

# Optionenvergleich Asse

Fachliche Bewertung der Stilllegungsoptionen  
für die Schachtanlage Asse II



Bundesamt für Strahlenschutz

**BfS- 19/10**

Bitte beziehen Sie sich beim Zitieren dieses Dokuments immer auf folgende URN:

**urn:nbn:de:0221-201004141430**

BfS-Berichte und BfS-Schriften können von den Internetseiten des Bundesamtes für Strahlenschutz unter <http://www.bfs.de> kostenlos als Volltexte heruntergeladen werden.

Salzgitter, Januar 2010

# **Optionenvergleich Asse**

**Fachliche Bewertung der Stilllegungsoptionen  
für die Schachtanlage Asse II**



# INHALTSVERZEICHNIS

<b>INHALTSVERZEICHNIS .....</b>	<b>3</b>
<b>TABELLENVERZEICHNIS.....</b>	<b>5</b>
<b>ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS .....</b>	<b>7</b>
<b>GRUNDLAGEN DES OPTIONENVERGLEICHS.....</b>	<b>11</b>
EINLEITUNG .....	11
DATENGRUNDLAGE .....	13
RANDBEDINGUNGEN UND FESTLEGUNGEN .....	13
WESENTLICHE VERÄNDERUNGEN GEGENÜBER DEM BERICHT – ZWISCHENSTAND: SCHRITT 1 - (STAND: NOVEMBER 2009).....	15
<b>1 CHARAKTERISIERUNG DER VARIANTEN AN HAND DER BEURTEILUNGSFELDER UND KRITERIEN.....</b>	<b>16</b>
1.1 SICHERHEIT IN DER BETRIEBSPHASE .....	16
1.1.1 Radiologische Auswirkungen des bestimmungsgemäßen Betriebes .....	16
1.1.2 Anfälligkeit für Störfälle .....	32
1.1.3 Anfälligkeit gegenüber Eingriffen von außen.....	39
1.2 UMWELTAUSWIRKUNGEN BEI UNBEHERRSCHBAREM LÖSUNGZUTRITT .....	43
1.2.1 Radiologische Auswirkungen bei unbeherrschbarem Lösungszutritt .....	43
1.2.2 Chemotoxische Auswirkungen bei unbeherrschbarem Lösungszutritt .....	48
1.2.3 Einhaltung bergbaulicher Schutzziele .....	51
1.2.4 Wechselwirkungen mit Notfallmaßnahmen .....	57
1.3 VORLÄUFIGE LANGZEITSICHERHEITSEINSCHÄTZUNGEN .....	61
1.3.1 Radiologische Auswirkungen .....	61
1.3.2 Chemotoxische Auswirkungen .....	73
1.3.3 Konsequenzen menschlichen Eindringens in das Endlager.....	77
1.3.4 Robustheit der Stilllegungsoption.....	81
1.3.5 Nachweisbarkeit der radiologischen Langzeitsicherheit.....	87
1.3.6 Einhaltung bergbaulicher Schutzziele .....	89
1.4 MACHBARKEIT .....	94
1.4.1 Technische Umsetzbarkeit.....	94
1.4.2 Rechtliche Umsetzbarkeit .....	98
1.4.3 Weitere Umweltauswirkungen.....	109
1.5 ZEITBEDARF .....	119
1.5.1 Zeitbedarf im Rahmen einer Gefahrenabwehrmaßnahme .....	119
1.5.2 Zeitbedarf bei vorausgehendem Planfeststellungsverfahren (PFV).....	126
<b>2 KRITERIENBEZOGENER PAARVERGLEICH DER VARIANTEN .....</b>	<b>132</b>
2.1 SICHERHEIT IN DER BETRIEBSPHASE .....	132
2.1.1 Radiologische Auswirkungen des bestimmungsgemäßen Betriebs .....	132
2.1.2 Anfälligkeit für Störfälle .....	135
2.1.3 Anfälligkeit gegenüber Eingriffen von außen.....	137
2.2 UMWELTAUSWIRKUNGEN BEI UNBEHERRSCHBAREM LÖSUNGZUTRITT .....	140
2.2.1 Radiologische Auswirkungen bei unbeherrschbarem Lösungszutritt .....	140
2.2.2 Chemotoxische Auswirkungen bei unbeherrschbarem Lösungszutritt .....	143
2.2.3 Einhaltung bergbaulicher Schutzziele .....	146
2.2.4 Wechselwirkungen mit Notfallmaßnahmen .....	149
2.3 VORLÄUFIGE LANGZEITSICHERHEITSEINSCHÄTZUNGEN .....	151

2.3.1	Radiologische Auswirkungen .....	151
2.3.2	Chemotoxische Auswirkungen in der Nachbetriebsphase .....	156
2.3.3	Konsequenzen menschlichen Eindringens in das Endlager.....	157
2.3.4	Einschätzung der Robustheit der Stilllegungsoptionen .....	159
2.3.5	Nachweisbarkeit der radiologischen Langzeitsicherheit.....	163
2.3.6	Einhaltung bergbaulicher Schutzziele .....	165
2.4	MACHBARKEIT .....	169
2.4.1	Technische Umsetzbarkeit.....	169
2.4.2	Rechtliche Umsetzbarkeit .....	173
2.4.3	Weitere Umweltauswirkungen.....	178
2.5	ZEITBEDARF .....	183
2.5.1	Zeitbedarf im Rahmen einer Gefahrenabwehrmaßnahme .....	183
2.5.2	Zeitbedarf bei vorausgehendem Planfeststellungsverfahren .....	186
<b>3</b>	<b>RANGFOLGEN FÜR BEURTEILUNGSFELDER .....</b>	<b>189</b>
3.1	RANGFOLGE IM BEURTEILUNGSFELD 1: SICHERHEIT IN DER BETRIEBSPHASE .....	189
3.2	RANGFOLGE IM BEURTEILUNGSFELD 2: UMWELTAUSWIRKUNGEN BEI UNBEHERRSCHBAREM LÖSUNGZUTRITT .....	190
3.3	RANGFOLGE IM BEURTEILUNGSFELD 3: VORLÄUFIGE LANGZEITSICHERHEITSEINSCHÄTZUNGEN .....	191
3.4	RANGFOLGE IM BEURTEILUNGSFELD 4: MACHBARKEIT .....	192
3.5	RANGFOLGE IM BEURTEILUNGSFELD 5: ZEITBEDARF .....	193
<b>4</b>	<b>BILDUNG EINER GESAMTRANGFOLGE .....</b>	<b>194</b>
<b>5</b>	<b>SENSITIVITÄTSANALYSE.....</b>	<b>195</b>
5.1	GRUNDLEGENDE UNSICHERHEITEN .....	195
5.2	UNSICHERHEITEN FÜR DIE JEWEILIGEN BEURTEILUNGSFELDER .....	196
5.2.1	Sicherheit in der Betriebsphase .....	196
5.2.2	Umweltauswirkungen bei unbeherrschbarem Lösungszutritt .....	196
5.2.3	Vorläufige Langzeitsicherheitseinschätzungen .....	196
5.2.4	Machbarkeit .....	197
5.2.5	Zeitbedarf .....	199
5.3	ASPEKTE ZUR REVIDIERBARKEIT UND ÜBERWACHBARKEIT DER STILLELEGUNGSOPTIONEN .....	201
5.3.1	Revidierbarkeit (Zugänglichkeit).....	201
5.3.2	Überwachbarkeit .....	204
5.3.3	Paarvergleich zum Aspekt der Revidierbarkeit (Zugänglichkeit) .....	208
5.3.4	Paarvergleich zum Aspekt der Überwachbarkeit .....	211
<b>6</b>	<b>ZUSAMMENFASSUNG.....</b>	<b>214</b>
	<b>LITERATURVERZEICHNIS .....</b>	<b>215</b>
	<b>GLOSSAR .....</b>	<b>219</b>

Gesamtseitenzahl: 225

## TABELLENVERZEICHNIS

Tab. 1.1-1: Arbeitsvorgänge und ihre generelle Relevanz für die Optionen hinsichtlich der Exposition der Beschäftigten. ....	20
Tab. 1.1-2: Strahlenexposition der Beschäftigten nach Arbeitsvorgängen bei Rückholung (LAW). ....	23
Tab. 1.1-3: Strahlenexposition der Beschäftigten nach Arbeitsvorgängen bei Umlagerung. ....	24
Tab. 1.1-4: Strahlenexposition des Personals als Kollektivdosis. ....	24
Tab. 1.1-5: Strahlenexposition des Personals als Ausschöpfungsgrade. ....	25
Tab. 1.1-6: Variantenabhängige Kollektivdosis für die Option „Rückholung“ von LAW und MAW. ....	25
Tab. 1.1-7: Strahlenexposition des Personals für die Option „Umlagerung“ (LAW und MAW). ....	26
Tab. 1.1-8: Ausschöpfungsgrade der Strahlenexposition des Personals. ....	26
Tab. 1.1-9: Szenarien und deren Relevanz für die Bevölkerungsdosis bei den verschiedenen Optionen. ....	26
Tab. 1.1-10: Dosis der Referenzperson bei Rückholung. ....	30
Tab. 1.1-11: Dosis der Referenzperson bei Umlagerung. ....	31
Tab. 1.1-12: Gegenüberstellung der Optionen, Dosis der Bevölkerung. ....	32
Tab. 1.1-13: Szenarien und deren Relevanz für die Dosis der Bevölkerung durch Störfälle. ....	33
Tab. 1.1-14: maximale Organ- und Effektivdosis der Bevölkerung bei Störfällen, Option „Rückholung“. ....	36
Tab. 1.1-15: maximale Organ- und Effektivdosis der Bevölkerung bei Störfällen, Option Umlagerung. ....	37
Tab. 1.1-16: Effektive Dosis der Bevölkerung bei Störfällen. ....	38
Tab. 1.3-1: Darstellung der Optionen und Ergebnisse der Bewertungen zum Kriterium „Konsequenzen menschlichen Eindringens in das Endlager“. ....	80
Tab. 1.3-2: Übersicht der Ergebnisse zu den Bewertungsgrößen bei der jeweiligen Option zum Kriterium Robustheit der Stilllegungsoption. ....	85
Tab. 1.5-1: Zeitbedarf Anordnungsphase. ....	120
Tab. 1.5-2: Zeitbedarf für Planung. ....	120
Tab. 1.5-3: Zeitbedarf für Ausführung. ....	121
Tab. 1.5-4: Summe der Zeitbedarf. ....	121
Tab. 1.5-5: Zeitbedarf Anordnungsphase. ....	122
Tab. 1.5-6: Zeitbedarf Planungsphase. ....	123
Tab. 1.5-7: Zeitbedarf Ausführung. ....	124
Tab. 1.5-8: Summe Zeitbedarf. ....	124
Tab. 1.5-9: Zeitbedarf Anordnungsphase. ....	125
Tab. 1.5-10: Zeitbedarf Planungsphase. ....	125
Tab. 1.5-11: Zeitbedarf Ausführungsphase. ....	126
Tab. 1.5-12: Summe Zeitbedarf. ....	126
Tab. 2.1-1: Kriterienbezogener Paarvergleich zu den ‚Radiologischen Auswirkungen des bestimmungsgemäßen Betriebes‘. ....	134
Tab. 2.1-2: Kriterienbezogener Paarvergleich zu ‚Anfälligkeit für Störfälle‘. ....	136
Tab. 2.1-3: Kriterienbezogener Paarvergleich zur ‚Anfälligkeit gegenüber Eingriffe von Außen‘. ....	139

Tab. 2.2-1: Kriterienbezogener Paarvergleich zu ‚Chemotoxische Auswirkungen bei unbeherrschbarem Lösungszutritt‘ .....	145
Tab. 2.2-2: Kriterienbezogenen Paarvergleich zur ‚Einhaltung bergbaulicher Schutzziele‘ .....	148
Tab. 2.2-3: Ergebnis des Kriterienbezogenen Paarvergleichs zu ‚Wechselwirkungen mit Notfallmaßnahmen‘ .....	150
Tab. 2.3-1: Kriterienbezogener Paarvergleich zum Kriterium ‚Radiologische Auswirkungen‘ .....	155
Tab. 2.3-2: Kriterienbezogener Paarvergleich zu ‚Chemotoxische Auswirkungen‘ .....	156
Tab. 2.3-3: Kriterienbezogener Paarvergleich zu ‚Konsequenzen menschlichen Eindringens in das Endlager‘ .....	158
Tab. 2.3-4: Kriterienbezogener Paarvergleich zur ‚Robustheit der Stilllegungsoption‘ .....	162
Tab. 2.3-5: Kriterienbezogener Paarvergleich zur ‚Nachweisbarkeit der radiologischen Langzeitsicherheit‘ .....	164
Tab. 2.3-6: Kriterienbezogener Paarvergleich zur ‚Einhaltung bergbaulicher Schutzziele‘ .....	168
Tab. 2.4-1: Kriterienbezogener Paarvergleich zur ‚Technischen Umsetzbarkeit‘ .....	172
Tab. 2.4-2: Kriterienbezogener Paarvergleich zur ‚Rechtlichen Umsetzbarkeit‘ .....	177
Tab. 2.4-3: Kriterienbezogener Paarvergleich zu ‚Weiteren Umweltauswirkungen‘ .....	182
Tab. 2.5-1: Kriterienbezogener Paarvergleich zum ‚Zeitbedarf im Rahmen einer Gefahrenabwehrmaßnahme‘ .....	185
Tab. 2.5-2: Kriterienbezogenen Paarvergleich zum ‚Zeitbedarf bei vorausgehendem Planfeststellungsverfahren‘ .....	188
Tab. 3.1-1: Rangfolgenbildung im Beurteilungsfeld ‚Sicherheit in der Betriebsphase‘ .....	189
Tab. 3.2-1: Rangfolgenbildung im Beurteilungsfeld ‚Umweltauswirkungen bei unbeherrschbarem Lösungszutritt‘ .....	190
Tab. 3.3-1: Rangfolgenbildung im Beurteilungsfeld ‚Vorläufige Langzeitsicherheitseinschätzungen‘ .....	191
Tab. 3.4-1: Rangfolgenbildung im Beurteilungsfeld ‚Machbarkeit‘ .....	192
Tab. 3.5-1: Rangfolgenbildung im Beurteilungsfeld ‚Zeitbedarf‘ .....	193
Tab. 3.5-1: Zusammenfassung aus Schritt 3 .....	194
Tab. 5.3-1: Kriterienbezogener Paarvergleich zur ‚Revidierbarkeit‘ .....	211
Tab. 5.3-2: Kriterienbezogener Paarvergleich zur ‚Überwachbarkeit‘ .....	213



# ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

<b>Abb.</b>	Abbildung
<b>Abs.</b>	Absatz
<b>ABVO</b>	Allgemeine Bergverordnung über Untertagebetriebe, Tagebaue und Salinen – Niedersachsen
<b>AGO</b>	Arbeitsgruppe Optionenvergleich
<b>Am</b>	Americium, chemisches Element
<b>AtG</b>	Gesetz über die friedliche Verwendung der Kernenergie und Schutz gegen ihre Gefahren (Atomgesetz)
<b>AVV</b>	Entwurf der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zu § 47 StrlSchV
<b>Az.</b>	Aktenzeichen
<b>BAnz</b>	Bundesanzeiger
<b>BauGB</b>	Bau-Gesetz-Buch
<b>BBergG</b>	Bundesberggesetz
<b>BfS</b>	Bundesamt für Strahlenschutz
<b>BGB</b>	Bürgerliches Gesetzbuch
<b>BglBb</b>	Berechnungsgrundlage Bergbau
<b>BImSchG</b>	Bundes-Immissionsschutzgesetz
<b>BMU</b>	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
<b>BNatSchG</b>	Bundes-Naturschutzgesetz
<b>Bq</b>	Becquerel
<b>BT-Drs.</b>	Drucksache des Deutschen Bundestages
<b>BVerwGE</b>	Entscheidungen des Bundesverwaltungsgerichtes
<b>bzgl.</b>	bezüglich
<b>bzw.</b>	„beziehungsweise“
<b>C</b>	Kohlenstoff, chemisches Element
<b>ca.</b>	circa
<b>Cl</b>	Chlor, chemisches Element
<b>Co</b>	Cobalt, chemisches Element
<b>CO<sub>2</sub></b>	Kohlenstoffdioxid, chemische Verbindung
<b>Cs</b>	Cäsium, chemisches Element
<b>d. h.</b>	„das heißt“
<b>BfS</b>	

<b>DIN</b>	Deutsches Institut für Normung
<b>ELB</b>	Einlagerungsbereich
<b>ELK</b>	Einlagerungskammer
<b>ERAM</b>	Endlager für radioaktive Abfälle Morsleben
<b>et.al.</b>	et alia „und andere“
<b>etc.</b>	et cetera, „und so weiter“
<b>EU</b>	Europäische Union
<b>EÜ</b>	Organisationseinheit des BfS: Endlagerüberwachung
<b>EWN</b>	Energiewerke Nord GmbH
<b>ff.</b>	„folgende“
<b>FFH</b>	Fauna-Flora-Habitat
<b>FZK-INE</b>	Forschungszentrum Karlsruhe GmbH – Institut für nukleare Entsorgung
<b>ggf.</b>	„gegebenenfalls“
<b>GRS</b>	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit mbH
<b>GSF</b>	Gesellschaft für Strahlenforschung GmbH
<b>ha</b>	Hektar
<b>HAW</b>	hochradioaktive Abfälle
<b>HMGU</b>	Helmholtz Zentrum München – Deutsches Forschungszentrum für Gesundheit und Umwelt (GmbH)
<b>ICRP</b>	Internationale Strahlenschutzkommission
<b>i. e. S.</b>	„im engeren Sinn“
<b>IfG</b>	Institut für Gebirgsmechanik GmbH
<b>inkl.</b>	„inklusive“
<b>ISTec</b>	Institut für Sicherheitstechnologie GmbH
<b>i. V. m.</b>	„in Verbindung mit“
<b>i. w. S.</b>	„im weiteren Sinn“
<b>K</b>	Kalium, chemisches Element
<b>Kap.</b>	Kapitel
<b>LAW</b>	schwach radioaktive Abfälle (low active waste)
<b>LBEG</b>	Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie
<b>Li</b>	Lithium, chemisches Element

<b>LKW</b>	Lastkraftwagen
<b>LSG</b>	Landschaftsschutzgebiet
<b>MAW</b>	mittelradioaktive Abfälle (medium active waste)
<b>Mg</b>	Magnesium, chemisches Element
<b>MgCl<sub>2</sub></b>	Magnesiumchlorid, chemische Verbindung
<b>Mio.</b>	Million
<b>NaCl</b>	Natriumchlorid, chemische Verbindung
<b>NBauO</b>	Niedersächsische Bauordnung
<b>NJW</b>	Neue Juristische Wochenzeitschrift
<b>NMU</b>	Niedersächsisches Umweltministerium
<b>Nr.</b>	Nummer
<b>NuR</b>	Natur und Recht
<b>nVBA</b>	nicht-Verlorene Betonabschirmung
<b>NVwZ</b>	Neue Zeitschrift für Verwaltungsrecht
<b>NWG</b>	Niedersächsisches Wassergesetz
<b>o. g.</b>	„oben genannt“
<b>OLG</b>	Oberlandesgericht
<b>OVG</b>	Oberverwaltungsgericht
<b>OWiG</b>	Gesetz über Ordnungswidrigkeiten
<b>PFV</b>	Planfeststellungsverfahren
<b>PKA</b>	Pilotkonditionierungsanlage
<b>Pkt.</b>	Punkt
<b>PKW</b>	Personenkraftwagen
<b>Rb</b>	Rubidium, chemisches Element
<b>Rn.</b>	Randnummer
<b>SE</b>	Organisationseinheit des BfS: Sicherheit nuklearer Entsorgung
<b>SBG</b>	Störfallberechnungsgrundlage
<b>s. o.</b>	siehe oben
<b>SO<sub>4</sub></b>	Sulfat, chemische Verbindung
<b>sog.</b>	„so genannt“

<b>SSK</b>	Strahlenschutzkommission
<b>StGB</b>	Strafgesetzbuch
<b>StrlSchV</b>	Verordnung über den Schutz vor Schäden durch ionisierende Strahlen (Strahlenschutzverordnung)
<b>Sv</b>	Sievert
<b>SW</b>	Organisationseinheit des BfS: Strahlenschutz und Umwelt
<b>Tab.</b>	Tabelle
<b>TBH</b>	Transportbereitstellungshalle
<b>Th</b>	Thorium, chemisches Element
<b>TÜV</b>	Technischer Überwachungsverein
<b>u. a.</b>	„unter anderem“
<b>u. ä.</b>	„und ähnlich“
<b>UTK</b>	Umverpackungs- /Teilkonditionierungsanlage
<b>u. U.</b>	„unter Umständen“
<b>UVP</b>	Umweltverträglichkeitsprüfung
<b>UVPG</b>	Gesetz über die Umweltverträglichkeitsprüfung
<b>UVS</b>	Umweltverträglichkeitsstudie
<b>v.</b>	„vom“
<b>v. a.</b>	„von außen“
<b>VBA</b>	Verlorene Betonabschirmung
<b>vgl.</b>	„vergleiche“
<b>WHG</b>	Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushaltes
<b>WKP</b>	Wiederkehrende Prüfung
<b>z. B.</b>	zum Beispiel
<b>z. T.</b>	„zum Teil“
<b>zzgl.</b>	„zuzüglich“

# GRUNDLAGEN DES OPTIONENVERGLEICHS

## EINLEITUNG

In der Schachtanlage Asse II wurden im Zeitraum zwischen 1967 und 1978 radioaktive Abfälle eingelagert. Nach heutigen Kriterien erfüllt die Altanlage Schachtanlage Asse II nicht die Anforderungen an ein Endlager für radioaktive Abfälle (BMI 1983, AKEND 2002, BMU 2009). Die Schachtanlage Asse II ist ein ehemaliges Kali- und Steinsalzbergwerk, das ungünstige geologische und bergbaulich-geomechanische Randbedingungen aufweist. Aufgrund ungenügender Schutzschichtmächtigkeiten existiert ein Lösungszutritt aus dem Deckgebirge, der seit 1988 bekannt ist und derzeit täglich etwa 12 m<sup>3</sup> Zutrittslösung liefert. Wegen fortschreitender Entfestigung von Tragelementen des Grubengebäudes sind Auswirkungen auf das Deckgebirge vorhanden und kurzfristig steigende Zutrittsraten bis hin zu einem unbeherrschbaren Lösungszutritt nicht auszuschließen.

Im November 2007 haben sich das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF), das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) sowie das Niedersächsische Ministerium für Umwelt und Klimaschutz (NMU) auf ein gemeinsames Vorgehen im Zusammenhang mit der Schachtanlage Asse II verständigt (BMU, BMBF & NMU 2007). Übergeordnetes Ziel ist demnach, „...weitere Maßnahmen zur Verbesserung der Sicherheitssituation der Asse...“ zu prüfen und bei Bedarf durchzuführen. Dabei steht die Prüfung ergänzender bzw. alternativer Stilllegungsmaßnahmen im Mittelpunkt.

Vom BMU und BMBF wurde die „Arbeitsgruppe Optionenvergleich“ (AGO) gegründet, in der neben dem Bundesamt für Strahlenschutz und dem vom BMBF beauftragten Projektträger Forschungszentrum Karlsruhe - Wassertechnologie und Entsorgung (PTKA-WTE) das NMU sowie drei Experten, die von der zwischenzeitlich konstituierten „Begleitgruppe Asse-II“ des Landkreises Wolfenbüttel ausgewählt wurden, vertreten sind.

Im Februar 2009 hat die AGO den Abschlussbericht zur Phase I vorgelegt (AGO 2009). Darin wurden als mögliche Stilllegungsoptionen

- die Vollverfüllung
- die Rückholung aller oder Teile der Abfälle und
- die interne Umlagerung aller oder Teile der Abfälle

identifiziert. Für diese Stilllegungsoptionen wurden vom BfS im Frühjahr 2009 Gutachten in Auftrag gegeben, in denen die technische Machbarkeit sowie mögliche radiologische Auswirkungen der jeweiligen Stilllegungsoption bewertet werden. Die Ergebnisse dieser Arbeiten wurden am 02.10.2009 öffentlich vorgestellt.

Die Bearbeitung der Machbarkeits- und Auswirkungsstudien erfolgte hierbei eigenständig durch die jeweiligen Auftragnehmer. Diese wurden vom BfS administrativ begleitet. Eine fachliche Einflussnahme auf die Inhalte der Studien Rückholung und Umlagerung erfolgte seitens des BfS nicht. Lediglich beim Konzept der Vollverfüllung wurden die Grundgedanken des Verfüllkonzepts mit den Auftragnehmern abgestimmt. Demzufolge geben die Inhalte der Machbarkeits- und Auswirkungsstudien ausschließlich die Meinungen der Auftragnehmer wieder.

Eine Plausibilitätsprüfung der jeweiligen Aussagen bzw. Inhalte in den Studien erfolgt erst im Rahmen dieses Optionenvergleichs. Sofern gegenüber den Machbarkeits- und Auswirkungsstudien abweichende Bewertungen durch das BfS vorgenommen worden sind, werden diese begründet.

Der Optionenvergleich erfolgt auf Grundlage des vom BfS mit Stand vom 30.09.2007 veröffentlichten Berichts „Kriterien zur Bewertung von Stilllegungsoptionen für das Endlager für radioaktive Abfälle Asse“

(BfS 2009a). In diesem Bericht wird neben den im Vorfeld des Optionenvergleichs festgelegten Bewertungskriterien auch das Verfahren beschrieben, das zur Auswahl der Stilllegungsoption herangezogen wird. Die Bewertung der Stilllegungsoptionen erfolgt in vier Schritten (Charakterisierung der Optionen, Paarvergleich der Optionen, Bildung der Rangfolgen für die Beurteilungsfelder und Bildung einer Gesamtrangfolge). In einem fünften Schritt (Sensitivitätsanalyse) wird das Ergebnis des Optionenvergleichs hinsichtlich seiner Unsicherheiten bewertet.

Das Ziel dieses Optionenvergleichs ist die Ermittlung der bestmöglichen Stilllegungsoption für die Schachtanlage Asse II. Diese bestmögliche Stilllegungsoption muss unter Berücksichtigung der am Standort gegebenen ungünstigen geologisch-bergbaulichen Umstände sowie hinsichtlich Art und Menge des chemotoxischen und radioaktiven Inventars technisch umsetzbar sein und durch sie muss kurz- und langfristig die Freisetzung von radioaktiven und chemotoxischen Stoffen vermieden oder bestmöglich minimiert werden. In die Bewertung muss auch die Frage der Genehmigungsfähigkeit vor dem Hintergrund der zeitlichen Rahmenbedingungen einbezogen werden.

## **DATENGRUNDLAGE**

Als wichtige Grundlagen für den Optionenvergleich wurden entsprechend den Empfehlungen der AGO folgende Machbarkeits- und Auswirkungsstudien im Auftrag des BfS erarbeitet:

- Möglichkeit einer Rückholung der MAW-Abfälle aus der Schachtanlage Asse II (EWN & TÜV NORD 2008)
- Beurteilung der Möglichkeit einer Rückholung der LAW-Abfälle aus der Schachtanlage Asse (DMT & TÜV NORD 2009)
- Beurteilung der Machbarkeit einer Umlagerung aller oder Teile der radioaktiven Abfälle in der Schachtanlage Asse II (ERCOSPLAN & TÜV NORD 2009)
- Schachtanlage Asse II – Beschreibung und Bewertung der Stilllegungsoption Vollverfüllung (AF-Colenco AG et al. 2009)

Da mit Hilfe der vorgenannten Studien nur ein Teil der im Kriterienbericht (BfS 2009a) genannten Bewertungskriterien bearbeitet werden können, müssen für den Optionenvergleich weitere Unterlagen herangezogen werden. Hier sind z. B. die Unterlagen für den § 7 Antrag nach StrSchV zu nennen, in denen u. a. eine Störfallanalyse für den bestehenden Betrieb erarbeitet worden ist.

Des Weiteren hat das BfS im Zuge des Betreiberwechsels auch die Verfahrensberichte des Abschlussbetriebsplanverfahrens des ehemaligen Betreibers (HMGU) übernommen.

Insgesamt werden für den Optionenvergleich alle Informationen verwendet, die dem BfS derzeit zur Verfügung stehen und für den Vergleich relevant sind. Bei den Arbeiten wurden die jeweilig zugrunde gelegten Sachverhalte durch Zitate belegt.

## **RANDBEDINGUNGEN UND FESTLEGUNGEN**

In den Machbarkeitsstudien zur Rückholung und zur Umlagerung (DMT & TÜV NORD 2009, ERCOSPLAN & TÜV NORD 2009) werden jeweils Varianten betrachtet, bei denen ein Teil des Inventars in der Grube verbleibt. Des Weiteren enthält die Studie zur Umlagerung weitere Untervarianten, in denen die verschiedenen Auffahrungsmöglichkeiten des neuen Einlagerungsbereichs sowie die Geometrien der Einlagerungskammern berücksichtigt werden. Damit ergeben sich für den Vergleich eine Vielzahl von Stilllegungsoptionen, die je nach gewählter Variante nur Teile des vorhandenen Abfallinventars berücksichtigen. Angaben über notwendige Stilllegungsmaßnahmen oder mögliche Auswirkungen hinsichtlich des im Grubengebäude dann verbleibenden Abfallinventars werden in den beiden Studien nicht getroffen. Für den Optionenvergleich wird davon ausgegangen, dass die Optionen Rückholung und Umlagerung jeweils vollständig umgesetzt und dass dabei die gesamten Abfälle (einschließlich MAW) rückgeholt oder umgelagert werden. Dies entspricht in DMT & TÜV NORD (2009) und ERCOSPLAN & TÜV NORD (2009) der Variante 3. In dieser Variante wird auch eine begrenzte Salzgrusmenge angenommen, die durch beschädigte Einlagerungsgebände kontaminiert worden ist und mit den Abfällen zusammen rückgeholt oder umgelagert werden muss.

Auch bei einer Rückholung oder Umlagerung des gesamten Inventars entsprechend der obigen Ausführungen werden Restkontaminationen im Grubengebäude verbleiben. Diese könnten erst nach einer Freimessung der entsprechenden Einlagerungskammer nachweislich ausgeschlossen werden. Für die Restkontaminationen müssten bei einer Stilllegung gemäß der Option Rückholung oder Umlagerung entsprechende Sicherheitsbetrachtungen durchgeführt werden, um deren Tolerierbarkeit nachweisen zu können. Solche Betrachtungen sind nicht Gegenstand des Optionenvergleichs.

Die Betrachtungen zu den radiologischen Auswirkungen berücksichtigen nicht die in der Schachtanlage Asse II im Tiefenaufschluss bereits vorhandenen Kontaminationen. Diese sind infolge der Ableitung geringer Mengen kontaminierter Lösungen entstanden und im Vergleich zu dem in den Einlagerungskammern vorhandenen Gesamtinventar vernachlässigbar. Nach bisherigen Einschätzungen kann diese kontaminierte Lösung nur mit sehr hohem Aufwand und mit erheblichem Zeitbedarf aus dem Porenraum des Salzgrusversatzes drainiert werden.

Der Optionenvergleich kann nur belastbar auf Daten oder Informationen zurückgreifen, die mit heutigem Kenntnisstand vorliegen. Damit kann auch die Entscheidung für die weiter zu verfolgende Stilllegungsoption nur auf Basis des heutigen Wissensstandes erfolgen.



## **WESENTLICHE VERÄNDERUNGEN GEGENÜBER DEM BERICHT – ZWISCHENSTAND: SCHRITT 1 - (STAND: NOVEMBER 2009)**

Ende November 2009 wurde der Begleitgruppe Asse II ein Zwischenbericht des ersten Bewertungsschritts (Charakterisierung der Varianten) übergeben. Da dieser Bericht einen Zwischenstand der bis dahin geleisteten Arbeiten widerspiegelte, wird an dieser Stelle kurz auf wesentliche Änderungen eingegangen, die sich im Zuge der weiteren Arbeiten in dem Schritt 1 ergeben haben.

Gegenüber der Fassung von Ende November 2009 wurde ein Aspekt ergänzt. Dieser betrifft die Strahlenexpositionen, die bei den Transporten der rückgeholten Abfälle vom Zwischenlager zu dem Zielendlager auftreten können. Dieser Aspekt wurde im Beurteilungsfeld Sicherheit in der Betriebsphase ergänzt und dort kurz diskutiert.

Im Beurteilungsfeld Machbarkeit wurden Änderungen vorgenommen:

So wurden in Bezug auf die technische Umsetzbarkeit die Ausführungen zur technischen Komplexität, zu den erprobten und ausgeführten Techniken und zum technischen Entwicklungsbedarf erweitert und in bestimmten inhaltlichen Aspekten verändert.

In Bezug auf die rechtliche Umsetzbarkeit wurde gestrichen, dass nach erfolgter Umlagerung der Langzeitsicherheitsnachweis für die geräumten Kammern ohne weiteres erbracht werden kann. Auch wurden einzelne Formulierungen zur Vollverfüllung verändert. In Bezug auf die Genehmigungsbedürftigkeit beim Wasserrecht wurden bei der Option Rückholung inhaltliche Änderungen vorgenommen.

# 1 CHARAKTERISIERUNG DER VARIANTEN AN HAND DER BEURTEILUNGSFELDER UND KRITERIEN

## 1.1 SICHERHEIT IN DER BETRIEBSPHASE

Im Beurteilungsfeld „Sicherheit in der Betriebsphase“ werden mögliche radiologische Auswirkungen der Stilllegungsoptionen auf Mensch und Umwelt beim Offenhaltungs- und Stilllegungsbetrieb, bei Störfällen sowie die Anfälligkeit gegenüber Eingriffen von außen betrachtet und bewertet.

### 1.1.1 Radiologische Auswirkungen des bestimmungsgemäßen Betriebes

#### 1.1.1.1 Konkretisierung der Größen und Maßstäbe für die Bewertung

Die folgenden Abschnitte behandeln und diskutieren Aspekte des Vergleichs der Optionen zur Stilllegung des Endlagers Asse hinsichtlich der radiologischen Auswirkungen des bestimmungsgemäßen Betriebes. Zum Verständnis und zur Einordnung der Bedeutung der verschiedenen, auf den drei Machbarkeitsstudien DMT & TÜV NORD (2009), ERCOSPLAN & TÜV NORD (2009), AF-Colenco AG et al. (2009) sowie der Studie zur Rückholung der MAW (EWN & TÜV NORD 2008) beruhenden Dosiswerte und deren Unterschiede dienen die folgenden Vorbemerkungen.

Die Bewertung der „Radiologischen Auswirkungen des bestimmungsgemäßen Betriebes“ erfolgt anhand der nachfolgenden Größen:

- Strahlenexposition der Beschäftigten,
- Strahlenexposition der Bevölkerung / Umwelt.

#### Konservativitäten bei der Dosisermittlung

Der Vergleich radiologischer Auswirkungen verschiedener Optionen zur Stilllegung des Endlagers Asse behandelt ein klassisches Optimierungsproblem des Strahlenschutzes. Optimierungsbetrachtungen erfordern grundsätzlich eine realistische Betrachtung aller entscheidungsrelevanten Kriterien, einschließlich der Strahlenexposition, um bei der Abwägung der verschiedenen Optionen keinen Gesichtspunkt von vornherein zu benachteiligen. Für den Strahlenschutz bedeutet dies z. B., dass Expositionen möglichst auf der Grundlage real auftretender Szenarien und mittlerer Werte für die verwendeten Parameter (z. B. Verzehrsmengen, Aufenthaltszeiten der so genannten Referenzperson) beruhen sollen.

Während Ermittlungen der beruflichen Strahlenexposition im Allgemeinen realistisch (soweit möglich basierend auf Messwerten) erfolgen, werden insbesondere im Bereich der Planung und Genehmigung kerntechnischer Anlagen zum Schutz der Bevölkerung bewusst z. B. Annahmen zu den Lebensgewohnheiten der Referenzperson verwendet, die zu einer Überschätzung der tatsächlich auftretenden Strahlenexpositionen führen. Ziel dieses ‚konservativen‘ Vorgehens ist es sicherzustellen, dass im tatsächlichen Betrieb der Anlagen auch unter ungünstigen Umständen die Grenzwerte der Strahlenexposition eingehalten werden. Für den Schutz der Bevölkerung bei Kernanlagen sind diese Berechnungsverfahren im Entwurf der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zu § 47 (AVV) der StrlSchV vorgegeben (AVV 2005).

Eine spezielle Berechnungsvorschrift, die dem grundsätzlichen Erfordernis des Realismus bei der Ermittlung der Bevölkerungsexposition Rechnung trägt und die für den Fall der Schachanlage Asse II anwendbar wäre, existiert jedoch in Deutschland nicht. Ihre Anwendung würde auch zu Widersprüchen mit den bei der Routineüberwachung der Schachanlage Asse II heute schon ermittelten und publizierten Expositionswerten führen und damit schwer vermittelbar sein<sup>1</sup>. Deshalb wird im Folgenden bei der Abschätzung der Strahlenexposition der Bevölkerung grundsätzlich auf die AVV sowie im Falle der Abschätzung der Konsequenzen von Störfällen auf die Störfallberechnungsgrundlagen (Strahlenschutzkommission 2003) zurückgegriffen. Die Überschätzung der Exposition bleibt bei der für den Optionenvergleich gewählten speziellen Methodik des ‚Paarvergleichs‘, die relative Bewertungen der Optionen untereinander liefert, ohne Konsequenzen und kann deshalb hingenommen werden, wenn sie sich bei allen betrachteten Optionen in gleicher Weise auswirkt. Sollte sich allerdings eine Stilllegungsoption hinsichtlich eines Kriteriums nur deshalb als schlechter darstellen, weil dabei Szenarien, Parameter oder Modelle eine Rolle spielen, die sich durch ein besonders hohes Maß an Konservativität auszeichnen, das bei anderen Optionen so nicht auftritt, muss kritisch geprüft werden, ob die sich auf der Grundlage der Berechnungen nach AVV ergebenden Unterschiede der Optionen real sind oder nur auf dem gewählten rechnerischen Ansatz basieren.

Die unterschiedlichen Herangehensweisen im Bereich des beruflichen Strahlenschutzes und des Strahlenschutzes der Bevölkerung haben zur Konsequenz, dass die ermittelten Dosiswerte für Beschäftigte und für die Bevölkerung nicht unmittelbar vergleichbar sind.

### **Vergleichbarkeit der Dosiswerte**

Auch im Rahmen dessen, was als realistische Dosisabschätzung angesehen werden kann, ist man bei der Abschätzung potentieller Strahlenexpositionen, z. B. der beruflichen Exposition, zum Teil auf die Verwendung nur ungenau bekannter Parameter und (plausibler) Annahmen angewiesen (Expert-Judgement). Da eine Entscheidung über die als ‚richtig‘ zu bewertende Annahme oder den ‚richtigen‘ Parameter nicht möglich ist, muss zur Vermeidung von Fehlbewertungen dafür Sorge getragen werden, dass möglichst übereinstimmende Annahmen für alle Optionen getroffen werden.

### **Relevante Dosisgrößen**

Im Strahlenschutzsystem werden unter verschiedenen Gesichtspunkten unterschiedliche dosimetrische Größen verwendet. Die zentrale, universelle Schutzgröße mit unmittelbarem Bezug zum individuellen Gesundheitsrisiko des Menschen ist die effektive Dosis. Für sie gilt nach der Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) der Grenzwert von 20 mSv/a für Beschäftigte bzw. 1 mSv/a für die Bevölkerung.

Daneben ist nach Strahlenschutzverordnung sicherzustellen, dass die Grenzwerte der Dosis für bestimmte, in der Strahlenschutzverordnung festgelegte Organe eingehalten werden. Organdosen, die unterschiedliche Organe betreffen, können hinsichtlich des Gesundheitsrisikos allerdings nur bedingt miteinander verglichen werden, da die Organe und Gewebe unterschiedliche Strahlenempfindlichkeit aufweisen. Für den Vergleich der Optionen untereinander ist die Organdosis deshalb unter Umständen nur eingeschränkt als Bewertungsgröße verwertbar.

Insbesondere für Zwecke der Strahlenschutzoptimierung wird üblicherweise nicht nur die Höhe der zu erwartenden individuellen effektiven Dosis als Maßstab verwendet, sondern auch die Kollektivdosis, also die Summe der Individualdosen aller betroffenen Personen. Sie ist ein Maß für die insgesamt zu erwartenden Gesundheitsfolgen unter den exponierten Personen. Für den Optionenvergleich hat die Kollektivdosis bei der beruflichen Exposition gegenüber den maximalen Individualdosen den Vorteil, unabhängig von

---

<sup>1</sup> Es sei darauf hingewiesen, dass die auf Basis der AVV ermittelten Werte der Strahlenexposition aus den genannten Gründen bei der Berichterstattung z. B. in den jährlich zu erstellenden Parlamentsberichten zur ‚Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung‘ immer als ‚obere Werte‘ dargestellt werden.

erforderlichen Annahmen zu der Zahl der exponierten Personen zu sein. Beim Optionenvergleich sollten deshalb im beruflichen Bereich Individualdosis und Kollektivdosis komplementär betrachtet werden.

Auch bei der Bevölkerungsexposition ist zu prüfen, ob bei den Optionen der Grenzwert der Exposition eingehalten werden kann - ansonsten wäre die Option nicht genehmigungsfähig. Hingegen ist die Ermittlung kollektiver Expositionen für die Bevölkerung mit einer Reihe von Problemen verbunden, wie der Frage der Ermittlung und der sinnvollen Begrenzung der zu betrachtenden exponierten Bevölkerung und der Verteilung der Expositionen in dieser Gruppe. Auch zeigen die vorliegenden Abschätzungen, dass der relevante Expositionspfad (Luftpfad), für den prinzipiell eine Abschätzung kollektiver Dosen vorstellbar ist, nur zu Expositionen führt, die für den Strahlenschutz als nicht relevant angesehen werden können (vgl. Abschnitt ‚Strahlenexposition der Bevölkerung‘). Die Addition solcher Dosen zu einer Kollektivdosis ist aus Strahlenschutzsicht nicht sinnvoll (vgl. nächsten Abschnitt).

## **Relevanz von Dosiswerten und – differenzen**

Für den vorgesehenen Paarvergleich im Schritt 2 des Optionenvergleichs werden Unterschiede der ermittelten Strahlenexpositionen nicht quantitativ verwendet, sondern verbal-argumentativ vereinfachend als relativ ‚besser‘ oder ‚schlechter‘ charakterisiert. Diese Vereinfachung kann dazu führen, dass geringfügige ebenso wie aus Strahlenschutzsicht signifikante Unterschiede der Strahlenexposition in gleicher Weise in die Bewertung eingehen. Dies ist bei der gewählten Methodik nicht prinzipiell zu vermeiden. Gleichwohl sollte aber vermieden werden, dass Dosisdifferenzen zwischen den Optionen letztlich bewertungsrelevant werden, die entweder

- im Bereich der Unsicherheit der Dosis-schätzungen liegen oder die
- aus Strahlenschutzsicht als unerheblich betrachtet werden können.

Im Weiteren wird deshalb wie folgt vorgegangen:

In Übereinstimmung mit international akzeptierten Grundsätzen im Strahlenschutz werden für die Betriebsphase Expositionen als nicht relevant für den Vergleich herangezogen, die im Bereich von  $10 \mu\text{Sv/a}$  für die Betriebsphase liegen (Individualdosen). Solche Strahlenbelastungen liegen weit unterhalb des in Deutschland zu verzeichnenden räumlichen Schwankungsbereiches der natürlichen Strahlenexposition, die im Bereich zwischen  $0,3 \text{ mSv}$  und  $1 \text{ mSv pro Jahr}^2$  liegt. Beträgt die Differenz zwischen zwei Dosiswerten einige  $10 \mu\text{Sv/a}$ , werden diese als nicht relevant für den Optionenvergleich angesehen.

Differenzen bei der Kollektivdosis werden unter Berücksichtigung der Unsicherheiten nur dann als relevant angesehen, wenn sie mindestens etwa 20 % des ermittelten Wertes betragen und nicht auf plausible systematische Unterschiede zurückzuführen sind.

## **Schutz der Umwelt**

Gemäß der Strahlenschutzverordnung ist nicht nur der Mensch, sondern auch die Umwelt vor den schädlichen Wirkungen ionisierender Strahlung zu schützen. Kriterien für einen hinreichenden Schutz von Fauna und Flora oder Expositionsgrenzwerte werden in der Strahlenschutzverordnung nicht genannt. Vielmehr wird in Einklang mit den Empfehlungen der Internationalen Strahlenschutzkommission (ICRP) aus dem Jahr 1991 (ICRP 1991) davon ausgegangen, dass einzelne Tier- und Pflanzenarten indirekt ausreichend geschützt sind, wenn das auf den Schutz des Menschen ausgerichtete Strahlenschutzsystem angewendet und das betreffende Gebiet auch von Menschen bewohnt wird.

---

<sup>2</sup> Ohne den Beitrag der Strahlenexposition beim Aufenthalt in Gebäuden durch die Inhalation von Radon bzw. Radon-Zerfallsprodukten, die erheblich höher und damit gesundheitsrelevant sein können.

In der ICRP-Veröffentlichung Nr. 91 aus dem Jahr 2003 (ICRP 2003) empfiehlt die Internationale Strahlenschutzkommission jedoch, eine konzeptionelle Lücke im Strahlenschutz zu schließen und den Schutz der Natur explizit zu betrachten. Eigene Modellrechnungen des BfS auf Grundlage der Dosiskonversionsfaktoren der ICRP-Veröffentlichung Nr. 108 (ICRP 2008) führten zu dem Ergebnis, dass die Exposition der Referenzorganismen infolge der Ableitungen aus der Schachanlage Asse II außerhalb des Betriebsgeländes so gering ist, dass negative Effekte bei Fauna und Flora nicht zu erwarten sind. Aus den genannten Gründen wird der Strahlenschutz der Umwelt im Rahmen des Bewertungsfeldes ‚Sicherheit in der Betriebsphase‘ nicht explizit betrachtet.

### **1.1.1.2 Strahlenexposition der Beschäftigten**

#### **Arbeitsvorgänge und ihre Relevanz für die Optionen**

Die Aussagen in diesem Abschnitt basieren auf den in Abschnitt 1.1.1 zitierten Machbarkeitsstudien, in denen die für die einzelnen Optionen relevanten Arbeitsvorgänge dargestellt werden, wenn auch nicht in identischer Darstellungsart und –tiefe.

In der folgenden Tab. 1.1-1 sind die Informationen zu den Arbeitsvorgängen und deren grundsätzlicher Relevanz für die jeweilige Option überblicksartig zusammengestellt. Dies ermöglicht es, wesentliche Unterschiede auf einen Blick zu erkennen. Hierbei werden die Arbeitsvorgänge der Option Vollverfüllung nicht aufgeführt, da bei dieser Option im bestimmungsgemäßem Betrieb keine relevante Strahlenexposition der Beschäftigten zu besorgen ist. Bei dieser Option werden lediglich die Einlagerungskammern zum Zweck der Verfüllung mit (vergleichsweise kleinen) Bohrungen versehen, um die Verfüllmasse einzubringen. Hierbei mögliche Strahlenexpositionen erreichen dabei mit hoher Sicherheit nicht annähernd die Größenordnung derjenigen beim Bergen der Abfälle bei den Optionen Rückholung und Umlagerung.

Im Folgenden werden primär diejenigen Varianten betrachtet, die von einer vollständigen Umsetzung der Optionen Rückholung und Umlagerung ausgehen, bei denen also (ggf. bis auf ‚Restkontaminationen‘) keine Abfälle in den Einlagerungskammern verbleiben. Die Varianten, die jeweils vom Verbleib eines Teils der Abfälle in den Einlagerungskammern (mit anschließender Vollverfüllung) ausgehen, werden als Zusatzinformationen angegeben. Diese Vorgehensweise ist dadurch begründet, dass die Varianten mit einer vollständigen Umsetzung der Optionen zu den jeweils höchsten möglichen Strahlenexpositionen führen.

In der folgenden Tab. 1.1-1 sind die Arbeitsvorgänge jeweils nach solchen bei der Rückholung bzw. Umlagerung von LAW- und MAW-Gebinden aufgeschlüsselt, da diese ausweislich der Machbarkeitsstudien nicht in jedem Fall identisch sind. Dies ermöglicht auch in der Folge die Identifikation der im Sinne des Strahlenschutzes ‚kritischen‘ Arbeitsvorgänge.

Tab. 1.1-1: Arbeitsvorgänge und ihre generelle Relevanz für die Optionen hinsichtlich der Exposition der Beschäftigten.

Arbeitsvorgang	Rückholung		Umlagerung	
	LAW	MAW	LAW	MAW
Bergung aus den Einlagerungskammern, mit - vor- und nachbereitenden Tätigkeiten (Schaffung von Zugängen, Errichtung techn. Einrichtungen und deren Rückbau) - Handhabung in Kammern (fernbedient)	X	X	X	X
Dekontamination, Verpackung, Verschließen der Abschirm- und Transportbehälter, ggf. Dekontamination des Abschirm- und Transportbehälters, ggf. Intervention	X	X	-	-
Transport unter Tage / zum Schacht/ Verladung	X	X	X	X
Verpackung von 10 % der MAW-Fässer (beschädigt) zum Zwecke der Seilfahrt in Spezialbehälter	-	-	-	X
Umladung Schacht-Transportfahrzeug <u>bei Umlagerung</u>	-	-	X	X
Transport vom Schacht zum Einlagerungsort	-	-	X	X
Transport vom Schacht zur Transportbereitstellungshalle – über Tage	X	X	-	-
Konditionierung der Gebinde (über Tage)	X	-	-	-
Umladung Transportfahrzeug – Einlagerungsort (bei Umlagerung)	-	-	X	X
Wiederkehrende Prüfung an MOSAIK-Behältern	-	X	-	-
Transportbereitstellung (über Tage)	X	X	-	-
Einlagerung - (unter Tage) <u>bei Umlagerung</u>	-	-	X	X
Endlagerung (in externem Endlager)	X	X	-	-

## Expositionen

Die Machbarkeitsstudien gehen davon aus, dass Strahlenexpositionen<sup>3</sup> ausschließlich durch die von den Abfällen ausgehende Gammastrahlung resultieren (äußere Exposition). Eine Inkorporation von Radionukliden wird dagegen durch technische Maßnahmen (Schutzkleidung, -masken, z. T. Vollschutzanzüge) als vermeidbar betrachtet. Hierzu zeigen jedoch Erfahrungen des BfS aus dem Bereich der Inkorporationsüberwachung, dass Inkorporationen häufig aus dem Umkleiden der (u. U. kontaminierten) Schutzkleidung resultieren. Dosimetrische Abschätzungen hierzu wären aber spekulativ. In jedem Fall kann davon ausgegangen werden, dass durch geeignete Überwachungs- und Kontrollmaßnahmen die Einhaltung der Dosisgrenzwerte sichergestellt ist. Aufgrund der Betriebserfahrungen in anderen kerntechnischen

<sup>3</sup> Teilweise wird vollautomatische Arbeitsweise unterstellt, bei der der Abstand zu den Abfällen so groß gehalten werden kann, dass praktisch keine Exposition für die Beschäftigten erfolgt.

Anlagen geht das BfS davon aus, dass bei korrektem Arbeitsverhalten die interne Exposition jedenfalls gering im Vergleich zu der externen Exposition ist (siehe die folgenden Ausführungen). Überdies ist es plausibel anzunehmen, dass mögliche interne Expositionen als zufällig und bei beiden Optionen hinsichtlich Ausmaß und Eintrittswahrscheinlichkeit vergleichbar angesehen werden können. Deshalb hat die Vernachlässigung dieses Expositionspfades hinsichtlich des Optionenvergleichs keine Auswirkungen.

Die die Dosisleistung bestimmenden Radionuklide in den Gebinden bilden Cs-137 und Co-60. Die sich bei den Strahlungsenergien dieser Radionuklide ergebenden Organdosen infolge äußerer Strahlenexposition unterscheiden sich von der jeweiligen effektiven Dosis um maximal 20 %. Da davon ausgegangen wird, dass lediglich äußere Exposition auftritt, ist eine gesonderte Betrachtung der Organdosen für die berufliche Exposition nicht erforderlich. Die folgenden Ausführungen beschränken sich mithin auf individuelle und kollektive *effektive* Dosen.

Die in Tab. 1.1-1 aufgeführten Arbeitsvorgänge unterscheiden sich nach den zugrunde liegenden Machbarkeitsstudien hinsichtlich der durch sie verursachten Strahlenexpositionen der Beschäftigten deutlich. Eine zusammenfassende Darstellung erfolgt in den Tabellen am Ende dieses Abschnitts. Nachfolgend werden diejenigen Arbeitsvorgänge einer näheren Betrachtung unterzogen, die zu den höchsten Expositionen führen und / oder bei denen Fragen bzgl. der zu Grunde liegenden Annahmen oder Dosiswerte aufgetreten sind. Arbeitsvorgänge, für die Kollektivdosen von weniger als 10 mSv prognostiziert werden, werden in der Regel hier nicht weiter betrachtet. In der Summe tragen diese weniger als 10 % zur Gesamtexposition bei.

## **Bergung aus den Einlagerungskammern**

Die Bergung der Abfälle aus den Einlagerungskammern ist für beide Optionen und für MAW wie für LAW relevant.

Für auf die jeweiligen Maximalvarianten (100 %-ige Umsetzung der Option) wird für LAW bei beiden Optionen eine Kollektivdosis von 387,5 mSv angegeben<sup>4</sup>. Darin sind 'vor- und nachbereitende Arbeiten' wie die Schaffung von Zugängen zu den Einlagerungskammern, Errichtung technischer Einrichtungen und deren Rückbau etc. enthalten. Es ist plausibel, dass diese Exposition bei beiden Optionen übereinstimmt.

In der Studie zur Umlagerung sind die genannten 'vor – und nachbereitenden Arbeiten' für die MAW nicht explizit aufgeführt. Sie werden in der MAW-Studie zur Rückholung (DMT & TÜV NORD 2009) mit einer Kollektivdosis von 40 mSv und einer maximalen Individualdosis von 6,67 mSv angegeben. In der Umlagerungsstudie werden die MAW separat betrachtet. Unter Verweis auf die (fast) vollständige Automatisierbarkeit wird lediglich die Verpackung beschädigter Fässer (Annahme: 10 %) als zur Dosis beitragend angesehen (siehe Tab. 1.1-1). Das BfS hält es jedoch für plausibel, dass auch bei der Umlagerung der MAW die genannten vor -und nachbereitenden Arbeiten anfallen. Daher ist damit zu rechnen, dass auch bei der Umlagerung 40 mSv Kollektivdosis für die betreffenden Arbeiten auftreten und zu der in der 'Umlagerungsstudie' genannten Exposition für die MAW (7 mSv) zu addieren sind. Auch für die individuellen Expositionen ist von den o. g. 6,67 mSv als Maximalwert auszugehen. Eine Addition mit Individualdosen anderer Arbeitsvorgänge erfolgt jedoch nicht, da nicht der gleiche Personenkreis betroffen sein wird.

---

<sup>4</sup> Die Werte werden hier wie in den Machbarkeitsstudien angegeben zitiert, d.h. nicht gerundet.

## **Transport unter Tage/ zum Schacht / Verladung**

Die hierbei ermittelte kollektive Exposition beträgt für die Option Rückholung 48,4 mSv für die LAW und 52 mSv für die MAW und trägt damit relevant zur Gesamtexposition bei.

Auch für diese Arbeitsvorgänge ist festzustellen, dass sie nach der Darstellung im Gutachten bei der Option Umlagerung für die MAW wegen durchgängiger Fernbedienung zu keiner Exposition führen. Einer Rückfrage beim Gutachter zufolge sind während dieser Option auch nur ‚kurze und leicht zu fahrende Strecken‘ zurückzulegen. Ob dies in der Praxis so umgesetzt werden kann, kann nicht abschließend beurteilt werden. Das BfS geht davon aus, dass eventuelle Expositionen jedenfalls klein gegenüber denjenigen bei der Rückholung der MAW sind.

## **Dekontamination, Verpackung, Verschließen Abschirmung- und Transportbehälter, Dekontamination des Abschirmungs- und Transportbehälters, Intervention**

Diese Arbeitsvorgänge sind nur für die Rückholung der MAW unter Tage relevant, dort sind sie aber dosisbestimmend. Für sie wird eine Kollektivdosis von 301 mSv, eine maximale Individualdosis von 29,25 mSv und eine mittlere Individualdosis von 19 mSv abgeschätzt.

Gemeinsam mit den anderen Unter-Tage-Arbeiten bei der Option Rückholung ergeben sich für die MAW Dosen von 353 bzw. 40,4 mSv (max. Individualdosis).

## **Wiederkehrende Prüfung (an MOSAIK-Behältern)**

Gemäß dem Gutachten für die Machbarkeit der Rückholung der MAW ist an MOSAIK-Behältern entsprechend ihrer Zulassung nach 15 Transporten oder alle drei Jahre eine wiederkehrende Prüfung in Form eines Wischtests durchzuführen. Sollten die Behälter länger als drei Jahre in der Transportbehälterhalle verbleiben, wird von der Durchführung wenigstens einer solchen Prüfung ausgegangen. Da die Abfälle für den Transport und die Einlagerung in ein externes Endlager konditioniert werden müssen, ist der Zeitraum von mindestens drei Jahren für die Lagerung in der Transportbehälterhalle nicht unrealistisch und ggf. eher zu knapp bemessen. Bei sehr langem Verbleib kämen also ggf. weitere wiederkehrende Prüfungen hinzu. Allerdings kann nach Auffassung des BfS in diesem Fall auch davon ausgegangen werden, dass entweder die Notwendigkeit solcher Prüfungen noch einmal kritisch hinterfragt wird oder dass technische Vorrichtungen entwickelt werden, um diese Prozesse zu automatisieren und die dabei auftretende Strahlenexposition entsprechend zu verringern.

„Unter der Annahme, dass die MOSAIK-Behälter 1/3 der Anzahl der verwendeten Behälter stellen, jedoch 2/3 des radioaktiven Inventars beinhalten“ wurde im Gutachten zur Rückholung der MAW (EWN & TÜV NORD 2008) für die WKP eine maximale individuelle Exposition von 29,44 mSv/a und eine Kollektivdosis von 110,7 mSv abgeschätzt. Damit würde dieser Arbeitsvorgang mit ca. einem Drittel zur Kollektivdosis bei der Rückholung der MAW beitragen, die insgesamt mit 339,2 mSv beziffert würde. Hierbei handelt es sich eher um eine obere Abschätzung der tatsächlichen Exposition.

Im Gutachten wird davon ausgegangen, dass sich die genannte maximale individuelle Exposition, die eine Grenzwertüberschreitung darstellen würde, durch entsprechende Strahlenschutzmaßnahmen deutlich verringern lassen wird, so dass keine Probleme bei der Genehmigungsfähigkeit auftreten werden. Das BfS geht ebenfalls davon aus, dass die Einhaltung der Grenzwerte durch betriebliche Maßnahmen sichergestellt werden kann.



## Einlagerung (Option Umlagerung) bzw. Endlagerung (Option Rückholung) in externem Endlager für MAW

Für die Einlagerung der MAW – Abfälle in ein externes Endlager wird in der MAW-Studie (EWN & TÜV NORD 2008) eine Kollektivdosis von 17,7 mSv eingerechnet.

Für die Einlagerung der MAW in die Einlagerungskammern bei Umlagerung wird im ‚Umlagerungs-Gutachten‘ keine Dosis veranschlagt (mit dem Hinweis auf ferngesteuerte Handhabung). Für die Einlagerung der LAW wird dagegen eine Kollektivdosis von 5,3 mSv angegeben.

Aus Sicht des BfS sind diese Abschätzungen plausibel.

## Expositionen bei den Optionen

Die kollektiven Expositionen werden für alle Arbeitsvorgänge nachfolgend tabellarisch dargestellt.

## Rückholung

Tab. 1.1-2: Strahlenexposition der Beschäftigten nach Arbeitsvorgängen bei Rückholung (LAW).

Beschreibung Arbeitsvorgang	kollektive Dosis LAW [mSv]
Dosis ELK	387,5
Dosis Fahrer unter Tage	48,4
Umladung	14,6
Transport zum Schacht/Verladung-Umladung	4,2
Transport vom Schacht zur TBH	5,9
Konditionierung der Gebinde (über Tage)	26,3
Transportbereitstellung (über Tage)	2,3
Endlagerung (in externem Endlager)	61,1
Summe	550,3

Gemäß des MAW Gutachtens (EWN & TÜV NORD 2008) muss bei der MAW-Rückholung von 339,2 mSv Kollektivdosis ausgegangen werden. Damit ergibt sich für die Rückholung aller Abfälle eine Gesamt-Kollektivdosis von **889 mSv**<sup>5</sup>.

<sup>5</sup> In der Asse-Aktennotiz des TÜV vom 22.10.2009 (TÜV NORD 2009) wird der Wert 989 mSv angegeben. Hierbei handelt es sich offensichtlich um einen Schreibfehler.

## Umlagerung

Tab. 1.1-3: Strahlenexposition der Beschäftigten nach Arbeitsvorgängen bei Umlagerung.

Beschreibung Arbeitsvorgang	kollektive Dosis LAW [mSv]
Dosis ELK	387,5
Dosis Fahrer unter Tage	48,5
Umladung	5,4
Transport zum Schacht/Verladung-Umladung	4,8
Umladung Schacht-Transportfahrzeug bei Umlagerung	6,8
Transport vom Schacht zum Einlagerungsort	2,4
Umladung bei Umlagerung	3,2
Einlagerung (unter Tage)	5,3
Umlagerung MAW Summe	7
Summe	470,9

Wie oben dargestellt gehen wir von einer um 40 mSv höheren kollektiven Exposition, also von insgesamt **511 mSv** für die Umlagerung aller Abfälle aus.

## Zusammenfassung: Strahlenexposition der Beschäftigten

Im Folgenden werden die Ergebnisse für die Strahlenexposition der Beschäftigten zusammenfassend dargestellt. Diese Zusammenstellung übernimmt den Text aus der ergänzenden gutachterlichen Darstellung vom 22.10.2009 (TÜV NORD 2009), mit der im vorigen Abschnitt dargestellten Änderung bzgl. der Kollektivdosis bei Umlagerung der LAW. Diese betreffenden Änderungen des BfS sind rot markiert, die Originalangaben (TÜV NORD 2009) stehen in Klammern. Der zitierte Text ist insgesamt *kursiv formatiert*. Es werden die Varianten 1, 2, 3, 4 für die Option Rückholung dargestellt.

## Rückholung

*In dem Bericht (DMT & TÜV NORD 2009) wurde die bei der Rückholung der LAW zu erwartende Kollektivdosis des Personals ermittelt. Diese Daten sind in Tab. 1.1-4 dargestellt.*

Tab. 1.1-4: Strahlenexposition des Personals als Kollektivdosis.

Variante	Rückgeholtes LAW-Aktivitätsinventar [%]	Kollektives LAW [mSv]
1	70	44
2	92	97
3, 4	100	550

Des Weiteren wurde für die einzelnen Tätigkeiten des Personals die zu erwartende maximale Individualdosis bestimmt. Anhand dieser maximalen Individualdosis wurde der Ausschöpfungsgrad der Grenzwerte nach § 55 StrlSchV ermittelt. Die Ausschöpfungsgrade der Individualdosis sind in Tab. 1.1-5 dargestellt.

Tab. 1.1-5: Strahlenexposition des Personals als Ausschöpfungsgrade.

Variante	Ausschöpfungsgrade der Grenzwerte der Strahlenexposition des § 55 StrlSchV für LAW [%]
1	5
2	15
3, 4	50

In dem Bericht (EWN & TÜV NORD 2008) wurde die durch die Rückholung der MAW verursachte Strahlenexposition des Personals abgeschätzt. Es wurden verschiedene Verpackungskonzepte betrachtet, die zu unterschiedlichen Kollektivdosen und Ausschöpfungsgraden der Grenzwerte führen. Für die Kollektivdosis wurde ein Wert von 339 mSv ermittelt, und für die Ausschöpfung der Grenzwerte nach § 55 StrlSchV wurde für einzelne ungünstige Arbeitssituationen ein Maximalwert von 95 % bestimmt.

In der Summe ergeben sich für die verschiedenen Varianten der Rückholung für LAW und MAW die in Tab. 1.1-6 dargestellten Kollektivdosen.

Tab. 1.1-6: Variantenabhängige Kollektivdosis für die Option „Rückholung“ von LAW und MAW.

Variante	Kollektivdosis [mSv]
1	383
2	436
3, 4	889 (989)

Die Ausschöpfungsgrade der Grenzwerte der Strahlenexposition des Personals werden nicht addiert, da die Rückholung der MAW und LAW zeitgleich erfolgt und somit von unterschiedlichen Personen durchgeführt wird.

## Umlagerung

In dem Bericht (ERCOSPLAN & TÜV NORD 2009) wurde die Umlagerung der LAW und MAW beschrieben. Dabei wurden zwei unterschiedliche Einlagerungsmethoden betrachtet: Einlagerung in Kavernen sowie Einlagerung in Kammern (LAW) und einer Kaverne (MAW). Hier ergeben sich durch die verschiedenen Handhabungsvorgänge unterschiedliche Kollektivdosen. Bei der Umlagerung der Abfälle in Kammern ist die Kollektivdosis geringfügig höher als bei der Einlagerung der Gebinde in Kavernen. In Tab. 1.1-7 ist die Kollektivdosis für die Option „Umlagerung“ in Kammern dargestellt. Diese Werte sind abdeckend für die Option „Umlagerung“ in Kavernen.

Tab. 1.1-7: Strahlenexposition des Personals für die Option „Umlagerung“ (LAW und MAW).

Variante	Umgelagertes LAW-Aktivitätsinventar [%]	Kollektivdosis [mSv]
1	70	38
2	92	74
3, 4	100	511 (471)

Des Weiteren wurde anhand der für die einzelnen Tätigkeiten des Personals die zu erwartende maximale Individualdosis bestimmt. Anhand dieser Dosis wurde der Ausschöpfungsgrad der Grenzwerte nach § 55 StrlSchV ermittelt. Die Ausschöpfungsgrade der Individualdosis sind in Tab. 1.1-8 dargestellt.

Tab. 1.1-8: Ausschöpfungsgrade der Strahlenexposition des Personals.

Variante	Ausschöpfungsgrade der Grenzwerte der Strahlenexposition des § 55 StrlSchV [%]
1	5
2	15
3, 4	50

### 1.1.1.3 Strahlenexposition der Bevölkerung

#### Szenarien und ihre Relevanz für die Optionen

Tab. 1.1-9: Szenarien und deren Relevanz für die Bevölkerungsdosis<sup>6</sup> bei den verschiedenen Optionen.

Beschreibung	Rückholung	Umlagerung	Vollverfüllung
Atmosphärische Freisetzung und Ausbreitung („Luftpfad“), kontinuierliche Ableitungen	X	X	X
Freisetzung / Ausbreitung Grundwasser	0	0	0
Transport (Übertage) - Bevölkerung	X	0	0
Zwischenlagerung Bevölkerung	X	0	0

<sup>6</sup> Vereinfachend werden im Folgenden statt Szenarien für Bevölkerung/ Umwelt nur Szenarien mit Relevanz für die Bevölkerungsdosis analysiert, Begründung s. Abschnitt 1.1

In der Tab. 1.1-9 sind die betrachteten Szenarien und ihre Relevanz für die Bevölkerungsdosis entsprechend den Darstellungen in den Machbarkeitsstudien aufgelistet. Die Szenarien treten nicht bei allen Optionen auf. Eine Unterscheidung zwischen der Rückholung von LAW und MAW erfolgt hier nicht. Bei der Abschätzung der Strahlenexposition der Bevölkerung wird innerhalb der Optionen entweder die Summe aus beiden Vorgängen oder ein abdeckender Fall betrachtet.

## **Atmosphärische Freisetzung und Ausbreitung (Luftpfad) - kontinuierliche Ableitungen**

In den Machbarkeitsstudien zur Rückholung und Umlagerung (DMT & TÜV NORD 2009, ERCOSPLAN & TÜV NORD 2009) wird davon ausgegangen, dass durch die Handhabung und den Transport der Gebinde bei der Bergung aus den Einlagerungskammern die an Partikel gebundenen radioaktiven Stoffe freigesetzt werden können. Bei der Abtrennung des an den Gebinden anhaftenden Salzgruses ist mit Staubentwicklung zu rechnen, wobei der Staub radioaktive Partikel enthalten kann. Der bestimmungsgemäße Betrieb umfasst auch Störungen wie das Herabfallen von Gebinden bei der Bergung, beim Transport und bei der Umkonditionierung.

Der gesamte Rückholbereich unter Tage ist sonderbewettert. Die Fortluft wird über einen mehrstufigen strahlenschutztechnischen Hauptfilter geleitet. Die nicht im Hauptfilter zurückgehaltenen radioaktiven Stoffe gelangen in die Schachtabwetter und werden über den 11 m hohen Diffusor der Schachanlage Asse II in die Umgebung abgegeben.

Die in den Machbarkeitsstudien angegebenen Langzeitausbreitungsfaktoren, Washoutfaktoren und Ausbreitungsfaktoren für Gammasubmersion charakterisieren das Ergebnis der Ausbreitungsrechnung, sie sind für den Standort plausibel. Sie wurden in einer Studie (Brenk 2001) nach AVV zu § 47 StrlSchV (AVV 2005) berechnet.

Die in die Luft abgeleiteten Radionuklide werden mit der Luft und durch Ablagerung auf Boden und Bewuchs in die Biosphäre transportiert. Durch Aufnahme der Radionuklide mit der Luft (Inhalation) und Verzehr von Nahrungsmitteln (Ingestion) werden Radionuklide von in der Umgebung lebenden Personen inkorporiert und verursachen eine Strahlenexposition. Weiterhin verursachen sie eine Direktstrahlung aus der Wolke und durch den Aufenthalt auf kontaminiertem Boden.

Die Strahlenexposition ist abhängig von den Lebensgewohnheiten der Personen, die sich in der Umgebung aufhalten.

In der StrlSchV sind die Lebensgewohnheiten einer Referenzperson definiert, die sich bezüglich ihrer Strahlenexposition sehr ungünstig verhält. Sie hält sich das ganze Jahr über am Punkt maximaler externer Exposition und Inhalation auf und bezieht ihre Nahrungsmittel von den Punkten, an denen der Verzehr zur größtmöglichen Strahlenexposition durch Inkorporation führt. Die Berechnungsgrundlage dazu liefert die AVV zu §47 StrlSchV (AVV 2005). Nach diesem konservativen Verfahren wurde die Strahlenexposition der Bevölkerung durch Ableitungen über Luft berechnet. Da bei allen Machbarkeitsstudien bei diesem Expositionsprofil gleichermaßen vorgegangen wurde, ist ein direkter Vergleich möglich.

Nachfolgend werden neben den individuellen effektiven Dosen auch die maximalen Organdosen bzw. die geschätzte Grenzwertausschöpfung (limitierendes Organ).

## **Freisetzung / Ausbreitung Grundwasser**

In der Betriebsphase treten unter den von den Gutachtern gemachten Annahmen keine Ableitungen über den Wasserpfad auf.

## **Transport (Übertage) - Bevölkerung**

Mögliche Expositionen sind ausschließlich für die Option Rückholung relevant. Hier erfolgt der Transport von Gebinden im Freien vom Schacht in die Transportbereitstellungshalle. Bei der Behandlung der Gebinde beim Eingang in die Transportbereitstellungshalle ist mit der Freisetzung von Radionukliden in die Raumluft zu rechnen, die über Filter in die Umgebung abgeleitet werden kann. Das Freisetzungspotential in die Raumluft ist dabei wesentlich geringer als bei den Arbeiten unter Tage. Diese Annahme ist plausibel, weil die Abfälle bereits unter Tage vorkonditioniert wurden. Die Ableitungen in die Umgebung werden bei der Dosisberechnung berücksichtigt.

Beim Transport von radioaktiven Abfällen im öffentlichen Bereich wird der Schutz von Mensch und Umwelt durch die Anwendung und Einhaltung der umfangreichen gefahrgutrechtlichen und atomrechtlichen Transportvorschriften gewährleistet. Dementsprechend sind die radioaktiven Abfälle so zu verpacken und zu befördern, dass sowohl beim bestimmungsgemäßen Transport als auch bei Transportunfällen der Strahlenschutz sichergestellt ist.

Bisher durchgeführten Studien zu Standortregionen mit sehr hohem Transportaufkommen haben belegt, dass die durch Transporte hervorgerufenen potentiellen Strahlenexpositionen für die Bevölkerung wie für Transportarbeiter stets deutlich unter den zulässigen Grenzwerten liegen. Dabei ist zu beachten, dass hierbei unter sicherheitstechnisch konservativen Annahmen die potentiell maximal zu erwartende Individualdosis für Personen der sogenannten repräsentativen Gruppe (oder bisher auch kritische Gruppe genannt) ermittelt wird. Das sind solche Personen, die sich in unmittelbarer Nähe zu den Transporten befinden und für die hinsichtlich der Dosisermittlung sehr konservative Annahmen getroffen werden, wie z. B. ganzjähriger Aufenthalt im Freien und Exposition durch sämtliche Transporte. Dementsprechend ergibt sich für Personen, die sich nur gelegentlich im Nahbereich solcher Transporte befinden oder sich nur zeitweilig und in größeren Entfernungen zu den Transporten aufhalten eine noch deutlich geringere und im Vergleich zur natürlichen Strahlenbelastung vernachlässigbare Strahlenexposition.

Neueste Untersuchungen für Abfalltransporte zum Endlagerstandort Konrad haben gezeigt, dass die in der Standortregion des Endlagers zusammenlaufenden Abfalltransporte kein ins Gewicht fallendes radiologisches Risiko für die Bevölkerung, das Transportpersonal und die Umwelt darstellen. Dies gilt sowohl für den bestimmungsgemäßen Transport als auch für Transportunfälle.

## **Zwischenlagerung**

Es ist geplant, die rückgeholten Gebinde in einer Transportbereitstellungshalle vor Ort zu lagern. Die gelagerten radioaktiven Stoffe verursachen eine Direktstrahlung, die bei Personen, die sich in der Nähe dieses Gebäudes aufhalten, zu einer äußeren Strahlenexposition führt. Die Quellstärke der Direktstrahlung ist abhängig vom Inventar der Abfälle im Lager, der Geometrie der Einlagerung und der Abschirmung.

Die Strahlenexposition der Bevölkerung ist abhängig von der Aufenthaltszeit und vom Abstand der betrachteten Person zur Halle. Für die Referenzperson wird gemäß der AVV konservativ ein Daueraufenthalt von 8750 Stunden (1 Jahr) in 10 m Abstand zur Halle angenommen. Damit wird die Strahlenexposition massiv überschätzt.

## **Expositionen bei den Optionen**

Bei den Optionen Rückholung und Umlagerung treten gegenüber dem derzeitigen Zustand temporär erhöhte Strahlenexpositionen der Bevölkerung auf. Bei der Option Vollverfüllung wird dagegen in der betreffenden Machbarkeitsstudie in plausibler Weise dargestellt, dass keine zusätzliche Exposition der Bevölkerung zu erwarten ist, sondern lediglich die als ‚Vorbelastung‘ einzustufende, bereits im gegenwärtigen Zustand auftretende Exposition über den Luftpfad. Diese wird mit fortschreitender Sanierung zurückgehen. Die maximale effektive Dosis beträgt dabei 0,013 mSv/a und tritt bei Kindern bis zum Alter eines Jahres auf

(Brenk 2001). Da diese Exposition bei allen Optionen auftritt, ist sie für den Vergleich der Optionen irrelevant. Es werden deshalb nachfolgend primär die zusätzlichen Expositionen dargestellt, die durch die eigentlichen Stilllegungsarbeiten hervorgerufen werden. Um Missverständnissen vorzubeugen, wird aber die Vorbelastung dort explizit erwähnt, wo dies auch in den Machbarkeitsstudien erfolgt, z. B. in den abschließenden Dosisvergleichstabellen.

In den Machbarkeitsstudien zur Rückholung und zur Umlagerung (DMT & TÜV NORD 2009, ERCOSPLAN & TÜV NORD 2009) werden jeweils Varianten betrachtet, bei denen ein Teil des Inventars in der Grube verbleibt. Im Folgenden wird aber zunächst davon ausgegangen, dass die Optionen jeweils vollständig umgesetzt werden, dass also jeweils 100 % der Abfälle rückgeholt oder umgelagert werden (einschließlich MAW). Es wird ferner davon ausgegangen, dass die Einlagerungskammern, in denen bei den jeweiligen Varianten Abfälle in der Grube verbleiben, vollverfüllt werden. Da dabei keine (zusätzlichen) Strahlenexpositionen der Bevölkerung auftreten, ist die Beschränkung auf die jeweils 100 %-ige Umsetzung im Sinne des Strahlenschutzes als konservativ anzusehen.

Der wesentliche Faktor für die Strahlenexposition ist die Menge und die Zusammensetzung der in die Atmosphäre abgegebenen Radionuklide (Quellterm) bzw. in den die Direktstrahlung verursachenden Gebinden.

Zur Ermittlung des Quellterms werden in den Machbarkeitsstudien verschiedene Modellannahmen getroffen. Primär wird das Aktivitätsinventar einer auszuräumenden Kammer betrachtet. Die Daten stammen aus ASSEKAT (ASSEKAT 2009). Kammern mit höherem Aktivitätsinventar gelten bei der Machbarkeitsstudie zur Rückholung als abdeckend für weitere Kammern, die deutlich weniger Aktivität enthalten. In der Machbarkeitsstudie Umlagerung hingegen wird die Emission aus allen Kammern betrachtet, die ebenfalls aus einer abdeckenden Betrachtung stammt. Unterschiede im zeitlichen Ablauf der Aus- und Einlagerung, sowie im Gesamtprozess führen zu differenzierten Annahmen in der Modellierung der Freisetzung bei den Optionen. Daraus resultieren unterschiedliche Quellterme für die Ableitung in die Luft. Grundsätzlich können durch eine aufwändigere Modellierung, z. B. im Rahmen der Planung einer Option, genauere Abschätzungen der Quellterme erzielt werden. Weitere konservative Annahmen, wie die Unterstellung der maximal möglichen Freisetzung in den Rückholbereich, erlauben jedoch an dieser Stelle, wie auch in den Machbarkeitsstudien praktiziert, die Anwendung einer einfacheren Modellierung.

Grundlage für die Modellierung bilden Störfallanalysen des derzeitigen Betriebs der Schachanlage Asse II und weiterer Anlagen zur Einlagerung radioaktiver Abfälle (BfS 1997, ISTec 2006, 2009, GRS 1987, 1991). Den höchsten in der Literatur angegebenen Freisetzungsanteil bei der Handhabung von Abfallgebinden liefert die Systemanalyse Konrad, Teil 3 (GRS 1987). Daher wird dieser Freisetzungsanteil verwendet.

Innerhalb einer Option wird für die Ableitungen über Luft der variantenbezogene ungünstigste Quellterm herangezogen, der jeweils zur größten Dosis führt.

## **Rückholung**

Die Option Rückholung bedingt zwei wesentliche Expositionspfade für die Bevölkerung. Das sind die Inkorporation von Radionukliden durch Inhalation und Ingestion über den Luftpfad sowie die Direktstrahlung aus dem Transportbereitstellungslager.

Die Berechnung nach der AVV verlangt, dass die Referenzperson der maximalen Strahlenexposition durch die Ableitungen über Luft und die externe Exposition ausgesetzt ist. Die externe Strahlenexposition wird nahezu ausschließlich durch das Transportbereitstellungslager verursacht, bedingt dadurch, dass ein ganzjähriger Aufenthalt der Referenzperson am Zaun unterstellt wird. Diese Betrachtungsweise ist zwar nicht realistisch, entspricht aber dem Ziel, einen ‚oberen Wert‘ der Strahlenexposition für die Referenzperson zur Einhaltung des Dosisgrenzwertes 1 mSv nach § 46 StrlSchV zu ermitteln.

Die rechnerische Richtigkeit der ermittelten Expositionen über den Luftpfad in der Machbarkeitsstudie zur Rückholung (DMT & TÜV NORD 2009) konnte mit den angegebenen Ausbreitungsgrößen im BfS überprüft

werden. Bei dieser Nachrechnung zeigte sich, dass bei diesen Ableitungen Pfade wie Gammasubmersion, Betasubmersion (Haut, Augenlinse) und Bodenstrahlung vernachlässigbar sind. Die Dosis wird im Wesentlichen durch Am-241 und die Plutoniumisotope über Inhalation (Aufnahme mit der Atemluft) und Ingestion (Aufnahme mit der Nahrung) bestimmt.

Die externe Strahlenexposition der Referenzperson erfolgt nahezu vollständig über Direktstrahlung aus dem Transportbereitstellungslager. Dieses Szenario tritt nur bei der Option Rückholung auf und ist als massiv konservativ anzusehen. Diese extreme Konservativität (Annahme eines ganzjährigen, ununterbrochenen Aufenthaltes in einer Entfernung von 10 m vom Lager, keine Berücksichtigung eventueller Abschirmungsbauwerke wie Erdwälle etc.) ist geeignet, den Optionenvergleich zu ungunsten der Option Rückholung einseitig zu verzerren. Deshalb sind die auf diese Weise ermittelten äußeren Expositionen im Rahmen des Optionenvergleichs entsprechend zu relativieren. Setzt man an dieser Stelle eine realitätsnähere Betrachtungsweise an, würde sich dieser Dosisanteil proportional zur Aufenthaltszeit der Referenzperson am Zaun (10 m Entfernung zum Lager) oder entsprechend einer größeren Zaunentfernung zum Lager verkleinern. Zum Vergleich können die eigens geschaffenen Berechnungsgrundlagen Bergbau (BMU 1999) herangezogen werden, die mit dem erklärten Ziel einer möglichst realistischen Expositionsermittlung im Falle bergbaulicher Altlasten erfolgten (z. B. im Rahmen der Wismut-Sanierung). Dort ist für die Referenzperson ‚Erwachsener‘ eine Aufenthaltszeit auf so genannten ‚unkultivierten Flächen‘<sup>7</sup> von 250 h vorgegeben und selbst für ‚kultivierte‘ Flächen wie Gartenanlagen wird lediglich von 1000 h Aufenthalt im Jahr ausgegangen. Hieraus wird deutlich, dass die nach AVV ermittelte Exposition über diesen Pfad die tatsächliche Strahlenbelastung um etwa eine Größenordnung überschätzen.

Ein Großteil der Dosis wird durch die eingelagerten MAW verursacht, der in der Machbarkeitsstudie Rückholung (DMT & TÜV NORD 2009) als abdeckend auch für die LAW betrachtet wird. Angesichts der Konservativität der Bestimmung der Dosis durch die Direktstrahlung durch das Transportbereitstellungslager ist dieses Vorgehen angemessen.

Zur Bewertung werden die Dosiswerte aus Tabelle 6.1-11 der Machbarkeitsstudie Rückholung (DMT & TÜV NORD 2009) mit den Angaben im Abschnitt ‚Zusammenfassende Bewertung der Strahlenexposition der Bevölkerung‘ herangezogen, welche alle Dosisbeiträge enthalten.

Es wird der größte Dosiswert aus den sechs Altersgruppen bei Inkorporation aus der Machbarkeitsstudie zu Grunde gelegt. Die Dosis durch Direktstrahlung ist weitgehend unabhängig von Altersgruppe und Organ und kann damit alters- und organunabhängig betrachtet werden.

Tab. 1.1-10: Dosis der Referenzperson bei Rückholung.

	<b>Gesamtdosis und Anteil Vorbelastung ( ) [mSv/a]</b>	<b>Grenzwert-Ausschöpfung [%]</b>
Luft effektive Dosis, Alter ≤ 1a	0,025 (0,013) <sup>8</sup>	8
Luft Knochenoberfläche (Organdosis), Alter > 12 bis ≤ 17	0,488 (0,18) <sup>9</sup>	27
extern (effektive Dosis)	0,4 <sup>10</sup>	40
Summe effektive Dosis	0,4 <sup>11</sup>	40

<sup>7</sup> Flächen, die nicht (wie Parks, Gartenanlagen) speziell für den Aufenthalt von Personen eingerichtet wurden.

<sup>8</sup> konservativ nach AVV

<sup>9</sup> konservativ nach AVV

<sup>10</sup> konservativ nach AVV

<sup>11</sup> konservativ nach AVV



Wie bereits dargestellt, ist insbesondere der Wert der externen effektiven Dosis als hypothetisch anzusehen. Die tatsächliche Exposition ist bei realistischer Betrachtung mindestens eine Größenordnung geringer.

## Umlagerung

Bei der Option Umlagerung treten Strahlenexpositionen der Bevölkerung nur durch Ableitungen über die Luft auf. Dabei erfolgen alle Emissionen über den 11 m hohen Diffusor. Die Ausbreitungsgrößen entsprechen denen der Option Rückholung. Damit sind die Vorgehensweisen zur Dosisberechnung vergleichbar.

Die Dosisberechnungen wurden im BfS mit dem Quellterm der Rückholvarianten II und III, die zur größten Dosis führen, überprüft. Bei der Option Umlagerung wird die effektive Dosis bei dieser Ableitung hauptsächlich durch C-14 über Ingestion bestimmt. Der Anteil der Alphastrahler an der effektiven Dosis ist kleiner als bei der Option Rückholung. Die externen Pfade Gammasubmersion, Bodenstrahlung und Betasubmersion (Haut, Augenlinse) sind vernachlässigbar.

