolerierung der Abweichung oder alternatives Vorgehen vor dem nächsten Prozessschritt müssen geklärt werden - im Worst Case ist ein neuer Transport gemäß AtEV anzumelden, Erstellung und Versand der Dokumente dauert erfahrungsgemäß mind 10 Werktage.	10	14400	60	Nein	Nein	Nein
A-6	nein	ja: Verzögerung, bereitstellen intaktes Hebezeug	30	120	60	Nein	Nein	Nein
A-7	nein	ja: Lackschaden Gebinde - Lack ausbessern. +30min für Handhabung. In Summe +24h inkl. Trocknungszeit.	15	60	30	ja: Tätigkeit Lack ausbessern	Nein	Ja
A-8	nein	ja: Beschädigung Gebinde - Inhalt in neues Gebinde einbringen	360	960	480	ja: Tätigkeit Gebinde erneuern	Nein	Ja
A-9	nein	ja: Beschädigung Gebinde mit Freisetzung - Dekontamination, Inhalt in neues Gebinde einbringen	-	-	-	-	-	-

ID	Einfluss Strecke	Einfluss Zeit	Min [min]	Max [min]	Annahme [min]	Einfluss Exposition	Bevölkerung radiologisch relevant	beruflich exponierte Personen
A-10	nein	ja: Verzögerung, bereitstellen intaktes Hebezeug	30	120	60	Nein	Nein	Nein
A-11	nein	ja: Lackschaden Gebinde - Lack ausbessern. +30min für Handhabung. In Summe +24h inkl. Trocknungszeit.	15	60	30	ja: Tätigkeit Lack ausbessern	Nein	Ja
A-12	nein	ja: Beschädigung Gebinde - Inhalt in neues Gebinde einbringen	360	960	480	ja: Tätigkeit Gebinde erneuern	Nein	Ja
A-13	nein	ja: Beschädigung Gebinde mit Freisetzung - Dekontamination, Inhalt in neues Gebinde einbringen	-	-	-	-	-	-
A-14	nein	ja: Verzögerung, neuen Transportcontainer anfordern	20	1440	480	Nein	Nein	Nein
A-15	nein	ja: Verzögerung, bereitstellen intaktes Hebezeug	30	120	60	Nein	Nein	Nein
A-16	nein	nein: Der Lackschaden am Transportcontainer ist tolerabel - die Funktion ist nicht eingeschränkt	-	-	-	-	-	-
A-17	nein	ja: Beschädigung Transportcontainer - neuen Transportcontainer anfordern	20	1440	60	Nein	Nein	Nein
A-18	nein	ja: Verzögerung, Kategorie 1 ZL - Annahme: 1 Gebinde muss zusätzlich umgestellt werden	10	30	20	ja: Tätigkeiten zur Umlagerung der Gebinde	Nein	Ja
A-19	nein	ja: Verzögerung, Kategorie 2 ZL - Annahme: 2 Gebinde müssen zusätzlich umgestellt werden	20	60	40	ja: Tätigkeiten zur Umlagerung der Gebinde	Nein	Ja
A-20	nein	ja: Verzögerung, Kategorie 3 ZL - Annahme: 6 Gebinde müssen zusätzlich umgestellt werden	60	180	120	ja: Tätigkeiten zur Umlagerung der Gebinde	Nein	Ja
A-21	nein	ja: Verzögerung, zusätzliche Umlagevorgänge	20	60	40	ja: längere bzw. wiederholte Exposition bei der Handhabung	Nein	Ja
A-22	nein	ja: Verzögerung, Reparatur Hebezeug (z. B. Kran)	20	480	60	nein	Nein	Nein