Der Dosisbeitrag durch die Umlagerung der MAW ist vernachlässigbar gegenüber dem Beitrag aus Umlagerung von LAW und liegt im Bereich von unter 1 Mikrosievert (effektive Dosis) bis wenigen Mikrosievert (maximale Organdosis).

Tab. 1.1-11: Dosis der Referenzperson bei Umlagerung.

	<b>Gesamtdosis und Anteil Vorbelastung ( ) [mSv/a]</b>	<b>Grenzwert-Ausschöpfung [%]</b>
Luft effektive Dosis, Alter ≤ 1a	0,03 (0,013) <sup>12</sup>	10
Luft Knochenoberfläche, Alter > 12 bis ≤ 17	0,563 (0,18) <sup>13</sup>	31
extern (effektive Dosis)	Keine	
Summe effektive Dosis, Alter ≤ 1a	0,03 (0,013) <sup>14</sup>	10

## Vollverfüllung

Wie bereits dargestellt tritt bei dieser Option lediglich die als ‚Vorbelastung‘ anzusehende Exposition in Höhe von 0,013 mSv/a (effektiv, Altersgruppe ≤ 1a) über den Luftpfad auf.

## Zusammenfassung: Strahlenexposition der Bevölkerung/ Umwelt

Zunächst ist zu konstatieren, dass bei allen Optionen - trotz zum Teil erheblicher Konservativitäten in den Berechnungen - die Dosisgrenzwerte gemäß der Strahlenschutzverordnung eingehalten werden. Die Unterschiede in den Ausschöpfungsgraden der Organdosisgrenzwerte sind durch unterschiedliche Quellterme und daraus resultierenden unterschiedlichen limitierenden Organen bedingt.

<sup>12</sup> konservativ nach AVV

<sup>13</sup> konservativ nach AVV

<sup>14</sup> konservativ nach AVV

Als Vergleichswert für die Strahlenexposition der Bevölkerung wird die effektive Dosis herangezogen. Gibt es deutliche Unterschiede zwischen den Altersgruppen, wird die Dosis der Altersgruppe verwendet, die den höchsten Wert liefert.

Für den Vergleich der Gesamtdosis wird die Summe aus allen Expositionspfaden verwendet. Dies führt dazu, dass Expositionspfade, wie die Direktstrahlung durch das Transportbereitstellungslager bei der Option Rückholung die Dosis bestimmen. Allerdings verzerrt die Konservativität in diesem Fall den Vergleich erheblich, da zu erwartende Expositionen schon wegen der Konservativität der Aufenthaltszeiten weit geringer sind. Zudem ist diese Exposition auch durch einfache bauliche Maßnahmen weiter reduzierbar.

Ergänzend ist die größte Grenzwertausschöpfung einer Organdosis in Tab. 1.1-12 angegeben. Hier tritt kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Optionen mit der größten Strahlenexposition auf.

Bei der Option Vollverfüllung führt nur die Vorbelastung durch den laufenden Betrieb zu einer Dosis. Diese wird nur der Vollständigkeit halber mit angegeben, da der Dosiswert ohne Belang ist.

Tab. 1.1-12: Gegenüberstellung der Optionen, Dosis der Bevölkerung.

	<b>Rückholung</b>	<b>Umlagerung</b>	<b>Vollverfüllung</b>
maximale effektive Dosis	0,4 mSv/a <sup>15</sup>	0,03 mSv/a <sup>16</sup>	0,013 mSv/a
Anteil der Vorbelastung	0,013 mSv/a	0,013 mSv/a	0,013 mSv/a
maximale Ausschöpfung eines Organdosisgrenzwerts	27 %	31 %	10 %

## 1.1.2 Anfälligkeit für Störfälle

Beim Vergleich der Stilllegungsoptionen ist auch das Ausmaß von Strahlenexpositionen als Folge von Störfällen sowie deren Begrenzbarkeit zu beachten (§ 49 StrlSchV). Eine vergleichende Bewertung von Stilllegungsoptionen hinsichtlich möglicher Auswirkungen betrieblicher Störfälle ist dabei nur qualitativ möglich, da die Störfälle einen optionsspezifischen Charakter tragen. Als Bewertungsgrößen werden hierbei die Wahrscheinlichkeit des Eintretens von Störfällen und des möglichen Ausmaßes von Schäden betrachtet (Risiko). Man geht dabei davon aus, dass mit zunehmender Komplexität der geplanten Maßnahmen (Anzahl der Arbeitsschritte) und der Dauer der Betriebsphase auch die Wahrscheinlichkeit von Störfällen zunimmt. Für die Bewertung der Stilllegungsoptionen ist ferner relevant, ob die Freisetzung radioaktiver Stoffe in die Umgebung und damit die Strahlenexposition bei Störfällen bei der jeweiligen Stilllegungsoption durch bauliche und technische Schutzmaßnahmen begrenzt werden kann.

Die Bewertung der „Anfälligkeit für Störfälle“ erfolgt anhand der nachfolgenden Größen:

- Komplexität der Stilllegungsoption,
- mögliche Strahlenexposition bei Störfällen.

<sup>15</sup> konservativ nach AVV

<sup>16</sup> konservativ nach AVV

Bewertungsmaßstab:

Als Bewertungsmaßstab wird eine Anfälligkeitseinschätzung zugrunde gelegt und begründet. Im Ergebnis liegt für jede Stilllegungsoption eine Bewertung zum Störfallrisiko vor. Stilllegungsoptionen mit einem kleineren Störfallrisiko, sind zu bevorzugen.

Sollte sich ergeben, dass bei einer Stilllegungsoption mit Stoffen umgegangen wird, die bei einem Störfall zu erheblichen nichtradiologischen Umweltauswirkungen führen können, werden diese in die Bewertung mit einbezogen.

## Szenarien und ihre Relevanz

Tab. 1.1-13: Szenarien und deren Relevanz für die Dosis der Bevölkerung durch Störfälle.

Beschreibung	Rückholung	Umlagerung	Vollverfüllung
Atmosphärische Freisetzung und Ausbreitung („Luftpfad“), über Diffusor, Störfälle unter Tage	X	X	0
Atmosphärische Freisetzung und Ausbreitung („Luftpfad“), bodennahe Freisetzungen, Störfälle über Tage	X	0	0

In den Machbarkeitsstudien werden Betriebsabläufe während der Betriebsphase auf mögliche Störfälle mit Aktivitätsfreisetzung analysiert. Dabei sind die Störfälle relevant, bei denen radioaktives Material über Luft in die Umgebung gelangt und auf denselben Pfaden wie bei kontinuierlicher Ableitung im bestimmungsgemäßen Betrieb durch Inkorporation zu einer Strahlenexposition der Bevölkerung führt. Es werden alle Altersgruppen und alle Organdosen einbezogen.

Die Ableitungen aus den Störfällen unter Tage erfolgen über den Diffusor, einen 11 m hohen Abluftschacht, bei Störfällen über Tage, die nur bei der Option Rückholung auftreten können, wird eine bodennahe Freisetzung angenommen.

In den Machbarkeitsstudien sind mehrere mögliche Störfallszenarien beschrieben. Dabei handelt es sich um Filterversagen, Versagen des Lüftungsabschlusses, Absturz von Lasten auf Gebinde und Absturz der Gebinde selbst, Explosion, Brand, Transportunfälle, Erdbeben und zufälliger Flugzeugabsturz. Durch geeignete Randbedingungen und Vorsorgemaßnahmen können die radiologischen Auswirkungen der meisten Störfälle minimiert werden. Die wichtigste Vorsorgemaßnahme ist dabei die Sonderbewetterung des Rückhol- und Umlagerungsbereichs. Sie hat die Aufgabe, den Arbeitsbereich auf Unterdruck zu halten und die Abwetter zu filtern. Alle Störfälle, die innerhalb des Unterdruckbereichs stattfinden, haben keine signifikanten radiologischen Auswirkungen auf die Umgebung der Schachanlage Asse II, solange die Unterdruckhaltung und die Filterung der Fortluft aufrechterhalten wird. Um diesen Zustand aufrecht zu halten, sollen teilweise redundante Vorsorgemaßnahmen getroffen werden, wie z. B. doppelte Filteranlagen.

Weitere Vorsorgemaßnahmen dienen dazu, Brände, Explosionen und unkontrollierte Löserfälle zu verhindern. Zur Verhinderung eines möglichen Gebindeabsturzes im Förderschacht wird eine geeignete Ertüchtigung der Schachtförderanlage gefordert.

Bei den meisten Störfallszenarien, die in dem einzurichtenden Sperr- und Kontrollbereich auftreten, kann durch Vorsorgemaßnahmen (z. B. Filterung der Fortluft) erreicht werden, dass kein radioaktives Material in die Umgebungsluft gelangt. Findet ein Störfall außerhalb des Sperr- und Kontrollbereiches statt, können Radionuklide ungefiltert in die Umgebung gelangen. Als radiologisch relevante Ereignisse sind daher die

Störfälle zu betrachten, die beim Transport oder der Handhabung von Gebinden unter Tage außerhalb der Sperr- und Kontrollbereiche stattfinden können, sowie Transport- und Handhabungsstörfälle über Tage.

Zur Quelltermmittlung (Menge der abgegebenen Radionuklide) stehen Arbeiten zum Endlager Konrad und ERA Morsleben zur Verfügung (ISTec 2006, GRS 1987, 1990, 1991a).

Für die Bewertung der Einhaltung der Störfallplanungswerte nach § 49 StrlSchV wurde der Störfall mit den größten radiologischen Auswirkungen für den gesamten Prozess der jeweiligen Option ausgewählt.

Die relevanten Störfälle unterscheiden sich zwischen den Optionen im Quellterm. Die Ausbreitungsbedingungen sind bei Ableitung über den Diffusor identisch.

Die Ausbreitungs- und Dosisberechnungen erfolgen nach den Störfallberechnungsgrundlagen (Strahlenschutzkommission 2003). Für die Freisetzungsdauer werden danach 8 Stunden angesetzt. Diese Annahmen sind bezüglich der Ausbreitungsrechnung realistisch. Konservativitäten treten in der Dosisberechnung durch die zugrunde gelegten Lebensgewohnheiten der Referenzperson auf.

Zusätzlich ergeben sich keine weiteren radiologisch relevanten Störfälle durch die Rückholung von MAW. Ein im ‚MAW-Gutachten‘ (EWN & TÜV NORD 2008) beschriebener Störfall mit Dosisüberschreitungen für die Bevölkerung kann durch die Wahl geeigneter Behälter ausgeschlossen werden.

Störfälle mit Auswirkungen über den Wasserpfad können während der Betriebszeit ausgeschlossen werden.

Grundsätzlich gilt, dass mit der Dauer des Stilllegungsbetriebes die Anfälligkeit gegenüber Störfällen ansteigt.

## **Expositionen bei den Optionen**

Bei einer Inkorporation von Radionukliden können unterschiedliche Dosiswerte für die Altersgruppen und zwischen den Organdosen und der effektiven Dosis auftreten. Daher wird neben der effektiven Dosis auch die Dosis des limitierenden Organs einbezogen.

### **1.1.2.1 Rückholung**

#### **Komplexität der Stilllegungsoption**

Bei der Rückholung werden die radioaktiven Abfälle (LAW und MAW) aus den 13 Einlagerungskammern geborgen und nach über Tage verbracht. Entsprechend den beiden Rückholungskonzepten (DMT & TÜV NORD 2009, EWN & TÜV NORD 2008) sind hierbei folgende Tätigkeiten bzw. wesentlichen Arbeitsschritte auszuführen:

1. Öffnen der Einlagerungskammer
2. Sicherung der Einlagerungskammer (nur LAW)
3. Bergen der Abfälle
4. Transport der Abfälle zur Umverpackungs-Teilkonditionierungsanlage / Verpackung
5. Teilkonditionierung (nur LAW)/Umverpackung der Abfälle
6. Transport der Abfälle unter Tage zum Schacht
7. Schachttransport

8. Entnahme der Gebinde aus dem Schachtkorb über Tage und Transport in das Transportbereitstellungslager
9. Konditionierung der Abfälle
10. Verpackung der Abfälle in Endlager-Containern

Insgesamt umfasst das Konzept der Rückholung 10 wesentliche Arbeitsschritte, bei denen Störfälle auftreten und ggf. Radionuklide freigesetzt werden können.

### **Mögliche Strahlenexposition bei Störfällen**

Bei der Option Rückholung können Störfälle über und unter Tage auftreten. Als radiologisch relevante Ereignisse unter Tage sind insbesondere alle Störfälle zu betrachten, die beim Transport oder der Handhabung von Gebinden im Grubengebäude stattfinden können, in denen die Filterung der Fortluft unwirksam ist, also außerhalb der einzurichtenden Überwachungsbereiche (Rückholbereich).

Über Tage gehören zu den radiologisch relevanten Ereignissen der Absturz von Gebinden auf Transportstrecken, Übergabestellen und in der Transportbereitstellungshalle, Transportunfälle zwischen Schacht und Transportbereitstellungshalle, sowie innerhalb der Halle, die alle außerhalb der Überwachungsbereiche (Caissonbereiche) stattfinden.

Konkret ergeben sich für die Störfälle mit der größten radiologischen Relevanz 3 Szenarien:

1. Absturz von Gebinden auf den Transportstrecken und Übergabestellen unter Tage, jedoch außerhalb des Rückholbereichs (ungefilterte Freisetzung ist möglich).
2. Transportunfall zwischen Schacht und Transportbereitstellungshalle, sowie innerhalb der Halle und außerhalb deren Caissonbereiche (ungefilterte Freisetzung ist möglich).
3. Absturz von noch nicht endlagergerecht verpackten Gebinden innerhalb der Transportbereitstellungshalle und außerhalb deren Caissonbereiche (ungefilterte Freisetzung ist möglich).

Die Randbedingungen und die entsprechenden Freisetzungsanteile sind der Transportstudie Konrad (GRS 1991a) entnommen. Die Anteile an freigesetztem Material sind nach GRS (1991a) bei allen 3 Szenarien identisch.

Zur Ermittlung des Quellterms werden Gebinde mit dem höchsten Alpha- und Beta/Gamma-Aktivitätsinventar betrachtet. Da die Freisetzungsanteile aus den 3 Szenarien identisch sind, die nuklidspezifische Zusammensetzung der Chargen aber unterschiedlich ist, ergeben sich unterschiedliche Quellterme. Erst die Ausbreitungs- und Dosisberechnung liefert als Ergebnis den Fall mit der größten radiologischen Relevanz.

Die Freisetzungen erfolgen über den Diffusor, bei einer bodennahen Freisetzung ergeben sich keine höheren Dosiswerte.

Es zeigt sich, dass für die drei unterschiedlichen Szenarien für die resultierenden effektiven Dosen keine relevanten Unterschiede resultieren. Betrachtet man die Ausschöpfung des Grenzwertes für das limitierende Organ, liegen auch hier die Ergebnisse sehr nahe zusammen, so dass radiologisch gesehen die drei Störfallszenarien als gleichwertig betrachtet werden können.

In Tab. 1.1-14 sind neben der effektiven Dosis die größte Organdosis (limitierendes Organ) bezüglich ihrer Grenzwertausschöpfung und die Grenzwertausschöpfung der drei Szenarien aufgeführt.

Tab. 1.1-14: maximale Organ- und Effektivdosis der Bevölkerung bei Störfällen, Option „Rückholung“.

	Dosis [mSv]	Grenzwert- Ausschöpfung [%]
Rotes Knochenmark, Alter ≤ 1a	7,3	15
effektive Dosis	2,2	4

### 1.1.2.2 Umlagerung

#### Komplexität der Stilllegungsoption

Bei der Umlagerung werden die radioaktiven Abfälle (LAW und MAW) aus den 13 Einlagerungskammern geborgen und unter Tage in neu aufzufahrende Einlagerungsbereiche langzeitsicher verbracht. Die MAW Abfälle werden bei diesem Konzept über einen Blindschacht durch Abseiltechnik in eine neu erstellte Einlagerungskaverne verbracht. Entsprechend den Umlagerungskonzepten (ERCOSPLAN & TÜV NORD 2009) sind hierbei folgende Tätigkeiten bzw. wesentlichen Teilschritte auszuführen:

1. Öffnen der Einlagerungskammer
2. Sicherung der Einlagerungskammer (nur LAW)
3. Bergen der Abfälle
4. Transport der Abfälle zur Umverpackungs-Teilkonditionierungsanlage / Verpackung
5. Teilkonditionierung (nur LAW)/Umverpackung der Abfälle
6. Transport der Abfälle unter Tage zum Blindschacht
7. Schachttransport
8. Entnahme der Gebinde aus dem Schachtkorb unter Tage und Transport zu den Einlagerungsbereichen (nicht die MAW)
9. Einlagerung der Gebinde

Insgesamt umfasst das Konzept der Rückholung 9 wesentliche Arbeitsschritte, bei denen Störfälle auftreten und ggf. Radionuklide freigesetzt werden können.

#### Mögliche Strahlenexposition bei Störfällen

Bei der Option Umlagerung treten nur Störfälle unter Tage auf. Im Gegensatz zur Rückholung ist bei der Umlagerung eine ungefilterte Freisetzung nicht möglich. Da alle Arbeiten einschließlich der Konditionierung unter Tage durchgeführt werden, ist diese Annahme plausibel. Als radiologisch relevante Ereignisse sind daher alle Störfälle zu betrachten, die beim Transport oder der Handhabung von Gebinden unter Tage stattfinden können, in denen die Filterung der Fortluft unwirksam ist.

Konkret ergeben sich für die Störfälle mit der größten radiologischen Relevanz 3 Szenarien:

1. Löserfall in den Kavernen zur Einlagerung der umgelagerten LAW und MAW.
2. Absturz von Gebinden in die Kaverne zur Einlagerung der umgelagerten Abfälle.
3. Absturz von Gebinden auf Strecken und in den Einlagerungskammern.

Das Szenario 2 hat dabei die größte radiologische Relevanz und wird als abdeckend für die anderen Fälle betrachtet. Aus geometrischen Gründen können maximal fünf Gebinde an einem Störfall beteiligt sein, wobei ein abstürzendes Gebinde vier weitere in Mitleidenschaft zieht. Dabei wird konservativ angenommen, dass bei der maximalen Fallhöhe deren gesamte Aktivität freigesetzt wird. Die in die Kaverne freigesetzten, an Schwebstoffen gebundenen Radionuklide werden durch die Filterstrecken teilweise zurückgehalten. Der Filterwirkungsgrad wird berücksichtigt. Die nicht im Filter zurückgehaltenen Radionuklide werden über den Diffusor abgeleitet und bilden den Quellterm.

Die Datengrundlage stammt aus der Transportstudie Konrad (GRS 1991a).

Tab. 1.1-15: maximale Organ- und Effektivdosis der Bevölkerung bei Störfällen, Option Umlagerung.

	<b>Dosis</b> [mSv]	<b>Grenzwert- Ausschöpfung</b> [%]
Knochenoberfläche, Alter > 17 Jahre	14	5
effektive Dosis	0,4	0,8

### 1.1.2.3 Vollverfüllung

#### Komplexität der Stilllegungsoption

Das Konzept der Vollverfüllung sieht eine sukzessive Verfüllung aller noch vorhandener Resthohlräume mit Sorelbeton vor (AF-Colenco AG et al. 2009). Insbesondere sieht dieses Konzept keinen weiteren Umgang mit den Abfällen mehr vor. Durch den Bau der Barrieren und der Vollverfüllung aller zugänglichen Bereiche im Grubengebäude ist bereits kurz nach Stilllegungsbetrieb der gesamte Bereich auf der 750-m-Sohle, in dem sich die LAW-Abfälle befinden, vom restlichen Grubengebäude abgetrennt.

Lediglich bei dem Einbringen von Brucit-Mörtel in die Resthohlräume der Abfallkammern werden diese in den Firstbereichen für die Verfüllarbeiten angebohrt und geöffnet. Entsprechend dem Konzept der Vollverfüllung (AF-Colenco AG et al. 2009) sind hierbei folgende Tätigkeiten bzw. wesentlichen Arbeitsschritte auszuführen:

1. Anbohren der Einlagerungskammern im Firstbereich und Einbringen von Brucit-Mörtel

Insgesamt kann beim Konzept der Vollverfüllung nur dieser Arbeitsschritt identifiziert werden, bei dem ein Kontakt zu den Abfallkammern besteht bzw. möglicherweise zu den Abfällen auftreten kann. Allerdings ist die Freisetzung von Radionukliden bei diesen Tätigkeiten unwahrscheinlich, da solche Arbeiten erst ausgeführt werden dürfen, wenn vor Bohrbeginn entsprechende Vorsorgemaßnahmen umgesetzt sind.

## Mögliche Strahlenexposition bei Störfällen

Bei der Option Vollverfüllung können keine radiologisch relevanten Störfälle auftreten, da ein Umgang mit den Abfällen entfällt.

### Zusammenfassung

Als vergleichbarer Wert zwischen den Optionen für die Dosis der Bevölkerung durch Störfälle wird die effektive Dosis herangezogen. Die größte Strahlenexposition ergibt sich bei der Option Rückholung. Die Einbeziehung von Organdosen des limitierenden Organs führt zum selben Ergebnis.

Tab. 1.1-16: Effektive Dosis der Bevölkerung bei Störfällen.

	<b>Effektive Dosis, Alter&lt;1a</b>  <b>[mSv]</b>	<b>Grenzwert- Ausschöpfung</b>  <b>[%]</b>
Rückholung	2,2	4
Umlagerung	0,4	0,8
Vollverfüllung	0	0

Da die Freisetzungshöhe in der Atmosphäre bei allen Optionen keine Rolle spielt, sind die Szenarien bezüglich der Störfallausbreitungsrechnung vergleichbar. Die darin festgelegten konservativen Annahmen sind identisch. Die Unterschiede in der Dosis sind alleine auf den Quellterm zurückzuführen. Die nur bei der Rückholung relevanten ungefilterten Ableitungen durch Störfälle über Tage bzw. unter Tage in Schachtnähe führen zu einer größeren Dosis als die gefilterten Ableitungen aus dem Grubengebäude bei Umlagerung.

Hinsichtlich der bei den Optionen erforderlichen Arbeitsschritte, bei denen ein Umgang mit den radioaktiven Abfällen erfolgt, sind die Optionen Rückholung und Umlagerung nahezu identisch, bei der Umlagerung entfällt jedoch die übertägige Konditionierung. Bei der Option der Vollverfüllung wird in einigen Einlagerungskammern Brucit-Mörtel eingebracht. Hierbei ist ein Anbohren der (ELK) notwendig, wobei durch Vorsorgemaßnahmen sichergestellt werden kann, dass keine radioaktiven Stoffe austreten können.



## 1.1.3 Anfälligkeit gegenüber Eingriffen von außen

### 1.1.3.1 Konkretisierung der Größen und Maßstäbe für die Bewertung

In einer kerntechnischen Anlage muss der erforderliche Schutz gegen Störmaßnahmen oder sonstige Einwirkungen Dritter gewährleistet sein. Hierfür sind zum Schutz gegen Sabotageakte und sonstige unbefugte Einwirkungen technische, bauliche und organisatorische Vorkehrungen zu treffen.

Die Vorkehrungen müssen Sorge tragen, dass es nicht zu einer Gefährdung von Leben und Gesundheit infolge erheblicher Direktstrahlung oder infolge der Freisetzung einer erheblichen Menge radioaktiver Stoffe kommen kann. Auch sind die erforderlichen Maßnahmen zum Schutz gegen die Entwendung von Kernbrennstoffen zu treffen. Es muss durch Sicherungsmaßnahmen, die mit Schutzmaßnahmen der Polizei abzustimmen und zu verzahnen sind, gewährleistet sein, dass die genannten Schutzziele eingehalten werden.

Ein beabsichtigter Eingriff in das Endlager oder in bauliche Anlagen in der Betriebsphase, z. B. ein Terroranschlag oder Flugzeugabsturz, hätte möglicherweise eine Freisetzung von Radionukliden und anderen Schadstoffen auf dem Luft- und Wasserpfad und somit eine Exposition von Mensch und Umwelt zur Folge.

Die Auswirkungen eines solchen Ereignisses sind vom Ort und von der Stärke des Eingriffs in das natürliche oder technische Barrierensystem abhängig.

Die Bewertung der "Anfälligkeit gegenüber Eingriffen von außen" erfolgt anhand der nachfolgenden Größen:

- Zugänglichkeit der Abfälle,
- Überwachbarkeit der Anlage .

Als Bewertungsmaßstab für die "Anfälligkeit gegenüber Eingriffen von außen" ist für jede Stilllegungsoption eine Einschätzung zu den Konsequenzen bei möglichen Eingriffen heranzuziehen. Bei der Bewertung sind Stilllegungsoptionen zu bevorzugen, bei denen mögliche Eingriffe von außen weitgehend auszuschließen sind.

### 1.1.3.2 Rückholung

#### Zugänglichkeit der Abfälle

Bei der Rückholung werden die radioaktiven Abfälle aus den 13 Einlagerungskammern geborgen und nach über Tage verbracht. Die Rückholungskonzepte der Machbarkeitsstudie (DMT & TÜV NORD 2009, EWN & TÜV NORD 2008) sehen vor, dass die gesamten Abfälle sowie der kontaminierte Salzgrus aus den 12 Einlagerungskammern (LAW-Abfälle) auf der 750-m bzw. 725-m-Sohle und aus der Einlagerungskammer auf der 511-m-Sohle (MAW-Abfälle) geborgen werden. Die Rückholung der Abfälle erfolgt kammerweise, wobei immer eine Kammer nach der anderen geleert wird. Nachdem die Abfälle geborgen sind, werden die Kammern mit Sorelbeton verfüllt. Das Abfallvolumen der LAW-Abfälle beträgt 61.640 m<sup>3</sup> und das der MAW-Abfälle 325 m<sup>3</sup> (ERCOSPLAN & TÜV NORD 2009)

Der direkte Zugang zu den Abfällen ist bei der Rückholung an verschiedenen Betriebspunkten theoretisch möglich. Für die Rückholung müssen die bereits verschlossenen Kammern wieder geöffnet und die Abfälle zugänglich gemacht werden. Dieses findet ausschließlich in einem Sperrbereich statt, wodurch der Zugang zu den Abfällen deutlich erschwert wird (wettertechnisch abgeschlossener Bereich und Zugang nur über

Schleuse möglich). Bei der Bergung der Abfälle selbst ist ein direkter Kontakt zu Abfallgebinden oder bei defekten Gebinden sogar zu losen Abfällen nur theoretisch möglich. Die gewonnenen Abfälle werden anschließend in der Umverpackungs-/Teilkonditionierungsanlage (UTK) für den Transport umverpackt. Loses Material und beschädigte Gebinde werden in „Spezialcontainer“ verpackt und in diesen nach über Tage gefördert. Die Spezialcontainer sind Einwegverpackungen, die laut einer Studie (DMT & TÜV NORD 2009) über Tage verpresst werden können. Intakte oder gepresste Fässer oder Sonderbehälter werden in Transfercontainern verpackt. Die Verlorenen Betonabschirmungen (VBA) werden in Folie eingewickelt und in Transportgestellen transportiert. Nach der Umverpackung sind die Abfälle nur noch bedingt zugänglich, da die Transportbehälter verschlossen sind und infolge des Gewichts nur mit Geräten zu bewegen sind.

Die MAW-Abfälle werden dagegen ausschließlich ferngesteuert geborgen und danach in störfallsichere MOSAIK-Behälter (Gussbehälter) verpackt (EWN & TÜV NORD 2008). Bei der Bergung und Verpackung der Abfälle ist ein direkter Zugang zu den Abfällen ausgeschlossen. Der MOSAIK-Behälter besitzt in Abhängigkeit der Stärke der Bleiabschirmung ein Leergewicht zwischen 7,3 bis 9,2 t und der Behälterdeckel wird nach dem Befüllen verschraubt (luftdicht) (EWN & TÜV NORD 2008). Aufgrund des Behältergewichts kann dieser nur mit entsprechenden Geräten bewegt werden. Die Zugänglichkeit der MAW-Abfälle ist daher weitgehend auszuschließen.

Bei der anschließenden Schachtförderung ist eine Zugänglichkeit der Abfälle nicht möglich.

Über Tage werden die umverpackten Abfälle (LAW und MAW) in der Schachthalle aus dem Förderkorb entladen und zum Zwischenlager transportiert. Dort werden sie in einem Pufferlager bis zur Konditionierung gelagert. Das Zwischenlager wird ggf. auf dem bestehenden oder dem erweiterten Betriebsgelände errichtet und ist damit Bestandteil der kerntechnischen Anlage.

Der gesamte Umgang mit den Abfällen findet bei der Rückholung ausschließlich auf dem überwachten Betriebsgelände bzw. in der kerntechnischen Anlage statt. Insbesondere kann der Zugang in das Bergwerk selbst nur über den Schacht erfolgen und bei Fremdpersonen nur in Begleitung einer Aufsicht. Eine direkte Zugänglichkeit zu den Abfällen ist nur unter Tage im Sperrbereich bei der Bergung der LAW-Abfälle möglich. Zu späteren Zeitpunkten sind alle Abfälle für den Transport verpackt und damit vor Zugriffen weitgehend sicher.

## **Überwachbarkeit der Anlage**

Bei der Option der Rückholung muss über Tage ein Zwischenlager errichtet werden, das den Schutz gegen Störmaßnahmen oder sonstige Einwirkungen Dritter gewährleistet. Die Einstufung erfolgt anhand des einzulagernden Kernbrennstoffs. Zur Konditionierung der Abfälle muss auf dem Zwischenlagergelände eine Pilotkonditionierungsanlage errichtet werden. Ein zu errichtendes Pufferlager für die rückgeholt radioaktiven Abfälle (d.h. ein Lager für die Abfälle vor der Konditionierung) muss je nach Menge und Verweildauer der Abfälle gesondert betrachtet werden.

### **1.1.3.3 Umlagerung**

#### **Zugänglichkeit der Abfälle**

Hinsichtlich der Zugänglichkeit der Abfälle bei der Stilllegungsoption Umlagerung der radioaktiven Abfälle gelten dieselben Betrachtungen wie bei Rückholung der Abfälle. Bei der Umlagerung werden die radioaktiven Abfälle aus den 13 Einlagerungskammern geborgen und unter Tage in einem neu aufgefahrenen Einlagerungsbereich verbracht. Das Umlagerungskonzept (ERCOSPLAN & TÜV NORD 2009) sieht vor, dass die gesamten Abfälle sowie das kontaminierte Salzgrus aus den 12

Einlagerungskammern (LAW-Abfälle) auf der 750-m bzw. 725-m-Sohle und aus der Einlagerungskammer (MAW-Abfälle) auf der 511-m-Sohle geborgen werden. Die Umlagerung der Abfälle erfolgt kammerweise, wobei immer eine Kammer nach der anderen geleert wird. Nachdem die Abfälle geborgen sind, werden die Kammern mit Sorelbeton verfüllt. Das Abfallvolumen der LAW-Abfälle beträgt 61.640 m<sup>3</sup> und das der MAW-Abfälle 325 m<sup>3</sup> (ERCOSPLAN & TÜV NORD 2009).

Der direkte Zugang zu den Abfällen ist bei der Umlagerung an verschiedenen Betriebspunkten theoretisch möglich. Für die Umlagerung müssen die z.T. bereits verschlossenen Kammern wieder geöffnet und die Abfälle zugänglich gemacht werden. Dieses findet ausschließlich in einem Sperrbereich statt, wodurch der Zugang zu den Abfällen deutlich erschwert wird (wettertechnisch abgeschlossener Bereich und Zugang nur über Schleuse möglich). Bei der Bergung der Abfälle selbst ist ein direkter Kontakt zu Abfallgebinden oder bei defekten Gebinden sogar zu losen Abfällen nur theoretisch möglich. Die gewonnenen Abfälle werden anschließend unter Tage für den Transport umverpackt.

Die MAW-Abfälle werden ausschließlich ferngesteuert geborgen und danach in wieder verwendbare Transferbehälter verpackt (ERCOSPLAN & TÜV NORD 2009). Bei der Bergung und Verpackung der Abfälle ist ein direkter Zugang zu den Abfällen ausgeschlossen. Transportbereiche sowie die Einlagerungskaverne werden auf Grund der hohen Dosisleistung der MAW-Gebinde als Sperrbereich eingerichtet. Beschädigte MAW-Gebinde werden in Spezialbehältern verpackt und zusammen mit diesen eingelagert (ERCOSPLAN & TÜV NORD 2009). Aufgrund des Gewichts der verpackten Gebinde sowie des Transports im Sperrbereich können diese nur fernbedienbar mit entsprechenden Geräten bewegt werden. Die Zugänglichkeit der MAW-Abfälle ist daher weitgehend auszuschließen.

Bei der anschließenden Schachtförderung (Blindschächte) ist eine Zugänglichkeit der Abfälle nicht möglich.

Unter Tage, in der Nähe der neuen Einlagerungskammern, werden die unverpackten Abfälle (LAW) aus dem Förderkorb entladen und in den Spezialcontainern zum Einlagerungsort transportiert. Die VBA werden bei der Einlagerung aus den Transportgestellen entnommen und die leeren Transportgestelle wieder zurückgeführt.

Der gesamte Umgang mit den Abfällen findet bei der Umlagerung ausschließlich im überwachten untertägigen Teil der kerntechnischen Anlage statt. Der Zugang in das Bergwerk kann nur kontrolliert über die Seilfahrtanlage erfolgen (bei Fremdpersonen nur in Begleitung einer Aufsicht).

Insgesamt ist die direkte Zugänglichkeit zu den Abfällen nur im Sperrbereich bei der Bergung der LAW-Abfälle möglich. Zu späteren Zeitpunkten sind alle Abfälle für den Transport verpackt und damit vor Zugriffen weitgehend sicher.

## **Überwachbarkeit der Anlage**

Die Option der Umlagerung würde im Rahmen der Anlagensicherung den derzeitigen Stand widerspiegeln. Für die derzeitige Situation ist ein Sicherheitskonzept (BfS 2009e) erarbeitet worden, das ein Erreichen der erforderlichen Schutzziele bewirkt.

### **1.1.3.4 Vollverfüllung**

#### **Zugänglichkeit der Abfälle**

Das Konzept der Vollverfüllung sieht eine sukzessive Verfüllung aller noch vorhandenen Resthohlräume mit Sorelbeton vor. Im Bereich der Einlagerungskammern werden Barrierebauwerke errichtet, die die

Ausbreitung kontaminierter Lösungen behindern. Vorhandene Resthohlräume in den Einlagerungskammern werden mit einem Brucit-Mörtel über Bohrungen verfüllt.

Die direkte Zugänglichkeit zu den Abfällen ist bei dem Konzept der Vollverfüllung nicht mehr möglich, da die meisten Einlagerungskammern verschlossen bzw. bei den noch offenen Einlagerungskammern die Abfälle mit Salzgrus überdeckt worden sind. Insbesondere sieht dieses Konzept keinen weiteren Umgang mit den Abfällen mehr vor. Durch den Bau der Barrieren und der Vollverfüllung aller zugänglichen Bereiche im Grubengebäude ist bereits kurz nach Stilllegungsbetrieb der gesamte Bereich auf der 750-m-Sohle, in dem sich die LAW-Abfälle befinden, vom restlichen Grubengebäude abgetrennt.

### **Überwachbarkeit der Anlage**

Die Option der Vollverfüllung würde im Rahmen der Anlagensicherung den derzeitigen Stand widerspiegeln. Für die derzeitige Situation ist ein Sicherheitskonzept (BfS 2009e) erarbeitet worden, das ein Erreichen der erforderlichen Schutzziele bewirkt.

## **1.2 UMWELTAUSWIRKUNGEN BEI UNBEHERRSCHBAREM LÖSUNGSZUTRITT**

Im Beurteilungsfeld "Umweltauswirkungen bei unbeherrschbarem Lösungszutritt" werden die Stilllegungsoptionen hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf Mensch und Umwelt im Falle eines unbeherrschbaren Volllaufens des Grubengebäudes bzw. der Einlagerungsbereiche bewertet. Das Risiko und der Ablauf des Volllaufens der Grube können gegenwärtig nicht genau prognostiziert werden. Gleiches trifft auf die möglichen Auswirkungen eines Volllaufens der Grube auf die Umwelt zu, da weder die Austritts- und Ausbreitungswege der Flutungswässer noch deren Kontaminationsart und -höhe exakt benannt werden können. Es muss daher als konservativer Ansatz angenommen werden, dass die Folgen eines unbeherrschbaren Lösungszutritts bereits in relativ kurzer Zeit in der Umwelt auftreten, so dass auch die kurzlebigeren Radionuklide noch maßgeblich zur Strahlenexposition beitragen.

Die Wertigkeit des Beurteilungsfeldes "Umweltauswirkungen bei unbeherrschbarem Lösungszutritt" wird daher dadurch begrenzt, dass sich die Kriterien maßgeblich auf worst-case Betrachtungen abstützen müssen. Insbesondere muss sichergestellt werden, dass ein Vergleich verschiedener Optionen hinsichtlich dieses Kriteriums nicht durch die Konservativität der radiologischen Folgeabschätzungen determiniert wird. Dennoch kann auf dieses Beurteilungsfeld nicht verzichtet werden, da das Volllaufen der Grube ein nicht auszuschließendes Szenario bei allen Stilllegungsoptionen ist.

### **1.2.1 Radiologische Auswirkungen bei unbeherrschbarem Lösungszutritt**

Grundsätzlich wird der Fall des unkontrollierbaren Lösungszutritts in den Machbarkeits- und Auswirkungsstudien nicht explizit behandelt. Daher wurden für die Bewertungen der Optionen dieses Bewertungskriteriums zusätzlich die Berichte von GRS (2009) und AF-Colenco AG (2009a) herangezogen.

Bei einem unbeherrschbaren Lösungszutritt ist davon auszugehen, dass je nach Zeitdauer, räumlicher Verteilung, Zusammensetzung und Menge des Lösungszutritts einzelne Maßnahmen Unter Tage nicht mehr oder nur eingeschränkt möglich sind. Es wird davon ausgegangen, dass trotz eines solchen überhöhten Wasserzutritts eine Verfüllung von Einlagerungskammern und der Einbau von Schachtverschlüssen gelingen kann (GRS 2009).

Durch die Unvorhersehbarkeit der Entwicklung des Zutrittsgeschehens (zeitlicher und räumlicher Verlauf des Absaufens) sowie die nicht abschätzbare Entwicklung des pH-Wertes im Bereich der Einlagerungskammern muss im schlimmsten Falle davon ausgegangen werden, dass das komplette Inventar unverzüglich in Lösung geht und mobilisiert wird.

Bei einem Lösungszutritt, der durch technische Maßnahmen nicht mehr beherrschbar bleibt, besteht die Gefahr des Kontakts von zutretenden Lösungen mit den eingelagerten radioaktiven Abfällen. Bei unzureichendem Einschluss der Abfälle und/oder unzureichender Abdichtung der Einlagerungsbereiche hätte dies eine Mobilisierung von Radionukliden sowie eine anschließende Ausbreitung von radioaktiven Substanzen mit steigendem Lösungspegel im Grubengebäude zur Folge. Aufgrund hydraulischer Wegsamkeiten zwischen dem Grubengebäude und dem Deckgebirge ist ein Radionuklidtransport in die Biosphäre nicht auszuschließen. Sollten die Tagesschächte zum Zeitpunkt des Volllaufens des Grubengebäudes nicht ausreichend verschlossen werden können, wäre ein direkter Transport von kontaminierter Lösung entlang der Schächte an die Oberfläche möglich.

Die Bewertung der "Radiologischen Auswirkungen bei unbeherrschbarem Lösungszutritt" erfolgt anhand der nachfolgenden Größen:

- Zeitraum fehlender Barrieren,
- Nuklidmobilisierung,
- Verdünnung.

Die verwendeten Bewertungsgrößen werden im Folgenden kurz erläutert.

### **Zeitraum fehlender Barrieren**

Diese Bewertungsgröße bezeichnet beim Kriterium „radiologische Auswirkungen bei unbeherrschbarem Lösungszutritt“ den Zeitraum, in dem mit dem Zugang von unkontrolliert eintretender Deckgebirgslösung zum Abfallinventar (oder Teilen davon) gerechnet werden muss.

### **Nuklidmobilisierung**

Nuklidmobilisierung beschreibt die Prozesse, die dazu führen, dass Radionuklide von der in der Abfallmatrix fixierten Form in eine transportfähige übergehen. Beim unbeherrschbaren Lösungszutritt erfolgt die Mobilisierung durch unkontrolliert zutretende Deckgebirgslösung. Die Löslichkeit der Radionuklide wird durch die stoffspezifischen Eigenschaften und die geochemischen Milieubedingungen beeinflusst. Bei einem geringen Lösungsvolumen kann die Löslichkeitsgrenze überschritten werden, sodass bei einem abgeschlossenen System keine weitere Mobilisierung stattfindet.

### **Verdünnung**

Verdünnung kennzeichnet die Vermischung von kontaminierten Lösungen mit unkontaminierten Wässern. Hierdurch verringert sich die Konzentration der Radionuklide.

Der Zutritt von Deckgebirgslösungen erfolgt gegenwärtig vom Deckgebirge aus in das Grubengebäude vermutlich zwischen 500 und 574 m Teufe. Der größte Anteil der Zutrittslösungen wird in Abbau 3 auf der 658-m-Sohle gefasst. Des Weiteren verlagert sich ein Teil der Deckgebirgslösungen grubenintern auf die 725-m-Sohle und die 750-m-Sohle. Die Drossel, die den Lösungszutritt auf zurzeit ca. 12 m<sup>3</sup> pro Tag begrenzt, wird zum jetzigen Zeitpunkt als stabil angenommen, wobei ein unbeherrschbarer Lösungszutritt an sich als Versagen der Drossel zu werten wäre. Dies wäre gegeben, wenn gebirgsmechanische Verformungen neue Wegsamkeiten schaffen und/oder bestehende aufweiten würden sowie eine Anbindung eines ausreichend nachliefernden Grundwasserleitersystems besteht. Da es in der Vergangenheit nicht möglich war, den Lösungszutritt mit gebirgsmechanischen Verformungen zu korrelieren, können keine Prognosen getroffen werden. Es ist auch nicht geklärt, ob die Drosselung durch die Struktur und Beschaffenheit des Deckgebirges selbst bedingt ist, oder erst beim Übertritt zum Grubengebäude erfolgt. Im erstgenannten Fall wird es zu keiner wesentlichen Erhöhung des Lösungszutritts kommen können, im zweiten Fall ist die Erhöhung nicht quantifizierbar, da hierfür das angeschlossene Grundwasservolumen und die Durchlässigkeit des Deckgebirges ermittelt werden müssten.

Da das Einzugsgebiet des drainbaren Grundwasservolumens räumlich beschränkt ist, wird ein unbeherrschbarer Lösungszutritt eine erhebliche Grundwasserabsenkung zur Folge haben, wobei ein Zulauf von NaCl-untersättigten Wässern erwartet wird. Dies bedeutet ein höheres Lösungspotential, das mit einer Aufweitung der Zutrittsbereiche einher gehen kann. Es ist davon auszugehen, dass der Lösungszutritt exponentiell bis zu einem unbekanntem Maximum ansteigt.

Das Absaufen der Grube durch einen unbeherrschbaren Lösungszutritt kann daher insgesamt bezüglich der Wahrscheinlichkeit des Eintretens, des Zeitpunktes des Einsetzens, der Dauer und des Ausmaßes derzeit nicht prognostiziert werden. Es gibt zur Zeit keine Anzeichen dafür, dass der Lösungszutritt unbeherrschbar zunehmen könnte.

In den Machbarkeits- und Auswirkungsstudien wurde die Nuklidmobilisierung bei unbeherrschbarem Lösungszutritt nicht betrachtet. Laut Zusammenfassung in GRS (2009) resultiert der Fall „auslegungsüberschreitender Zutritt“ in allen gerechneten Fällen in einer Nuklidmobilisierung, die zu Expositionen von deutlich mehr als 10 mSv/a führt.

Relevante Expositionen rühren dort wesentlich von Th-232, Cs-137, Sr-90 und Am-241 und der Annahme geringer verdünnungswirksamer Volumina infolge vorausgesetzter kanalisierter Fließwege her. Betrachtung von Sorption (insbesondere beim stark sorbierenden Nuklid Th-232) und Verwendung von Dosiskonversionsfaktoren für den reinen Trinkwasserkonsum (GRS 2009) würden zur Reduktion dieser maximalen Expositionen beitragen. Die Realitätsnähe der Abschätzung wird in GRS (2009) selbst kritisch gewertet: „Die mit den ungünstigen bzw. konservativen Abschätzungen berechneten Strahlenexpositionen sind nicht gleichzusetzen mit realitätsnahen Strahlenexpositionen, die bei einem auslegungsüberschreitenden Lösungszutritt zu erwarten sind. Hierfür wären aufwändige Modellrechnungen notwendig, für die spezifische Modellrandbedingungen und Modellparameter auf der Grundlage von spezifischen Störfallszenarien abgeleitet werden müssten“ (GRS 2009). Die Abschätzung von AF-Colenco AG (2009a) setzt minimal 10 a für die Mobilisierung an und kommt auf 10 mSv/a als Dosisobergrenze. Beide Studien (GRS 2009, AF-Colenco AG 2009a) stützen sich auf die AVV (2005).

### **1.2.1.1 Betrachtung der Bewertungsgrößen für die einzelnen Optionen**

#### **Rückholung**

##### **Zeitraum fehlender Barrieren**

Im Fall der LAW kann folgende Aussage im Gutachten von DMT & TÜV NORD (2009) als wesentlich hervorgehoben werden (S. 311): „Tritt heute der vorzeitige unkontrollierbare Wasserzutritt ein, sind die Einlagerungskammern für das einströmende Wasser nahezu barrierefrei erreichbar. Die Eingänge der Kammern sind hydraulisch nicht abgedichtet.“ Insofern muss für den Zeitraum fehlender Barrieren die gesamte Dauer der Rückholung angenommen werden. Zu berücksichtigen ist jedoch die abnehmende Aktivität in den Kammern mit fortschreitender Bergung.

Wird angenommen, dass die Bergung der LAW- und MAW-Abfälle technisch parallel ablaufen kann (DMT & TÜV NORD 2009), sind für den barrierefreien Zeitraum bei einer vollständigen Rückholung der Abfallgebäude insgesamt 7,7 Jahren zu veranschlagen (DMT & TÜV NORD 2009). Eine Fortführung der Bergungsarbeiten ist bei Eintreten des unbeherrschbaren Lösungszutritts fraglich. Grundsätzlich muss entschieden werden, ob die Rückholung im Falle eines unbeherrschbaren Lösungszutritts so lange wie möglich betrieben wird oder Notfallmaßnahmen zu bevorzugen sind.

## **Nuklidmobilisierung**

Aufgrund fehlender Barrieren wird konservativ davon ausgegangen, dass das zum Zeitpunkt des Eintretens des unbeherrschbaren Lösungszutritts nicht rückgeholte Inventar komplett mobilisiert wird. Mit zunehmendem Fortschritt der Rückholung verringert sich das mobilisierbare Inventar.

Zum Vergleich kann die Studie der GRS (2009) herangezogen werden. Die Mobilisierung ist dabei in der Basisvariante instantan. AF-Colenco AG (2009a) setzt minimal 10 a für die Mobilisierung an.

## **Verdünnung**

Die Studie der GRS (2009) geht in der Basisvariante von Verdünnung im gesamten fluidgefüllten Volumen des Grubengebäudes aus. Diese Annahme ist wenig realitätsnah. Der Umfang von Kanalisierungseffekten, Umlösungs- und Auflösungsprozessen, Löslichkeitsbegrenzungen und Konvektionsbewegungen kann nicht prognostiziert werden. Ein verlässlicher Verdünnungsfaktor im Grubengebäude kann nicht angegeben werden.

Die genannte Studie geht konservativ von Verdünnung auf Trinkwasserqualität bis zum Erreichen der Biosphäre aus. Als Verdünnungsfaktor nach dem Austritt aus dem Grubengebäude wird 1.100 genannt (GRS 2009, Tabellen 1 und 3). Der Wert ist im Sinne des Optionenvergleichs zunächst nicht relevant, da er für Deckgebirge/Biosphäre gilt und damit allen Optionen zu eigen ist. Ferner ist die vorausgesetzte Verdünnung bis auf Trinkwasserqualität in der Biosphäre eine Annahme. Der Wert liefert jedoch einen Anhaltspunkt, von welcher zusätzlichen Verdünnung bis in die Biosphäre in der Studie der GRS (2009) zum unbeherrschbaren Lösungszutritt Kredit genommen wurde.

Zu „Verdünnung“ findet man in der LAW-Studie (DMT & TÜV NORD 2009) und der MAW-Studie (EWN & TÜV NORD 2008) keine Angaben, da der unbeherrschbare Lösungszutritt entweder nicht behandelt oder in seiner Konsequenz als unwesentlich eingestuft wird. Im Fall des unbeherrschbaren Lösungszutritts ist die Verdünnung momentan aufgrund des Fehlens von Informationen nicht zu quantifizieren. Mit zunehmendem Fortschritt der Bergung ist jedoch von einem höheren Verdünnungsfaktor auszugehen.

## **Umlagerung**

### **Zeitraum fehlender Barrieren**

Für die Gesamtzeit von Planung bis Einlagerung wird für die Umlagerung aller Abfallgebinde eine Zeitspanne von 14,6 bis 18,3 a (Varianten III.1 bis III.6) veranschlagt (ERCOSPLAN & TÜV NORD 2009).

Im Sinne von DMT & TÜV NORD (2009) kann offenbar konservativ davon ausgegangen werden, dass während dieser Zeitspanne die Kammern „nahezu barrierefrei“ erreichbar sind. Daher wird für den Zeitraum fehlender Barrieren von 18,3 Jahren ausgegangen.

### **Nuklidmobilisierung**

Für die gesamte Dauer der Umlagerung sind die Abfallgebinde für zutretende Lösungen erreichbar und können vollständig mobilisiert werden. Das Gefährdungspotential reduziert sich dementsprechend nicht.



## **Verdünnung**

Analog zu den Ausführungen zur Option Rückholung kann ein verlässlicher Verdünnungsfaktor im Grubengebäude nicht angegeben werden. Es ist jedoch davon auszugehen, dass sich im Zuge der Umsetzung der Option keine Veränderungen des Verdünnungsfaktors ergeben.

## **Vollverfüllung**

### **Zeitraum fehlender Barrieren**

Für Planung und Umsetzung wird ein Zeitbedarf von etwa 8 Jahren angesetzt (AF-Colenco AG et al. 2009). Es kann davon ausgegangen werden, dass zu Beginn der Vollverfüllung die Einlagerungsbereiche nahezu barrierefrei erreichbar sind. Die positiven Auswirkungen des Baufortschritts hinsichtlich der Barrierewirkung während der Umsetzung der Vollverfüllung müssen berücksichtigt werden.

Ein zusätzlicher Sicherheitsgewinn wird durch geotechnische Barrieren erzielt, wie sie die Sorelbetonbarrieren darstellen. Dabei ist zu beachten, dass bei einer durch den unbeherrschbaren Lösungszutritt erzwungenen Aufgabe des Grubengebäudes fehlende Sorelbetonbarrieren eventuell die Schutzfunktion bereits erstellter Barrieren reduzieren können.

### **Nuklidmobilisierung**

Hinsichtlich des Kriteriums „unbeherrschbarer Lösungszutritt“ kann es seitens der Bewertung zunächst nur durch Einsetzen dieses Ereignisses zur Nuklidmobilisierung kommen. Durch die Bauarbeiten zu den Verfüllmaßnahmen wird Nuklidmobilisierung zumindest nicht begünstigt (AF-Colenco AG et al. 2009).

In der vorgesehenen Option Vollverfüllung bringen Maßnahmen wie pH-Stabilisierung (Einbringen von Brucit-Mörtel in LAW-Kammern) oder die beabsichtigte Lenkung von Lösungsbewegungen durch Bau von Sorelbetonbarrieren (AF-Colenco AG 2009) einen Sicherheitsgewinn, der einer Nuklidmobilisierung durch unbeherrschbaren Lösungszutritt entgegenwirkt und relativ früh verfügbar sein wird.

## **Verdünnung**

Analog zu den Ausführungen zur Option Rückholung kann ein verlässlicher Verdünnungsfaktor im Grubengebäude nicht angegeben werden. Es ist jedoch davon auszugehen, dass sich im Zuge der Umsetzung der Option keine Veränderungen des Verdünnungsfaktors ergeben.

## 1.2.2 Chemotoxische Auswirkungen bei unbeherrschbarem Lösungszutritt

Im Folgenden werden die chemotoxischen Auswirkungen beschrieben. Die Randbedingungen, welche unter Kapitel 1.2.1 beschrieben sind, sind im Allgemeinen identisch mit den Randbedingungen für die chemotoxischen Auswirkungen. Abweichungen zu den radiologischen Auswirkungen und weitere Differenzierungen werden im Folgenden erläutert.

Bezüglich des chemotoxischen Inventars der Schachanlage Asse II haben (GSF 2004, 2006a,b,c) eine Klassifizierung nach grundwassergefährdeten Stoffen nach den Listen I und II der Grundwasserverordnung (1997) und weiteren anorganischen und organischen chemotoxischen Stoffen vorgenommen.

Im Gegensatz zu den radiologischen Auswirkungen liegen für die chemotoxischen Auswirkungen keine ergänzenden Studien für den unbeherrschbaren Lösungszutritt vor. Nach konservativen Abschätzungen kann nicht ausgeschlossen werden, dass für einzelne Stoffe die Grenzwerte der TrinkwV überschritten werden.

Der in GSF (2006b) ermittelte Quellterm (mobilisiertes Inventar) ist trotz der Unsicherheitsbeurteilung für die drei Optionen im Falle des unbeherrschbaren Lösungszutritts nicht anwendbar, da wesentliche Voraussetzungen nicht erfüllt werden. So basiert der verwendete Quellterm auf dem Ansatz von Einlagerungsbereichen und darauf, dass Reaktionsfortschritt und Stoffumsatz schneller ablaufen als ein Zu- oder Abfluss von Lösung aus diesen Bereichen erfolgen kann. Dies setzt den Bau qualifizierter Strömungsbarrieren und langfristig definierter Milieubedingungen voraus. Für einen unbeherrschbaren Lösungszutritt kann die Entwicklung der NaCl-Sättigung, der  $MgCl_2$ -Komponente u. a. Salzkomponenten, des pH-Wertes und des Sauerstoffgehaltes der Zutrittswässer nicht prognostiziert werden, so dass ein Quellterm im Rahmen des Optionenvergleichs nicht erstellt werden kann. Ein entsprechender Unsicherheitsfaktor kann nicht zuverlässig prognostiziert werden.

Es gelten die unter Kapitel 1.2.1 beschriebenen Randbedingungen des Zutritts von Deckgebirgslösungen in das Grubengebäude.

Die Bewertung der "Chemotoxischen Auswirkungen bei unbeherrschbarem Lösungszutritt" erfolgt anhand der nachfolgenden Größen:

- Zeitraum fehlender Barrieren,
- Mobilisierung,
- .Verdünnung.

### 1.2.2.1 Betrachtung der Bewertungsgrößen für die einzelnen Optionen

#### Rückholung

##### Zeitraum fehlender Barrieren

Kommt es zu einem unbeherrschbaren Lösungszutritt sind analog zu Kapitel 1.2.1 für die Option Rückholung keine geotechnischen Barrieren vorhanden. Zu berücksichtigen ist jedoch die Abnahme des chemotoxischen Inventars im Zuge fortschreitender Bergung.

## **Mobilisierung**

Sollten die Kammern inklusive der darin enthaltenen Gebinde volllaufen, ist es nicht relevant, ob die Kammern zum Zeitpunkt des Absaufens geschlossen oder geöffnet sind. Es ist daher nur relevant, wie viel des Inventars zu diesem Zeitpunkt aus dem Grubengebäude entfernt wurde. Mit zunehmendem Fortschritt der Rückholung verringert sich das chemotoxische Inventar, so dass es zu einer kontinuierlichen Gefährdungsreduzierung kommt.

## **Verdünnung**

Wird die Annahme getroffen, dass bei einem Absaufen der Grube das komplette chemotoxische Inventar unverzüglich und bei gleichförmiger Verteilung in Lösung geht, würde sich dieses bei vollständiger Füllung aller Hohlräume (inkl. Porenräume) auf das Gesamtvolumen verteilen. Da diese Annahme jedoch nicht realistisch ist, kann auch aufgrund der nicht prognostizierbaren Zusammensetzung und Zutrittsraten der Deckgebirgslösungen und den damit verbundenen Lösungsprozessen eine Verdünnung für das Grubengebäude nicht quantifiziert werden. Mit zunehmendem Fortschritt der Bergung ist jedoch von einem höheren Verdünnungsfaktor auszugehen.

## **Umlagerung**

### **Zeitraum fehlender Barrieren**

Kommt es zu einem unbeherrschbaren Lösungszutritt ist analog zu Kapitel 1.2.1 anzunehmen, dass die Abfälle nahezu barrierefrei zugänglich sind.

## **Mobilisierung**

Analog zu Kapitel 1.2.1 ist davon auszugehen, dass während der Durchführung der Umlagerung das gesamte Inventar in Lösung gehen kann.

## **Verdünnung**

Analog zu den Ausführungen zur Option Rückholung kann ein verlässlicher Verdünnungsfaktor im Grubengebäude nicht angegeben werden. Es ist jedoch davon auszugehen, dass sich im Zuge der Umsetzung der Option keine Veränderungen des Verdünnungsfaktors ergeben.

## **Vollverfüllung**

### **Zeitraum fehlender Barrieren**

Kommt es zu einem unbeherrschbaren Lösungszutritt gelten die unter Kapitel 1.2.1 getroffenen Aussagen. Mit zunehmendem Baufortschritt wird die Barrierewirkung verbessert.

## **Mobilisierung**

Beim Vollverfüllungskonzept kann ein frühzeitiges Einbringen von Brucit-Mörtel für einen günstigen pH-Wert sorgen, welcher die Schadstoffmobilisierung aus den Abfallgebänden begrenzt bzw. behindert. Es gelten analog die unter Kapitel 1.2.1 getroffenen Aussagen.

## **Verdünnung**

Analog zu den Ausführungen zur Option Rückholung kann ein verlässlicher Verdünnungsfaktor im Grubengebäude nicht angegeben werden. Es ist jedoch davon auszugehen, dass sich im Zuge der Umsetzung der Option keine Veränderungen des Verdünnungsfaktors ergeben.

Für alle drei Optionen ist es nicht ausgeschlossen, dass es bei einem unbeherrschbaren Lösungszutritt zu einer Überschreitung der Prüf- bzw. Grenzwerte der wasserrechtlich relevanten Schadstoffe im Grundwasser kommen kann. Aufgrund großer Unsicherheiten kann derzeit ein belastbarer Quellterm nicht angegeben werden.

Bei der Rückholung verringert sich mit zunehmendem Fortschritt der Maßnahme das Inventar und somit das Gefährdungspotenzial. Die Maßnahmen zur Vollverfüllung verbessern mit zunehmendem Baufortschritt die Barrierewirkung. Allerdings kann bei vorzeitiger Aufgabe des Grubengebäudes die Schutzfunktion bestehender Bauwerke beeinträchtigt werden. Bei einer Umlagerung der Abfälle ist das Inventar für die gesamte Dauer der Maßnahme barrierefrei zugänglich.

### 1.2.3 Einhaltung bergbaulicher Schutzziele

Bei unbeherrschbarem Lösungszutritt werden im Grubengebäude voraussichtlich Auf- und Umlösungsprozesse stattfinden, da die zutretende NaCl - gesättigte oder sogar - untersättigte Deckgebirgslösung mit dem im Grubengebäude aufgeschlossenen Steinsalz oder Carnallit vermutlich nicht im chemischen Lösungsgleichgewicht stehen wird. Als Folge der Auf- und Umlösung werden neue Wegsamkeiten und Hohlräume entstehen. Dies wird die Tragfähigkeit des Grubengebäudes negativ beeinflussen und kann letztendlich zu einer beschleunigten Senkung der Tagesoberfläche oder gar zu einem Tagesbruch führen.

Die Bewertung der „Einhaltung der bergbaulichen Schutzziele“ erfolgt anhand der nachfolgenden Größen:

- Senkungen an der Tagesoberfläche,
- Gefahr eines Tagesbruchs.

Als Bewertungsmaßstab für die Einhaltung der bergbaulichen Schutzziele werden mögliche Auswirkungen auf die Tagesoberfläche herangezogen. Hierbei wird verbal-argumentativ begründet, welche Auswirkungen für jede Stilllegungsoption zu erwarten sind.

#### 1.2.3.1 Rückholung

##### Senkungen an der Tagesoberfläche

Bei der Rückholung werden die radioaktiven Abfälle aus den 13 Einlagerungskammern geborgen und nach über Tage verbracht. Das Rückholungskonzept für die LAW-Abfälle (DMT & TÜV NORD 2009) sieht vor, dass die 12 Einlagerungskammern auf der 750-m bzw. 725-m-Sohle, nach dem die Abfälle geborgen worden sind, mit Sorelbeton verfüllt werden, wodurch der untere Teil der Südflanke während der Rückholungsphase teilweise stabilisiert wird. Im Rückholungskonzept für die MAW-Abfälle (EWN & TÜV NORD 2008) wird eine nachträgliche Verfüllung der Einlagerungskammer nicht explizit beschrieben. Diese würde sich aber ebenfalls nach der Rückholung der MAW-Abfälle anbieten. Bei der Rückholung aller radioaktiven Abfälle würden das gesamte Abfallvolumen und das bei der Rückholung anfallende kontaminierte Salzgrusvolumen durch Sorelbeton ersetzt. Das gesamte Rückholvolumen beträgt etwa 62.000 m<sup>3</sup> (ERCOSPLAN & TÜV NORD 2009).

Derzeit weist das Grubengebäude der Schachanlage Asse II ein noch offenes Resthohlraumvolumen (sämtliche offene Strecken und Abbaue sowie das Porenvolumen im Salzversatz) von etwa 1,9 Mio. m<sup>3</sup> auf (AF-Colenco AG et al. 2009), welches theoretisch für eintretende Zutrittslösungen zur Verfügung stehen kann. Durch die Rückholung selbst wird das noch vorhandene Resthohlraumvolumen nicht verändert, da das Abfallvolumen durch Sorelbeton ersetzt wird.

Im gesamten Grubengebäude wurden insgesamt etwa 4,7 Mio. m<sup>3</sup> Kali- und Steinsalz abgebaut. Der Kalisalzabbau betrug etwa 1,0 Mio. m<sup>3</sup> und erfolgte in einem Carnallitbaufeld, welches bereits während der Abbauphase mit Aufbereitungsrückständen verfüllt worden ist (Sturzversatz). Durch die Konvergenz ist der Versatz über die Zeit verdichtet worden. Versatzproben weisen heute nur noch eine Restporosität von 21 % aus AF-Colenco AG et al. (2009). Hieraus ergibt sich im Carnallitbaufeld ein Poren- bzw. Resthohlraumvolumen von etwa 0,21 Mio. m<sup>3</sup>, welches sich mit Lösung füllen kann. Der restliche noch offene Hohlraum (ca. 1,7 Mio. m<sup>3</sup>) würde sich auf die Steinsalzbaufelder beschränken.

Die möglichen Auswirkungen auf die Tagesoberfläche werden im Wesentlichen durch das vorhandene Resthohlraumvolumen und die Mineralisation bzw. den Sättigungsgrad der zutretenden Lösung bestimmt.

Sollten sich die Resthohlräume im Grubengebäude mit einer gesättigten Steinsalzlösung auffüllen, wären ausschließlich nur carnallitische Bereiche im Grubengebäude von Umlöseprozessen (inkongruente Zersetzung) betroffen. Durch einen Kubikmeter NaCl-Lösung kann im Carnallit ein zusätzlicher Hohlraum von etwa 0,6 m<sup>3</sup> gebildet werden.

Tritt dagegen eine nicht gesättigte Steinsalzlösung oder sogar überwiegend Süßwasser zu, so finden zusätzlich noch Umlöseprozesse am Steinsalz statt, die zu weiteren Hohlraumneubildungen führen werden. Durch einen Kubikmeter Süßwasser werden etwa 0,165 m<sup>3</sup> Steinsalz aufgelöst bzw. Hohlraum gebildet.

Bei einem unbeherrschbaren Lösungszutritt wird es in jedem Fall zu Umlöseprozessen bzw. Hohlraumneubildungen im Carnallitbaufeld kommen. Diese würden im günstigsten Fall, d. h. bei Zutritt einer gesättigten Steinsalzlösung, ein zusätzliches Volumen von etwa 0,126 Mio. m<sup>3</sup> schaffen. Allerdings ist die Wahrscheinlichkeit, dass ausschließlich eine gesättigte Steinsalzlösung bei einem unbeherrschbaren Lösungszutritt über den gesamten Zeitraum zutreten wird, eher gering. Daher wird es insbesondere an der Südflanke im Bereich der Zutrittsstelle/n weitere Hohlraumneubildungen geben, deren Volumen ausschließlich durch den Sättigungszustand der Zutrittslösung bestimmt wird. Würde ausschließlich Süßwasser in den noch offenen Porenraum im Versatz der Steinsalzabbau zutreten, so könnte ein neuer Hohlraum von maximal 0,314 Mio. m<sup>3</sup> entstehen.

In Summe könnte sich bei einem unbeherrschbaren Lösungszutritt ein neuer, zusätzlicher konvergenzaktiver Hohlraum von etwa 0,440 Mio. m<sup>3</sup> bilden. Damit würde das für Lösungszutritte zur Verfügung stehende gesamte Resthohlraumvolumen um ca. 23 Vol.-% auf 2,34 Mio. m<sup>3</sup> anwachsen.

Nivellementmessungen bis zum Jahre 2004 weisen im Bereich der Südflanke (hier treten die maximalen Senkungen auf) eine Absenkung der Tagesoberfläche von bisher 244 mm aus. In einer bergschadenskundlichen Prognose zur Absenkung der Tagesoberfläche, die auf dem alten Schutzfluidkonzept von HMGU (HMGU 2008) aufbaut, wird für das Jahr 2100 eine weitere Absenkung der Tagesoberfläche von 185 mm berechnet (Sroka 2006). Für das Jahr 10.000 wird eine maximale Senkung von etwas weniger als 1 m berechnet. Die maximale Senkungsgeschwindigkeit wird für den Zeitraum von 2005 bis 2013 prognostiziert und beträgt 10,7 mm/Jahr (Sroka 2006). Der Senkungstrog umfasst eine Spannweite von etwa 2.500 m, wobei die Senkungen zu den Rändern hin deutlich abnehmen. Die maximale Senkung tritt oberhalb der Südflanke auf.

Es ist zu erwarten, dass die Senkungen und Senkungsgeschwindigkeiten in Folge des unbeherrschbaren Lösungszutritts ansteigen werden, da durch den Feuchtigkeitseinfluss die Verformungen des Salzgebirges zunehmen werden (Feuchtekriechen). Unter der vereinfachten Annahme, dass sich der vorhandene Gesamthohlraum proportional zur Senkung der Tagesoberfläche verhält, lässt sich für den Bereich oberhalb der Südflanke und für den Zeitraum von 2005 bis 2100 eine Absenkung der Tagesoberfläche von ca. 230 mm berechnen. Für das Jahr 10.000 würde sich ein Senkungsbetrag von etwa 1,20 m ergeben.

## **Gefahr eines Tagesbruchs**

Damit es zu einem Tagesbruch kommen kann, müssen in der Regel zwei notwendige Randbedingungen gegeben sein: Zum Ersten muss ein mobiles Deckgebirge vorhanden sein, welches entsprechend schnell nachrutschen oder -brechen, und zum Zweiten ein entsprechender Hohlraum, in dem das Deckgebirge einbrechen kann.

Von dem ursprünglich bei der Gewinnung aufgefahrenen Gesamthohlraum (4,7 Mio. m<sup>3</sup>) sind bereits etwa 4,1 Mio. m<sup>3</sup> verfüllt. Der noch offene Hohlraum (mit Ausnahme des Porenvolumens im Salzgrusversatz) beschränkt sich auf Infrastrukturstrecken und -räume, die sich auf das gesamte Grubengebäude verteilen und sich nicht an einer Stelle konzentrieren. Das bei einem reinen Süßwasserzutritt durch Auflösen von Steinsalz und Carnallit ggf. neu entstehende Hohlraumvolumen von 0,440 Mio. m<sup>3</sup> wird keinen wesentlichen Einfluss auf das Verhältnis von versetztem zu aufgefahrenem Hohlraum haben. Daher besteht die Gefahr eines Tagesbruchs bei einem unbeherrschbaren Lösungszutritt nicht. Durch das schnelle

Volllaufen des Grubengebäudes und dem hohen Anteil an versetzten Kammern wird sich relativ schnell ein Stützdruck aufbauen können. Ein Tagesbruch entsteht nur, wenn das Grubengebäude unversetzt, in relativ kurzer Zeit mit einer deutlich untersättigten Lösung absäuft und ein mobiles Deckgebirge vorhanden ist.

Allerdings zeigen auch Beispiele aus der Bergbaupraxis (Staßfurter Sattel), dass an der Zutrittstelle ggf. langfristig Subrosionsprozesse ablaufen können, die zu weiteren Hohlräumen führen. Bei lang anhaltenden Subrosionsprozessen kann hierbei ein beachtlicher Hohlraum entstehen, der je nach Beschaffenheit des Deckgebirges sogar zu einem Tagesbruch führen kann. Ein solcher Prozess kann nicht vollständig ausgeschlossen werden, auch wenn er als wenig wahrscheinlich einzustufen ist.

### 1.2.3.2 Umlagerung

#### Senkungen an der Tagesoberfläche

Bei der Stilllegungsoption der Umlagerung der radioaktiven Abfälle können ähnliche Betrachtungen wie bei der Option Rückholung angestellt werden. Die Bergung der Abfälle wird in gleicher oder ähnlicher Weise erfolgen. Der wesentliche Unterschied besteht darin, dass für die Umlagerung ein neuer Einlagerungsbereich aufgefahren und daher zusätzlicher Hohlraum für zutretende Lösungen geschaffen wird. Dieser beträgt in Abhängigkeit der gewählten Umlagerungsvariante zwischen 136.600 m<sup>3</sup> und 356.400 m<sup>3</sup> (ERCOSPLAN & TÜV NORD 2009). Bei der Umlagerung werden die radioaktiven Abfälle aus den 13 Einlagerungskammern geborgen und in neue Einlagerungskammern langzeitsicher verbracht. Nach dem die Abfälle geborgen worden sind werden die geleerten Einlagerungskammern mit Sorelbeton verfüllt. Bei der Umlagerung der radioaktiven Abfälle würden das gesamte Abfallvolumen und das bei der Umlagerung anfallende kontaminierte Salzgrusvolumen durch Sorelbeton ersetzt.

Derzeit weist das Grubengebäude der Schachtanlage Asse II ein noch offenes Resthohlraumvolumen (sämtliche offene Strecken und Abbaue sowie das Porenvolumen im Salzversatz) von etwa 1,9 Mio. m<sup>3</sup> auf (AF-Colenco AG et al. 2009), welches bei der Umlagerung durch den neuen Einlagerungsbereich erweitert wird.

Je nach gewählter Variante der Umlagerung bewegt sich das theoretisch für Zutrittslösungen zur Verfügung stehende Resthohlraumvolumen zwischen 2,087 Mio. m<sup>3</sup> und 2,306 Mio. m<sup>3</sup>.

Im gesamten Grubengebäude wurden insgesamt etwa 4,7 Mio. m<sup>3</sup> Kali- und Steinsalz abgebaut. Der Kalisalzabbau betrug etwa 1,0 Mio. m<sup>3</sup> und erfolgte in einem Carnallitbaufeld, welches bereits während der Abbauphase mit Aufbereitungsrückständen verfüllt worden ist (Sturzversatz). Durch die Konvergenz ist der Versatz über die Zeit verdichtet worden. Versatzproben weisen heute nur noch eine Restporosität von 21 % aus AF-Colenco AG et al. (2009). Hieraus ergibt sich im Carnallitbaufeld ein Poren- bzw. Resthohlraumvolumen von etwa 0,21 Mio. m<sup>3</sup>, welches sich mit Lösung füllen kann. Der restliche noch offene Hohlraum (ca. 1,7 Mio. m<sup>3</sup>) würde sich auf die Steinsalzbaufelder beschränken. Hinzu käme dann noch das Auffahrsvolumen des neuen Einlagerungsbereichs mit maximal 0,356 Mio m<sup>3</sup>.

Die möglichen Auswirkungen auf die Tagesoberfläche werden im Wesentlichen durch das vorhandene Resthohlraumvolumen und die Mineralisation bzw. den Sättigungszustand der zutretenden Lösung bestimmt. Sollten sich die Resthohlräume im Grubengebäude mit einer gesättigten Steinsalzlösung auffüllen, wären ausschließlich nur carnallitische Bereiche im Grubengebäude von Umlöseprozessen (inkongruente Zersetzung) betroffen. Durch einen Kubikmeter NaCl-Lösung kann im Carnallit ein zusätzlicher Hohlraum von etwa 0,6 m<sup>3</sup> gebildet werden. Tritt dagegen eine nicht gesättigte Steinsalzlösung oder sogar überwiegend Süßwasser zu, so finden zusätzlich noch Umlöseprozesse am Steinsalz statt, die zu weiteren Hohlraumneubildungen führen werden. Durch einen Kubikmeter Süßwasser werden etwa 0,165 m<sup>3</sup> Steinsalz aufgelöst bzw. Hohlraum gebildet.

Bei einem unbeherrschbaren Lösungszutritt wird es in jedem Fall zu Umlöseprozessen bzw. Hohlraumneubildungen im Carnallititbaufeld kommen. Diese würden im günstigsten Fall, d. h. bei Zutritt einer gesättigten Steinsalzlösung, ein zusätzliches Volumen von etwa 126.000 m<sup>3</sup> schaffen. Allerdings ist die Wahrscheinlichkeit, dass ausschließlich eine gesättigte Steinsalzlösung bei einem unbeherrschbaren Lösungszutritt über den gesamten Zeitraum zutreten wird, eher gering. Daher wird es insbesondere an der Südflanke im Bereich der Zutrittsstelle/n weitere Hohlraumneubildungen geben, deren Volumen ausschließlich durch den Sättigungszustand der Zutrittslösung bestimmt wird. Würde ausschließlich Süßwasser in das theoretisch für Zutrittslösung zur Verfügung stehende Volumen (Resthohlraumvolumen zzgl. Volumen der Neuauffahrungen) zutreten, so könnte hierbei ein neuer Hohlraum zwischen ca. 0,337 Mio. m<sup>3</sup> und ca. 0,373 Mio. m<sup>3</sup> entstehen.

Einschließlich des neu aufgefahrenen Einlagerungsbereichs (mit maximal 356.400 m<sup>3</sup>) und des sich bei einem unbeherrschbaren Lösungszutritt neu gebildeten Hohlraums von maximal etwa 499.000 m<sup>3</sup> beträgt das zusätzliche Grubenvolumen 855.000 m<sup>3</sup>. Damit würde das für Lösungszutritte zur Verfügung stehende gesamte Resthohlraumvolumen um ca. 45 Vol.-% auf etwa 2,76 Mio. m<sup>3</sup> anwachsen.

Nivellementmessungen bis zum Jahre 2004 weisen im Bereich der Südflanke (hier treten die maximalen Senkungen auf) eine Absenkung der Tagesoberfläche von bisher 244 mm aus. In einer bergschadenskundlichen Prognose zur Absenkung der Tagesoberfläche, die auf dem alten Schutzfluidkonzept von HMGU (HMGU 2008) aufbaut, wird für das Jahr 2100 eine weitere Absenkung der Tagesoberfläche von 185 mm berechnet (Sroka 2006). Für das Jahr 10.000 wird eine maximale Senkung von etwas weniger als 1 m berechnet. Die maximale Senkungsgeschwindigkeit wird für den Zeitraum von 2005 bis 2013 prognostiziert und beträgt 10,7 mm/Jahr (Sroka 2006). Der Senkungstrog umfasst eine Spannweite von etwa 2.500 m, wobei die Senkungen zu den Rändern hin deutlich abnehmen. Die maximale Senkung tritt oberhalb der Südflanke auf.

Es ist zu erwarten, dass die Senkungen und Senkungsgeschwindigkeiten in Folge des unbeherrschbaren Lösungszutritts ansteigen werden, da durch den Feuchtigkeitseinfluss die Verformungen des Salzgebirges zunehmen werden (Feuchtekriechen).

Durch den neu gebildeten Hohlraum erhöht sich der für Lösungszutritte zur Verfügung stehende Gesamthohlraum um ca. 45 Vol.-%. Damit erhöhen sich auch die Senkungen an der Tagesoberfläche. Unter der vereinfachten Annahme, dass sich der vorhandene Gesamthohlraum proportional zur Senkung der Tagesoberfläche verhält, lässt sich für den Bereich oberhalb der Südflanke und für den Zeitraum von 2005 bis 2100 eine Absenkung der Tagesoberfläche von ca. 268 mm berechnen. Für das Jahr 10.000 würde sich ein Senkungsbetrag von etwa 1,45 m ergeben.

## **Gefahr eines Tagesbruchs**

Damit es zu einem Tagesbruch kommen kann, müssen in der Regel zwei notwendige Randbedingungen gegeben sein: Zum Ersten muss ein mobiles Deckgebirge vorhanden sein, welches entsprechend schnell nachrutschen oder -brechen, und zum Zweiten ein entsprechender Hohlraum, in dem das Deckgebirge einbrechen kann.

Von dem ursprünglich bei der Gewinnung aufgefahrenen Gesamthohlraum (4,7 Mio. m<sup>3</sup>) sind bereits etwa 4,1 Mio. m<sup>3</sup> verfüllt. Der noch offene Hohlraum (mit Ausnahme des Porenvolumens im Salzgrusversatz) beschränkt sich auf Infrastrukturstrecken und -räume, die sich auf das gesamte Grubengebäude verteilen und sich nicht an einer Stelle konzentrieren.

Dass bei der Umlagerung neu aufgefahrene und bei einem reinen Süßwasserzutritt durch Auflösen von Steinsalz oder Carnallitit ggf. neu entstehende Hohlraumvolumen von insgesamt etwa 0,855 Mio. m<sup>3</sup> wird nur einen geringen Einfluss auf das Verhältnis von versetztem zu aufgefahrenen Hohlraum haben. Daher besteht die Gefahr eines Tagesbruchs bei einem unbeherrschbaren Lösungszutritt nicht. Durch das schnelle Volllaufen des Grubengebäudes und dem hohen Anteil an versetzten Kammern wird sich relativ schnell ein



Stützdruck aufbauen können. Ein Tagesbruch entsteht nur, wenn das Grubengebäude unversetzt, in relativ kurzer Zeit mit einer deutlich untersättigten Lösung absäuft und ein mobiles Deckgebirge vorhanden ist.

Allerdings zeigen auch Beispiele aus der Bergbaupraxis (Steißfurter Sattel), dass an der Zutrittsstelle ggf. langfristig Subrosionsprozesse ablaufen können, die zu weiteren Hohlräumen führen. Bei lang anhaltenden Subrosionsprozessen kann hierbei ein beachtlicher Hohlraum entstehen, der je nach Beschaffenheit des Deckgebirges sogar zu einem Tagesbruch führen kann. Ein solcher Prozess kann nicht vollständig ausgeschlossen werden, auch wenn er als wenig wahrscheinlich einzustufen ist.

### 1.2.3.3 Vollverfüllung

#### Senkungen an der Tagesoberfläche

Das Konzept der Vollverfüllung sieht eine sukzessive Verfüllung aller noch vorhandener Resthohlräume mit Sorelbeton vor. Hierdurch wird der für mögliche Lösungszutritte zur Verfügung stehende Hohlraum mit dem Fortgang der Verfüllmaßnahmen stetig verringert. Des Weiteren wird bei dem Konzept der Vollverfüllung das unterhalb der 700-m-Sohle im Altversatz vorhandene Porenvolumen mit einer  $MgCl_2$ -reichen Lösung geflutet, so dass in diesem Bereich keine Zutrittslösung mehr einströmen kann. Insgesamt werden bei der Vollverfüllung etwa 650.000 m<sup>3</sup> Sorelbeton sowie 350.000 m<sup>3</sup>  $MgCl_2$ -reiche Lösung eingebracht (AF-Colenco AG et al. 2009).

Bezogen auf das derzeit noch offene Gesamthohlraumvolumen von etwa 1,90 Mio. m<sup>3</sup> würde sich nach Umsetzung aller Stilllegungsmaßnahmen ein für Zutrittslösung verfügbares Hohlraumvolumen von ca. 0,95 Mio. m<sup>3</sup> ergeben (AF-Colenco AG et al. 2009). Das heißt, dass sich das bei einem unbeherrschbaren Lösungszutritt möglicherweise vorhandene Volumen in der Bandbreite zwischen 1,9 Mio. m<sup>3</sup> und 0,95 Mio. m<sup>3</sup> bewegen kann.

Ob es bei einem unbeherrschbaren Lösungszutritt zu Umlöseprozessen bzw. Hohlraumneubildungen im Carnallitbaufeld kommen kann, hängt maßgeblich von dem Stand der umgesetzten Stilllegungsmaßnahmen ab. Ist der Bereich unterhalb der 700-m-Sohle bereits mit  $MgCl_2$ -reicher Lösung geflutet worden, so ist ein solches Szenario nicht mehr zu besorgen. Würde des Weiteren nur eine gesättigte Steinsalzlösung zutreten, so wäre keine signifikante Hohlraumneubildung im Grubengebäude zu erwarten. Im ungünstigsten Fall allerdings, könnte sich der Zutritt bereits zu Beginn der Stilllegungsarbeiten ereignen, wodurch ein Hohlraumvolumen von maximal 1,9 Mio. m<sup>3</sup> zur Verfügung stehen könnte.

Die möglichen Auswirkungen auf die Tagesoberfläche werden im Wesentlichen durch das vorhandene Resthohlraumvolumen und die Mineralisation bzw. den Sättigungszustand der zutretenden Lösung bestimmt. Sollten sich die Resthohlräume im Grubengebäude mit einer gesättigten Steinsalzlösung auffüllen, wären ausschließlich nur carnallitische Bereiche im Grubengebäude von Umlöseprozessen (inkongruente Zersetzung) betroffen. Durch einen Kubikmeter NaCl-Lösung kann im Carnallit ein zusätzlicher Hohlraum von etwa 0,6 m<sup>3</sup> gebildet werden. Tritt dagegen eine nicht gesättigte Steinsalzlösung oder sogar überwiegend Süßwasser zu, so finden zusätzlich noch Umlöseprozesse am Steinsalz statt, die zu weiteren Hohlraumneubildungen führen werden. Durch einen Kubikmeter Süßwasser werden etwa 0,165 m<sup>3</sup> Steinsalz aufgelöst bzw. Hohlraum gebildet.

Bei einem unbeherrschbaren Lösungszutritt wird es in jedem Fall zu Umlöseprozessen bzw. Hohlraumneubildungen im Carnallitbaufeld kommen. Diese würden im günstigsten Fall, d. h. bei Zutritt einer gesättigten Steinsalzlösung, ein zusätzliches Volumen von etwa 0,126 Mio. m<sup>3</sup> schaffen. Allerdings ist die Wahrscheinlichkeit, dass ausschließlich eine gesättigte Steinsalzlösung bei einem unbeherrschbaren Lösungszutritt über den gesamten Zeitraum zutreten wird, eher gering. Daher wird es insbesondere an der Südflanke im Bereich der Zutrittsstelle/n weitere Hohlraumneubildungen geben, deren Volumen

ausschließlich durch den Sättigungszustand der Zutrittslösung bestimmt wird. Würde ausschließlich Süßwasser in den noch offenen Porenraum im Versatz der Steinsalzabbau zutreten, so könnte in Abhängigkeit des Fortschritts der Stilllegungsmaßnahmen zwischen 0,157 Mio. m<sup>3</sup> und 0,314 Mio. m<sup>3</sup> neuer Hohlraum entstehen. In Summe könnte sich bei einem unbeherrschbaren Lösungszutritt ein neuer, zusätzlicher konvergenzaktiver Hohlraum zwischen 0,283 Mio. m<sup>3</sup> und 0,440 Mio. m<sup>3</sup> bilden. Damit würde das gesamte für Lösungszutritte zur Verfügung stehende Resthohlraumvolumen um ca. 15 Vol.-% bis 23 Vol.-% anwachsen.

Nivellementmessungen bis zum Jahre 2004 weisen im Bereich der Südflanke (hier treten die maximalen Senkungen auf) eine Absenkung der Tagesoberfläche von bisher 244 mm aus. In einer bergschadenskundlichen Prognose zur Absenkung der Tagesoberfläche, die auf dem alten Schutzfluidkonzept von HMGU (HMGU 2008) aufbaut, wird für das Jahr 2100 eine weitere Absenkung der Tagesoberfläche von 185 mm berechnet (Sroka 2006). Für das Jahr 10.000 wird eine maximale Senkung von etwas weniger als 1 m berechnet. Die maximale Senkungsgeschwindigkeit wird für den Zeitraum von 2005 bis 2013 prognostiziert und beträgt 10,7 mm/Jahr (Sroka 2006).

Der Senkungstrog umfasst eine Spannweite von etwa 2.500 m, wobei die Senkungen zu den Rändern hin deutlich abnehmen. Die maximale Senkung treten oberhalb der Südflanke auf.

Es ist zu erwarten, dass die Senkungen und Senkungsgeschwindigkeiten in Folge des unbeherrschbaren Lösungszutritts ansteigen werden, da durch den Feuchtigkeitseinfluss die Verformungen des Salzgebirges zunehmen werden (Feuchtekiechen). Durch den neu gebildeten Hohlraum erhöht sich der für Lösungszutritte zur Verfügung stehende Gesamthohlraum um ca. 15 Vol.-% bis maximal ca. 23 Vol.-% und damit auch die Senkungen an der Tagesoberfläche. Unter der vereinfachten Annahme, dass sich der vorhandene Gesamthohlraum proportional zur Senkung der Tagesoberfläche verhält, lässt sich für den Bereich oberhalb der Südflanke und für den Zeitraum von 2005 bis 2100 eine Absenkung der Tagesoberfläche um ca. 210 mm bis ca. 230 mm berechnen. Für das Jahr 10.000 würde sich ein Senkungsbetrag zwischen etwa 1,10 m bis 1,20 m ergeben.

## **Gefahr eines Tagesbruchs**

Damit es zu einem Tagesbruch kommen kann, müssen in der Regel zwei notwendige Randbedingungen gegeben sein: Zum Ersten muss ein mobiles Deckgebirge vorhanden sein, welches entsprechend schnell nachrutschen oder -brechen, und zum Zweiten ein entsprechender Hohlraum, in dem das Deckgebirge einbrechen kann.

Von dem ursprünglich bei der Gewinnung aufgefahrenen Gesamthohlraum (4,7 Mio. m<sup>3</sup>) sind bereits etwa 4,1 Mio. m<sup>3</sup> verfüllt. Der noch offene Hohlraum (mit Ausnahme des Porenvolumens im Salzgrusversatz) beschränkt sich auf Infrastrukturstrecken und -räume, die sich auf das gesamte Grubengebäude verteilen und sich nicht an einer Stelle konzentrieren. Dass bei einem reinen Süßwasserzutritt durch Auflösen von Steinsalz und Carnallitit ggf. neu entstehende Hohlraumvolumen kann maximal etwa 0,440 Mio. m<sup>3</sup> betragen und hat keinen wesentlichen Einfluss auf das Verhältnis von versetztem zu aufgefahrenen Hohlraum. Daher besteht die Gefahr eines Tagesbruchs bei einem unbeherrschbaren Lösungszutritt nicht. Durch das schnelle Volllaufen des Grubengebäudes und dem hohen Anteil an versetzten Kammern wird sich relativ schnell ein Stützdruck aufbauen können. Ein Tagesbruch entsteht nur, wenn das Grubengebäude unversetzt, in relativ kurzer Zeit mit einer deutlich untersättigten Lösung absäuft und ein mobiles Deckgebirge vorhanden ist.

Allerdings zeigen auch Beispiele aus der Bergbaupraxis (Steißfurter Sattel), dass an der Zutrittstelle ggf. langfristig Subrosionsprozesse ablaufen können, die zu weiteren Hohlräumen führen. Bei lang anhaltenden Subrosionsprozessen kann hierbei ein beachtlicher Hohlraum entstehen, der je nach Beschaffenheit des Deckgebirges sogar zu einem Tagesbruch führen kann. Ein solcher Prozess kann nicht vollständig ausgeschlossen werden, auch wenn er als wenig wahrscheinlich einzustufen ist.

## 1.2.4 Wechselwirkungen mit Notfallmaßnahmen

Aufgrund der besonderen Situation der Schachtanlage Asse II besteht die latente Gefahr, dass es zu einem unbeherrschbaren Lösungszutritt kommen kann. Die Integrierte Notfallplanung des BfS ist darauf ausgerichtet, durch Erhöhung der Leistungsfähigkeit des Lösungsmanagements auf bis zu 500 m<sup>3</sup>/d auch bei ansteigenden Lösungszutritten die Beherrschbarkeit und damit den sicheren Betrieb der Anlage möglichst lange zu gewährleisten.

Sollten trotzdem die Lösungszutritte derart ansteigen, dass sie langfristig zu einem Absaufen der Anlage führen, müssen kurzfristig Notfallmaßnahmen umgesetzt werden, die mögliche radiologische oder chemotoxische Konsequenzen minimieren. Hierbei ist es nicht wichtig, dass vorgegebene Schutzziele eingehalten werden, sondern dass nach Möglichkeit die im Vorfeld geplanten und ggf. bereits vorbereiteten Notfallmaßnahmen weitgehend umgesetzt werden können und diese dann zu einer Verringerung möglicher Konsequenzen beitragen werden. Zu diesen Maßnahmen zählen u. a. die Einkapselung und schnelle Verfüllung von Einlagerungskammern und der Schächte.

Als Bewertungsmaßstab für die "Wechselwirkungen mit Notfallmaßnahmen" werden mögliche Konsequenzen bei einem Notfall herangezogen, wobei als Bewertungsgrößen „Neuauffahrungen im Grubengebäude“ und die „Mobilisierbarkeit der Schadstoffe“ dienen.

Die Bewertung der „Wechselwirkungen mit Notfallmaßnahmen“ erfolgt anhand der nachfolgenden Größen:

- Neuauffahrungen im Grubengebäude,
- Mobilisierbarkeit der Schadstoffe.

Derzeit sind im Bereich der Einlagerungskammern bzw. in deren Zugangsstrecken nachfolgende Notfallmaßnahmen vorgesehen (BfS 2009d):

- Ablenkung der potenziellen Lösungszuflüsse von den Einlagerungskammern durch Drainagebohrungen
- Abdichtung bestehender potentieller Schwachstellen der salinaren Schutzschicht zur Minimierung der möglichen Zuflussrate in den Bereich der Einlagerungskammern (z. B. Hauptquerschlag nach Süden aus Abbau 3/750)
- Ertüchtigung von Kammerverschlüssen der ELK und Verfüllung von Grubenbauen in der Nachbarschaft von Einlagerungskammern zur Verbesserung oder Erhaltung deren Integrität und der Zugänglichkeit für Lösungen
- Vorbereitung zur Errichtung von Bauwerken zur Verzögerung und Lenkung von potentiellen Lösungsströmen in der Grube
- Verfüllung der Resthohlräume der MAW-Kammer mit Sorelbeton oder einem anderen geeigneten Material und Einstellung eines günstigen chemischen Milieus.
- Verfüllung der Resthohlräume der LAW-Kammern und der Abbaue im Baufeld in der Südflanke mit Sorelbeton oder einem anderen geeigneten Material, um das Entstehen von Transportkanälen zu vermeiden.
- Maßnahmen zur Einstellung eines günstigen chemischen Milieus in den LAW-Kammern zur Löslichkeitsbegrenzung für dosisrelevante Radionuklide.

An dieser Stelle ist anzumerken, dass ein Notfallkonzept immer auf die jeweilige Stilllegungsoption angepasst werden muss. Im Rahmen dieser Anpassungsarbeiten können sich auch neue oder weitere Notfallmaßnahmen ergeben, die die Sicherheit gegenüber einem unbeherrschbaren Lösungszutritt verbessern.

### **1.2.4.1 Rückholung:**

#### **Neuauffahrungen im Grubengebäude**

Bei der Rückholung werden Neuauffahrungen für Infrastruktureinrichtungen und für die Zugangsstrecken zu den Einlagerungskammern erforderlich. Des Weiteren ist ein Öffnen der Kammerverschlüsse und/oder ein erneutes Anfahren der Einlagerungskammern zur Bergung der Abfallgebinde notwendig. Die Kammern werden laut DMT & TÜV NORD (2009) nacheinander geöffnet, die enthaltenen Gebinde geborgen und sodann wird die geleerte Einlagerungskammer verfüllt.

Wechselwirkungen zur Notfallplanung können sich daher immer nur für eine Einlagerungskammer ergeben. Konkret sind die Notfallmaßnahmen

- Ertüchtigung von Kammerverschlüssen der ELK und Verfüllung von Grubenbauen in der Nachbarschaft von Einlagerungskammern zur Verbesserung oder Erhaltung deren Integrität und der Zugänglichkeit für Lösungen
- Vorbereitung zur Errichtung von Bauwerken zur Verzögerung und Lenkung von potentiellen Lösungsströmen in der Grube
- Verfüllung der Resthohlräume der LAW-Kammern und der Abbaue im Baufeld in der Südflanke mit Sorelbeton oder einem anderen geeigneten Material, um das Entstehen von Transportkanälen zu vermeiden
- Maßnahmen zur Einstellung eines günstigen chemischen Milieus in den LAW-Kammern zur Löslichkeitsbegrenzung für dosisrelevante Radionuklide

betroffen.

#### **Mobilisierbarkeit der Schadstoffe**

Entsprechend DMT & TÜV NORD (2009) werden die Einlagerungskammer nacheinander geöffnet. Durch öffnen der Kammern erreicht die Zutrittslösung die Abfallgebinde dadurch deutlich schneller. Da die Kammern aber nacheinander geöffnet werden, kann die Zutrittslösung lediglich nur die Abfallgebinde der geöffneten Einlagerungskammer erreichen und damit nur die darin enthaltenen Schadstoffe mobilisieren.

Durch die schrittweise Rückholung der Abfälle wird das mobilisierbare Schadstoffinventar im Laufe der Zeit abnehmen. Dies wird mit abnehmendem Inventar zu einem steigenden Sicherheitsgewinn führen.

#### **Fazit**

Bei der Option Rückholung bestehen Wechselwirkungen mit den Notfallmaßnahmen, die mit Fortgang der Rückholung abnehmen werden.

#### **Bei Umlagerung:**

#### **Neuauffahrungen im Grubengebäude**

Bei der Umlagerung werden Neuauffahrungen für Infrastruktureinrichtungen, für die Zugangsstrecken zu den Einlagerungskammern und für die Einlagerungskammern im neuen Einlagerungshorizont erforderlich. Des Weiteren ist ein Öffnen der Kammerverschlüsse und/oder ein erneutes Anfahren der Einlagerungskammern

zur Bergung der Abfallgebinde notwendig. Die Kammern werden laut DMT & TÜV NORD (2009) nacheinander geöffnet, die enthaltenen Gebinde geborgen und sodann wird die geleerte Einlagerungskammer verfüllt. Im neuen Einlagerungshorizont werden die Einlagerungskammern ebenfalls nacheinander aufgeföhren, mit den geborgenen Abfällen befüllt und anschließend verschlossen.

Wechselwirkungen zur Notfallplanung können sich daher immer nur für eine „alte“ und eine „neue“ Einlagerungskammer ergeben. Konkret sind die Notfallmaßnahmen

- Ertüchtigung von Kammerverschlüssen der ELK und Verfüllung von Grubenbauen in der Nachbarschaft von Einlagerungskammern zur Verbesserung oder Erhaltung deren Integrität und der Zugänglichkeit für Lösungen
- Vorbereitung zur Errichtung von Bauwerken zur Verzögerung und Lenkung von potentiellen Lösungsströmen in der Grube
- Verfüllung der Resthohlräume der LAW-Kammern und der Abbaue im Baufeld in der Südflanke mit Sorelbeton oder einem anderen geeigneten Material, um das Entstehen von Transportkanälen zu vermeiden
- Maßnahmen zur Einstellung eines günstigen chemischen Milieus in den LAW-Kammern zur Löslichkeitsbegrenzung für dosisrelevante Radionuklide

betroffen.

### **Mobilisierbarkeit der Schadstoffe**

Entsprechend DMT & TÜV NORD (2009) werden die Einlagerungskammer nacheinander geöffnet. Durch öffnen der Kammern erreicht die Zutrittslösung die Abfallgebinde dadurch deutlich schneller. Da die Kammern aber nacheinander geöffnet werden, kann die Zutrittslösung lediglich die Abfallgebinde der geöffneten „alten“ Einlagerungskammer sowie das in die „neue“ Einlagerungskammer umgelagerte Inventar erreichen und damit immer das Schadstoffinventar einer „alten“ Einlagerungskammer mobilisieren.

Durch die Umlagerung des Inventars in tiefere Schichten wird zwar die Mobilisierbarkeit der Schadstoffe nicht grundsätzlich verhindert, aber deren kurzfristige Freisetzung durch bereits vorhandene Kammerverschlüsse ggf. zeitlich verzögert.

Bei der Umlagerung bleibt das mobilisierbare Schadstoffinventar bis zum langzeitsicheren Abschluss erhalten. Daraus folgt, dass kein Sicherheitsgewinn erzielt werden kann.

### **Fazit**

Bei der Option Umlagerung bestehen Wechselwirkungen mit den Notfallmaßnahmen, die erst nach langzeitsicherem Verschluss des Einlagerungshorizontes in 1.200 m Tiefe zu einem Sicherheitsgewinn führen werden.

## **1.2.4.2 Vollverfüllung**

### **Neuauffahrungen im Grubengebäude**

Bei der Vollverfüllung werden keine nennenswerten Neuauffahrungen von Strecken und Grubenräumen vorgenommen.

Somit sind unter diesem Gesichtspunkt keine Wechselwirkungen mit Notfallmaßnahmen zu erwarten.

### **Mobilisierbarkeit der Schadstoffe**

Entsprechend GRS (2009) werden bei dem Konzept der Vollverfüllung vergleichbare wie im Notfallplanung ausgeführt. Daher ist die Mobilisierbarkeit der Schadstoffe im Wesentlichen abhängig von dem Fortschritt der umgesetzten Maßnahmen. Je weiter die Umsetzung der Maßnahmen erfolgt sind, um so geringer ist die Möglichkeit der Schadstoffmobilisierung, insbesondere durch die vorgesehene Einstellung eines chemischen Milieus im Nahbereich der Abfälle.

### **Fazit**

Bei der Option Vollverfüllung sind keine Wechselwirkungen mit Notfallmaßnahmen zu erwarten.

## 1.3 VORLÄUFIGE LANGZEITSICHERHEITSEINSCHÄTZUNGEN

Das Beurteilungsfeld „Vorläufige Langzeitsicherheitseinschätzungen“ fasst alle Kriterien zusammen, die für die Beurteilung der Langzeitsicherheit in der Nachbetriebsphase bei dem Optionenvergleich herangezogen werden. Die Bezeichnung „Vorläufige Langzeitsicherheitseinschätzungen“ ist allein dadurch begründet, dass im Ergebnis der Machbarkeits- und Auswirkungsstudien keine umfassenden Sicherheitsanalysen durchgeführt werden konnten, da hierfür erfahrungsgemäß Zeiträume von mehreren Jahren erforderlich wären. Ein solcher Zeitraum wäre für die Auswahl der für die Stilllegung des Endlagers Asse zu favorisierenden Stilllegungsoption nicht vertretbar (BfS 2009a).

Die Langzeitsicherheit der Stilllegungsoptionen wird qualitativ nach den in Sicherheitsanalysen üblicherweise angewendeten Kriterien auf Grundlage aller zur Verfügung stehenden Informationen bewertet. Damit eine Bewertung auch für die Stilllegungsoption der Rückholung erfolgen kann, wird hierbei unterstellt, dass die rückgeholten Abfälle in ein planfestgestelltes Endlager für schwach- und mittelradioaktive Abfälle eingelagert werden. Die für den Vergleich notwendigen Fakten und Einschätzungen zum planfestgestellten Endlager beziehen sich dabei beispielhaft auf das Referenzendlager Konrad, welches in 2002 für radioaktive Abfälle mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung genehmigt worden ist.

### 1.3.1 Radiologische Auswirkungen

Potenzielle radiologische Auswirkungen in der Nachbetriebsphase werden üblicherweise durch sehr aufwändige Modellrechnungen ermittelt und im Rahmen von Sicherheitsanalysen bewertet. Hierbei werden die Systeme Endlager - Geosphäre - Hydrosphäre - Biosphäre sowie der Schadstofftransport zwischen diesen Systemen in Modellen abgebildet und die potenzielle Strahlenbelastung eines vor Ort lebenden Menschen als effektive Dosis ermittelt. Im Rahmen des Optionenvergleichs werden Ein- bzw. Abschätzungen zu möglichen radiologischen Auswirkungen vorgenommen. Hierfür erfolgen – soweit möglich – eine Beschreibung der für das Systemverhalten wesentlichen Prozesse und eine qualitative Einschätzung über den Zeitraum und die Höhe der Freisetzung. Soweit Expositionsrechnungen für die Nachbetriebsphase für eine der zu betrachtenden Stilllegungsoptionen oder vergleichbare Systeme vorliegen, werden diese ebenfalls berücksichtigt.

Die Bewertung der "Radiologische Auswirkungen in der Nachbetriebsphase" erfolgt anhand der nachfolgenden Größen:

- Vorhandene Barrieren oder einschlusswirksamer Gebirgsbereich,
- Gasbildung,
- Nuklidmobilisierung
- Rückhaltung
- Auspressraten
- Verdünnung.

#### **Vorhandene Barrieren oder einschlusswirksamer Gebirgsbereich**

Diese Bewertungsgröße beschreibt den Abschluss des eingelagerten Inventars von der Biosphäre. Für eine vollständig isolierte Verwahrung ist es erforderlich, dass sowohl die geologische Barriere (der umgebende Gebirgsbereich) als auch die geotechnischen Barrieren (Verschlussbauwerke u. ä.) flüssigkeits-/gasdicht und langzeitsicher sind. Sollte dies nicht möglich sein, ist der Kontakt der Abfälle mit einer Lösung zu unterstellen, so dass Schadstoffe mobilisiert und transportiert werden können.

## **Gasbildung**

Durch Korrosion von Metallen entsteht Wasserstoff, der mengenmäßig am bedeutendsten ist. Mikrobielle Zersetzung organischer Bestandteile kann zur Freisetzung von Kohlendioxid führen. Weiterhin können zu einem geringen Anteil andere gasförmige Stoffe, z. B. durch Radiolyse, gebildet werden. Ihr Volumen ist im Vergleich zum gesamten Gasbildungsvolumen durch Korrosion und mikrobielle Zersetzung gering.

Die Gasbildung wird durch zutretende Lösung begünstigt. Weiterhin trägt die Eigenfeuchte der Abfälle zu einer Gasbildung bei. In diesem Fall ist anzunehmen, dass das entstehende Gasvolumen deutlich geringer ist.

## **Mobilisierung**

Mobilisierung beschreibt die Prozesse, die dazu führen, dass Schadstoffe von der in der Abfallmatrix fixierten Form in ein Transportmedium übergehen. Die Löslichkeit der Schadstoffe wird durch die elementspezifischen Eigenschaften und die geochemischen Milieubedingungen beeinflusst. Bei einem geringen Lösungsvolumen kann die Löslichkeitsgrenze überschritten werden, so dass bei einem abgeschlossenen System keine weitere Mobilisierung stattfindet.

## **Rückhaltung**

Eine Rückhaltung der Schadstoffe kann durch Sorption an geeignetem Material erfolgen. Die Bindung der Elemente am Sorptionsmaterial führt zu einer Fixierung, sodass sich die Konzentration in der Lösung verringert. Die Sorption kann jedoch reversibel sein, wobei durch eine Änderung der Randbedingungen eine erneute Freisetzung möglich wird. Konstante Milieubedingungen sind in diesem Falle von Vorteil.

## **Auspressraten**

Die Auspressrate gibt an, mit welcher Rate potenziell kontaminierte Lösung aus dem Grubengebäude ins Nebengebirge übertritt. Bei der Schachanlage Asse II wird nach dem Volllaufen aufgrund der Konvergenz ein hydraulisches Druckgefälle vom Grubengebäude ins Nebengebirge erzeugt, durch welches ein Übertritt von Lösungen aus dem Grubengebäude in das Deckgebirge erfolgt.

## **Verdünnung**

Verdünnung kennzeichnet die Vermischung kontaminierter Lösungen mit unkontaminierten Wässern. Unterschieden wird zwischen der Verdünnung im Grubengebäude und der Verdünnung im Deckgebirge, die durch das Grundwasservolumen entlang des Fließpfades vor Erreichen der Biosphäre bestimmt wird.

### **1.3.1.1 Betrachtung der Bewertungsgrößen für die einzelnen Optionen**

## **Rückholung**

Bei der Rückholung aller oder eines Teiles der radioaktiven Abfälle aus der Schachanlage Asse II ist deren Verbringung in ein planfestgestelltes Endlager für schwach- und mittelradioaktive Abfälle vorgesehen. Als Referenz dient hier das Endlager für radioaktive Abfälle mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung Konrad.



Das in der Schachanlage Asse II gelagerte Inventar stellt nur etwa 1 Promille des Inventars dar, für das im Rahmen des Genehmigungsverfahrens des Endlagers Konrad der Langzeitsicherheitsnachweis erbracht wurde. Dies verdeutlicht, dass eine sichere Verbringung der in der Schachanlage Asse II eingelagerten Abfälle in ein anderes Endlager gewährleistet werden kann.

### **Vorhandene Barrieren oder einschlusswirksamer Gebirgsbereich**

Für die Betrachtung dieser Bewertungsgröße bei der Rückholung sind die Barrieren oder der einschlusswirksame Gebirgsbereich des Zielendlagers anzusetzen. Als Referenz dient hier das Endlager Konrad (BfS 1990).

### **Gasbildung**

Für die Betrachtung dieser Bewertungsgröße bei der Rückholung ist der Einfluss der Gasbildung beim Zielendlager anzusetzen. Als Referenz dient hier das Endlager Konrad (BfS 1990).

### **Nuklidmobilisierung**

Für die Betrachtung dieser Bewertungsgröße bei der Rückholung ist die Nuklidmobilisierung beim Zielendlager anzusetzen. Als Referenz dient hier das Endlager Konrad (BfS 1990).

### **Rückhaltung**

Für die Betrachtung dieser Bewertungsgröße bei der Rückholung ist die Rückhaltung beim Zielendlager anzusetzen. Als Referenz dient hier das Endlager Konrad (BfS 1990).

### **Auspressraten**

Für die Betrachtung dieser Bewertungsgröße bei der Rückholung sind die Auspressraten beim Zielendlager anzusetzen. Als Referenz dient hier die angenommene Durchströmungsrate des Grubengebäudes Konrad (BfS 1990).

### **Verdünnung**

Für die Betrachtung dieser Bewertungsgröße bei der Rückholung ist die Verdünnung beim Zielendlager anzusetzen. Als Referenz dient hier das Endlager Konrad (BfS 1990).

### **Umlagerung**

Bei der Umlagerung aller oder eines Teiles der radioaktiven Abfälle in der Schachanlage Asse II ist deren Verbringung in aus dem bestehenden Grubengebäude heraus neu aufzufahrende Einlagerungshorizonte innerhalb des Salzsattels Asse vorgesehen. Die Bewertung der radiologischen Auswirkungen der Umlagerung in der Nachbetriebsphase erfolgt in Ermangelung belastbarer Standorterkundungs- und Modellierungsdaten im Sinne einer Verbaleinschätzung der Systemeigenschaften und Barrierewirkung eines als prinzipiell geeignet angesehenen geologischen Einlagerungshorizontes innerhalb der Salzstruktur.

Als neue Einlagerungshorizonte kommen laut Machbarkeitsstudie (ERCOSPLAN & TÜV NORD 2009) nur solche Abschnitte der Schichtenfolge in Frage, für die ein vollständiger und dauerhafter Einschluss der Abfälle prinzipiell möglich erscheint. Um den neuen Einlagerungshorizont soll das Salinar außerhalb

bestehender Grubenbaue ausreichend mächtig und geomechanisch homogen ausgebildet sein. Als neuer Einlagerungshorizont wird von den Autoren der Machbarkeitsstudie (ERCOSPLAN & TÜV NORD 2009) das Staßfurtsteinsalz im Kern des Salzsattels unterhalb des bisherigen Grubenfeldes in 1.200 m Teufe als prinzipiell geeignet eingestuft. Die vermutlich relevanten Eigenschaften, Ereignisse und Prozesse für Grubenhohlräume in dieser Schicht werden im Folgenden betrachtet.

### **Vorhandene Barrieren oder einschlusswirksamer Gebirgsbereich**

Der auszuwählende Einlagerungshorizont übernimmt die Funktion einer geologischen Barriere. Hierbei bestehen Anforderungen an die Mächtigkeit und die lithologische und strukturelle Ausbildung des Salzgesteins. Die geforderten minimalen Abstände der neuen Einlagerungskammern zum bestehenden Grubengebäude, zum Nebengebirge und zur Salzstockbasis werden in ERCOSPLAN & TÜV NORD (2009) mit 200 m angegeben. Im einschlusswirksamen Gebirgsbereich soll somit eine geologische Barrierewirkung (hydraulisch nahezu undurchlässig) gewährleistet sein. Die Mächtigkeitsforderung entspricht den Vorschriften von §224 ABVO, wo der Sicherheitspfeiler für Salzbergwerke gegen den Salzspiegel, die Salzstockbasis, die Salzstockflanken und gegen ersoffene Grubenbaue mit mindestens 150 m angegeben ist (laut Absatz (e) auf 200 m zu vergrößern, wenn die Lage der Grenzen nicht genau ermittelt werden kann).

Da die vorgeschlagenen Einlagerungsbereiche bisher nicht in die Erkundung einbezogen waren, bestehen erhebliche Kenntnisdefizite hinsichtlich ihrer lithologischen und strukturellen Ausbildung. Diese Kenntnisdefizite sollen durch gezielte Erkundungsmaßnahmen im vorgesehenen Einlagerungshorizont reduziert werden.

Ist die dauerhafte Integrität der geologischen Barriere unter Berücksichtigung aller relevanten Ereignisse und Prozesse in der Nachbetriebsphase nachgewiesen, stellen künstlich geschaffene Verbindungen zum bestehenden Grubengebäude, insbesondere Blindschächte und Strecken, die einzig mögliche hydraulische Wegsamkeit zur Biosphäre dar. Diese sollten mit geotechnischen Verschlussbauwerken nach dem Stand von Wissenschaft und Technik flüssigkeits- und gasdicht langzeitsicher verschlossen werden.

Für die bis zum Abschluss der Betriebsphase offen zu haltenden Strecken bzw. den Blindschacht bestehen in der Schachanlage Asse II günstige geologische Voraussetzungen für den Einbau geotechnischer Barrieren (ERCOSPLAN & TÜV NORD 2009). Es liegt ein Konzept für einen langzeitstabilen und flüssigkeitsdichten Schachtverschluss vor (ERCOSPLAN & TÜV NORD 2009), der für die abschließende Verwahrung als „prinzipiell geeignet“ eingestuft wird (ERCOSPLAN & TÜV NORD 2009).

Die Störfallanalyse (ERCOSPLAN & TÜV NORD 2009) beschränkt sich auf mögliche Störfälle bei der Umlagerung der LAW und MAW (EWN & TÜV NORD 2008). Die Auswirkungen eines Lösungszuflusses werden nicht betrachtet, weil davon ausgegangen wird, dass die Verschlussbauwerke langzeitsicher ausgelegt sind.

### **Gasbildung**

Eine signifikante Gasbildung in den neuen Einlagerungsbereichen, insbesondere durch Korrosionsprozesse, kann aufgrund der Eigenfeuchte in den Gebinden nicht ausgeschlossen werden. In ERCOSPLAN & TÜV NORD (2009) wird die Gasbildung in den Abfallgebinden und die Freisetzung in die Biosphäre bei der Langzeitsicherheit nicht betrachtet.

Die Auswirkungen auf die Barriereintegrität und den Nuklidtransport müssten im Rahmen von ggf. zu erstellenden detaillierten Sicherheitsanalysen untersucht und berücksichtigt werden. Neue Forschungsergebnisse des IfG Leipzig (Popp & Minkley 2007) zeigen, dass ein Entweichen radioaktiver Gase aus Einlagerungskammern durch pneumatische Rissbildung im Steinsalz allgemein nicht zu erwarten ist. Nach vorläufiger Einschätzung kann somit davon ausgegangen werden, dass zumindest die

Einschlusswirksamkeit des Wirtsgesteins durch Gasbildung nicht signifikant beeinträchtigt wäre. Die Gasdichtheit der geotechnischen Barrieren wäre im Rahmen der Funktionsnachweise gesondert zu belegen.

### **Nuklidmobilisierung**

Bei Umlagerung der radioaktiven Abfälle in einen geologisch geeigneten Einlagerungsbereich wird ein vollständiger und dauerhafter Einschluss der Abfälle unterstellt (s. o. vorhandene Barrieren). Nur wenn die Funktion der geotechnischen Barrieren signifikant beeinträchtigt wäre, würde zutretendes Wasser als Mobilisierungs- und Transportmedium mit den Abfällen in Kontakt treten können. Ein solches Szenario gilt es durch geeignete technische Auslegung der Bauwerke und langzeitsicheren Funktionsnachweis auszuschließen. Ob dies in den für eine Umlagerung in Betracht kommenden Bereich des Salzstocks leistbar ist, kann aktuell nicht beurteilt werden. Für die vorläufige Langzeitsicherheitseinschätzung im Rahmen des Optionenvergleichs können Zutrittsszenarien, die zu einer Mobilisierung von Radionukliden führen, daher nicht ausgeschlossen werden. Die bestehenden Unsicherheiten und Kenntnisdefizite werden im Kapitel 1.3.5 *Nachweisbarkeit der radiologischen Langzeitsicherheit* erörtert.

### **Rückhaltung**

Bei Umlagerung der radioaktiven Abfälle in einen geologisch geeigneten Einlagerungsbereich muss ein vollständiger und dauerhafter Einschluss der Abfälle (Isolation) erreicht werden. Durch die Wahl eines Einlagerungsbereiches mit einschlusswirksamer Funktion des umgebenden Wirtsgesteins ist eine vollständige Rückhaltung der Radionuklide durch geologische und geotechnische Barrieren zu gewährleisten. Ob dies leistbar ist, kann auf der Basis des aktuellen Kenntnisstandes nicht beurteilt werden.

### **Auspressraten**

Es kann nicht prognostiziert werden, ob ein Einlagerungsbereich in einem dauerhaft wasserundurchlässigen einschlusswirksamen Gebirgsbereich mit langfristig funktionstüchtigen geotechnischen Barrieren gefunden werden kann, für den ein Nachweis geführt werden kann, dass eine Auspressung kontaminierter Lösungen aus den neuen Einlagerungsbereichen vermieden werden kann.

### **Verdünnung**

Auf der Grundlage des aktuellen Kenntnisstandes sind keine Aussagen möglich.

### **Vollverfüllung**

Bei der Stilllegungsoption Vollverfüllung verbleiben die radioaktiven Abfälle an den Orten im Grubengebäude des Endlagers, an denen sie eingelagert wurden und sich heute befinden. Die vorhandenen Resthohlräume im Grubengebäude werden mit geeigneten Verfüllmaterialien vollständig verfüllt. Die mit der Stilllegungsoption „Vollverfüllung“ verbundenen Maßnahmen sind in der Machbarkeits- und Auswirkungsstudie (AF-Colenco AG et al. 2009) beschrieben. Die Bewertung der radiologischen Auswirkungen erfolgt dort in Ermangelung spezieller Modellrechnungen vorläufig im Sinne einer Verbaleinschätzung der Systemeigenschaften und durch Analogieschluss mit Bezug auf ein vergleichbares, modellmäßig untersuchtes Bezugssystem. Als Bezugssystem wird in AF-Colenco AG et al. (2009) ein der Vollverfüllung vergleichbares Stilllegungskonzept gewählt, für das umfangreiche Untersuchungen und Modellrechnungen durchgeführt worden sind (HMGU 2008). Wie die Vollverfüllung sieht auch das Bezugskonzept die Errichtung von Sorelbarrieren, das Verfüllen der Einlagerungskammern, die Verfüllung der Resthohlräume, den Verschluss der Tagesschächte sowie die Einleitung einer technischen  $MgCl_2$ -Lösung vor. Im Gutachten AF-Colenco AG et al. (2009) werden die relevanten Unterschiede zwischen

der Option Vollverfüllung und dem Bezugskonzept hinsichtlich ihrer erwarteten Auswirkungen auf die Nuklidfreisetzung qualitativ bewertet. Diese Einschätzungen bilden die Grundlage bei der hier vorgenommenen Betrachtung der Bewertungsgrößen.

### **Vorhandene Barrieren oder einschlusswirksamer Gebirgsbereich**

Der Schadstofftransport bis in die Biosphäre hängt am Standort Schachtanlage Asse II bei der Stilllegungsoption Vollverfüllung von einer Vielzahl von Faktoren ab.

Das Deckgebirge in der Nordflanke stellt laut AF-Colenco AG et al. (2009) eine mächtige und gering durchlässige Barriere dar. In der Südflanke der Salzstruktur ist das Deckgebirge als steilstehende Abfolge von erhöht durchlässigen und gering durchlässigen Schichten ausgebildet, welche von geogenen und bergbaubedingten gebirgsmechanischen Strukturen (Störungen, etc.) durchzogen ist. Oberhalb des Salzspiegels ist ein relativ geringmächtiges Hutgestein ausgebildet. Das Hutgestein und das darüber liegende verstrüzte Deckgebirge weisen eine relativ hohe hydraulische Durchlässigkeit auf.

Die Steinsalz-Barriere zwischen Grubengebäude und dem Deckgebirge in der Nordflanke und zwischen Grubengebäude und Salzspiegel der Salzstruktur ist mächtig und dicht. In der Südflanke ist die Steinsalz-Barriere zwischen der Kontur der Abbaue und dem Rötanhydrit oberhalb von 595 m Teufe gering mächtig. Durch die bergbaubedingten Auflockerungen und Verformungen bildete sich eine Zone mit desintegrierter Steinsalz-Barriere, die von etwa 511 m bis 574 m Teufe reicht. In der Zone der desintegrierten Steinsalz-Barriere führen erwiesenermaßen hydraulische Wegsamkeiten vom Grubengebäude in das Deckgebirge.

Zwischen dem Grubengebäude und dem Deckgebirge sind mehrere Wegsamkeiten für Lösungen und Gase denkbar. Bestehende und potenzielle hydraulische Verbindungen zwischen dem Grubengebäude und dem Deckgebirge wurden im Rahmen von ausführlichen Untersuchungen für das Bezugssystem diskutiert (AF-Colenco AG et al. 2005). Für den Nachweis der Langzeitsicherheit sind von diesen Wegsamkeiten auch bei einer Vollverfüllung primär diejenigen durch die Zone der desintegrierten Steinsalz-Barriere in der Südflanke und entlang der Tagesschächte relevant. Ein einschlusswirksamer Gebirgsbereich ist somit nicht vorhanden.

Durch geotechnische Barrierebauwerke und das Einbringen von Verfüllstoffen sollen die Strömungswiderstände im Grubengebäude beeinflusst werden (AF-Colenco AG et al. 2009). Durch den Einbau von Sorelbetonbarrieren sollen Lösungsbewegungen im Nahbereich der Einlagerungskammern begrenzt, der Lösungsaustausch im Porenvolumen der Einlagerungskammern reduziert und Lösungen aus tieferen oder benachbarten Grubenbereichen an den Einlagerungsbereichen vorbei gelenkt werden. Durch die hohen Strömungswiderstände der Barrieren werden deutliche Kontraste zu hoch durchlässigen Wegsamkeiten geschaffen, wodurch die Strömungsmuster und damit auch die Transportpfade im Umfeld der Einlagerungskammern positiv beeinflusst werden. Die Sorelbetonbarrieren haben hierbei keine abdichtende Funktion im eigentlichen Sinne, der Abfluss von Lösung aus den Einlagerungskammern wird als „unvermeidbar“ angesehen (AF-Colenco AG et al. 2009).

Zur Unterbindung eines langzeitsicherheitsrelevanten Lösungszu- und -austritts über die Tagesschächte sollen diese vollständig verfüllt und langzeitsicher verschlossen werden. Im Bereich oberhalb 490 m Teufe sind Dichtelemente vorgesehen, die prinzipiell wie eine vertikale flüssigkeits- und gasdichte Sorelbetonbarriere wirken und im Rahmen der Planungen nach dem Stand von Wissenschaft und Technik so auszulegen sind, dass relevante Lösungs- und Gasbewegungen über die Tagesschächte wirksam verhindert werden.

Durch Einbringen einer technischen  $MgCl_2$ -Lösung sollen in der gesamten Grube unterhalb 679 m Teufe, insbesondere im Carnallitit-Baufeld, Umlösungen am Carnallitit verhindert werden, sodass dadurch verursachte Volumenvergrößerungen oder Konvektionen ausgeschlossen werden (AF-Colenco AG et al. 2009). Da die technische  $MgCl_2$ -Lösung eine größere Dichte hat als die zutretende Deckgebirgslösung, die die restlichen Hohlräume der Grube oberhalb der Firste der 700-m-Sohle auffüllen wird, könnte sich eine Dichteschichtung mit einem Grenzbereich zwischen den beiden Lösungen bilden. Diese Dichteschichtung

würde den Transport der Schadstoffe, die aus den Einlagerungskammern für LAW in das übrige Grubengebäude gelangen, auf dem Weg zum Übertrittsort ins Deckgebirge behindern.

Unbeschädigte Fässer und Abfallmatrizes (Zement, Bitumen) stellen eine zusätzliche Barriere dar, jedoch „ist davon auszugehen, dass spätestens nach einigen Jahrzehnten die Barrieren Abfallmatrizes und Fässer ausgefallen sind und die Mobilisierung aller Radionuklide möglich ist“ (AF-Colenco AG et al. 2009).

Offene Grubenbaue sowie Auffahrungen, die die Lösungsbewegung vertikal kanalisieren können (z. B. Blindschächte, Wendelstrecke), sollen mit Sorelbeton verfüllt werden. Die MAW-Kammer wird ebenfalls mit Sorelbeton verfüllt (AF-Colenco AG et al. 2009), genauso wie „ausgewählte Grubenbaue darüber“, um den Lösungszutritt in die Einlagerungskammer zu begrenzen. Für die geotechnischen Barrierebauwerke und die Verfüllung des Grubengebäudes werden überwiegend Sorelbeton oder Sorelmörtel eingesetzt. Diese Baustoffe sind im Kontakt mit  $MgCl_2$ -reichen Lösungen langzeitbeständig.

Die Langzeitbeständigkeit von Verfüllungen mit Sorel-Beton ist bei reinem Süßwasser nicht gegeben. Zumindest für Sorel-Zement, der  $MgO$  enthält, ist seine Lösbarkeit in Süßwasser in der Literatur als nachteilige Eigenschaft des Baustoffes belegt (Chapman & Hall 1997). Für die Option Vollverfüllung gemäß (AF-Colenco AG et al. 2009) soll eine technische  $MgCl_2$ -Lösung eingesetzt werden. Im Bezugskonzept fällt eine solche Lösung unter die Bezeichnung „Schutzfluid“. Die Studie (AF-Colenco AG & GRS 2006) der Gesamtbewertung der Langzeitsicherheit für den Standort Asse stellt die Langzeitsicherheit von Sorelbeton in Kontakt mit  $MgCl_2$ -reichen Lösungen fest. Ein Gutachter der Bergakademie Freiberg bestätigt die chemische Langzeitstabilität von Sorelbeton gegenüber  $MgCl_2$ -Lösungen und  $MgCl_2$ -haltigen  $NaCl$ -Lösungen, vgl. Voigt (2007).

## **Gasbildung**

Durch mikrobielle Degradation der organischen Stoffe, Radiolyse und Korrosion von Metallen kommt es in der Nachbetriebsphase zur Gasbildung. Die Gasspeicherung im Grubengebäude stellt einen Antriebsprozess für den Transport von Schadstoffen in der Lösung dar (Wasserpfad). Außerdem ist das Gas selbst ein Transportmedium für Schadstoffe (Gaspfad).

Im Rahmen der Sicherheitsanalysen für das Bezugssystem wurde Gasbildung infolge Korrosion, Radiolyse und Degradation kammer-spezifisch berücksichtigt (Colenco AG & GRS 2006). Das Gesamtpotenzial der Gasbildung ist durch das eingelagerte Inventar gasbildender Stoffe bestimmt, die Gasbildungsrate durch das geochemische Milieu beeinflusst. Untersuchungen zur Gasbildung beim Bezugssystem zeigen, dass sowohl die totalen Gasvolumina als auch die totalen Gasbildungsraten durch Bildung von Wasserstoff dominiert werden (Colenco AG & GRS 2006). Durch das Einbringen von Brucit-Mörtel im Rahmen der Vollverfüllung soll das geochemische Milieu in den LAW-Einlagerungskammern stabilisiert und hierdurch die Gasbildungsraten durch Metallkorrosion begrenzt sowie das durch Degradation von organischen Stoffen entstehende  $CO_2$  weitgehend ausgefällt werden.

Die Stilllegungsoption Vollverfüllung zeigt laut AF-Colenco AG et al. (2009) im Hinblick auf die Gasbildung in den Einlagerungskammern ein ähnliches Verhalten wie das Bezugssystem. Die Gasbildung und deren zeitliche Entwicklung werden durch die gleichen chemischen und mikrobiellen Reaktionen bzw. Prozesse bestimmt. Die gebildeten Gesamtgasmengen sind in etwa gleich, da sich die Gas bildenden Inventare nicht deutlich unterscheiden. Die initialen Gasbildungsraten sind sehr ähnlich, da neben den Inventaren auch die initialen Milieubedingungen, insbesondere die pH-Werte, unverändert sind. Jedoch kann die langzeitige Entwicklung des geochemischen Milieus in den Einlagerungskammern beim Konzept der Vollverfüllung ohne Spezialrechnungen derzeit nicht genau prognostiziert werden. Der zeitliche Verlauf der Gasbildungsraten in den Einlagerungskammern kann somit laut Machbarkeitsstudie (AF-Colenco AG et al. 2009) wegen der ungewissen langzeitigen Entwicklung des geochemischen Milieus derzeit nicht belastbar vorausgesagt werden. Die möglichen negativen Auswirkungen einer erhöhten Gasbildungsrate auf den Nuklidtransport sind begrenzt, für eine abschließende Bewertung müssten jedoch spezifische Berechnungen zum geochemischen Milieu in den Einlagerungskammern durchgeführt werden.

Die durch den Gaspfad erreichte Exposition in der Biosphäre kann entsprechend Gutachten (AF-Colenco AG et al. 2009) je nach Expositionspfad in der Biosphäre bei Superposition ungünstiger Annahmen Werte von bis zu knapp unterhalb 0,3 mSv/a annehmen (AF-Colenco AG et al. 2009). Die Strahlenexposition kann derselben Quelle zufolge jedoch auch Größenordnungen darunter liegen. Bei plausiblen Verhältnissen in der Biosphäre am Ort der Freisetzung (Colenco AG & GRS 2006) liegen die für den Gaspfad errechneten Strahlenexpositionen 2 Größenordnungen unter 0,3 mSv/a. Modellrechnungen zum Gaspfad im Bezugskonzept wurden mit dem Programm KAFKA durchgeführt (Colenco AG & GRS 2006).

## **Nuklidmobilisierung**

Es wird basierend auf den Standortgegebenheiten davon ausgegangen, dass ein vollständiger, trockener Einschluss der Abfälle nicht möglich ist. Die eingeleitete technische  $MgCl_2$ -Lösung wird mit den eingelagerten Abfallgebänden in Kontakt treten und die Schadstoffe in den LAW-Einlagerungskammern werden durch diese mobilisiert. Der Beginn der Nuklidmobilisierung in den LAW-Kammern wird konservativ unmittelbar zu dem Zeitpunkt, zu dem Lösung an die Abfallmatrix gelangt, unterstellt. Die Schadstoffe in der MAW-Kammer können erst zu einem späteren Zeitpunkt mobilisiert werden, wenn der aufgrund der aus dem Deckgebirge zutretenden Lösung ansteigende Lösungsspiegel die Teufe dieser Kammer erreicht hat und in diese eindringen kann.

Die Nuklidmobilisierung in den Einlagerungskammern wird entscheidend vom geochemischen Milieu, insbesondere dem vorliegenden pH-Wert, bestimmt. Durch günstige Beeinflussung des pH-Wertes soll laut Machbarkeitsstudie (AF-Colenco AG et al. 2009) eine Begrenzung der Nuklidmobilisierung erfolgen. Das Einbringen von Brucit-Mörtel als Mg-Depot in LAW-Einlagerungskammern und in ausgewählte Austrittspfade soll den pH-Wert im günstigen Bereich von pH 7 bis 9 stabilisieren und so zur Begrenzung der Schadstoffmobilisierung führen. Modellrechnungen und Laboruntersuchungen, die im Rahmen der Sicherheitsanalysen für das Bezugssystem durchgeführt wurden zeigen, wie die Löslichkeiten der für den Langzeitsicherheitsnachweis wichtigen Elemente Americium, Plutonium und Uran in schwach alkalischen Milieubedingungen deutlich reduziert sind gegenüber stark sauren Milieubedingungen. Durch die Lenkung der Lösungsbewegung und Reduzierung des Lösungsaustausches in den Einlagerungskammern (Sorelbetonbarrieren) soll erreicht werden, dass das chemische Milieu in den Einlagerungskammern möglichst lange in einem die Mobilisierung von Radionukliden behindernden Bereich liegt.

Das chemische Milieu in den Einlagerungskammern und die korrespondierenden Radionuklidkonzentrationen können mit geeigneten geochemischen Modellen beschrieben werden. Derartige Modellrechnungen liegen derzeit nur für das Bezugskonzept vor. Laut Aussagen der Machbarkeits- und Auswirkungsstudie zur Vollverfüllung (AF-Colenco AG et al. 2009) ist die Mobilisierung aus den Abfallmatrizes nach dem Konzept Vollverfüllung tendenziell als gleich einzuschätzen.

## **Rückhaltung**

Nuklidmobilisierung und Rückhaltung bestimmen die Lösungskonzentrationen der Schadstoffe in den einzelnen Einlagerungskammern. Dabei beschreibt die Mobilisierung den Übertritt der Schadstoffe aus den Behältern und Abfallmatrizes in die Lösung und die Rückhaltung alle Prozesse, die dazu führen, dass die Schadstoffe nicht in Lösung bleiben, sondern wieder aus der Lösung ausgefällt oder sorbiert werden.

Eine Rückhaltung ausgewählter Radionuklide in den Einlagerungsbereichen erfolgt bei der Vollverfüllung durch Löslichkeitsbegrenzung und Sorption. Laut Machbarkeitsstudie (AF-Colenco AG et al. 2009) wird die Mobilisierung und Rückhaltung in den Einlagerungskammern im Stilllegungskonzept Vollverfüllung nach den gleichen Methoden wie im Bezugskonzept (Colenco AG & GRS 2006) berücksichtigt. In den Transportmodellierungen für das Bezugskonzept wird eine zeitlich verzögerte, jedoch vollständige Mobilisierung des Radionuklidinventars bis zur inventarbestimmten oder bis zur maximal möglichen Konzentration eines Radionuklids in Lösung unterstellt. Die maximal möglichen Elementkonzentrationen in den Einlagerungskammern werden von den entsprechenden Elementlöslichkeiten und Sorptionsprozessen

bestimmt und hängen vom chemischen Milieu ab. Es ist eine Zielsetzung im Konzept der Vollverfüllung, durch technische Maßnahmen (Barrieren) den Lösungsaustausch in den Einlagerungskammern so gering wie möglich zu halten, um das chemische Milieu langfristig zu stabilisieren.

Die anfänglichen Fluiddrücke in den LAW-Einlagerungskammern sind im Vollverfüllungskonzept geringer als im Bezugskonzept. Dadurch nehmen die Gasvolumina schneller zu und die Lösungsvolumina werden – nach dem Aufbau des hydrostatischen Druckes – schneller aus den Einlagerungskammern ausgepresst. Außerdem ist die Konvergenz anfangs stärker, wodurch das maximal für Lösung und Gas zur Verfügung stehende Volumen schneller abnimmt. Laut Machbarkeitsstudie (AF-Colenco AG et al. 2009) ist ohne spezielle Modellrechnungen keine Aussage darüber möglich, ob das Verhalten zur geringeren oder höheren Freisetzung von Schadstoffen aus den Einlagerungskammern führen wird. Die Auswirkungen des unterschiedlichen Lösungsaustausches auf die zeitliche Entwicklung des Radionuklidtransports aus den Einlagerungskammern in das restliche Grubengebäude sind also unter Umständen relevant. Es deshalb ist nicht auszuschließen, dass sich im Stilllegungskonzept Vollverfüllung geringere Rückhalteeffekte in den LAW-Einlagerungskammern als im Bezugskonzept ergeben.

Eine zusätzliche Verzögerung des Transports von Radionukliden durch Ausfällung und Sorption entlang der Transportwege im Grubengebäude und im Deckgebirge ist prinzipiell möglich. Weil derzeit keine standortspezifischen Daten für diese Rückhalteeffekte vorliegen, können diese Prozesse jedoch nicht berücksichtigt werden. Jedoch kann der Transport im Grubengebäude durch weitere Prozesse verzögert werden (s. o. vorhandene Barrieren). Die Stilllegungsmaßnahmen der Vollverfüllung sollen durch das Zusammenwirken aller Prozesse einen möglichst langsamen und geringen Transport von Schadstoffen im Grubengebäude bewirken.

Insgesamt führen Rückhalteeffekte in den Einlagerungskammern und im Grubengebäude zu signifikant geringeren Freisetzungen am Übertrittsort in das Deckgebirge. Berechnungen zum Bezugssystem zeigen, dass die aus der Grube insgesamt freigesetzte Radiotoxizität im Referenzfall nur noch 5 Promille der Anfangstoxizität beträgt, d.h. die Rückhaltung in der Grube bis zum Austritt in das Deckgebirge beträgt hier ca. 99,5 % (Colenco AG & GRS 2006). Die berechnete Rückhaltung des gesamten Systems für das Bezugskonzept beläuft sich auf einen Faktor von rund 1000 (im Referenzszenario). Die Rückhaltung von Schadstoffen im Deckgebirge durch Sorption wurde dabei nicht in Anspruch genommen und stellt eine zusätzliche Sicherheitsreserve dar.

Die Option Vollverfüllung weist gegenüber dem Bezugskonzept durch den verzögerten Übertritt von Radionukliden ins Deckgebirge wegen der Phase des Volllaufens des Oberen Baufelds in der Südflanke mit Deckgebirgslösung hinsichtlich der Rückhaltung im Grubengebäude Vorteile auf. In Bezug auf die Rückhaltung im Deckgebirge weist die Stilllegungsoption Vollverfüllung gegenüber dem Bezugskonzept laut (AF-Colenco AG et al. 2009) auch eher Vorteile auf.

## **Auspressraten**

Der bestehende hydraulische Kontakt zwischen dem Grubengebäude und dem Deckgebirge durch die Zone der desintegrierten Steinsalzbarriere an der Südflanke bewirkt das Auspressen von Grubenlösung – auch potenziell kontaminierter Lösung – in das Deckgebirge im Verlauf der Nachbetriebsphase. Das Deckgebirge stellt diesem Auspressen einen zeitlich veränderlichen hydraulischen Widerstand entgegen, welcher die Konvergenzentwicklung in der Grube und somit die Auspressrate beeinflusst. Die Auspressrate der Grubenlösung in das Deckgebirge und deren zeitlicher Verlauf bestimmt neben anderen Faktoren die Ausbreitung von Radionukliden im Deckgebirge bis zum Übertritt in die Biosphäre.

Modellrechnungen zur Lösungsbewegung und zum daran gekoppelten Schadstofftransport in Lösung im Grubengebäude und im Deckgebirge wurden bislang nur für das Bezugssystem durchgeführt (Buhmann et al. 2005, 2006). Die Modellrechnungen wurden nach dem Stand von Wissenschaft und Technik mit einem dreidimensionalen Modell und unter Berücksichtigung von in Abhängigkeit vom Salzgehalt variabler Dichte

und Viskosität der Lösung im Deckgebirge durchgeführt. Die hierbei rechnerisch ermittelten maximalen Auspressraten von Grubenlösung ins Deckgebirge liegen für das Bezugskonzept im Bereich von 1.000 m<sup>3</sup>/a.

Die zeitliche Verzögerung der Lösungsauspressung durch die Phase des Volllaufens des Oberen Baufelds mit Deckgebirgslösung beim Vollverfüllungskonzept wirkt sich positiv auf die Auspressrate aus. Durch die längere Phase des ungestützten Feuchtekriechens bis zum Beginn des Lösungsaustritts in das Deckgebirge wird nach dem Erreichen des hydrostatischen Drucks im Grubengebäude die Konvergenzrate der Grubenbaue und damit die Rate der Lösungsauspressung (als Folge der Konvergenz) geringer sein als bei einer Stilllegung gemäß Bezugskonzept. Durch gebirgsmechanische Stabilisierungsmaßnahmen (Resthohlraumverfüllung) wird eine weitere Reduzierung der Auspressraten angestrebt. Durch die im Laufe der Zeit zunehmende Stützwirkung des Versatzes und die Stützwirkung des hydrostatischen Lösungsdrucks sind für die Phase nach dem Volllaufen des Grubengebäudes langfristig deutlich abnehmende Konvergenz- und somit Auspressraten zu erwarten. In der Machbarkeitsstudie zur Vollverfüllung (AF-Colenco AG et al. 2009) werden Auspressraten abgeschätzt. Es ist demnach zu erwarten, dass bei einer Stilllegung gemäß dem Konzept Vollverfüllung nach dem Einsetzen des Lösungsaustritts in das Deckgebirge dieser kurzzeitig (d. h. einige Jahre bis Jahrzehnte) mehrere 100 m<sup>3</sup>/a erreicht, dann mit dem Rückgang von Konvergenz stetig abnimmt und nach 10.000 Jahren noch bei etwa 10 m<sup>3</sup>/a liegen wird.

Für den Fall eskalierender Zutrittsentwicklungen in der frühen Nachbetriebsphase mit dem Zutritt NaCl-untersättigter Lösungen liegen die anzunehmenden Auspressraten aufgrund der Hohlraumneubildung durch Auflösungsprozesse am Salzgestein deutlich über den o. g. Werten. Für die Bewertung der Auspressraten bei der Option Vollverfüllung ist demzufolge maßgeblich, ob ein Zutritt NaCl-untersättigter Lösungen in der frühen Nachbetriebsphase befürchtet werden muss.

## **Verdünnung**

Verdünnung bezeichnet die Abnahme der Radionuklid- und Schadstoffkonzentration in Lösung durch Vermischung mit unkontaminierter Lösung im Grubengebäude und im Deckgebirge, und mit unkontaminiertem Süßwasser im oberflächennahen Grundwasser und in Oberflächengewässern. Eine signifikante Verdünnung ist bei der Option Vollverfüllung sowohl im Grubengebäude als auch im Deckgebirge zu erwarten.

Die Modellrechnungen für das Bezugssystem (Colenco AG & GRS 2006) ermitteln Verdünnungsfaktoren im Deckgebirge von mindestens 3.000 (verstärktes Deckgebirge – Nordflanke), für maßgebliche Ausbreitungspfade im Minimum 7.300 (verstärktes Deckgebirge – Taleinschnitt der Ammerbeek), allerdings nur für die im Bezugskonzept festgelegten Randbedingungen. Diese Randbedingungen sind nicht in allen Punkten identisch mit denen, welche für die Vollverfüllung anzusetzen sind, sodass eine Übertragbarkeit nicht per se gegeben ist. Für eine aus dem Grubengebäude ausgepresste Lösung mit geringerer Dichte als das Schutzfluid, wie sie bei einem natürlichen Volllaufen gebildet wird, kann u. U. eine veränderte Ausbreitung im Deckgebirge angenommen werden, die sich je nach Fließpfad sowohl positiv (Erschließung eines größeren Grundwasservolumens) als auch negativ (beschleunigter Austrag in die Biosphäre) auswirken kann.

Die Verdünnungsfaktoren im Grubengebäude sind bei einer Stilllegung gemäß dem Konzept Vollverfüllung laut Gutachten AF-Colenco AG et al. (2009) voraussichtlich kleiner als im Bezugskonzept.

## **Ergebnisse der Simulation**

Das Gutachten AF-Colenco AG et al. (2009) gibt für den Lösungspfad eine potenzielle Strahlenexposition „im Bereich von 0,3 mSv/a“ (AF-Colenco AG et al. 2009) durch Analogieschlüsse mit dem Bezugskonzept an. Damit kann eine Überschreitung der Grenzwerte des §47 der Strahlenschutzverordnung nicht ausgeschlossen werden.



### 1.3.1.2 Zusammenfassendes Bewertungsergebnis

#### Rückholung

Bei einer Rückholung der radioaktiven Abfälle wird die langzeitsichere Einlagerung in einem planfestgestellten Endlager für schwach- und mittelradioaktive Abfälle unterstellt (DMT & TÜV NORD 2009, BfS 2009a). Hierfür steht in der Bundesrepublik Deutschland auf absehbare Zeit vermutlich nur das Endlager Konrad zur Verfügung. Aus diesem Grund wird für die Einschätzung über den Zeitraum und die Höhe der radiologischen Freisetzung bei einer Rückholung der Abfälle und Verbringung in ein anderes Endlager als Referenz das Endlager für radioaktive Abfälle mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung Konrad gewählt.

Für das Endlager Konrad wurden die möglichen radiologischen Auswirkungen in Sicherheitsanalysen abgeschätzt (BfS 1990). Bei einer Einlagerung der rückgeholtten Abfälle im Endlager Konrad muss davon ausgegangen werden, dass das beantragte und in den Berechnungen zugrunde gelegte Abfallvolumen und -inventar hierfür abdeckend ist. Den Sicherheitsanalysen für das Endlager Konrad liegen eine beantragte Gesamtaktivität von ca.  $5,15E18$  Bq zu Beginn der Nachbetriebsphase und ein Gesamtvolumen von ca.  $650.000$  m<sup>3</sup> zugrunde. Die Gesamtaktivität der eingelagerten Abfälle in der Schachanlage Asse II beträgt ca.  $2,90E15$  Bq (01.01.2005) und liegt somit im Promille-Bereich der für das Endlager Konrad zugrunde gelegten Aktivität. Zeitraum und Höhe der Freisetzung würden demzufolge in etwa den in den Sicherheitsanalysen für das Endlager Konrad angegebenen Werten entsprechen. Die Höhe der maximalen Strahlenexposition läge somit deutlich unterhalb von  $0,3$  mSv/a, dem derzeit gültigen Grenzwert der Strahlenexposition für die Bevölkerung nach §47 StrlSchV. Der Beginn der Freisetzung in die Biosphäre ist nach den Ausbreitungsberechnungen in ca.  $300.000$  Jahren zu erwarten. Der Anteil der möglicherweise aus der Schachanlage Asse II in das Endlager Konrad verbrachten Abfälle an dieser rechnerischen Gesamtexposition wäre hierbei nur relativ gering. Dieser Vergleich mit dem Endlager Konrad zeigt, dass eine sichere Verbringung der rückgeholtten Abfälle in ein geeignetes Endlager möglich ist.

#### Umlagerung

Bei einer Umlagerung der Abfälle in tiefer gelegene Einlagerungshorizonte innerhalb des Salzsattels Asse kommen nur Schichtenfolgen in Frage, deren Eignung im Hinblick auf einen vollständigen und dauerhaften Einschluss der Abfälle gezeigt werden kann. Hierfür sind umfangreiche geologische Erkundungen im Vorfeld sowie detaillierte Sicherheitsanalysen für die Nachbetriebsphase erforderlich, die zum gegenwärtigen Zeitpunkt nicht vorliegen. Prinzipiell möglich erscheinen Einlagerungshorizonte im homogen-lithologisch ausgebildeten und strukturell ungestörten Staßfurt-Steinsalz unterhalb  $1.200$  m Teufe.

Bei Unterstellung des Vorhandenseins eines geeigneten einschlusswirksamen Gebirgsbereiches im Wirtsgestein als geologische Barriere stellen anthropogene Durchörterungen (Strecken, Schächte, Bohrungen) die einzige potenzielle Wegsamkeit in die Biosphäre dar. Diese sind durch geotechnische Barrieren hydraulisch wirksam abzudichten. Es ist der Nachweis zu erbringen, dass die Barriersysteme den langzeitsicheren Einschluss der radioaktiven Abfälle gewährleisten (nach Endlagersicherheitsrichtlinien für  $1$  Mio. Jahre). Zeitraum und Höhe einer dennoch auftretenden potenziellen Strahlenexposition kann erst nach Vorliegen der geologischen Erkundung und von durch Modellrechnungen unterlegten Sicherheitsanalysen abgeschätzt werden.

#### Vollverfüllung

Die Bewertung der Langzeitsicherheit für die Option Vollverfüllung kann sich derzeit ebenfalls nicht auf Berechnungen abstützen, sondern lediglich auf einem umfangreichen Systemverständnis und qualitativen Vergleichen mit einem System, für das umfangreiche Modellrechnungen durchgeführt wurden (HMGU (2008) als Bezugskonzept). Die für den Lösungspfad abgeschätzte potenzielle Strahlenexposition für das

Bezugskonzept liegt im Bereich von 0,3 mSV/a bei einem Beginn der Freisetzung nach einigen 100 Jahren und einem Maximum der Exposition nach ca. 2.100 Jahren (Colenco AG & GRS 2006).

Das Stilllegungskonzept Vollverfüllung weicht in quantitativer Hinsicht bezüglich der Langzeitauswirkungen hinsichtlich Ausbreitung und eventueller Freisetzung von Radionukliden vielfach in günstiger, teilweise aber auch in nachteiliger Weise vom Bezugskonzept ab. Wie für das Bezugskonzept kann deshalb für die Option Vollverfüllung die Einhaltung des Wertes nach § 47 StrlSchV nicht zuverlässig vorhergesagt werden.

## 1.3.2 Chemotoxische Auswirkungen

Die chemotoxischen Auswirkungen werden durch die Löslichkeit und den Transport des Inventars an Stoffen verursacht, die nicht zum radioaktiven Inventar gehören. Sie können analog zu den radiologischen Stoffen beim Kontakt mit der Lösung mobilisiert und in der Grube transportiert werden. Beim Übertritt in das Deckgebirge bzw. oberflächennahe Grundwasser können sie eine Gefährdung des Grundwassers verursachen. Hierbei handelt es sich hauptsächlich um Begleitstoffe der radioaktiven Abfälle. Die resultierende Konzentration der Elemente im Grundwasser ist abhängig von der elementspezifischen Löslichkeit, den chemischen und physikalischen Eigenschaften des Lösungsmediums sowie den Verdünnungsfaktoren in der Grube und im Deckgebirge. Im Gegensatz zu den radioaktiven Stoffen ist zu beachten, dass sich die Konzentration und Toxizität der chemotoxischen Elemente mit zunehmender Zeit nicht verringern werden.

In den Machbarkeitsstudien hatte die Bewertung des chemotoxischen Inventars nur eine untergeordnete Bedeutung. So wurde es in den Studien zur Rückholung und zur Umlagerung der Abfälle nicht betrachtet. Im Konzept der Vollverfüllung wurde das Schließungskonzept des HMGU (Bezugskonzept HMGU (2008) zum Vergleich herangezogen.

Grundlage der folgenden Betrachtungen bildet das Inventar an chemischen und chemotoxischen Stoffen in den eingelagerten Abfällen, das kammer-spezifisch ermittelt wurde. Die Stoffe, die durch das Verfüllmaterial oder im Rahmen der Schließung der Schachanlage Asse II eingebracht wurden bzw. werden sollten (GSF 2006a,b), wurden ebenfalls abgeschätzt. Die Bewertung des Inventars erfolgte für alle wasserrechtlich relevanten Stoffe mit einem Sicherheitsaufschlag von + 50 %. Für die folgenden Betrachtungen wird das Inventar, das durch den Versatz von der Halde Ronnenberg in die Südflanke eingebracht wurde, nicht berücksichtigt, da dieses Material ebenso aus dem Steinsalz-Abbau stammt und daher den geogenen Verhältnissen sehr nahe kommt. Die in der Grube enthaltenen betrieblichen Abfälle wurden nicht für den Optionenvergleich herangezogen, da sie für alle drei Optionen an Ort und Stelle verbleiben.

Im Bezugskonzept waren von den wasserrechtlich relevanten Elementen Mg, Cl und K diejenigen, die im oberflächennahen Grundwasser die geltenden Prüf- bzw. Grenzwerte zu mehr als 10 % ausschöpften (Mg: 83 %, Cl: 48 %, K: 20 %). Da bei keiner der drei Optionen eine vollständige Flutung der Grube mit einer technischen  $MgCl_2$ -Lösung vorgesehen ist, werden diese Elemente eine wesentlich geringere Konzentration im Deckgebirge erreichen. Sie sind deshalb aus wasserrechtlicher Sicht unbedenklich. Die Elemente/Ionen mit der nächst niedrigeren Konzentration sind Li, Rb und  $SO_4$ , die zwischen 5 und 7 % des Grenz-/Prüfwertes aufweisen und somit die Grenzwerte mindestens um den Faktor 15 unterschreiten.

Die Bewertung der "Chemotoxischen Auswirkungen in der Nachbetriebsphase" erfolgt anhand der nachfolgenden Größen:

- Vorhandene Barrieren oder einschlusswirksamer Gebirgsbereich,
- Gasbildung,
- Nuklidmobilisierung
- Rückhaltung
- Auspressraten
- Verdünnung.

### 1.3.2.1 Rückholung

Bei einer vollständigen Rückholung der Abfälle und somit auch des chemotoxischen Inventars sind die Bedingungen des Zielendlagers maßgebend.

Eine erste Abschätzung der sicherheitstechnisch einlagerbaren Massen hat gezeigt, dass vermutlich weit größere Massen als die genehmigten Inventare an wasserrechtlich relevanten Stoffen aus Sicht der Langzeitsicherheit in das Referenzendlager eingebracht werden könnten (BfS 2009c). Hierfür bedarf es jedoch einer geänderten wasserrechtlichen Genehmigung.

### **1.3.2.2 Umlagerung**

#### **Vorhandene Barrieren oder einschlusswirksamer Gebirgsbereich**

Die Umlagerung der Abfälle in einen neuen Einlagerungsbereich setzt voraus, dass eine 200 m mächtige geologische Barriere aus Steinsalz in den tiefen Schichten des Asse-Sattels ansteht (siehe auch Kap. 1.3.1).

Der neu aufzufahrende Einlagerungsbereich hätte einen vergleichsweise kleinen Kontaktbereich zum übrigen Grubengebäude, da der Einlagerungsbereich nur über wenige betriebliche Auffahrungen mit dem übrigen Grubengebäude verbunden ist. Diese lassen sich mit Hilfe von geotechnischen Verschlussbauwerken nach dem Stand von Wissenschaft und Technik langzeitsicher verschließen. Insgesamt wird von einer trockenen Verwahrung der Abfälle ausgegangen. Aus diesem Grund findet ein langzeitsicherer Verschluss des chemotoxischen Inventars statt.

#### **Gasbildung**

Trotz der trockenen Verwahrung der Abfälle ist durch die Eigenfeuchte eine geringe Gasbildung anzunehmen. Neben dem volumenmäßig dominierenden Wasserstoff können dabei durch den Abbau organischer Stoffe auch Kohlendioxid und verschiedene Kohlenwasserstoffe gebildet werden. Im Vergleich zum insgesamt gebildeten Gas nehmen diese jedoch ein sehr geringes Volumen ein. Wie im Kapitel 1.3.1 beschrieben, sind gasdichte geologische und geotechnische Barrieren vorauszusetzen.

#### **Mobilisierung**

Die trockene Verwahrung der Abfälle schließt eine Mobilisierung chemotoxischer Stoffe durch den Kontakt und Transport mit Wasser aus.

#### **Rückhaltung**

Durch die angestrebte Isolation der Abfallgebände ist die Rückhaltung durch die geotechnischen Barrieren und das unverritzte Salzgestein gegeben.

#### **Auspressraten**

Durch die vollständige Einkapselung der Abfälle kommt es zu keiner Auspressung kontaminierter Lösungen.

#### **Verdünnung**

Bei der Umlagerung wird unterstellt, dass der neu aufgefahrene Einlagerungsbereich dauerhaft gegen eindringende Fluide abgekapselt werden kann.

### 1.3.2.3 Bei Vollverfüllung:

#### Vorhandene Barrieren oder einschlusswirksamer Gebirgsbereich

Eine Beschreibung der Barrieren und des Gebirgsbereiches der Schachtanlage Asse II findet sich in Kapitel 1.3.1.

#### Gasbildung

Auch in hypersalinen Lösungen wie der technischen  $MgCl_2$ -Lösung kann der Abbau der in den Abfällen enthaltenen organischen Stoffe nicht ausgeschlossen werden. Neben Kohlendioxid können dabei auch Kohlenwasserstoffe entstehen.

Wie in Kapitel 1.3.1 ausgeführt, wurde im Rahmen des für das Bezugskonzept geführten Langzeitsicherheitsnachweises die Gasbildung abgeschätzt. Hier wurde gezeigt, dass die Gase, die neben Wasserstoff und Kohlendioxid entstehen, ein vernachlässigbares Volumen einnehmen. Es kann angenommen werden, dass sich diese Bedingungen auch bei einer Vollverfüllung einstellen.

#### Mobilisierung

Das Konzept der Vollverfüllung und Einbringung einer technischen  $MgCl_2$ -Lösung hat zur Folge, dass die eingelagerten Abfälle in Kontakt mit einem Lösungs- und Transportmedium kommen.

Die Löslichkeit eines Stoffes ist spezifisch und wird vom geochemischen Milieu beeinflusst. So führen saure pH-Bedingungen zu einer deutlich erhöhten Löslichkeit relevanter Schadstoffe, während schwach-alkalische pH-Werte zu einer Erniedrigung führen. Die Stabilisierung des geochemischen Milieus im schwach-alkalischen Bereich soll durch die Einbringung eines Brucit-haltigen Verfüllstoffes erfolgen, um die Löslichkeit der Radionuklide sowie der chemotoxischen Stoffe zu reduzieren. Die Anwesenheit von Zement, z. B. aus den VBAs, führt ebenfalls zu einer Erhöhung des pH-Wertes und somit zu einer Erniedrigung der Löslichkeit. Bei Erreichen einer Löslichkeitsgrenze stellt sich ein Gleichgewicht zwischen den Lösungsinhaltsstoffen und dem Festphasenbestand ein. Dieses Gleichgewicht kann v. a. durch Lösungsaustausch gestört werden. Aus diesem Grund ist ein quasi geschlossenes System mit einer geringen Austauschrate für die Einlagerungsbereiche vorteilhaft. Dies soll durch den Bau von Sorelbetonbarrieren erreicht werden. Über den langsamen Austausch der Lösungen in den Einlagerungsbereichen wird über längere Zeiträume hinweg das gesamte Einlagerungsinventar gelöst. Für das Bezugskonzept wurde ermittelt, dass dabei die mittlere Aufenthaltsdauer der mit den Abfallinventar in Kontakt stehenden Lösungen je nach Einlagerungskammer von mehreren 100 Jahren nach 1.000 Jahren auf teilweise über 40.000 Jahren nach 100.000 Jahren ansteigt (FZK-INE 2006). Generell ist ein möglichst geringes Lösungsvolumen in den Einlagerungsbereichen anzustreben, z. B. durch eine Verfüllung der verbliebenen Resthohlräume.

#### Rückhaltung

Die Sorption der mobilisierten Schadstoffe an Feststoffen führt zu einer Rückhaltung. Als Sorptionsmatrix stehen Zement und Verfüllstoffe zur Verfügung. Zement ist aufgrund der Konditionierung der Abfälle sowie durch die VBAs vorhanden. Die Verfüllung der verbliebenen Resthohlräume mit geeigneten Verfüllstoffen schafft weitere Sorptionsmöglichkeiten. Da die Sorption der Stoffe bisher nicht experimentell belegt wurde, wurde sie im Bezugskonzept nicht berücksichtigt.

## **Auspressraten**

Durch das langsame Volllaufen reduziert sich im Vergleich zum Bezugskonzept die Auspressrate (Erläuterung s. Kapitel 1.3.1). Sie beträgt nach dem Einsetzen des Lösungsaustritts mehrere 100 m<sup>3</sup>/a und verringert sich nach kurzer Zeit, um nach 10.000 Jahren bei ca. 10 m<sup>3</sup>/a zu liegen. Dadurch treten pro Zeiteinheit geringere Schadstoffmengen ins Deckgebirge über.

## **Verdünnung**

Es gelten die in Kapitel 1.3.1 beschriebenen Verdünnungsfaktoren. Diese betragen für das Bezugskonzept im Deckgebirge mindestens 3.000, für maßgebliche Ausbreitungspfade minimal 7.300. Der Verdünnungsfaktor in der Grube wird voraussichtlich geringer als im Bezugskonzept sein.

### **1.3.2.4 Zusammenfassende Bewertung**

#### **Rückholung**

Die Option Rückholung hat zur Folge, dass die Abfälle in ein planfestgestelltes Endlager eingelagert werden. Als Referenz wird hierfür das Endlager Konrad zugrunde gelegt.

Eine erste Abschätzung der sicherheitstechnisch einlagerbaren Massen hat gezeigt, dass vermutlich weit größere Massen als die genehmigten Inventare an wasserrechtlich relevanten Stoffen aus Sicht der Langzeitsicherheit in das Referenzendlager eingebracht werden könnten (BfS 2009c). Hierfür bedarf es jedoch einer geänderten wasserrechtlichen Genehmigung.

#### **Umlagerung**

Die Umlagerung der Abfälle in einen neuen Einlagerungsbereich setzt das Vorhandensein eines geeigneten Wirtsgesteins voraus. Das Inventar wäre durch wirksame geotechnische und geologische Barrieren von der Biosphäre abgeschlossen. Somit ist kein Kontakt mit einem Lösungsmedium zu unterstellen. Dies verhindert die Mobilisierung der somit Freisetzung der Schadstoffe in das Grundwasser. Ob im Salzstock Asse ein diesen Anforderungen genügendes Wirtsgestein vorhanden wäre, kann derzeit nicht beurteilt werden.

#### **Vollverfüllung**

Bei der Vollverfüllung erfolgt der Kontakt des Inventars mit einer Lösung, sodass die Schadstoffe in Abhängigkeit der Löslichkeitsgrenzen mobilisiert werden. Es erfolgt eine teilweise Rückhaltung durch Sorption und geotechnische Barrieren am Einlagerungsort. Nach der Verdünnung der kontaminierten Lösung im Deckgebirge werden für alle wasserrechtlich relevanten Stoffe die Prüf- bzw. Grenzwerte voraussichtlich eingehalten.

Für die Betrachtung der Option Vollverfüllung wurde zum Vergleich das Bezugskonzept herangezogen (HMGU 2008). Die Elemente mit einer Ausschöpfung des Prüf-/Grenzwertes von mehr als 10 % waren Mg, Cl und K. Da bei der Vollverfüllung die Einbringung einer technischen MgCl<sub>2</sub>-Lösung nur bis zur 700-m-Sohle vorgesehen ist, sind geringere Konzentrationen dieser Elemente im Grundwasser zu erwarten.

### 1.3.3 Konsequenzen menschlichen Eindringens in das Endlager

Für die Bewertung des Szenarios bzw. der möglichen Folgen durch ein unbeabsichtigtes menschliches Eindringen ist die räumliche Verteilung der Abfälle innerhalb der Schachtanlage und die dort vorhandenen abbaubaren Wertminerale (Abbauwürdigkeit) zu betrachten.

Es ist eine Wahrscheinlichkeitseinschätzung (keine numerische Größe) zu treffen, die die Gefahr möglicher unbeabsichtigter menschlicher Einwirkungen bewertet.

Aussagen zu diesem Kriterium finden sich in keiner der Machbarkeitsstudien. Um dennoch Konsequenzen im Rahmen der Langzeitsicherheitsabschätzungen darstellen zu können, müssen hierfür international übliche Szenarienbetrachtungen zu Grunde gelegt werden. Solche Szenarienanalysen werden auch in laufenden Planfeststellungsverfahren angestellt.

#### 1.3.3.1 Szenarien aufgrund menschlicher Einwirkungen

Neuauffahrungen in Schachtanlagen in der Umgebung des Endlagers sowie Erkundungs- und Gewinnungsbohrungen müssen behördlich zugelassen werden. Solange die Kenntnis über die Existenz des Endlagers vorhanden ist, werden sie nur dann zugelassen, wenn sie die Sicherheit des stillgelegten Endlagers nicht beeinträchtigen.

Die Bewertung der „Konsequenzen menschlichen Eindringens“ erfolgt anhand der nachfolgenden Größen:

- Räumliche Verteilung der Abfälle,
- Vorhandene abbaubare Wertminerale (Abbauwürdigkeit).

Das Wissen über zivilisatorische Tätigkeiten geht jedoch verloren. In der Fachwelt besteht die Auffassung, dass das Wissen über Endlager mindestens 500 Jahre erhalten bleiben kann. Für den Zeitraum danach kann nicht ausgeschlossen werden, dass im Bereich des Endlagers bergmännische Tätigkeiten aufgenommen werden. Denkbare Szenarien eines zukünftigen unbeabsichtigten Eindringens in das Endlager sind mit

- dem Eindringen mittels einer Bohrung in einen Einlagerungsbereich,
- dem Solen einer Kaverne und
- der Errichtung eines neuen Bergwerkes

verbunden.

Hierbei wird unterstellt, dass die heutigen Techniken auch zukünftig den Stand von Wissenschaft und Technik darstellen.

Die Asse als westliches Ende des Asse-Heeseberg-Höhenzuges ist aufgrund der Ausbildung als Schmalsattel morphologisch so aufgebaut und gelegen, dass die Errichtung einer Speicher- oder Solkaverne ausgeschlossen werden kann. Für die Errichtung eines neuen Bergwerkes müssten vorher Erkundungsbohrungen abgeteuft werden, welche in das ehemalige Bergwerk eindringen könnten und damit als Explorationsergebnis eine abgebaute, wenig ergiebige Lagerstätte bzw. das aufgefahrene Grubengebäude anzeigen würden. Dieses mögliche Explorationsergebnis und die große Anzahl geeigneter Salzlagerstätten in der norddeutschen Tiefebene lassen für den Höhenzug der Asse die Errichtung eines neuen Bergwerkes als sehr unwahrscheinlich erscheinen.

Die oberflächennahe geothermische Nutzung des Untergrundes ist nur bis zu einer Tiefe von 99 m ohne bergrechtliche Zulassung möglich. Bis zu dieser Tiefe ist eine Beeinträchtigung für die Schachtanlage auszuschließen. Für eine geothermische Nutzung des tiefen Untergrundes gilt auch das Szenario eines Eindringens mittels einer Bohrung in den Einlagerungsbereich.

Nicht vollständig auszuschließen ist das Eindringen mittels einer Erkundungsbohrung in einen Einlagerungsbereich. Je geringer die räumliche Verteilung der Einlagerungsbereiche ist und je tiefer die Einlagerungsbereiche aufgefahren sind, desto geringer ist auch die Wahrscheinlichkeit des Eindringens.

Das Abteufen einer Erkundungsbohrung ist z. B. zur Erkundung der Salzvorräte oder bei der Suche nach Erdöl, Erdgas oder weiteren Rohstoffen denkbar, dabei ist nicht auszuschließen, dass mit einer Erkundungsbohrung eine der Einlagerungskammern getroffen wird. Die Bohrung würde spätestens ab einer Bohrtiefe von 100 m mit Spülung gebohrt, wobei der hydrostatische Druck der Bohrspülung immer über dem lokalen hydrostatischen Druck in der entsprechenden Bohrtiefe liegt. Wenn die Bohrung auf eine Einlagerungskammer trifft, macht sich dies durch Änderungen des Bohrdruckes und durch Spülungsverluste bemerkbar. Für den Fall, dass der Ursache für den Spülungsverlust nachgegangen wird, würde das Endlager entdeckt, die Bohrung aufgegeben und verfüllt. Im anderen Fall würde die Bohrung mit Hilfe technischer Maßnahmen bis zum Ziel fortgeführt werden. Da aufgrund der fehlenden Ressourcen über die Erkundung hinaus mit keiner Nutzung der Bohrung zu rechnen ist, würde diese letztendlich aufgegeben und verfüllt. Die verwendete Bohrspülung und das geförderte Bohrklein werden aufgrund des hohen Salzgehaltes auf einer Deponie oder Salzhalde entsorgt. In den Materialien enthaltene Radionuklide würden mit dem Regenwasser stark verdünnt in das Grundwasser gelangen. Die daraus resultierende Freisetzung ist vernachlässigbar. Der Zufluss von Lösung durch die verfüllte Erkundungsbohrung wird durch die Permeabilität der Verfüllung begrenzt.

Je weiter das in diesem Szenario beschriebene Ereignis „Erkundungsbohrung“ in der Zukunft liegt, desto geringer sind die radiologischen Auswirkungen (radioaktiver Zerfall).

Eine zusätzliche Markierung der Einlagerungskammern ist auf Grund der beim Abteufen einer Bohrung auftretenden Ereignisse, wie der plötzlichen Änderung des Bohrdruckes und die Spülungsverluste nicht erforderlich.

### **1.3.3.2 Rückholung**

#### **Räumliche Verteilung der Abfälle**

Hier ist die räumliche Verteilung der Abfälle und damit die Eintrittswahrscheinlichkeit eines unbeabsichtigten menschlichen Eindringens von der Menge des rückzuholenden Inventars abhängig. Bei der Betrachtung des Szenarios „Erkundungsbohrung“ wird die Rückholung aller Abfälle (100 % des Inventars) unterstellt.

Damit ist sowohl die Eintrittswahrscheinlichkeit dieses Ereignisses als auch die Wahrscheinlichkeit radiologischer Auswirkungen am Standort der Schachtanlage Asse II sehr gering, da ggf. nur noch Restkontaminationen vorhanden sind (z. B. Tiefenaufschluss). Allerdings ergeben sich in Folge der Rückholung und anschließender Endlagerung der Abfälle weitere Auswirkungen an einem anderen Standort. An diesem Standort ergeben sich durch die hinzukommende Menge ebenfalls Änderungen an der räumlichen Verteilung der Abfälle. Dort erhöht sich damit, wenn auch geringfügig, die Eintrittswahrscheinlichkeit.



## **Vorhandene abbaubare Wertminerale (Abbauwürdigkeit)**

Bei Rückholung der Abfälle spielt das Vorhandensein bzw. die Abbauwürdigkeit von Wertmineralen am Standort der Schachanlage Asse II keine Rolle. Stattdessen müsste die Abbauwürdigkeit vorhandener Wertminerale im Bereich des annahmehereiten Endlagers diskutiert werden. Im Falle des Referenzendlagers Konrad wären dies z. B. die Eisenerze. Hier wurde die Gewinnung der Erze aus Gründen der Wirtschaftlichkeit bereits 1976 eingestellt.

### **1.3.3.3 Umlagerung**

#### **Räumliche Verteilung der Abfälle**

Das Umlagerungskonzept (ERCOSPLAN & TÜV NORD 2009) sieht - vorbehaltlich einer vorhergehenden geologischen Erkundung - vor, dass alle oder Teile der Abfälle in neu aufzufahrende Hohlräume im Kernbereich des Salzsattels in 1.200 m Tiefe verbracht werden. Dafür sollen für das LAW - Inventar Kammern auf der 1.200-m-Sohle und für das MAW - Inventar eine Kaverne unterhalb der 1.200-m-Sohle aufgeföhren werden. Für das Szenario „Erkundungsbohrung“ wird die in der Variante III beschriebene Umlagerung des gesamten Inventars unterstellt, also die Rückholung aller Gebinde aus den Einlagerungskammern.

Bei einer Umlagerung aller Abfälle ist die Eintrittswahrscheinlichkeit des Ereignisses „Erkundungsbohrung“, gegeben durch die Tiefenlage des Einlagerungshorizontes, daher als gering zu bewerten.

## **Vorhandene abbaubare Wertminerale (Abbauwürdigkeit)**

Wie eingangs beschrieben, bestehen die abbaubaren Wertminerale im Asse - Salzsattel aus Stein- und Kalisalz. Die bei der Umlagerung neu aufzuföhrenden Einlagerungshohlräume sollen im unteren Bereich des Sattelkerns aufgeföhren werden. Dort, so wird derzeit angenommen, findet sich im Bereich des Staßfurt-Steinsalz in 1.200 m Tiefe ein entsprechend geeigneter homogen ausgebildeter Horizont. Auf Grund der kleinen Ausbildung des Asse-Sattels als Lagerstätte und der Tiefenlage des neuen Einlagerungsbereiches ist hier auch in Zukunft nicht von einer wirtschaftlichen Gewinnung von Steinsalz auszugehen.

### **1.3.3.4 Vollverfüllung**

#### **Räumliche Verteilung der Abfälle**

Die Einlagerungskammern finden sich im Grubengebäude über mehrere Sohlen (511-m-Sohle, 725-m-Sohle und 750-m-Sohle) auf einer Grundfläche von ca. 300 m x ca. 800 m verteilt. Sollten innerhalb dieser Fläche „Erkundungsbohrungen“ niedergebracht werden, so minimiert die räumliche Verteilung der Einlagerungshohlräume auf einer Gesamtfläche von ca. 240.000 m<sup>2</sup> das im Szenario „Erkundungsbohrung“ beschriebene Risiko. Hierbei wirkt sich allerdings die Tiefenlage der radioaktiven Abfälle negativ auf eine Eintrittswahrscheinlichkeit aus, da bereits kürzere Bohrungen die Abfälle erreichen könnten.

## Vorhandene abbaubare Wertminerale (Abbauwürdigkeit)

Für alle Stilllegungsoptionen und insbesondere für die Option der Vollverfüllung ist festzuhalten, dass die abbaubaren Wertminerale im Asse - Salzsattel aus Steinsalz und Kalisalz bestehen. Diese Wertminerale wurden bereits in der Vergangenheit abgebaut. Ein Abbau der Rohstoffe ist in der Schachtanlage Asse II seit 1964 nicht mehr wirtschaftlich. Die Lagerstätte ist zudem im Vergleich mit anderen Salzlagerstätten in der norddeutschen Tiefebene eher von geringer Größe.