ID	Einfluss Strecke	Einfluss Zeit	Min [min]	Max [min]	Annahme [min]	Einfluss Exposition	Bevölkerung radiologisch relevant	beruflich exponierte Personen
A-23	nein	ja: Lackschaden Gebinde - Lack ausbessern. +30min für Handhabung. In Summe +24h inkl. Trocknungszeit.	15	60	30	ja: Tätigkeit Lack ausbessern	Nein	Ja
A-24	nein	ja: Beschädigung Gebinde - Inhalt in neues Gebinde einbringen	360	960	480	ja: Tätigkeit Gebinde erneuern	Nein	Ja
A-25	nein	ja: Beschädigung Gebinde mit Freisetzung - Dekontamination, Inhalt in neues Gebinde einbringen	-	-	-	-	-	-
A-26	nein	ja: Gebinde zurückstellen, Abstellmöglichkeit schaffen / 3fache der Zeit für ein Gebinde	45	135	90	ja: längere bzw. wiederholte Exposition bei der Handhabung	Nein	Ja
A-27	nein	ja: Verzögerung, Reparatur Hebezeug (z. B. Kran)	20	480	60	Nein	Nein	Nein
A-28	nein	ja: Lackschaden Gebinde - Lack ausbessern. +30min für Handhabung. In Summe +24h inkl. Trocknungszeit.	15	60	30	ja: Tätigkeit Lack ausbessern	Nein	Ja
A-29	nein	ja: Beschädigung Gebinde - Inhalt in neues Gebinde einbringen	360	960	480	ja: Tätigkeit Gebinde erneuern	Nein	Ja
A-30	nein	ja: Beschädigung Gebinde mit Freisetzung - Dekontamination, Inhalt in neues Gebinde einbringen	-	-	-	-	-	-
A-31	nein	ja: Verzögerung, bereitstellen intaktes Hebezeug	30	120	60	Nein	Nein	Nein
A-32	nein	nein: Der Lackschaden am Transportcontainer ist tolerabel - die Funktion ist nicht eingeschränkt	-	-	-	-	-	-
A-33	nein	ja: Beschädigung Transportcontainer - neuen Transportcontainer anfordern	20	1440	60	Nein	Nein	Nein
A-34	nein	ja: Lackschaden Gebinde - Lack ausbessern. +30min für Handhabung. In Summe +24h inkl. Trocknungszeit.	15	60	30	ja: Tätigkeit Lack ausbessern	Nein	Ja
A-35	nein	ja: Beschädigung Gebinde - Inhalt in neues Gebinde einbringen	360	960	480	ja: Tätigkeit Gebinde erneuern	Nein	Ja

ID	Einfluss Strecke	Einfluss Zeit	Min [min]	Max [min]	Annahme [min]	Einfluss Exposition	Bevölkerung radiologisch relevant	beruflich exponierte Personen
A-36	nein	nein: Der Lackschaden am Transportcontainer ist tolerabel - die Funktion ist nicht eingeschränkt	-	-	-	-	-	-
A-37	nein	ja: Beschädigung Transportcontainer - neuen Transportcontainer anfordern	20	1440	60	ja: Tätigkeit Gebinde erneuern	Nein	Nein
A-38	nein	ja: Tolerierung der Abweichung oder alternatives Vorgehen vor dem nächsten Prozessschritt müssen geklärt werden	45	90	60	ja: durch Wiederholung der Messung oder Durchführung von Maßnahmen zur Dekontamination	Nein	Ja
A-39	nein	ja: Tolerierung der Abweichung oder alternatives Vorgehen vor dem nächsten Prozessschritt müssen geklärt werden	45	90	60	ja: durch Wiederholung der Messung oder Durchführung von Maßnahmen zur Abschirmung	Nein	Ja
A-40	nein	ja: warten auf das Messgerät	10	40	20	Nein	Nein	Nein
A-41	nein	ja: Lackschaden Gebinde - Lack ausbessern. +30min für Handhabung. In Summe +24h inkl. Trocknungszeit.	15	60	30	ja: Tätigkeit Lack ausbessern	Nein	Ja
A-42	nein	ja: Beschädigung Gebinde - Inhalt in neues Gebinde einbringen	360	960	480	ja: Tätigkeit Gebinde erneuern	Nein	Ja
A-43	nein	ja: Beschädigung Gebinde mit Freisetzung - Dekontamination, Inhalt in neues Gebinde einbringen	-	-	-	-	-	-
A-44	nein	ja: Lackschaden Gebinde - Lack ausbessern. +30min für Handhabung. In Summe +24h inkl. Trocknungszeit.	15	60	30	ja: Tätigkeit Lack ausbessern	Nein	Ja
A-45	nein	ja: Beschädigung Gebinde - Inhalt in neues Gebinde einbringen	360	960	480	ja: Tätigkeit Gebinde erneuern	Nein	Ja
A-46	nein	ja: Beschädigung Gebinde mit Freisetzung - Dekontamination, Inhalt in neues Gebinde einbringen	-	-	-	-	-	-
A-47	nein	ja: Verzögerung, warten auf erforderliches Werkzeug	5	60	30	Nein	Nein	Nein
A-48	nein	ja: Behälter lässt sich nicht öffnen, zusätzliches Werkzeug besorgen	5	60	30	ja: Öffnungsvorgang des Containers dauert länger	Nein	Ja