### 1.3.3.5 Fazit

Die in einer Szenarienbetrachtung vorgestellten Möglichkeiten und Gründe eines menschlichen Eindringens in das Endlager wurden hinsichtlich ihrer Eintrittswahrscheinlichkeit diskutiert. Als nicht gänzlich auszuschließendes Ereignis, beim zu unterstellenden Verlust der Kenntnis über den Standort, verblieb bei allen Optionen das Szenario „Erkundungsbohrung“. Hierbei ist die Tiefenlage der eingelagerten Abfälle ein Unterscheidungsmerkmal.

Unsicherheiten bei der Einschätzung einer Eintrittswahrscheinlichkeit ergeben sich durch den Ausschluss der Szenarien „Kaverne“ und „Bergwerk“, sowie durch den unterstellten Verlust der Kenntnis über den Standort und dem damit verbundenen Restrisiko des menschlichen Eindringens durch eine Erkundungsbohrung. Diese Unsicherheiten betreffen alle Optionen im gleichen Maße.

Die nachfolgende Tab. 1.3-1 zeigt die vorgenommene Bewertung der Beurteilungsgrößen zum Kriterium.

Tab. 1.3-1: Darstellung der Optionen und Ergebnisse der Bewertungen zum Kriterium „Konsequenzen menschlichen Eindringens in das Endlager“.

<b>Kriterium: Konsequenzen menschlichen Eindringens in das Endlager</b>	
<b>Option</b>	<b>Wahrscheinlichkeitseinschätzung zur Gefahr möglicher menschlicher Einwirkungen</b>
<b>Rückholung</b>	Durch die Verbringung des gesamten Inventars in ein annahmefähiges Endlager andernorts ergibt sich bei der Rückholung keine Gefahr durch menschliche Einwirkungen in der Nachbetriebsphase am Standort der Schachtanlage Asse II.
<b>Umlagerung</b>	Auch bei der Umlagerung ist die Wahrscheinlichkeit einer Gefahr durch menschliche Einwirkungen, gegeben durch die Konzentration des gesamten Inventars auf kleiner Grundfläche in großer Tiefe, aber sehr gering. Durch die im Vergleich eher kleine Lagerstätte und durch die Tiefenlage ist hier auch in Zukunft nicht von einer wirtschaftlichen Gewinnung von Steinsalz auszugehen.
<b>Vollverfüllung</b>	Bei der Vollverfüllung ist die als Restrisiko zu tragende Wahrscheinlichkeit hinsichtlich der Konsequenzen menschlichen Eindringens durch die geringere Tiefe und die Verteilung des Inventars auf einer größeren Fläche ebenfalls als gering zu bezeichnen. Die Wertminerale, also Kali- und Steinsalz wurden im Bereich der Schachtanlage Asse II, soweit abbaubar, bereits gewonnen.

### **1.3.4 Robustheit der Stilllegungsoption**

Um Aussagen zur Robustheit treffen zu können, ist die Stilllegungsoption hinsichtlich der Anzahl notwendiger Komponenten (Einfachheit), der Anzahl der passiven und / oder aktiven Sicherheitssysteme, der Anzahl vorhandener redundant / diversitär wirkenden Komponenten und die Reaktion des Gesamtsystems auf veränderte Randbedingungen hin zu bewerten.

Robust ist ein System, wenn keine oder nur wenige Szenarien denkbar sind, durch die es langfristig zu einer Funktionsbeeinträchtigung kommen kann.

Zur Bewertung der Robustheit werden die Betrachtung der Gesamtheit der vorhandenen Sicherheitssysteme herangezogen und die vorhandenen Sicherheitsreserven gewürdigt. Eine Vielzahl von notwendigen technischen Komponenten (soweit nicht durch Redundanz und Diversität begründet) wird als weniger robust beurteilt.

Die Bewertung der „Robustheit der Stilllegungsoption“ erfolgt anhand der nachfolgenden Größen:

- Anzahl der notwendigen Komponenten (Einfachheit),
- Anzahl der passiven oder aktiven Sicherheitssysteme,
- Anzahl der redundanten / diversitären Komponenten,
- Reaktion auf veränderte Randbedingungen

#### **1.3.4.1 Rückholung**

##### **Anzahl der notwendigen Komponenten (Einfachheit)**

Die Anzahl der notwendigen und langzeitsicherheitsrelevanten Komponenten für diese Stilllegungsoption kann bei einer unterstellten Rückholung aller Abfälle (LAW + MAW) nicht auf die Schachanlage Asse II bezogen werden. Entscheidend für die Frage der Robustheit sind daher die langzeitsicherheitsrelevanten Komponenten des Zielendlagers. Genehmigungsrechtliche Voraussetzung für das Zielendlager ist, dass die für die Langzeitsicherheit notwendigen Komponenten gegeben sind, da die Schutzziele mit einem hohen Vertrauensgrad eingehalten werden müssen.

Restkontaminationen werden auch bei der Option Rückholung in der Schachanlage Asse II verbleiben. Da diese nur in einer sehr geringen Konzentration auftreten können, sind für die Langzeitsicherheit die nach Bergrecht notwendigen Verwahrungsmaßnahmen ausreichend. Diese stellen die langzeitsicherheitsrelevanten Komponenten (Flutung, Schachtverschlussystem) bereit.

Im Rahmen der Rückholung sind die für den notwendigen langzeitsicheren Verschluss vorzusehenden Komponenten als einfach zu bezeichnen.

##### **Anzahl der passiven und/oder aktiven Sicherheitssysteme**

Bei der Rückholung des gesamten Inventars sind bezogen auf die Langzeitsicherheit in der Nachbetriebsphase am Standort der Schachanlage Asse II keine besonderen (radiologischen) Sicherheitssysteme notwendig. Daher wurden diese auch nicht in der Machbarkeitsstudie zur Rückholung betrachtet.

## **Anzahl der redundanten / diversitären Komponenten**

Bei der Rückholung des gesamten Inventars sind bezogen auf die hier in Rede stehende Langzeitsicherheit in der Nachbetriebsphase am Standort der Schachanlage Asse II keine redundant wirkenden oder diversitär aufgebauten Komponenten notwendig. Daher wurden diese auch nicht in der Machbarkeitsstudie zur Rückholung betrachtet.

## **Reaktion auf veränderte Randbedingungen (Sicherheitsreserven)**

Bei der Rückholung des gesamten Inventars sind bezogen auf die hier in Rede stehende Langzeitsicherheit in der Nachbetriebsphase keine Sicherheitsreserven am Standort als Reaktion auf veränderte Randbedingungen notwendig. Daher wurden diese auch nicht in der Machbarkeitsstudie zur Rückholung betrachtet.

### **1.3.4.2 Umlagerung**

#### **Anzahl der notwendigen Komponenten (Einfachheit)**

Zur Gewährleistung der Langzeitsicherheit bei der Umlagerung ist die Schaffung neuer Einlagerungskammern in einem einschlusswirksamen und möglichst homogen aufgebauten Gebirgsbereich im Kern des Salzsattels notwendig. Vor Auffahrung eines „neuen“ Grubengebäudes, das über Blindschächte mit dem bestehenden Grubengebäude verbunden wird, ist eine geologische (Vor-) Erkundung der natürlichen Barriere unabdingbar.

Ausgehend von den in der Machbarkeitsstudie (ERCOSPLAN & TÜV NORD 2009) gezeigten Möglichkeiten wird zur Bewertung der Robustheit der Stilllegungsoption folgende Variante zu Grunde gelegt:

- Errichtung von 12 Einlagerungskammern für die LAW auf der 1.200-m-Sohle,
- Errichtung einer Kaverne für die MAW unter einem Blindschacht und
- Anbindung des neuen Einlagerungshorizontes an die Schachanlage Asse II durch das Abteufen zweier Blindschächte.

Die hier kurz dargestellte Subvariante III.4 ist für die Errichtung von Verschlussbauwerken zwischen dem „alten“ und „neuen“ Grubengebäude hinsichtlich der Langzeitsicherheit die günstigste Variante, da sich deren Anforderungen an diese Bauwerke in den Schächten wesentlich leichter und besser realisieren lassen.

Nach Auffahrung und Umlagerung des Inventars werden die Verbindungen zwischen dem „alten“ und dem „neuen“ Grubengebäude langzeitsicher und langzeitbeständig verschlossen (Blindschächte). Des Weiteren sieht das Konzept vor, dass die Anschlüsse der „neu“ zu schaffenden Einlagerungshohlräume ebenso langzeitsicher und langzeitbeständig verschlossen werden (Kammerhälse und Zugangsstrecken). Notwendige Komponenten sind die Verschlussysteme in den Blindschächten und die Abdichtungsbauwerke in den Kammerhälsen und Zugangsstrecken.

## **Anzahl der passiven und/oder aktiven Sicherheitssysteme**

Neben dem langzeitsicheren Verschluss der neu aufgefahrenen Einlagerungskammern und des „neuen“ Grubengebäudes durch entsprechende redundant und diversitär ausgelegte Verschlussbauwerke in den Strecken und Schächten stellt das (weitgehend ungestörte und homogen ausgebildete) Steinsalz im Sattelkern als geologische Barriere ein weiteres natürliches Sicherheitssystem dar. Im Wesentlichen wird die Umlagerung durch drei Sicherheitssysteme bestimmt:

- Errichtung von Abdichtungsbauwerken von den Einlagerungshohlräumen zum neu aufgefahrenen Grubengebäude unter spezifizierten geochemischen Randbedingungen,
- Errichtung von Abdichtungsbauwerken vom „neuen“ zum „alten“ Grubengebäude und
- Intakte geologische Barriere auf Grund des umgebenden unverritzten Steinsalzes, durch deren Mächtigkeit (d. h. dem Abstand zwischen „altem“ und „neuem“ Grubengebäude) die Langzeitsicherheit gewährleistet wird.

## **Anzahl der redundanten / diversitären Komponenten**

Die neu zu schaffenden technischen Barrieren (Kammer- und Schachtverschlüsse) sind vom Konstruktionsprinzip her redundant und diversitär ausgelegt, dies gilt sowohl für die Abdichtungsbauwerke zwischen dem „neuen“ Grubengebäude und den Einlagerungskammern als auch für die Abdichtungsbauwerke zwischen dem „alten“ und dem „neuen“ Grubengebäude.

## **Reaktion auf veränderte Randbedingungen (Sicherheitsreserven)**

Die Umlagerung aller Abfälle in tiefere Bereiche des Salzsattels bietet eine prognostizierbare Systementwicklung durch klare geologische und geochemische Randbedingungen. Es ist ein robustes Systemverhalten zu erwarten.

Durch einen einschlusswirksamen Gebirgsbereich und durch die Abdichtung des aufgefahrenen Einlagerungsbereiches ergeben sich Sicherheitsreserven. Diese bestehen in der redundanten Auslegung der Abdichtungsbauwerke zu den jeweiligen Einlagerungskammern, in den Schachtverschlusssystemen zum „alten“ Grubengebäude (Blindschachtverschlüsse) und der Mächtigkeit des unverritzten Salzgesteins.

### **1.3.4.3 Vollverfüllung**

#### **Anzahl der notwendigen Komponenten (Einfachheit)**

Die Stilllegung der Schachanlage Asse II gemäß dem Konzept Vollverfüllung (AF-Colenco AG et al. 2009) umfasst die folgenden Maßnahmen:

- Errichtung von Sorelbarrieren
  - an ausgewählten Orten um die Einlagerungskammern
  - vor aufgeschlossenem Carnallit oberhalb 700 m Teufe
  - im Bereich von potenziellen vertikalen Wegsamkeiten (Tagesschächten, Blindschächten, Rolllöchern) und an einigen weiteren Orten
- Einbringen von Brucit-Mörtel in die Einlagerungskammern auf der 750-m- und der 725-m-Sohle
- Verfüllen von Abbau 8a/511 (MAW-Kammer) und ausgewählten Grubenbauen darüber mit Sorelbarrieren

- Verfüllen von ausgewählten Grubenbauen mit Schotter
- Verfüllen der verbleibenden Hohlräume mit Sorelbeton
- Einbringen einer Speziallösung (technischer  $MgCl_2$ -Lösung) bis in das Firstniveau der 700-m-Sohle
- Verschluss der Tagesschächte

Die oben dargestellten Komponenten stellen eine hohe Komplexität (keine Einfachheit) dar und sind für das Funktionieren des Konzeptes der Vollverfüllung notwendig. Dabei darf keine der Komponenten ausfallen. Dies hätte ggf. zur Folge, dass die Schutzziele nicht eingehalten werden können.

### **Anzahl der passiven und/oder aktiven Sicherheitssysteme**

Die Sicherungssysteme beim Vollverfüllungskonzept bestehen im Wesentlichen aus passiven Sicherheitssystemen, und zwar aus

- der eingebrachten  $MgCl_2$ -Lösung,
- den verfüllten Resthohlräumen,
- den Sorelbetonbarrieren,
- dem Brucit-Mörtel in den LAW-Einlagerungskammern und
- den Schachtverschlüssen.

Die Anzahl der dargestellten passiven Sicherheitssysteme zeigt eine hohe Komplexität. Sie sind für das Funktionieren des Konzeptes der Vollverfüllung notwendig. Dabei darf keine der Komponenten ausfallen. Dies hätte ggf. zur Folge, dass die Schutzziele nicht eingehalten werden können.

Durch die fehlende Integrität der geologischen Barriere fehlt bei der Vollverfüllung ein wesentliches Sicherheitssystem.

### **Anzahl der redundanten / diversitären Komponenten**

In AF-Colenco AG et al. (2009) erfolgt die Begrenzung bzw. Behinderung der Schadstoffmobilisierung aus den Abfallgebänden durch Einbringen von Brucit-Mörtel in die LAW-Einlagerungskammern einerseits und die Errichtung von Sorelbetonbarrieren und Verfüllung verbleibender Hohlräume mit Sorelbeton andererseits.

Die Behinderung des Schadstofftransports durch Dichteschichtung (Sprungschicht zwischen schwererer  $MgCl_2$ -Lösung und leichter Deckgebirgslösung) wirkt redundant zur Verfüllung verbleibender Hohlräume mit Sorelbeton. Da dies in beiden Fällen aber durch den Mg-Anteil realisiert wird, ist eine Diversität i. e. S. nicht gegeben.

Bei den Schachtverschlusssystemen wird in der Beschreibung und Bewertung der Stilllegungsoption auf die Ausführungen des HMGU - Konzeptes (HMGU 2008, GSF 2007) verwiesen. In diesem sind die Schachtverschlussbauwerke redundant und diversitär ausgelegt.

### **Reaktion auf veränderte Randbedingungen (Sicherheitsreserven)**

Bei im Gegensatz zu heute veränderten Randbedingungen (Änderung der Rate und des Chemismus des Lösungszutritts) ist beim Vollverfüllungskonzept die Systementwicklung relativ schlecht prognostizierbar und das Systemverhalten deshalb unsicher. Im Hinblick auf die Langzeitsicherheit können beim unbeherrschbaren Zutritt einer NaCl-untersättigten Deckgebirgslösung keine Sicherheitsreserven unterstellt werden.

### 1.3.4.4 Einschätzung der Robustheit – Fazit

Da das Konzept der Vollverfüllung vergleichbare Komponenten zum Schließungskonzept des früheren Betreibers aufweist, lassen sich belastbare Aussagen zur Robustheit tätigen. Die Optionen Rückholung und Umlagerung hingegen bleiben in ihren Aussagen zur Robustheit im Vergleich dazu deutlich dahinter zurück.

Restkontaminationen werden bei den Optionen der Rückholung und Umlagerung in dem bisherigen Grubengebäude der Schachanlage Asse II verbleiben. Da diese nur in einem sehr geringen Umfang in der Anlage verbleiben werden, kann von einer Robustheit ohne nähere Betrachtung ausgegangen werden. Eine langfristige Funktionsbeeinträchtigung wird sich aus dem Verbleib nicht ergeben.

In der Tab. 1.3-2 wird die abzuleitende Bewertung dargestellt. Für die Option der Rückholung gilt diese Bewertung nur bezogen auf den Standort Schachanlage Asse II, hier ist als notwendige Komponente ein annahmefähiges Endlager vorauszusetzen. Für ein annahmefähiges Endlager kann unterstellt werden, dass die Beurteilungsgrößen im Rahmen einer Planfeststellung positiv gewertet worden sind.

Tab. 1.3-2: Übersicht der Ergebnisse zu den Bewertungsgrößen bei der jeweiligen Option zum Kriterium Robustheit der Stilllegungsoption.

<b>Kriterium: Robustheit der Stilllegungsoption</b>	
<b>Rückholung</b>	<p>Im Hinblick auf die Anzahl der notwendigen Komponenten (Einfachheit) ist diese Variante der Stilllegungsoption im Hinblick auf eine hier zu treffende Langzeitsicherheitseinschätzung in der Nachbetriebsphase für den Standort der Schachanlage Asse II als sehr robust zu bezeichnen. Die für diese Option notwendige Komponente ist ein annahmefähiges und langzeitsicheres Endlager andernorts.</p> <p>Auf die Nachbetriebsphase am Standort Schachanlage Asse II bezogen, sind die Anzahl der passiven oder aktiven Sicherheitssysteme, die Anzahl der redundanten / diversitären Komponenten und die Reaktion auf veränderte Randbedingungen (Sicherheitsreserven) für diese Option nicht anwendbar. Sie müssen beim bereitzustellenden Endlager vorliegen.</p>
<b>Umlagerung</b>	<p>Bei einem gegebenen geeigneten Einlagerungshorizont im tieferen Kern des Salz-Sattels ist der „neue“ Einlagerungsbereich gegenüber dem bestehenden Grubengebäude durch den Bau von langzeitsicheren Verschlussbauwerken abzutrennen.</p> <p>Bei den passiven oder aktiven Sicherheitssystemen ist zuerst ein geeigneter einschlusswirksamer Gebirgsbereich zu nennen. Des Weiteren müssen aus Gründen der Langzeitsicherheit die entsprechenden Verschlussbauwerke, hier Kammerverschlüsse und Schachtverschlussysteme errichtet und deren Sicherheit und Gebrauchstauglichkeit nachgewiesen werden.</p> <p>Redundant wirken hier zum einen die Komponenten Kammerverschluss gegen Schachtverschlussystem, zum anderen werden die Schachtverschlussysteme in sich redundant wirkend und diversitär aufgebaut.</p> <p>Die Reaktion dieser Option auf veränderte Randbedingungen ist gutmütig. Durch die natürliche Barriere durch das unverritzte Staßfurt-Steinsalz im tieferen Sattelkern und den Verschlussbauwerken ergeben sich im Sinne einer vorläufigen Langzeitsicherheitseinschätzung deutliche Sicherheitsreserven. Für die Verschlussbauwerke sind bezüglich Sicherheit und Gebrauchstauglichkeit entsprechende Reserven / Faktoren einzuplanen, die geologische Barriere bietet mit ihrer</p>

	Mächtigkeit ebenfalls entsprechende Reserven.
<b>Vollverfüllung</b>	<p>Hier werden die noch offenen Hohlräume mit Sorelbeton verfüllt, Sorelbetonbarrieren errichtet, Brucit-Mörtel in die LAW-Einlagerungskammern eingebracht, die MAW-Kammer verfüllt, eine technische <math>MgCl_2</math>-Lösung bis in das Firstniveau der 700-m-Sohle eingebracht und Schachtverschlüsse errichtet. Trotz des mit diesen Maßnahmen verbundenen technischen Aufwandes lässt sich die Robustheit der Stilllegungsoption nur mit Einschränkungen prognostizieren.</p> <p>Durch die fehlende Integrität der geologischen Barriere fehlt bei der Vollverfüllung ein wesentliches Sicherheitssystem.</p> <p>Die Behinderung des Schadstofftransports durch Dichteschichtung (Sprungschicht zwischen schwererer <math>MgCl_2</math>-Lösung und leichter Deckgebirgslösung) wirkt redundant zur Verfüllung verbleibender Hohlräume mit Sorelbeton bzw. der Errichtung von Sorelbetonbarrieren. Da dies in beiden Fällen durch den Mg-Anteil realisiert wird, ist keine Diversität i. e. S. gegeben.</p> <p>Bei den Schachtverschlusssystemen wird in der Beschreibung und Bewertung der Stilllegungsoption auf die Ausführungen des HMGU - Konzeptes verwiesen. In diesem sind die Schachtverschlussbauwerke redundant und diversitär ausgelegt.</p> <p>Bei veränderten Randbedingungen (Zuflussrate, Chemismus der Zutrittslösung) ist die Systementwicklung kaum prognostizierbar. Das Systemverhalten kann deshalb nicht als robust bezeichnet werden.</p>

#### 1.3.4.5 Unsicherheiten

In die Charakterisierung der Varianten gehen Annahmen und Randbedingungen ein, deren Erfüllungsgrad möglicherweise unsicher ist. Bei der Rückholung wird ein annahmehereites Endlager andernorts unterstellt, bei der Umlagerung gilt die Integrität der geologischen Barriere durch einen geeigneten Einlagerungshorizont als gegeben und bei der Option Vollverfüllung werden die gleichbleibende Zuflussrate und der gleichbleibende Sättigungsgrad der zutretenden Lösung vorausgesetzt.



### 1.3.5 Nachweisbarkeit der radiologischen Langzeitsicherheit

Im Rahmen des Kriteriums „Nachweisbarkeit“ ist zu bewerten, ob es berechtigte Hinweise / Annahmen gibt, dass der Nachweis der radiologischen Langzeitsicherheit mit hoher Wahrscheinlichkeit geführt werden kann. Als Bewertungsgröße dient der Erwartungswert der radiologischen Belastungen. Es ist eine Einschätzung zu treffen, ob für die betrachtete Stilllegungsoption der Nachweis der radiologischen Langzeitsicherheit voraussichtlich möglich ist und ob die radiologischen Schutzziele eingehalten werden können.

Das radiologische Schutzziel in der Nachbetriebsphase (in der Zeit nach der Stilllegung) eines Endlagers ist in den „Sicherheitskriterien für die Endlagerung radioaktiver Abfälle in einem Bergwerk“, die 1983 als Rundschreiben des damals zuständigen Bundesministerium des Innern veröffentlicht wurden, festgelegt (BMI 1983). Es besagt, dass auch nach der Stilllegung eines Endlagers Radionuklide, die als Folge von nicht vollständig auszuschließenden Transportvorgängen aus einem verschlossenen Endlager in die Biosphäre gelangen können, nicht zu Individualdosen (effektive Äquivalentdosis) führen dürfen, die den Wert von 0,3 mSv/a überschreiten.

Die Bewertung der "Nachweisbarkeit der radiologischen Langzeitsicherheit" erfolgt anhand der nachfolgenden Größen:

- Erwartungswert der radiologischen Belastungen.

#### 1.3.5.1 Bewertungsergebnisse für die einzelnen Optionen

##### Rückholung

Bei der Rückholung aller oder eines Teiles der radioaktiven Abfälle aus der Schachanlage Asse II ist deren Verbringung in ein planfestgestelltes Endlager für schwach- und mittelradioaktive Abfälle vorgesehen. Als Referenz dient hier das Endlager für radioaktive Abfälle mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung Konrad.

Ein Langzeitsicherheitsnachweis für das Endlager Konrad unter Zugrundelegung der zum Zeitpunkt der Antragstellung bestehenden Anforderungen und Randbedingungen wurde im Rahmen des Planfeststellungsverfahrens von Konrad als Endlager für radioaktive Abfälle mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung bereits durchgeführt (BfS 1990). Aufgrund der Tatsache, dass das Inventar der Schachanlage Asse II nur 1 Promille des im Endlager Konrad genehmigten Inventars ausmacht, ist davon auszugehen, dass das radiologische Schutzziel von 0,3 mSv/a eingehalten werden kann.

##### Umlagerung

Ein Langzeitsicherheitsnachweis für die Umlagerung der radioaktiven Abfälle in tiefer gelegene Einlagerungsbereiche innerhalb der Salzstruktur Asse liegt derzeit nicht vor. Die Ausgangs- und Randbedingungen (Datenbasis) für detaillierte Sicherheitsanalysen werden derzeit als nicht ausreichend für einen solchen Nachweis eingeschätzt. Eine Einschätzung, ob für die Stilllegungsoption Umlagerung der Nachweis der radiologischen Langzeitsicherheit voraussichtlich möglich ist, kann somit nur unter Vorbehalt erfolgen.

Bei Unterstellung des Vorhandenseins eines geeigneten einschlusswirksamen Gebirgsbereiches im Wirtsgestein als geologische Barriere und Errichtung langzeitsicherer technischer Barrierensysteme erscheint die Führung eines Langzeitsicherheitsnachweises für die Option Umlagerung prinzipiell möglich. Ein belastbarer Erwartungswert der radiologischen Belastung in der Nachbetriebsphase kann derzeit nicht angegeben werden. Bei einer erfolgreichen Umsetzung der Option Umlagerung wird dieser jedoch unterhalb von 0,3 mSv/a liegen.

## Vollverfüllung

Die Einschätzung der Nachweisbarkeit der Langzeitsicherheit für die Option Vollverfüllung kann derzeit nur auf einem umfangreichen Systemverständnis und qualitativen Vergleichen mit einem Bezugssystem, für das umfangreiche Modellrechnungen durchgeführt wurden, beruhen. Bei diesen Modellrechnungen handelt es sich um die Sicherheitsanalysen für das Schutzfluidkonzept (HMGU 2008), welche der ehemalige Betreiber, das Helmholtzzentrum München, der Genehmigungsbehörde im Rahmen des bergrechtlichen Verfahrens zur Stilllegung der Schachanlage Asse II in 2007 vorgelegt hat. Die dabei ausgewiesenen potenziellen Strahlenexpositionen liegen unterhalb von 0,3 mSv/a (Colenco AG & GRS 2006). Der Langzeitsicherheitsnachweis wurde in der vorliegenden Form von der Genehmigungsbehörde in einigen Punkten bemängelt. Die gutachterlichen Stellungnahmen hierzu liegen für den Optionenvergleich nicht vor. Der Antrag auf bergrechtliche Zulassung wurde Anfang 2009 zurückgezogen und das Verfahren somit ohne endgültigen Entscheid abgebrochen.

Die Stilllegungsoption Vollverfüllung unterscheidet sich vom Schutzfluidkonzept (HMGU 2008) im Wesentlichen dadurch, dass durch die Phase des natürlichen Volllaufens das noch kompaktierbare Resthohlraum- und Restporenvolumen nach Abschluss der Stilllegungsmaßnahmen und speziell zu Beginn der Lösungsauspressung in das Deckgebirge möglichst klein ist, dass die Lösungsauspressung in das Deckgebirge möglichst spät einsetzt und mit möglichst kleiner Rate erfolgt. Dafür werden höhere gebirgsmechanische Verformungsraten zu Beginn der Nachbetriebsphase und eine schlechtere Prognostizierbarkeit des Systemverhaltens in Kauf genommen. Die relativ schlechte Prognostizierbarkeit der Systementwicklung während der Phase des Volllaufens schränkt somit die Nachweisbarkeit der Langzeitsicherheit ein.

Es kann für das Konzept der Vollverfüllung derzeit ohne spezielle Modellrechnungen keine belastbare Aussage darüber getroffen werden, ob der Wert von 0,3 mSv/a mit hoher Wahrscheinlichkeit und hohem Konfidenzgrad für alle zu betrachtenden Szenarien zuverlässig unterschritten wird. Der Erwartungswert der radiologischen Belastungen bei der Option Vollverfüllung sollte nach vorläufiger Einschätzung im Bereich von 0,3 mSv/a, voraussichtlich unterhalb von 1 mSv/a liegen. Damit kann eine Grenzwertüberschreitung nicht ausgeschlossen werden.

### 1.3.6 Einhaltung bergbaulicher Schutzziele

Aufgrund der am Standort der Schachanlage Asse II vorhandenen Randbedingungen ist davon auszugehen, dass auch in der Nachbetriebsphase Lösungen aus dem Deckgebirge zutreten werden. Der Sättigungszustand sowie die Menge der zutretenden Lösung können nicht über den Zeitraum der Nachbetriebsphase prognostiziert werden. Daher können in der Nachbetriebsphase Auf- und Umlösungsprozesse im Grubengebäude stattfinden. Als Folge der Auf- und Umlösung könnten neue Wegsamkeiten und Hohlräume entstehen. Dies könnte die Tragfähigkeit des Grubengebäudes negativ beeinflussen und letztendlich zu einer beschleunigten Senkung der Tagesoberfläche oder gar zu einem Tagesbruch führen.

Die Bewertung der "Einhaltung der bergbaulichen Schutzziele" erfolgt anhand der nachfolgenden Größen:

- Senkungen an der Tagesoberfläche,
- Gefahr eines Tagesbruchs.

Als Bewertungsmaßstab für die "Einhaltung der bergbaulichen Schutzziele" werden mögliche Auswirkungen auf die Tagesoberfläche in der Nachbetriebsphase herangezogen. Im Ergebnis wird verbal-argumentativ begründet, ob die jeweils zu betrachtende Stilllegungsoption die bergbaulichen Schutzziele einhalten wird.

#### 1.3.6.1 Rückholung

##### Senkungen an der Tagesoberfläche

Bei der Rückholung werden die radioaktiven Abfälle aus den 13 Einlagerungskammern geborgen und nach über Tage verbracht. Das Rückholungskonzept für die LAW-Abfälle (DMT & TÜV NORD 2009) sieht vor, dass die 12 Einlagerungskammern auf der 750-m bzw. 725-m-Sohle, nach dem die Abfälle geborgen worden sind, mit Sorelbeton verfüllt werden, wodurch der untere Teil der Südflanke während der Rückholungsphase teilweise stabilisiert wird. Im Rückholungskonzept für die MAW-Abfälle (EWN & TÜV NORD 2008) wird eine nachträgliche Verfüllung der Einlagerungskammer nicht explizit beschrieben. Diese würde sich aber ebenfalls nach der Rückholung der MAW-Abfälle anbieten. Bei der Rückholung aller radioaktiven Abfälle würden das gesamte Abfallvolumen und das bei der Rückholung anfallende kontaminierte Salzgrusvolumen durch Sorelbeton ersetzt. Das gesamte Rückholvolumen beträgt etwa 62.000 m<sup>3</sup> (ERCOSPLAN & TÜV NORD 2009).

Derzeit weist das Grubengebäude der Schachanlage Asse II ein noch offenes Resthohlraumvolumen (sämtliche offene Strecken und Abbaue sowie das Porenvolumen im Salzversatz) von etwa 1,9 Mio. m<sup>3</sup> auf (GRS 2009), welches theoretisch für eintretende Zutrittslösungen zur Verfügung stehen kann. Durch die Rückholung selbst wird das noch vorhandene Resthohlraumvolumen nicht verändert, da das Abfallvolumen durch Sorelbeton ersetzt wird.

Im gesamten Grubengebäude wurden insgesamt etwa 4,7 Mio. m<sup>3</sup> Kali- und Steinsalz abgebaut. Der Kalisalzabbau betrug etwa 1,0 Mio. m<sup>3</sup> und erfolgte in einem Carnallitbaufeld, welches bereits während der Abbauphase mit Aufbereitungsrückständen verfüllt worden ist (Sturzversatz). Durch die Konvergenz ist der Versatz über die Zeit verdichtet worden. Versatzproben weisen heute nur noch eine Restporosität von 21 % aus (GRS 2009). Hieraus ergibt sich im Carnallitbaufeld ein Poren- bzw. Resthohlraumvolumen von etwa 210.000 m<sup>3</sup>, welches sich mit Lösung füllen kann. Der restliche noch offene Hohlraum (ca. 1,7 Mio. m<sup>3</sup>) würde sich auf die Steinsalzbaufelder beschränken.

Die möglichen Auswirkungen auf die Tagesoberfläche werden im Wesentlichen durch das vorhandene Resthohlraumvolumen und die Mineralisation bzw. den Sättigungszustand der in der Nachbetriebsphase zutretenden Lösung bestimmt.

In Folge des Lösungszutritts in der Nachbetriebsphase wird es in jedem Fall zu Umlöseprozessen bzw. Hohlraumneubildungen im Carnallitbaufeld kommen. Sollten sich die Resthohlräume im Grubengebäude mit einer gesättigten Steinsalzlösung auffüllen, wären ausschließlich nur carnallitische Bereiche im Grubengebäude von Umlöseprozessen (inkongruente Zersetzung) betroffen. Durch einen Kubikmeter NaCl-Lösung kann im Carnallit ein zusätzlicher Hohlraum von etwa 0,6 m<sup>3</sup> gebildet werden. Tritt dagegen eine nicht gesättigte Steinsalzlösung oder sogar überwiegend Süßwasser zu, so finden zusätzlich noch Umlöseprozesse am Steinsalz statt, die zu weiteren Hohlraumneubildungen führen werden. Durch einen Kubikmeter Süßwasser werden etwa 0,165 m<sup>3</sup> Steinsalz aufgelöst bzw. neuer Hohlraum gebildet.

Im günstigsten Fall, d. h. bei Zutritt einer gesättigten Steinsalzlösung, würde ein zusätzliches Volumen von etwa 0,126 Mio. m<sup>3</sup> geschaffen. Tritt untersättigte Steinsalzlösung oder sogar Süßwasser in der Nachbetriebsphase zu, würde insbesondere an der Südflanke im Bereich der Zutrittsstelle/n weiterer Hohlraum durch Auflösung von Steinsalz gebildet, dessen Volumen ausschließlich durch den Sättigungszustand der Zutrittslösung bestimmt wird. Würde ausschließlich Süßwasser in den noch offenen Porenraum im Versatz der Steinsalzabbau zutreten, so könnte durch Auflösung von Steinsalz ein neuer Hohlraum von maximal 0,314 Mio. m<sup>3</sup> entstehen.

Im ungünstigsten Fall kann daher beim vollständigen Auffüllen der Grube mit Zutrittslösung ein neuer, zusätzlicher konvergenzaktiver Hohlraum von etwa 0,440 Mio. m<sup>3</sup> entstehen. Damit könnte das für Lösungszutritte zur Verfügung stehende gesamte Resthohlraumvolumen um maximal 23 Vol.-% auf 2,34 Mio. m<sup>3</sup> anwachsen. Hierbei wird die Hohlraumreduzierung nicht berücksichtigt (konservativ), die sich infolge der Gebirgskonvergenz über den Zutrittszeitraum ergeben wird.

Nivellementmessungen bis zum Jahre 2004 weisen im Bereich der Südflanke (hier treten die maximalen Senkungen auf) eine Absenkung der Tagesoberfläche von bisher 244 mm aus. In einer bergschadenskundlichen Prognose zur Absenkung der Tagesoberfläche, die auf dem alten Schutzfluidkonzept von HMGU (HMGU 2008) aufbaut, wird bis zum Jahre 2100 eine weitere Absenkung der Tagesoberfläche von 185 mm berechnet (Sroka 2006). Für das Jahr 10.000 wird eine maximale Senkung von etwas weniger als 1 m berechnet. Die maximale Senkungsgeschwindigkeit wird für den Zeitraum von 2005 bis 2013 prognostiziert und beträgt 10,7 mm/Jahr (Sroka 2006). Der Senkungstrog umfasst eine Spannweite von etwa 2.500 m, wobei die Senkungen zu den Rändern hin deutlich abnehmen. Die maximale Senkung tritt oberhalb der Südflanke auf.

Es ist zu erwarten, dass die Senkungen und Senkungsgeschwindigkeiten in Folge des in der Nachbetriebsphase anhaltenden Lösungszutritts ansteigen werden, da durch den Feuchtigkeitseinfluss die Verformungen des Salzgebirges zunehmen werden (Feuchtekriechen). Würde in der Nachbetriebsphase ausschließlich Süßwasser zulaufen, dann könnten im ungünstigsten Fall die Senkungen an der Tagesoberfläche anwachsen. Unter der vereinfachten Annahme, dass sich der vorhandene Gesamthohlraum proportional zur Senkung der Tagesoberfläche verhält, lässt sich für den Bereich oberhalb der Südflanke und für den Zeitraum von 2005 bis 2100 eine Absenkung der Tagesoberfläche von ca. 230 mm berechnen. Für das Jahr 10.000 würde sich ein Senkungsbetrag von etwa 1,20 m ergeben.

## **Gefahr eines Tagesbruchs**

Damit es zu einem Tagesbruch kommen kann, müssen in der Regel zwei notwendige Randbedingungen gegeben sein: Zum Ersten muss ein mobiles Deckgebirge vorhanden sein, welches entsprechend schnell nachrutschen oder -brechen kann, und zum Zweiten ein entsprechender Hohlraum, in dem das Deckgebirge einbrechen kann.

Von dem ursprünglich bei der Gewinnung aufgefahrenen Gesamthohlraum (4,7 Mio. m<sup>3</sup>) sind bereits etwa 4,1 Mio. m<sup>3</sup> verfüllt. Der noch offene Hohlraum (mit Ausnahme des Porenvolumens im Salzgrusversatz) beschränkt sich auf Infrastrukturstrecken und –räume, die sich auf das gesamte Grubengebäude verteilen und sich nicht an einer Stelle konzentrieren. Dass bei einem reinen Süßwasserzutritt durch Auflösen von Steinsalz und Carnallitit ggf. neu entstehende Hohlraumvolumen von 0,440 Mio. m<sup>3</sup> wird keinen wesentlichen Einfluss auf das Verhältnis von versetztem zu aufgefahrenen Hohlraum haben. Daher ist nicht von einem Tagesbruch bei einem weiteren Lösungszutritt in der Nachbetriebsphase auszugehen. Durch den Feuchtigkeitseinfluss bzw. den ansteigenden Verformungen beim Volllaufen des Grubengebäudes und dem hohen Anteil an versetzten Kammern wird sich relativ schnell ein Stützdruck aufbauen können.

Allerdings zeigen auch Beispiele aus der Bergbaupraxis (Staßfurter Sattel), dass an der Zutrittsstelle ggf. langfristig Subrosionsprozesse ablaufen können, die zu weiteren Hohlräumen führen. Bei lang anhaltenden Subrosionsprozessen kann hierbei ein beachtlicher Hohlraum entstehen, der je nach Beschaffenheit des Deckgebirges sogar zu einem Tagesbruch führen kann. Ein solcher Prozess kann nicht vollständig ausgeschlossen werden, auch wenn er als wenig wahrscheinlich einzustufen ist.

### **1.3.6.2 Umlagerung**

#### **Senkungen an der Tagesoberfläche**

Bei der Stilllegungsoption der Umlagerung der radioaktiven Abfälle können ähnliche Betrachtungen wie bei der Rückholung der Abfälle angestellt werden. Die Bergung der Abfälle wird in gleicher oder ähnlicher Weise wie bei der Option Rückholung erfolgen. Der wesentliche Unterschied besteht darin, dass für die Umlagerung ein neuer Einlagerungsbereich aufgefahren wird, der allerdings nach Abschluss der Umlagerung langzeitsicher verschlossen wird. Somit kann für die Umlagerung die gleiche Hohlräum Bilanz wie für die Rückholung zugrunde gelegt werden.

Daher ist bei der Option Umlagerung zu erwarten, dass die Senkungen und Senkungsgeschwindigkeiten in Folge des in der Nachbetriebsphase anhaltenden Lösungszutritts ansteigen werden, da durch den Feuchtigkeitseinfluss die Verformungen des Salzgebirges zunehmen werden (Feuchtekriechen). Würde in der Nachbetriebsphase ausschließlich Süßwasser zulaufen, dann könnte im ungünstigsten Fall der für Lösungszutritte zur Verfügung stehende Gesamthohlraum um ca. 23 Vol.-% und damit auch die Senkungen an der Tagesoberfläche anwachsen. Unter der vereinfachten Annahme, dass sich der vorhandene Gesamthohlraum proportional zur Senkung der Tagesoberfläche verhält, lässt sich für den Bereich oberhalb der Südflanke und für den Zeitraum von 2005 bis 2100 eine Absenkung der Tagesoberfläche von ca. 230 mm berechnen. Für das Jahr 10.000 würde sich ein Senkungsbetrag von etwa 1,20 m ergeben.

#### **Gefahr eines Tagesbruchs**

Damit es zu einem Tagesbruch kommen kann, müssen in der Regel zwei notwendige Randbedingungen gegeben sein: Zum Ersten muss ein mobiles Deckgebirge vorhanden sein, welches entsprechend schnell nachrutschen oder -brechen kann, und zum Zweiten ein entsprechender Hohlraum, in dem das Deckgebirge einbrechen kann.

Von dem ursprünglich bei der Gewinnung aufgefahrenen Gesamthohlraum (4,7 Mio. m<sup>3</sup>) sind bereits etwa 4,1 Mio. m<sup>3</sup> verfüllt. Der noch offene Hohlraum (mit Ausnahme des Porenvolumens im Salzgrusversatz) beschränkt sich auf Infrastrukturstrecken und –räume, die sich auf das gesamte Grubengebäude verteilen und sich nicht an einer Stelle konzentrieren. Dass bei einem reinen Süßwasserzutritt durch Auflösen von Steinsalz und Carnallitit ggf. neu entstehende Hohlraumvolumen von 0,440 Mio. m<sup>3</sup> wird keinen wesentlichen Einfluss auf das Verhältnis von versetztem zu aufgefahrenen Hohlraum haben.

Daher ist nicht von einem Tagesbruch bei einem weiteren Lösungszutritt in der Nachbetriebsphase auszugehen. Durch den Feuchtigkeitseinfluss bzw. den ansteigenden Verformungen beim Volllaufen des Grubengebäudes und dem hohen Anteil an versetzten Kammern wird sich relativ schnell ein Stützdruck aufbauen können.

Allerdings zeigen auch Beispiele aus der Bergbaupraxis (Staufurter Sattel), dass an der Zutrittstelle ggf. langfristig Subrosionsprozesse ablaufen können, die zu weiteren Hohlräumen führen. Bei lang anhaltenden Subrosionsprozessen kann hierbei ein beachtlicher Hohlraum entstehen, der je nach Beschaffenheit des Deckgebirges sogar zu einem Tagesbruch führen kann. Ein solcher Prozess kann nicht vollständig ausgeschlossen werden, auch wenn er als wenig wahrscheinlich einzustufen ist.

### 1.3.6.3 Vollverfüllung

#### Senkungen an der Tagesoberfläche

Das Konzept der Vollverfüllung sieht eine sukzessive Verfüllung aller noch zugänglichen Resthohlräume mit Sorelbeton vor. Hierdurch wird der für mögliche Lösungszutritte zur Verfügung stehende Hohlraum mit dem Fortgang der Verfüllmaßnahmen stetig verringert. Des Weiteren wird bei dem Konzept der Vollverfüllung das unterhalb der 700-m-Sohle im Altversatz vorhandene Porenvolumen mit einer  $MgCl_2$ -reichen Lösung geflutet, so dass in diesem Bereich keine Zutrittslösung mehr einströmen kann. Insgesamt werden bei der Vollverfüllung etwa 650.000 m<sup>3</sup> Sorelbeton sowie 350.000 m<sup>3</sup>  $MgCl_2$ -reiche Lösung eingebracht (GRS 2009).

Bezogen auf das derzeit noch offene Gesamthohlraumvolumen von etwa 1,90 Mio. m<sup>3</sup>, würde sich nach Umsetzung aller Stilllegungsmaßnahmen ein für Zutrittslösung noch verfügbares Hohlraumvolumen von ca. 950.000 m<sup>3</sup> ergeben (GRS 2009). Das Hohlraumvolumen beschränkt sich ausschließlich auf die Restporenräume in dem eingebrachten Salzgrusversatz.

Da im Rahmen der Stilllegungsarbeiten der Bereich unterhalb der 700-m-Sohle mit einer  $MgCl_2$ -reichen Lösung geflutet wird, kann es bei weiteren Lösungszutritten in der Nachbetriebsphase zu keinen Umlöseprozessen bzw. Hohlraumneubildungen im Carnallitbaufeld kommen, welches nur unterhalb der 700-m-Sohle aufgeschlossen worden ist. Die einströmende Lösung würde sich aufgrund der geringeren Dichte immer über die schwerere  $MgCl_2$ -reiche Lösung schichten.

Die möglichen Auswirkungen auf die Tagesoberfläche werden im Wesentlichen durch das vorhandene Resthohlraumvolumen und die Mineralisation bzw. den Sättigungszustand der zutretenden Lösung bestimmt. Sollten sich die Resthohlräume im Grubengebäude mit einer gesättigten Steinsalzlösung auffüllen, wären keine weiteren Hohlraumneubildungen im Grubengebäude möglich. Tritt dagegen eine nicht gesättigte Steinsalzlösung oder sogar überwiegend Süßwasser zu, so finden nur Umlöseprozesse am Steinsalz statt, die zu neuen Hohlräumen führen werden. Durch einen Kubikmeter Süßwasser werden etwa 0,165 m<sup>3</sup> Steinsalz aufgelöst bzw. Hohlraum gebildet.

Im ungünstigsten Fall kann daher beim vollständigen Auffüllen der Grube mit Süßwasser ein neuer, zusätzlicher konvergenzaktiver Hohlraum von etwa 0,157 Mio. m<sup>3</sup> entstehen. Damit würde das ursprünglich zur Verfügung stehende Resthohlraumvolumen (0,95 Mio m<sup>3</sup>) um ca. 17 Vol.-% auf etwa 1,11 Mio. m<sup>3</sup> anwachsen. Dies entspricht in etwa 58 Vol.-% des vor der Stilllegung vorhandenen Resthohlraumvolumens von 1,9 Mio. m<sup>3</sup>. Hierbei wird als konservative Randbedingung die Hohlraumreduzierung nicht berücksichtigt, die sich infolge der Gebirgskonvergenz über den Zutrittszeitraum ergeben wird.

Nivellementmessungen bis zum Jahre 2004 weisen im Bereich der Südflanke (hier treten die maximalen Senkungen auf) eine Absenkung der Tagesoberfläche von bisher 244 mm aus. In einer bergschadenskundlichen Prognose zur Absenkung der Tagesoberfläche, die auf dem alten Schutzfluidkonzept von HMGU (HMGU 2008) aufbaut, wird bis zum Jahre 2100 eine weitere Absenkung der

Tagesoberfläche von 185 mm berechnet (Sroka 2006). Für das Jahr 10.000 wird eine maximale Senkung von etwas weniger als 1 m berechnet. Die maximale Senkungsgeschwindigkeit wird für den Zeitraum von 2005 bis 2013 prognostiziert und beträgt 10,7 mm/Jahr (Sroka 2006). Der Senkungstrog umfasst eine Spannweite von etwa 2.500 m, wobei die Senkungen zu den Rändern hin deutlich abnehmen. Die maximale Senkung tritt oberhalb der Südflanke auf.

Es ist zu erwarten, dass zu Beginn der Nachbetriebsphase die Senkungen und Senkungsgeschwindigkeiten in Folge des weiter anhaltenden Lösungszutritts ansteigen werden, da durch den Feuchtigkeitseinfluss die Verformungen des Salzgebirges zunehmen werden (Feuchtekriechen). Würde in der Nachbetriebsphase ausschließlich Süßwasser zulaufen, dann könnte im ungünstigsten Fall ein Resthohlraumvolumen von etwa 1,11 Mio. m<sup>3</sup> für Lösungszutritte zur Verfügung stehen. Dieses Hohlraumvolumen liegt aber noch deutlich unterhalb des ursprünglichen (vor Stilllegungsbeginn) vorhanden Hohlraumvolumens von 1,9 Mio. m<sup>3</sup>.

Da beim Konzept der Vollverfüllung der nach dem Ende der Stilllegungsmaßnahmen vorhandene Resthohlraum sich nicht wesentlich von dem Resthohlraumvolumen unterscheidet, welches beim HMGU-Schließungskonzept (HMGU 2008) vorhanden gewesen wäre, kann auch die von Sroka (2006) durchgeführte Senkungsprognose übertragen werden. In dieser wird für den Bereich oberhalb der Südflanke für den Zeitraum von 2005 bis 2100 eine Absenkung der Tagesoberfläche von 185 mm berechnet. Für das Jahr 10.000 ist ein Senkungsbetrag von weniger als 1 m zu erwarten.

### **Gefahr eines Tagesbruchs**

Damit es zu einem Tagesbruch kommen kann, müssen in der Regel zwei notwendige Randbedingungen gegeben sein: Zum Ersten muss ein mobiles Deckgebirge vorhanden sein, welches entsprechend schnell nachrutschen oder -brechen, und zum Zweiten ein entsprechender Hohlraum, in dem das Deckgebirge einbrechen kann.

Von dem ursprünglich bei der Gewinnung aufgefahrenen Gesamthohlraum (4,7 Mio. m<sup>3</sup>) sind derzeit etwa 4,1 Mio. m<sup>3</sup> verfüllt. Der noch offene Resthohlraum von 1,9 Mio. m<sup>3</sup> wird im Rahmen der Vollverfüllung bis auf 0,95 Mio. m<sup>3</sup> vollständig verfüllt. Dieser Resthohlraum ist ausschließlich als Porenraum im Salzgrusversatz in den Steinsalzbaufeldern vorhanden und nicht an einer Stelle im Grubengebäude konzentriert. Dass bei einem reinen Süßwasserzutritt durch Auflösen von Steinsalz ggf. neu entstehende Hohlraumvolumen kann maximal etwa 0,157 Mio. m<sup>3</sup> betragen und hat keinen wesentlichen Einfluss auf das Verhältnis von versetztem zu aufgefahrenen Hohlraum. Daher ist nicht von einem Tagesbruch bei einem weiteren Lösungszutritt in der Nachbetriebsphase auszugehen. Durch den Feuchtigkeitseinfluss bzw. den ansteigenden Verformungen beim Volllaufen des Grubengebäudes und dem hohen Anteil an versetzten Kammern wird sich relativ schnell ein Stützdruck aufbauen können.

Allerdings zeigen auch Beispiele aus der Bergbaupraxis (Steißfurter Sattel), dass an der Zutrittsstelle ggf. langfristig Subrosionsprozesse ablaufen können, die zu weiteren Hohlräumen führen. Bei lang anhaltenden Subrosionsprozessen kann hierbei ein beachtlicher Hohlraum entstehen, der je nach Beschaffenheit des Deckgebirges sogar zu einem Tagesbruch führen kann. Ein solcher Prozess kann nicht vollständig ausgeschlossen werden, auch wenn er als wenig wahrscheinlich einzustufen ist.

## 1.4 MACHBARKEIT

Die hinsichtlich einer Machbarkeit zu beurteilenden Kriterien umfassen Bewertungen zur technischen und rechtlichen Umsetzbarkeit sowie eine Bewertung der „Sonstigen Umweltauswirkungen“ die mit den Stilllegungsoptionen einhergehen.

### 1.4.1 Technische Umsetzbarkeit

Als Bewertungsgrößen heranzuziehen sind die technische Komplexität, Referenzen zu erprobten und ausgeführten Techniken sowie der ggf. erforderliche technische Entwicklungsbedarf. Als technisch umsetzbar soll eine Option dann bewertet werden, wenn sie mit Techniken durchgeführt werden kann, die für sich gesehen erprobt sind und keine grundsätzlichen ingenieur-wissenschaftlichen Risiken im Zuge der Umsetzung aufwerfen.

Die Bewertung der "Technischen Umsetzbarkeit" erfolgt anhand der nachfolgenden Größen:

- Technische Komplexität,
- Erprobte und ausgeführte Techniken (Referenzen),
- Technischer Entwicklungsbedarf.

#### 1.4.1.1 Rückholung

##### Technische Komplexität

Die technische Komplexität dieser Stilllegungsoption ergibt sich durch das Erfordernis der Einhaltung radiologischer Schutzziele für das Personal und die Bevölkerung in der Betriebsphase. So wird z. B. unter Tage eine Umverpackung der Abfälle (im Zuge der Teilkonditionierung) vorgenommen um eine Kontaminationsverschleppung außerhalb des unmittelbaren Einlagerungsbereiches zu vermeiden.

Um mit dem begrenzten Schachtfördervolumen umgehen zu können, ist unter Tage eine Teilkonditionierung als Hochdruckverpressung zur Volumenreduzierung notwendig.

In der Studie zur Rückholung (DMT & TÜV NORD 2009) wird zudem die Gebirgsbeherrschung (Standfestigkeit und gegebene Begehbarkeit der Einlagerungskammern) unterstellt. Sollte diese nur zum Teil gegeben sein, oder sollte es durch geänderte Randbedingungen zu einem Sicherheitsverzehr kommen, hat dies direkten Einfluss auf die technische Komplexität.

Die geringe zur Verfügung stehende Gesamtwettermenge des Bergwerks führt bei der Rückholung zu einem weitgehenden Verzicht auf Dieselfahrzeuge. Es werden in den Sperrbereichen ausschließlich Elektroantriebe eingesetzt.

Neben der Wetterführung müssen die Entstaubung in den Einlagerungskammern sichergestellt und Trennbauwerke errichtet werden um eine Begrenzung des kontaminierten Teiles des Grubengebäudes auf den unmittelbaren Einlagerungsbereich zu erreichen.

Unter Tage ist je nach radiologischer Gefährdung die Festlegung von Sperr-, Kontroll- und Überwachungsbereichen notwendig.



Über Tage finden dann Endkonditionierung, Konfektionierung und Transportbereitstellung statt. Diese Arbeiten benötigen zwingend ein Zwischenlager.

Insgesamt zeigt sich unter Berücksichtigung aller vorgenannten Aspekte eine hohe technische Komplexität der vorgesehenen Maßnahmen. Die Stilllegungstechnik und die hier skizzierten Maßnahmen sind aber grundsätzlich praxistauglich.

### **Erprobte und ausgeführte Techniken (Referenzen)**

Die im Rahmen dieser Option vorgesehenen Arbeiten sind bis auf die Bergung der eingelagerten Abfälle unter radiologischen Bedingungen entweder bergbauüblich oder werden im Strahlenschutz (Konditionierung, Zwischenlagerung, Transport) bereits erfolgreich eingesetzt. Für die Bergung und den Transport unter Tage ist vorgesehen, dass Elektrogeräte mit strahlenschutztechnisch geschirmten Kabinen zum Einsatz kommen.

### **Technischer Entwicklungsbedarf**

In der Studie zur Rückholung (DMT & TÜV NORD 2009) wird die Möglichkeit der direkten Rückholung als machbar ausgewiesen. Danach besteht bei der Rückholung kein beträchtlicher Zeitaufwand für Forschung und Entwicklung der hierfür notwendigen Maschinen.

Die Arbeiten zum Lösen und Laden von Fässern und Salzgrus können mit Fahrzeugen industrieller Serienfertigung wie Bagger und Lader durchgeführt werden. Die Förderung in den Strecken kann mit bergbauüblichen Spezialfahrzeugen erfolgen. Allerdings sind bei der Bergung der Gebinde aus dem teilweise stark verfestigten Salzgrus für das Herauslösen aus dem Stoffgemisch geeignete Werkzeuge bzw. Geräte vorzuhalten. Es wird ausgeführt, dass auf Grund der spezifischen mechanischen Eigenschaften von Salz im Vorfeld Handhabungsversuche durchgeführt werden sollten, um eine möglichst optimale Herangehensweise zu entwickeln.

Die Machbarkeitsstudie sieht vor, dass der Vorgang des Gewinnens und Sicherns ferngesteuert durchgeführt wird. Ein vollständiger Verzicht auf Personal in der Kammer kann aber nicht vorausgesetzt werden, da insbesondere Sonderarbeiten (wie z. B. die Installation von Messgeräten, Stromversorgung) nur mit sehr hohem Aufwand ferngesteuert zu betreiben wären. Die Recherche zeigt, dass Umrüstung auf ferngesteuerte, hier benötigte Geräte Stand der Technik ist.

### **1.4.1.2 Umlagerung**

#### **Technische Komplexität**

Die technische Komplexität dieser Stilllegungsoption ergibt sich im Wesentlichen aus den betrieblichen und radiologischen Anforderungen, die sich bei Bergung, Teilkonditionierung und Transport des Inventars ergeben und für die Option der Rückholung (s. o.) beschrieben worden ist.

Anstelle der Endkonditionierung, Konfektionierung und Transportbereitstellung über Tage sieht diese Option das Auffahren neuer Einlagerungskammern in einem tieferen Bereich im Kern des Salzsattels vor. Die hierfür notwendigen technischen Arbeiten sind im Bergbau üblich und stellen keine besonderen Anforderungen dar.

Diese Option ist insgesamt von einer hohen technischen Komplexität geprägt. Zwar sind die hier beschriebenen Maßnahmen ebenfalls praxistauglich, setzen aber neben der Standfestigkeit der Einlagerungskammern die Auffahrung geologisch geeigneter Bereiche im Sattelkern voraus. Damit der mit dieser Option angestrebte Sicherheitsgewinn erreicht werden kann, darf es während der Umsetzung der Maßnahme nicht zu einem unbeherrschbaren Lösungszutritt kommen. Die bergmännischen Arbeiten

müssen den radiologischen Schutzziele entsprechend sorgfältig ausgeführt werden, der entsprechende Schutz des eingesetzten Personals ist zu garantieren.

### **Erprobte und ausgeführte Techniken (Referenzen)**

Wie bei der Rückholung sind die im Rahmen dieser Option vorgesehenen Arbeiten bis auf die Bergung der eingelagerten Abfälle unter radiologischen Bedingungen entweder bergbauüblich oder werden im Strahlenschutz (Konditionierung, Zwischenlagerung, Transport) bereits erfolgreich eingesetzt. Für die bergbaulichen Arbeiten werden entsprechende Beispiele zum Stand der Technik genannt. Diese Beispiele zu den erforderlichen Verschlussbauwerken in den Strecken und Schächten haben insbesondere für die Führung eines Langzeitsicherheitsnachweises Relevanz. Entsprechende Referenzen sind aufgeführt. Bezüglich des Solens einer Kaverne wurden die nach Stand der Technik erprobten und ausgeführten Techniken geprüft, und auf Grund der damit verbundenen Randbedingungen (keine trockene Verwahrung der Abfälle möglich) verworfen. Stattdessen wurde ein erprobtes und bergbauübliches Verfahren (Bohren und Sprengen) zur Schaffung entsprechender vertikaler Hohlräume betrachtet. Besondere Anforderungen bei der Auffahrung eines Grubengebäudes auf 1.200 m Tiefe ergeben sich nicht, in der Studie zur Umlagerung werden daraus resultierende Anforderungen an die Arbeitsplätze und die Wettertechnik berücksichtigt.

### **Technischer Entwicklungsbedarf**

Wie bei der Bergung der Abfälle (siehe Rückholung) zeigt sich ein geringer technischer Entwicklungsbedarf. Sollte ein der Langzeitsicherheit genügender Gebirgsbereich im Kern des Salzsattels verfügbar sein, könnte ein entsprechender Einlagerungshorizont aufgefahren und nach Abschluss der Umlagerung langzeitsicher gegen das „alte“ Grubengebäude verschlossen werden.

Hinsichtlich der auch bei Umlagerung erforderlichen Bergung der Gebinde gelten die Ausführungen zur Rückholung.

#### **1.4.1.3 Vollverfüllung**

##### **Technische Komplexität**

Die technische Komplexität dieser Stilllegungsoption wird als gering bewertet. Vorgesehen sind die Vollverfüllung des Grubengebäudes mit Sorelbeton, die Errichtung von Sorelbeton-Barrieren an speziellen Orten, die Einbringung von Brucit-Mörtel in (geeigneten) Einlagerungskammern, die Einbringung von Magnesiumchloridlösung bis zur Firste der 700-m-Sohle und die Errichtung von Schachtverschluss-systemen. Alle diese Maßnahmen entsprechen dem Stand der Technik.

Die Stilllegungstechnik bei der Vollverfüllung weist einen hohen Grad der Praxistauglichkeit auf. Die technische Komplexität ist als gering einzustufen.

##### **Erprobte und ausgeführte Techniken (Referenzen)**

Die bei der Vollverfüllung beschriebenen Maßnahmen basieren weitgehend auf erprobter und bereits ausgeführter Technik. Da sich das hier vorgestellte Konzept nur in wenigen Punkten vom Konzept des ehemaligen Betreibers unterscheidet, steht die erforderliche Technik auf der Schachanlage bereit oder ist geplant.

## **Technischer Entwicklungsbedarf**

Für die Umsetzung der Maßnahmen, die für die Option Vollverfüllung erforderlich sind, besteht kein technischer Entwicklungsbedarf. Die hier vorgesehenen Arbeiten:

- Verfüllen aller bestehenden unverfüllten Hohlräume mit Sorelbeton
- Errichtung von Sorelbetonbarrieren
- Einbringen von Brucit-Mörtel in Einlagerungskammern LAW
- Einbringen einer technischen  $MgCl_2$ -Lösung nur bis in das Firstniveau der 700-m-Sohle
- Herstellen von Schachtverschlussbauwerken

## 1.4.2 Rechtliche Umsetzbarkeit

Für die Stilllegung der Schachtanlage Asse II bedarf es gemäß § 57b AtG eines Planfeststellungsbeschlusses. Unabhängig davon kann es aufgrund der besonderen Situation der Schachtanlage notwendig sein, ggf. Teile der Stilllegungsoption im Rahmen von Gefahrenabwehrmaßnahmen umzusetzen. Als Bewertungsmaßstab für die „rechtliche Umsetzbarkeit“ wird die Kompatibilität mit den bestehenden Gesetzen herangezogen. Im Ergebnis wird dargestellt, ob die zu betrachtende Stilllegungsoption den gesetzlichen Genehmigungsvoraussetzungen genügen wird oder ob es berechnigte Zweifel an der Genehmigungsfähigkeit gibt.

Die Bewertung der „Rechtlichen Umsetzbarkeit“ erfolgt anhand der nachfolgenden Größen:

- Genehmigungsvoraussetzungen.

### 1.4.2.1 Genehmigungsrechtliche Situation

Auf genehmigungsrechtlicher Ebene sind insbesondere die Rechtsgebiete Atomrecht, Bergrecht und Wasserrecht zu betrachten sowie ggf. weitere Rechtsgebiete. Zu prüfen sind jeweils zunächst die Genehmigungsbedürftigkeit der jeweiligen Option und sodann die Genehmigungsfähigkeit.

#### **Atomrecht: Genehmigungsbedürftigkeit und grundsätzliche Genehmigungsfähigkeit**

Für den Betrieb und die Stilllegung der Schachtanlage Asse II sind die für Anlagen des Bundes zur Sicherstellung und zur Endlagerung radioaktiver Abfälle nach § 9a Abs. 3 AtG geltenden Vorschriften (§ 57b Abs. 1 Satz 1 AtG) anzuwenden. Danach bedürfen Errichtung, Betrieb und wesentliche Veränderung der Anlage oder ihres Betriebs der Planfeststellung (§ 9b Abs. 1 Satz 1 AtG). Bei der Planfeststellung ist die Umweltverträglichkeit als Bestandteil der Prüfung der Genehmigungsvoraussetzungen zu prüfen (§ 9b Abs. 2 AtG).

Die Schachtanlage Asse II ist nach § 57b Abs. 1 Satz 2 AtG unverzüglich stillzulegen. Für den Weiterbetrieb bis zur Stilllegung bedarf es keiner Planfeststellung. Bis zur Bestandskraft eines Planfeststellungsbeschlusses zur Stilllegung bedarf der Umgang mit radioaktiven Stoffen einer Genehmigung nach Atomgesetz und Strahlenschutzverordnung. Der Weiterbetrieb bis zur Stilllegung unterliegt ebenso wie die planfestgestellte Stilllegung nicht der staatlichen Aufsicht des NMU (§ 57b Abs. 1 Satz 4 und 5 AtG).

Grundsätzlich ist jede Stilllegungsoption zulässig. Die gesetzliche Verpflichtung, die Schachtanlage Asse II unverzüglich stillzulegen, schließt die Prüfung der Optionen Rückholung und Umlagerung ein. Die Gesetzesmaterialien bestätigen, dass die Koalitionsfraktionen im Deutschen Bundestag übereinstimmend mit der Bundesregierung davon ausgegangen sind, dass der zu diesem Zeitpunkt bereits begonnene Optionenvergleich fortgesetzt werden soll und jede der Optionen als zulässige Stilllegungsmaßnahme anzusehen ist (BT-Drs. 16/11782, S. 4 f.).

Im weiteren Verfahren wird zu prüfen sein, ob im Falle der Verwirklichung der Optionen Rückholung oder Umlagerung alle dazu erforderlichen Teilschritte (Bergung der Abfälle, Zwischenlagerung, Konditionierung) umfassend dem Planfeststellungserfordernis unterfallen oder als eigenständiger Umgang mit radioaktiven Stoffen nach besonderen Regelungen genehmigungsbedürftig und separat UVP-pflichtig sind (z. B. die Zwischenlagerung bis zur Ablieferung an das Zielendlager im Falle einer Rückholung). In Frage kommt eine Genehmigungspflicht für den Umgang mit radioaktiven Stoffen nach § 7 StrlSchV. Wenn Kernbrennstoffanteile oder –konzentrationen die Schwellenwerte des § 2 Abs. 3 AtG überschreiten, gilt das Atomgesetz. Eine Überschreitung der Schwellenwerte wird derzeit für einige in der MAW-Kammer eingelagerte 200-l-Fässer angenommen. Die Genehmigungsfähigkeit der Konditionierung richtet sich dann

nach § 7 AtG. Die Zwischenlagerung richtet sich entweder nach § 6 AtG mit der Folge der Identität von Betreiber und Genehmigungsbehörde oder sie ist als Sicherstellung radioaktiver Abfälle nach § 9a Abs. 3 i.V.m. § 9b AtG selbstständig planfeststellungspflichtig. Für den Optionenvergleich kann das offen bleiben, da sich die Genehmigungsvoraussetzungen insoweit nicht wesentlich unterscheiden.

## **Atomrecht: Erfüllung der Genehmigungsvoraussetzungen**

Der Planfeststellungsbeschluss darf nur erteilt werden, wenn Zuverlässigkeit und Fachkunde der verantwortlichen Personen gewährleistet sind, die sonst tätigen Personen die notwendigen Kenntnisse besitzen, die nach dem Stand von Wissenschaft und Technik erforderliche Vorsorge gegen Schäden getroffen und der erforderliche Schutz gegen Störmaßnahmen oder sonstige Einwirkungen Dritter gewährleistet ist (§ 9b Abs. 4 Satz 1 i.V.m. § 7 Abs. 2 Nrn. 1, 2, 3 und 5 AtG). Er ist zu versagen, wenn von der Anlage Beeinträchtigungen des Wohls der Allgemeinheit zu erwarten sind, die durch inhaltliche Beschränkungen und Auflagen nicht verhindert werden können, oder sonstige öffentlich-rechtliche Vorschriften insbesondere im Hinblick auf die Umweltverträglichkeit, der Errichtung oder dem Betrieb der Anlage entgegenstehen (§ 9 b Abs. 4 Satz 2 AtG). Insoweit wird auf Anforderungen aus dem Umwelt- und Planungsrecht verwiesen, die hier gesondert geprüft werden (insbesondere Wasser- und Bauplanungsrecht).

Soweit einzelne Teilschritte außerhalb des Planfeststellungsverfahrens in eigenen Verfahren zu genehmigen sind, gelten ähnliche Genehmigungsvoraussetzungen wie bei § 9b Abs. 4 Satz 1 AtG (vgl. nur § 9 Abs. 1 Nr. 5 StrlSchV, wonach die nach dem Stand von Wissenschaft und Technik erforderlichen Maßnahmen zur Einhaltung der Schutzvorschriften zu treffen sind). In Bezug auf andere Rechtsbereiche entfällt jedoch die Konzentrationswirkung mit der Folge, dass nach Fachrecht notwendige separate Genehmigungen bei den jeweils zuständigen Behörden einzuholen sind (z. B. bauaufsichtliche Zustimmung des für Bauwesen zuständigen Landesministeriums nach § 82 NBauO).

Im Rahmen des Optionenvergleichs ist von entscheidender Bedeutung, ob der Nachweis der nach dem Stand von Wissenschaft und Technik erforderlichen Schadensvorsorge für die jeweilige Variante erbracht werden kann. Erforderlich ist der Sicherheitsnachweis für den Normalbetrieb und für Störfälle. Grenzwerte für die Strahlenexposition des Betriebspersonals und von Einzelpersonen der Bevölkerung sowie das Minimierungsgebot müssen eingehalten werden. Insbesondere muss der Nachweis der Störfallsicherheit und der Langzeitsicherheit erbracht werden.

Gesonderte gesetzliche oder untergesetzliche Anforderungen für die Stilllegung von Altanlagen gibt es nicht. Der Sicherheitsnachweis ist dann erbracht, wenn die heutigen Anforderungen an die Stilllegung eines Endlagers erfüllt werden. Diese leiten sich ab aus Atomgesetz und Strahlenschutzverordnung, aus den Sicherheitskriterien für die Endlagerung radioaktiver Abfälle sowie die für den Planfeststellungsbeschluss des Endlagers Konrad von 2002 und den Stilllegungsplan ERA Morsleben zu Grunde gelegten Anforderungen, soweit diese den Stand von Wissenschaft und Technik repräsentieren.

Im Rahmen des Stilllegungsplanfeststellungsverfahrens muss nicht nachgewiesen werden, ob der Standort die heutigen Anforderungen an ein Endlager (z. B. die heutigen Sicherheitsanforderungen) erfüllt. Insoweit wirken die bestandskräftigen Einlagerungsgenehmigungen aus dem Zeitraum von 1967 bis 1975 über den Zeitpunkt der Befristung dieser Genehmigungen hinaus fort. Allerdings ist ein Widerruf der Genehmigungen nicht ausgeschlossen. Folge wäre eine Rechtspflicht zur Rückholung oder Umlagerung. Der Widerruf steht im Ermessen des NMU. Er wäre nur zweckmäßig, wenn sich Rückholung oder Umlagerung als vorzugswürdige Option herausstellen.

In Bezug auf die Standorteignung wird heute verlangt, dass das Risiko eines unbeherrschbaren Lösungszutritts in die offene Grube während der gesamten Betriebsphase, also bis zum Abschluss der Stilllegungsmaßnahmen praktisch ausgeschlossen ist. Dieser Nachweis kann für keine der Stilllegungsoptionen für die Schachtanlage Asse II erbracht werden. Zur Schadensvorsorge sind deshalb Maßnahmen zur Beherrschung von Lösungszutritten erforderlich, wie sie schon jetzt als Notfallmaßnahmen

vorgesehen sind. Die Unbeherrschbarkeit eines Lösungszutritts kann durch solche Maßnahmen nicht ausgeschlossen werden. Auch die Beherrschbarkeit im Sinne eines Nachweises der Einhaltung der Störfallplanungswerte ist derzeit nicht erbracht

Ein gleichwertiger Sicherheitsnachweis ist insoweit objektiv unmöglich und kann deshalb auch rechtlich nicht verlangt werden. Genehmigungsfähig ist danach bereits eine Option, durch die das Risiko (Eintrittswahrscheinlichkeit und/oder Schadenspotenzial) eines unbeherrschbaren Lösungszutritts im Rahmen des Möglichen reduziert wird.

Die Langzeitsicherheit ist nachgewiesen, wenn nach der Stilllegung die für den sicheren Einschluss von Anlagen geltenden Grenzwerte des § 47 StrlSchV, u. a. der Grenzwert der effektiven Dosis von 0,3 mSv/a eingehalten werden und gemäß § 6 Abs. 2 StrlSchV jede Strahlenexposition auch unterhalb der Grenzwerte unter Berücksichtigung aller Umstände des Einzelfalls so gering wie möglich gehalten wird (§ 5 StrlSchV).

## **Rückholung**

Die rechtliche Betrachtung der Stilllegungsvariante Rückholung macht es erforderlich, sich mit den einzelnen Schritten getrennt auseinanderzusetzen. Der erste Schritt der Variante „Rückholung“ ist die Bergung der Abfälle. Nach einer untertägigen Teilkonditionierung und dem anschließenden Transport in den übertägigen Bereich erfolgt in einem zweiten zu betrachtenden Schritt die Pufferlagerung der Abfälle am Standort und anschließend in einem weiteren Schritt die endgültige Konditionierung der Abfälle, deren Transport und Endlagerung in einem anderen Endlager.

Verfahrensrechtlich wird näher zu prüfen sein, ob die Konditionierungs- und Lagereinrichtungen gemeinsam mit der Stilllegung der Schachanlage (ggf. im Rahmen von Teilplanfeststellungen) oder in separaten Verfahren genehmigt werden müssen oder können. Die materiellen Anforderungen unterscheiden sich nicht wesentlich (s. o.).

Die Handhabungsvorgänge führen zu Strahlenexpositionen des Betriebspersonals und für Einzelpersonen der Bevölkerung. Es ist zu erwarten, dass die gesetzlichen Grenzwerte und das Minimierungsgebot außer im Falle eines unbeherrschbaren Lösungszutritts bis zum Abschluss der Stilllegung eingehalten werden können.

Das Risiko des Eintritts eines unbeherrschbaren Lösungszutritts verbleibt grundsätzlich für den gesamten Zeitraum bis zur vollständigen Rückholung, wird jedoch durch die Rückholung von Abfallgebinden kontinuierlich reduziert. Sofern die anderen Stilllegungsoptionen nicht mit einem geringeren Risiko behaftet sind, steht dies der Genehmigungsfähigkeit nicht entgegen.

Der Nachweis der Langzeitsicherheit der Schachanlage Asse II wird voraussichtlich zu erbringen sein, wenn die radioaktiven Abfälle zurückgeholt werden und lediglich die radioaktiven Stoffe in den bereits in den Tiefenaufschluss verbrachten Laugen sowie gegebenenfalls Kontaminationen in den Einlagerungskammern verbleiben.

Für das übertägige Zwischenlager auf dem Betriebsgelände der Schachanlage Asse II muss geprüft werden, ob während der Betriebszeit des Zwischenlagers Bergsenkungen oder Tagesbrüche ausgeschlossen werden können. Ist dies nicht der Fall, muss das Lager hiergegen ausgelegt sein.

Die Errichtung eines Zwischenlagers und einer Konditionierungsanlage unterfallen Nr. 11.4 der Anlage 1 zum UVPG. Damit ist eine allgemeine Vorprüfung des Einzelfalles nach § 3 c Abs. 1 Satz 2 UVPG erforderlich, soweit Errichtung und Betrieb dieser Anlagen nicht ohnehin Gegenstand eines einheitlichen Stilllegungsplanfeststellungsverfahrens sind. In Abhängigkeit von Größe und Lage der Anlagen erscheint eine UVP-Pflicht der separaten Vorhaben wahrscheinlich.

Fazit: Die Option Rückholung ist grundsätzlich atomrechtlich genehmigungsfähig. Sie umfasst jedoch mehrere schon für sich atomrechtlich genehmigungsbedürftige Einzelvorgänge (unter- und übertägige

Lagerung, Konditionierung, Beförderung, Endlagerung im Zielendlager) mit dem jeweils erforderlichen Zeitbedarf

## **Umlagerung**

Die rechtliche Betrachtung der Stilllegungsvariante Umlagerung macht es erforderlich, sich mit den einzelnen Schritten getrennt auseinanderzusetzen. Der erste Schritt der Variante „Umlagerung“ ist die Bergung der Abfälle. Anschließend erfolgt in einem zweiten Schritt die Umverpackung und Teilkonditionierung und schließlich die erneute Endlagerung der Abfälle in neu aufgefahrenen tieferen Grubenbauen.

Verfahrensrechtlich wird näher zu prüfen sein, ob Errichtung und Betrieb der neuen Endlagerbereiche sowie der notwendigen Umverpackungs-, Teilkonditionierungs- und Lagereinrichtungen gemeinsam mit der Stilllegung der bisherigen Einlagerungsbereiche (ggf. im Rahmen von Teilplanfeststellungen) oder in einem separaten Verfahren planfestgestellt werden muss oder kann. Die materiellen Planfeststellungsvoraussetzungen unterscheiden sich nicht.

Die Handhabungsvorgänge führen zu Strahlenexpositionen des Betriebspersonals und für Einzelpersonen der Bevölkerung. Es ist zu erwarten, dass die gesetzlichen Grenzwerte und das Minimierungsgebot außer im Falle eines unbeherrschbaren Lösungszutritts bis zum Abschluss der Stilllegung eingehalten werden können.

Für die neu aufzufahrenden Endlagerbereiche ist zusätzlich nachzuweisen, dass die Anforderungen an die Eignung des Standorts, insbesondere im Hinblick auf den einschlusswirksamen Gebirgsbereich, eingehalten werden. Ob der Nachweis erbracht werden kann, ist unsicher. Prinzipiell kommen nur Einlagerungsbereiche unterhalb des bisherigen Grubenfeldes in Betracht. Da diese Bereiche nicht in die bisherige Erkundung einbezogen waren sind zunächst umfangreiche Erkundungsmaßnahmen durchzuführen, die die gebirgsmechanische Eignung der geplanten Einlagerungshohlräume bestätigen (ERCOSPLAN & TÜV NORD 2009).

Für die Option Umlagerung kommt ferner dem Verschluss der Strecken und Schächte zwischen dem neuen und dem bisherigen Einlagerungsbereichen eine besondere und für Endlager atypische Funktion zu. Nach der Machbarkeitsstudie Umlagerung ist ein langzeitsicherer Verschluss möglich und in Salzbergwerken bereits realisiert worden (ERCOSPLAN & TÜV NORD 2009). Hier wird ergänzend zumindest noch zu prüfen sein, ob zur Einhaltung der radiologischen Schutzziele zusätzliche Anforderungen erfüllt werden müssen und können.

Sicher genehmigungsfähig ist die Einlagerung in einen neuen Endlagerbereich nur dann, wenn die heutigen Anforderungen an ein Endlager erfüllt werden.

Die Option Umlagerung ist danach mit erheblichen Unsicherheiten in Bezug auf eine erfolgreiche Erkundung des neuen Endlagerbereiches verbunden. Hier liegt ein erhebliches genehmigungsrechtliches Risiko dieser Stilllegungsvariante.

Das Risiko des Eintritts eines unbeherrschbaren Lösungszutritts besteht für den gesamten Zeitraum bis zur vollständigen Umlagerung und dem langzeitsicheren Abschluss des neuen Endlagerbereiches bzw. (soweit relevantes radioaktives Inventar verbleibt) bis zum Abschluss der Stilllegungsmaßnahmen. Das Schadenspotenzial wird durch die Umlagerung von Abfallgebinden nur dann reduziert, wenn im Falle eines unbeherrschbaren Lösungszutritts hinreichend Zeit verbleibt, um ein effektives Abdichtbauwerk zwischen alten und neuen Einlagerungsbereichen zu errichten. Das ist derzeit nicht geklärt. Ist eine effektive Reduzierung des Schadenspotenzials schon während der Umlagerung nicht gewährleistet, bestehen Zweifel an der Genehmigungsfähigkeit.

Der Nachweis der Langzeitsicherheit der neu aufzufahrenden Einlagerungsbereiche muss noch erbracht werden. Die insoweit bestehenden Unsicherheiten überschneiden sich mit den oben genannten

Unsicherheiten hinsichtlich der Standorteignung und der Barrierewirkung der Verschlussbauwerke zwischen altem und neuem Bereich.

Fazit: Hinsichtlich der atomrechtlichen Genehmigungsfähigkeit besteht bei der Option Umlagerung ein erhebliches genehmigungsrechtliches Risiko, da nicht sicher ist, dass ein langzeitsicherer Einlagerungsbereich in 1.200 m Teufe aufgefunden werden kann. Schließlich ist zweifelhaft, ob die erforderliche Vorsorge gegen einen unbeherrschbaren Lösungszutritt erbracht werden kann. Das hängt davon ab, ob die umgelagerten Abfälle im Ereignisfalle noch hinreichend sicher eingeschlossen werden können, so dass das Schadenspotenzial bereits während der Umlagerung reduziert wird.

## **Vollverfüllung**

Bei der Stilllegungsoption Vollverfüllung verbleiben die radioaktiven Abfälle am jetzigen Ort. Es ist kein Hantieren mit den Abfällen, kein Eindringen in die Einlagerungskammern (abgesehen vom Stoßen von Bohrungen in den Firstbereich zum Einbringen von Verfüllmaterialien) und kein Auffahren von größeren Hohlräumen vorgesehen.

Verfahrensrechtliche Unsicherheiten bestehen insoweit nicht. Strahlenexpositionen für Betriebspersonal und die Bevölkerung während des Betriebes werden weitestgehend vermieden.

Das Risiko des Eintritts eines unbeherrschbaren Lösungszutritts besteht für den gesamten Zeitraum bis zum Abschluss der Stilllegungsmaßnahmen. Das Schadenspotenzial wird jedoch durch die Verfüllung von Anfang an reduziert.

Der Nachweis der Langzeitsicherheit ist derzeit nicht erbracht. Für das Referenzmodell HMGU-Schließungskonzept (HMGU 2008) liegt ein Langzeitsicherheitsnachweis vor, der allerdings seitens des NMU nicht abschließend geprüft wurde. Die Option Vollverfüllung gegenüber dem HMGU-Schließungskonzept lässt eine weitere Reduzierung der Strahlenexposition erwarten, ist aber mit zusätzlichen Unsicherheiten behaftet. Da die Einhaltung der Grenzwerte des § 47 StrlSchV nicht mit der bisher für Langzeitsicherheitsnachweise erreichten Sicherheit prognostizierbar ist, besteht ein genehmigungsrechtliches Risiko.

## **Bergrecht: Genehmigungsbedürftigkeit**

Bergrechtlich ist die Planfeststellung eines Rahmenbetriebsplans erforderlich, wenn eine Maßnahme als Änderung des bestehenden Vorhabens UVP-pflichtig ist (§ 52 Abs. 2a BBergG). Hier hat das atomrechtliche Planfeststellungsverfahren Vorrang (§ 57b Abs. 3 Satz 2 BBergG), der Rahmenbetriebsplan wird im atomrechtlichen Planfeststellungsbeschluss konzentriert.

Hinsichtlich erforderlicher bergrechtlicher Haupt- und Sonderbetriebsplanzulassungen kommt dem atomrechtlichen Planfeststellungsbeschluss keine Konzentrationswirkung zu (§ 9b Abs. 5 Nr. 3 AtG). Die Betriebsplanpflicht für die Stilllegung der Schachanlage Asse II folgt aus § 51 Abs. 1 Satz 1 BBergG bzw. – für den Abschlussbetriebsplan – aus § 53 BBergG. Es sind rechtzeitig Hauptbetriebspläne i. S. d. § 52 Abs. 1 Satz 1 BBergG und ggf. entsprechende Sonderbetriebspläne beim zuständigen Bergamt (LBEG) gemäß § 54 Abs. 1 BBergG zur Zulassung einzureichen.

Einzelne Verfüllmaßnahmen, die die Standsicherheit und Prognosesicherheit erhöhen, können allein aufgrund bergrechtlicher Betriebsplanzulassungen (auch ohne Planfeststellung) vorgenommen werden, wenn ihnen keine atomrechtliche Relevanz zukommt und sie nicht UVP-pflichtig sind.



## **Bergrecht: Genehmigungsfähigkeit**

### **Rückholung**

Die Zulassung der Betriebspläne richtet sich nach § 55 BBergG. Es sind keine Anhaltspunkte ersichtlich, an denen eine Betriebsplanzulassung für die Stilllegungsoption „Rückholung“ scheitern könnte.

### **Umlagerung**

Die Zulassung der Betriebspläne richtet sich nach § 55 BBergG. Es sind keine Anhaltspunkte ersichtlich, an denen eine Betriebsplanzulassung für die Stilllegungsoption „Umlagerung“ scheitern könnte.

### **Vollverfüllung**

Die Zulassung der Betriebspläne richtet sich nach § 55 BBergG. Es sind keine Anhaltspunkte ersichtlich, an denen eine Betriebsplanzulassung für die Stilllegungsoption „Vollverfüllung“ scheitern könnte.

## **Wasserrecht: Genehmigungsbedürftigkeit**

Nach dem Wasserrecht kommt dem atomrechtlichen Planfeststellungsbeschluss hinsichtlich erforderlicher wasserrechtlicher Erlaubnisse keine Konzentrationswirkung zu. Die Erlaubnispflicht folgt für die Stilllegungsoptionen „Umlagerung“ und „Vollverfüllung“ aus § 3 Abs. 1 i. V. m. § 4 Abs. 2 Nr. 2 NWG. Bei beiden Stilllegungsoptionen dürfte es sich nämlich um Maßnahmen handeln, die geeignet sind, dauernd oder in einem nicht nur unerheblichen Ausmaß schädliche Veränderungen der physikalischen, chemischen oder biologischen Beschaffenheit des Wassers herbeizuführen, und somit um erlaubnispflichtige Benutzungen i. S. d. § 3 Abs. 1 NWG.

Es wird zu prüfen sein, ob es sich bei der Stilllegungsoption „Rückholung“ ebenfalls um eine Maßnahme handelt, die geeignet ist, dauernd oder in einem nicht nur unerheblichen Ausmaß schädliche Veränderungen der physikalischen, chemischen oder biologischen Beschaffenheit des Wassers herbeizuführen, und somit um eine erlaubnispflichtige Benutzung i. S. d. § 3 Abs. 1 NWG. Sollte dies der Fall sein, muss auch bei dieser Stilllegungsvariante eine entsprechende wasserrechtliche Erlaubnis für das Endlager Asse beantragt werden.

## **Wasserrecht: Genehmigungsfähigkeit**

Die Genehmigungsfähigkeit richtet sich ab 01.03.2010 nach dem neuen WHG 2010. Danach setzt die wasserrechtliche Erlaubnis voraus, dass keine schädlichen Gewässeränderungen zu erwarten sind (§ 12 Abs. 1 Nr. 1 WHG 2010). Stoffe dürfen nur in das Grundwasser eingebracht und nur gelagert oder abgelagert werden, wenn eine nachteilige Veränderung der Grundwasserbeschaffenheit nicht zu besorgen ist (§ 48 WHG 2010). Derzeit wird eine Novellierung der Grundwasserverordnung vorbereitet, in der die nachteilige Veränderung der Grundwasserbeschaffenheit und die Zulässigkeit bestimmter Schadstoffeinträge näher konkretisiert werden sollen. Weitere Anforderungen können aus der Trinkwasserverordnung abgeleitet werden.

Sind die Genehmigungsvoraussetzungen erfüllt, steht die Erteilung der Erlaubnis im pflichtgemäßen Bewirtschaftungsermessen der zuständigen Behörde (§ 12 Abs. 2 WHG 2010).

## **Rückholung**

Die Genehmigungsfähigkeit richtet sich jeweils insbesondere danach, ob eine nachteilige Veränderung der Grundwasserbeschaffenheit langfristig ausgeschlossen werden kann. Dies wäre sowohl für das Endlager Asse als auch für das Zielendlager nachzuweisen. Anhaltspunkte, die der Erlaubnisfähigkeit entgegenstehen könnten, sind für das Endlager Asse nicht ersichtlich. Für das Zielendlager kann diese Frage derzeit nicht beantwortet werden.

## **Umlagerung**

Inwiefern eine solche nachteilige Veränderung bei der Stilllegungsoption Umlagerung langfristig ausgeschlossen werden kann, kann nach derzeitigem Kenntnisstand nicht beurteilt werden. Umfangreiche Erkundungsmaßnahmen müssten erst den Nachweis erbringen, dass eine negative Beeinträchtigung ausgeschlossen werden kann.

Insoweit besteht sowohl in zeitlicher als auch in genehmigungsrechtlicher Hinsicht – entsprechend den Ausführungen zur atomrechtlichen Genehmigungsfähigkeit - ein gewisses Risiko.

## **Vollverfüllung**

Für die Stilllegungsoption Vollverfüllung ist zu prüfen, ob alle bisher geltenden wasserrechtlich relevanten Grenzwerte eingehalten werden können. Zu prüfen bleibt auch, ob durch die neue Grundwasserverordnung strengere Anforderungen zu erwarten sind. Grundsätzlich folgen die wasserrechtlichen Nachweise denen zur radiologischen Langzeitsicherheit.

## **Weitere Rechtsgebiete: Baurecht und Naturschutzrecht**

### **Rückholung**

Die Stilllegungsvariante Rückholung beinhaltet den übertägigen Bau einer kerntechnischen Anlage (Zwischenlager und Konditionierungsanlage). Hier sind sowohl die Belange des Raumordnungsrechts als auch des Bauplanungsrechts zu berücksichtigen. Ein Bebauungsplan, der das Gebiet der Schachanlage Asse II beinhaltet, existiert nicht. Der Flächennutzungsplan der Samtgemeinde Asse aus dem Jahre 1979, in dem seither an der Darstellung der fraglichen Fläche keine Änderung vorgenommen wurde, weist die Schachanlage Asse II als „ca. 9,2 ha großes Sondergebiet für eine Lagerung von radioaktiven Abfällen in einer Forschungs- und Versuchsanlage zur Entwicklung und großtechnischen Langzeiterprobung von Verfahren und Anlagen zur sicheren Einlagerung radioaktiver Abfälle“ aus. Insoweit ist – auch in Abhängigkeit von der benötigten Lagerkapazität – zu klären, ob und in welchem Umfang diese Festsetzung auch eine Lagerung und einen sonstigen Umgang mit radioaktiven Stoffen erlaubt. Schon der bisherige Betrieb beschränkte sich nicht nur auf die untertägige Lagerung der Abfälle, sondern schloss zumindest den für Forschungsvorhaben relevanten Betrieb ein.

Soweit die Errichtung der Lagerhalle und der Konditionierungsanlage den Darstellungen des Flächennutzungsplans widersprechen, muss sich das BfS wegen veränderter Sachlage mit der Gemeinde ins Benehmen setzen (§ 7 Satz 3 BauGB). Kann ein Einvernehmen nicht erreicht werden, kann das BfS dem Flächennutzungsplan widersprechen, wenn die Belange der Stilllegung der Schachanlage Asse II die städtebaulichen Belange des Flächennutzungsplans nicht nur unwesentlich überwiegen (§ 7 Sätze 4 und 5 BauGB). In diesem Fall kann der Flächennutzungsplan durch den Planfeststellungsbeschluss nach Maßgabe des Fachplanungsprivilegs nach § 38 BauGB geändert werden, wenn die Gemeinde beteiligt wird.

Unter naturschutzrechtlichen Aspekten wäre zu prüfen, ob und ggf. wo die Konditionierungsanlage mit den Lagern in dem bestehenden Landschaftsschutzgebiet (LSG) sowie dem angrenzenden FFH-Gebiet gebaut werden dürfte. Sofern LSG und FFH-Gebiet betroffen sind, besteht ein Genehmigungsrisiko.

### **Umlagerung**

Hinsichtlich des Baurechts lässt sich bei der Option der Umlagerung nicht erkennen, dass genehmigungspflichtige Bauvorhaben notwendig sind.

Unter naturschutzrechtlichen Aspekten wäre zu prüfen, ob die Salzhalde in dem umgebenden Landschaftsschutzgebiet (LSG) sowie dem angrenzenden FFH-Gebiet errichtet werden dürfte.

### **Vollverfüllung**

Hinsichtlich des Bau- und Naturschutzrechts lässt sich bei der Option der Vollverfüllung nicht erkennen, dass genehmigungspflichtige Bauvorhaben notwendig sind.

## **1.4.2.2 Vorgezogene Gefahrenabwehrmaßnahmen**

Nach Berg- und Wasserrecht können Maßnahmen, die an sich betriebsplan- bzw. erlaubnispflichtig sind, ausnahmsweise auch ohne Erlaubnis oder Betriebsplan durchgeführt werden, wenn dies zur Abwehr von Gefahren geboten ist. Das Atomrecht trifft hierzu keine ausdrückliche Regelung. Dennoch ist davon auszugehen, dass auch im Atomrecht der allgemeine Rechtsgrundsatz des rechtfertigenden Notstandes anwendbar ist.

Zu beachten ist, dass vorgezogene Maßnahmen erst solche sind, die unmittelbar der jeweiligen Genehmigungspflicht unterfallen. Nicht genehmigungspflichtige Vorbereitungsmaßnahmen (z. B. Planungen) sind ordnungsrechtlich ohne weiteres zulässig.

Die Durchführung vorgezogener Gefahrenabwehrmaßnahmen ist stets mit einem rechtlichen Risiko behaftet, da die Durchführung genehmigungspflichtiger Maßnahmen ohne Genehmigung in aller Regel ordnungs- und strafrechtlich sanktioniert wird. Liegt eine behördliche Genehmigung nicht vor, kann diese auch keine rechtfertigende Wirkung entfalten. Vermeidbare Fehleinschätzungen können deshalb unmittelbar ordnungs- und strafrechtliche Konsequenzen haben.

### **Atomrechtliche Gefahrenabwehr**

Nach dem allgemeinen Rechtsgrundsatz des rechtfertigenden Notstandes sind an sich planfeststellungs- oder genehmigungspflichtige Maßnahmen ausnahmsweise ohne bzw. vor Planfeststellung oder Genehmigung rechtmäßig, soweit dies zur Abwehr einer gegenwärtigen, nicht anders abwendbaren Gefahr für ein rechtlich geschütztes Interesse erforderlich ist und das geschützte Interesse gegenüber dem beeinträchtigten Interesse wesentlich überwiegt (§ 228 BGB, § 34 StGB und § 16 OWiG).

Rechtmäßig sind damit ausnahmsweise nur die vorgezogene Durchführung der zur Gefahrenabwehr erforderlichen Maßnahmen. Im Übrigen bleibt die Planfeststellungs- bzw. Genehmigungspflicht unberührt. Damit wird das BfS nicht generell von der Durchführung des Verfahrens befreit, vielmehr ist es parallel bzw. nachlaufend durchzuführen. Insbesondere muss planfestgestellt werden, ob der nach Durchführung der vorgezogenen Maßnahmen entstandene Zustand so belassen werden darf oder ob und gegebenenfalls welche weiteren Maßnahmen erforderlich sind.

Für die Durchführung atomrechtlicher Gefahrenabwehrmaßnahmen ist in formeller Hinsicht im Allgemeinen eine ausdrückliche Anordnung nach § 19 Abs. 3 AtG oder, falls die Maßnahme auch ohne Anordnung freiwillig durchgeführt wird, eine ausdrückliche Duldung der zuständigen Aufsichtsbehörde erforderlich.

Der Betrieb der Schachanlage Asse II unterfällt wie jeder Endlagerbetrieb allerdings nicht der staatlichen Aufsicht der Landesbehörden, sondern der Eigenüberwachung des Bundes (§ 57b Abs. 1 Satz 5 2. Halbsatz, der § 19 i. V. m. § 24 AtG für unanwendbar erklärt; BVerwGE 105, 6, 16; OVG Magdeburg, NVwZ-RR 1996, 75, 76, jeweils zum ERA Morsleben). Das BfS hat zur effektiven Eigenüberwachung die unmittelbar der Vizepräsidentin unterstehende Organisationseinheit Endlagerüberwachung (EÜ) eingerichtet und mit Befugnissen wie denjenigen einer atomrechtlichen Aufsichtsbehörde (§ 19 Abs. 3 AtG analog) ausgestattet. Da das BfS zudem der Rechts- und Fachaufsicht des BMU untersteht, muss die Durchführung vorgezogener Gefahrenabwehrmaßnahmen von EÜ und vom BMU geduldet werden.

Eine gegenwärtige, nicht anders abwendbare Gefahr für ein rechtlich geschütztes Interesse (Notstandslage) ergibt sich aus dem Risiko eines unbeherrschbaren Lösungszutritts. Rechtlich geschütztes Interesse ist jedes Rechtsgut, also auch der sichere Betrieb der Schachanlage Asse II.

Eine darüber hinausgehende konkrete Gefahr, also eine Sachlage, bei der die hinreichende Wahrscheinlichkeit besteht, dass in absehbarer Zeit ein Schaden für Leben, Gesundheit oder Sachgüter eintritt, ist nicht erforderlich. Für das Notstandsrecht ist anerkannt, dass auch Rechtsgüter der Allgemeinheit bei nur abstrakten Gefahren notstandsfähig sind (Zieschang, in: Leipziger Kommentar zum StGB, 2006, § 34 Rn. 23 und 26, vgl. OLG Koblenz, NJW 1963, 1991). Ein geringes Gewicht der jeweils betroffenen Rechtsgüter und ein geringer Grad der drohenden Gefahren schließen eine Notstandslage nicht aus, sondern sind im Rahmen der gebotenen Interessenabwägung zu berücksichtigen.

Der den gesetzlichen Anforderungen an ein Endlager entsprechende sichere Betrieb der Schachanlage Asse II ist bereits jetzt nicht gewährleistet. Die nach dem Stand von Wissenschaft und Technik gebotene Schadensvorsorge ist nicht erbracht, weil ein unbeherrschbarer Lösungszutritt nicht sicher ausgeschlossen werden kann und im Schadensfall nach den einschlägigen Berechnungen mit Strahlenexpositionen oberhalb der Störfallplanungswerte gerechnet werden müsste (vgl. zu diesem Risiko bei den Stilllegungsoptionen bereits oben). Damit liegt bereits ein rechtlich relevanter Schaden vor. Die Gefahr für den sicheren Betrieb ist nicht nur gegenwärtig, sondern hat sich bereits verwirklicht.

Gefahrenabwehrmaßnahmen sind auch bei vorliegender Notstandslage nur zulässig, wenn das geschützte Interesse das beeinträchtigte Interesse wesentlich überwiegt.

Davon ist auszugehen, wenn im Falle vorgezogener Maßnahmen lediglich formale Anforderungen verletzt sind, die materielle Rechtmäßigkeit und damit Planfeststellungsfähigkeit der Maßnahmen aber feststeht.

Zulässig sind damit zunächst vorgezogene Maßnahmen, die keine oder vernachlässigbare Auswirkungen auf die endgültig planfestzustellende Stilllegungsoption haben. So wäre es durchaus denkbar, unverzüglich zumindest Teile der Schachanlage zu verfüllen, um so die Stabilität des Bergwerks zu fördern und zumindest Zeit zu gewinnen für die Planung weiterer Maßnahmen. Technische Einrichtungen zur Verfüllung von Hohlräumen stehen dem Vernehmen nach bereits zur Verfügung. Zu prüfen wäre hier zunächst, ob bereits eine Verfüllung von Hohlräumen, in denen keine radioaktiven Abfälle lagern, die mit einem unbeherrschbaren Lösungszutritt verbundenen Risiken verringern kann.

Soweit die angestrebte Stilllegungsoption und deren Planfeststellungsfähigkeit nicht feststeht, werden durch vorgezogene Maßnahmen nicht nur formale Anforderungen verletzt. Vielmehr droht eine Beeinträchtigung der materiellen Funktion des Planfeststellungsverfahrens, die Einhaltung der gesetzlichen Anforderungen vor Beginn der Maßnahmen sorgfältig zu prüfen, insbesondere mit umfassender Behörden- und Öffentlichkeitsbeteiligung.

Ob und inwieweit vorgezogene Maßnahmen zulässig sind, durch die eine der Stilllegungsoptionen unmöglich oder erschwert wird, muss unter Beachtung der aktuellen Situation jeweils im Rahmen einer Interessenabwägung geprüft werden. Maßgeblich ist auf der einen Seite die Einschätzung der Risiken des

unbeherrschbaren Lösungszutritts und des Beitrags, den die vorgezogene Maßnahme zur Risikominimierung leistet. Auf der anderen Seite ist zu prüfen, ob und inwieweit die Planfeststellungsfähigkeit der verbleibenden Stilllegungsoptionen sichergestellt ist.

Damit sind vorgezogene Maßnahmen um so eher zulässig, je weiter der Optionenvergleich und das Planfeststellungsverfahren vorangekommen ist und je mehr sich die Planfeststellungsreife der favorisierten Option abzeichnet oder gewährleistet ist.

### **Bergrechtliche Gefahrenabwehr**

Nach dem Bergrecht dürfen betriebsplanpflichtige Maßnahmen ausnahmsweise vor der Betriebsplanzulassung vorgenommen werden, wenn eine Gefahr für Leben oder Gesundheit Beschäftigter oder Dritter nur durch eine sofortige Abweichung von einem zugelassenen Betriebsplan oder durch sofortige, auf die endgültige Einstellung gerichtete Maßnahmen abgewendet werden kann (§ 57 Abs. 1 BBergG). Entsprechendes gilt für Abweichungen von einem zugelassenen Betriebsplan zur Abwendung von Gefahren für bedeutende Sachgüter infolge unvorhergesehener Ereignisse (§ 57 Abs. 2 BBergG). Notwendig ist eine ausdrückliche Anordnung des verantwortlichen Bergunternehmers; er muss das Bergamt unverzüglich über die Abweichung informieren und die Betriebsplanzulassung nachholen (§ 57 Abs. 1 und 3 BBergG).

Auch im Bergrecht kommt eine behördliche Anordnung vorgezogener Maßnahmen in Betracht., soweit dies zur Durchführung bergrechtlicher Vorschriften oder zum Schutz von Leben, Gesundheit und Sachgütern Beschäftigter oder Dritter erforderlich ist (§ 71 Abs. 1 BBergG). Zuständig ist das LBEG. Soweit möglich, hat eine betriebsplanmäßige Regelung oder eine nachträgliche Auflage zu einem zugelassenen Betriebsplan (§ 56 Abs. 1 Satz 2 BBergG) Vorrang gegenüber einer Anordnung nach § 71 BBergG (OVG Bautzen, Urteil v. 31.01.2001, Az.: 1 B 478/99, NuR 2001, 700 ff.; Boldt/Weller, BBergG, § 71, Rn. 4).

Vorgezogene Maßnahmen sind als Gefahrenabwehrmaßnahme voraussichtlich nur erforderlich, soweit sie UVP-pflichtig und deshalb auch bergrechtlich planfeststellungsbedürftig sind. Insoweit erstreckt sich die Rechtfertigung für atomrechtlich vorgezogene Maßnahmen auch auf die bergrechtlichen Maßnahmen.

### **Wasserrechtliche Gefahrenabwehr**

Nach dem Wasserrecht bedürfen Gewässerbenutzungen keiner Erlaubnis, wenn sie der Abwehr einer gegenwärtigen Gefahr für die öffentliche Sicherheit dienen, sofern der drohende Schaden schwerer wiegt als die mit der Benutzung verbundenen nachteiligen Veränderungen von Gewässereigenschaften. Die zuständige Behörde ist unverzüglich über die Benutzung zu unterrichten (§ 8 Abs. 2 WHG 2010). Damit wird in Anlehnung an landesrechtliche Vorschriften der auch bislang schon anwendbare Grundsatz „Not kennt kein Gebot“ bundesgesetzlich konkretisiert (so die Gesetzesbegründung, BT-Drs. 16/12275, S. 55). Auch hier sind wasserbehördliche Anordnungen möglich (§ 100 Abs. 1 WHG 2010).

### **Gefahrenabwehrrechtliche Charakterisierung der Optionen**

Für alle Optionen gilt, dass für die Interessenabwägung letztlich die technisch-naturwissenschaftliche Risikoeinschätzung von entscheidender Bedeutung ist. Die maßgeblichen Gesichtspunkte können sich im Lauf der Zeit ändern, so dass jeweils neu zu entscheiden ist, ob und welche vorgezogenen Maßnahmen durchgeführt werden sollen.

## **Vorgezogene Rückholung**

Ein vorgezogener Beginn der Rückholung radioaktiver Abfälle scheint in Bezug auf die Stilllegung der Schachanlage Asse II zu rechtfertigen zu sein.

Vorgezogene Maßnahmen sind nur zulässig, soweit sie zur Gefahrenabwehr erforderlich sind. Sobald die Abfälle über Tage gelagert sind, sind die dadurch bedingten Risiken der Freisetzung radioaktiver Stoffe bei einem unbeherrschbaren Lösungszutritt abgewehrt. Die vorgesehene übertägige Konditionierung zu endlagerfähigen Gebinden wäre danach allenfalls dann als vorgezogene Gefahrenabwehrmaßnahme zulässig, wenn auf andere Weise eine gesetzlichen Anforderungen entsprechende Lagerung nicht sichergestellt werden könnte. Das wäre denkbar, wenn und soweit eine Zwischenlagerung aller Abfälle bis zur Planfeststellung/Genehmigung einer Konditionierungsanlage mit atom-, bauplanungs- oder naturschutzrechtlichen Anforderungen nicht vereinbar wäre.

Problematisch ist der vorgezogene Beginn der Rückholung bezüglich der notwendigen Einrichtungen und Handhabungen. Aus dem Überwiegen des Interesses am vorgezogenen Beginn gegenüber dem Interesse an der vorherigen Planfeststellung folgt nicht ohne weiteres, dass auch vor Abschluss eines bergrechtlichen Betriebsplanverfahrens oder eines etwaigen bauaufsichtlichen Zustimmungsverfahrens nach § 82 NBauO begonnen werden und auf die Durchführung eines atom- oder strahlenschutzrechtlichen Genehmigungsverfahrens für die jeweiligen Teilschritte verzichtet werden darf. Da für vorgezogene Maßnahmen kein Planfeststellungsbeschluss Konzentrationswirkung entfaltet, muss für das jeweilige Fachrecht einzeln in Abstimmung mit der jeweils zuständigen Aufsichtsbehörde entschieden werden, ob und inwieweit auch hier vorgezogene Maßnahmen zulässig sind.

## **Vorgezogene Umlagerung**

Die Option Umlagerung würde zunächst umfangreiche Erkundungsmaßnahmen bezüglich des neuen Einlagerungsbereiches erforderlich machen.

Ob und inwieweit nach Abschluss der Erkundung ein vorgezogener Beginn der Umlagerung möglich ist, kann zum jetzigen Zeitpunkt nicht beurteilt werden. Ein überwiegendes Interesse an einer vorgezogenen Umlagerung scheint nur vorstellbar, wenn die Planfeststellungsfähigkeit des neuen Einlagerungsbereiches nahezu sicher ist. Hierzu ist der erfolgreiche Abschluss der Erkundung notwendig.

## **Vorgezogene Vollverfüllung**

Ein vorgezogener Beginn der Vollverfüllung würde, soweit die Einlagerungskammern betroffen sind, die Realisierung der Optionen Rückholung und Umlagerung erschweren. Mit Verfüllung der Strecken und Schächte wären diese Optionen praktisch voraussichtlich obsolet.

Insoweit erscheint ein vorgezogener Beginn erst zulässig, wenn das BfS im Falle der Entscheidung für diese Option deren Planfeststellungsfähigkeit sichergestellt hat.

Die vorgezogene Vollverfüllung als Gefahrenabwehrmaßnahme wäre zu rechtfertigen.

### 1.4.3 Weitere Umweltauswirkungen

Durch alle drei Stilllegungsoptionen werden am Endlagerstandort Auswirkungen auf die Umwelt, wie z. B. Lärm und Luftschadstoffimmissionen, verursacht. Von den Immissionen sind in der Standortregion die Schutzgüter (Menschen, einschließlich der menschlichen Gesundheit, Pflanzen, Tiere und die biologische Vielfalt, Boden, Wasser, Luft, Klima, Landschaft sowie Kultur- und Sachgüter) betroffen.

Nachfolgend werden die zu erwartenden weiteren Umweltauswirkungen bei der Stilllegung der Schachanlage Asse II unter Berücksichtigung der bei den einzelnen Optionen maßgeblichen spezifischen Merkmale dargestellt. Für die hier betrachteten konventionellen Umweltauswirkungen wird im Hinblick auf ihre Erheblichkeit eine qualitative Bewertung der wichtigsten Wirkfaktoren unter Hinzuziehung quantitativer Merkmale soweit vorhanden vorgenommen. Eine nachfolgende Bewertung hat grundsätzlich im Hinblick auf eine wirksame Umweltvorsorge zu erfolgen.

Für die Anwendung der Wirkfaktoren sind in den vorliegenden Unterlagen nur teilweise Informationen enthalten, um eine qualitative Bewertung hinsichtlich vernachlässigbarer, zu erwartender bzw. zu erwartender erheblicher Auswirkungen vorzunehmen. Eine konkrete Betrachtung der weiteren Umweltauswirkungen zu den drei Stilllegungsoptionen mit quantitativen Angaben wird in keiner der Unterlagen AF-Colenco AG et al. (2009), DMT & TÜV NORD (2009) und ERCOSPLAN & TÜV NORD (2009) vorgenommen. Die Bewertung der Umweltauswirkungen beruht in erster Linie auf den Erfahrungen im Planfeststellungsverfahren zur Stilllegung des Endlagers für radioaktive Abfälle Morsleben und den Prüfungen zur Umweltverträglichkeit beim Bau der Zwischenlager für abgebrannte Brennelemente. Für eine Abschätzung der möglichen Umweltauswirkungen wird auf den Bericht Abia (2009) zurückgegriffen, der den Ist-Zustand hinsichtlich Flora und Fauna in der Umgebung der Schachanlage Asse II beschreibt.

Die zur Bewertung der weiteren Umweltauswirkungen herangezogenen Wirkfaktoren weichen formal von den im Kriterienbericht genannten Bewertungsgrößen ab. Inhaltlich geben sie aber diese wieder und ergänzen sie. Die herangezogenen Wirkfaktoren entsprechen weitgehend den in der Unterlage von (Öko-Inst. & GRS 2008) für Endlager genannten Wirkfaktoren, die auch bei der Bewertung der Umweltauswirkungen im Rahmen einer Umweltverträglichkeitsstudie zum Einsatz kommen würden. Insgesamt wurden elf konventionelle Wirkfaktoren bei der Bewertung betrachtet. Die radiologischen Umweltauswirkungen werden in den Beurteilungsfeldern „Sicherheit in der Betriebsphase“, „Umweltauswirkungen bei unbeherrschbarem Lösungszutritt“ und „Vorläufige Langzeitsicherheitseinschätzungen“ betrachtet.

Bei der nachfolgenden Darstellung der Wirkfaktoren handelt es sich vorwiegend um eine verbal-argumentative Abwägung und Bewertung der Umweltrelevanz. Sofern quantitative Angaben zu spezifischen Maßnahmen in den Unterlagen enthalten sind, wurden sie in die Bewertung einbezogen. Weiterhin wurden soweit möglich, fehlende, aber für die Bewertung der Umweltauswirkungen relevante quantitative Angaben von bestehenden Vorhaben abgeleitet (z. B. Flächeninanspruchnahme bei der Option Rückholung).

Die Datengrundlage für das Kriterium „Weitere Umweltauswirkungen“ ist mit großen Unsicherheiten behaftet, da entsprechende Erhebungen erst im Rahmen einer Umweltverträglichkeitsstudie auf Grundlage konkreter Planungen vorgenommen werden. Für eine verbal-argumentative vergleichende Abwägung der Stilllegungsoptionen reichen die vorliegenden qualitativen Einschätzungen aus.

#### 1.4.3.1 Wirkfaktor „Flächeninanspruchnahme“

Flächenversiegelungen führen zu Auswirkungen auf den Boden, welcher dadurch vollständig oder teilweise seine Funktion (Puffer, Lebensraum, Wasserhaushalt) verliert. Auswirkungen auf das Grundwasser sind möglich, da eine Grundwasserneubildung über den Regen durch die Versiegelung einer Fläche unterbunden und gleichzeitig der Oberflächenabfluss verändert wird. Eine unmittelbare Betroffenheit von Tieren und

Pflanzen besteht bei Flächenversiegelungen stets, da mit der Versiegelung die jeweiligen Lebensräume verloren gehen (Öko-Inst. & GRS 2008).

## **Rückholung**

In DMT & TÜV NORD (2009) werden die Gründe dargelegt, die eine Transportbereitstellung der Gebinde über Tage erforderlich machen. Dazu zählen u. a., dass die Gebinde nicht sofort nach der Rückholung konditioniert werden können, die Genehmigung für die Verbringung in ein Endlager vorliegen muss und die Rückholung und Konditionierung der Asse-Gebinde evtl. schneller ablaufen könnte als die Annahme von Gebinden im Endlager möglich ist.

Der Bau einer Zwischenlagerhalle führt im Zuge der Errichtung von Gebäuden und Infrastrukturen zur dauerhaften Neuversiegelung großer Bodenflächen. Der Anteil der versiegelten Fläche für die Lagerhalle (Gebäudegrundfläche) wird auf mehr als 10.000 m<sup>2</sup> geschätzt. Ein genauer Wert geht aus der Unterlage DMT & TÜV NORD (2009) nicht hervor. Bereits auf Basis einer rein qualitativen Abschätzung stellt der Bau der Anlagen einen Eingriff in Natur und Landschaft dar, welcher Ausgleichs- und Ersatzmaßnahmen erfordern kann.

Unsicherheiten in der Bewertung dieses Wirkfaktors für die Option Rückholung liegen in der offenen Frage, ob auf dem derzeitigen Gelände der Schachanlage Asse II ausreichend Platz für den Bau der Gebäude für die Zwischenlagerhalle und der damit verbundenen Sicherheitsabstände bzw. Sicherungsanlagen vorhanden ist oder zusätzliche Flächen in Anspruch zu nehmen sind. Sollten Flächen in direkter Nachbarschaft bzw. angrenzend zum bestehenden Gebiet der Schachanlage nicht verfügbar sein, ist zudem ggf. von Transporten der rückgeholt Abfälle von der Schachanlage zur Lagerhalle auszugehen. Die mit der „Rückholung“ verbundenen Maßnahmen können sich dann verstärkt auch auf die Wirkfaktoren „Luftschadstoff- und Staubemissionen durch Fahrzeuge und Baumaschinen“, „Landschaftsbildveränderung“ und „Licht“ auswirken. Des Weiteren wird bei DMT & TÜV NORD (2009) nicht klar dargestellt, welche Behälter in einem übertägigen Eingangslager zum Einsatz kommen und ob diese ggf. stapelbar sind. Sollten sich die Behälter nicht für eine gestapelte Lagerung eignen, muss von einem erhöhten Flächenbedarf gegenüber der Lagerung mit stapelbaren Behältern für die Zwischenlagerhalle ausgegangen werden. Das vollständige Ausmaß der Flächenversiegelung kann somit erst bei konkreter Planung der notwendigen Maßnahmen ermittelt werden. Für den Vergleich von Stilllegungsoptionen reicht jedoch die qualitative Aussage aus, dass mit der Option Rückholung eine deutliche Flächeninanspruchnahme verbunden ist.

## **Umlagerung**

Für die Option Umlagerung ist, bedingt durch das Anfallen von Haufwerk während des Teufens der Blindschächte und Auffahrens neuer untertägiger Einlagerungshohlräume, von der Anlage einer Salzhalde auszugehen. Die Salzhalde wird solange bestehen, bis das bei der Auffahrung neuer Hohlräume entnommene Salz bei der Stilllegung als Verfüllmaterial wieder eingebracht wird. Der für die Halde notwendige Flächenbedarf hängt vom untertägig aufgefahrenen Hohlraumvolumen ab. In (ERCOSPLAN & TÜV NORD 2009) wird abhängig von der betrachteten Sub-Variante eine Haufwerksmenge von min. 228.400 t bis max. 595.300 t bzw. ein entsprechendes Volumen von min. 163.600 m<sup>3</sup> bis max. 425.700 m<sup>3</sup> angegeben. Im Vergleich dazu umfasst die Halde Beendorf am Standort des Endlagers für radioaktive Abfälle Morsleben eine Fläche von ca. 20.000 m<sup>2</sup> mit einem Volumen von ca. 200.000 m<sup>3</sup> bzw. einem Gewicht von ca. 360.000 t. Am höchsten Punkt der Halde Beendorf misst sie einen Wert von 23 m. Übertragen auf die Planungen von (ERCOSPLAN & TÜV NORD 2009) ergibt sich daraus ein Flächenbedarf für die Salzhalde bei der Option „Umlagerung“ von min. 16.300 m<sup>2</sup> bis max. 43.000 m<sup>2</sup>. Eine Unsicherheit in der Bewertung liegt in der offenen Frage, an welcher Stelle die Salzhalde errichtet werden kann. Die Bewertung der Erheblichkeit der Maßnahme sowie eine Beeinflussung weiterer Wirkfaktoren, wie „Luftschadstoff- und Staubemissionen durch Fahrzeuge und Baumaschinen“ und „Landschaftsbildveränderung“, ist von dieser Standortfrage abhängig. Für den Vergleich von



Stilllegungsoptionen reicht jedoch die qualitative Aussage aus, dass mit der Option Umlagerung eine deutliche Flächeninanspruchnahme verbunden ist.

## **Vollverfüllung**

Aus gegenwärtiger Sicht ist für die Stilllegungsoption Vollverfüllung kein nennenswerter neuer Flächenbedarf erkennbar. Die notwendigen Baustoffanlagen zur Herstellung von Sorelbeton sind bereits installiert (AF-Colenco AG et al. 2009).

### **1.4.3.2 Wirkfaktor „Luftschadstoff- und Staubemissionen durch Fahrzeuge und Baumaschinen“**

Fahrzeuge und Baumaschinen erzeugen Staub- und Schadstoffemissionen (z. B. Stickoxide, Schwefeloxide und Ruß), die zu Umweltauswirkungen auf den Menschen (Anwohner der Transportwege), Tiere und Pflanzen führen können. Staub- und Schadstoffimmissionen wirken auf Menschen gesundheitsschädlich und können Tiere und Pflanzen schädigen und beeinträchtigen. Salzstaubimmissionen in den Boden, wie sie durch den Transport von Salzen entstehen können, können die Lebensraumfunktion des Bodens beeinträchtigen, langfristig zur Veränderung des Artenspektrums der betroffenen Flora führen und bei Eindringen in das Grundwasser zu dessen Versalzung führen (Öko-Inst. & GRS 2008).

Für die Bewertung der Auswirkungen von Luftschadstoffen und Staub durch Transporte sind die Anzahl der Transporte und der Abstand der Transportrouten zu den Schutzgütern zu betrachten. Eine Vorbelastung durch kraftfahrzeugbedingte Schadstoffkomponenten ist im Gebiet der Asse durch die Bundesstraße 79 gegeben.

Für alle drei Optionen gilt, dass während es Bergbaubetriebes unter Tage Fahrzeuge mit Verbrennungsmotoren eingesetzt werden, deren Abgase mit den Abwettern ins Freie geleitet werden.

## **Rückholung**

Bei der Option „Rückholung“ ist im Vorfeld mit einem deutlich höheren Transportaufkommen zu rechnen. Der erhöhte Transportbedarf ergibt sich aus den für den Bau der Zwischenlagerhalle zusätzlich angelieferten Baumaterialien. Hierbei kann es auch zu Spitzenbelastungen kommen, die jedoch nicht quantifiziert werden können.

Darüber hinaus müssen die Transporte zum Endlager berücksichtigt werden. Durch die Konditionierung werden gemäß DMT & TÜV NORD (2009) 13.101 Konrad-Container bei der Variante 3 anfallen. Dies führt zu einer Anzahl von 26.202 Transporten. Gegebenfalls reduziert sich das Transportaufkommen durch LKWs durch Verladung auf die Schiene

Sollte ein Zwischenlager oder eine Konditionierungsanlage auf oder am Betriebsgelände der Schachanlage nicht realisierbar sein, entstehen zusätzliche Transporte zu einem Zwischenlager oder einer externen Konditionierungsanlage.

## **Umlagerung**

Im Gutachten zur „Umlagerung“ (ERCOSPLAN & TÜV NORD 2009) werden keine qualitativen und quantitativen Angaben zum Einsatz oder den Bewegungen von Baustellenfahrzeugen gemacht.

Im Wesentlichen werden die Arbeiten für die Umlagerung unter Tage ausgeführt. Daher werden keine nennenswerten zusätzlichen Luftschadstoff- und Staubimmissionen durch Transporte erwartet.

Durch Neuauffahrungen wird Haldenmaterial anfallen. Ist es nicht möglich, eine Halde auf dem Betriebsgelände zu errichten, kommt es zu zusätzlichen Transporten.

### **Vollverfüllung**

Während der Betriebs- und Stilllegungsphase wird es zu Emissionen von konventionellen Luftschadstoffen kommen, die mit einer großen Baustelle verglichen werden können.

Für die Verfüllmaßnahmen nach dem Konzept der HMGU (2008) prognostiziert der TÜV Nord (2008) für die Kreisstraße 513 (Remlingen bis Schachanlage Asse II) 36 LKW Fahrten (40 t) pro Tag.

Ein ähnliches Verkehrsaufkommen ist auch für das Konzept der Vollverfüllung zu erwarten.

### **1.4.3.3 Wirkfaktor „Lärm durch Transporte und Baumaßnahmen“**

Lärm wird u. a. durch Kraftfahrzeuge, Baumaschinen, Sprengungen und Bohrarbeiten erzeugt. Insbesondere während der Nachtzeit sind Lärmbelastungen für Anwohner besonders gravierend, da zu dieser Zeit die bestehende Vorbelastung sehr niedrig ist. Empfindliche Tierarten, insbesondere Vögel, reagieren auf Lärm durch Stress und sind in ihrer Kommunikation beeinträchtigt (Öko-Inst. & GRS 2008).

### **Rückholung**

Im Gutachten zur Rückholung (DMT & TÜV NORD 2009) werden keine Angaben getroffen, die den Wirkfaktor Lärm durch Transporte und Baumaschinen quantifizieren lassen. Wie schon bei den Luftschadstoffen (vgl. Kap. 1.1.2) beschrieben, ist bei der Rückholung durch den Bau der Zwischenlagerhalle oder ggf. den Transport zu einer externen Konditionierungs- bzw. Zwischenlagerhalle sowie durch den Transport zum Endlager mit zusätzlichem Transportaufkommen über einen längeren Zeitraum zu rechnen. Damit verbunden ist auch eine erhöhte Lärmbelastung der Umgebung.

### **Umlagerung**

Im Wesentlichen werden die Arbeiten für die Umlagerung unter Tage ausgeführt (ERCOSPLAN & TÜV NORD 2009). Daher werden keine nennenswerten zusätzlichen Lärmimmissionen durch Transporte erwartet.

Durch Neuauffahrungen wird Haldenmaterial anfallen. Ist es nicht möglich, eine Halde auf dem Betriebsgelände zu errichten, kommt es zu zusätzlichen Transporten.

### **Vollverfüllung**

Während der Betriebs- und Stilllegungsphase wird es zu Lärmemissionen kommen, die mit einer großen Baustelle verglichen werden können.

Für die Verfüllmaßnahmen nach dem Konzept der HMGU (2008) prognostiziert der TÜV NORD (2008) für die Kreisstraße 513 (Remlingen bis Schachanlage Asse II) 36 LKW Fahrten (40 t) pro Tag.

Ein ähnliches Verkehrsaufkommen ist auch für das Konzept der Vollverfüllung zu erwarten.

Schallprognosen haben ergeben, dass durch den Schienen- und Straßentransport an den der Schachanlage nächstgelegenen Wohnbebauungen keine Überschreitungen der Immissionsrichtwerte nach TA Lärm zu erwarten sind (TÜV NORD 2008).

#### **1.4.3.4 Wirkfaktor „Anlagen bedingte Lärm- und Luftschadstoffemissionen“**

Schall- und Schadstoffemissionen werden von den Anlagenteilen des Endlagers (z. B. übertägige Baustoffanlage) abgegeben. Diese Anlagen unterliegen den Vorgaben durch das Bundesimmissionsschutzgesetz (BImSchG).

#### **Rückholung**

Der Bau und Betrieb einer Zwischenlagerhalle wird im Gutachten zur Rückholung (DMT & TÜV NORD 2009) zwar aufgezeigt aber nicht im Detail beschrieben. Daher kann an dieser Stelle keine Bewertung der Auswirkungen durch Anlagen bedingte Lärm- und Luftschadstoffemissionen vorgenommen werden. Entsprechend den Vorgaben durch das BImSchG kann jedoch davon ausgegangen werden, dass die Immissionen unterhalb der gesetzlichen Vorschriften liegen werden und ggf. durch technische Maßnahmen minimiert werden können.

#### **Umlagerung**

Da mit dieser Option mit Ausnahme der erforderlichen Salzhalde nicht der Bau von zusätzlichen Anlagen verbunden ist, können die Umweltauswirkungen durch „Anlagen bedingte Lärm- und Luftschadstoffemissionen“ als gering bewertet werden. Hinsichtlich der Salzhalde sind zusätzlichen Auswirkungen durch Lärm- und Luftschadstoffe nicht zu erwarten.

#### **Vollverfüllung**

Durch TÜV NORD (2008) wurden für das als Referenzprojekt heranzuziehende Verschlusskonzept des HMGU die Schallquellen identifiziert. Es wurde festgehalten, dass die gesetzlichen Grenzwerte eingehalten werden. Dieses wird auch für das Konzept der Vollverfüllung erwartet.

#### **1.4.3.5 Wirkfaktor „Landschaftsbildveränderung“**

Weithin sichtbare Bauwerke können sich auf das bestehende Landschaftsbild auswirken. Ausschlaggebend für potenzielle Raumwirkungen sind die Einsehbarkeit der zu errichtenden Anlagen, die Vorprägung der jeweiligen Landschaft sowie die Entfernung zu den nächstgelegenen Ortschaften und Naherholungsgebieten (Öko-Inst. & GRS 2008).

## **Rückholung**

Für die Bewohner der zur Schachthanlage Asse II nächstgelegenen Wohnhäuser ist eine Vorbelastung des Wohnumfeldes durch die bestehenden Anlagenteile gegeben. Eine zusätzliche Beeinträchtigung ergibt sich bei der Option Rückholung durch den Bau der Zwischenlagerhalle. Der Standort und die Abmessungen der Zwischenlagerhalle werden im Gutachten zur Rückholung (DMT & TÜV NORD 2009) nicht genannt. Aufgrund der Erfahrungen von anderen Zwischenlagerstandorten ist aber davon auszugehen, dass sich das direkte Wohnumfeld durch die Raumwirkung der Zwischenlagerhalle stark verändern wird. Bei einer exponierten Lage ist eine starke Beeinflussung des Landschaftsbildes gegeben. Dadurch kann die Funktion des Asse-Höhenzuges als Naherholungsgebiet deutlich gemindert werden.

## **Umlagerung**

Aufgrund der mit der Option Umlagerung verbundenen Salzhalde ist ebenfalls mit einer Landschaftsbildveränderung zu rechnen. Wie stark sich die Salzhalde hinsichtlich dieser Bewertungsgröße auswirkt, hängt vom Volumen des Abraums (Höhe und Fläche der Salzhalde) sowie der Lage der Salzhalde ab, die zum gegenwärtigen Zeitpunkt nicht bekannt ist. Hierzu finden sich keine Angaben im Gutachten zur Umlagerung (ERCOSPLAN & TÜV NORD 2009).

Bei einer exponierten Lage der Halde ist eine starke Beeinflussung des Landschaftsbildes gegeben. Dadurch kann die Funktion des Asse-Höhenzuges als Naherholungsgebiet deutlich gemindert werden.

## **Vollverfüllung**

Für die Schachthanlage Asse II werden im Zuge der Stilllegung durch Vollverfüllung keine erheblichen Minderungen des Landschaftsbildes erwartet. Durch die vorhandene Vegetation bestehen aus Richtung der Ortschaften Remlingen und Wittmar nur Sichtbeziehungen zur Schachtförderanlage und den Gebäuden.

Im Gutachten zur Vollverfüllung (AF-Colenco AG et al. 2009) werden keine Angaben zu möglichen Auswirkungen der technischen Anlagenteile auf das Landschaftsbild gemacht. Da für die Vollverfüllung aber keine neuen großen Anlagenteile geplant sind, ist das bestehende Betriebsgelände mit der Baustoffanlage und dem Förderturm als „Vorbelastung“ anzusehen.

### **1.4.3.6 Wirkfaktor „Medieneintrag über Tage in Grundwasser und Boden“**

Medieneinträge (z. B. Öl sowie Schmiermittel) in das Grundwasser und den Boden können die Qualität des Grundwassers oder die Lebensraumfunktion des Bodens beeinträchtigen. Von einer daraus resultierenden Umweltauswirkung auf den Boden und das Grundwasser können mittelbar auch die Schutzgüter Mensch, Tiere und Pflanzen betroffen sein (Öko-Inst. & GRS 2008).

Eine Bewertung des Austrags von chemotoxischen Stoffen aus der Grube wird im Kapitel „Vorläufige Langzeitsicherheitseinschätzung“ vorgenommen.

## **Rückholung**

Unfallbedingte Einträge von Medien können insbesondere bei den Tätigkeiten über Tage während des Baus eines Zwischenlagers vorkommen. Im Gutachten zur Rückholung (DMT & TÜV NORD 2009) werden keine Angaben zu möglichen Auswirkungen auf die Umwelt durch den Eintrag von Medien in den Boden und das Grundwasser gemacht. Es ist jedoch eine Minimierung des Risikos für Medieneinträge durch technische und

organisatorische Maßnahmen sowie durch gesetzliche Regelungen (Anlagenverordnung) möglich. Daher werden mögliche Auswirkungen durch den Eintrag von Medien als gering erachtet.

## **Umlagerung**

Bei der mit der Option „Umlagerung“ verbundenen Errichtung einer Salzhalde besteht die Möglichkeit, dass es während des Zeitraums ihres Bestehens (ca. 13 – 18 Jahre) zu einem Eintrag von Chlorid in das oberflächennahe Grundwasser bzw. in den Boden kommt. Dem Gutachten zur Umlagerung (ERCOSPLAN & TÜV NORD 2009) können hinsichtlich möglicher Umweltauswirkungen durch Medieneintrag keine Angaben entnommen werden. Die tatsächlichen Umweltauswirkungen sind auch für diesen Wirkfaktor von der Lage der Salzhalde sowie den technischen Maßnahmen abhängig, die zum gegenwärtigen Zeitpunkt nicht bekannt sind. Sofern entsprechende Maßnahmen getroffen werden, die für eine Rückhaltung bzw. kontrollierte Entsorgung oder Ableitung der anfallenden, stark salzhaltigen Haldenwässer sorgen, ist der Medieneintrag als gering zu betrachten.

## **Vollverfüllung**

Bei der Vollverfüllung werden keine weiteren bzw. neuen Anlagen betrieben, so dass bei dieser Option keine weiteren Medieneinträge über Tage zu erwarten sind.

### **1.4.3.7 Wirkfaktor „Abwasser“**

Abwasser, das in Gewässer eingeleitet wird, kann durch seine Inhaltsstoffe den Zustand des Vorfluters verändern. Auswirkungen auf Gewässer sind möglich, wenn für die jeweils relevanten Parameter die Zielwerte für Einleitungen, die sich aus der Einstufung der Gewässergüte ergeben, überschritten werden (Öko-Inst. & GRS 2008).

Bei allen zu betrachteten Stilllegungsoptionen werden die betrieblich anfallenden Abwässer über die kommunalen Entsorgungsweg geführt. Dadurch ist die Einhaltung der Bestimmungen des Wasserhaushaltsgesetzes gewährleistet.

## **Rückholung**

Bei der Rückholung fallen keine zusätzlichen Abwässer an.

## **Umlagerung**

Zu den Abwässern aus dem Betrieb der Schachanlage muss das auf der Salzhalde anfallende Niederschlagwasser über eine gesonderte Kanalisation abgeführt werden. Die Gesamtmineralisation ist bei der Abgabe dieser Abwässer in die Vorflut zu beachten und die gesetzlichen Bestimmungen nach dem Wasserhaushaltsgesetz sind einzuhalten, so dass keine erheblichen Umweltauswirkungen zu besorgen sind.

## **Vollverfüllung**

Bei der Vollverfüllung fallen keine zusätzlichen Abwässer an.

### **1.4.3.8 Wirkfaktor „Abfälle“**

Die Abfälle eines Vorhabens werden für die Betrachtung von Umweltauswirkungen im Allgemeinen herangezogen, da Abfälle Deponiekapazitäten verbrauchen. Bei einer geordneten Entsorgung sind die Schutzgüter Grundwasser und Boden durch die Anforderungen, die an heutige Entsorgungsanlagen gestellt werden, nicht beeinträchtigt (Öko-Inst. & GRS 2008). Nachfolgend werden nur Abfälle betrachtet, die dem Kreislaufwirtschaftsgesetz unterliegen. Hierzu gehören nicht die bergbaueigenen Abfälle.

Vor allem in der Nachbetriebsphase ist bei allen Optionen mit einem Abfallaufkommen aus baulichen Tätigkeiten zu rechnen. Typische Abfälle sind dabei Bauschutt, Baustellenmischabfälle, Holz, Schrott und Absetzschlämme. Die Umweltauswirkungen hieraus sind für alle Optionen gleich.

### **Rückholung**

Bei der Option Rückholung werden allein durch den Bau und den Rückbau einer Zwischenlagerhalle große Mengen an konventionellen Abfällen anfallen. Erhebliche Umweltauswirkungen ergeben sich aber bei der Einhaltung geordneter Entsorgungswege daraus nicht.

### **Umlagerung**

Zusätzliche Abfälle fallen nicht an.

### **Vollverfüllung**

Zusätzliche Abfälle fallen nicht an.

### **1.4.3.9 Wirkfaktor „Setzung der Tagesoberfläche“**

Abbaubedingte Senkungen an der Tagesoberfläche infolge untertägiger Konvergenzen sind am Standort gering. Die Senkungen werden durch ein übertägiges Messnetz erfasst. Bei den regelmäßig durchgeführten Nivellements ergaben sich im Beobachtungszeitraum 1977 bis 2006 durchschnittliche Senkungsbeträge von 270 mm. Für den Zeitraum nach der Verfüllung der Grubengebäude wird eine geringere Senkungsrate erwartet. Die Auswirkungen durch bergbaubedingte Setzungen an der Tagesoberfläche werden für jede der Optionen eingehend im Kap. 1.2.3 betrachtet.

Auswirkungen durch bergbaubedingte Setzungen auf die Umwelt sind aus derzeitiger Sicht für alle Optionen nicht zu erkennen.

### **1.4.3.10 Wirkfaktor „Licht“**

Licht kann sich auf Menschen und nachtaktive Tiere negativ auswirken. Die potenziellen Umweltauswirkungen sind von der Intensität, Anzahl der Lichtquellen, Leuchtrichtung und Dauer der Einwirkung abhängig (Öko-Inst. & GRS 2008).

Die Lichtsituation ist durch die bestehenden Gebäude und das beleuchtete Anlagengelände vorgeprägt. Baumaßnahmen auf der Schachanlage Asse II und die Anlagensicherung machen insbesondere im Winterhalbjahr zusätzliche Beleuchtungseinrichtungen notwendig. Beeinträchtigungen lassen sich mit

zahlreichen Maßnahmen, wie z. B. durch Einsatz von Lampen mit reduziertem UV-Spektrum oder durch Dunkelschaltung, minimieren.

## **Rückholung**

In DMT & TÜV NORD (2009) gehen die Gutachter nicht auf den Wirkfaktor Licht ein. Da bei der Rückholung der Abfälle der Bau einer Zwischenlagerhalle vorgesehen ist, sind die Auswirkungen auf die Umwelt durch Licht vergleichbar mit den Auswirkungen an den bereits bestehenden Zwischenlagerhallen einzuschätzen. Beim Bau des Zwischenlagers in der unmittelbaren Nachbarschaft zum FFH- und Landschaftsschutzgebiet ist nicht auszuschließen, dass durch die Baustellenbeleuchtung und Beleuchtung der Anlagensicherung Beeinträchtigungen entstehen können. Aber auch hier lassen sich durch einfache Maßnahmen (siehe oben) die Auswirkungen auf die betroffenen Schutzgüter vermeiden oder minimieren.

Von einer erheblichen Auswirkung durch Licht ist beim Bau und den Betrieb eines Zwischenlagers nicht auszugehen.

## **Umlagerung**

Bei der Option Umlagerung entstehen keine zusätzlichen Auswirkungen durch den Wirkfaktor Licht.

## **Vollverfüllung**

Bei der Option Vollverfüllung entstehen keine zusätzlichen Auswirkungen durch den Wirkfaktor Licht.

### **1.4.3.11 Wirkfaktor „Erschütterungen durch Fahrzeuge und Baumaschinen während Baumaßnahmen und Transporten“**

Erschütterungen werden u. a. durch Kraftfahrzeuge, Baumaschinen, Bau- und Bohrarbeiten erzeugt. Sie haben Auswirkungen auf den Boden, auf Tiere und Pflanzen.

Während der Durchführung großer Baumaßnahmen (z. B. Errichtung eines Zwischenlagers) sind temporäre Einwirkungen durch Erschütterungen zu erwarten. Des Weiteren sind bei einer starken Erhöhung des Verkehrsaufkommens durch Straßen- oder Schienentransporte die sich daraus ergebenden zusätzlichen Umweltauswirkungen aufgrund der Erschütterungen zu untersuchen.

## **Rückholung**

Wie schon beim Wirkfaktor „Luftschadstoffe durch Transporte und Baumaschinen“ beschrieben, ist bei der Rückholung durch den Bau der Zwischenlagerhalle oder ggf. den Transport zu einer externen Konditionierungs- bzw. Zwischenlagerhalle sowie durch den Transport zum Endlager mit zusätzlichem Transportaufkommen über einen längeren Zeitraum zu rechnen. Nach DMT & TÜV NORD (2009) ist von einem Abtransport von 13.101 Konrad Containern V auszugehen. Dies führt zu einer Anzahl von 6 bis 10 LKW-Transporten pro Tag.

Insgesamt ist eine erhöhte Belastung durch Erschütterungen zu erwarten, die aber zum jetzigen Zeitpunkt nicht quantifiziert werden kann.

## **Umlagerung**

Im Wesentlichen werden die Arbeiten für die Umlagerung unter Tage ausgeführt (ERCOSPLAN & TÜV NORD 2009). Daher werden keine nennenswerten zusätzlichen Wirkungen durch Erschütterungen, die durch Transportbewegungen verursacht werden, erwartet.

Durch Neuauffahrungen wird Haldenmaterial anfallen. Ist es nicht möglich, eine Halde auf dem Betriebsgelände zu errichten, kommt es zu zusätzlichen Transporten und ggf. Einwirkungen durch Erschütterungen.

## **Vollverfüllung**

Für die Verfüllmaßnahmen nach dem Konzept der HMGU (2008) prognostiziert der TÜV NORD (2008) für die Kreisstraße 513 (Remlingen bis Schachanlage Asse II) 36 LKW Fahrten (40 t) pro Tag.

Ein ähnliches Verkehrsaufkommen ist auch für das Konzept der Vollverfüllung zu erwarten.

Insgesamt ist eine erhöhte Belastung durch Erschütterungen zu erwarten, die aber zum jetzigen Zeitpunkt nicht quantifiziert werden kann.



## 1.5 ZEITBEDARF

### 1.5.1 Zeitbedarf im Rahmen einer Gefahrenabwehrmaßnahme

Bei akutem Handlungsgebot können vorgezogene Maßnahmen vor Planfeststellung bzw. Genehmigung ergriffen werden, wenn sich Gefahren für den sicheren Betrieb oder andere Rechtsgüter nicht anders abwenden lassen und das Interesse an der vorgezogenen Durchführung der Maßnahmen gegenüber dem Interesse an der Durchführung des Verfahrens wesentlich überwiegt (Gefahrenabwehrmaßnahme). Die Maßnahmen müssen unverzüglich, d. h. sofort ausgeführt oder umgesetzt werden. Hierdurch entfällt der sonst für die Durchführung eines Planfeststellungsverfahrens notwendige Zeitraum.

Die Bewertung des Kriteriums "Zeitbedarf im Rahmen einer Gefahrenabwehrmaßnahme" erfolgt anhand nachfolgender Größen:

- Zeitbedarf für Anordnungsphase
- Zeitbedarf für Planung
- Zeitbedarf für Ausführung der Stilllegungsoption

Für die Bewertung des Zeitbedarfs im Rahmen einer Gefahrenabwehrmaßnahme muss als Bewertungsmaßstab die Summe aller o. g. Zeitbedarfe herangezogen werden.

Zu beachten ist, dass vorgezogene Maßnahmen erst solche sind, die unmittelbar der jeweiligen Genehmigungspflicht unterfallen. Nicht genehmigungspflichtige Vorbereitungsmaßnahmen (z. B. Planungen) sind ordnungsrechtlich ohne weiteres zulässig. Die maßgeblichen Gesichtspunkte können sich im Lauf der Zeit ändern, so dass jeweils neu zu entscheiden ist, ob und welche vorgezogenen Maßnahmen durchgeführt werden sollen.

#### 1.5.1.1 Rückholung

##### Zeitbedarf für Anordnungsphase

Vorgezogene Maßnahmen sind nur zulässig, soweit sie zur Gefahrenabwehr erforderlich sind. Sobald die Abfälle über Tage gelagert sind, sind die dadurch bedingten radiologischen Auswirkungen in Folge eines unbeherrschbaren Lösungszutritts abgewehrt. Somit ist die Rückholung zur Gefahrenabwehr geeignet.

Die vorgesehene übertägige Konditionierung zu endlagerfähigen Gebinden wäre danach allenfalls dann als vorgezogene Gefahrenabwehrmaßnahme zulässig, wenn auf andere Weise den gesetzlichen Anforderungen eine entsprechende Lagerung nicht sichergestellt werden könnte. Das wäre denkbar, wenn und soweit eine Zwischenlagerung aller Abfälle bis zur Planfeststellung/Genehmigung einer Konditionierungsanlage mit atom-, bauplanungs- oder naturschutzrechtlichen Anforderungen nicht vereinbar wäre.

Zu berücksichtigen ist, dass bezüglich der notwendigen Einrichtungen und Handhabungen aus dem Überwiegen des Interesses am vorgezogenen Beginn gegenüber dem Interesse an der vorherigen Planfeststellung nicht ohne weiteres folgt, dass auch vor Abschluss eines bergrechtlichen Betriebsplanverfahrens oder eines etwaigen bauaufsichtlichen Zustimmungsverfahrens nach § 82 NBauO begonnen werden und auf die Durchführung eines atom- oder strahlenschutzrechtlichen Genehmigungsverfahrens für die jeweiligen Teilschritte verzichtet werden darf. Da für vorgezogene Maßnahmen kein Planfeststellungsbeschluss Konzentrationswirkung entfaltet, muss für das jeweilige

Fachrecht einzeln in Abstimmung mit der jeweils zuständigen Aufsichtsbehörde entschieden werden, ob und inwieweit auch hier vorgezogene Maßnahmen zulässig sind.

In (DMT & TÜV NORD 2009) wird für die Anordnungsphase ein Zeitraum von 3 Monaten für die Rückholung und 4,5 Monaten für das Zwischenlager angegeben. Diese Zeitdauer ist zu knapp bemessen. Nach vorliegenden Erfahrungen ist für die Anordnungsphase ein Zeitbedarf von 1 Jahr als untere Grenze anzunehmen, da eine solche Anordnungsphase nur im Einvernehmen mit der atomrechtlichen Aufsicht erfolgen kann und hierfür die erforderlichen Abstimmungen zu treffen sind.

Tab. 1.5-1: Zeitbedarf Anordnungsphase.

Zeitbedarf Anordnungsphase	DMT	BfS
Rückholung	12 Wochen	
Transportbereitstellungslager	18 Wochen	
<b>In Summe</b>	18 Wochen	(min. 1 Jahr)*

### Zeitbedarf für Planung

Der Zeitbedarf für Planungsarbeiten ist in der Machbarkeitsstudie zur Rückholung nicht explizit ausgewiesen. Eine Planungsphase ist für jede Maßnahme eine zwingende Voraussetzung, um z. B. entsprechende Maschinen oder Ausrüstungsgegenstände beschaffen zu können. Als Zeitdauer für die Planungsphase werden 2 Jahre abgeschätzt, wobei zu beachten ist, dass sich dieser Zeitraum mit dem Zeitbedarf für die Anordnungsphase überschneidet und nicht addiert werden muss.

Hinsichtlich der Schachtförderanlage ist heute schon bekannt, dass die Anlage ertüchtigt werden muss. Diese Arbeiten sind unabhängig von der Stilllegungsoption auszuführen. Vorgesehen ist die Errichtung eines neuen Förderturmes mit leistungsfähigerer Turmförderanlage. Bei diesen Arbeiten könnten ggf. Anforderungen, die sich aus dieser Stilllegungsoption ergeben (Störfallsicherheit) Berücksichtigung finden. Die Arbeiten können parallel zu den Planungsarbeiten zur Rückholung durchgeführt werden, sodass nach Abschluss der Planungsphase von einem Betrieb mit leistungsfähigerer und störfallsicherer Förderanlage auszugehen ist.

Tab. 1.5-2: Zeitbedarf für Planung.

Zeitbedarf für Planung	DMT	BfS
parallel zur Anordnungsphase:		2 Jahre

### Zeitbedarf für Ausführung der Stilllegungsoption

Bei der Betrachtung der Zeitbedarfe wird zugrunde gelegt, dass die Rückholung gemäß der Variante 3 aus der Machbarkeitsstudie erfolgt (DMT 2009). Hierbei werden die gesamten Abfälle aus der Schachanlage Asse II rückgeholt. Hierfür wird ein Zeitbedarf von insgesamt 7,7 Jahren ausgewiesen, wobei hierbei noch der Vorlauf genehmigungsrechtlicher Vorgänge enthalten ist. Dieser Vorlauf beträgt etwa 3 - 4,5 Monate. Nach (DMT 2009) ergibt sich damit ein Zeitbedarf von 7,3 Jahren bei unterstellter 6-Tage-Woche mit 18 Arbeitsstunden / Tag.

Die Plausibilitätsprüfung der von DMT in der Machbarkeitsstudie zur Rückholung angenommenen Zeitbedarfe ergab, dass an einigen Stellen Korrekturen erfolgen müssen. So fehlt zum Beispiel der Zeitbedarf für die Umrüstung/Ertüchtigung der Schachtförderanlage (die aus Störfallgesichtspunkten zwingend erforderlich ist).

Hierfür ist ein Zeitraum von 2 Jahren einzuplanen. Dieser Zeitbedarf überschneidet sich ebenfalls mit den Zeitbedarfen für Anordnungs- und Planungsphase und muss daher nicht addiert werden.

Des Weiteren ist der Zeitbedarf für das ferngesteuerte Bergen der Abfälle und die ferngesteuerte Handhabung im Sperrbereich (das Auf- und Abladen der rückgeholtten Abfälle) sehr knapp bemessen. Diese entsprechen nahezu Zeiten, die im Einlagerungsbetrieb erreicht worden sind. Auch ist die Vorortsituation in den Einlagerungskammern derzeit noch unbekannt, so dass eine realistische Einschätzung über den genauen Zustand der Abfallgebände sowie deren gebirgsmechanischen Einspannung in den ELK nicht möglich ist. Für die Gewinnung und den fernhantierten Transport der Gebände im Sperrbereich ist daher ein Korrekturfaktor erforderlich. In Ermangelung entsprechender Daten aus vergleichbaren Arbeiten kann dieser Faktor pauschal mit 1,25 angenommen werden. Damit korrigiert sich der von DMT ursprünglich für die Ausführung der Stilllegungsoption zugrunde gelegte Zeitbedarf von 5,9 Jahren auf 7,4 Jahre. Als weitere Unsicherheit ist die Phase für die Beschaffung, Transport nach unter Tage sowie des Aufbaus und Abnahme der Ausrüstung zu nennen. Hierfür wurde von DMT nur ein Zeitbedarf von 1,4 Jahren (Vorlaufzeit ohne Genehmigungsphase) zugrunde gelegt.

In der Studie zur Rückholung der MAW-Abfälle (EWN & TÜV NORD 2008) wird für die Bergung und Verpackung der Gebände insgesamt ein Zeitbedarf von ca. 300 Tagen angegeben. Entsprechend dem DMT Ansatz auf eine 6-Tage-Woche umgerechnet ergibt sich ein Zeitbedarf von ca. 50 Wochen bzw. ca. einem Jahr. Die Gewinnung und Auslagerung der MAW-Abfälle kann zeitgleich zur Rückholung der LAW-Abfälle erfolgen, da die zeitlich bestimmende Größe die Bergung der LAW-Abfälle und nicht die Schachtförderung der umverpackten Gebände ist.

Tab. 1.5-3: Zeitbedarf für Ausführung.

<b>Zeitbedarf für Ausführung</b>	<b>DMT</b>	<b>BfS</b>
bei 6 Tagen / Woche & 18 h / Tag:	5,9 Jahre	7,4 Jahre

## Fazit

Unter Berücksichtigung der Zeitbedarfe für das Anordnungsverfahren, die Planungen, die Beschaffung der Ausrüstungen sowie für die Umrüstung der Schachtförderanlage wird für die Rückholung eine gesamte Zeitdauer von etwa 10 Jahren abgeschätzt. Hierbei ist zu beachten, dass sich die zugrunde gelegten Zeiten nicht vollständig addieren, sondern sich in weiten Bereichen überschneiden können.

Tab. 1.5-4: Summe der Zeitbedarf.

<b>Zeitbedarf Anordnungsphase</b>	<b>DMT</b>	<b>BfS</b>
Rückholung	12 Wochen	
Transportbereitstellungslager	18 Wochen	
<b>in Summe</b>	18 Wochen	(min. 1 Jahr)*
<b>Zeitbedarf für Planung</b>		
parallel zur Anordnungsphase	ca. 1,4 Jahre	2 Jahre
<b>Zeitbedarf für Ausführung</b>		
bei 6 Tagen/Woche & 18 h/Tag	5,9 Jahre	7,4 Jahre
<b>in Summe</b>	<b>7,7 Jahre</b>	<b>10 Jahre</b>

\*) Zeitangaben in () kennzeichnen parallel laufende Arbeiten (keine Addition)

Bei Gefahrenabwehrmaßnahmen sollte ein ganzjähriger, 3-schichtiger kontinuierlicher Betrieb (auch am Wochenende) ohne weitere, möglicherweise behindernde Arbeiten im Grubengebäude unterstellt werden, in (DMT & TÜV NORD 2009) wird eine 6-Tage Woche unterstellt.

Nach der Rückholung der radioaktiven Abfälle ist die Schachanlage Asse II noch entsprechend den bergrechtlichen Bestimmungen zu verwahren. Hierbei ist auch die Frage der noch im Grubengebäude verbliebenen Restkontaminationen (z. B. im Tiefenaufschluss) zu beachten. Für eine solche Verwahrung ist nochmals ein Zeitraum von mehreren Jahren einzuplanen. Allerdings sind diese Arbeiten nicht im Rahmen einer Gefahrenabwehrmaßnahme möglich. Der erforderliche Zeitbedarf leitet sich aus den Anforderungen der bergbaulichen Schutzziele ab. Entsprechend den Auflagen des Bergamts ist (ohne Berücksichtigung ggf. parallel laufender Planungs- und Genehmigungsarbeiten) dabei entweder zwischen einer gezielten Flutung oder einem natürlichen Absaufen zu unterscheiden. Bei einer gezielten Flutung und der Errichtung der Schachtverschlüsse ist von weiteren 4 bis 5 Jahren auszugehen, ohne Flutung und Verschluss der Schächte sind ca. 1 bis 2 Jahre als realistisch anzusehen.

### 1.5.1.2 Umlagerung

Die Option Umlagerung würde zunächst umfangreiche Erkundungsmaßnahmen bezüglich des neuen Einlagerungsbereiches erforderlich machen. Dieser Zeitbedarf wird in der Ausführungsphase berücksichtigt.

#### Zeitbedarf für Anordnungsphase

Analog zur Option Rückholung sollte auch hier für die Anordnungsphase von einem Zeitbedarf von mindestens einem Jahr ausgegangen werden. Die Arbeiten können parallel zur Planungsphase erfolgen und müssen nicht addiert werden.

Tab. 1.5-5: Zeitbedarf Anordnungsphase.

Zeitbedarf Anordnungsphase	Ercosplan	BfS
Umlagerung		min. 1 Jahr

#### Zeitbedarf für Planung

Der Zeitbedarf für Planungsarbeiten ist in (ERCOSPLAN & TÜV NORD 2009) nur für die bergtechnischen Arbeiten zur Auffahrung der neuen Einlagerungsbereiche ausgewiesen. Diese betragen etwa 0,8 Jahre. Hinsichtlich der Gewinnung/Rückholung der Abfälle aus den heutigen ELK stützt sich die Studie auf die Aussagen aus der Rückholungsstudie (DMT & TÜV NORD 2009) ab. Weiterhin ist in (ERCOSPLAN & TÜV NORD 2009) für die geologische Vorerkundung ein Zeitbedarf von 2 Jahren angegeben, der der Planung zugeordnet wird. Insgesamt würde sich somit ein Zeitbedarf für die Planungsphase von 2,8 Jahren ergeben. Parallel zu diesem Zeitraum könnten auch Planungsarbeiten für die Gewinnung der Abfälle aus den heutigen ELK erfolgen. Hierfür wird im Optionenvergleich bei der Rückholung ein Zeitraum von 2 Jahren angesetzt. Da dieser Zeitraum kleiner als 2,8 Jahre ist, können die Planungsarbeiten zur Gewinnung der Abfälle parallel ohne Erhöhung des Zeitbedarfs für die Planung durchgeführt werden.

Tab. 1.5-6: Zeitbedarf Planungsphase.

Zeitbedarf Planungsphase	Ercosplan	BfS
Geologische Vorerkundung	2,0 Jahre	2,0 Jahre
Planung Auffahrung	0,8 Jahre	0,8 Jahre
Planung zur Bergung der Abfälle*		(2,0 Jahre)*
<b>Summe:</b>	2,8 Jahre	2,8 Jahre

\*) Zeitangaben in ( ) kennzeichnen parallel laufende Arbeiten (keine Addition)

Als Zeitdauer für die Planungsphase werden daher 2,8 Jahre abgeschätzt, wobei hierbei zu beachten ist, dass sich dieser Zeitraum mit dem Zeitbedarf für die Anordnungsphase überschneidet und nicht addiert werden muss.

### Zeitbedarf für Ausführung der Stilllegungsoption

Bei der Betrachtung der Zeitbedarfe wird zugrunde gelegt, dass die Umlagerung gemäß der Variante III und über 2 Blindschächte erfolgt (Variante III.2 bis Variante III.4). Hierbei werden die gesamten Abfälle aus der Schachanlage Asse II umgelagert. Entsprechend (ERCOSPLAN & TÜV NORD 2009) wird für die Ausführung dieser Stilllegungsvariante ein gesamter Zeitbedarf zwischen 15,7 und 18,3 Jahren ausgewiesen, wobei hierbei alle Zeitbedarfe enthalten sind, außer die der genehmigungsrechtlichen Vorgänge.

In der Machbarkeitsstudie zur Umlagerung (ERCOSPLAN & TÜV NORD 2009) werden folgende Zeitbedarfe für die Ausführung ausgewiesen:

- Geologische Vorerkundung: 2 Jahre
- Umrüstung der Förderanlage: 1 Jahr
- Abteufen der Blindschächte: 3,5 Jahre
- Herstellen des Einlagerungsbereichs: 2,6 bis 5,2 Jahre
- Einlagerung der Abfälle: 7,7 Jahre

Für die Durchführung der Arbeiten wird ein 3 Schicht-Betrieb an 6 Tagen / Woche unterstellt.

Der Zeitbedarf für die geologische Vorerkundung ist im Rahmen der Planungsphase enthalten. Der Zeitbedarf für die Umrüstung/Ertüchtigung der Schachtförderanlage ist bei Umlagerung mit 1 Jahr angegeben. Dieser Zeitbedarf ist plausibel, da die Anlage im Rahmen dieser Stilllegungsoption lediglich für die Förderung des aufgefahrenen Haufwerks und nicht für den Transport von radioaktiven Abfällen umzurüsten ist. Die in der Studie angegebenen Zeiten für das Abteufen der Blindschächte sowie das Auffahren der neuen Einlagerungsbereiche sind plausibel belegt. Die Umrüstung der Förderanlage kann parallel zu den vorlaufenden / weiteren Arbeiten erfolgen. Das abteufen der Blindschächte, die Herstellung der Einlagerungskammern auf 1200 m Tiefe und die Einlagerung der Abfälle erfolgen sukzessive.

Hinsichtlich des Zeitbedarfs für die Einlagerung der Abfälle werden in (ERCOSPLAN & TÜV NORD 2009) die aus der Rückholungsstudie bei der Variante III zugrunde gelegten 7,7 Jahre angesetzt. In (DMT & TÜV NORD 2009) ist der Zeitbedarf für das ferngesteuerte Bergen der Abfälle und die ferngesteuerte Handhabung im Sperrbereich (das Auf- und Abladen der rückgeholtten Abfälle) sehr knapp bemessen. Diese entsprechen nahezu Zeiten, die im Einlagerungsbetrieb erreicht worden sind. Auch ist die Vorortsituation in den Einlagerungskammern derzeit noch unbekannt, so dass eine realistische Einschätzung über den genauen Zustand der Abfallgebände sowie deren gebirgsmechanischen Einspannung in den ELK nicht

möglich ist. Eine Korrektur des Zeitbedarfs, wie er bei der Option Rückholung erfolgte, ist an dieser Stelle nicht notwendig, da in (ERCOSPLAN & TÜV Nord 2009) nicht die aus (DMT & TÜV Nord 2009) angegebene Zeit von 5,9 Jahren (ohne Vorlaufzeit) für die Bergung und Verpackung der Abfälle angesetzt wurde, sondern die Gesamtzeit von 7,7 Jahren. Allerdings ist auch dieser Wert mit größeren Unsicherheiten behaftet, die sich aus den o. g. Randbedingungen ergeben.

Tab. 1.5-7: Zeitbedarf Ausführung.

<b>Zeitbedarf für Ausführung</b>	<b>Ercosplan</b>	<b>BfS</b>
Abteufen Blindschächte	3,5 Jahre	3,5 Jahre
Errichtung des Einlagerungsbereichs:	2,6 – 5,2 Jahre	2,6 – 5,2 Jahre
Einlagerung: (bei 6 Tagen / Woche & 3 Schichten / Tag):	7,7 Jahre	7,7 Jahre
<b>Summe:</b>	13,8 – 16,4 Jahre	13,8 – 16,4 Jahre

## Fazit

Geht man davon aus, dass mit dem Anordnungsverfahren auch mit der Erkundung des potenziellen neuen tieferen Einlagerungsbereichs begonnen werden kann, ist für die Umlagerung aller radioaktiven Abfälle ein gesamter Zeitbedarf von etwa 16 bis 20 Jahren anzusetzen.

Tab. 1.5-8: Summe Zeitbedarf.

<b>Zeitbedarf Anordnungsphase</b>	<b>Ercosplan</b>	<b>BfS</b>
Anordnung der Umlagerung		(min. 1 Jahr)*
<b>Zeitbedarf Planungsphase</b>		
Geologische Vorerkundung	2,0 Jahre	2,0 Jahre
Planung Auffahrung	0,8 Jahre	0,8 Jahre
Planung zur Bergung der Abfälle		(2,0 Jahre)*
<b>Zeitbedarf für Ausführung</b>		
Abteufen Blindschächte	3,5 Jahre	3,5 Jahre
Errichtung des Einlagerungsbereichs:	2,6 – 5,2 Jahre	2,6 – 5,2 Jahre
Einlagerung: (bei 6 Tagen / Woche & 3 Schichten / Tag):	7,7 Jahre	7,7 Jahre
<b>Summe:</b>	16,6 – 19,2 Jahre	16,6 – 19,2 Jahre

\*) Zeitangaben in ( ) kennzeichnen parallel laufende Arbeiten (keine Addition)

Hierbei wird ein 3-schichtiger Betrieb mit einer 6-Tage-Woche unterstellt. Nach der Umlagerung und dem langzeitsicheren Verschluss der neuen Einlagerungsbereiche ist die Schachanlage Asse II noch entsprechend den bergrechtlichen Bestimmungen zu verwahren. Hierbei ist auch die Frage der noch im Grubengebäude verbliebenen Restkontaminationen zu beachten. Für eine solche Verwahrung ist nochmals ein Zeitraum von mehreren Jahren einzuplanen. Allerdings sind diese Arbeiten nicht im Rahmen einer Gefahrenabwehrmaßnahme möglich. Der erforderliche Zeitbedarf leitet sich aus den Anforderungen der bergbaulichen Schutzziele ab. Entsprechend den Auflagen des Bergamts ist (ohne Berücksichtigung ggf. parallel laufender Planungs- und Genehmigungsarbeiten) dabei entweder zwischen einer gezielten Flutung oder einem natürlichen Absaufen zu unterscheiden. Bei einer gezielten Flutung und der Errichtung der Schachtverschlüsse ist von weiteren 4 bis 5 Jahren auszugehen, ohne Flutung und Verschluss der Schächte sind ca. 1 bis 2 Jahre als realistisch anzusehen.

### 1.5.1.3 Vollverfüllung

#### Zeitbedarf für Anordnungsphase

In der Studie zur Vollverfüllung wird für das Anordnungsverfahren keine Zeit angegeben.

Nach vorliegenden Erfahrungen ist für die Anordnungsphase ein Zeitbedarf von mindestens 1 Jahr anzunehmen.

Tab. 1.5-9: Zeitbedarf Anordnungsphase.

Zeitbedarf Anordnungsphase	AFC, GRS, IfG	BfS
Vollverfüllung		min. 1 Jahr

#### Zeitbedarf für Planung

Der Zeitbedarf für Planungsarbeiten ist in der Studie zur Vollverfüllung nicht explizit ausgewiesen. Da das Konzept der Vollverfüllung wesentliche Bausteine aus dem alten HMGU-Schließungskonzept (HMGU 2008) enthält, das in wesentlichen Teilen bereits beplant war, sind die Planungen auf das neue Konzept der Vollverfüllung lediglich anzupassen. Hierfür wird ein Zeitraum von 1 Jahr unterstellt. Die für die Ausführung der Stilllegungsmaßnahmen notwendige Anlagentechnik (Baustoffanlagen) ist bereits vorhanden und in Betrieb.

Als Zeitdauer für die Planungsphase wird daher 1 Jahr abgeschätzt, wobei hierbei zu beachten ist, dass sich dieser Zeitraum mit dem Zeitbedarf für die Anordnungsphase überschneidet und Letztere daher nicht addiert werden muss.

Tab. 1.5-10: Zeitbedarf Planungsphase.

Zeitbedarf Planungsphase	AFC, GRS, IfG	BfS
Vollverfüllung		1 Jahr

## Zeitbedarf für Ausführung der Stilllegungsoption

Die Dauer der Stilllegungsphase wurde in den Planungen (HMGU 2008) grob abgeschätzt. Dort wurden für die Resthohlraumverfüllungen (inkl. Einlagerungskammern und Schächten) und den Bau der Strömungsbarrieren ein Gesamtzeitraum von ca. 10 Jahren, für das Einleiten des Schutzfluids bis in 679 m Teufe ca. 3 Jahre und für den Bau der Dichteelemente der Schächte ca. 0,5 Jahre kalkuliert. Da einige Maßnahmen parallel umgesetzt werden können, lässt sich die Gesamtdauer für die Umsetzung der im Stilllegungskonzept Vollverfüllung veranschlagten Maßnahmen mit ca. 8 Jahren angeben.

Tab. 1.5-11: Zeitbedarf Ausführungsphase.

Zeitbedarf Ausführungsphase	AFC, GRS, IfG	BfS
Vollverfüllung	8,0 Jahre	8, 0 Jahre

Entsprechend dem Konzept der Vollverfüllung (AF-Colenco AG et al. 2009) ist in der Schachanlage Asse II ein Resthohlraumvolumen von ca. 650.000 m<sup>3</sup> vorhanden, das mit Sorelbeton verfüllt werden soll. Zum Vergleich kann die bergbauliche Gefahrenabwehr im Zentralteil des ERA Morsleben herangezogen werden, bei der seit September 2003 ca. 790.000 m<sup>3</sup> verfüllt wurden. Die Verfülldauer beträgt bei einem 2-schichtigen Betrieb gut 6 Jahre für ein über 20 % größeres Hohlraumvolumen.

## Fazit

Geht man davon aus, dass die Maßnahme im Rahmen einer Gefahrenabwehr durchgeführt werden kann und parallel zum Anordnungsverfahren eine 1-jährige Planungsphase erforderlich ist, kann für die Umsetzung des Konzepts der Vollverfüllung ein gesamter Zeitbedarf von mindestens 9 Jahren angesetzt werden.

Tab. 1.5-12: Summe Zeitbedarf.

Zeitbedarf	AFC, GRS, IfG	BfS
Anordnungsphase		min. 1 Jahr
Planungsphase		(1 Jahr)*
Ausführungsphase	8 Jahre	8 Jahre
<b>Summe:</b>		9 Jahre

\*) Zeitangaben in ( ) kennzeichnen parallel laufende Arbeiten (keine Addition)

Bei der Vollverfüllung ist die Einhaltung der bergbaulichen Schutzziele gegeben und es sind keine weiteren Stilllegungsmaßnahmen erforderlich.

## 1.5.2 Zeitbedarf bei vorausgehendem Planfeststellungsverfahren (PFV)

Sämtliche Maßnahmen, die außerhalb einer Gefahrenabwehrmaßnahme in einem Endlager aus- bzw. durchgeführt werden, bedürfen einer Genehmigung (Erlaubnisvorbehalt). Insbesondere schreibt auch der § 57b AtG für die Stilllegung der Schachanlage Asse II einen Planfeststellungsbeschluss vor. Für die



Durchführung eines solchen Planfeststellungsverfahrens sind im Vorfeld entsprechende Antragsunterlagen (Konzept- und Genehmigungsplanungen, Nachweise, UVP / UVS, Unterlagen zur Öffentlichkeitsbeteiligung etc.) zu erarbeiten, die der Genehmigungsbehörde erlauben, einen Planfeststellungsbeschluss zu erlassen.

Die Durchführung eines solchen Verfahrens beansprucht daher einen längeren Zeitraum. Die Länge hängt im Wesentlichen von der Komplexität der beantragten Maßnahme und den nach Stand von Wissenschaft und Technik vorzulegenden Planungen und Nachweisen ab.

Die Bewertung des Kriteriums „Zeitbedarf bei vorausgehendem Planfeststellungsverfahren“ erfolgt anhand nachfolgender Größen:

- Zeitbedarf für Genehmigungsphase
- Zeitbedarf für Planung
- Zeitbedarf für Ausführung der Stilllegungsoption.

Als Bewertungsmaßstab wird die Summe der Zeitbedarfe herangezogen. Die bevorstehenden Unsicherheiten sind dabei bei den verschiedenen Optionen etwa gleichgewichtig. Damit ist eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse gegeben.

### **1.5.2.1 Rückholung**

#### **Zeitbedarf für Genehmigungsphase**

Der Zeitbedarf für die Genehmigungsphase wird in (DMT & TÜV NORD 2009) mit 200 Wochen für die Rückholung und mit 120 Wochen für das übertägige Transportbereitstellungslager angegeben. Der gesamte Zeitbedarf für eine Genehmigungsphase wird hier mit 6,9 Jahren angesetzt.

Der von DMT angesetzte Zeitbedarf für die Genehmigungsphase wird als sehr optimistisch eingeschätzt. Bisherige Erfahrungen (siehe nachfolgende Beispiele) lassen andere Zeiträume erwarten. Allerdings kann die Sondersituation „Asse“ auch zu beschleunigenden Effekten führen.

Nach derzeitigem Kenntnisstand ist von einem einheitlichen Planfeststellungs- oder Genehmigungsverfahren für das Pufferlager, die Konditionierungsanlage und das Ausgangslager nach § 57b AtG oder § 7 AtG / § 7 StrlSchV auszugehen.

Als Beispiel für die Dauer eines Planfeststellungsverfahrens zur Stilllegung kann das Genehmigungsverfahren für das ERA Morsleben herangezogen werden. Das Planfeststellungsverfahren zur Stilllegung des ERA Morsleben wurde 1997 konkret begonnen und befindet sich derzeit in der Öffentlichkeitsbeteiligung. Das gesamte Verfahren wird voraussichtlich 2014 abgeschlossen sein, so dass es dann insgesamt 17 Jahre gedauert hat.

Da die Genehmigungsverfahren für die Rückholung und das Transportbereitstellungslager/Konditionierungsanlage parallel ablaufen können, ist für die Bewertung des Zeitbedarfs nur das am längsten dauernde Verfahren maßgeblich. Unter Berücksichtigung der zwischenzeitlich gewonnenen Erfahrungen erscheint eine Verfahrensdauer unter 11 Jahren nicht realistisch.

Insgesamt wird daher als Zeitdauer für das Planfeststellungsverfahren bei der Option der Rückholung eine Verfahrensdauer von mindestens 11 Jahren zugrunde gelegt.

## **Zeitbedarf für Planung**

Der Zeitbedarf für Planungsarbeiten ist in der Machbarkeitsstudie zur Rückholung nicht explizit ausgewiesen. Eine Planungsphase ist für jede Maßnahme eine zwingende Voraussetzung, um später z. B. entsprechende Maschinen oder Ausrüstungsgegenstände beschaffen zu können. Als Zeitdauer für die Planungsphase werden 2 Jahre abgeschätzt. Da die Planungsarbeiten parallel zum Planfeststellungsverfahren laufen können, ergeben sich hieraus keine Wechselwirkungen auf den gesamten Zeitbedarf.

Hinsichtlich der Schachtförderanlage ist bekannt, dass die Anlage ertüchtigt werden muss. Diese Arbeiten sind unabhängig von der Stilllegungsoption auszuführen. Vorgesehen ist die Errichtung eines neuen Förderturmes mit leistungsfähigerer Turmförderanlage. Bei diesen Arbeiten könnten ggf. Anforderungen, die sich aus dieser Stilllegungsoption ergeben (Störfallsicherheit) Berücksichtigung finden. Die Arbeiten können parallel zu den Planungsarbeiten zur Rückholung durchgeführt werden, sodass nach Abschluss der Planungsphase von einem Betrieb mit leistungsfähigerer und störfallsicherer Förderanlage auszugehen ist.

## **Zeitbedarf für Ausführung der Stilllegungsoption**

Bei der Betrachtung der Zeitbedarfe wird zugrunde gelegt, dass die Rückholung gemäß der Variante 3 aus der Machbarkeitsstudie erfolgt (DMT & TÜV NORD 2009). Hierbei werden die gesamten Abfälle aus der Schachanlage Asse II rückgeholt. Dabei wird für die Ausführung dieser Stilllegungsvariante ein Zeitbedarf von insgesamt 7,7 Jahren ausgewiesen, wobei hierbei noch der Vorlauf genehmigungsrechtlicher Vorgänge enthalten ist. Dieser beträgt etwa 3 – 4,5 Monate und wäre daher von den 7,7 Jahren abzuziehen.

Die Plausibilitätsprüfung der von DMT in der Machbarkeitsstudie zur Rückholung angenommenen Zeitbedarfe ergab, dass an einigen Stellen Korrekturen erfolgen müssen. So fehlt zum Beispiel der Zeitbedarf für die Umrüstung/Ertüchtigung der Schachtförderanlage (die aus Störfallgesichtspunkten zwingend erforderlich ist). Hierfür ist ein Zeitraum von mindestens 2 Jahren einzuplanen. Diese Arbeiten können bereits während der Genehmigungsphase umgesetzt werden und wirken sich daher nicht auf den gesamten Zeitbedarf aus.