ID	Einfluss Strecke	Einfluss Zeit	Min [min]	Max [min]	Annahme [min]	Einfluss Exposition	Bevölkerung radiologisch relevant	beruflich exponierte Personen
A-49	nein	ja: Abschleppen und Bereitstellung eines neuen Schienenfahrzeugs	30	1440	120	ja: längere Expositionsdauer Bevölkerung und Fahrzeugführer	Ja	Ja
A-50	nein	ja: Lackschaden Gebinde - Lack ausbessern. +30min für Handhabung. In Summe +24h inkl. Trocknungszeit.	15	60	30	ja: Tätigkeit Lack ausbessern	Nein	Ja
A-51	nein	ja: Beschädigung Gebinde - Inhalt in neues Gebinde einbringen	360	960	480	ja: Tätigkeit Gebinde erneuern	Nein	Ja
A-52	nein	ja: Beschädigung Gebinde mit Freisetzung - Dekontamination, Inhalt in neues Gebinde einbringen	720	2880	1440	ja: Gebindeschaden mit Freisetzung	Ja	Ja
A-53	nein	ja: Lackschaden Gebinde - Lack ausbessern. +30min für Handhabung. In Summe +24h inkl. Trocknungszeit.	15	60	30	ja: Tätigkeit Lack ausbessern	Nein	Ja
A-54	nein	ja: Beschädigung Gebinde - Inhalt in neues Gebinde einbringen	360	960	480	ja: Tätigkeit Gebinde erneuern	Nein	Ja
A-55	nein	ja: Beschädigung Gebinde mit Freisetzung - Dekontamination, Inhalt in neues Gebinde einbringen	720	2880	1440	ja: Gebindeschaden mit Freisetzung	Ja	Ja
A-56	nein	ja: Aufnahme und Behandlung des Personenschadens	30	120	60	ja: längere Expositionsdauer Bevölkerung und Fahrzeugführer	Ja	Ja
A-57	nein	ja: Abschleppen und Bereitstellung eines neuen LKW	120	480	240	ja: längere Expositionsdauer Bevölkerung und Fahrzeugführer	Ja	Ja
A-58	ja: Z.B: Umfahren Baustelle, Sperrung	ja: Z.B: Umfahren Baustelle, Sperrung	-	-	-	ja: längere Expositionsdauer Bevölkerung und Fahrzeugführer	Ja	Ja
A-59	ja: Z.B: Umfahren Baustelle, Sperrung	ja: Z.B: Umfahren Baustelle, Sperrung	-	-	-	ja: längere Expositionsdauer Bevölkerung und Fahrzeugführer	Ja	Ja
A-60	nein	ja: Abschleppen und Bereitstellung eines neuen Schienenfahrzeugs	120	1440	240	ja: längere Expositionsdauer Bevölkerung und Fahrzeugführer	Ja	Ja
A-61	nein	ja: Lackschaden Gebinde - Lack ausbessern. +30min für Handhabung. In Summe +24h inkl. Trocknungszeit.	15	60	30	ja: Tätigkeit Lack ausbessern	Nein	Ja

ID	Einfluss Strecke	Einfluss Zeit	Min [min]	Max [min]	Annahme [min]	Einfluss Exposition	Bevölkerung radiologisch relevant	beruflich exponierte Personen
A-62	nein	ja: Beschädigung Gebinde - Inhalt in neues Gebinde einbringen	360	960	480	ja: Tätigkeit Gebinde erneuern	Nein	Ja
A-63	nein	ja: Beschädigung Gebinde mit Freisetzung - Dekontamination, Inhalt in neues Gebinde einbringen	720	2880	1440	ja: Gebindeschaden mit Freisetzung	Ja	Ja
A-64	nein	ja: Aufnahme und Behandlung des Personenschadens	30	120	60	ja: längere Expositionsdauer Bevölkerung und Fahrzeugführer	Ja	Ja
A-65	ja: Z.B: Umfahren Baustelle, Sperrung	ja: Z.B: Umfahren Baustelle, Sperrung	-	-	-	ja: längere Expositionsdauer Bevölkerung und Fahrzeugführer	Ja	Ja