Allerdings kann mit der Errichtung des Zwischenlagers sowie mit der Beschaffung der Ausrüstungsgegenstände erst nach Planfeststellung begonnen werden, da insbesondere die im Planfeststellungsbeschluss ggf. enthaltenden Nebenbestimmungen sich auf die Errichtung der für die Rückholung notwendigen Komponenten auswirken können. Darüber hinaus haben die Nebenbestimmungen ggf. Auswirkungen auf die bis dahin gelaufenen Planungen sowie auf die für die Beschaffung der Ausrüstungen notwendigen Ausführungsplanungen. Nach der Beschaffung müssen viele der für die Rückholung notwendigen Geräte und Einrichtungen erst nach unter Tage transportiert, aufgebaut und für den späteren Betrieb abgenommen werden.

Insgesamt wird für die Rückholung eine Vorlaufzeit nach Planfeststellungsbeschluss von mindestens 2 Jahren notwendig sein, in denen die Komponenten, insbesondere für das Zwischenlager, errichtet, beschafft und betriebsbereit installiert werden können.

Des Weiteren ist aus Sicht des BfS der Zeitbedarf für das ferngesteuerte Bergen der Abfälle und die ferngesteuerte Handhabung im Sperrbereich in (DMT & TÜV NORD 2009) zu knapp bemessen. Diese entsprechen nahezu Zeiten, die im Einlagerungsbetrieb erreicht worden sind. Auch ist die Vorortsituation in den Einlagerungskammern derzeit noch unbekannt, so dass eine realistische Einschätzung über den genauen Zustand der Abfallgebände sowie deren gebirgsmechanischen Einspannung in den Einlagerungskammern nicht möglich ist.

Da insgesamt die von DMT für die Rückholungsprozesse angegebenen Zeitbedarfe große Unsicherheiten aufweisen, werden diese im Optionenvergleich um einen Pauschalbetrag von 25 % nach oben korrigiert. Somit würde sich der Zeitbedarf für die Variante 3 (ohne Vorlaufphase) von ursprünglich 5,9 Jahren auf 7,4 Jahren verlängern.

In der Studie zur Rückholung der MAW-Abfälle (EWN & TÜV NORD 2009) wird für die Bergung und Verpackung der Gebinde insgesamt ein Zeitbedarf von ca. 300 Tagen angegeben. Entsprechend dem DMT Ansatz auf eine 6-Tage-Woche umgerechnet ergibt sich ein Zeitbedarf von ca. 50 Wochen bzw. ca. einem Jahr. Die Gewinnung und Auslagerung der MAW-Abfälle kann zeitgleich zur Rückholung der LAW-Abfälle erfolgen, da die zeitlich bestimmende Größe die Bergung der LAW-Abfälle und nicht die Schachtförderung der umverpackten Gebinde ist.

In der Summe ergibt sich für die Option Rückholung ein Zeitbedarf für die Ausführung der Stilllegungsmaßnahmen von etwa 10 Jahren. Allerdings ist dieser Wert noch mit erheblichen Unsicherheiten behaftet.

Unter Berücksichtigung der Zeitbedarfe für das Planfeststellungsverfahren wird für die Variante 3 der Rückholung eine gesamte Zeitdauer von etwa 21 Jahren abgeschätzt. Bei der Rückholung wird ein 3-schichtiger Betrieb unterstellt und dass im Grubengebäude keine weiteren Arbeiten ausgeführt werden.

Nach der Rückholung der radioaktiven Abfälle ist die Schachanlage Asse II noch entsprechend den atom- und bergrechtlichen Bestimmungen zu verwahren. Hierbei ist auch die Frage der noch im Grubengebäude verbliebenen Restkontaminationen (z. B. im Tiefenaufschluss) zu beachten. Für die Verwahrungsarbeiten ist nochmals ein Zeitraum von mehreren Jahren einzuplanen.

## **1.5.2.2 Umlagerung**

### **Zeitbedarf für Genehmigungsphase**

Ein Zeitbedarf für die Genehmigungsphase wird in der Studie zur Umlagerung nicht angegeben, sondern nur der Zeitraum für die Umsetzung „ab Entscheid“ der jeweiligen Umlagerungsvariante. Zum Vergleich können z. B. die Zeiträume für das Planfeststellungsverfahren Konrad sowie für das ERA Morsleben herangezogen werden. Das Planfeststellungsverfahren zur Stilllegung des ERA Morsleben wurde 1997 konkret begonnen und befindet sich derzeit in der Öffentlichkeitsbeteiligung. Das gesamte Verfahren wird voraussichtlich 2014 abgeschlossen sein, so dass es dann insgesamt 17 Jahre gedauert hat.

Eine Verfahrensdauer unter 11 Jahren erscheint daher als nicht realistisch.

### **Zeitbedarf für Planung**

Der Zeitbedarf für Planungsarbeiten ist in der Machbarkeitsstudie zur Umlagerung (ERCOSPLAN & TÜV NORD 2009) nur für die bergtechnischen Arbeiten zur Auffahrung der neuen Einlagerungsbereiche ausgewiesen. Diese betragen etwa 0,8 Jahre. Hinsichtlich der Gewinnung/Rückholung der Abfälle aus den heutigen ELK stützt sich die Studie auf die Aussagen der Rückholungsstudie (DMT & TÜV NORD 2009) ab.

Weiterhin ist in der Umlagerungsstudie für die geologische Vorerkundung ein Zeitbedarf von 2 Jahren angegeben. Da die Erkundung eine zwingende Voraussetzung für die Planfeststellung ist, müssen diese Arbeiten während des Genehmigungsverfahrens ausgeführt werden.

Als Zeitdauer für die Planungsphase werden daher weniger als 1 Jahr abgeschätzt.

### **Zeitbedarf für Ausführung der Stilllegungsoption**

Bei der Betrachtung der Zeitbedarfe wird zugrunde gelegt, dass die Umlagerung gemäß der Variante III und über 2 Blindschächte erfolgt (Variante III.2 bis Variante III.4). Hierbei werden die gesamten Abfälle aus der

Schachtanlage Asse II umgelagert. Entsprechend der Umlagerungsstudie (ERCOSPLAN & TÜV NORD 2009) wird für die Ausführung dieser Stilllegungsvariante ein gesamter Zeitbedarf zwischen 13,7 und 16,3 Jahren ausgewiesen. Hierbei ist der Zeitbedarf für die geologische Vorerkundung (2 Jahre) abgezogen, da diese Bestandteil des Planfeststellungsverfahrens ist.

In der Machbarkeitsstudie der Umlagerung (ERCOSPLAN & TÜV NORD 2009) werden folgende Zeitbedarfe ausgewiesen:

- Geologische Vorerkundung: 2 Jahre
- Umrüstung der Förderanlage: 1 Jahr
- Abteufen der Blindschächte: 3,5 Jahre
- Herstellen der Einlagerungsbereiche: 2,6 bis 5,2 Jahre
- Einlagerung der Abfälle: 7,7 Jahre

Der Zeitbedarf für die Umrüstung/Ertüchtigung der Schachtförderanlage ist bei Umlagerung mit 1 Jahr angegeben. Dieser Zeitbedarf ist plausibel, da die Anlage lediglich für die Förderung des Auffahrhaufwerks und nicht für den Transport von radioaktiven Abfällen genutzt wird. Die Umrüstung kann bereits während der Genehmigungsphase umgesetzt werden und wirkt sich daher nicht auf den gesamten Zeitbedarf aus. Die in der Studie angegebenen Zeiten für das Abteufen der Blindschächte sowie das Auffahren der neuen Einlagerungsbereiche sind plausibel belegt.

Hinsichtlich des Zeitbedarfs für die Einlagerung der Abfälle werden die aus der Rückholungsstudie bei der Variante III zugrunde gelegten 7,7 Jahre angesetzt (DMT & TÜV NORD 2009). Allerdings weisen die von DMT für die Rückholungsprozesse angegebenen Zeitbedarfe noch Unsicherheiten auf, die aber aufgrund der langen Vorlaufzeiten bei der Vorbereitung der Umlagerung (etwa 8 Jahre) kompensiert werden können. In diesem Zeitraum können die für die Bergung der Abfälle notwendige Technik beschafft und betriebsbereit unter Tage installiert werden.

Geht man davon aus, dass die Erkundung des potenziellen neuen tieferen Einlagerungsbereichs im Rahmen des Planfeststellungsverfahrens erfolgt, ist bei einem 3-schichtigen Betrieb für die Umlagerung aller radioaktiven Abfälle ein gesamter Zeitbedarf von etwa 25 bis 28 Jahren anzusetzen.

Nach der Umlagerung und dem langzeitsicheren Verschluss der neuen Einlagerungsbereiche ist die Schachtanlage Asse II noch entsprechend den atom- und bergrechtlichen Bestimmungen zu verwahren. Hierbei ist auch die Frage der noch im Grubengebäude verbliebenen Restkontaminationen (z. B. im Tiefenaufschluss) zu beachten. Für die Verwahrungsarbeiten ist nochmals ein Zeitraum von mehreren Jahren einzuplanen.

### **1.5.2.3 Vollverfüllung**

#### **Zeitbedarf für Genehmigungsphase**

Ein Zeitbedarf für die Genehmigungsphase wird in der Stilllegungsoption Vollverfüllung nicht angegeben, sondern lediglich ein Zeitraum für die Umsetzung „ab Entscheid“. Zum Vergleich kann z. B. der Zeitraum für das Planfeststellungsverfahren ERA Morsleben herangezogen werden. Das Planfeststellungsverfahren zur Stilllegung des ERA Morsleben wurde 1997 konkret begonnen und befindet sich derzeit in der Öffentlichkeitsbeteiligung. Das gesamte Verfahren wird voraussichtlich 2014 abgeschlossen sein, so dass es dann insgesamt 17 Jahre gedauert hat.

Eine Verfahrensdauer unter 11 Jahren erscheint daher als nicht realistisch.

## **Zeitbedarf für Planung**

Der Zeitbedarf für Planungsarbeiten ist in der Studie zur Vollverfüllung nicht ausgewiesen. Da das Konzept der Vollverfüllung wesentliche Bausteine aus dem HMGU-Schließungskonzept (HMGU 2008) enthält, sind die Planungen auf das neue Konzept der Vollverfüllung anzupassen. Hierfür wird ein Zeitraum von 1 Jahr unterstellt. Die für die Ausführung der Stilllegungsmaßnahmen notwendige Anlagentechnik (Baustoffanlagen) ist bereits vorhanden und in Betrieb.

Als Zeitdauer für die Planungsphase wird daher 1 Jahr abgeschätzt, wobei die Planungsphase parallel zum Planfeststellungsverfahren laufen kann.

## **Zeitbedarf für Ausführung der Stilllegungsoption**

Die Dauer der Stilllegungsphase wurde in den Planungen (HMGU 2008) grob abgeschätzt. Dort wurden für die Resthohlraumverfüllungen (inkl. Einlagerungskammern und Schächten) und den Bau der Strömungsbarrieren ein Gesamtzeitraum von ca. 10 Jahren, für das Einleiten des Schutzfluids bis in 679 m Teufe ca. 3 Jahre und für den Bau der Dichtelemente der Schächte ca. 0,5 Jahre kalkuliert. Da einige Maßnahmen parallel umgesetzt werden können, lässt sich die Gesamtdauer für die Realisierung der im Stilllegungskonzept Vollverfüllung veranschlagten Maßnahmen mit ca. 8 Jahren (AF-Colenco AG et al. 2009) angeben.

Entsprechend dem Konzept der Vollverfüllung (AF-Colenco AG et al. 2009) ist in der Schachtanlage Asse II ein Resthohlraumvolumen von ca. 650.000 m<sup>3</sup> vorhanden, das mit Sorelbeton verfüllt werden soll. Zum Vergleich kann die bergbauliche Gefahrenabwehr im Zentralteil des ERA Morsleben herangezogen werden, bei der seit September 2003 ca. 790.000 m<sup>3</sup> verfüllt. Die Verfülldauer betrug bei einem 2-schichtigen Betrieb gut 6 Jahre für ein über 20 % größeres Hohlraumvolumen.

Geht man davon aus, dass die 1-jährige Planungsphase während der Genehmigungsphase ausgeführt wird, ist für die Umsetzung des Konzepts der Vollverfüllung ein gesamter Zeitbedarf von etwa 19 Jahren anzusetzen (bei 3-schichtigem Betrieb).

Im Gegensatz zu den Konzepten der Rückholung und der Umlagerung muss bei dem Konzept der Vollverfüllung die Schachtanlage Asse II nicht mehr entsprechend den atom- und bergrechtlichen Bestimmungen verwahrt werden.

## **2 KRITERIENBEZOGENER PAARVERGLEICH DER VARIANTEN**

### **2.1 SICHERHEIT IN DER BETRIEBSPHASE**

#### **2.1.1 Radiologische Auswirkungen des bestimmungsgemäßen Betriebs**

Wie in Abschnitt 1 dargestellt, verursacht die Option Vollverfüllung im bestimmungsgemäßen Betrieb im Vergleich zu den beiden anderen Optionen vernachlässigbare Strahlenexpositionen. Dagegen treten bei der Rückholung ebenso wie bei der Umlagerung nicht vernachlässigbare Expositionen im Bereich beruflicher Exposition auf. Daher ist die Option Vollverfüllung hinsichtlich der radiologischen Auswirkungen im bestimmungsgemäßen Betrieb generell als ‚besser‘ gegenüber den anderen beiden Optionen zu bewerten. Der Schwerpunkt der folgenden Ausführungen liegt auf der Darstellung des Vergleichs zwischen der Rückholung und der Umlagerung.

##### **2.1.1.1 Rückholung vs. Umlagerung**

###### **Strahlenexposition der Beschäftigten**

Legt man die vollständige Umsetzung der jeweiligen Varianten zu Grunde, ergeben sich für die Beschäftigten Ausschöpfungsgrade des Grenzwertes für die effektive Dosis (20 mSv/a individuelle Belastung) von jeweils 50 % bei den Optionen Rückholung und Umlagerung. Hinzuweisen ist darauf, dass die ermittelten Werte auf zum Teil mit deutlichen Unsicherheiten behafteten Ausnahmen beruhen und Individualdosen durch arbeitsorganisatorische Maßnahmen beeinflusst werden können. Aufgrund der ähnlichen Arbeitsschritte bei beiden Optionen ist plausibel, dass vergleichbare Expositionen abgeschätzt werden können. Wichtig ist, dass die Einhaltung der gesetzlichen Grenzwerte in beiden Fällen gewährleistet werden kann.

Hinsichtlich der Kollektivdosis stellt sich die Situation insofern anders da, als dass eine eindeutige Differenz zwischen den Optionen besteht, die durch die zusätzlichen Expositionen bei einigen Arbeitsvorgängen bei der Rückholung zustande kommt, die bei der Option Umlagerung nicht auftreten. Das sind insbesondere alle übertägigen Arbeiten im Zusammenhang mit der Lagerung in der Transportbehälterhalle und der Konditionierung für die endgültige Endlagerung. Selbst wenn fraglich ist, ob wiederkehrende Prüfungen an den Lagerbehältern durchgeführt werden müssen und ob die betreffenden Arbeiten nicht automatisiert werden können, bleibt eine plausible Differenz zwischen den Optionen in Höhe von etwa 300 bis 400 mSv zugunsten der Option Umlagerung im Vergleich mit der Rückholung. Letztere ist deshalb als relativ ‚schlechter‘ zu klassifizieren.

Um diese Differenz einordnen zu können, ist es hilfreich, sich Folgendes vor Augen zu führen: Generell geht man nach aktueller strahlenepidemiologischer Kenntnis von einem Risiko einer mortalen Krebserkrankung von etwa 5-10 % pro 1.000 mSv aus. Dies bedeutet, dass eine um etwa 300 bis 400 mSv höhere Kollektivdosis für die bei der Rückholung tätigen Arbeiter gegenüber den bei der Umlagerung Beschäftigten zu einem Risiko von etwa 2 – 4 % führt, dass einer der Arbeiter eine tödlich verlaufende Krebserkrankung erleidet.

## **Strahlenexposition der Bevölkerung / Umwelt**

Ohne Berücksichtigung anderer Emittenten verbleibt bei der Umlagerung ein Wert der individuellen effektiven Dosis in Höhe von etwa 20  $\mu\text{Sv/a}$ . Dieser Wert liegt im Bereich vernachlässigbarer Expositionen.

Bei der Rückholung ergibt sich auf der Grundlage der AVV zu § 47 StrlSchV ein um ein Vielfaches höherer Wert. Dieser Wert beruht auf dem zu unterstellenden unrealistischen Szenario eines ganzjährigen Aufenthalts in unmittelbarer Nähe der Anlage in 10 m Entfernung von der Transportbehälterhalle. Bei realistischen Annahmen wird dieser Expositionspfad vernachlässigbar. Dies gilt gleichermaßen für die gemäß AVV bestimmte Exposition über den Luftpfad in Höhe von 0,012 mSv/a.

Hinsichtlich der Ausschöpfung von Organdosisgrenzwerten liegen die Unterschiede zwischen den Optionen innerhalb des Bereichs der Unsicherheiten der Dosisabschätzungen. Die beiden Optionen werden deshalb bzgl. des Ausschöpfungsgrades von Organdosisgrenzwerten als gleichwertig eingeschätzt.

Hinsichtlich des Schutzes der Umwelt kann davon ausgegangen werden, dass dieser bei allen Optionen gewährleistet ist. Da bereits der Ausschöpfungsgrad der Dosisgrenzwerte für die Bevölkerung gering ist und die Differenzen zwischen den Optionen klein sind, ist der Strahlenschutz der Umwelt für den Paarvergleich als nicht relevant anzusehen.

Aktuelle Untersuchungen für Abfalltransporte haben gezeigt, dass die in der Standortregion eines Endlagers zusammenlaufenden Abfalltransporte kein ins Gewicht fallendes radiologisches Risiko für die Bevölkerung, das Transportpersonal und die Umwelt darstellen. Dies gilt sowohl für den bestimmungsgemäßen Transport als auch für Transportunfälle.

Insgesamt sind die Optionen Rückholung und Umlagerung hinsichtlich der Strahlenexposition der Bevölkerung und der Umwelt als gleichwertig zu bewerten.

### **2.1.1.2 Rückholung vs. Vollverfüllung**

Die Option Vollverfüllung verursacht allenfalls vernachlässigbare Strahlenexpositionen. Dies gilt sowohl für die Strahlenexposition der Bevölkerung als auch für die Exposition der Beschäftigten. Dagegen treten bei der Rückholung nicht vernachlässigbare Expositionen für beruflich strahlenexponierte Personen auf. Daher ist die Option Vollverfüllung hinsichtlich der radiologischen Auswirkungen im bestimmungsgemäßen Betrieb als besser gegenüber der Rückholung zu bewerten.

### **2.1.1.3 Umlagerung vs. Vollverfüllung**

Die Option Vollverfüllung verursacht allenfalls vernachlässigbare Strahlenexpositionen. Dies gilt sowohl für die Strahlenexposition der Bevölkerung als auch für die Exposition der Beschäftigten. Dagegen treten bei der Umlagerung nicht vernachlässigbare Expositionen für beruflich strahlenexponierte Personen auf. Daher ist die Option Vollverfüllung hinsichtlich der radiologischen Auswirkungen im bestimmungsgemäßen Betrieb als besser gegenüber der Umlagerung zu bewerten.

## Zusammenfassung

Hinsichtlich des Kriteriums „Radiologische Auswirkungen des bestimmungsgemäßen Betriebs“ ist die Option Vollverfüllung den beiden anderen Optionen überlegen. Wegen höherer Kollektivdosen der Beschäftigten als Folge zusätzlicher Handhabungsvorgänge bei der Rückholung ist diese Option insgesamt als schlechter gegenüber der Umlagerung zu bewerten.

Tab. 2.1-1: Kriterienbezogener Paarvergleich zu den ‚Radiologischen Auswirkungen des bestimmungsgemäßen Betriebes‘

<b>Radiologische Auswirkungen des Betriebes</b>	<b>Rückholung</b>	<b>Umlagerung</b>	<b>Vollverfüllung</b>	<b>Ergebnis</b>
<b>Rückholung</b>		schlechter	schlechter	- -
<b>Umlagerung</b>	besser		schlechter	+ -
<b>Vollverfüllung</b>	besser	besser		+ +



## **2.1.2 Anfälligkeit für Störfälle**

Das Kriterium „Anfälligkeit für Störfälle“ gliedert sich in die Bewertungsgrößen „Komplexität der Störfälle“ und „Mögliche Strahlenexposition bei Störfällen“. Bei der Option Vollverfüllung treten im Gegensatz zu den beiden alternativ betrachteten Optionen keine Störfälle auf, die zu relevanten Strahlenexpositionen der Bevölkerung führen können. Daher ist die Option Vollverfüllung hinsichtlich ihrer Anfälligkeit für Störfälle als besser zu bewerten. Zwar ist ein Anbohren der Einlagerungskammern zur Einbringung von Brucit-Mörtel vorgesehen. Durch Vorsorgemaßnahmen kann aber sichergestellt werden, dass in diesem Fall keine radioaktiven Stoffe austreten.

### **2.1.2.1 Rückholung vs. Umlagerung**

#### **Komplexität der Stilllegungsoption**

Die Optionen Rückholung und Umlagerung sind hinsichtlich der erforderlichen Arbeitsschritte unter Tage vergleichbar. Es entfallen bei der Umlagerung im Gegensatz zur Rückholung alle Arbeitsschritte über Tage sowie eine längerfristige Zwischenlagerung der Abfälle mit den damit verbundenen potenziellen Störfällen. Somit ist hinsichtlich der „Komplexität der Stilllegungsoption“ die Rückholung als komplexer und somit ungünstiger als die Umlagerung zu bewerten.

#### **Mögliche Strahlenexposition bei Störfällen**

Die höchste effektive Dosis ergibt sich bei der Option Rückholung. Der Unterschied zur Strahlenexposition bei der Option Umlagerung beträgt etwa einen Faktor 5. Die Einbeziehung von Organdosen des limitierenden Organs führt zum gleichen Ergebnis.

Die betrachteten Szenarien sind bezüglich der Störfallausbreitungsrechnung vergleichbar. Die darin festgelegten konservativen Annahmen sind identisch. Die Unterschiede in der Dosis sind alleine auf den Quellterm zurückzuführen. Die nur bei der Rückholung zu unterstellenden ungefilterten Ableitungen durch Störfälle über Tage bzw. unter Tage in Schachtnähe führen zu einer höheren Dosis als die gefilterten Ableitungen aus dem Grubengebäude bei der Option Umlagerung.

Die Option Rückholung ist damit hinsichtlich der Exposition der Bevölkerung als schlechter im Vergleich mit der Umlagerung zu bewerten.

### **2.1.2.2 Rückholung vs. Vollverfüllung**

Bei der Vollverfüllung treten keine relevanten Störfälle auf. Hinsichtlich der „Komplexität der Störfälle“ als auch der „möglichen Strahlenexposition bei Störfällen“ ist somit die Rückholung als schlechter zu bewerten.

### 2.1.2.3 Umlagerung vs. Vollverfüllung

Bei der Vollverfüllung treten keine relevanten Störfälle auf. Daher ist die Option Vollverfüllung in Bezug auf die Bewertungsgrößen „Komplexität der Störfälle“ und „mögliche Strahlenexposition bei Störfällen“ als günstiger im Vergleich zur Umlagerung zu bewerten.

### 2.1.2.4 Kriterienbezogener Paarvergleich

Hinsichtlich des Kriteriums „Anfälligkeit für Störfälle“ ist die Option Vollverfüllung den beiden anderen Optionen überlegen. Bezüglich der bei den Optionen erforderlichen Arbeitsschritte unter und über Tage, bei denen ein Umgang mit den radioaktiven Abfällen erfolgt (Komplexität), schneidet die Option Rückholung schlechter als die Umlagerung ab. Wegen höherer Expositionen der Bevölkerung durch mögliche ungefilterte Ableitungen bei Störfällen ist die Option Rückholung insgesamt als schlechter gegenüber der Umlagerung zu bewerten.

Tab. 2.1-2: Kriterienbezogener Paarvergleich zu ‚Anfälligkeit für Störfälle‘.

<b>Anfälligkeit für Störfälle</b>	<b>Rückholung</b>	<b>Umlagerung</b>	<b>Vollverfüllung</b>	<b>Ergebnis</b>
<b>Rückholung</b>		schlechter	schlechter	- -
<b>Umlagerung</b>	besser		schlechter	+ -
<b>Vollverfüllung</b>	besser	besser		+ +

## **2.1.3 Anfälligkeit gegenüber Eingriffen von außen**

### **2.1.3.1 Rückholung vs. Umlagerung**

#### **Zugänglichkeit der Abfälle**

Bei der Bewertungsgröße Zugänglichkeit der Abfälle werden die LAW-Abfälle mit dem kontaminierten Salzgrus aus zwölf Einlagerungskammern sowie die MAW-Abfälle aus einer Einlagerungskammer betrachtet. Bei der Rückholung und Umlagerung ist bei der Bergung der LAW-Abfälle ein direkter Kontakt zu Abfallgebinden oder bei defekten Gebinden sogar zu losen Abfällen möglich. Da die MAW-Abfälle ausschließlich ferngesteuert geborgen werden und anschließend in Mosaikbehälter (Rückholung) oder in Transferbehälter (Umlagerung) verpackt werden, ist ein direkter Zugang zu den Abfällen ausgeschlossen.

Bei der Umlagerung findet der Umgang ausschließlich im untertägigen Teil der kerntechnischen Anlage statt.

Bei der Rückholung findet auch ein Umgang mit den Abfällen über Tage statt. Die verpackten Abfälle werden in Containern von unter Tage in ein Zwischenlager nach über Tage gebracht und dort konditioniert. Somit ist eine Zugänglichkeit der Abfälle zumindest zu den Containern über Tage gegeben und Eingriffe sind von außen möglich.

Im Paarvergleich dieser Bewertungsgröße ergibt sich daher für die Umlagerung ein Vorteil.

#### **Überwachbarkeit der Anlage**

Bei der Bewertungsgröße Überwachbarkeit der Anlage wird der Umfang der technischen, baulichen und organisatorischen Maßnahmen betrachtet, die einen Schutz vor Eingriffen von außen in das Endlager bieten.

Die zu treffenden Sicherungsmaßnahmen sind für den untertägigen Bereich bei der Option Rückholung und Umlagerung gleich. In beiden Fällen muss eine verstärkte Kontrolle im Hinblick auf die Entwendung radioaktiver Stoffe stattfinden, da ein direkter Kontakt zu Abfallgebinden oder bei defekten Gebinden sogar zu losen Abfällen möglich ist (radiologische Kontrollmaßnahmen beim Verlassen des Sperrbereiches). Bei beiden Optionen werden über Tage technische, bauliche und administrative Sicherungsmaßnahmen vorzusehen sein, um Vorkehrungen gegen Sabotageakte und sonstige unbefugte Einwirkungen zu treffen. Bei der Rückholung muss zusätzlich ein obertägiges Zwischenlager errichtet werden, das ausreichend geschützt werden muss.

Im Paarvergleich dieser Bewertungsgröße ergibt sich daher für die Umlagerung ein Vorteil.

### **2.1.3.2 Rückholung vs. Vollverfüllung**

#### **Zugänglichkeit der Abfälle**

Bei der Rückholung ist bei der Bergung der LAW-Abfälle ein direkter Kontakt zu Abfallgebinden oder bei defekten Gebinden sogar zu losen Abfällen möglich. Da die MAW-Abfälle ausschließlich ferngesteuert geborgen werden und anschließend in Mosaikbehälter (Rückholung) verpackt werden, ist ein direkter Zugang zu den Abfällen ausgeschlossen.

Bei der Vollverfüllung ist die direkte Zugänglichkeit zu den Abfällen nicht mehr möglich, da die meisten Einlagerungskammern verschlossen bzw. bei den noch offenen Einlagerungskammern die Abfälle mit Salzgrus überdeckt worden sind.

Bei der Rückholung findet auch ein Umgang der Abfälle über Tage statt. Die verpackten Abfälle werden in Containern in ein Zwischenlager gebracht und dort konditioniert. Somit ist eine Zugänglichkeit der Abfälle über Tage gegeben und sind Eingriffe von außen möglich.

Im Paarvergleich dieser Bewertungsgröße ergibt sich daher für die Vollverfüllung ein Vorteil.

### **Überwachbarkeit der Anlage**

Im Falle der Rückholung muss eine verstärkte Kontrolle im Hinblick auf die Entwendung radioaktiver Stoffe stattfinden, da ein direkter Kontakt zu Abfallgebinden oder bei defekten Gebinden sogar zu losen Abfällen möglich ist (radiologische Kontrollmaßnahmen beim Verlassen des Sperrbereiches). Bei beiden Optionen werden über Tage technische, bauliche und administrative Sicherungsmaßnahmen vorzusehen sein, um Vorkehrungen gegen Sabotageakte und sonstige unbefugte Einwirkungen zu treffen. Bei der Rückholung muss zusätzlich ein obertägiges Zwischenlager errichtet werden, das ausreichend geschützt werden muss.

Im Paarvergleich dieser Bewertungsgröße ergibt sich daher für die Vollverfüllung ein Vorteil.

### **2.1.3.3 Umlagerung vs. Vollverfüllung**

#### **Zugänglichkeit der Abfälle**

Bei der Umlagerung ist bei der Bergung der LAW-Abfälle ein direkter Kontakt zu Abfallgebinden oder bei defekten Gebinden sogar zu losen Abfällen möglich. Da die MAW-Abfälle ausschließlich ferngesteuert geborgen werden und anschließend in Transferbehälter verpackt werden, ist ein direkter Zugang zu den Abfällen ausgeschlossen.

Bei der Vollverfüllung ist die direkte Zugänglichkeit zu den Abfällen nicht mehr möglich, da die meisten Einlagerungskammern verschlossen bzw. bei den noch offenen Einlagerungskammern die Abfälle mit Salzgrus überdeckt worden sind.

Bei der Umlagerung sowie bei der Vollverfüllung findet der Umgang ausschließlich im überwachten untertägigen Teil der kerntechnischen Anlage statt.

Aufgrund der Zugänglichkeit zu den Abfällen bei der Umlagerung ergibt sich im Paarvergleich dieser Bewertungsgröße daher für die Vollverfüllung ein Vorteil.

#### **Überwachbarkeit der Anlage**

Bei der Bewertungsgröße Überwachbarkeit der Anlage werden technische, bauliche und organisatorische Maßnahmen betrachtet, die einen Schutz vor Eingriffen von außen in das Endlager bieten.

Im Falle der Umlagerung muss eine Kontrolle im Hinblick auf die Entwendung radioaktiver Stoffe stattfinden, da ein direkter Kontakt zu Abfallgebinden oder bei defekten Gebinden sogar zu losen Abfällen möglich ist (radiologische Kontrollmaßnahmen beim Verlassen des Sperrbereiches). Bei der Vollverfüllung ist ein Umgang mit radioaktiven Stoffen ausgeschlossen.

Im Hinblick auf die erforderlichen Überwachungsmaßnahmen bei der Umlagerung aufgrund der Zugänglichkeit der Abfälle ergibt sich im Paarvergleich dieser Bewertungsgröße daher für die Vollverfüllung ein Vorteil.

### 2.1.3.4 Kriterienbezogener Paarvergleich

Im Gegensatz zu den Optionen Rückholung und Umlagerung findet bei der Option Vollverfüllung keine Handhabung mit radioaktiven Abfällen statt. Bei der Rückholung sind neben den Sicherungsmaßnahmen unter Tage noch zusätzliche Sicherungsmaßnahmen für ein Zwischenlager erforderlich.

Tab. 2.1-3: Kriterienbezogener Paarvergleich zur ‚Anfälligkeit gegenüber Eingriffe von Außen‘.

<b>Anfälligkeit gegenüber Eingriffen von Außen</b>	<b>Rückholung</b>	<b>Umlagerung</b>	<b>Vollverfüllung</b>	<b>Ergebnis</b>
<b>Rückholung</b>		schlechter	schlechter	- -
<b>Umlagerung</b>	besser		schlechter	+ -
<b>Vollverfüllung</b>	besser	besser		+ +

## **2.2 UMWELTAUSWIRKUNGEN BEI UNBEHERRSCHBAREM LÖSUNGSZUTRITT**

### **2.2.1 Radiologische Auswirkungen bei unbeherrschbarem Lösungszutritt**

#### **2.2.1.1 Rückholung vs. Umlagerung**

##### **Zeitraum fehlender Barrieren**

Bei unbeherrschbarem Lösungszutritt sind bei der Option Rückholung die Kammern für einströmendes Wasser nahezu barrierefrei erreichbar. Der Zeitraum fehlender Barrieren wird bei vollständiger Rückholung der Abfallgebinde mit ca. 8 Jahren veranschlagt.

Für die Umlagerung werden ca. 18 Jahre benötigt. Bis zum endgültigen, langzeitsicheren Abschluss der Arbeiten sind die Abfälle für eindringende Wässer zugänglich.

Die Rückholung ist aufgrund des kürzeren Zeitraums als besser zu bewerten als eine Umlagerung.

##### **Mobilisierung**

Bei der Rückholung wird das zum Zeitpunkt des Lösungszutritts in der Grube befindliche Inventar potenziell vollständig mobilisiert. Mit zunehmendem Fortschritt der Rückholung reduziert sich das Inventar.

Bei der Umlagerung verbleibt über den gesamten Zeitraum der Maßnahme das vollständige Inventar im Grubengebäude und kann entsprechend vollständig mobilisiert werden.

Die Rückholung ist aufgrund des sich mit der Zeit reduzierenden Inventars vorteilhafter als die Umlagerung.

##### **Verdünnung**

Die Verdünnung ist aufgrund fehlender Informationen nicht bewertbar, da die Transportpfade und das reale Verdünnungsvolumen im Grubengebäude, das vom Gesamthohlraumvolumen deutlich abweichen kann, nicht prognostiziert werden können. Der Verdünnungsfaktor im Deckgebirge ist für alle Optionen identisch.

#### **2.2.1.2 Rückholung vs. Vollverfüllung**

##### **Zeitraum fehlender Barrieren**

Der Zeitraum fehlender Barrieren wird bei vollständiger Rückholung der Abfallgebinde mit ca. 8 Jahren veranschlagt. Die bis zum Zeitpunkt eines unbeherrschbaren Lösungszutritts noch nicht geborgenen Abfälle sind für einströmendes Wasser nahezu barrierefrei erreichbar.

Bei der Option Vollverfüllung wird ein Gesamtzeitbedarf von ca. 8 Jahren angesetzt. Zu Beginn der Vollverfüllung sind die Einlagerungsbereiche nahezu barrierefrei erreichbar. Mit zunehmendem Baufortschritt

verbessert sich die Barrierewirkung. Hierdurch kann bereits während der Durchführung ein Sicherheitsgewinn erzielt werden.

Es wird abgeschätzt, dass der durch die Errichtung der Barrieren zu erzielende Sicherheitsgewinn während der Ausführung frühzeitiger eintritt und größer ist, als der Sicherheitsgewinn beim sukzessiven Rückholen der Abfälle. Deshalb erweist sich die Vollverfüllung als günstiger.

## **Mobilisierung**

Das sich zum Zeitpunkt des Lösungszutritts in der Grube befindliche Inventar wird bei der Rückholung vollständig mobilisiert. Mit zunehmendem Fortschritt der Rückholung reduziert sich das Inventar.

Die Maßnahmen zur Vollverfüllung führen durch die Einbringung von Brucit-Mörtel zu einer pH-Stabilisierung. Geotechnische Bauwerke führen zu einer Behinderung des Lösungsaustausches in den Einlagerungsbereichen. Diese Maßnahmen führen zu einer sukzessiven Fixierung des Inventars.

Es wird abgeschätzt, dass der durch die Errichtung der Barrieren zu erzielende Sicherheitsgewinn während der Ausführung frühzeitiger eintritt und größer ist, als der Sicherheitsgewinn beim sukzessiven Rückholen der Abfälle. Daher ist auch bei der Bewertungsgröße Mobilisierung die Vollverfüllung der Rückholung vorzuziehen.

## **Verdünnung**

Die Verdünnung ist aufgrund fehlender Informationen nicht bewertbar, da die Transportpfade und das reale Verdünnungsvolumen im Grubengebäude, das vom Gesamthohlraumvolumen deutlich abweichen kann, nicht prognostiziert werden können. Der Verdünnungsfaktor im Deckgebirge ist für alle Optionen identisch.

### **2.2.1.3 Umlagerung vs. Vollverfüllung**

#### **Zeitraum fehlender Barrieren**

Die Umlagerung beansprucht ca. 18 Jahre. Bis zum endgültigen, langzeitsicheren Abschluss der Arbeiten sind alle Abfälle für eindringende Wässer zugänglich.

Bei der Option Vollverfüllung wird ein Gesamtzeitbedarf von 8 Jahren angesetzt. Zu Beginn der Vollverfüllung sind die Einlagerungsbereiche nahezu barrierefrei erreichbar. Mit zunehmendem Baufortschritt verbessert sich die Barrierewirkung.

Aufgrund der sukzessiven Errichtung von Barrieren und geringeren Zeitbedarfs erweist sich die Vollverfüllung als günstiger.

## Mobilisierung

Bei der Umlagerung verbleibt über den gesamten Zeitraum der Maßnahme das vollständige Inventar im Grubengebäude und kann entsprechend vollständig mobilisiert werden.

Die Maßnahmen zur Vollverfüllung führen durch die frühzeitig mögliche Einbringung von Brucit-Mörtel zu einer pH-Stabilisierung. Geotechnische Bauwerke führen zu einer Behinderung des Lösungsaustausches in den Einlagerungsbereichen.

Die Option Vollverfüllung bringt hier gegenüber der Umlagerung Vorteile bei der Fixierung der Schadstoffe.

## Verdünnung

Die Verdünnung ist aufgrund fehlender Informationen nicht bewertbar, da die Transportpfade und das reale Verdünnungsvolumen im Grubengebäude, das vom Gesamthohlraumvolumen deutlich abweichen kann, nicht prognostiziert werden können. Auch die Volumenvergrößerung für die Option Umlagerung und die Volumenreduzierung durch die Vollverfüllung sind aufgrund der Unsicherheiten nicht quantifizierbar. Der Verdünnungsfaktor im Deckgebirge ist für alle Optionen identisch.

### 2.2.1.4 Kriterienbezogener Paarvergleich

Bei der Vollverfüllung kann durch gezielte Maßnahmen im Verlauf der Umsetzung der Option eine Barrierewirkung erreicht werden. Für die Optionen Rückholung und Umlagerung werden die Einlagerungsbereiche mit noch nicht geborgenen Abfällen für die komplette Dauer der Maßnahme als barrierefrei angesehen. Daher schneidet die Option Vollverfüllung für die Bewertungsgröße „Zeitraum fehlender Barrieren“ am besten ab.

Bei der Mobilisierung ist zu berücksichtigen, dass durch die Vollverfüllung ein frühzeitigerer Sicherheitsgewinn zu erwarten ist als bei der Rückholung. Bei Umlagerung hingegen erfolgt keine zeitliche Abnahme des mobilisierbaren Inventars.

Für die Verdünnung ist es nicht möglich, zuverlässige Aussagen über das verdünnungswirksame Volumen im Grubengebäude zu treffen. Der Verdünnungsfaktor im Deckgebirge hingegen ist für alle Optionen gleich.

Tab. 2.2-1: Kriterienbezogener Paarvergleich zu ‚Radiologische Auswirkungen bei unbeherrschbarem Lösungszutritt‘.

Chemotoxische Auswirkungen bei Lösungszutritt	Rückholung	Umlagerung	Vollverfüllung	Ergebnis
Rückholung		besser	schlechter	+ -
Umlagerung	schlechter		schlechter	--
Vollverfüllung	besser	besser		++



## **2.2.2 Chemotoxische Auswirkungen bei unbeherrschbarem Lösungszutritt**

### **2.2.2.1 Rückholung vs. Umlagerung**

#### **Zeitraum fehlender Barrieren**

Bei unbeherrschbarem Lösungszutritt sind bei der Option Rückholung die Kammern für einströmendes Wasser nahezu barrierefrei erreichbar. Der Zeitraum fehlender Barrieren wird bei vollständiger Rückholung der Abfallgebinde mit ca. 8 Jahren veranschlagt.

Für die Umlagerung werden ca. 18 Jahre benötigt. Bis zum endgültigen, langzeitsicheren Abschluss der Arbeiten sind die Abfälle für eindringende Wässer zugänglich.

Die Rückholung ist aufgrund des kürzeren Zeitraums als besser zu bewerten als eine Umlagerung.

#### **Mobilisierung**

Bei der Rückholung wird das zum Zeitpunkt des Lösungszutritts in der Grube befindliche Inventar potenziell vollständig mobilisiert. Mit zunehmendem Fortschritt der Rückholung reduziert sich das Inventar.

Bei der Umlagerung verbleibt über den gesamten Zeitraum der Maßnahme das vollständige Inventar im Grubengebäude und kann entsprechend vollständig mobilisiert werden.

Die Rückholung ist aufgrund des sich mit der Zeit reduzierenden Inventars vorteilhafter als die Umlagerung.

#### **Verdünnung**

Die Verdünnung ist aufgrund fehlender Informationen nicht bewertbar, da die Transportpfade und das reale Verdünnungsvolumen im Grubengebäude, das vom Gesamthohlraumvolumen deutlich abweichen kann, nicht prognostiziert werden können. Der Verdünnungsfaktor im Deckgebirge ist für alle Optionen identisch.

### **2.2.2.2 Rückholung vs. Vollverfüllung**

#### **Zeitraum fehlender Barrieren**

Der Zeitraum fehlender Barrieren wird bei vollständiger Rückholung der Abfallgebinde mit ca. 8 Jahren veranschlagt. Die bis zum Zeitpunkt eines unbeherrschbaren Lösungszutritts noch nicht geborgenen Abfälle sind für einströmendes Wasser nahezu barrierefrei erreichbar.

Bei der Option Vollverfüllung wird ein Gesamtzeitbedarf von ca. 8 Jahren angesetzt. Zu Beginn der Vollverfüllung sind die Einlagerungsbereiche nahezu barrierefrei erreichbar. Mit zunehmendem Baufortschritt verbessert sich die Barrierewirkung. Hierdurch kann bereits während der Durchführung ein Sicherheitsgewinn erzielt werden.

Es wird abgeschätzt, dass der durch die Errichtung der Barrieren zu erzielende Sicherheitsgewinn während der Ausführung frühzeitiger eintritt und größer ist, als der Sicherheitsgewinn beim sukzessiven Rückholen der Abfälle. Deshalb erweist sich die Vollverfüllung als günstiger.

## **Mobilisierung**

Das sich zum Zeitpunkt des Lösungszutritts in der Grube befindliche Inventar wird bei der Rückholung vollständig mobilisiert. Mit zunehmendem Fortschritt der Rückholung reduziert sich das Inventar.

Die Maßnahmen zur Vollverfüllung führen durch die Einbringung von Brucit-Mörtel zu einer pH-Stabilisierung. Geotechnische Bauwerke führen zu einer Behinderung des Lösungsaustausches in den Einlagerungsbereichen. Diese Maßnahmen führen zu einer sukzessiven Fixierung des Inventars.

Es wird abgeschätzt, dass der durch die Errichtung der Barrieren zu erzielende Sicherheitsgewinn während der Ausführung frühzeitiger eintritt und größer ist, als der Sicherheitsgewinn beim sukzessiven Rückholen der Abfälle. Daher ist auch bei der Bewertungsgröße Mobilisierung die Vollverfüllung der Rückholung vorzuziehen.

## **Verdünnung**

Die Verdünnung ist aufgrund fehlender Informationen nicht bewertbar, da die Transportpfade und das reale Verdünnungsvolumen im Grubengebäude, das vom Gesamthohlraumvolumen deutlich abweichen kann, nicht prognostiziert werden können. Der Verdünnungsfaktor im Deckgebirge ist für alle Optionen identisch.

### **2.2.2.3 Umlagerung vs. Vollverfüllung**

#### **Zeitraum fehlender Barrieren**

Die Umlagerung beansprucht ca. 18 Jahre. Bis zum endgültigen, langzeitsicheren Abschluss der Arbeiten sind alle Abfälle für eindringende Wässer zugänglich.

Bei der Option Vollverfüllung wird ein Gesamtzeitbedarf von 8 Jahren angesetzt. Zu Beginn der Vollverfüllung sind die Einlagerungsbereiche nahezu barrierefrei erreichbar. Mit zunehmendem Baufortschritt verbessert sich die Barrierewirkung.

Aufgrund der sukzessiven Errichtung von Barrieren und geringeren Zeitbedarfs erweist sich die Vollverfüllung als günstiger.

## **Mobilisierung**

Bei der Umlagerung verbleibt über den gesamten Zeitraum der Maßnahme das vollständige Inventar im Grubengebäude und kann entsprechend vollständig mobilisiert werden.

Die Maßnahmen zur Vollverfüllung führen durch die frühzeitig mögliche Einbringung von Brucit-Mörtel zu einer pH-Stabilisierung. Geotechnische Bauwerke führen zu einer Behinderung des Lösungsaustausches in den Einlagerungsbereichen.

Die Option Vollverfüllung bringt hier gegenüber der Umlagerung Vorteile bei der Fixierung der Schadstoffe.

## Verdünnung

Die Verdünnung ist aufgrund fehlender Informationen nicht bewertbar, da die Transportpfade und das reale Verdünnungsvolumen im Grubengebäude, das vom Gesamthohlraumvolumen deutlich abweichen kann, nicht prognostiziert werden können. Auch die Volumenvergrößerung für die Option Umlagerung und die Volumenreduzierung durch die Vollverfüllung sind aufgrund der Unsicherheiten nicht quantifizierbar. Der Verdünnungsfaktor im Deckgebirge ist für alle Optionen identisch.

### 2.2.2.4 Kriterienbezogener Paarvergleich

Bei der Vollverfüllung kann durch gezielte Maßnahmen im Verlauf der Umsetzung der Option eine Barrierewirkung erreicht werden. Für die Optionen Rückholung und Umlagerung werden die Einlagerungsbereiche mit noch nicht geborgenen Abfällen für die komplette Dauer der Maßnahme als barrierefrei angesehen. Daher schneidet die Option Vollverfüllung für die Bewertungsgröße „Zeitraum fehlender Barrieren“ am besten ab.

Bei der Mobilisierung ist zu berücksichtigen, dass durch die Vollverfüllung ein frühzeitigerer Sicherheitsgewinn zu erwarten ist als bei der Rückholung. Bei Umlagerung hingegen erfolgt keine zeitliche Abnahme des mobilisierbaren Inventars.

Für die Verdünnung ist es nicht möglich, zuverlässige Aussagen über das verdünnungswirksame Volumen im Grubengebäude zu treffen. Der Verdünnungsfaktor im Deckgebirge hingegen ist für alle Optionen gleich.

Tab. 2.2-1: Kriterienbezogener Paarvergleich zu ‚Chemotoxische Auswirkungen bei unbeherrschbarem Lösungszutritt‘.

<b>Chemotoxische Auswirkungen bei Lösungszutritt</b>	<b>Rückholung</b>	<b>Umlagerung</b>	<b>Vollverfüllung</b>	<b>Ergebnis</b>
<b>Rückholung</b>		besser	schlechter	+ -
<b>Umlagerung</b>	schlechter		schlechter	- -
<b>Vollverfüllung</b>	besser	besser		+ +

## 2.2.3 Einhaltung bergbaulicher Schutzziele

### 2.2.3.1 Rückholung vs. Umlagerung

#### Senkungen an der Tagesoberfläche

Bei beiden Optionen ist zu erwarten, dass die Senkungen und Senkungsgeschwindigkeiten in Folge des unbeherrschbaren Lösungszutritts ansteigen werden, da durch den Feuchtigkeitseinfluss die Verformungen des Salzgebirges zunehmen werden (Feuchtekriechen).

Unter der vereinfachten Annahme, dass sich der vorhandene Gesamthohlraum proportional zur Senkung der Tagesoberfläche verhält, lässt sich bei der Option Rückholung für den Bereich oberhalb der Südflanke und für den Zeitraum von 2005 bis 2100 eine Absenkung der Tagesoberfläche von ca. 230 mm berechnen. Für das Jahr 10.000 würde sich ein Senkungsbetrag von etwa 1,20 m ergeben.

Bei der Umlagerung erhöht sich durch den neu gebildeten Hohlraum der für Lösungszutritte zur Verfügung stehende Gesamthohlraum um ca. 45 Vol.-%. Damit erhöhen sich auch die Senkungen an der Tagesoberfläche. Unter der vereinfachten Annahme, dass sich der vorhandene Gesamthohlraum proportional zur Senkung der Tagesoberfläche verhält, lässt sich für den Bereich oberhalb der Südflanke und für den Zeitraum von 2005 bis 2100 eine Absenkung der Tagesoberfläche von ca. 268 mm berechnen. Für das Jahr 10.000 würde sich ein Senkungsbetrag von etwa 1,45 m ergeben.

Damit treten bei der Rückholung etwas geringere Senkungen auf. Dieser Unterschied wird als unbeachtlich bewertet.

#### Gefahr eines Tagesbruchs

Bei der Option Rückholung wird das bei einem reinen Süßwasserzutritt durch Auflösen von Steinsalz und Carnallit ggf. neu entstehende Hohlraumvolumen von 440.000 m<sup>3</sup> keinen wesentlichen Einfluss auf das Verhältnis von versetztem zu aufgefahretem Hohlraum haben.

Ebenso wird das bei der Umlagerung neu aufgefahrene und bei einem reinen Süßwasserzutritt durch Auflösen von Steinsalz oder Carnallit ggf. neu entstehende Hohlraumvolumen von insgesamt etwa 855.000 m<sup>3</sup> nur einen geringen Einfluss auf das Verhältnis von versetztem zu aufgefahretem Hohlraum haben.

Daher besteht bei beiden Optionen die Gefahr eines Tagesbruchs bei einem unbeherrschbaren Lösungszutritt nicht. Durch das schnelle Volllaufen des Grubengebäudes und dem hohen Anteil an versetzten Kammern wird sich relativ schnell ein Stützdruck aufbauen. Ein Tagesbruch entsteht nur, wenn das Grubengebäude unversetzt in relativ kurzer Zeit mit einer deutlich untersättigten Lösung absäuft und ein mobiles Deckgebirge vorhanden ist.

Allerdings zeigen auch Beispiele aus der Bergbaupraxis (Staßfurter Sattel), dass an der Zutrittstelle ggf. langfristig Subrosionsprozesse ablaufen können, die zu weiteren Hohlräumen führen. Bei lang anhaltenden Subrosionsprozessen kann hierbei ein beachtlicher Hohlraum entstehen, der je nach Beschaffenheit des Deckgebirges sogar zu einem Tagesbruch führen kann. Ein solcher Prozess kann in beiden Fällen nicht vollständig ausgeschlossen werden, auch wenn er als wenig wahrscheinlich einzustufen ist.

Im direkten Vergleich sind beide Optionen gleichwertig.

### **2.2.3.2 Rückholung vs. Vollverfüllung**

#### **Senkungen an der Tagesoberfläche**

Bei beiden Optionen ist zu erwarten, dass die Senkungen und Senkungsgeschwindigkeiten in Folge des unbeherrschbaren Lösungszutritts ansteigen werden, da durch den Feuchtigkeitseinfluss die Verformungen des Salzgebirges zunehmen werden (Feuchtekriechen).

Unter der vereinfachten Annahme, dass sich der vorhandene Gesamthohlraum proportional zur Senkung der Tagesoberfläche verhält, lässt sich bei der Option Rückholung für den Bereich oberhalb der Südflanke und für den Zeitraum von 2005 bis 2100 eine Absenkung der Tagesoberfläche von ca. 230 mm berechnen. Für das Jahr 10.000 würde sich ein Senkungsbetrag von etwa 1,20 m ergeben.

Bei der Vollverfüllung ergeben sich unter dieser Annahme eine Absenkung der Tagesoberfläche um ca. 210 mm bis 230 mm bis zum Jahr 2100 und ein Senkungsbetrag zwischen etwa 1,10 m und 1,20 m für das Jahr 10.000.

Hinsichtlich der Senkungen an der Tagesoberfläche sind die Optionen gleichwertig.

#### **Gefahr eines Tagesbruchs**

Bei beiden Optionen wird das bei einem reinen Süßwasserzutritt durch Auflösen von Steinsalz und Carnallit ggf. neu entstehende Hohlraumvolumen von maximal 440.000 m<sup>3</sup> keinen wesentlichen Einfluss auf das Verhältnis von versetztem zu aufgefahrenem Hohlraum haben.

Daher besteht die Gefahr eines Tagesbruchs bei einem unbeherrschbaren Lösungszutritt in beiden Fällen nicht. Durch das schnelle Volllaufen des Grubengebäudes und dem hohen Anteil an versetzten Kammern wird sich relativ schnell ein Stützdruck aufbauen können. Ein Tagesbruch entsteht nur, wenn das Grubengebäude unversetzt, in relativ kurzer Zeit mit einer deutlich untersättigten Lösung absäuft und ein mobiles Deckgebirge vorhanden ist.

Allerdings zeigen auch Beispiele aus der Bergbaupraxis (Staßfurter Sattel), dass bei beiden Optionen an der Zutrittstelle ggf. langfristig Subrosionsprozesse ablaufen können, die zu weiteren Hohlräumen führen. Bei lang anhaltenden Subrosionsprozessen kann hierbei ein beachtlicher Hohlraum entstehen, der je nach Beschaffenheit des Deckgebirges sogar zu einem Tagesbruch führen kann. Ein solcher Prozess kann nicht vollständig ausgeschlossen werden, auch wenn er als wenig wahrscheinlich einzustufen ist.

### **2.2.3.3 Umlagerung vs. Vollverfüllung**

#### **Senkungen an der Tagesoberfläche**

Bei beiden Optionen ist zu erwarten, dass die Senkungen und Senkungsgeschwindigkeiten in Folge des unbeherrschbaren Lösungszutritts ansteigen werden, da durch den Feuchtigkeitseinfluss die Verformungen des Salzgebirges zunehmen werden (Feuchtekriechen).

Bei der Umlagerung erhöht sich durch den neu gebildeten Hohlraum der für Lösungszutritte zur Verfügung stehende Gesamthohlraum um ca. 45 Vol.-%. Damit erhöhen sich auch die Senkungen an der Tagesoberfläche. Unter der vereinfachten Annahme, dass sich der vorhandene Gesamthohlraum proportional zur Senkung der Tagesoberfläche verhält, lässt sich für den Bereich oberhalb der Südflanke

und für den Zeitraum von 2005 bis 2100 eine Absenkung der Tagesoberfläche von ca. 268 mm berechnen. Für das Jahr 10.000 würde sich ein Senkungsbetrag von etwa 1,45 m ergeben.

Bei der Vollverfüllung ergeben sich unter dieser Annahme eine Absenkung der Tagesoberfläche um ca. 210 mm bis 230 mm bis zum Jahr 2100 und ein Senkungsbetrag zwischen etwa 1,10 m und 1,20 m für das Jahr 10.000.

Damit treten bei der Vollverfüllung etwas geringere Senkungen auf. Dieser Unterschied wird als unbeachtlich bewertet.

### Gefahr eines Tagesbruchs

Bei der Option Vollverfüllung wird das bei einem reinen Süßwasserzutritt durch Auflösen von Steinsalz und Carnallitit ggf. neu entstehende Hohlraumvolumen von 440.000 m<sup>3</sup> keinen wesentlichen Einfluss auf das Verhältnis von versetztem zu aufgefahretem Hohlraum haben.

Ebenso wird das bei der Umlagerung neu aufgefahrene und bei einem reinen Süßwasserzutritt durch Auflösen von Steinsalz oder Carnallitit ggf. neu entstehende Hohlraumvolumen von insgesamt etwa 855.000 m<sup>3</sup> nur einen geringen Einfluss auf das Verhältnis von versetztem zu aufgefahretem Hohlraum haben.

Daher besteht die Gefahr eines Tagesbruchs bei einem unbeherrschbaren Lösungszutritt in beiden Fällen nicht. Durch das schnelle Volllaufen des Grubengebäudes und dem hohen Anteil an versetzten Kammern wird sich relativ schnell ein Stützdruck aufbauen können. Ein Tagesbruch entsteht nur, wenn das Grubengebäude unversetzt in relativ kurzer Zeit mit einer deutlich untersättigten Lösung absäuft und ein mobiles Deckgebirge vorhanden ist.

Allerdings zeigen auch Beispiele aus der Bergbaupraxis (Steißfurter Sattel), dass bei beiden Optionen an der Zutrittsstelle ggf. langfristig Subrosionsprozesse ablaufen können, die zu weiteren Hohlräumen führen. Bei lang anhaltenden Subrosionsprozessen kann hierbei ein beachtlicher Hohlraum entstehen, der je nach Beschaffenheit des Deckgebirges sogar zu einem Tagesbruch führen kann. Ein solcher Prozess kann nicht vollständig ausgeschlossen werden, auch wenn er als wenig wahrscheinlich einzustufen ist.

Im direkten Vergleich sind beide Optionen trotz des ggf. etwas höheren neu entstehenden Hohlraumvolumens bei der Umlagerung gleichwertig, da der Unterschied in beiden Fällen unerheblich ist.

### 2.2.3.4 Kriterienbezogener Paarvergleich

Die sich bei diesem Kriterium ergebenden leichten Unterschiede werden insgesamt als unbeachtlich bewertet.

Tab. 2.2-2: Kriterienbezogenen Paarvergleich zur ‚Einhaltung bergbaulicher Schutzziele‘.

Einhaltung bergbaulicher Schutzziele	Rückholung	Umlagerung	Vollverfüllung	Ergebnis
Rückholung		gleich	gleich	0 0
Umlagerung	gleich		gleich	0 0
Vollverfüllung	gleich	gleich		0 0

## **2.2.4 Wechselwirkungen mit Notfallmaßnahmen**

### **2.2.4.1 Rückholung vs. Umlagerung**

#### **Neuauffahrungen im Grubengebäude**

Bei der Rückholung und bei der Umlagerung werden Neuauffahrungen für Infrastruktureinrichtungen und für die Zugangsstrecken zu den Einlagerungskammern erforderlich sein. Außerdem sind in beiden Optionen ein Öffnen der Kammerverschlüsse und/oder ein erneutes Anfahren der Einlagerungskammern zur Bergung der Abfallgebände notwendig. Beide Optionen sehen vor, dass die Einlagerungskammern nacheinander geöffnet, die enthaltenen Gebände geborgen und dann die geleerten Einlagerungskammern verfüllt werden.

Im Gegensatz zur Rückholung werden bei der Umlagerung in einem geeigneten Einlagerungshorizont neue Einlagerungskammern aufgefahren, in denen die geborgenen Abfälle endgelagert werden. Hierdurch werden im Vergleich zur Rückholung weitere Neuauffahrungen ausgeführt. Allerdings befindet sich der neue Einlagerungshorizont außerhalb des Bereichs, in dem aufgrund seiner Nähe zu den Einlagerungskammern Notfallmaßnahmen erforderlich sein können.

Insgesamt sind beide Optionen als gleichwertig zu betrachten.

#### **Mobilisierbarkeit der Schadstoffe**

Bei der Rückholung und bei der Umlagerung werden die Einlagerungskammern in gleicher Weise nacheinander geöffnet und die Abfälle geborgen. Bei beiden Optionen gibt es bezüglich der Mobilisierbarkeit der Schadstoffe in diesem Arbeitsschritt keine Unterschiede.

Im Ergebnis ergibt sich bei dieser Bewertungsgröße für keine der Optionen ein Vorteil.

### **2.2.4.2 Rückholung vs. Vollverfüllung**

#### **Neuauffahrungen im Grubengebäude**

Im Gegensatz zur Vollverfüllung sind bei der Rückholung Neuauffahrungen für Infrastruktureinrichtungen und für die Zugangsstrecken zu den Einlagerungskammern erforderlich. Zusätzlich erfolgt bei der Rückholung das Öffnen der Kammerverschlüsse bzw. das Anfahren der Einlagerungskammern über neue Auffahrungen, damit die Gebände geborgen werden können.

Im Gegensatz zur Rückholung sind bei der Vollverfüllung keine nennenswerten Neuauffahrungen von Strecken und Grubenräumen notwendig.

Damit ergibt sich ein Vorteil für die Vollverfüllung.

#### **Mobilisierbarkeit der Schadstoffe**

Bei der Rückholung werden die Einlagerungskammern nacheinander geöffnet. Die geplante Öffnung erschwert für die jeweils geöffnete Kammer die Verfüllung gemäß der derzeitigen Notfallplanung, die eine

Mobilisierung der Schadstoffe behindern soll. Somit ist eine potenziell negative Wechselwirkung mit den Notfallmaßnahmen gegeben.

Bei der Option Vollverfüllung ist die Mobilisierbarkeit der Schadstoffe im Wesentlichen von dem Fortschritt der umgesetzten Stilllegungsmaßnahmen abhängig. Die dabei vorgesehenen Maßnahmen zur Begrenzung der Schadstoffmobilisierung entsprechen weitgehend dem derzeitigen Notfallkonzept.

Folglich ergibt sich ein Vorteil für die Vollverfüllung.

### 2.2.4.3 Umlagerung vs. Vollverfüllung

#### Neuauffahrungen im Grubengebäude

Im Gegensatz zur Vollverfüllung sind bei der Umlagerung Neuauffahrungen für Infrastruktureinrichtungen und für die Zugangsstrecken zu den Einlagerungskammern erforderlich. Zusätzlich erfolgt bei der Bergung das Öffnen der Kammerverschlüsse bzw. das Anfahren der Einlagerungskammern über neue Auffahrungen, damit die Gebinde geborgen werden können.

Im Gegensatz zur Umlagerung sind bei der Vollverfüllung keine nennenswerten Neuauffahrungen von Strecken und Grubenräumen notwendig.

Damit ergibt sich ein Vorteil für die Vollverfüllung.

#### Mobilisierbarkeit der Schadstoffe

Bei der Umlagerung werden die Einlagerungskammern nacheinander geöffnet. Die geplante Öffnung erschwert für die jeweils geöffnete Kammer die Verfüllung gemäß der derzeitigen Notfallplanung, die eine Mobilisierung der Schadstoffe behindern soll. Somit ist eine potenziell negative Wechselwirkung mit den Notfallmaßnahmen gegeben.

Bei der Option Vollverfüllung ist die Mobilisierbarkeit der Schadstoffe im Wesentlichen von dem Fortschritt der umgesetzten Stilllegungsmaßnahmen abhängig. Die dabei vorgesehenen Maßnahmen zur Begrenzung der Schadstoffmobilisierung entsprechen weitgehend dem derzeitigen Notfallkonzept.

Folglich ergibt sich ein Vorteil für die Vollverfüllung.

### 2.2.4.4 Kriterienbezogener Paarvergleich

Tab. 2.2-3: Ergebnis des Kriterienbezogenen Paarvergleichs zu ‚Wechselwirkungen mit Notfallmaßnahmen‘.

Wechselwirkungen mit Notfallmaßnahmen	Rückholung	Umlagerung	Vollverfüllung	Ergebnis
Rückholung		gleich	schlechter	0 -
Umlagerung	gleich		schlechter	0 -
Vollverfüllung	besser	besser		+ +



## **2.3 VORLÄUFIGE LANGZEITSICHERHEITSEINSCHÄTZUNGEN**

Besonders bei dem Beurteilungsfeld „vorläufige Langzeitsicherheitseinschätzung“ stellt sich das folgende Problem: Auf Grund der Arbeiten des ehemaligen Betreibers (HMGU) zu seinem Schließungskonzept für die Schachanlage Asse II ist der übertragbare Kenntnisstand zur Stilllegungsoption Vollverfüllung relativ weit fortgeschritten. Demgegenüber stützt sich eine Beurteilung der Option Rückholung auf Erwartungen, die ihre Grundlage im erfolgreichen Abschluss des Planfeststellungsverfahrens für das Endlager Konrad haben. Für die Option Umlagerung liegt schließlich allein eine Hoffnung vor, in der konkreten Struktur des Salzsattels Asse günstige geologische Bedingungen vorzufinden.

Diese unterschiedliche Form vorliegender Erkenntnisse ist bei der hier zu leistenden Aufgabe zu berücksichtigen. Die konkreten Auswirkungen der einzelnen Stilllegungsoptionen sind nur auf der Basis des heute vorhandenen Wissens zu beschreiben und zu bewerten. Dies geschieht in den folgenden Abschnitten 2.3.1 bis 2.3.4. Der Frage der Erwartung, ob es gelingt, die bestehenden Erkenntnislücken zu schließen, wird im Rahmen der Prüfung des Kriteriums „Nachweisbarkeit der radiologischen Langzeitsicherheit“ (2.3.5) nachgegangen.

### **2.3.1 Radiologische Auswirkungen**

#### **2.3.1.1 Rückholung vs. Umlagerung**

##### **Vorhandene Barrieren oder einschlusswirksamer Gebirgsbereich**

Bei der Rückholung werden die Abfälle aus der Schachanlage Asse II in ein planfestgestelltes Zielendlager verbracht, in dem die geologischen und hydrologischen Verhältnisse die Gewähr für eine langfristige Isolation der eingelagerten Schadstoffe von der Biosphäre bieten. Dies konnte für das Endlager Konrad im Rahmen des Planfeststellungsverfahrens nachgewiesen werden.

Bei der Umlagerung ist die Verbringung der radioaktiven Abfälle in einen aus dem bestehenden Grubengebäude heraus neu aufzufahrenden Einlagerungshorizont innerhalb des Salzsattels Asse vorgesehen. Das umgebende Wirtsgestein (unverritztes Steinsalz) soll die Funktion einer einschlusswirksamen geologischen Barriere übernehmen. Hierbei bestehen Anforderungen an die Mächtigkeit und die lithologische und strukturelle Ausbildung des Salzgesteins. Blindschächte und Strecken sollen mit geotechnischen Verschlussbauwerken nach dem Stand von Wissenschaft und Technik flüssigkeits- und gasdicht langzeitsicher verschlossen werden. Da die vorgeschlagenen Einlagerungsbereiche bisher nicht in die Erkundung einbezogen waren, sind Kenntnisse hinsichtlich ihrer Eignung, insbesondere der lithologischen und strukturellen Ausbildung nicht vorhanden.

Die derzeit vorhandenen Unsicherheiten und essentiellen Kenntnisdefizite hinsichtlich des Vorhandenseins eines für die Umlagerung geologisch geeigneten und einschlusswirksamen Einlagerungshorizonts führen dazu, dass ein Vergleich nicht geführt werden kann. Da maßgebliche Kenntnislücken über die Eignung eines Einlagerungsbereiches bei der Option Umlagerung bestehen, ist die Option Rückholung vorzuziehen.

##### **Gasbildung**

Bei Umlagerung innerhalb der Schachanlage Asse II kann eine Gasbildung in den neuen Einlagerungsbereichen insbesondere durch Korrosionsprozesse aufgrund der Eigenfeuchte in den Gebinden nicht vollständig ausgeschlossen werden. Jedoch kann davon ausgegangen werden, dass die bei trockener Verwahrung erwarteten Gasmengen vergleichsweise gering sind.

Es kann derzeit nicht beurteilt werden, ob eine trockene Verwahrung möglich ist. Deshalb kann ein Paarvergleich für diese Bewertungsgröße nicht vorgenommen werden.

### **Nuklidmobilisierung**

Bei Umlagerung der radioaktiven Abfälle in einen geologisch geeigneten Einlagerungshorizont wird ein vollständiger und dauerhafter Einschluss der Abfälle angestrebt. Ob dies in den für eine Umlagerung in Betracht kommenden Bereichen des Salzstocks leistbar ist, kann aktuell nicht beurteilt werden. Aus diesem Grund ist der Paarvergleich für diese Bewertungsgröße nicht möglich.

### **Rückhaltung**

Bei Umlagerung wird ein dauerhafter Einschluss der Abfälle und somit eine vollständige Rückhaltung der Schadstoffe angestrebt. Ob dies in der Schachtanlage Asse II erreichbar ist, ist offen. Ein Paarvergleich dieser Bewertungsgröße muss daher entfallen.

### **Auspressraten**

Bei Umlagerung wird ein vollständiger und dauerhaft trockener Einschluss der Abfälle angestrebt, um eine Auspressung kontaminierter Lösungen aus den neuen Einlagerungsbereichen nach Möglichkeit zu vermeiden. Ob dies umsetzbar ist, kann zur Zeit nicht beurteilt werden. Ein Paarvergleich ist insoweit nicht möglich.

### **Verdünnung**

Die Umlagerung hat einen vollständigen und dauerhaften Einschluss der Abfälle (Isolation) zum Ziel. In diesem Fall wäre eine Verdünnung nicht von Belang. Ob dies erreichbar ist, kann auf der Basis des heutigen Wissensstandes nicht beurteilt werden. Der Paarvergleich entfällt insoweit.

## **2.3.1.2 Rückholung vs. Vollverfüllung**

### **Vorhandene Barrieren oder einschlusswirksamer Gebirgsbereich**

Bei einer Vollverfüllung der Schachtanlage Asse II wird der Schadstofftransport bis in die Biosphäre durch ein intaktes Multibarrierensystem aus natürlichen und technischen Barrieren begrenzt. Jedoch ist die Steinsalz-Barriere in der Südflanke zwischen etwa 500 m und 574 m Teufe desintegriert. In der Zone der desintegrierten Steinsalz-Barriere führen hydraulische Wegsamkeiten vom Grubengebäude in das Deckgebirge.

Im Fall der Rückholung kommt nur eine Verbringung der Abfälle in ein Endlager in Betracht, das ein Multi-Barrierensystem aufweist. Dies ist zum Beispiel für das Endlager Konrad im Rahmen des Planfeststellungsverfahrens nachgewiesen worden.

Hinsichtlich der Barrierewirkung ist die Option Rückholung im Vergleich zur Vollverfüllung als besser zu bewerten.

## **Gasbildung**

Bei der Option Vollverfüllung kommt es in der Nachbetriebsphase zur Gasbildung. Die Gasspeicherung im Grubengebäude stellt einen Antriebsprozess für den Transport von Radionukliden in der Lösung dar. Die langfristige Entwicklung des Lösungsaustauschs in den Einlagerungskammern, der das geochemische Milieu und somit die Gasbildungsrate beeinflusst, kann derzeit nicht genau prognostiziert werden. Die möglichen negativen Auswirkungen einer erhöhten Gasbildungsrate auf den Nuklidtransport sind begrenzt, jedoch nicht vernachlässigbar.

Entsprechende Analysen wurden für das Endlager Konrad durchgeführt und erbrachten das Ergebnis, dass die Auswirkungen einer Gasbildung als geringfügig einzustufen sind. Hinsichtlich der Bewertungsgröße Gasbildung ist deshalb die Option Rückholung der Vollverfüllung vorzuziehen.

## **Nuklidmobilisierung**

Bei der Vollverfüllung muss davon ausgegangen werden, dass ein vollständiger, trockener Einschluss der Abfälle nicht möglich ist. Die eingeleitete technische  $MgCl_2$ -Lösung und die Deckgebirgslösung werden mit den eingelagerten Abfallbinden in Kontakt treten und Schadstoffe mobilisieren. Durch günstige Beeinflussung des pH-Wertes in den Einlagerungskammern kann eine Begrenzung und zeitliche Streckung der Nuklidmobilisierung erfolgen.

Während aufgrund des seit Jahrzehnten andauernden Grundwasserzuflusses in die Schachanlage Asse II eine Nuklidmobilisierung zu erwarten ist, ist das Endlager Konrad seit seiner Auffahrung trocken. Eine durch Zutrittswasser verursachte Nuklidmobilisierung kann in diesem Endlager für die Zukunft nicht ausgeschlossen werden, dies würde jedoch einer nach heutiger Kenntnis wenig wahrscheinlichen drastischen Veränderung der hydrogeologischen Verhältnisse bedürfen.

Aus dieser Gegenüberstellung ergibt sich, dass für diese Bewertungsgröße die Option Rückholung im Vergleich zur Vollverfüllung als besser einzustufen ist.

## **Rückhaltung**

Bei der Vollverfüllung erfolgt eine Rückhaltung bestimmter Radionuklide in den Einlagerungsbereichen durch Löslichkeitsbegrenzung und Sorption. Durch technische Maßnahmen (Barrieren) können Lösungsaustausch in den Einlagerungskammern und Nuklidausbreitung im Grubengebäude deutlich reduziert werden. Eine zusätzliche Verzögerung des Transports von Radionukliden durch Ausfällung und Sorption entlang der Transportwege im Deckgebirge ist prinzipiell gegeben. Weil derzeit jedoch keine standortspezifischen Daten für die Sorption in der Geosphäre vorliegen, können diese Prozesse bei der Modellierung nicht berücksichtigt werden, sondern stellen lediglich eine Sicherheitsreserve dar.

Die Rückhaltung von Radionukliden, insbesondere durch Sorption und Transportverzögerung in der Geosphäre, ist für das Endlager Konrad infolge der mächtigen Tonschichten sehr groß. Für stark sorbierende Radionuklide beträgt die Transportverzögerung durch Rückhaltung mehrere Millionen Jahre.

Die Option Rückholung weist gegenüber der Vollverfüllung durch die am Standort der Wiedereinlagerung erreichbare Nuklidrückhaltung im Deckgebirge Vorteile auf. Somit ist die Rückholung bei dieser Bewertungsgröße als besser einzustufen.

## **Auspressraten und Verdünnung**

Ein Lösungsaustritt aus den Einlagerungsbereichen in die Geosphäre und eine Verdünnung mit Grundwasser ist für beide Optionen zu erwarten.

Für das als Referenz betrachtete Endlager Konrad ist dieser Prozess radiologisch vernachlässigbar. Die aufgrund der angenommenen Durchströmung des Grubengebäudes Konrad freigesetzten Radionuklide gelangen entlang verschiedener Ausbreitungswege in die Biosphäre. Hierbei treten Verdünnungseffekte durch Zumischung nicht kontaminierter Wässer auf. Die aufgrund der Volumenströme ermittelten Verdünnungsfaktoren betragen je nach Ausbreitungspfad zehn bis etwa 1.300, für den maßgeblichen Ausbreitungsweg ca. 70. Für die radiologischen Auswirkungen ist diese geringe Verdünnung von untergeordneter Bedeutung, da der Langzeitsicherheitsnachweis für das Endlager Konrad nicht auf die Inanspruchnahme hoher Verdünnungsfaktoren angewiesen ist.

Die Modellrechnungen für das Bezugssystem zur Vollverfüllung ermitteln Verdünnungsfaktoren im Deckgebirge von mindestens 3.000, für maßgebliche Ausbreitungspfade im Minimum 7.300. Die vergleichsweise hohe Verdünnung im Deckgebirge und im Grubengebäude führt zwar zu einer deutlichen Reduzierung der Radionuklidkonzentration auf dem Weg in die Biosphäre. Die verhältnismäßig kurzen Transportzeiten wiegen hingegen in radiologischer Hinsicht diesen Effekt auf. Insgesamt ist die Rückholung als vorteilhaft zu bewerten.

### **2.3.1.3 Umlagerung vs. Vollverfüllung**

#### **Vorhandene Barrieren oder einschlusswirksamer Gebirgsbereich**

Bei der Umlagerung ist die Verbringung der radioaktiven Abfälle in einen aus dem bestehenden Grubengebäude heraus neu aufzufahrenden Einlagerungshorizont innerhalb des Salzsattels Asse vorgesehen. Da die vorgeschlagenen Einlagerungsbereiche bisher nicht in die Erkundung einbezogen waren, sind Kenntnisse hinsichtlich ihrer Eignung, insbesondere der lithologischen und strukturellen Ausbildung nicht vorhanden.

Die derzeit vorhandenen Unsicherheiten und essentiellen Kenntnisdefizite hinsichtlich des Vorhandenseins eines für die Umlagerung geologisch geeigneten und einschlusswirksamen Einlagerungshorizonts führen dazu, dass ein Vergleich nicht geführt werden kann.

#### **Gasbildung**

Bei Umlagerung innerhalb der Schachanlage Asse II kann eine Gasbildung in den neuen Einlagerungsbereichen insbesondere durch Korrosionsprozesse aufgrund der Eigenfeuchte in den Gebinden nicht ausgeschlossen werden. Jedoch kann davon ausgegangen werden, dass die bei trockener Verwahrung erwarteten Gasmengen vergleichsweise gering sind.

Es kann derzeit nicht beurteilt werden, ob bei Umlagerung eine trockene Verwahrung möglich ist. Deshalb kann ein Paarvergleich für diese Bewertungsgröße nicht vorgenommen werden.

## Nuklidmobilisierung

Bei Umlagerung der radioaktiven Abfälle in einen geologisch geeigneten Einlagerungshorizont wird ein vollständiger und dauerhafter Einschluss der Abfälle angestrebt. Ob dies in den für eine Umlagerung in Betracht kommenden Bereichen des Salzstocks leistbar ist, kann aktuell nicht beurteilt werden. Aus diesem Grund ist der Paarvergleich für diese Bewertungsgröße nicht möglich.

## Rückhaltung

Bei Umlagerung wird ein dauerhafter Einschluss der Abfälle und somit eine vollständige Rückhaltung der Schadstoffe angestrebt. Ob dies in der Schachanlage Asse II erreichbar ist, ist offen. Ein Paarvergleich dieser Bewertungsgröße muss daher entfallen.

## Auspressraten

Bei Umlagerung wird ein vollständiger und dauerhaft trockener Einschluss der Abfälle angestrebt, um eine Auspressung kontaminierter Lösungen aus den neuen Einlagerungsbereichen nach Möglichkeit zu vermeiden. Ob dies umsetzbar ist, kann zur Zeit nicht beurteilt werden. Ein Paarvergleich ist insoweit nicht möglich.

## Verdünnung

Die Umlagerung hat einen vollständigen und dauerhaften Einschluss der Abfälle (Isolation) zum Ziel. In diesem Fall wäre eine Verdünnung nicht von Belang. Ob dies erreichbar ist, kann auf der Basis des heutigen Wissensstandes nicht beurteilt werden. Der Paarvergleich entfällt insoweit.

### 2.3.1.4 Zusammenfassendes Ergebnis des kriterienbezogenen Paarvergleichs

Wie einleitend zu diesem Kapitel ausgeführt, sind aufgrund der bestehenden Kenntnisdefizite keine Vergleiche langzeitsicherheitlicher Fragen unter Einbeziehung der Option Umlagerung möglich.

Die Option Vollverfüllung wird im Vergleich zur Rückholung hinsichtlich der radiologischen Auswirkungen insgesamt als schlechter beurteilt. Diese Einschätzung beruht für die Option Rückholung maßgeblich auf einem Vergleich mit den Eigenschaften des als Referenz herangezogenen Endlagers Konrad.

Tab. 2.3-1: Kriterienbezogener Paarvergleich zum Kriterium ‚Radiologische Auswirkungen‘.

Radiologische Auswirkungen	Rückholung	Umlagerung	Vollverfüllung	Ergebnis
Rückholung		-	besser	+
Umlagerung	-		-	?
Vollverfüllung	schlechter	-		-

## 2.3.2 Chemotoxische Auswirkungen in der Nachbetriebsphase

Für die chemotoxischen Auswirkungen in der Nachbetriebsphase stellen sich die wesentlichen, die Langzeitsicherheit dominierenden Prozesse ähnlich dar, wie für die radiologischen Schadstoffe. Die in dem vorherigen Kapitel dargestellten Bewertungen können daher im Wesentlichen übernommen werden. Es muss allerdings darauf hingewiesen werden, dass für einzelne chemotoxische Substanzen aufgrund der hohen, in der Schachtanlage Asse II eingelagerten Inventare vor einer Rückholung und Einlagerung in einem Zielendlager Sicherheitsanalysen erforderlich sind.

Tab. 2.3-2: Kriterienbezogener Paarvergleich zu ‚Chemotoxische Auswirkungen‘.

Chemotoxische Auswirkungen in der Nachbetriebsphase	Rückholung	Umlagerung	Vollverfüllung	Ergebnis
Rückholung		-	besser	+
Umlagerung	-		-	?
Vollverfüllung	schlechter	-		-

## **2.3.3 Konsequenzen menschlichen Eindringens in das Endlager**

### **2.3.3.1 Rückholung vs. Umlagerung**

#### **Räumliche Verteilung der Abfälle**

Bei vollständiger Rückholung des Inventars kann ein Eindringen zukünftiger Generationen mit radiologischen Konsequenzen am Standort der Schachanlage Asse II ausgeschlossen werden. Die mit einer Rückholung zwangsläufig verbundene Verbringung in ein annahmefähiges Endlager andernorts allerdings hat zur Konsequenz, dass an diesem Standort eine ähnliche räumliche Verteilung der Abfälle resultieren würde wie im Falle der Umlagerung in der Schachanlage Asse II.

#### **Vorhandene abbaubare Wertminerale (Abbauwürdigkeit)**

Bei der Rückholung und Verbringung in ein anderes Endlager können über die bei einem geeigneten Endlager andernorts abbaubaren Wertminerale und deren Abbauwürdigkeit bis zur konkreten Entscheidung keine Aussagen getroffen werden. Prinzipiell könnten die Eisenerzvorkommen der Schachanlage Konrad als Wirtsgestein in Betracht kommen. Deren Abbau wurde 1976 eingestellt. Zudem wird durch die Verfüllung der Grubenbaue zukünftigen Generationen Altbergbau angezeigt.

Bei der Umlagerung in tiefere Bereiche des Salzsattels bilden die dort erforderlichen homogenen Steinsalzbereiche das Wirtsgestein für die Abfälle. Im Falle der Umlagerung stehen der Abbauwürdigkeit sowohl die Tiefe des Einlagerungshorizontes als auch die leichtere Verfügbarkeit von Steinsalz in wesentlich größeren Lagerstätten entgegen.

In beiden Fällen kann die Eintrittswahrscheinlichkeit erneuter bergbaulicher Tätigkeiten aus heutiger Sicht als gering beurteilt werden. Damit stellen sich beide Optionen als gleichwertig dar.

### **2.3.3.2 Rückholung vs. Vollverfüllung**

#### **Räumliche Verteilung der Abfälle**

Bei der Vollverfüllung verbleiben die Abfälle in den Einlagerungskammern. Das mit dem unterstellten Szenario „Erkundungsbohrung“ verbundene Risiko hängt von der Tiefe der Lagerkammern ab. Daher könnten sich bei Rückholung und Verbringung in ein anderes Endlager Vorteile ergeben. Im Falle Schacht Konrad allerdings wären diese bei den dort vorgesehenen Einlagerungskammern zwischen 800 und 1.300 m Tiefe nicht sehr ausgeprägt.

#### **Vorhandene abbaubare Wertminerale (Abbauwürdigkeit)**

Bei der Rückholung und Verbringung in ein anderes Endlager können über die bei einem geeigneten Endlager andernorts abbaubaren Wertminerale und deren Abbauwürdigkeit bis zur konkreten Entscheidung keine Aussagen getroffen werden. Prinzipiell könnten die Eisenerzvorkommen der Schachanlage Konrad als Wirtsgestein in Betracht kommen. Deren Abbau wurde 1976 eingestellt. Zudem wird durch die Verfüllung der Grubenbaue zukünftigen Generationen Altbergbau angezeigt.

Im Falle der Vollverfüllung weisen die bereits verfüllten Abbaukammern auf den oberen Sohlen auf eine abgebaute und daher nicht mehr abbauwürdige Lagerstätte hin. Die Kalisalze im Bereich der Südflanke wurden schon in der Vergangenheit als nicht abbauwürdig befunden.

### 2.3.3.3 Umlagerung vs. Vollverfüllung

#### Räumliche Verteilung der Abfälle

Bei der Stilllegungsoption der Umlagerung werden die Abfälle in einen tieferen Teil des Salzsattels verbracht und dort an einer Stelle konzentriert. Bei der Vollverfüllung hingegen verbleiben die Abfälle in ihren Einlagerungskammern, verteilt auf einer größeren Grundfläche aber in geringerer Tiefe. Eine Abwägung zwischen größerer Verteilung der Abfälle einerseits und kleinräumiger Konzentration andererseits kann nicht vorgenommen werden, da die Wahrscheinlichkeit für ein Anbohren der Abfälle in beiden Fällen vom Bohransatzpunkt und dem Verlauf der Bohrung (Horizontal- oder Schrägbohrung) abhängt. Somit verbleibt zur Bewertung der Eintrittswahrscheinlichkeit nur die Tiefenlage der Abfälle. Dadurch ist hier die Umlagerung der Vollverfüllung vorzuziehen.

#### Vorhandene abbaubare Wertminerale (Abbauwürdigkeit)

Sollten zukünftige Generationen erneute bergbauliche Aktivitäten im Bereich der Schachanlage Asse II beginnen, zeigt das verfüllte Grubengebäude den bereits stattgefundenen Abbau der hier zu erwartenden Wertminerale an. Diese Prämisse gilt für Umlagerung und Vollverfüllung gleichermaßen. Beide Optionen werden daher als gleichwertig eingeschätzt.

### 2.3.3.4 Kriterienbezogener Paarvergleich

Entscheidend für den Vergleich sind die Ergebnisse zur Bewertungsgröße der räumlichen Verteilung der Abfälle. Bei allen Optionen verbleibt zur Bewertung der Eintrittswahrscheinlichkeit nur die Tiefenlage der Abfälle. Da bei der Vollverfüllung die Abfälle in einer geringeren Tiefe verbleiben, sind Rückholung und Umlagerung als geringfügig besser zu bewerten.

Die Bewertungsgröße bezüglich der vorhandenen abbaubaren Wertminerale trägt durch die Gleichwertigkeit aller Optionen nicht zum Gesamtbild bei.

Tab. 2.3-3: Kriterienbezogener Paarvergleich zu ‚Konsequenzen menschlichen Eindringens in das Endlager‘.

Konsequenzen menschl. Eindringens	Rückholung	Umlagerung	Vollverfüllung	Ergebnis
Rückholung		gleich	besser	+ 0
Umlagerung	gleich		besser	+ 0
Vollverfüllung	schlechter	schlechter		- -



## **2.3.4 Einschätzung der Robustheit der Stilllegungsoptionen**

### **2.3.4.1 Rückholung vs. Umlagerung**

#### **Anzahl der notwendigen Komponenten (Einfachheit)**

Die für die Option der Rückholung notwendige Komponente ist ein annahmebereites und langzeitsicheres Endlager andernorts. Die Anforderungen an dieses Endlager umfassen ebenso wie bei der Umlagerung die Integrität einer geologischen Barriere und entsprechende Verschlussbauwerke. In diesem Sinne ist die Rückholung mit einer Umlagerung vergleichbar.

Für die Umlagerung innerhalb des Salzsattels sind ein geeigneter Einlagerungshorizont im tieferen Kern des Salzsattels, die Errichtung eines neuen Endlagers durch Auffahren eines Einlagerungsbereiches, der Anschluss an das bestehende Grubengebäude und der Bau von langzeitsicheren Verschlussbauwerken erforderlich.

Unter der Annahme, dass ein annahmebereites Endlager andernorts bereit steht, das die dafür notwendigen Komponenten enthält, sind die Anzahl der Verschlussysteme und die Anforderung an einen einschlusswirksamen Gebirgsbereich gegenüber der Umlagerungsoption identisch.

#### **Anzahl der passiven oder aktiven Sicherheitssysteme**

Auf die Nachbetriebsphase am Standort der Schachtanlage Asse II bezogen ist bei der Rückholung die Bewertungsgröße „Anzahl der passiven oder aktiven Sicherheitssysteme“ nur bedingt anwendbar. Die Sicherheitssysteme müssen stattdessen bei einem annahmebereiten Endlager andernorts gegeben sein. Dies umfasst technische Komponenten wie Kammerabschlussbauwerke, Schachtverschlussysteme und sonstige Abdichtmaßnahmen. Unter diesen Aspekten ist die Rückholung mit der Umlagerung vergleichbar.

Auch bei der Umlagerung sind wie bei einem annahmebereiten Endlager andernorts die erforderlichen Sicherheitssysteme zu schaffen. Auch hier müssen die entsprechenden Verschlussbauwerke, also Kammerverschlüsse und Schachtverschlussysteme errichtet und deren Sicherheit und Gebrauchstauglichkeit nachgewiesen werden.

Im direkten Paarvergleich zu dieser Bewertungsgröße lässt sich keine der beiden Optionen bevorzugen, da in beiden Fällen ein entsprechendes Endlager bzw. ein Einlagerungsbereich mit vergleichbaren Sicherheitssystemen erstellt werden müssen.

#### **Anzahl der redundanten / diversitären Komponenten**

Auf die Nachbetriebsphase am Standort der Schachtanlage Asse II bezogen ist bei der Rückholung die Bewertungsgröße „Anzahl der redundanten / diversitären Komponenten“ nur bedingt anwendbar. Die entsprechenden Komponenten müssen stattdessen bei einem annahmebereiten Endlager andernorts gegeben sein. Dies sind Komponenten wie Kammerabschlussbauwerke, Schachtverschlussysteme und sonstige Abdichtmaßnahmen. Bei einem neu zu errichtenden Endlager andernorts kann vorausgesetzt werden, dass die Grundprinzipien Redundanz und Diversität bei der Konstruktion und Auslegung beachtet werden.

Bei der Umlagerung wirken zum einen die Komponenten Kammerverschluss gegen Schachtverschlussystem redundant, zum anderen werden die Schachtverschlussysteme diversitär und in sich redundant wirkend aufgebaut.

Damit sind beide Optionen als gleichwertig zu betrachten. In beiden Fällen müssen Redundanz und Diversität in weitere Planungsschritte einfließen und deren Wirksamkeit nachgewiesen werden.

### **Reaktion auf veränderte Randbedingungen (Sicherheitsreserven)**

Auf die Nachbetriebsphase am Standort der Schachtanlage Asse II bezogen ist bei der Rückholung die Bewertungsgröße „Reaktion auf veränderte Randbedingungen“ nur bedingt anwendbar. Die Sicherheitsreserven müssen stattdessen bei einem annahmehereiten Endlager andernorts gegeben sein.

Bei der Umlagerung ist die Reaktion auf veränderte Randbedingungen wie z. B. erhöhte Konvergenzraten gutmütig. Durch die natürliche Barriere des Staßfurt-Steinsalzes im tieferen Sattelkern und die Verschlussbauwerke ergeben sich deutliche Sicherheitsreserven. Für die Verschlussbauwerke sind bezüglich Sicherheit und Gebrauchstauglichkeit entsprechende Reserven / Faktoren und flankierende Maßnahmen einzuplanen. Die geologische Barriere bietet mit ihrer Mächtigkeit ebenfalls entsprechende Reserven.

Bei beiden Optionen sind entsprechende Langzeitsicherheitsnachweise zu führen und die Endlagerplanungen mit entsprechenden Sicherheitsreserven vorzusehen. Damit kann keine der beiden Optionen einen Vorteil für sich in Anspruch nehmen.

### **2.3.4.2 Rückholung vs. Vollverfüllung**

#### **Anzahl der notwendigen Komponenten (Einfachheit)**

Bei der Rückholung wird unterstellt, dass die Abfälle in ein annahmehereites Endlager andernorts verbracht werden. Dieses Endlager wird ein auf die geforderte Langzeitsicherheit abgestimmtes Design durch entsprechende Verfüllmaßnahmen, Kammerabschlussbauwerke und Schachtverschlusssysteme aufweisen, wie dies beispielsweise für Schacht Konrad der Fall ist.

Bei der Vollverfüllung werden zusätzlich zu den Schachtverschlüssen die noch offenen Hohlräume mit Sorelbeton verfüllt, Sorelbetonbarrieren errichtet, Brucit-Mörtel in die LAW-Einlagerungskammern eingebracht, die MAW-Kammer verfüllt und eine technische  $MgCl_2$ -Lösung bis in das Firstniveau der 700-m-Sohle eingebracht.

Damit ist die Rückholung der Vollverfüllung vorzuziehen.

#### **Anzahl der passiven oder aktiven Sicherheitssysteme**

Bei der Rückholung wird unterstellt, dass die Abfälle in ein annahmehereites Endlager andernorts verbracht werden. Dieses Endlager wird ein auf die geforderte Langzeitsicherheit abgestimmtes Design durch eine entsprechende Anzahl an Sicherheitssystemen aufweisen müssen.

Bei der Vollverfüllung bilden die Stilllegungsmaßnahmen die Basis eines Sicherheitssystems, damit die strategischen Elemente des Sicherheitskonzeptes wirken können. Durch den zwischenzeitlich eingetretenen Verlust der Integrität der geologischen Barriere ist bei der Vollverfüllung ein wesentliches Element des Sicherheitssystems nicht mehr gegeben.

Damit ist eine Rückholung der Vollverfüllung vorzuziehen.

### **Anzahl der redundanten / diversitären Komponenten**

Bei der Rückholung wird unterstellt, dass die Abfälle in ein annahmefähiges Endlager andernorts verbracht werden. Dieses Endlager wird ein auf die geforderte Langzeitsicherheit abgestimmtes Design durch eine entsprechende Anzahl an redundanten / diversitären Komponenten aufweisen müssen.

Bei der Vollverfüllung sind nur die Schachtverschlusssysteme redundant und diversitär ausgelegt.

Damit ist auch bei dieser Bewertungsgröße der Rückholung der Vorzug zu geben.

### **Reaktion auf veränderte Randbedingungen (Sicherheitsreserven)**

Bei der Rückholung wird unterstellt, dass die Abfälle in ein annahmefähiges Endlager andernorts verbracht werden. Dieses Endlager wird ein auf die geforderte Langzeitsicherheit abgestimmtes Design durch entsprechende Sicherheitsreserven aufweisen müssen.

Die Systementwicklung ist bei der Vollverfüllung unter veränderten Randbedingungen in der Nachbetriebsphase kaum prognostizierbar, daher kann das Systemverhalten nicht als robust bezeichnet werden.

Bedingt durch die fehlenden Sicherheitsreserven ist die Rückholung zu bevorzugen.

## **2.3.4.3 Umlagerung vs. Vollverfüllung**

### **Anzahl der notwendigen Komponenten (Einfachheit)**

Bei der Umlagerung wird unterstellt, dass die Abfälle in einen geeigneten Horizont im tieferen Bereich des Salzsattels verbracht werden. Dieser dort zu schaffende Endlagerbereich wird ein auf die geforderte Langzeitsicherheit abgestimmtes Design durch entsprechende Abschlussbauwerke und Schachtverschlusssysteme aufweisen.

Bei der Vollverfüllung werden zusätzlich zu den Schachtverschlüssen die noch offenen Hohlräume mit Sorelbeton verfüllt, Sorelbetonbarrieren errichtet, Brucit-Mörtel in die LAW-Einlagerungskammern eingebracht, die MAW-Kammer verfüllt und eine technische  $MgCl_2$ -Lösung bis in das Firstniveau der 700-m-Sohle eingebracht.

Damit ist die Umlagerung der Vollverfüllung vorzuziehen.

### **Anzahl der passiven oder aktiven Sicherheitssysteme**

Ebenso wie bei der Rückholung ist für die Umlagerung zu unterstellen, dass dieses Endlager ein auf die geforderte Langzeitsicherheit abgestimmtes Design durch eine entsprechende Anzahl an Sicherheitssystemen wird aufweisen müssen. In der Machbarkeitsstudie werden entsprechende Komponenten dieser Sicherheitssysteme wie Abschlussbauwerke, Schachtverschlusssysteme und sonstige Verfüllmaßnahmen für den zu schaffenden Einlagerungshorizont genannt. Entsprechende Nachweise zur Sicherheit und Gebrauchstauglichkeit dieser Abdichtungsbauwerke müssen in weiteren Planungsschritten zwingend belegt werden. Durch einen entsprechenden Abstand zum Grubengebäude wird ein einschlusswirksamer Gebirgsbereich sichergestellt.

Bei der Vollverfüllung bilden die Verfüllmaßnahmen die Basis eines Sicherheitssystems damit die strategischen Elemente des Sicherheitskonzeptes wirken können. Durch den zwischenzeitlich eingetretenen Verlust der Integrität der geologischen Barriere ist bei der Vollverfüllung ein wesentliches Element des Sicherheitssystems nicht mehr gegeben.

Damit ist eine Umlagerung der Vollverfüllung vorzuziehen.

### Anzahl der redundanten / diversitären Komponenten

Bei der Umlagerung wird unterstellt, dass die Abfälle in einen geeigneten Horizont im tieferen Bereich des Salzsattels verbracht werden. Dieser dort zu schaffende Endlagerbereich wird ein auf die geforderte Langzeitsicherheit abgestimmtes Design durch entsprechende Abschlussbauwerke und Schachtverschlussysteme aufweisen müssen. Diese Komponenten sollten dem Stand von Wissenschaft und Technik entsprechend redundant wirken und diversitär aufgebaut sein. Die Wirksamkeit dieser Komponenten muss nachgewiesen werden.

Bei der Vollverfüllung sind nur die Schachtverschlussysteme redundant und diversitär ausgelegt.

Damit ist auch bei dieser Bewertungsgröße der Umlagerung der Vorzug zu geben.

### Reaktion auf veränderte Randbedingungen (Sicherheitsreserven)

Bei der Umlagerung wird unterstellt, dass die Abfälle in einen geeigneten Horizont im tieferen Bereich des Salzsattels verbracht werden. Dieser dort zu schaffende Endlagerbereich wird ein auf die geforderte Langzeitsicherheit abgestimmtes Design und entsprechende Sicherheitsreserven aufweisen. Diese Reserven müssen nachgewiesen werden.

Die Systementwicklung ist bei der Vollverfüllung unter veränderten Randbedingungen in der Nachbetriebsphase kaum prognostizierbar, daher kann das Systemverhalten nicht als robust bezeichnet werden.

Bedingt durch die fehlenden Sicherheitsreserven ist die Umlagerung zu bevorzugen.

### 2.3.4.4 Kriterienbezogener Paarvergleich zur Robustheit der Stilllegungsoption

Rückholung und Umlagerung sind als gleich zu bewerten, da bei beiden Optionen Endlagerbedingungen unterstellt werden können, die ähnliche Sicherheitsreserven ausweisen. Das Systemverhalten bei der Vollverfüllung hingegen ist unter veränderten Randbedingungen kaum prognostizierbar. Zusammenfassend ergibt sich das in Tab. 2.3-4 gezeigte Ergebnis.

Tab. 2.3-4: Kriterienbezogener Paarvergleich zur ‚Robustheit der Stilllegungsoption‘.

Robustheit der Stilllegungsoption	Rückholung	Umlagerung	Vollverfüllung	Ergebnis
Rückholung		gleich	besser	0 +
Umlagerung	gleich		besser	0 +
Vollverfüllung	schlechter	schlechter		--

## **2.3.5 Nachweisbarkeit der radiologischen Langzeitsicherheit**

### **2.3.5.1 Rückholung vs. Umlagerung**

Bei der Rückholung aller oder eines Teiles der radioaktiven Abfälle aus der Schachtanlage Asse II ist deren Verbringung in ein planfestgestelltes Endlager für schwach- und mittelradioaktive Abfälle vorgesehen. Als Vergleichsmaßstab dient hier das Endlager Konrad, für das ein Langzeitsicherheitsnachweis im Rahmen des Planfeststellungsverfahrens bereits durchgeführt worden ist. Die den Sicherheitsanalysen von Konrad zu Grunde liegende Gesamtaktivität und das Gesamtabfallvolumen werden derzeit als abdeckend für die in der Schachtanlage Asse II eingelagerten Abfälle eingeschätzt. Es ist somit wahrscheinlich, dass auf dieser Grundlage der Nachweis der radiologischen Langzeitsicherheit bei einer Rückholung der radioaktiven Abfälle aus der Schachtanlage Asse II und Einlagerung in das Endlager Konrad erbracht werden kann.

Bei einer Umlagerung der radioaktiven Abfälle in tiefer gelegene Einlagerungshorizonte innerhalb des Salzsattels Asse kommen nur Schichtenfolgen in Frage, deren Eignung im Hinblick auf einen vollständigen und dauerhaften Einschluss der Abfälle gezeigt werden kann. Hierfür sind umfangreiche geologische Erkundungen im Vorfeld sowie detaillierte Sicherheitsanalysen für die Nachbetriebsphase erforderlich, die zum gegenwärtigen Zeitpunkt nicht vorliegen. Die derzeitige Datenbasis ist nicht ausreichend für einen radiologischen Langzeitsicherheitsnachweis. Die Schließung dieser Kenntnislücken erfordert ein mehrjähriges geologisches und hydrologisches Untersuchungsprogramm, dessen Ergebnisse Eingangsgrößen für die dann durchzuführenden Langzeitsicherheitsanalysen sind. Auf der Basis der hierbei ermittelten Ergebnisse wäre dann eine Beurteilung der Option Umlagerung hinsichtlich ihrer radiologischen Langzeitsicherheitsaspekte möglich. Aus heutiger Sicht kann lediglich konstatiert werden, dass die Führung eines solchen Nachweises prinzipiell möglich erscheint.

Aufgrund der derzeit bestehenden Unsicherheiten und Kenntnisdefizite hinsichtlich des Vorhandenseins eines geologisch geeigneten Einlagerungshorizonts bei der Umlagerung ist diese Option im Vergleich zur Rückholung als schlechter zu bewerten.

### **2.3.5.2 Rückholung vs. Vollverfüllung**

Bei der Rückholung der Abfälle und deren Verbringung in ein planfestgestelltes Endlager kann der Nachweis der radiologischen Langzeitsicherheit voraussichtlich erbracht werden.

Für die Option Vollverfüllung kann bei gegenwärtigem Kenntnisstand nicht mit ausreichender Sicherheit nachgewiesen werden, dass der Wert von 0,3 mSv/a unterschritten wird.

Aufgrund der nicht auszuschließenden Grenzwertüberschreitung bei den radiologischen Belastungen ist die Option Vollverfüllung im Vergleich zur Rückholung als schlechter zu bewerten.

### **2.3.5.3 Umlagerung vs. Vollverfüllung**

Für die Option Umlagerung bestehen derzeit Unsicherheiten und Kenntnisdefizite hinsichtlich des Vorhandenseins eines geologisch geeigneten Einlagerungshorizonts. Wie bereits dargestellt, kann eine Abschätzung der radiologischen Langzeitsicherheit erst nach Abschluss zeitintensiver Untersuchungen erfolgen.

Für die Option Vollverfüllung fehlen derzeit Modellrechnungen, die zeigen, ob der Grenzwert nach § 47 StrlSchV für die Nachbetriebsphase unterschritten werden kann.

Aufgrund der im Vergleich zur Umlagerung deutlich detaillierteren Studie ist zu erwarten, dass eine Aussage über die Einhaltung der Anforderungen an die radiologische Langzeitsicherheit in kürzerer Zeit getroffen werden kann. Das Ergebnis muss allerdings als offen bezeichnet werden. Im Hinblick auf beschriebenen Zeitbedarf wird die Option Vollverfüllung gegenüber der Option Umlagerung als besser bewertet.

### 2.3.5.4 Zusammenfassendes Ergebnis des kriterienbezogenen Paarvergleichs

Eine zusammenfassende Bewertung der Optionen hinsichtlich der Nachweisbarkeit der radiologischen Langzeitsicherheit führt zu der Einschätzung, dass eine erfolgreiche Nachweisführung für die Option Rückholung voraussichtlich möglich ist. Für die Optionen Umlagerung und Vollverfüllung ist der Langzeitsicherheitsnachweis bislang nicht erbracht und es bestehen diesbezüglich Unsicherheiten und Einschränkungen. Wesentliche Voraussetzungen zur erfolgreichen Nachweisführung, z. B. eine ausreichende Datengrundlage und Modellrechnungen, liegen derzeit nicht vor.

Tab. 2.3-5: Kriterienbezogener Paarvergleich zur ‚Nachweisbarkeit der radiologischen Langzeitsicherheit‘.

Nachweisbarkeit der radiologischen Langzeitsicherheit	Rückholung	Umlagerung	Vollverfüllung	Ergebnis
Rückholung		besser	besser	+ +
Umlagerung	schlechter		schlechter	- -
Vollverfüllung	schlechter	besser		- +

## **2.3.6 Einhaltung bergbaulicher Schutzziele**

### **2.3.6.1 Rückholung vs. Umlagerung**

#### **Senkungen an der Tagesoberfläche**

Bei beiden Optionen ist zu erwarten, dass die Senkungen und Senkungsgeschwindigkeiten in Folge des in der Nachbetriebsphase anhaltenden Lösungszutritts ansteigen werden, da durch den Feuchtigkeitseinfluss die Verformungen des Salzgebirges zunehmen werden (Feuchtekriechen). Würde in der Nachbetriebsphase ausschließlich Süßwasser zulaufen, dann könnten im ungünstigsten Fall die Senkungen an der Tagesoberfläche anwachsen.

Unter der vereinfachten Annahme, dass sich der vorhandene Gesamthohlraum proportional zur Senkung der Tagesoberfläche verhält, lässt sich sowohl bei der Option Rückholung als auch bei der Umlagerung für den Bereich oberhalb der Südflanke und für den Zeitraum von 2005 bis 2100 eine Absenkung der Tagesoberfläche von ca. 230 mm berechnen. Für das Jahr 10.000 würde sich ein Senkungsbetrag von etwa 1,20 m ergeben.

Beide Optionen sind bezüglich der Senkungen an der Tagesoberfläche gleichwertig.

#### **Gefahr eines Tagesbruchs**

Sowohl bei Rückholung als auch bei der Option Umlagerung gilt, dass das bei einem reinen Süßwasserzutritt durch Auflösen von Steinsalz und Carnallit ggf. neu entstehende Hohlraumvolumen von 440.000 m<sup>3</sup> keinen wesentlichen Einfluss auf das Verhältnis von versetztem zu aufgefahrenem Hohlraum haben wird. Daher ist bei beiden Optionen nicht von einem Tagesbruch bei einem weiteren Lösungszutritt in der Nachbetriebsphase auszugehen. Durch den Feuchtigkeitseinfluss bzw. den ansteigenden Verformungen beim Volllaufen des Grubengebäudes und dem hohen Anteil an versetzten Kammern wird sich relativ schnell ein Stützdruck aufbauen können.

Allerdings zeigen auch Beispiele aus der Bergbaupraxis (Steißfurter Sattel), dass an der Zutrittstelle ggf. langfristig Subrosionsprozesse ablaufen können, die zu weiteren Hohlräumen führen. Bei lang anhaltenden Subrosionsprozessen kann hierbei ein beachtlicher Hohlraum entstehen, der je nach Beschaffenheit des Deckgebirges sogar zu einem Tagesbruch führen kann. Ein solcher Prozess kann nicht vollständig ausgeschlossen werden, auch wenn er als wenig wahrscheinlich einzustufen ist.

Im direkten Vergleich sind beide Optionen gleichwertig.

### **2.3.6.2 Rückholung vs. Vollverfüllung**

#### **Senkungen an der Tagesoberfläche**

Bei der Option Rückholung ist zu erwarten, dass die Senkungen und Senkungsgeschwindigkeiten in Folge des in der Nachbetriebsphase anhaltenden Lösungszutritts ansteigen werden, da durch den Feuchtigkeitseinfluss die Verformungen des Salzgebirges zunehmen werden (Feuchtekriechen). Würde in der Nachbetriebsphase ausschließlich Süßwasser zulaufen, dann könnten im ungünstigsten Fall die Senkungen an der Tagesoberfläche anwachsen. Unter der vereinfachten Annahme, dass sich der vorhandene Gesamthohlraum proportional zur Senkung der Tagesoberfläche verhält, lässt sich für den

Bereich oberhalb der Südflanke und für den Zeitraum von 2005 bis 2100 eine Absenkung der Tagesoberfläche von ca. 230 mm berechnen. Für das Jahr 10.000 würde sich ein Senkungsbetrag von etwa 1,20 m ergeben.

Bei der Vollverfüllung ist zu erwarten, dass zu Beginn der Nachbetriebsphase die Senkungen und Senkungsgeschwindigkeiten in Folge des weiter anhaltenden Lösungszutritts ansteigen werden, da durch den Feuchtigkeitseinfluss die Verformungen des Salzgebirges zunehmen werden (Feuchtekiechen). Würde in der Nachbetriebsphase ausschließlich Süßwasser zulaufen, dann könnte im ungünstigsten Fall ein Resthohlraumvolumen von etwa 1,1 Mio. m<sup>3</sup> für Lösungszutritte zur Verfügung stehen. Dieses Hohlraumvolumen liegt aber noch deutlich unterhalb des ursprünglichen (vor Stilllegungsbeginn) vorhandenen Hohlraumvolumens von 1,9 Mio. m<sup>3</sup>. Da bei der Option Vollverfüllung der nach dem Ende der Stilllegungsmaßnahmen vorhandene Resthohlraum sich nicht wesentlich von dem Resthohlraumvolumen unterscheidet, welches beim HMGU-Schließungskonzept (HMGU 2008) vorhanden gewesen wäre, kann auch die von Sroka et al. (2006) durchgeführte Senkungsprognose übertragen werden. In dieser wird für den Bereich oberhalb der Südflanke für den Zeitraum von 2005 bis 2100 eine Absenkung der Tagesoberfläche von 185 mm berechnet. Für das Jahr 10.000 ist ein Senkungsbetrag von weniger als 1 m zu erwarten.

Hinsichtlich der Senkungen an der Tagesoberfläche sind die Optionen gleichwertig.

### **Gefahr eines Tagesbruchs**

Bei der Option Rückholung wird das bei einem reinen Süßwasserzutritt durch Auflösen von Steinsalz und Carnallit ggf. neu entstehende Hohlraumvolumen von 440.000 m<sup>3</sup> keinen wesentlichen Einfluss auf das Verhältnis von versetztem zu aufgefahretem Hohlraum haben. Daher ist bei dieser Option nicht von einem Tagesbruch bei einem weiteren Lösungszutritt in der Nachbetriebsphase auszugehen. Durch den Feuchtigkeitseinfluss bzw. den ansteigenden Verformungen beim Volllaufen des Grubengebäudes und dem hohen Anteil an versetzten Kammern wird sich relativ schnell ein Stützdruck aufbauen können.

Bei der Vollverfüllung kann das bei einem reinen Süßwasserzutritt durch Auflösen von Steinsalz ggf. neu entstehende Hohlraumvolumen maximal etwa 157.000 m<sup>3</sup> betragen und hat keinen wesentlichen Einfluss auf das Verhältnis von versetztem zu aufgefahretem Hohlraum. Daher ist nicht von einem Tagesbruch bei einem weiteren Lösungszutritt in der Nachbetriebsphase auszugehen. Durch den Feuchtigkeitseinfluss bzw. den ansteigenden Verformungen beim Volllaufen des Grubengebäudes und dem hohen Anteil an versetzten Kammern wird sich relativ schnell ein Stützdruck aufbauen können.

Allerdings zeigen auch Beispiele aus der Bergbaupraxis (Staßfurter Sattel), dass bei beiden Optionen an der Zutrittstelle ggf. langfristig Subrosionsprozesse ablaufen können, die zu weiteren Hohlräumen führen. Bei lang anhaltenden Subrosionsprozessen kann hierbei ein beachtlicher Hohlraum entstehen, der je nach Beschaffenheit des Deckgebirges sogar zu einem Tagesbruch führen kann. Ein solcher Prozess kann nicht vollständig ausgeschlossen werden, auch wenn er als wenig wahrscheinlich einzustufen ist.

Im direkten Vergleich sind beide Optionen trotz des ggf. etwas höheren neu entstehenden Hohlraumvolumens bei der Rückholung gleichwertig, da der Unterschied in beiden Fällen für das Szenario Tagesbruch unerheblich ist.



### **2.3.6.3 Umlagerung vs. Vollverfüllung**

#### **Senkungen an der Tagesoberfläche**

Bei beiden Optionen ist zu erwarten, dass die Senkungen und Senkungsgeschwindigkeiten in Folge des in der Nachbetriebsphase anhaltenden Lösungszutritts ansteigen werden, da durch den Feuchtigkeitseinfluss die Verformungen des Salzgebirges zunehmen (Feuchtekröchen).

Würde bei der Umlagerung in der Nachbetriebsphase ausschließlich Süßwasser zulaufen, dann könnte im ungünstigsten Fall der für Lösungszutritte zur Verfügung stehende Gesamthohlraum um ca. 23 Vol.-% und damit auch die Senkungen an der Tagesoberfläche anwachsen. Unter der vereinfachten Annahme, dass sich der vorhandene Gesamthohlraum proportional zur Senkung der Tagesoberfläche verhält, lässt sich für den Bereich oberhalb der Südflanke und für den Zeitraum von 2005 bis 2100 eine Absenkung der Tagesoberfläche von ca. 230 mm berechnen. Für das Jahr 10.000 würde sich bei der Umlagerung ein Senkungsbetrag von etwa 1,20 m ergeben.

Würde bei der Option Vollverfüllung in der Nachbetriebsphase ausschließlich Süßwasser zulaufen, dann könnte im ungünstigsten Fall ein Resthohlraumvolumen von etwa 1,1 Mio. m<sup>3</sup> für Lösungszutritte zur Verfügung stehen. Dieses Hohlraumvolumen liegt aber noch deutlich unterhalb des ursprünglichen (vor Stilllegungsbeginn) vorhandenen Hohlraumvolumens von 1,9 Mio. m<sup>3</sup>. Da bei der Option der Vollverfüllung der nach dem Ende der Stilllegungsmaßnahmen vorhandene Resthohlraum sich nicht wesentlich von dem Resthohlraumvolumen unterscheidet, welches beim HMGU-Schließungskonzept (HMGU 2008) vorhanden gewesen wäre, kann auch die von Sroka et al. (2006) durchgeführte Senkungsprognose übertragen werden. In dieser wird für den Bereich oberhalb der Südflanke für den Zeitraum von 2005 bis 2100 eine Absenkung der Tagesoberfläche von 185 mm berechnet. Für das Jahr 10.000 ist ein Senkungsbetrag von weniger als 1 m zu erwarten.

Damit treten bei der Vollverfüllung geringere Senkungen auf. Dieser Unterschied wird als unbeachtlich bewertet.

#### **Gefahr eines Tagesbruchs**

Bei der Option Umlagerung wird das bei einem reinen Süßwasserzutritt durch Auflösen von Steinsalz und Carnallitit ggf. neu entstehende Hohlraumvolumen von 440.000 m<sup>3</sup> keinen wesentlichen Einfluss auf das Verhältnis von versetztem zu aufgefahrenem Hohlraum haben.

Bei der Vollverfüllung kann das bei einem reinen Süßwasserzutritt durch Auflösen von Steinsalz ggf. neu entstehende Hohlraumvolumen maximal etwa 157.000 m<sup>3</sup> betragen und hat keinen wesentlichen Einfluss auf das Verhältnis von versetztem zu aufgefahrenem Hohlraum. Daher ist nicht von einem Tagesbruch bei einem weiteren Lösungszutritt in der Nachbetriebsphase auszugehen.

In beiden Fällen wird sich durch den Feuchtigkeitseinfluss bzw. den ansteigenden Verformungen beim Volllaufen des Grubengebäudes und dem hohen Anteil an versetzten Kammern relativ schnell ein Stützdruck aufbauen können. Daher ist sowohl bei der Umlagerung als auch bei der Vollverfüllung nicht von einem Tagesbruch bei einem weiteren Lösungszutritt in der Nachbetriebsphase auszugehen.

Allerdings zeigen auch Beispiele aus der Bergbaupraxis (Staßfurter Sattel), dass bei beiden Optionen an der Zutrittsstelle ggf. langfristig Subrosionsprozesse ablaufen können, die zu weiteren Hohlräumen führen. Bei lang anhaltenden Subrosionsprozessen kann hierbei ein beachtlicher Hohlraum entstehen, der je nach Beschaffenheit des Deckgebirges sogar zu einem Tagesbruch führen kann. Ein solcher Prozess kann nicht vollständig ausgeschlossen werden, auch wenn er als wenig wahrscheinlich einzustufen ist.

Im direkten Vergleich sind beide Optionen trotz des ggf. etwas höheren neu entstehenden Hohlraumvolumens bei der Umlagerung gleichwertig, da der Unterschied in beiden Fällen für das Szenario Tagesbruch unerheblich ist.

#### 2.3.6.4 Kriterienbezogener Paarvergleich

Tab. 2.3-6: Kriterienbezogener Paarvergleich zur ‚Einhaltung bergbaulicher Schutzziele‘.

<b>Einhaltung bergbaul. Schutzziele</b>	<b>Rückholung</b>	<b>Umlagerung</b>	<b>Vollverfüllung</b>	<b>Ergebnis</b>
<b>Rückholung</b>		gleich	gleich	0 0
<b>Umlagerung</b>	gleich		gleich	0 0
<b>Vollverfüllung</b>	gleich	gleich		0 0

## **2.4 MACHBARKEIT**

### **2.4.1 Technische Umsetzbarkeit**

#### **2.4.1.1 Rückholung vs. Umlagerung**

##### **Technische Komplexität**

Die Stilllegungstechnik und die skizzierten Maßnahmen beider Optionen sind trotz hoher Komplexität grundsätzlich praxistauglich. Sie werden in der Praxis eingesetzt. Ein technischer Entwicklungsbedarf besteht nicht, da auf verfügbare Geräte aus der Serienproduktion zurückgegriffen werden kann. Allerdings könnten die Handhabungsversuche und die praktischen Erfahrungen bei der Bergung zu einem Weiterentwicklungsbedarf der Geräte führen.

Beide Optionen sind als gleichwertig zu betrachten.

##### **Erprobte und ausgeführte Techniken (Referenzen)**

Bei der Rückholung und bei der Umlagerung sind die im Rahmen der Optionen vorgesehenen Arbeiten bis auf die Bergung der eingelagerten Abfälle unter radiologischen Bedingungen entweder bergbauüblich oder werden im Strahlenschutz (Konditionierung, Zwischenlagerung, Transport) bereits erfolgreich eingesetzt.

Sowohl bei der Rückholung als auch bei der Umlagerung fehlen für die Bergung der Gebinde aus den versetzten bzw. teilversetzten Einlagerungskammern entsprechende Referenzen. Für die Bergung und den Transport unter Tage ist vorgesehen, dass Elektrogeräte fernhantiert oder mit strahlenschutztechnisch geschirmten Kabinen zum Einsatz kommen. Auch dies ist Stand der Technik und wird in der Praxis eingesetzt.

Die bei der Option Rückholung notwendige Zwischenlagerung und der Transport in ein annahmefähiges Endlager andernorts sind erprobt und werden auch aus anderen Anlässen technisch ausgeführt.

Die im Zusammenhang mit der Umlagerung erforderlichen Prozesse wie das Auffahren eines geeigneten Einlagerungshorizontes, der Transport der Gebinde unter Tage und die Errichtung entsprechender Abdichtungsbauwerke sind ebenfalls erprobte Techniken, für die Schachtverschlussysteme wird ein Technikumsversuch als Referenz genannt.

Im Vergleich sind beide Optionen gleichwertig.

##### **Technischer Entwicklungsbedarf**

Die bei der Rückholung dargestellten Stilllegungstechniken und die hierbei durchzuführenden Arbeiten sind Stand der Technik. Ein technischer Entwicklungsbedarf besteht nicht, da auf verfügbare Geräte aus der Serienproduktion zurückgegriffen werden kann. Allerdings könnten die Handhabungsversuche und die praktischen Erfahrungen bei der Bergung zu einem Weiterentwicklungsbedarf der Geräte führen.

Diese Aussage gilt für die Umlagerung gleichermaßen.

Rückholung und Umlagerung sind als gleich zu bewerten.

## **2.4.1.2 Rückholung vs. Vollverfüllung**

### **Technische Komplexität**

Die Stilllegungstechnik und die skizzierten Maßnahmen bei der Option Rückholung sind trotz hoher Komplexität grundsätzlich praxistauglich. Sie werden in der Praxis eingesetzt. Ein technischer Entwicklungsbedarf besteht nicht, da auf verfügbare Geräte aus der Serienproduktion zurückgegriffen werden kann. Allerdings könnten die Handhabungsversuche und die praktischen Erfahrungen bei der Bergung zu einem Weiterentwicklungsbedarf der Geräte führen.

Die bei der Vollverfüllung geplanten Maßnahmen stellen eine vergleichsweise weniger komplexe Stilllegungstechnik dar.

Die Vollverfüllung ist daher bezüglich der technischen Komplexität als besser zu bewerten.

### **Erprobte und ausgeführte Techniken (Referenzen)**

Bei der Rückholung sind die vorgesehenen Arbeiten bis auf die Bergung der eingelagerten Abfälle unter radiologischen Bedingungen entweder bergbauüblich oder werden im Strahlenschutz (Konditionierung, Zwischenlagerung, Transport) bereits erfolgreich eingesetzt. Für die Bergung und den Transport unter Tage ist vorgesehen, dass Elektrogeräte fernhantiert oder mit strahlenschutztechnisch geschirmten Kabinen zum Einsatz kommen. Dies ist Stand der Technik und wird in der Praxis eingesetzt. Bei der Rückholung fehlen für die Bergung der Gebinde aus den versetzten bzw. teilversetzten Einlagerungskammern entsprechende Referenzen. Die bei der Option Rückholung notwendige Zwischenlagerung und der Transport in ein annahmefähiges Endlager andernorts sind erprobt und werden routinemäßig ausgeführt.

Die Maßnahmen im Rahmen der Vollverfüllung basieren ausschließlich auf erprobter und bereits ausgeführter Technik.

Damit ergibt sich ein Vorteil für die Vollverfüllung.

### **Technischer Entwicklungsbedarf**

Die bei der Rückholung erforderlichen Maßnahmen sind Stand der Technik. Da für die Bergung der Gebinde und für die Durchführung ferngesteuert betriebener Arbeiten in den Sperrbereichen Handhabungsversuche empfohlen werden, lässt sich ein technischer Entwicklungsbedarf zur Optimierung und Anpassung der Arbeiten in den Sperrbereichen nicht ausschließen.

Bei der Vollverfüllung besteht für die Umsetzung der Arbeiten kein technischer Entwicklungsbedarf. Die hier vorgesehenen Arbeiten lassen sich sämtlich nach Stand der Technik ausführen.

Die Vollverfüllung ist daher als besser zu bewerten.

### **2.4.1.3 Umlagerung vs. Vollverfüllung**

#### **Technische Komplexität**

Die Stilllegungstechnik und die skizzierten Maßnahmen bei der Option Umlagerung sind trotz hoher Komplexität grundsätzlich praxistauglich. Sie werden in der Praxis eingesetzt. Ein technischer Entwicklungsbedarf besteht nicht, da auf verfügbare Geräte aus der Serienproduktion zurückgegriffen werden kann. Allerdings könnten die Handhabungsversuche und die praktischen Erfahrungen bei der Bergung zu einem Weiterentwicklungsbedarf der Geräte führen.

Die bei der Vollverfüllung geplanten Maßnahmen stellen eine vergleichsweise weniger komplexe Stilllegungstechnik dar.

Die Vollverfüllung ist daher bezüglich der technischen Komplexität als besser zu bewerten.

#### **Erprobte und ausgeführte Techniken (Referenzen)**

Die im Zusammenhang mit der Umlagerung erforderlichen Prozesse wie das Auffahren eines geeigneten Einlagerungshorizontes, der Transport der Gebinde unter Tage und die Errichtung entsprechender Abdichtungsbauwerke sind erprobte Techniken. Für die Schachtverschlusssysteme wird ein Technikumsversuch als Referenz genannt. Diese Referenzen fehlen allerdings für die Arbeiten im Zusammenhang mit der Bergung der Gebinde aus den versetzten bzw. teilversetzten Einlagerungskammern. Der Umgang mit entsprechenden Maschinen ist bergbauüblich. Unter radiologischen Aspekten wurden solche Arbeiten in einem Sperrbereich allerdings noch nicht durchgeführt.

Die Maßnahmen bei der Vollverfüllung basieren ausschließlich auf erprobter und bereits ausgeführter Technik.

Damit ergibt sich ein Vorteil für die Vollverfüllung.

#### **Technischer Entwicklungsbedarf**

Die Stilllegungstechnik und die skizzierten Maßnahmen bei der Option der Umlagerung sind trotz hoher Komplexität grundsätzlich praxistauglich. Sie sind Stand der Technik und werden bereits in der Praxis eingesetzt. Ein technischer Entwicklungsbedarf besteht als Voraussetzung nicht, da auf verfügbare Geräte aus der Serienproduktion zurückgegriffen werden kann. Allerdings könnten die Handhabungsversuche und die praktischen Erfahrungen bei der Bergung zu einem Weiterentwicklungsbedarf der Geräte führen.

Bei der Vollverfüllung besteht für die Umsetzung der Arbeiten kein technischer Entwicklungsbedarf. Die Vollverfüllung ist als besser zu bewerten.

#### 2.4.1.4 Kriterienbezogener Paarvergleich

Bei der Vollverfüllung kann auf eine im Vergleich zu den anderen Optionen einfache Technik zurückgegriffen werden. Die Optionen zur Umlagerung und Rückholung sind hinsichtlich ihrer technischen Komplexität gleich zu bewerten.

Tab. 2.4-1: Kriterienbezogener Paarvergleich zur ‚Technischen Umsetzbarkeit‘.

Technische Umsetzbarkeit	Rückholung	Umlagerung	Vollverfüllung	Ergebnis
Rückholung		gleich	schlechter	0 -
Umlagerung	gleich		schlechter	0 -
Vollverfüllung	besser	besser		+ +

## 2.4.2 Rechtliche Umsetzbarkeit

Für den kriterienbezogenen Paarvergleich bezüglich der rechtlichen Umsetzbarkeit wird nur darauf abgestellt, ob die jeweilige Option nach vorläufiger rechtlicher Einschätzung überhaupt umgesetzt werden darf. Es soll festgestellt werden, ob bzw. unter welchen Randbedingungen eine Option aus Rechtsgründen ausscheiden kann, weil die Genehmigungsvoraussetzungen nicht erfüllt werden können.

Von den Genehmigungsvoraussetzungen haben jeweils die beiden zentralen Voraussetzungen Vorsorge gegen einen unbeherrschbaren Lösungszutritt und Gewährleistung der erforderlichen Langzeitsicherheit entscheidende Bedeutung. Die Umweltauswirkungen bei unbeherrschbarem Lösungszutritt und die vorläufigen Langzeitsicherheitseinschätzungen werden im Optionenvergleich zugleich als eigene Beurteilungsfelder berücksichtigt. Sie sind maßgeblich für die Einhaltung der Genehmigungsvoraussetzungen und damit die rechtliche Umsetzbarkeit.

Um Doppelbewertungen zu vermeiden, wird bei der Vollverfüllung ebenso wie bei Umlagerung und Rückholung unterstellt, dass die gesetzlichen Mindestanforderungen eingehalten werden können. Anders als im Rahmen der jeweiligen Beurteilungsfelder wird bei der rechtlichen Umsetzbarkeit also nicht berücksichtigt, welche Option über die Einhaltung der Genehmigungsvoraussetzungen hinaus jeweils im Vergleich besser zu bewerten ist.

Bei der Vorsorge gegen den unbeherrschbaren Lösungszutritt lassen sich Doppelbewertungen dagegen nicht vermeiden. Denn hier können die heutigen Anforderungen an den störfallsicheren Betrieb eines Endlagers bei keiner Option eingehalten werden. Rechtlich ist eine Option deshalb nur genehmigungsfähig, wenn sie der erforderlichen Vorsorge möglichst nahe kommt.

Nachgeordnet werden zusätzliche Genehmigungsvoraussetzungen, die nur bei den Optionen Rückholung und Umlagerung relevant sind, benannt. Da keine Umstände bekannt sind, die der Erfüllbarkeit dieser Voraussetzungen und damit der Realisierbarkeit der Optionen entgegenstehen, fließen zusätzliche Genehmigungserfordernisse jedoch nicht in die Bewertung ein.

Die verfahrensrechtliche Komplexität betrifft nicht die maßgebliche Bewertungsgröße der materiellen Genehmigungsvoraussetzungen. Auf Unterschiede wird hingewiesen. Die Anforderungen müssen und können durch die zuständigen Behörden bewältigt werden und fließen deshalb ebenfalls nicht in die Bewertung ein.

Im Rahmen der Paarvergleiche wird auch geprüft, welche der verglichenen Optionen jeweils als Gefahrenabwehrmaßnahme vorzuziehen wäre.

### 2.4.2.1 Rückholung vs. Umlagerung

#### Genehmigungsvoraussetzungen

Die bessere Vorsorge gegen einen unbeherrschbaren Lösungszutritt wird im Vergleich zwischen Rückholung und Umlagerung durch die Rückholung erreicht, weil sie wegen des sich stetig verringernenden Gefahrenpotenzials und der insgesamt kürzeren Betriebszeit zu einem geringeren Risiko führt und das Schadenspotential früh reduziert wird.

Die Mindestanforderungen an die Langzeitsicherheit sind bei beiden Optionen erfüllbar, sofern ein geeignetes Zielendlager (Rückholung) bzw. ein geeigneter neuer Einlagerungsbereich (Umlagerung) verfügbar ist. Um die mehrfache Berücksichtigung fehlender Kenntnisse über den neuen Einlagerungsbereich (Umlagerung) zu vermeiden, wird dies für die rechtliche Bewertung unterstellt. Beide Optionen sind demnach gleich zu bewerten.

Bei der Rückholung sind als zusätzliche Genehmigungsvoraussetzungen bau- und naturschutzrechtliche Anforderungen einzuhalten. Die Umlagerung verlangt zusätzlich den Eignungsnachweis für den neuen Einlagerungsbereich, der für das Zielendlager bei der Option Rückholung unterstellt werden kann. Für beide Optionen sind zum jetzigen Zeitpunkt keine Anhaltspunkte ersichtlich, die der Genehmigungsfähigkeit entgegenstehen.

Die verfahrensrechtliche Komplexität ist wegen der übertägigen Maßnahmen bei der Rückholung größer.

Zusammenfassend kommt der bestmöglichen Vorsorge gegen einen unbeherrschbaren Lösungszutritt entscheidende Bedeutung zu, so dass die Rückholung besser ist als die Umlagerung.

## **Gefahrenabwehrmaßnahmen**

Mit einer vorgezogenen Rückholung kann unmittelbar begonnen werden, weil sie kurzfristig zu einer Reduzierung des Schadenspotentials führt und keine vollendeten Tatsachen schafft. Mit der Umlagerung kann erst begonnen werden, wenn ihre Planfeststellungsfähigkeit hinreichend gesichert ist. Die Rückholung ist deshalb besser.

Insgesamt schneidet damit die Rückholung besser ab als die Umlagerung.

### **2.4.2.2 Rückholung vs. Vollverfüllung**

#### **Genehmigungsvoraussetzungen**

Die Vollverfüllung führt zu einer relativ schnellen Reduzierung der Mobilisierbarkeit der Schadstoffe. Außerdem ist der Zeitraum des Betriebs bis zum Abschluss der Stilllegung am kürzesten. Das Schadstoffinventar insgesamt bleibt jedoch unberührt. Die Rückholung führt zu einer kontinuierlichen Reduzierung des Schadstoffinventars, jedoch wegen der längeren Betriebszeit zu einem höheren Risiko hinsichtlich des unbeherrschbaren Lösungszutritts. Deshalb ist zunächst die Vollverfüllung günstiger, mit zunehmender Rückholung kann sich jedoch die Option Rückholung als besser erweisen. Allerdings ist davon auszugehen, dass die Vorarbeiten für die Rückholung (Bau der notwendigen Anlagen) so lange dauern werden, dass die Vollverfüllung bis dahin schon weit fortgeschritten wäre, so dass das Lösungszutrittsrisiko im direkten Vergleich durch die Vollverfüllung besser reduziert werden kann.

Die Anforderungen an die Langzeitsicherheit werden bei der Rückholung erfüllt. Bei der Vollverfüllung wird die Erfüllung für die rechtlichen Betrachtungen unterstellt. Beide Optionen sind deshalb gleich zu bewerten.

Bei der Rückholung sind als zusätzliche Genehmigungsvoraussetzungen bau- und naturschutzrechtliche Anforderungen bezüglich der übertägigen Anlagen sowie berg- und atom- bzw. strahlenschutzrechtliche Anforderungen bei der Handhabung der radioaktiven Stoffe zu erfüllen. Diese entfallen bei der Vollverfüllung.

Die verfahrensrechtliche Komplexität ist wegen der über- und untertägigen Handhabungen radioaktiver Stoffe bei der Rückholung größer.

Zusammenfassend kommt der fachlichen Bewertung der bestmöglichen Vorsorge gegen einen unbeherrschbaren Lösungszutritt entscheidende Bedeutung zu. Die Vollverfüllung ist bezüglich der Vorsorge gegen einen unbeherrschbaren Lösungszutritt besser zu bewerten. In Bezug auf die Langzeitsicherheit soll hier unterstellt werden, dass beide Optionen die gesetzlichen Mindestanforderungen einhalten können. Im Ergebnis ist damit die Vollverfüllung besser.



## **Gefahrenabwehrmaßnahmen**

Mit der Rückholung kann unmittelbar begonnen werden, weil sie kurzfristig zu einer Reduzierung des Schadenspotentials führt und keine vollendeten Tatsachen schafft. Mit der Vollverfüllung kann bei weiterhin konstantem Lösungszutritt erst begonnen werden, wenn ihre Planfeststellungsfähigkeit hinreichend gesichert ist. Die Rückholung ist deshalb besser.

Ist beispielsweise wegen einer signifikanten kurzfristigen Erhöhung der Zutrittsraten davon auszugehen, dass ein unbeherrschbarer Lösungszutritt in absehbarer Zeit bevorsteht, kann das Interesse an der Vermeidung vollendeter Tatsachen gegenüber dem Interesse einer schnellen Schadensbegrenzung zurücktreten mit der Folge, dass die Vollverfüllung als schneller wirksame Maßnahme vorzuziehen ist. Diese Situation ist aber nicht Gegenstand des Paarvergleichs.

Im Ergebnis sind daher beide Optionen gleich zu bewerten.

### **2.4.2.3 Umlagerung vs. Vollverfüllung**

#### **Genehmigungsvoraussetzungen**

Die Vollverfüllung führt zu einer schnellen Reduzierung der Mobilisierbarkeit der Schadstoffe. Außerdem ist der Zeitraum der Offenhaltung bis zum Abschluss der Stilllegung am kürzesten. Das Schadstoffinventar insgesamt bleibt jedoch unberührt. Letzteres gilt zwar auch für die Umlagerung. Die Umlagerung kann jedoch die Mobilisierbarkeit der Schadstoffe noch weiter reduzieren, sobald ein Teil der Abfälle in den neuen Endlagerbereich umgelagert ist. Auf Grund der längeren Betriebszeit führt sie jedoch zu einem höheren Risiko bis zum Abschluss der Stilllegung. Deshalb ist zunächst die Vollverfüllung günstiger, mit zunehmender Umlagerung könnte jedoch die Option Umlagerung besser sein. Allerdings ist davon auszugehen, dass die Vorarbeiten für die Umlagerung (Auffahrung der neuen Endlagerbereiche) so lange dauern werden, dass die Vollverfüllung bis dahin abgeschlossen werden kann, so dass das Lösungszutrittsrisiko im direkten Vergleich durch die Vollverfüllung besser reduziert werden kann.

Die Erfüllung der Mindestanforderungen an die Langzeitsicherheit muss bei der Umlagerung unterstellt werden, da die Option anderenfalls ohnehin ausscheiden würde. Bei der Vollverfüllung erscheint die Erfüllung möglich und wird deshalb ebenfalls unterstellt. Beide Optionen sind deshalb gleich zu bewerten.

Bei der Umlagerung sind als zusätzliche Genehmigungsvoraussetzungen naturschutzrechtliche Anforderungen bezüglich der Salzhalde sowie berg- und atom- bzw. strahlenschutzrechtliche Anforderungen bei der Handhabung der radioaktiven Stoffe zu erfüllen. Die Umlagerung verlangt außerdem den Eignungsnachweis für den neuen Einlagerungsbereich. Diese Anforderungen entfallen bei der Vollverfüllung.

Die verfahrensrechtliche Komplexität ist wegen des Sonderfalls eines neuen Endlagerbereichs im bestehenden Endlager sowie wegen der zusätzlichen Handhabung radioaktiver Abfälle bei der Umlagerung größer.

Zusammenfassend kommt der fachlichen Bewertung der bestmöglichen Vorsorge gegen einen unbeherrschbaren Lösungszutritt entscheidende Bedeutung zu. Die Vollverfüllung ist bezüglich der Vorsorge gegen einen unbeherrschbaren Lösungszutritt besser zu bewerten. In Bezug auf die Langzeitsicherheit wird unterstellt, dass beide Optionen die gesetzlichen Mindestanforderungen einhalten können. Im Ergebnis ist damit die Vollverfüllung besser.

## Gefahrenabwehrmaßnahmen

Sowohl mit der Umlagerung als auch mit der Vollverfüllung kann erst begonnen werden, wenn ihre Planfeststellungsfähigkeit hinreichend gesichert ist. Vorteil der Vollverfüllung ist, dass sie die Gefahr des unbeherrschbaren Lösungszutritts schneller beseitigt. Da die Bestätigung der Planfeststellungsfähigkeit voraussetzt, dass der Langzeitsicherheitsnachweis auch für die Vollverfüllung erbracht ist, ist die Vollverfüllung besser.

Insgesamt schneidet daher die Vollverfüllung besser ab als die Umlagerung.

### 2.4.2.4 Kriterienbezogener Paarvergleich

Betrachtet man ausschließlich die Einhaltung der Genehmigungsvoraussetzungen im Planfeststellungsverfahren, ergibt sich aus der Anforderung, dass das Lösungszutrittsrisiko im Rahmen des Möglichen reduziert werden muss, dass nur die Vollverfüllung genehmigungsfähig ist, weil bei den anderen Optionen das Zutrittsrisiko zu lange besteht.

Berücksichtigt man jedoch, dass mit der Rückholung als Gefahrenabwehrmaßnahme schon früh begonnen werden könnte, während eine vorgezogene Vollverfüllung erst in Betracht kommt, wenn der Langzeitsicherheitsnachweis erbracht ist, wird der zeitliche Vorteil der Vollverfüllung in Frage gestellt. Kann mit der Rückholung aus Rechtsgründen früher begonnen werden, kann dies den zeitlichen Vorteil der Vollverfüllung kompensieren. Da derzeit nicht absehbar ist, ob und wann der Langzeitsicherheitsnachweis für die Vollverfüllung erbracht werden kann und die Vollverfüllung damit als planfeststellungsfähig einzustufen ist, kann die Rückholung deshalb als gleichwertig angesehen werden.

Für die Umlagerung ist die Genehmigungsfähigkeit in Bezug auf eine der erforderlichen Vorsorge gegen einen unbeherrschbaren Lösungszutritt möglichst nahe kommende Risikoreduzierung jedoch kaum darstellbar. Die Umlagerung erfordert insgesamt den längsten Stilllegungsbetrieb. Die radioaktiven Abfälle verbleiben anders als bei der Rückholung bis zum Abschluss der Umlagerung vollständig in der Anlage. Der zeitliche Vorteil der Vollverfüllung kann auch nicht durch einen früheren Beginn mit vorgezogenen Maßnahmen kompensiert werden, da eine Umlagerung erst in Betracht kommt, wenn die Planfeststellungsfähigkeit des neuen Endlagerbereichs hinreichend sicher ist. Selbst wenn der neue Endlagerbereich rechtzeitig und wirksam gegenüber dem alten Endlagerbereich abgedichtet werden könnte, so dass bereits umgelagerte Abfälle ebenso wie rückgeholte Abfälle wirksam aus dem gefährdeten Bereich entfernt sind, würde die Umlagerung erst später als Vollverfüllung oder Rückholung zu einer Reduzierung des Zutrittsrisikos führen.

Dieses Genehmigungshindernis scheint nur überwindbar, wenn das Risiko des unbeherrschbaren Lösungszutritts insgesamt als unter Bestandsschutz Gesichtspunkten hinnehmbar eingestuft werden könnte. Die Auswirkungen des unbeherrschbaren Lösungszutritts hätten dann auch für den Optionenvergleich insgesamt ein eher geringes Gewicht. Dann wären vorgezogene Maßnahmen zum Zwecke der Gefahrenabwehr im gegenwärtigen Zustand der Schachanlage kaum noch zu rechtfertigen.

Schätzt man dagegen das Risiko des unbeherrschbaren Lösungszutritts als erhebliches Risiko ein, ist die Umlagerung auf Basis der technisch-naturwissenschaftlichen Einschätzungen des Optionenvergleichs und nach vorläufiger rechtlicher Einschätzung rechtlich nicht umsetzbar. Rückholung und Vollverfüllung sind dagegen rechtlich umsetzbar.

Tab. 2.4-2: Kriterienbezogener Paarvergleich zur ‚Rechtlichen Umsetzbarkeit‘.

<b>Rechtliche Umsetzbarkeit</b>	<b>Rückholung</b>	<b>Umlagerung</b>	<b>Vollverfüllung</b>	<b>Ergebnis</b>
<b>Rückholung</b>		besser	gleich	+ 0
<b>Umlagerung</b>	schlechter		schlechter	- -
<b>Vollverfüllung</b>	gleich	besser		0 +

## 2.4.3 Weitere Umweltauswirkungen

Im Kapitel 1.4.3 wurden die sonstigen Umweltauswirkungen anhand von Wirkfaktoren beschrieben. Diese werden wie folgt den Bewertungsgrößen zugeordnet:

Bewertungsgröße Emissionen

- Anlagen bedingte Lärm- und Luftschadstoffemissionen
- Abwasser
- Abfälle
- Licht

Bewertungsgröße Immissionen

- Medieneintrag über Tage in Grundwasser und Boden

Bewertungsgröße Verkehrsaufkommen / Transporte

- Luftschadstoff- und Staubemissionen durch Fahrzeuge und Baumaschinen
- Lärm durch Transporte und Baumaßnahmen
- Erschütterungen durch Fahrzeuge und Baumaschinen während Baumaßnahmen und Transporten

Bewertungsgröße Flächenversiegelung

- Flächeninanspruchnahme
- Landschaftsbildveränderung

In allen drei Optionen ist mit Transportaufkommen durch Verfüllmaterial zu rechnen, da angenommen wird, dass auch nach Umlagerung und Rückholung eine Vollverfüllung erfolgt. Wird ein unkontrolliertes Volllaufen unterstellt, kann sich in der Bewertungsgröße Verkehrsaufkommen / Transporte ggf. eine andere Rangfolge ergeben.

### 2.4.3.1 Rückholung vs. Umlagerung

#### Emissionen

In der Bewertungsgröße Emissionen sind die Wirkfaktoren anlagenbedingte Lärm- und Luftschadstoffemissionen, Abwasser, Abfälle und Licht zusammengefasst. Bei den Wirkfaktoren Abwasser und Licht schneiden die beiden Optionen unterschiedlich ab. Bei der Rückholung entstehen durch den Bau einer Zwischenlagerhalle neue Anlagen, die durch entsprechende Beleuchtung gesichert werden. Für die Umlagerung ist es notwendig eine Salzhalde zu errichten, deren gefasste salzhaltige Wässer zu entsorgen sind.

Insgesamt kann daher keiner Option der Vorzug gegeben werden.

## **Immissionen**

Der dieser Bewertungsgröße zugeordnete Wirkfaktor Medieneintrag über Tage in Grundwasser und Boden kann in beiden Optionen als gering erachtet werden, sofern durch entsprechende technische und organisatorische Vorsorgemaßnahmen ein Medieneintrag in Grundwasser und Boden vermieden wird.

Im Vergleich ist keine der beiden Optionen zu bevorzugen.

## **Verkehrsaufkommen / Transporte**

In dieser Bewertungsgröße werden die Wirkfaktoren Luftschadstoff- und Staubemissionen durch Fahrzeuge und Baumaschinen, Lärm durch Transporte und Baumaßnahmen sowie Erschütterungen durch Fahrzeuge und Baumaschinen während Baumaßnahmen und Transporten zusammengefasst.

In allen Optionen ist mit Lärm, Staub und Erschütterungen zu rechnen. Das Ausmaß ergibt sich aber erst aus detaillierten Planungen. Bei der Rückholung werden mehr Transporte erwartet, sofern die für die Umlagerung notwendige Salzhalde auf dem Schachtgelände angelegt werden kann.

Im Paarvergleich dieser Bewertungsgröße ergibt sich daher für die Umlagerung ein Vorteil.

## **Flächenversiegelung**

In dieser Bewertungsgröße werden die Wirkfaktoren Flächeninanspruchnahme und Landschaftsänderung zusammengefasst. Bei der Rückholung werden durch den Bau einer Zwischenlagerhalle neue Gebäude und bei der Umlagerung eine Salzhalde größeren Ausmaßes entstehen. Die Maßnahmen haben Einfluss auf das Landschaftsbild und führen zu einer Flächeninanspruchnahme. Sowohl eine Zwischenlagerhalle als auch eine Salzhalde wirken prägend auf das Landschaftsbild.

Allein hinsichtlich der hier zu bewertenden Flächenversiegelung (bzw. Flächeninanspruchnahme und Landschaftsänderung) ergibt sich weder für die Rückholung noch für die Umlagerung ein Vorteil.

### **2.4.3.2 Rückholung vs. Vollverfüllung**

#### **Emissionen**

In der Bewertungsgröße Emissionen sind die Wirkfaktoren anlagenbedingte Lärm- und Luftschadstoffemissionen, Abwasser, Abfälle und Licht zusammengefasst. Bei der Rückholung entstehen gegenüber der Vollverfüllung neue Anlagen durch den Bau einer Zwischenlagerhalle, die durch entsprechende Beleuchtung gesichert werden. Die durch diese Anlagen bedingten Lärm- und Luftschadstoffemissionen können durch technische Maßnahmen minimiert werden. Bei der Einhaltung geordneter Entsorgungswege sind bezüglich der Wirkfaktoren Abwässer und Abfälle weder bei der Rückholung noch bei der Vollverfüllung Auswirkungen auf die Umwelt zu erwarten.

Im Paarvergleich dieser Bewertungsgröße ergibt sich daher für die Vollverfüllung ein geringer Vorteil.

#### **Immissionen**

Der dieser Bewertungsgröße zugeordnete Wirkfaktor Medieneintrag über Tage in Grundwasser und Boden kann in der Option Rückholung beim Bau des Zwischenlagers als gering erachtet werden, sofern durch

entsprechende technische und organisatorische Vorsorgemaßnahmen ein Medieneintrag in Grundwasser und Boden vermieden wird. Bei der Vollverfüllung ist kein zusätzlicher Medieneintrag zu erwarten, da die bestehenden Anlagen weiter genutzt werden können.

Im direkten Vergleich ist daher die Option Vollverfüllung zu bevorzugen.

### **Verkehrsaufkommen / Transporte**

In dieser Bewertungsgröße werden die Wirkfaktoren Luftschadstoff- und Staubemissionen durch Fahrzeuge und Baumaschinen, Lärm durch Transporte und Baumaßnahmen sowie Erschütterungen durch Fahrzeuge und Baumaschinen während Baumaßnahmen und Transporten zusammengefasst.

In allen Optionen ist mit Lärm, Staub und Erschütterungen zu rechnen. Bei der Rückholung werden die meisten Transporte erwartet.

Im Paarvergleich dieser Bewertungsgröße ergibt sich daher für die Vollverfüllung ein Vorteil.

### **Flächenversiegelung**

In dieser Bewertungsgröße werden die Wirkfaktoren Flächeninanspruchnahme und Landschaftsbildveränderung zusammengefasst. Bei der Rückholung entstehen neue Anlagen durch den Bau einer Zwischenlagerhalle, die sowohl Einfluss auf das Landschaftsbild haben als auch zu Flächeninanspruchnahme führen, während bei der Vollverfüllung die bestehende Infrastruktur und Gebäude genutzt werden können.

Im Paarvergleich dieser Bewertungsgröße ergibt sich daher für die Vollverfüllung gegenüber der Rückholung ein Vorteil.

## **2.4.3.3 Umlagerung vs. Vollverfüllung**

### **Emissionen**

In der Bewertungsgröße Emissionen sind die Wirkfaktoren anlagenbedingte Lärm- und Luftschadstoffemissionen, Abwasser, Abfälle und Licht zusammengefasst. Bezüglich Licht und Abfälle können keine Unterschiede gemacht werden. Für die Umlagerung ist es notwendig eine Salzhalde zu errichten, deren gefasste salzhaltige Wässer zu entsorgen sind.

Daher ist die Vollverfüllung als besser zu bewerten.

### **Immissionen**

Der dieser Bewertungsgröße zugeordnete Wirkfaktor Medieneintrag über Tage in Grundwasser und Boden kann in der Option Umlagerung infolge der Erstellung der Salzhalde als gering erachtet werden, sofern durch entsprechende technische und organisatorische Vorsorgemaßnahmen ein Medieneintrag in Grundwasser und Boden vermieden wird. Bei der Vollverfüllung ist kein weiterer Medieneintrag zu erwarten, da die bestehenden Anlagen weiter genutzt werden können.

Im direkten Vergleich ist daher die Option Vollverfüllung zu bevorzugen.

## **Verkehrsaufkommen / Transporte**

In dieser Bewertungsgröße werden die Wirkfaktoren Luftschadstoff- und Staubemissionen durch Fahrzeuge und Baumaschinen, Lärm durch Transporte und Baumaßnahmen sowie Erschütterungen durch Fahrzeuge und Baumaschinen während Baumaßnahmen und Transporten zusammengefasst.

In allen Optionen ist mit Lärm, Staub und Erschütterungen zu rechnen. Bei der Umlagerung werden infolge der Erstellung der Salzhalde in der Bewertungsgröße Verkehrsaufkommen/Transporte mehr Auswirkungen erwartet als bei der Vollverfüllung.

Im Paarvergleich dieser Bewertungsgröße ergibt sich daher für die Vollverfüllung ein Vorteil.

## **Flächenversiegelung**

In dieser Bewertungsgröße werden die Wirkfaktoren Flächeninanspruchnahme und Landschaftsbildveränderung zusammengefasst. Bei der Umlagerung wird eine Halde entstehen, die sowohl Einfluss auf das Landschaftsbild hat als auch zu Flächeninanspruchnahme führt, während bei der Vollverfüllung die bestehende Infrastruktur und Gebäude genutzt werden können.

Im Paarvergleich dieser Bewertungsgröße ergibt sich daher für die Vollverfüllung gegenüber der Umlagerung ein Vorteil.

### **2.4.3.4 Übersicht der Bewertungsgrößen im Paarvergleich**

#### **Emissionen**

In der Bewertungsgröße Emissionen sind die Wirkfaktoren anlagenbedingte Lärm- und Luftschadstoffemissionen, Abwasser, Abfälle und Licht zusammengefasst. Bezüglich der Abfälle sind keine Unterschiede erkennbar. Für die Umlagerung ist es notwendig eine Salzhalde zu errichten, deren gefasste salzhaltige Wässer zu entsorgen sind. Die Lichtemissionen sind bei dem Bau neuer Anlagen (Zwischenlagerhalle bei Option Rückholung) am größten. Alle Auswirkungen können aber unter Einhaltung gesetzlicher Regelungen minimiert werden.

#### **Immissionen**

Der dieser Bewertungsgröße zugeordnete Wirkfaktor Medieneintrag über Tage in Grundwasser und Boden kann in den Optionen Rückholung und Umlagerung als gering erachtet werden, sofern durch entsprechende technische und organisatorische Vorsorgemaßnahmen ein Medieneintrag in Grundwasser und Boden vermieden wird. Da bei der Vollverfüllung aber keine zusätzlichen Medieneinträge zu erwarten sind, wird diese Option als besser bewertet.

## **Verkehrsaufkommen / Transporte**

In dieser Bewertungsgröße werden die Wirkfaktoren Luftschadstoff- und Staubemissionen durch Fahrzeuge und Baumaschinen, Lärm durch Transporte und Baumaßnahmen sowie Erschütterungen durch Fahrzeuge und Baumaschinen während Baumaßnahmen und Transporten zusammengefasst. Bei der Rückholung werden die meisten Transporte erwartet. An zweiter Stelle ist bei der Option Umlagerung mit höherem

Transportaufkommen zu rechnen, um das Haldenmaterial zu bewegen. Insgesamt schneidet daher die Option Vollverfüllung am besten ab.

## Flächenversiegelung

In dieser Bewertungsgröße werden die Wirkfaktoren Flächeninanspruchnahme und Landschaftsbildveränderung zusammengefasst. Da es bei Rückholung und Umlagerung zu Flächeninanspruchnahme und Landschaftsbildveränderung kommt schneidet die Vollverfüllung im Vergleich mit den jeweils anderen Optionen besser ab.

### 2.4.3.5 Kriterienbezogener Paarvergleich

Insgesamt sind bei der Stilllegungsoption Rückholung sonstige Umweltauswirkungen am ehesten zu erwarten. Viele Faktoren hängen von detaillierten Planungen ab und können zum derzeitigen Zeitpunkt nicht abschließend dargestellt werden. Durch Vorsorgemaßnahmen können aber gezielt die Umweltauswirkungen minimiert werden.

Tab. 2.4-3: Kriterienbezogener Paarvergleich zu ‚Weiteren Umweltauswirkungen‘.

Weitere Umweltauswirkungen	Rückholung	Umlagerung	Vollverfüllung	Ergebnis
Rückholung		schlechter	schlechter	--
Umlagerung	besser		schlechter	+ -
Vollverfüllung	besser	besser		++



## **2.5 ZEITBEDARF**

### **2.5.1 Zeitbedarf im Rahmen einer Gefahrenabwehrmaßnahme**

Im Abschnitt 1.5.1 ist der Zeitbedarf für jede der Optionen ausgewiesen. Dabei weicht der zu unterstellende Bedarf in einigen Punkten von den in den Machbarkeitsstudien genannten Zeiten ab.

Der für den Zeitbedarf zugrunde gelegte Zeitraum beginnt mit der Entscheidung für die Umsetzung einer Option als Gefahrenabwehrmaßnahme. Für das Ende des Zeitraums wird zur Vereinfachung unterstellt, dass die Maßnahmen bis zu deren Abschluss als Gefahrenabwehrmaßnahme durchgeführt werden können. Es ist in der jeweiligen Situation zu prüfen, ob und wie lange eine Fortsetzung der Maßnahme als Gefahrenabwehrmaßnahme zulässig ist.

#### **2.5.1.1 Rückholung vs. Umlagerung**

##### **Zeitbedarf für Anordnungsphase**

Für die fachliche Planung und die Prüfung durch die zu beteiligenden Bundes- und Landesbehörden wird für beide Optionen ein Zeitbedarf von mindestens einem Jahr angenommen.

Die Optionen Rückholung und Umlagerung sind bezüglich des Zeitbedarfs für eine Anordnungsphase als gleichwertig zu betrachten.

##### **Zeitbedarf für Planung**

Die Planungsleistungen benötigen bei der Rückholung mindestens zwei Jahre und laufen parallel zur Anordnungsphase.

Bei der Umlagerung addieren sich die Zeiten für die erforderliche geologische Vorerkundung und nachlaufende Planungsleistungen für den neu aufzufahrenden Einlagerungsbereich zu einem Gesamtbedarf von knapp 3 Jahren. Zeitgleich können die Planungsarbeiten zur Bergung der Abfälle stattfinden.

Damit ergibt sich ein zeitlicher Vorteil für die Rückholung.

##### **Zeitbedarf zur Ausführung der Stilllegungsoption**

Bei der Option Rückholung ergibt sich ein Zeitbedarf für die Ausführung von mindestens 8 Jahren. Dem steht bei der Option Umlagerung ein Zeitbedarf von 14 bis 18 Jahren gegenüber (je nach gewähltem Design der Einlagerungskammern). Verantwortlich für den hohen Zeitbedarf sind das vorlaufende Abteufen der Blindschächte und die anschließende Auffahrung und Einrichtung des Einlagerungsbereichs.

Im Paarvergleich ergeben sich somit Vorteile für die Option der Rückholung.

## **2.5.1.2 Rückholung vs. Vollverfüllung**

### **Zeitbedarf für Anordnungsphase**

Für die fachliche Planung und die Prüfung durch die zu beteiligenden Bundes- und Landesbehörden wird für beide Optionen ein Zeitbedarf von mindestens einem Jahr angenommen.

Die Optionen Rückholung und Umlagerung sind bezüglich des Zeitbedarfs für eine Anordnungsphase als gleichwertig zu betrachten.

### **Zeitbedarf für Planung**

Die Planungsleistungen benötigen bei der Rückholung zwei Jahre und laufen parallel zur Anordnungsphase.

Um die Planungen des früheren Betreibers an die Option Vollverfüllung anzupassen, sind weitere Planungsleistungen notwendig. Diese Planungen werden einen Zeitraum von einem Jahr in Anspruch nehmen und laufen parallel zur Anordnungsphase.

Damit ergibt sich ein Vorteil für die Vollverfüllung.

### **Zeitbedarf zur Ausführung der Stilllegungsoption**

Bei der Option Rückholung ergibt sich ein Zeitbedarf für die Ausführung von mindestens 8 Jahren. Allerdings ist dieser Zeitbedarf noch mit Unsicherheiten behaftet, insbesondere infolge des heute schwer prognostizierbaren Zustands der Abfallgebände. Bei der Option der Vollverfüllung wurde der Zeitbedarf für die Ausführung der Stilllegungsmaßnahmen mit 8 Jahren abgeschätzt.

Im Vergleich werden daher die Zeitabschätzungen für die Ausführung der Rückholung und für die Vollverfüllung als gleich bewertet.

## **2.5.1.3 Umlagerung vs. Vollverfüllung**

### **Zeitbedarf für Anordnungsphase**

Für die fachliche Planung und die Prüfung durch die zu beteiligenden Bundes- und Landesbehörden wird für beide Optionen ein Zeitbedarf von mindestens einem Jahr angenommen.

Die Optionen Rückholung und Umlagerung sind bezüglich des Zeitbedarfs für eine Anordnungsphase als gleichwertig zu betrachten.

## Zeitbedarf für Planung

Um die Planungen des früheren Betreibers an die neue Option Vollverfüllung anzupassen, sind weitere Planungsleistungen notwendig. Diese Planungen werden einen Zeitraum von einem Jahr in Anspruch nehmen und können parallel zur Anordnungsphase laufen.

Die Zeiten für die erforderliche geologische Vorerkundung und nachlaufende Planungsleistungen für den neu aufzufahrenden Einlagerungsbereich addieren sich zu einem Gesamtbedarf bei der Umlagerung von knapp 3 Jahren. Zeitgleich können die Planungsarbeiten zur Bergung der Abfälle stattfinden.

Damit ergibt sich ein zeitlicher Vorteil für die Vollverfüllung.

## Zeitbedarf zur Ausführung der Stilllegungsoption

Bei der Option Vollverfüllung wird für die Ausführung der Verfüllmaßnahmen ein Zeitbedarf von 8 Jahren ausgewiesen. Dem steht bei der Option Umlagerung ein Zeitbedarf von 14 bis 18 Jahren gegenüber (je nach gewähltem Design der Einlagerungskammern). Verantwortlich für den hohen Zeitbedarf ist hier das vorlaufende Abteufen der Blindschächte und die anschließende Auffahrung und Einrichtung des Einlagerungsbereichs.

Die Vollverfüllung ist daher als besser zu bewerten.

### 2.5.1.4 Kriterienbezogener Paarvergleich

Der Zeitbedarf für die Anordnungsphase ist für jede der drei Stilllegungsoptionen gleich.

Hinsichtlich des Zeitbedarfs für die Planung hat die Option der Vollverfüllung gegenüber den anderen Optionen einen Vorteil. Dieser ist durch die bereits existierenden Planungen des ehemaligen Betreibers begründet, auf die zurückgegriffen werden kann, auch wenn sie angepasst werden müssen.

Bei dem Zeitbedarf für die Ausführung der Stilllegungsmaßnahmen sind die Optionen Vollverfüllung und Rückholung annähernd gleich zu bewerten. Die Ausführung der Option Umlagerung benötigt einen deutlich längeren Zeitraum, da hier die Erkundung und Schaffung eines neuen Einlagerungsbereichs in 1.200 m Tiefe notwendig sind. Der Zeitbedarf zur Bergung bzw. der Rückholung der Abfallgebände bis zum Transport im Grubengebäude ist für die Option Rückholung und Umlagerung annähernd gleich.

Tab. 2.5-1: Kriterienbezogener Paarvergleich zum ‚Zeitbedarf im Rahmen einer Gefahrenabwehrmaßnahme‘.

Zeitbedarf Gefahrenabwehrmaßnahme	Rückholung	Umlagerung	Vollverfüllung	Ergebnis
Rückholung		besser	schlechter	+ -
Umlagerung	schlechter		schlechter	- -
Vollverfüllung	besser	besser		+ +

## **2.5.2 Zeitbedarf bei vorausgehendem Planfeststellungsverfahren**

### **2.5.2.1 Rückholung vs. Umlagerung**

#### **Zeitbedarf für Genehmigungsphase**

Für die Dauer des Planfeststellungsverfahrens wird bei der Rückholung ein Zeitraum von mindestens 11 Jahren zugrunde gelegt.

Auch bei der Umlagerung erscheint eine Verfahrensdauer von unter 11 Jahren als nicht realistisch.

Die Optionen sind bezüglich eines schwer einzuschätzenden Zeitbedarfs für eine Genehmigungsphase als gleichwertig zu betrachten.

#### **Zeitbedarf für Planung**

Als Zeitdauer für die Planungsphase bei der Rückholung werden 2 Jahre abgeschätzt. Da die Planungsarbeiten problemlos parallel zum Planfeststellungsverfahren laufen können, ergeben sich hieraus keine Auswirkung auf den gesamten Zeitbedarf.

Der Zeitbedarf für Planungsarbeiten beträgt bei der Umlagerung etwa 0,8 Jahre. Weiterhin ist für die geologische Vorerkundung ein Zeitbedarf von 2 Jahren anzusetzen. Da die Erkundung eine zwingende Voraussetzung für die Planfeststellung ist, müssen diese Arbeiten vor Beginn des Genehmigungsverfahrens ausgeführt werden.

In beiden Fällen kann die Planung parallel zum Planfeststellungsverfahren erfolgen. Die für die Genehmigungsphase zu prognostizierende Dauer lässt die zeitgleiche Abarbeitung notwendiger Planungsarbeiten zu. Bei der Umlagerung muss die geologische Vorerkundung vor Beginn des Genehmigungsverfahrens erfolgen.

Daher ist im Vergleich die Option Rückholung günstiger.

#### **Zeitbedarf zur Ausführung der Stilllegungsoption**

Für die Ausführung der Rückholung wird eine Zeitdauer von etwa 10 Jahren angenommen. Dieser Wert ist aber noch mit erheblichen Unsicherheiten behaftet.

Geht man davon aus, dass bei der Umlagerung die Erkundung des potenziellen neuen tieferen Einlagerungsbereichs im Rahmen des Planfeststellungsverfahrens erfolgt, wird für die Ausführung der Stilllegungsoption eine Zeitdauer von 14 bis 18 Jahren abgeschätzt.

Aufgrund der kürzen Zeiten für die Ausführung ist die Rückholung zu bevorzugen.

## **2.5.2.2 Rückholung vs. Vollverfüllung**

### **Zeitbedarf für Genehmigungsphase**

Für die Dauer des Planfeststellungsverfahrens wird bei der Rückholung ein Zeitraum von mindestens 11 Jahren zugrunde gelegt. Auch für die Vollverfüllung erscheint eine Verfahrensdauer unter 11 Jahren als nicht realistisch.

Die Optionen sind bezüglich des Zeitbedarfs für eine Genehmigungsphase als gleichwertig zu betrachten.

### **Zeitbedarf für Planung**

Als Zeitdauer für die Planungsphase bei der Rückholung werden 2 Jahre abgeschätzt. Da die Planungsarbeiten problemlos parallel zum Planfeststellungsverfahren laufen können, ergeben sich hieraus keine Wechselwirkungen auf den gesamten Zeitbedarf.

Als Zeitdauer für die Planungsphase wird bei der Vollverfüllung ein Jahr abgeschätzt. Auch hier erfolgen die ggf. notwendigen Umplanungen parallel zum Planfeststellungsverfahren.

In beiden Fällen kann die Planung im parallel laufenden Planfeststellungsverfahren erfolgen. Die für die Genehmigungsphase zu prognostizierende Dauer lässt die zeitgleiche Abarbeitung notwendiger Planungsarbeiten zu.

Daher sind im Vergleich beide Optionen gleichwertig.

### **Zeitbedarf zur Ausführung der Stilllegungsoption**

Für die Ausführung der Rückholung wird eine Zeitdauer von etwa 10 Jahren angenommen.

Die Gesamtdauer für die Umsetzung der für die Vollverfüllung veranschlagten Maßnahmen wird mit ca. 8 Jahren veranschlagt.

Bezüglich der Ausführungszeit ist die Vollverfüllung im Vorteil.

## **2.5.2.3 Umlagerung vs. Vollverfüllung**

### **Zeitbedarf für Genehmigungsphase**

Sowohl bei der Umlagerung als auch bei der Vollverfüllung erscheint eine Verfahrensdauer unter 11 Jahren als nicht realistisch.

Die Optionen sind daher als gleichwertig zu betrachten.

### **Zeitbedarf für Planung**

Der Zeitbedarf für Planungsarbeiten beträgt bei der Umlagerung etwa 0,8 Jahre. Weiterhin ist für die geologische Vorerkundung ein Zeitbedarf von 2 Jahren anzusetzen. Da die Erkundung eine zwingende

Voraussetzung für die Planfeststellung ist, müssen diese Arbeiten vor Beginn des Genehmigungsverfahrens ausgeführt werden.

Als Zeitdauer für die Planungsphase bei der Vollverfüllung wird ein Jahr abgeschätzt.

In beiden Fällen kann die Planung im vorausgehenden Planfeststellungsverfahren erfolgen. Die für die Genehmigungsphase zu prognostizierende Dauer lässt die zeitgleiche Bearbeitung notwendiger Planungsarbeiten zu. Jedoch muss bei der Umlagerung die geologische Vorerkundung vor Beginn des Genehmigungsverfahrens erfolgen.

Daher ist im Vergleich die Option Vollverfüllung günstiger.

### **Zeitbedarf zur Ausführung der Stilllegungsoption**

Geht man davon aus, dass bei der Umlagerung die Erkundung des potenziellen neuen tieferen Einlagerungsbereichs im Rahmen des Planfeststellungsverfahrens erfolgt, wird für die Ausführung der Stilllegungsoption eine Zeitdauer von 14 bis 18 Jahren abgeschätzt.

Die Gesamtdauer für die Umsetzung der für die Vollverfüllung veranschlagten Maßnahmen wird mit ca. 8 Jahren angegeben.

Bezüglich der Ausführungszeit ist die Vollverfüllung im Vorteil.

### **2.5.2.4 Kriterienbezogener Paarvergleich**

Hinsichtlich des Zeitbedarfs für das Genehmigungsverfahren unterscheiden sich die drei Stilllegungsoptionen nicht. Diese wird für alle gleich mit 11 Jahren abgeschätzt.

Durch das bei jeder Option vorausgehende Planfeststellungsverfahren können die bei jeder der drei Optionen notwendigen Planungs-/Ertüchtigungsarbeiten oder Nachweise parallel bearbeitet werden. Hierfür würde ein Zeitraum von mindesten 11 Jahren zur Verfügung stehen. Bei der Option Umlagerung allerdings muss die geologische Vorerkundung vor Beginn des Genehmigungsverfahrens erfolgen.

Als entscheidende Bewertungsgröße erweist sich der Zeitbedarf für die Ausführung der Stilllegungsoption. Dieser ist bei der Vollverfüllung am kürzesten. Die Rückholung kann schneller als die Umlagerung ausgeführt werden, da hierbei kein neuer Einlagerungsbereich aufgefahren werden muss.

Tab. 2.5-2: Kriterienbezogenen Paarvergleich zum ‚Zeitbedarf bei vorausgehendem Planfeststellungsverfahren‘.

<b>Zeitbedarf Planfeststellungsverfahren</b>	<b>Rückholung</b>	<b>Umlagerung</b>	<b>Vollverfüllung</b>	<b>Ergebnis</b>
<b>Rückholung</b>		besser	schlechter	+ -
<b>Umlagerung</b>	schlechter		schlechter	- -
<b>Vollverfüllung</b>	besser	besser		+ +

### 3 RANGFOLGEN FÜR BEURTEILUNGSFELDER

#### 3.1 RANGFOLGE IM BEURTEILUNGSFELD 1: SICHERHEIT IN DER BETRIEBSPHASE

Zur Bildung einer Rangfolge sind die Ergebnisse des kriterienbezogenen Paarvergleichs heranzuziehen. Im Beurteilungsfeld 1 zählen dazu:

- die radiologischen Auswirkungen des bestimmungsgemäßen Betriebes,
- die Anfälligkeit für Störfälle
- die Anfälligkeit gegenüber Eingriffen von außen.

Tab. 3.1-1: Rangfolgenbildung im Beurteilungsfeld ‚Sicherheit in der Betriebsphase‘.

Sicherheit in der Betriebsphase	Rückholung	Umlagerung	Vollverfüllung
Radiolog. Auswirkungen bestimmungsgem. Betrieb	--	+-	++
Anfälligkeit für Störfälle	--	+-	++
Anfälligkeit gegenüber Eingriffen von außen	--	+-	++
<b>Rangfolge</b>	<b>3.</b>	<b>2.</b>	<b>1.</b>

Maßgeblich für die in Tab. 3.1-1 dargestellte Rangfolge ist, dass bei den Optionen Rückholung und Umlagerung relevante Strahlenexpositionen der Beschäftigten bei Bergung, Verpackung, Konditionierung und - im Falle einer Rückholung zusätzlich bei der Zwischenlagerung - auftreten werden, die für die Vollverfüllung entfallen.

Bergung und weitere Hantierung der Abfälle unter und im Falle der Rückholung zusätzlich über Tage schaffen weiterhin die Möglichkeit radiologisch relevanter Störfälle und bedingen eine gegenüber der Vollverfüllung erhöhte Zugänglichkeit der radioaktiven Stoffe.

Zu beachten ist, dass für sämtliche Optionen die jeweils ermittelten Expositionen – teilweise erheblich – unterhalb der Grenzwerte der Strahlenschutzverordnung liegen. Aus radiologischer Sicht ist damit keine der Optionen auszuschließen. Die ermittelte Rangfolge ist eine radiologische Optimierung.

### 3.2 RANGFOLGE IM BEURTEILUNGSFELD 2: UMWELTAUSWIRKUNGEN BEI UNBEHERRSCHBAREM LÖSUNGZUTRITT

Zur Bildung einer Rangfolge sind die Ergebnisse des kriterienbezogenen Paarvergleichs heranzuziehen. Im Beurteilungsfeld 2 zählen dazu:

- die radiologischen Auswirkungen bei unbeherrschbarem Lösungszutritt,
- die chemotoxischen Auswirkungen bei unbeherrschbarem Lösungszutritt,
- die Einhaltung bergbaulicher Schutzziele,
- die Wechselwirkungen mit Notfallmaßnahmen.

Tab. 3.2-1: Rangfolgenbildung im Beurteilungsfeld ‚Umweltauswirkungen bei unbeherrschbarem Lösungszutritt‘.

Umweltauswirkungen bei unbeherrschbarem Lösungszutritt	Rückholung	Umlagerung	Vollverfüllung
Radiologische Auswirkungen ...	+ -	- -	+ +
Chemotoxische Auswirkungen ...	+ -	- -	+ +
Einhaltung bergbaulicher Schutzziele	0 0	0 0	0 0
Wechselwirkungen mit Notfallmaßnahmen	0 -	0 -	+ +
<b>Rangfolge</b>	<b>2.</b>	<b>3.</b>	<b>1.</b>

Wesentlich für die Rangfolgenbildung im Beurteilungsfeld 2 ist, dass bei der Vollverfüllung ein schnellerer und höherer Sicherheitsgewinn durch die fortschreitende Realisierung der Stilllegungsoption zu erwarten ist, als bei Rückholung und Umlagerung. Im Vergleich zu den beiden anderen Optionen ist die Umlagerung in diesem Punkt erheblich schlechter zu bewerten, da das mobilisierbare Inventar bis zum Abschluss aller Arbeiten kaum geringer wird.

Alle drei Optionen sind mit den vorgesehenen oder modifizierten Notfallmaßnahmen vereinbar.



### 3.3 RANGFOLGE IM BEURTEILUNGSFELD 3: VORLÄUFIGE LANGZEITSICHERHEITSEINSCHÄTZUNGEN

Zur Bildung einer Rangfolge sind die Ergebnisse des kriterienbezogenen Paarvergleichs heranzuziehen. Im Beurteilungsfeld 3 zählen dazu:

- die radiologischen Auswirkungen,
- die chemotoxischen Auswirkungen,
- die Konsequenzen menschlichen Eindringens in das Endlager,
- die Robustheit der Stilllegungsoption,
- die Nachweisbarkeit der radiologischen Langzeitsicherheit,
- die Einhaltung bergbaulicher Schutzziele.

Tab. 3.3-1: Rangfolgenbildung im Beurteilungsfeld ‚Vorläufige Langzeitsicherheitseinschätzungen‘.

Vorläufige Langzeitsicherheits-einschätzungen	Rückholung	Umlagerung	Vollverfüllung
Radiologische Auswirkungen	+	?	-
Chemotoxische Auswirkungen	+	?	-
Konsequenzen menschlichen Eindringens ...	+ 0	+ 0	--
Robustheit der Stilllegungsoption	+ 0	+ 0	--
Nachweisbarkeit der radiolog. Langzeitsicherheit	++	--	+-
Einhaltung bergbaulicher Schutzziele	0 0	0 0	0 0
<b>Rangfolge</b>	<b>1.</b>	<b>3.</b>	<b>2.</b>

Ein essentielles Kriterium für die Umsetzbarkeit einer Stilllegungsoption stellt der Nachweis des langzeitsicheren Einschusses der eingelagerten radioaktiven und chemotoxischen Schadstoffe dar. Basierend auf dem heutigen Kenntnisstand kann ausschließlich für die Option Rückholung und Verbringung in ein geeignetes Endlager die begründete Erwartung festgestellt werden, dass der erforderliche Langzeitsicherheitsnachweis gegeben ist. Für die Option Vollverfüllung zeigen die bisher durchgeführten Arbeiten auf, dass es unsicher ist, ob ein solcher Nachweis gelingen kann. Für die Option Umlagerung ist der derzeitige Kenntnisstand so limitiert, dass keine Aussagen über die Existenz eines unter langzeitsicherheitlichen Aspekten geeigneten Einlagerungsbereiches möglich ist.

### 3.4 RANGFOLGE IM BEURTEILUNGSFELD 4: MACHBARKEIT

Die Bildung der Rangfolge im Beurteilungsfeld „Machbarkeit“ erfolgt auf Grundlage der in den Kapiteln 2.4.1 bis 2.4.3 dargestellten Ergebnisse des kriterienbezogenen Paarvergleichs. Im „Beurteilungsfeld 4“ zählen dazu die Kriterien:

- technische Umsetzbarkeit,
- rechtliche Umsetzbarkeit,
- weitere Umweltauswirkungen.

Tab. 3.4-1: Rangfolgenbildung im Beurteilungsfeld ‚Machbarkeit‘.

<b>Machbarkeit</b>	<b>Rückholung</b>	<b>Umlagerung</b>	<b>Vollverfüllung</b>
<b>Technische Umsetzbarkeit</b>	0 -	0 -	+ +
<b>Rechtliche Umsetzbarkeit</b>	+ 0	- -	0 +
<b>Weitere Umweltauswirkungen</b>	- -	+ -	+ +
<b>Rangfolge</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>1</b>

Technisch sind alle drei Stilllegungsoptionen umsetzbar. Bei der Bewertung einzelner Aspekte zeigt sich, dass die Vollverfüllung technisch am einfachsten umsetzbar ist. Die Optionen zur Umlagerung und Rückholung sind im Gegensatz zur Vollverfüllung hinsichtlich ihrer technischen Ausführung als komplexer zu bewerten.

Rechtlich sind Vollverfüllung und Rückholung umsetzbar, falls der Nachweis der Langzeitsicherheit erbracht werden kann. Die rechtliche Umsetzbarkeit der Umlagerung ist zweifelhaft, weil die Umlagerung aufgrund ihrer längeren Ausführungszeit deutlich weniger geeignet ist, dem Risiko eines unbeherrschbaren Lösungszutritts zu begegnen. Die Genehmigungsfähigkeit setzt voraus, dass die Anforderungen an die Vorsorge gegen einen unbeherrschbaren Lösungszutritt möglichst weitgehend erfüllt werden.

Hinsichtlich weiterer Umweltauswirkungen ist die Vollverfüllung zu bevorzugen. Insgesamt sind bei der Stilllegungsoption Rückholung sonstige Umweltauswirkungen am ehesten zu befürchten.

Hervorzuheben ist, dass keiner der herausgearbeiteten Unterschiede eine Machbarkeit einer der drei verglichenen Optionen grundsätzlich in Frage stellt.

### 3.5 RANGFOLGE IM BEURTEILUNGSFELD 5: ZEITBEDARF

Die Bildung der Rangfolge im Beurteilungsfeld Zeitbedarf erfolgt auf Grundlage der in den Kapiteln 2.5.1 und 2.5.2 dargestellten Ergebnisse aus dem kriterienbezogenen Paarvergleich. Das Beurteilungsfeld Zeitbedarf enthält die nachfolgenden Kriterien:

- Zeitbedarf im Rahmen einer Gefahrenabwehrmaßnahme,
- Zeitbedarf bei vorausgehendem Planfeststellungsverfahren.

Tab. 3.5-1: Rangfolgenbildung im Beurteilungsfeld ‚Zeitbedarf‘.

<b>Zeitbedarf</b>	<b>Rückholung</b>	<b>Umlagerung</b>	<b>Vollverfüllung</b>
<b>im Rahmen einer Gefahrenabwehrmaßnahme</b>	+ -	- -	+ +
<b>bei vorausgehendem Planfeststellungsverfahren</b>	+ -	- -	+ +
<b>Rangfolge</b>	<b>2.</b>	<b>3.</b>	<b>1.</b>

Wesentlich für die Rangfolge im Beurteilungsfeld Zeitbedarf ist die für die Ausführung der einzelnen Stilllegungsoptionen benötigte Zeit. Weder für eine Anordnungs-, noch für eine Zulassungsphase lassen sich signifikante Zeitdifferenzen belegen.

Hinzuweisen ist darauf, dass die Zeitansätze aller Optionen bei vorausgehendem Planfeststellungsverfahren den nach den vorliegenden Standsicherheitsprognosen zur Verfügung stehenden Zeitraum deutlich überschreiten.

## 4 BILDUNG EINER GESAMTRANGFOLGE

Im letzten Bewertungsschritt werden die Rangfolgen aller Beurteilungsfelder zu einer Gesamtrangfolge zusammengefasst. Im Ergebnis des Bewertungsschrittes wird eine Einschätzung über die Rangfolge der Stilllegungsoptionen vorgenommen und eine Empfehlung zum weiteren Vorgehen abgegeben.

Tab. 3.5-1: Zusammenfassung aus Schritt 3

	<b>Rang 1</b>	<b>Rang 2</b>	<b>Rang 3</b>
(1) Sicherheit in der Betriebsphase	<b>V</b>	<b>U</b>	<b>R</b>
(2) Umweltauswirkungen bei unbeherrschbarem Lösungszutritt	<b>V</b>	<b>R</b>	<b>U</b>
(3) Vorläufige Langzeitsicherheitseinschätzungen	<b>R</b>	<b>V</b>	<b>U</b>
(4) Machbarkeit	<b>V</b>	<b>R</b>	<b>U</b>
(5) Zeitbedarf	<b>V</b>	<b>R</b>	<b>U</b>

Alle Beurteilungsfelder sind wichtig, um die Optionen miteinander vergleichen zu können. Eine rein numerische Auswertung der Beurteilungsfelder (siehe Tab. 3.5-1) hätte zur Folge, dass die Vollverfüllung zu bevorzugen wäre. Eine solche Vorgehensweise berücksichtigt jedoch nicht die Unterschiede innerhalb der einzelnen Beurteilungsfelder. Zwei Aspekte sind maßgeblich:

- Allein für die Option Rückholung ergibt sich die begründete Erwartung, dass nach derzeitigem Stand des Wissens ein Langzeitsicherheitsnachweis geführt werden kann.
- Für die Option Umlagerung wird ein Risiko der rechtlichen Umsetzbarkeit festgestellt.

Diese Aspekte sprechen dafür, der Rückholung den Vorzug zu geben, sofern nahezu alle Abfälle aus den Einlagerungskammern in der zur Verfügung stehenden Zeit herausgeholt werden können.

## **5 SENSITIVITÄTSANALYSE**

Im Rahmen der Sensitivitätsanalyse soll überprüft werden, welchen Einfluss mögliche Unsicherheiten auf das Gesamtergebnis des Optionenvergleichs haben können. Hierbei soll auch überprüft werden, welche Auswirkungen sich durch die Ungenauigkeiten bei der Bewertung auf die Rangfolge ergeben können.

### **5.1 GRUNDLEGENDE UNSICHERHEITEN**

Der Optionenvergleich kann nur auf Grundlage der bis zum heutigen Zeitpunkt vorhandenen Wissensbasis erfolgen. Dies führte dazu, dass die Bearbeiter der Machbarkeits- und Auswirkungsstudien für die drei Stilllegungsoptionen für bestimmte Fragestellungen Annahmen treffen mussten, die mit Unsicherheiten behaftet sind. Als grundlegende Unsicherheiten sind hierbei nachfolgende Punkte zu nennen:

- Zustand der Abfallgebinde
- Radiologisches und chemotoxisches Inventar
- Existenz eines für die Umlagerung geeigneten Einlagerungsbereiches
- Nachweisführung der Langzeitsicherheit bei der Vollverfüllung

Bis auf die Unsicherheiten beim vorhandenen radiologischen und chemotoxischen Inventar, das für alle Stilllegungsoptionen im gleichen Maße gilt, betreffen die übrigen grundlegenden Unsicherheiten die Stilllegungsoptionen in unterschiedlicher Weise. Die Unsicherheiten über den Zustand der Abfallgebinde sind nur für die Rückholung oder Umlagerung von Bedeutung. Die Frage nach einem geeigneten Einlagerungsbereich betrifft nur die Umlagerung. Die Nachweisbarkeit der radiologischen Langzeitsicherheit betrifft nur die Vollverfüllung, solange nicht bei den Optionen Rückholung oder Umlagerung Teile der Abfälle am derzeitigen Ort verbleiben.

Aufgrund ihrer besonderen Bedeutung werden die oben genannten Unsicherheiten in den Mittelpunkt der folgenden Analyse gestellt.

## **5.2 UNSICHERHEITEN FÜR DIE JEWEILIGEN BEURTEILUNGSFELDER**

### **5.2.1 Sicherheit in der Betriebsphase**

Die wesentliche Unsicherheit, die für die Strahlenexposition der Beschäftigten während der Rückholung oder Umlagerung von entscheidender Bedeutung ist, ist der Zustand der vor teilweise mehr als 40 Jahren eingelagerten Abfallgebinde. Sollten die Gebinde nicht mehr die bei der Einlagerung vorhandenen Abschirmungen gewährleisten, sind insbesondere erhöhte Expositionen durch höhere Direktstrahlungen wahrscheinlich. Weiterhin werden bei defekten oder nicht mehr vorhandenen Gebinden die Abfälle als loses Material, welches ggf. infolge der Gebirgskonvergenz und dem bei der Einlagerung eingebrachten Salzgrusversatz sogar als kompaktiertes Konglomerat vorliegt, anzutreffen sein. Dies hätte wiederum einen entscheidenden Einfluss auf den bei der Bergung der Abfälle möglichen Grad der Automatisierung (fernbedienbare Geräte) und somit auch auf die für die Arbeiten notwendige Anzahl der Beschäftigten sowie deren Aufenthaltszeit im Sperrbereich.

Die in der Machbarkeitsstudie zur Rückholung (DMT & TÜV NORD 2009) angegebenen Zeitbedarfe erscheinen nach ersten Bewertungen als optimistisch. Daher wurde für den Optionenvergleich der Zeitbedarf für die Rückholung (Bergung und Handhabung der Abfälle) korrigiert. Inwieweit die Korrektur realistisch ist, kann aufgrund der heutigen Unkenntnis über den Zustand der Abfälle nicht bewertet werden. Hierfür wären in einem ersten Schritt entsprechende Planungen notwendig. Des Weiteren ist hierbei auch der o. g. Aspekt über den Zustand der Abfallgebinde zu berücksichtigen. Würde sich die Dauer für die Rückholung deutlich erhöhen, hätte dies auch deutlich höhere Strahlenexpositionen für die Beschäftigten (Kollektivdosis) zur Folge.

### **5.2.2 Umweltauswirkungen bei unbeherrschbarem Lösungszutritt**

Für die Optionen Rückholung und Umlagerung sind Berechnungen zum Einfluss der Maßnahmen auf die Gebirgsmechanik notwendig. Es muss geklärt werden, inwiefern die Auffahrung einer Kammer bzw. eines Einlagerungsbereiches und die dadurch entstehenden Hohlräume, welche bei unbeherrschbarem Lösungszutritt nicht verfüllt werden können, Einfluss auf die gebirgsmechanische Situation im Vergleich zum „Ist“-Zustand haben.

Für alle Optionen besteht die Unsicherheit, in welchem Ausmaß bei unbeherrschbarem Lösungszutritt im Grubengebäude Veränderungen stattfinden. Durch Lösungs- und Umlösungsprozesse kommt es zu Veränderungen des Hohlraumvolumens. Pfeiler und Schweben werden durchfeuchtet, so dass mechanisches Versagen zu erwarten ist.

Bei der Umsetzung der Optionen Rückholung, Umlagerung und Vollverfüllung sind durch die verschiedenen Maßnahmen unterschiedliche Hohlraumvolumina verfügbar. Bei Umlagerung und Vollverfüllung ändert sich das Volumen mit zunehmender Dauer der Maßnahme. Bei Umlagerung steigt das Volumen an, während es bei Vollverfüllung abnimmt. Bei Rückholung hingegen ändert sich das Hohlraumvolumen nur geringfügig (Anfahren der Einlagerungskammern, Auffahren von Infrastrukturräumen). Bei unbeherrschbarem Lösungszutritt ist nicht abzuschätzen, welches Volumen zur Verfügung steht, da der Zeitpunkt des Eintretens nicht prognostizierbar ist und dementsprechend der Fortschritt der Umsetzung der Stilllegungsmaßnahme nicht bekannt ist.

### **5.2.3 Vorläufige Langzeitsicherheitseinschätzungen**

Für den neu aufzufahrenden Bereich für die Option Umlagerung bestehen Unsicherheiten bezüglich der Geologie. Zwar ist durch eine Erkundungsbohrung die für die Maßnahme ausreichende Mächtigkeit des

Staßfurth-Steinsalzes unterhalb des Grubengebäudes belegt, es handelt sich jedoch um eine räumlich stark begrenzte Information. Die bekannten geologischen Verhältnisse im bestehenden Grubengebäude zeigen, dass der Asse-Salzstock u. a. durch komplexe Faltenstrukturen gekennzeichnet ist, welche im neu aufzufahrenden Einlagerungsbereich zu Problemen führen könnten. So ist z. B. nicht auszuschließen, dass der im Grubengebäude nur in vereinzelt Schollen vorkommende und potentiell Lösung führende Hauptanhydrit bei der Erkundung eines möglichen Einlagerungshorizonts angetroffen wird.

Bei der Vollverfüllung werden die nach der Verfüllung mit Sorelbeton nicht erreichbaren Resthohlräume mit der technischen  $MgCl_2$ -Lösung bis oberhalb der 700-m-Sohle (bis Firstniveau) aufgefüllt. Das Grubengebäude oberhalb dieser Teufe wird dann durch den natürlichen Lösungszutritt durch  $NaCl$ -dominierte Wässer aufgefüllt. Durch Lösungs- und Umlösungsprozesse wird der Chemismus der Lösung verändert. Die künftige Zusammensetzung der Zutrittslösung ist aufgrund der Komplexität der Geologie und der Geometrie der Hohlräume nicht prognostizierbar. Durch die unvollständige Auffüllung der Resthohlräume des Grubengebäudes mit technischer  $MgCl_2$ -Lösung beim Vollverfüllkonzept setzt die Auspressung ins Deckgebirge erst zu einem späteren Zeitpunkt ein als beim Bezugskonzept. Zudem sind deutlich geringere Auspressraten zu erwarten. Diesem Sicherheitsgewinn stehen Unsicherheiten hinsichtlich der künftigen Entwicklung des Chemismus entgegen.

Für beide Varianten ist die Nachweisbarkeit der Langzeitsicherheit nicht gesichert.

Die Unsicherheiten, die bei der Kenntnis des Inventars bestehen, sind für alle Optionen gleich. Das BfS führt hierzu Untersuchungen (BfS 2009b) durch, die weiter fortgeführt werden. Insbesondere hat sich gezeigt, dass die bisher angegebenen Plutonium- und Tritium-Massen korrigiert werden mussten. Gegebenenfalls erforderliche Korrekturen weiterer Radionuklidinventare können sowohl die radiologischen Betrachtungen zum Arbeitsschutz als auch die Langzeitsicherheitsanalysen für die Option Vollverfüllung beeinflussen.

## **5.2.4 Machbarkeit**

### **5.2.4.1 Technische Umsetzbarkeit**

Für alle Optionen gilt die Prämisse, dass es bei der Umsetzung der erforderlichen technischen Maßnahmen nicht zu einem unbeherrschbaren Lösungszutritt kommt. Tritt dieser Fall ein, muss sich die technische Umsetzbarkeit auf die schnellstmögliche Ausführung der zwingend erforderlichen Notfallmaßnahmen konzentrieren.

### **Rückholung und Umlagerung**

Hinsichtlich der technischen Umsetzbarkeit bestehen bei Rückholung und Umlagerung Unsicherheiten bezüglich der in (DMT & TÜV NORD 2009) unterstellten Vorgehensweise bei der Bergung und Handhabung der Gebinde im Sperrbereich. Die angenommenen Bedingungen hinsichtlich des Zustandes, insbesondere der mittels Versturztechnik endgelagerten Gebinde in den Kammern, der Zustand des Salzgruses und die über die Zeit anzunehmende gebirgsmechanische Einspannung von Matrix und Gebinden in den Kammern sind derzeit unbekannt.

Dadurch wird die technische Umsetzbarkeit der Optionen Rückholung und Umlagerung zwar nicht in Frage gestellt, die Unsicherheiten haben aber Auswirkungen auf den Zeitbedarf und damit Rückwirkungen auf Kriterien in den anderen Beurteilungsfeldern, deren Bewertungsgrößen durch den Zeitbedarf gesteuert werden. Die mit dieser Unsicherheit verbundenen Auswirkungen werden in den davon betroffenen Kriterien diskutiert. Die bezüglich der technischen Umsetzbarkeit getroffenen Annahmen und Randbedingungen fließen hinsichtlich der radiologischen Auswirkungen auf das Personal unmittelbar über den Zustand der Gebinde, dem Grad der Automatisierung bei den Arbeiten in Sperr- und Kontrollbereichen und der Dauer der Arbeitsschritte bei Bergung und Handhabung der Gebinde ein.

Ebenso sind die zur technischen Umsetzbarkeit getroffenen Annahmen und Randbedingungen wesentlich für den prognostizierten Zeitbedarf bei der Ausführung dieser Optionen. Der bei der Rückholung angenommene Zeitbedarf von ca. 8 Jahren bei einer Ausführung als Gefahrenabwehrmaßnahme von 10 Jahren im Rahmen eines Planfeststellungsverfahrens basiert in beiden Fällen auf optimistischen Annahmen bezüglich des Gebinde-Zustands, dem Verfestigungsgrad des eingebrachten Salzgruses und der gebirgsmechanischen Situation bei der Einspannung der Kammerinhalte. Sollten sich verstürzte Gebinde und eingebrachter Salzgrus unter Einfluss der Konvergenz über die Zeit so kompaktiert haben, dass ein schonendes Bergen unzerstörter Gebinde nur mit erheblichem technischem Aufwand möglich ist, führt dies entweder zu einem höheren Zeitbedarf oder zu einer Umplanung bezüglich des Automatisierungsgrades.

Des Weiteren bestehen bei beiden Optionen Unsicherheiten bei der vorgesehenen Errichtung einer in (DMT & TÜV NORD 2009) als Umverpackungs-/Teilkonditionierungsanlage bezeichneten Konditionierungsanlage unter Tage. Diskutiert wurde hier, ob die bei der Rückholung genannte Hochdruckverpressung zur Volumenreduzierung der Gebinde technisch machbar ist. Die Auswirkungen bei Verzicht auf eine Volumenreduzierung unter Tage haben ebenso wie ein ggf. zu unterstellender höherer Zeitbedarf bei Planung, Genehmigung, Beschaffung und Einrichtung einer solchen Anlage Auswirkungen auf den Zeitbedarf bei Umsetzung der Rückholung. Bei der Umlagerung wird auf eine Volumenreduzierung verzichtet, somit sind diesbezüglich keine Unsicherheiten festzustellen.

#### **5.2.4.2 Rechtliche Umsetzbarkeit**

Rechtliche Unsicherheiten bestehen in erster Linie bei der Bewertung der erforderlichen Vorsorge gegen einen unbeherrschbaren Lösungszutritt und bei vorgezogenen Maßnahmen zur Gefahrenabwehr.

Bezüglich der erforderlichen Vorsorge gegen einen unbeherrschbaren Lösungszutritt bei Altanlagen gibt es weder gesetzliche oder untergesetzliche Konkretisierungen noch konkretisierende Rechtsprechung. Hier könnte vertreten werden, dass dieses Risiko mit den Einlagerungsgenehmigungen 1965 bis 1975 auf Basis des damaligen Kenntnisstandes akzeptiert wurde und deshalb insoweit Bestandsschutz bestehe. Infolgedessen könne das bestehende Risiko als rechtlich tolerabel eingestuft und eine Verringerung des Risikos weitergehend als hier angenommen in das Ermessen des Betreibers bzw. der Aufsicht (BfS-EÜ / BMU) oder der Genehmigungsbehörde (Widerrufsermessen) gestellt werden.

Konsequenz wäre, dass auch die Umlagerung rechtlich genehmigungsfähig wäre. Ungeachtet dessen müsste das Risiko bei der Ermessensausübung – ebenso wie die anderen Nachteile der Umlagerung – angemessen berücksichtigt werden. Am Ergebnis des Optionenvergleichs würde sich deshalb nichts ändern.

Außerdem wären vorgezogene Maßnahmen zur Gefahrenabwehr nur schwer zu rechtfertigen, solange die entsprechende Fortwirkung der Altgenehmigungen nicht widerrufen und der Bestandsschutz damit beseitigt wäre. Das Risiko könnte kaum als Gefahr für ein Rechtsgut eingestuft werden, solange der Betrieb auch hinsichtlich eines Lösungszutritts als genehmigt angesehen wird.

Gegen einen Bestandsschutz spricht jedoch, dass mit den Altgenehmigungen weder eine bis heute fortwirkende Entscheidung über die Zulässigkeit des Stilllegungsbetriebs getroffen wurde noch eine Bewertung der aktuellen Risikolage unter Berücksichtigung des bekannten, bisher beherrschbaren Lösungszutritts erfolgte.

Rechtliche Unsicherheiten bestehen ferner hinsichtlich der Voraussetzungen für die Zulässigkeit von vorgezogenen Maßnahmen zur Gefahrenabwehr und hinsichtlich des Umfangs zulässiger Maßnahmen. Auch dazu gibt es weder eine hinreichend klare Gesetzeslage noch konkretisierende Rechtsprechung.



### **5.2.4.3 Weitere Umweltauswirkungen**

Bei den weiteren Umweltauswirkungen hängen viele Faktoren von detaillierten Planungen ab und können zum derzeitigen Zeitpunkt nicht abschließend dargestellt werden. Durch Vorsorgemaßnahmen können aber gezielt die Umweltauswirkungen minimiert werden.

## **5.2.5 Zeitbedarf**

### **5.2.5.1 Im Rahmen einer Gefahrenabwehrmaßnahme**

Unsicherheiten bestehen u. a. bezüglich der Dauer einer Anordnungsphase. Diese Unsicherheit wirkt sich auf alle drei Optionen gleichermaßen aus und führt zu keiner Änderung des Ergebnisses aus dem kriterienbezogenen Paarvergleich.

#### **Rückholung und Umlagerung**

Die beschriebenen Unsicherheiten bei der technischen Umsetzbarkeit sind wesentlich für den zu prognostizierenden Zeitbedarf bei der Ausführung dieser Optionen. Der bei der Rückholung angenommene Zeitbedarf von ca. 8 Jahren bei einer Ausführung als Gefahrenabwehrmaßnahme basiert auf möglicherweise optimistischen Annahmen bezüglich des Gebinde-Zustands, dem Verfestigungsgrad des eingebrachten Salzgruses und der gebirgsmechanischen Situation bei der Einspannung der Kammerinhalte. Sollten sich verstürzte Gebinde und eingebrachter Salzgrus unter Einfluss der Konvergenz über die Zeit so kompaktiert haben, dass ein schonendes Bergen unzerstörter Gebinde nur mit erheblichem technischem Aufwand möglich ist, führt dies entweder zu einem höheren Zeitbedarf oder zu einer Umplanung bezüglich des Automatisierungsgrades.

### **5.2.5.2 Bei vorausgehendem Planfeststellungsverfahren**

#### **Rückholung und Umlagerung**

Für die Ausführung der Rückholung wird eine Zeitdauer von etwa 10 Jahren angenommen. Dieser Wert ist mit den im Kapitel 5.2.5.1 beschriebenen Unsicherheiten behaftet.

Geht man davon aus, dass bei der Umlagerung die Erkundung des potenziellen neuen tieferen Einlagerungsbereichs im Rahmen des Planfeststellungsverfahrens erfolgt, wird für die Ausführung der Stilllegungsoption eine Zeitdauer von 14 bis 18 Jahren abgeschätzt. Kann dies nicht erfolgen, sind die entsprechenden Zeiten zu addieren. Ebenso könnte die Erkundung, bedingt durch die angetroffenen geologischen Gegebenheiten, einen längeren Zeitraum in Anspruch nehmen. Sollte eine punktuelle Vorerkundung keinen geeigneten potenziellen Einlagerungsbereich auffinden, wären die Erkundungsarbeiten auszuweiten. Die Hoffnung, einen entsprechend geeigneten Horizont mit den erforderlichen Gebirgseigenschaften anzutreffen, stützt sich auf eine unsichere Datenlage. Bislang wurde dieser Bereich nur mit einer Bohrung aufgeschlossen. Je größer die geologische Datenlage ist, desto belastbarer zeichnen sich die strukturellen und lithologischen Gegebenheiten ab. Es ist auch nicht auszuschließen, dass kein geeigneter Horizont aufgefunden werden kann.

Bei allen Optionen wird für die Dauer eines Planfeststellungsverfahrens ein Zeitraum von mindestens 11 Jahren unterstellt. Dieser unterstellte Zeitraum ist bezogen auf die Erfahrungen bei den Planfeststellungsverfahren für Konrad und Morsleben als optimistische Annahme anzusehen. Dabei wird bei allen im Verfahren Beteiligten ein erhebliches Interesse an der zügigen Umsetzung vorausgesetzt. Da die

damit verknüpfte Unsicherheit bei allen Optionen gleichermaßen gilt, ergeben sich durch längere oder kürzere Zeiten keine Auswirkungen auf das Ergebnis des kriterienbezogenen Paarvergleichs.

## 5.3 ASPEKTE ZUR REVIDIERBARKEIT UND ÜBERWACHBARKEIT DER STILLEGUNGSOPTIONEN

Im Rahmen des Begleitprozesses haben die stimmberechtigten Mitglieder der Begleitgruppe Asse II eigene Kriterien vorgeschlagen, die beim Optionenvergleich zur Anwendung kommen sollen. Hierbei wurde unterschieden zwischen Kriterien, die als besonders wichtig angesehen werden und die entsprechend ihrer Wichtigkeit aufgelistet sind, und weiteren Kriterien. Zu den besonders wichtigen Kriterien gehören:

- 1 Langzeitsicherheit
- 2 Revidierbarkeit
- 3 Zeitbedarf für die technische Umsetzbarkeit
- 4 Strahlenbelastungen während der Umsetzung und in der Nachbetriebsphase
- 5 Einschlusswirksamer Gebirgsbereich
- 6 Überwachbarkeit

Insgesamt decken die beim Optionenvergleich zugrunde gelegten Kriterien (BfS 2009b) die von der Begleitgruppe Asse II vorgelegten Kriterien weitgehend inhaltlich ab. Dies wird insbesondere dann deutlich, wenn die in dem Kriterienbericht zugrunde gelegten Bewertungsgrößen für die einzelnen Kriterien mit herangezogen werden.

Die Kriterien der Revidierbarkeit (Zugänglichkeit) und Überwachbarkeit sind nicht im Kriterienbericht des BfS (BfS 2009a) enthalten. Im Rahmen des Optionenvergleichs hat das BfS jedoch zugesagt, diese beiden Aspekte aufzugreifen und für die jeweilige Stilllegungsoption zu diskutieren.

### 5.3.1 Revidierbarkeit (Zugänglichkeit)

Das als wichtig eingestufte Kriterium der Revidierbarkeit soll bewerten, inwiefern bzw. wie leicht die vorgesehenen Stilllegungsmaßnahmen zu späteren Zeitpunkten wieder rückgängig gemacht werden können. Dies könnte z. B. notwendig sein, wenn sich der Stand von Wissenschaft und Technik weiterentwickelt und man dabei erkennt, dass die ausgeführten Stilllegungsmaßnahmen nicht geeignet waren.

An dieser Stelle ist anzumerken, dass nach heutigem Stand von Wissenschaft und Technik die Revidierbarkeit für ein Endlager nicht vorgesehen ist. Insbesondere beinhaltet der Begriff des Endlagers die nachsorgefreie Lagerung der Abfälle auf unbegrenzte Zeiträume. Wird dagegen die Revidierbarkeit eines Endlagers gefordert, wäre dies eine Auslegungsanforderung an das zu errichtende Endlagersystem. Dies bedeutet, dass die Forderung nach der Revidierbarkeit oder Zugänglichkeit des Endlagers für die Nachbetriebsphase ggf. Konsequenzen auf die Auswahl des Endlagerstandorts und den möglichen Verschluss des Endlagers haben wird. Grundsätzlich gilt: je einfacher ein Endlagersystem wieder zugänglich ist, desto geringer ist sein Isolationspotential, wobei als Isolationspotential die Summe aller technischen und geologischen Barrieren zu verstehen ist. Demzufolge wäre unter dem Aspekt der Revidierbarkeit z. B. ein oberflächennahes Endlagersystem, welches damit schneller erreichbar ist, besser zu bewerten als ein tiefer liegendes.

Als Bewertungsgrößen für die Revidierbarkeit werden folgende Größen herangezogen:

- Tiefe des Endlagersystems
- Trockener Abschluss
- Technischer Aufwand

Im Ergebnis ist durch die Abwägung der Bewertungsgrößen für jede Stilllegungsoption eine Einschätzung abzugeben, ob die Revidierbarkeit einfach, schwer oder unmöglich ist.

### **5.3.1.1 Rückholung**

#### **Tiefe des Endlagersystems**

Für die Stilllegungsoption Rückholung wird beim Optionenvergleich unterstellt, dass die rückgeholten Abfälle in das Endlager Konrad verbracht bzw. dort endgelagert werden. Hiermit ist keine Präjudizierung verbunden, sondern es wird lediglich das nach Atomgesetz genehmigte Endlager für schwach- und mittelradioaktive Abfälle Konrad bzw. dessen Eigenschaften oder Systemverhalten für den Vergleich herangezogen.

Die geplanten Einlagerungsbereiche im Endlager Konrad erstrecken sich von der 800-m-Sohle bis zur 1.300-m-Sohle, wobei die oberen Einlagerungsfelder für die bestehenden Abfälle vorgesehen sind (BfS 1990).

#### **Trockener Abschluss**

Die hydrogeologische Bewertung für das Endlager Konrad hat ergeben, dass sich der Resthohlraum in der Nachbetriebsphase mit Tiefenwässern allmählich auffüllen wird. Modellrechnungen zeigen, dass nach etwa 1.000 Jahren eine Grundwasserbewegung aus dem Grubenbereich wieder beginnt. Die insgesamt geringe Menge der im Grubengebäude Konrad angeschlagenen Wässer und die geringen Durchlässigkeiten des Wirtsgesteins schließen die Gefahr eines unbeherrschbaren Wasserzutritts in die Grube während der Betriebszeit aus.

Bei der Wiedereinlagerung der aus der Schachtanlage Asse II rückgeholten Abfälle in das Endlager Konrad ist entsprechend der geführten Sicherheitsanalyse ein trockener Abschluss der Abfälle bis zum Zerfall der radioaktiven Stoffe nicht möglich. Allerdings ist durch die geringe hydraulische Leitfähigkeit des Gebirges ein Wasserzutrittsszenario auszuschließen, welches ein Absaufen eines zukünftig neu aufgefahrenen Bergwerks ausschließt.

#### **Technischer Aufwand**

Der technische Aufwand bei der Revidierung der Rückholung der Asse-Abfälle und deren Endlagerung im Schacht Konrad ist als sehr hoch zu bezeichnen. Dies ist hierdurch begründet, dass das Endlager nach der Betriebsphase langzeitsicher verschlossen wird und ein späterer Zugang nur über eine Neuauffahrung bzw. die Erschließung der Abfälle über ein neues Grubengebäude erreicht werden kann. Hierfür wäre die gesamte Infrastruktur einschließlich der notwendigen technischen Komponenten für den Betrieb eines Bergwerks vorzusehen.

Darüber hinaus ist damit zu rechnen, dass bei der Auffahrung angetroffene Tiefenwässer ggf. schon mit Schadstoffen belastet sind. Dies ist bei der technischen Auslegung des neuen Bergwerks zu berücksichtigen (z. B. wasserdichter Ausbau).

#### **Fazit**

Eine spätere Zugänglichkeit der im Endlager Konrad ab etwa 800 m Tiefe – oder in einem anderen adäquaten Endlager – eingelagerten rückgeholten Abfälle wäre nur mit sehr großem technischem Aufwand möglich. In den Sicherheitsanalysen zum Endlager Konrad wird unterstellt, dass sich die Einlagerungsfelder

allmählich mit Tiefenwässern auffüllen. Hierdurch wären Kontaminationen im zu durchdringenden Wirtsgestein möglich.

### **5.3.1.2 Umlagerung**

#### **Tiefe des Endlagersystems**

Bei der Stilllegungsoption Umlagerung werden die geborgenen Abfälle in dem Salzsattel der Asse in neue, tiefer gelegene Einlagerungsbereiche verbracht. Entsprechend (ERCOSPLAN & TÜV NORD 2009) kommt aufgrund der einzuhaltenden Abstandskriterien (Mindestabstand zum alten Grubengebäude) nur ein Einlagerungshorizont unterhalb von 1.200 m in Betracht. Eine genaue Teufenlage kann erst nach der Erkundung angegeben werden.

#### **Trockener Abschluss**

Die Umlagerung der Abfälle kann nur erfolgen, wenn nachweislich ein neuer geeigneter Einlagerungshorizont gefunden ist. Nach heutigem Sicherheitsverständnis bzw. -anforderungen kann dies nur ein Bereich sein, der eine dauerhaft trockene Verwahrung der Abfälle gewährleistet.

Bei der Umlagerung werden die Abfälle trocken verwahrt, sofern ein geeigneter Bereich erkundet werden kann. Ob dies möglich ist, kann gegenwärtig nicht beurteilt werden.

#### **Technischer Aufwand**

Der technische Aufwand bei der Revidierung der Umlagerung der Abfälle ist als sehr hoch zu bewerten. Dies ist hierdurch begründet, dass neue Einlagerungsbereiche langzeitsicher verschlossen und das heutige Bergwerk zusätzlich verwahrt werden muss. Damit wäre ein späterer Zugang nur über ein neu aufgefahrenes Bergwerk möglich. Hierbei ist eine Teufe von mindestens 1.200 m zu erschließen; dies stellt aber keine besondere Herausforderung dar und ist Stand der Technik.

#### **Fazit**

Eine spätere Zugänglichkeit der im Asse-Sattel in 1.200 m Tiefe umgelagerten Abfälle wäre nur mit sehr großem technischem Aufwand möglich. Ob die Abfälle trocken verwahrt werden können, ist derzeit nicht beurteilbar, da dies von der unsicheren Existenz eines entsprechende Eigenschaften aufweisenden Einlagerungshorizontes abhängt.

### **5.3.1.3 Vollverfüllung**

#### **Tiefe des Endlagersystems**

Bei der Stilllegungsoption der Vollverfüllung verbleiben die Abfälle am derzeitigen Ort in der Schachtanlage Asse II. Demzufolge verteilen sich die Abfälle auf mehrere Teufenbereiche. Die MAW-Abfälle sind auf der 511-m-Sohle und die LAW-Abfälle auf der 750-m-Sohle und auf der 725-m-Sohle (nur eine Kammer) eingelagert. Dies entspricht auch den Tiefen des Endlagersystems.

## **Trockener Abschluss**

Bei dem Konzept der Vollverfüllung ist ein trockener Abschluss der Abfälle nicht möglich. Zum einen werden die Kammern mit den LAW-Abfällen auf der 750-m- und 725-m-Sohle mit einer  $MgCl_2$ -Lösung überstaut und zum anderen können die MAW-Abfälle auf der 511-m-Sohle infolge des weiter anhaltenden Lösungszutritts an der Südflanke bereits in der frühen Nachbetriebsphase (nach ca. 60 Jahren) in Kontakt mit Zutrittslösung kommen.

## **Technischer Aufwand**

Der technische Aufwand bei der Revidierung der Endlagerung entsprechend dem Konzept der Vollverfüllung ist als sehr hoch zu bezeichnen, da die derzeit bestehenden Infrastrukturen vollständig mit Sorelbeton verfüllt und zusätzlich in den Bereichen der Einlagerungskammern Sorelbetonbarrieren errichtet werden sollen. Des Weiteren sollen die noch in den Einlagerungskammern vorhandenen Resthohlräume mit Brucit-Mörtel oder Sorelbeton verfüllt werden (GRS 2009).

Ein späterer Zugang zu den Abfällen wird nur über eine Neuauffahrung bzw. die Errichtung eines neuen Bergwerks möglich sein. Hierfür wäre die gesamte Infrastruktur einschließlich der notwendigen technischen Komponenten für den Betrieb des Bergwerks vorzusehen.

Darüber hinaus ist bereits in der frühen Nachbetriebsphase durch die dann im Porenraum des Salzgrusversatzes vorhandene  $MgCl_2$ -Lösung oder Zutrittslösung mit der Ausbreitung von Schadstoffen im Grubengebäude zu rechnen. Dies ist bei der technischen Auslegung des neuen Bergwerks zu berücksichtigen (z. B. wasserdichter Ausbau).

## **Fazit**

Eine spätere Zugänglichkeit der gemäß dem Konzept der Vollverfüllung im Niveau zwischen 750 m und 511 m endgelagerten Abfälle wäre nur mit sehr großem technischem Aufwand möglich. Da bereits bei der Umsetzung des Stilllegungskonzepts teilweise Lösung in das Porenvolumen des Salzgrusversatzes geleitet wird und sich der restliche noch vorhandene Porenraum mit Zutrittslösung auffüllt, können sich Schadstoffe infolge der Konvergenz relativ schnell im Grubengebäude ausbreiten.

## **5.3.2 Überwachbarkeit**

Das als wichtig eingestufte Kriterium der Überwachbarkeit soll bewerten, inwiefern bzw. wie leicht zukünftige unplanmäßige Entwicklungen des Endlagers frühzeitig erkannt werden können. Durch das frühzeitige Erkennen könnten sofort und damit rechtzeitig Gegenmaßnahmen ergriffen werden, die den unplanmäßigen Entwicklungen entgegenwirken.

An dieser Stelle ist anzumerken, dass nach heutigem Stand von Wissenschaft und Technik die Überwachbarkeit für ein Endlager nicht vorgesehen ist. Insbesondere beinhaltet der Begriff des Endlagers die nachsorgefreie Lagerung der Abfälle auf unbegrenzte Zeiträume. Wird dagegen die Überwachbarkeit eines Endlagers gefordert, wäre dies eine zusätzliche Auslegungsanforderung an das zu errichtende Endlagersystem. Hierbei ist zu bedenken, dass die nach heutigem Stand von Wissenschaft und Technik vorhandenen Messsysteme nur eine begrenzte Lebensdauer haben. Insbesondere weisen Sensoren, die in einem hochsalinaren Umfeld zum Einsatz kommen, bereits nach wenigen Jahren Defekte auf bzw. liefern keine zuverlässigen Daten mehr. Daher sollte die Überwachbarkeit im Sinne eines Monitorings verstanden

werden, in dem z. B. über Bohrungen und Probenahmen mögliche Kontaminationspfade überwacht werden können. Des Weiteren bedingt ein System der Überwachbarkeit auch Interventionsschwellen, bei deren Überschreitung entsprechende Gegenmaßnahmen ergriffen werden müssen (sofern dann überhaupt Gegenmaßnahmen zur Verfügung stehen).

Grundsätzlich gilt, je einfacher und besser ein Endlagersystem zu überwachen ist, desto besser ist dies zu bewerten. Als Bewertungsgrößen für die Überwachbarkeit werden folgende Größen herangezogen:

- Größe und Tiefe des zu überwachenden Bereichs
- Zeitraum und Zuverlässigkeit der Überwachung
- Technischer Aufwand

Im Ergebnis ist durch die Abwägung der Bewertungsgrößen für jede Stilllegungsoption eine Einschätzung abzugeben, ob die Überwachbarkeit einfach, schwer oder unmöglich ist.

### **5.3.2.1 Rückholung**

#### **Größe und Tiefe des zu überwachenden Bereichs**

Für die Stilllegungsoption Rückholung wird für den Optionenvergleich unterstellt, dass die rückgeholten Abfälle in dem Endlager Konrad endgelagert werden. Hiermit ist keine Präjudizierung verbunden, sondern es wird lediglich das Endlager Konrad bzw. dessen Eigenschaften oder Systemverhalten für den Vergleich herangezogen.

Die geplanten Einlagerungsbereiche im Endlager Konrad erstrecken sich von der 800-m-Sohle bis zur 1.300-m-Sohle, wobei die oberen Einlagerungsfelder für die genehmigten Abfälle vorgesehen sind (BfS 1990).

Die Größe des zu überwachenden Bereichs würde, bezogen auf die aus der Schachanlage Asse II rückgeholten Abfälle, etwa 13 Vol.-% des im Plan Konrad dargestellten Einlagerungsvolumens betragen. Unter dieser Annahme würde sich ein zu überwachender Bereich von etwa 400 m x 600 m ergeben. Dies entspricht einer Fläche von ca. 240.000 m<sup>2</sup>.

#### **Zeitraum und Zuverlässigkeit der Überwachung**

Die hydrogeologische Bewertung für das Endlager Konrad hat ergeben, dass sich der Resthohlraum in der Nachbetriebsphase mit Tiefenwässern allmählich auffüllen wird. Modellrechnungen zeigen, dass nach etwa 1.000 Jahren eine Grundwasserbewegung aus dem Grubenbereich wieder beginnt. Dies bedeutet, dass eine Ausbreitung der Schadstoffe in den ersten Jahrhunderten nicht zu erwarten ist, sondern im Zeitraum der frühen Nachbetriebsphase trockene Verhältnisse vorherrschen.

Entsprechend den Modellrechnungen werden für die unterschiedlichen Fließpfade Transportzeiten vom Endlager bis in die Biosphäre zwischen 300.000 und einigen Millionen Jahren berechnet (BfS 1990). Dieses wäre dann auch der Zeitraum, der für die Überwachung heranzuziehen ist. Geht man davon aus, dass nach 500 Jahren bereits das Wissen über das Endlager verloren gegangen sein dürfte, ist es wahrscheinlich, dass auch die Überwachung in Vergessenheit gerät und demzufolge eine zuverlässige Überwachung nach mehr als 500 Jahren nicht anzunehmen ist.

## **Technischer Aufwand**

Der technische Aufwand für eine direkte Überwachung der rückgeholt und im Schacht Konrad endgelagerten Asse-Abfälle kann derzeit nicht bewertet werden. Dieser würde sich konkret an den an die Überwachung zu stellenden Anforderungen ausrichten und wäre daher Bestandteil der Auslegung.

Die derzeitige Planung sieht vor, dass das Endlager Konrad nach der Betriebsphase langzeitsicher verschlossen wird und eine Überwachung nicht mehr notwendig ist. Insbesondere bildet jedes Überwachungssystem (Kabelführung) eine potenzielle Wegsamkeit bzw. Schwachstelle, die dem Gedanken der bestmöglichen Isolation der Abfälle entgegensteht. Des Weiteren wären selbst bei einer unplanmäßigen Entwicklung des Endlagersystems markante Systemveränderungen erst nach mehreren hundert Jahren zu erwarten. Zu diesem Zeitpunkt wäre vermutlich kein Messsystem mehr betriebsbereit.

## **Fazit**

Die Überwachbarkeit der im Endlager Konrad – oder in einem anderen adäquaten Endlager – endgelagerten rückgeholt Abfälle wäre aus heutiger Sicht nicht langfristig möglich. Eine zuverlässige Technik, die auch nur einen relevanten Teil des erforderlichen Überwachungszeitraumes von bis zu mehreren Millionen Jahren Transportzeiten ermöglicht bzw. das Wissen über den zu überwachenden Bereich sicherstellt, ist nicht bekannt.

### **5.3.2.2 Umlagerung**

#### **Größe und Tiefe des zu überwachenden Bereichs**

Bei der Stilllegungsoption Umlagerung sollen die geborgenen Abfälle in dem Salzsattel der Asse in neue, tiefer gelegene Einlagerungsbereiche verbracht werden. Entsprechend (ERCOSPLAN & TÜV NORD 2009) kommt aufgrund der einzuhaltenden Abstandskriterien (Mindestabstand zum alten Grubengebäude) nur ein neuer Einlagerungshorizont unterhalb von 1.200 m in Betracht. Eine genaue Teufenlage kann erst im Falle einer erfolgreichen Erkundung angegeben werden. Nach (ERCOSPLAN & TÜV NORD 2009) würden bei Umlagerung des vollständigen Inventars die neu zu schaffenden Einlagerungsbereiche eine Gesamtfläche zwischen etwa 60.000 bis 75.000 m<sup>2</sup> umfassen. Dies entspräche auch der Größe des zu überwachenden Bereichs.

#### **Zeitraum und Zuverlässigkeit der Überwachung**

Die Umlagerung der Abfälle kann nur in einen Bereich erfolgen, der nachweislich eine dauerhaft trockene Verwahrung der Abfälle gewährleistet bzw. die Abfälle langzeitsicher einschließt. Selbst unter der Annahme, dass der erkundete Bereich gering permeabel sein sollte, betragen die Transportzeiten aus 1.200 m Tiefe bis in die Biosphäre einige 10.000 bis mehrere 100.000 Jahre. Dieses wäre dann auch der Zeitraum, der für die Überwachung heranzuziehen ist. Geht man davon aus, dass nach 500 Jahren bereits das Wissen über das Endlager verloren geht, ist es wahrscheinlich, dass auch die Überwachung in Vergessenheit gerät und demzufolge eine zuverlässige Überwachung des Endlagersystems nach mehr als 500 Jahren nicht anzunehmen ist.



## **Technischer Aufwand**

Der technische Aufwand für eine direkte Überwachung der in tiefere Bereiche des Asse-Sattels umgelagerten Abfälle kann derzeit nicht bewertet werden. Dieser würde sich konkret an den an die Überwachung zu stellenden Anforderungen ausrichten und wäre daher Bestandteil der Auslegung des Endlagers.

Derzeitige Planungen sehen vor, dass das Endlager nach der Betriebsphase langzeitsicher verschlossen wird und eine Überwachung nicht mehr notwendig ist. Insbesondere bildet jedes Überwachungssystem (Kabelführung) eine potenzielle Wegsamkeit bzw. Schwachstelle, die dem Gedanken der bestmöglichen Isolation der Abfälle entgegensteht. Des Weiteren wären selbst bei einer unplanmäßigen Entwicklung des Endlagersystems markante Systemveränderungen erst nach mehreren hundert Jahren zu erwarten. Zu diesem Zeitpunkt wäre vermutlich kein Messsystem mehr betriebsbereit.

## **Fazit**

Die Überwachbarkeit der in 1.200 m Tiefe umgelagerten und im Asse-Sattel endgelagerten Abfälle wäre aus heutiger Sicht nicht langfristig möglich. Eine zuverlässige Technik, die einen Überwachungszeitraum von mehreren 10.000 bis mehr als 100.000 Jahren ermöglicht bzw. das Wissen über den zu überwachenden Bereich sicherstellt, ist derzeit nicht bekannt.

### **5.3.2.3 Vollverfüllung**

#### **Größe und Tiefe des zu überwachenden Bereichs**

Bei der Stilllegungsoption der Vollverfüllung verbleiben die Abfälle am derzeitigen Ort in der Schachanlage Asse II. Demzufolge verteilen sich die Abfälle auf mehrere Teufenbereiche. Die MAW-Abfälle sind in einer Kammer auf der 511-m-Sohle und die LAW-Abfälle auf der 750-m-Sohle und auf der 725-m-Sohle (nur eine Kammer) eingelagert. Dies entspricht auch den Tiefen des Endlagersystems.

Die Einlagerungskammern befinden sich im Wesentlichen auf der 750 m-Sohle der Südflanke und erstrecken sich über einen Bereich von etwa 800 m im Streichen der Salzstruktur. Die Kammerbreiten betragen in etwa 40 m, so dass mit den angrenzenden Pfeilern bzw. Stecken eine Breite des zu überwachenden Bereichs von etwa 80 m angenommen wird. Hieraus resultiert eine Fläche von etwa 64.000 m<sup>2</sup>, die zu überwachen wäre. Hinzu käme noch der Bereich um die MAW-Kammer auf der 511-m-Sohle. Hierfür wird noch ein Bereich von 15.000 m<sup>2</sup> angenommen, so dass insgesamt eine Fläche von etwa 80.000 m<sup>2</sup> zu überwachen wäre.

#### **Zeitraum und Zuverlässigkeit der Überwachung**

Bei dem Konzept der Vollverfüllung ist ein trockener Abschluss der Abfälle nicht möglich. Zum einen werden die LAW-Abfälle auf der 750-m- und 725-m-Sohle mit einer MgCl<sub>2</sub>-Lösung überstaut und zum anderen können die MAW-Abfälle auf der 511-m-Sohle infolge des weiter anhaltenden Lösungszutritts an der Südflanke bereits in der frühen Nachbetriebsphase (nach ca. 60 Jahren) in Kontakt mit Zutrittslösung kommen.

Da beim Konzept der Vollverfüllung die Schadstoffe relativ schnell mobilisiert werden, müsste die Überwachung direkt mit der Nachbetriebsphase beginnen. Entsprechend dem Konzept der Vollverfüllung werden für die Schadstoffe Transportzeiten von mehreren Jahrzehnten im Grubengebäude sowie einigen

Jahrhunderten bis in die Biosphäre abgeschätzt. Dies wären auch die Zeiträume, bei denen die Überwachung belastbare Daten liefern müsste. Der gesamte Überwachungszeitraum würde sich über mehrere 10.000 bis mehr als 100.000 Jahre erstrecken. Aus heutiger Sicht ist unmöglich, dass ein Endlagersystem im hochsalinaren Milieu mit den vorhandenen Messsystemen über solche Zeiträume zuverlässig überwacht werden kann.

## **Technischer Aufwand**

Der technische Aufwand für eine Überwachung der beim Konzept der Vollverfüllung auf den drei Sohlen endgelagerten Abfälle kann derzeit nicht bewertet werden. Dieser würde sich konkret an den an die Überwachung zu stellenden Anforderungen ausrichten und wäre daher erst Ergebnis der Planungen.

In (GRS 2009) wird zur Überwachbarkeit folgendes ausgeführt: „Es wird angestrebt, für die unmittelbare Phase nach Stilllegung so lange wie erforderlich und wie technisch möglich mit Hilfe eines messtechnischen Überwachungsprogramms zu zeigen, dass sich das System in der frühen Nachbetriebsphase wie erwartet entwickelt und keine unvorhergesehenen Störfälle eintreten.“

Eine Überwachung der Prozesse in der stillgelegten und geschlossenen Grube selbst ist unter den Aspekten der Langzeitsicherheit jedoch nur begrenzt möglich, da die Lebensdauer der dafür notwendigen Messinstrumente deutlich kleiner als die zu betrachtenden Zeiträume ist. Daher kann eine langfristige Überwachung sich lediglich auf die Umgebungsüberwachung an der Schnittstelle zur Biosphäre beschränken. Hierzu gehören z. B. die radiologische Überwachung des Grundwassers und des Bodens.“

## **Fazit**

Die Überwachbarkeit der entsprechend dem Konzept der Vollverfüllung am derzeitigen Ort (750-m-, 725-m- und 511-m-Sohle) endgelagerten Abfälle wäre aus heutiger Sicht nicht langfristig möglich. Es wäre lediglich die Überwachung der frühen Nachbetriebsphase denkbar. Aufgrund des Nuklidtransports in die Biosphäre wäre allenfalls eine Detektion der Schadstoffe im Grundwasser und im Boden möglich.

## **5.3.3 Paarvergleich zum Aspekt der Revidierbarkeit (Zugänglichkeit)**

### **5.3.3.1 Rückholung vs. Umlagerung**

#### **Tiefe des Endlagersystems**

Für die Stilllegungsoption Rückholung wird beim Optionenvergleich unterstellt, dass die Abfälle in das Endlager Konrad verbracht und dort endgelagert werden. Die geplanten Einlagerungsbereiche im Endlager Konrad erstrecken sich von der 800-m-Sohle bis zur 1.300-m-Sohle. Bei der Stilllegungsoption Umlagerung werden die geborgenen Abfälle in Einlagerungsbereiche unterhalb von 1.200 m verbracht. Hinsichtlich der Tiefe des Endlagersystems bestehen somit keine signifikanten Unterschiede zwischen den Optionen.

#### **Trockener Abschluss**

Bei der Wiedereinlagerung der aus der Schachanlage Asse II rückgeholten Abfälle in das Endlager Konrad ist entsprechend der geführten Sicherheitsanalyse ein dauerhaft trockener Abschluss der Abfälle nicht möglich. Bei der Umlagerung werden die Abfälle trocken verwahrt, sofern ein geeigneter Bereich erkundet werden kann. Ob dies leistbar ist, kann gegenwärtig nicht beurteilt werden. Ein Vergleich der Optionen hinsichtlich dieser Bewertungsgröße muss somit entfallen.

## **Technischer Aufwand**

Der technische Aufwand bei einer erneuten Bergung der Abfälle aus Schacht Konrad oder aus den neuen Einlagerungsbereichen innerhalb der Salzstruktur Asse ist jeweils als sehr hoch zu bewerten.

### **5.3.3.2 Rückholung vs. Vollverfüllung**

#### **Tiefe des Endlagersystems**

Die geplanten Einlagerungsbereiche im Endlager Konrad erstrecken sich von der 800-m-Sohle bis zur 1.300-m-Sohle und liegen somit in vergleichbarer Tiefe wie die derzeitigen Einlagerungskammern in der Schachtanlage Asse II.

#### **Trockener Abschluss**

Sowohl bei der Endlagerung in Konrad als auch bei dem Konzept der Vollverfüllung ist ein dauerhaft trockener Abschluss der Abfälle nicht gegeben.

#### **Technischer Aufwand**

Der technische Aufwand bei der Revidierung der Endlagerung entsprechend der Konzepte Rückholung (Bergung aus Konrad) und Vollverfüllung (Bergung aus der Asse) ist jeweils als sehr hoch zu bezeichnen.

### **5.3.3.3 Umlagerung vs. Vollverfüllung**

#### **Tiefe des Endlagersystems**

Bei der Stilllegungsoption Umlagerung werden die geborgenen Abfälle in dem Salzsattel der Asse in neue Einlagerungsbereiche unterhalb von 1.200 m verbracht. Sie befinden sich somit in größerer Tiefe als die derzeitigen Einlagerungskammern. Dieser Unterschied ist jedoch für die Zugänglichkeit der Abfälle unerheblich.

#### **Trockener Abschluss**

Bei der Option Vollverfüllung ist ein trockener Abschluss der Abfälle nicht möglich. Ob bei der Umlagerung ein für die trockene Verwahrung geeigneter Einlagerungshorizont gefunden wird, kann gegenwärtig nicht beurteilt werden. Ein Vergleich der Optionen hinsichtlich dieser Bewertungsgröße muss somit entfallen.

#### **Technischer Aufwand**

Der technische Aufwand der späteren Bergung der Abfälle aus dem Salzstock Asse ist jeweils als sehr hoch zu bezeichnen.

### **5.3.3.4 Zusammenfassendes Ergebnis des kriterienbezogenen Paarvergleichs**

Nach heutigem Stand von Wissenschaft und Technik ist die Revidierbarkeit für ein Endlager nicht vorgesehen, damit eine möglichst optimale Barrierewirkung nicht beeinträchtigt wird. Der Begriff des Endlagers beinhaltet nach derzeitiger Definition die nachsorgefreie Lagerung der Abfälle in tiefen geologischen Formationen auf unbegrenzte Zeiträume. Dieses Verständnis von Endlagerung wird für alle zu betrachtenden Optionen zugrunde gelegt. Demzufolge wäre unter dem Aspekt der Revidierbarkeit hier nur

die Möglichkeit des späteren Zuganges zu den endgelagerten Abfällen nach Abschluss der Stilllegungsmaßnahmen zu verstehen. Eine spätere Zugänglichkeit der endgelagerten Abfälle wäre für alle Optionen nur mit sehr großem technischem Aufwand möglich. Die Optionen sind somit hinsichtlich der Revidierbarkeit als gleichwertig anzusehen.

Tab. 5.3-1: Kriterienbezogener Paarvergleich zur ‚Revidierbarkeit‘

Revidierbarkeit	Rückholung	Umlagerung	Vollverfüllung	Ergebnis
Rückholung		gleich	gleich	0 0
Umlagerung	gleich		gleich	0 0
Vollverfüllung	gleich	gleich		0 0

## 5.3.4 Paarvergleich zum Aspekt der Überwachbarkeit

### 5.3.4.1 Rückholung vs. Umlagerung

#### Größe und Tiefe des zu überwachenden Bereichs

Unter der Annahme, dass die aus der SchachtanlageASSE II rückgeholten Abfälle in dem Endlager Konrad eingelagert werden, würde sich ein zu überwachender Bereich von etwa 240.000 m<sup>2</sup> in etwa 800 bis 1.300 m Teufe ergeben. Bei Umlagerung würden die neu zu schaffenden Einlagerungsbereiche unterhalb von 1.200 m Teufe eine Gesamtfläche zwischen etwa 60.000 bis 75.000 m<sup>2</sup> umfassen. Die Unterschiede hinsichtlich der Größe und Tiefe des zu überwachenden Bereichs zwischen Rückholung und Umlagerung werden als wenig relevant erachtet.

#### Zeitraum und Zuverlässigkeit der Überwachung

Es wird davon ausgegangen, dass sowohl beim Endlager Konrad als auch bei der Umlagerung frühestens nach 1000 Jahren eine Schadstoffausbreitung zu erwarten ist. Somit erscheint eine zuverlässige Überwachung über den gesamten Betrachtungszeitraum bei beiden Optionen als wenig wahrscheinlich.

#### Technischer Aufwand

Der technische Aufwand für eine direkte Überwachung der geborgenen und endgelagerten oder umgelagerten Abfälle kann derzeit nicht bewertet werden, da dieser sich konkret an den an die Überwachung zu stellenden Anforderungen ausrichten würde und daher Bestandteil der Auslegung wäre.

### **5.3.4.2 Rückholung vs. Vollverfüllung**

#### **Größe und Tiefe des zu überwachenden Bereichs**

Für die in dem Endlager Konrad eingelagerten Abfälle würde sich ein zu überwachender Bereich von etwa 240.000 m<sup>2</sup> in etwa 800 bis 1.300 m Teufe ergeben. Die derzeit in der Schachanlage Asse II lagernden Abfälle befinden sich in 511 bis 750 m Teufe auf einer zu überwachenden Fläche von ca. 80.000 m<sup>2</sup>. Die Unterschiede hinsichtlich der Größe und Tiefe des zu überwachenden Bereichs zwischen Rückholung und Vollverfüllung werden als wenig relevant erachtet.

#### **Zeitraum und Zuverlässigkeit der Überwachung**

Beim Endlager Konrad wird davon ausgegangen, dass frühestens nach mehreren 100 Jahren eine Schadstoffausbreitung beginnen kann. Da angenommen wird, dass bereits nach 500 Jahren das Wissen über das Endlager verloren gegangen sein dürfte, erscheint eine zuverlässige Überwachung über den gesamten Betrachtungszeitraum als wenig wahrscheinlich. Hingegen müsste bei dem Konzept der Vollverfüllung die Überwachung direkt mit der Nachbetriebsphase beginnen, da die Schadstoffe relativ schnell mobilisiert werden. Ein Transport von Radionukliden auf dem Wasserpfad bis in die Biosphäre wird jedoch auch nach dem Konzept der Vollverfüllung mit mindestens mehreren 100 Jahren abgeschätzt. Eine zuverlässige Überwachung der Einlagerungsbereiche und/oder Ausbreitungspfade kann somit sowohl für die Rückholung als auch für die Vollverfüllung nur in der frühen Nachbetriebsphase unterstellt werden.

#### **Technischer Aufwand**

Der technische Aufwand für eine direkte Überwachung der geborgenen und endgelagerten oder der in der Asse verbliebenen Abfälle kann derzeit nicht bewertet werden, da dieser sich konkret an den an die Überwachung zu stellenden Anforderungen ausrichten würde und daher Bestandteil der Auslegung wäre.

### **5.3.4.3 Umlagerung vs. Vollverfüllung**

#### **Größe und Tiefe des zu überwachenden Bereichs**

Die Unterschiede hinsichtlich der Größe und Tiefe des zu überwachenden Bereichs zwischen Umlagerung und Vollverfüllung werden als wenig relevant erachtet.

#### **Zeitraum und Zuverlässigkeit der Überwachung**

Eine zuverlässige Überwachung der Einlagerungsbereiche kann sowohl für die Umlagerung als auch für die Vollverfüllung nur in der frühen Nachbetriebsphase unterstellt werden.

#### **Technischer Aufwand**

Der technische Aufwand für eine direkte Überwachung der in der Schachanlage Asse II umgelagerten oder am derzeitigen Ort verbliebenen Abfälle kann derzeit nicht bewertet werden.

### 5.3.4.4 Zusammenfassendes Ergebnis des kriterienbezogenen Paarvergleichs

Nach heutigem Stand von Wissenschaft und Technik ist die langfristige Überwachung der Einlagerungsbereiche für Endlager nicht vorgesehen. Insbesondere beinhaltet der Begriff des Endlagers die nachsorgefreie Lagerung der Abfälle auf unbegrenzte Zeiträume. Dieses Verständnis von Endlagerung wird für alle zu betrachtenden Optionen zugrunde gelegt. Demzufolge wäre der Aspekt der Überwachbarkeit hier nur im Sinne eines Monitorings zu verstehen, in dem z. B. über Bohrungen und Probenahmen mögliche Kontaminationspfade überwacht werden könnten. Hierbei ist zu bedenken, dass die nach heutigem Stand von Wissenschaft und Technik vorhandenen Messsysteme nur eine begrenzte Lebensdauer haben. Hinsichtlich der Überwachbarkeit ist somit festzuhalten, dass zuverlässige Überwachung der Einlagerungsbereiche und/oder Kontaminationspfade bei allen Optionen nur in der frühen Nachbetriebsphase unterstellt werden kann. Die Optionen werden hinsichtlich des Kriteriums Überwachbarkeit somit als gleichwertig angesehen.

Tab. 5.3-2: Kriterienbezogener Paarvergleich zur ‚Überwachbarkeit‘

Überwachbarkeit	Rückholung	Umlagerung	Vollverfüllung	Ergebnis
Rückholung		gleich	gleich	0 0
Umlagerung	gleich		gleich	0 0
Vollverfüllung	gleich	gleich		0 0

Im Ergebnis des Paarvergleichs wird deutlich, dass sich die Rangfolge auch unter Berücksichtigung der Aspekte Revidierbarkeit und Überwachbarkeit nicht ändern könnte. Dies ist im Wesentlichen dadurch begründet, dass die beiden Aspekte keine wesentlichen Unterscheidungsmerkmale zwischen den jeweiligen Stilllegungsoptionen aufweisen und damit auch keinen Einfluss auf die Rangfolgen innerhalb der Beurteilungsfelder sowie der Gesamtangfolge haben können.

## 6. ZUSAMMENFASSUNG

Wie im Kapitel 4 diskutiert, stellt die vollständige Rückholung auf der Basis des heutigen Wissenstandes die beste Stilllegungsoption dar. Allerdings zeigen die Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse, dass auch diese Option mit relevanten Unsicherheiten behaftet ist, die ihre Realisierbarkeit kritisch beeinflussen können. Dies sind:

- Die Unkenntnis über den Zustand der eingelagerten Abfälle.
- Die Unsicherheiten über die eingelagerten Inventare sowohl der radiologischen wie auch der chemotoxischen Abfälle.

Ein schlechterer Zustand der eingelagerten Abfälle oder höhere Inventare der Schadstoffe können sowohl den erforderlichen Zeitbedarf als auch die Strahlenexpositionen der Beschäftigten in einem solchen Ausmaß negativ beeinflussen, dass schlechtestenfalls eine Verwirklichung der Option Rückholung in Frage gestellt werden könnte.

Als zusätzliche Einschränkung ist der prekäre Zustand der Grube zu berücksichtigen, durch den die für einen erfolgreichen Abschluss der Stilllegung vorhandene Zeit deutlich limitiert wird.

Die Abwägung dieser Unsicherheiten und zu beachtenden zeitlichen Rahmenbedingungen führen zu dem folgenden aus Sicht des BfS anzustrebenden Handlungsplan.

1. Die Planungen zur Rückholung sind bis zur Ausführungsreife zu vollenden.
2. Durch Faktenerhebung aus den Einlagerungskammern sind umfassende Möglichkeiten zur systematischen Evaluierung der oben aufgeführten kritischen Unsicherheiten zu schaffen.
3. Parallel hierzu sind alle technisch möglichen Maßnahmen zur Stabilisierung des Grubengebäudes fortzuführen.
4. Gleichzeitig sind die Notfallmaßnahmen zu einer Begrenzung der Auswirkungen eines unbeherrschbaren Lösungszutritts zu treffen. Dies sollte eine Ermittlung ihrer Konsequenzen für die Langzeitsicherheit einschließen.



# LITERATURVERZEICHNIS

- Abia (2009): Untersuchung der Flora und Fauna im Rahmen der Stilllegung der Schachtanlage Asse II, erstellt von Abia, Arbeitsgemeinschaft Biotop- und Artenschutz GbR, bearbeitet von: Herrmann, D.; Katenhusen, O.; Schmidtke, R.; Wagner, T., Neustadt 11.11.2009
- AkEnd (2002): Auswahlverfahren für Endlagerstandorte - Empfehlungen des Arbeitskreis Auswahlverfahren Endlagerstandorte (AkEnd), Abschlussbericht, Langfassung, Dezember 2002, 260 S
- AF-Colenco AG et al. (2009): Schachtanlage Asse II – Beschreibung und Bewertung der Stilllegungsoption Vollverfüllung, AF-Colenco AG, Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, IfG Institut für Gebirgsmechanik GbH, Baden-Dättwil/Braunschweig/Leipzig 01.10.2009
- AF-Colenco AG (2009a): Schachtanlage Asse II - Abschätzung der Trinkwasserdosis bei einem unterstellten Absaufen des Grubengebäudes, Memo 1299/04(V1), AF-Colenco AG, bearbeitet von: Dr. Resele, G., Baden-Dättwil 08.05.2009
- AGO (2009): Bewertung von Optionen zur Verbesserung der Sicherheitssituation im Rahmen der Stilllegung der Schachtanlage Asse II; Abschlussbericht der AGO-Phase-1 (2008); 12.02.2009
- ASSEKAT (2009): ASSEKAT-Datenbank, Stand: 29.03.2009
- AVV (2005): Entwurf der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zu § 47 Strahlenschutzverordnung: Ermittlung der Strahlenexposition durch die Ableitung radioaktiver Stoffe aus kerntechnischen Anlagen oder Einrichtungen, Stand: 13.05.2005
- BfS (2009a): „Kriterien zur Bewertung von Stilllegungsoptionen für das Endlager für radioaktive Abfälle Asse“, Fachbereiche Sicherheit nuklearer Entsorgung und Strahlenschutz und Umwelt, Salzgitter September 2009
- BfS (2009b): Untersuchungen und Erkenntnisse des BfS zum Abfallinventar der Schachtanlage Asse II, Bundesamt für Strahlenschutz, Fachbereich Sicherheit nuklearer Entsorgung, Salzgitter September 2009
- BfS (2009c): Endlager Konrad – Massen nichtradioaktiver schädlicher Stoffe, Bundesamt für Strahlenschutz, Fachbereich Sicherheit nuklearer Entsorgung, bearbeitet von: Brennecke, P., Salzgitter 06.03.2009
- BfS (2009d): Strategische Optionen im Hinblick auf auslegungsüberschreitende Ereignisse in der Schachtanlage Asse II, Fachbereich nuklearer Entsorgung, Salzgitter 10.11.2009
- BfS (2009e): Sicherungskonzept für die Schachtanlage Asse II, Bundesamt für Strahlenschutz, Salzgitter 2009 [Eingestuft als: VS - nur für den Dienstgebrauch]
- BfS (1997): EU 228 - Systemanalyse Konrad, Teil 3 Ermittlung und Klassifizierung von Störfällen, GRS-A-1504, Bundesamt für Strahlenschutz, Salzgitter 24.02.1997
- BfS (1990): Plan Endlager für radioaktive Abfälle Schacht Konrad Salzgitter. Stand September 1986 in der Fassung vom April 1990, Bundesamt für Strahlenschutz, Salzgitter April 1990
- BMI (1983): Sicherheitskriterien für die Endlagerung radioaktiver Abfälle in einem Bergwerk. GMBI. 1983, Nr. 13, S. 220, 20.04.1983
- BMU (2009): Sicherheitsanforderungen an die Endlagerung wärmeentwickelnder radioaktiver Abfälle – Bericht des BMU, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Bonn Juli 2009
- BMU (1999): Berechnungsgrundlagen zur Ermittlung der Strahlenexposition infolge bergbaubedingter Umweltradioaktivität (Berechnungsgrundlagen-Bergbau), Entwurf, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Berlin 30.07.1999

- BMU, BMBF & NMU (2007): Gemeinsame Pressemitteilung von BMU, BMBF, NMU, Berlin und Hannover verabreden Maßnahmen zur Minimierung von Risiken in der Asse, (<http://www.bmbf.de/press/2322.php>), Berlin 21.11.2007
- Brenk (2001): Rechnungen gemäß der neuen Allgemeinen Verwaltungsvorschriften zu § 47 der Strahlenschutzverordnung für den Standort der Schachtanlage Asse, Endbericht erstellt im Auftrag der GSF-Forschungszentrums für Umwelt und Gesundheit GmbH, Brenk Systemplanung GmbH, Aachen 09.11.2001
- Buhmann et al. (2006): Projekt Langzeitsicherheit Asse, Transportmodellierung, Fluid- und Radionuklidtransport am Standort Asse – Ergänzungsbericht – NRG Bericht ALSA-C\_10.4B-NR227, 21889/06.77241/I, bearbeitet von: Buhmann, D.; Mönig, J.; Poley, A. D.; Poppei, J.; Resele, G., NRG, Colenco, GRS, Petten (Niederlande) 12.12.2006
- Buhmann et al. (2005): Projekt Langzeitsicherheit Asse, Transportmodellierung, Fluid- und Radionuklidtransport am Standort Asse – Abschlussbericht – NRG Bericht ALSA-C-1.5B-NR145, 20995/05.68275/I, bearbeitet von: Buhmann, D.; Grupa, J. B.; Hart, J.; Poppei, J.; Resele, G., NRG, Colenco, GRS, Petten (Niederlande) 27.07.2005
- Chapman & Hall (1997): Cement and Concrete, veröffentlicht in Chapman & Hall, Beitrag von Gani, M.S.J., London/New York 1997
- Colenco AG & GRS (2006): Gesamtbewertung der Langzeitsicherheit für den Standort Asse (Konsequenzenanalyse), Colenco-Bericht 3762/01, GRS-A-3350, Rev. 00, Colenco Power Engineering AG, Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Baden-Dättwil (Schweiz)/Braunschweig 12.12.2006
- DMT & TÜV NORD (2009): Beurteilung der Möglichkeit einer Rückholung der LAW-Abfälle aus der Schachtanlage Asse, DMT GmbH & Co. KG, TÜV NORD SysTec GmbH & Co. KG, bearbeitet von: Beckmann, K.; Dr. Feinhals, J.; Heinzel-Große, S.; Dr. Hucke, A.; Kohl, N.; Dr. te Kook, J.; Löffler, C.; Scior, C.; Dr. Walbrodt, D.; Wittenberg, D.; Essen/Hamburg 25.09.2009
- ERCOSPLAN & TÜV NORD (2009): Beurteilung der Machbarkeit einer Umlagerung aller oder Teile der radioaktiven Abfälle in der Schachtanlage Asse II, bearbeitet von: Ackermann, C.; Herzog, V.; Hinrichs, S.; Jockel, A.; Kaufmann, J.; Teichert, T.; Dr. Feinhals, J.; Löffler, C.; Walbrodt, D.; Hamburg, Erfurt 30.09.2009
- EWN & TÜV NORD (2008): Möglichkeit einer Rückholung der MAW-Abfälle aus der Schachtanlage Asse, bearbeitet von: Hartmann, B.; Hillebrecht, S.; Kuntosch, S.; Rüger, G.; Dr. Feinhals, J.; Heinzel-Große, S.; Löffler, C.; Walbrodt, D., Lubmin/Hamburg November 2008
- FZK-INE (2006): Experimentelles Programm zur Bestätigung der Ergebnisse von standortspezifischen Modellrechnungen für die Schachtanlage Asse – Abschlussbericht: Überprüfung der Gültigkeit thermodynamischer Rechnungen für die Einlagerungskammern bei Lösungsaustausch. Bericht im Auftrag des GSF-Forschungszentrums, bearbeitet von: Lützenkirchen, J.; Korthaus, E.; Metz, V.; Kienzler, B., Institut für Nukleare Entsorgung, Karlsruhe 15.12.2006
- GRS (2009): Abschätzung potenzieller Strahlenexpositionen in der Umgebung der Schachtanlage Asse II infolge auslegungsüberschreitender Zutrittsraten der Deckgebirgslösung während der Betriebsphase, bearbeitet von: GRS Braunschweig, Braunschweig 21.04.2009
- GRS (1991): Sicherheitsanalyse des Endlagers für radioaktive Abfälle Morsleben (ERAM), Gesellschaft für Reaktorsicherheit, GRS-79, Köln März 1991
- GRS (1991a): Transportstudie Konrad: Sicherheitsanalyse des Transports radioaktiver Abfälle zum Endlager Konrad, GRS-A-1755/I, bearbeitet von: Lange, F.; Gründler, D.; Schwarz, G.; Köln Juli 1991
- GRS (1990): EU 371 - Systemanalyse Konrad, Teil 3 Ermittlung der potentiellen Strahlenexposition in der Umgebung der Anlage bei Störfällen unter Berücksichtigung der Berechtigungsverfahren der AVV zu § 45 StrlSchV und Ableitung von Aktivitätsgrenzen für 96 Einzelnuclide, GRS-A-1668/I, bearbeitet von: Fett, H.J.; Lange, F., Köln Mai 1990

- GRS (1987): Systemanalyse Konrad, Teil 3 Bestimmung störfallbedingter Aktivitätsfreisetzung, GRS-A-1389, bearbeitet von: Gründler, D., Köln November 1987
- Grundwasserverordnung (1997): Verordnung zur Umsetzung der Richtlinie 80/68/EWG des Rates v. 17. Dezember 1979 über den Schutz des Grundwassers gegen Verschmutzung durch bestimmte gefährliche Stoffe, BGBl. I 1997, S.542
- GSF (2007): Schließung der Schachanlage Asse II – Sicherheitsbericht mit Prüfunterlagen und ausgewählten Arbeitsunterlagen. Antragsunterlagen für die Genehmigungsbehörden; GSF – Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit – Forschungsbergwerk Asse, Januar 2007
- GSF (2006a): Ergänzende Stellungnahme zur Prüfung auf Einhaltung der wasserrechtlichen Bestimmungen von chemischen und chemotoxischen Stoffen der eingelagerten Abfälle und Versatzmaterialien an der Südflanke der Schachanlage Asse – Abschlussbericht -, bearbeitet von: Buchheim, B.; Meyer, H.; Stolzenberg, G., GSF – Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit – Forschungsbergwerk Asse, 04.07.2006
- GSF (2006b): Bestimmung eines Quellterms für chemische und chemotoxische Stoffe in den Einlagerungsbereichen der Schachanlage Asse mit radioaktiven Abfällen und Versatzstoffen, Buchheim, B.; Meyer, H.; Stolzenberg, G. - Abschlussbericht -, bearbeitet von: Buchheim, B.; Meyer, H.; Stolzenberg, G., GSF - Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit -Forschungsbergwerk Asse, November 2006
- GSF (2006c): Prüfung auf Einhaltung der wasserrechtlichen Bestimmungen von chemischen und chemotoxischen Stoffen der eingelagerten Abfälle und Versatzstoffe in der Schachanlage Asse, - Abschlussbericht -, bearbeitet von: Buchheim, B.; Meyer, H.; Stolzenberg, G., GSF - Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit - Forschungsbergwerk Asse, Remlingen Dezember 2006
- GSF (2004): Bestimmung des Inventars an chemischen und chemotoxischen Stoffen in den eingelagerten radioaktiven Abfällen der Schachanlage Asse, - Abschlussbericht -, GSF - Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit -Forschungsbergwerk Asse, bearbeitet von: Buchheim, B; Meyer H.; Tholen, M., Remlingen März 2004
- HMGU (2008): Entwicklung und Beschreibung des Konzepts zur Schließung der Schachanlage Asse, HelmholtzZentrum münchen, 10.03.2008, Rev. 06
- ICRP (2008): International Commission on Radiological Protection ICRP Publication 108: Environmental Protection: the Concept and Use of Reference Animals and Plants, 2008
- ICRP (2003): International Commission on Radiological Protection ICRP Publication 91: A Framework for Assessing the Impact of Ionising Radiation on Non-Human Species Annals of the ICRP 33 (3), 2003
- ICRP (1991): International Commission on Radiological Protection ICRP Publication 60: 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection Annals of the ICRP 21 (1-3), 1991
- ISTec (2009): Sicherheitsüberprüfung der Störfallvorsorge der Schachanlage Asse II, ISTec-A-1237(Rev.1), ISTec GmbH, Köln 21.04.2009
- ISTec (2006): Ermittlung der Quellterme für die radiologisch relevanten Störfälle bei der Stilllegung des ERAM, bearbeitet von: Maric, D., ISTec GmbH, Köln 01.12.2006
- Öko-Inst. & GRS (2008): Endlagerung wärmeentwickelnder radioaktiver Abfälle in Deutschland; Anhang Umweltauswirkungen, Auswirkungen eines Endlagers auf die Umwelt, bearbeitet von: Sailer, M.; Steinhoff, M., Braunschweig/Darmstadt 30.09.2008
- Popp & Minkley (2007): Integrity of a Salt Barrier during Gas Pressure Build-up in a Radioactive Waste Repository – Implications from Laboratory Investigations and Field Studies, in: Radioactive Waste Disposal in Geological Formations, Proceedings International Conference, Popp, T., Minkley, W. Braunschweig 2007

- Sroka et al. (2006): Bergschadenkundliche Senkungsprognose für die Schachtanlage Asse. – Bergakademie Freiberg, bearbeitet von: Sroka, A.; Hößelbarth, D., Dresden, Freiberg, Juli 2005 - September 2006
- Strahlenschutzkommission (2003): Störfallberechnungsgrundlagen zu § 49 StrlSchV Neufassung des Kapitels 4: Berechnung der Strahlenexposition; Empfehlung der Strahlenschutzkommission; Verabschiedet in der 186. Sitzung der Strahlenschutzkommission am 11. September 2003
- TÜV NORD (2008): Geräuschemissionen und –immissionen im Rahmen der Schließung der Schachtanlage Asse in Remlingen, TÜV NORD Systems GmbH & Co. KG, bearbeitet von: Overdick, F., Essen 27.11.2008
- TÜV NORD (2009): Zusammenfassung der Strahlenexposition der Bevölkerung im bestimmungsgemäßen Betrieb und bei Störfällen sowie der Strahlenexposition des Personals für die Optionen „Rückholung“ und „Umlagerung“ der Abfälle aus der Schachtanlage Asse II, Aktennotiz, TÜV NORD SysTec GmbH & Co. KG, Feinhals, J., Hamburg 22.10.2009
- Voigt (2007): Stellungnahme zum Verfüll- und Verschlusskonzept für die Schließung der Tagesschächte 2 und 4 des Bergwerkes Asse mit Stand vom 15.11.2006, Technische Universität Bergakademie Freiberg, Voigt, W., 27.07.2007

# GLOSSAR

<b>Abbau:</b>	Planmäßig bergmännisch hergestellter Hohlraum in dem keine radioaktiven Abfälle eingelagert sind.
<b>Abfall, radioaktiver:</b>	Radioaktive Stoffe im Sinne des § 2 Abs. 1 und 2 des Atomgesetzes, die nach § 9a Abs. 1 Nr. 2 des Atomgesetzes geordnet beseitigt werden müssen.
<b>Abfallgebilde:</b>	Endzulagernde Einheit aus Abfallprodukt und Abfallbehälter.
<b>Abfallprodukt:</b>	Verarbeiteter radioaktiver Abfall ohne Verpackung oder unverarbeiteter radioaktiver Abfall in einem Behälter verpackt.
<b>Abwetter:</b>	Wetterstrom hinter einem untertägigen Betriebspunkt bis zum Ausziehschacht.
<b>Aktivität:</b>	Aktivität ist die Anzahl der pro Zeiteinheit in einem radioaktiven Stoff auftretenden Kernumwandlungen. Die Maßeinheit der Aktivität ist das Becquerel (Kurzzeichen: Bq), mit der die Anzahl der radioaktiven Kernumwandlungen pro Sekunde angegeben wird. Da die Radionuklide in Stoffmengen unterschiedlicher Konfiguration enthalten sein können, wird die Aktivitätsangabe auch häufig auf diese bezogen, z. B. Becquerel pro Gramm (Bq/g) in Feststoffen, Becquerel pro Liter (Bq/l) in Flüssigkeiten oder Becquerel pro Kubikmeter (Bq/m <sup>3</sup> ) in Luft. Die alleinige Angabe der Aktivität ohne Kenntnis des Radionuklids lässt keine Aussage über die Strahlenexposition zu.
<b>Anhydrit:</b>	Mineral und Gestein, das aus Kalziumsulfat (Ca[SO <sub>4</sub> ]) besteht; es kommt häufig mit Salzgesteinen vor und entsteht im Laufe der Erdgeschichte überwiegend durch Eindunstung von Meerwasser; durch Einwirkung von Oberflächen- bzw. Grundwasser entsteht aus Anhydrit das Mineral bzw. Gestein Gips (Ca[SO <sub>4</sub> ] · 2 H <sub>2</sub> O).
<b>Äquivalentdosis:</b>	Produkt aus der Energiedosis (absorbierte Dosis) im ICRU Weichteilgewebe und dem Qualitätsfaktor der Veröffentlichung Nr. 51 der International Commission on Radiation Units and Measurements (ICRU report 51, ICRU Publications, 7910 Woodmont Avenue, Suite 800, Bethesda, Maryland 20814, U.S.A.). Beim Vorliegen mehrerer Strahlungsarten und -energien ist die gesamte Äquivalentdosis die Summe ihrer ermittelten Einzelbeiträge.
<b>Auffahren:</b>	Herstellung einer horizontalen oder geneigten Strecke oder eines anderen Grubenbaus.
<b>Aufwältigen:</b>	Wiederherstellung vorhandener, aber verbrochener oder versetzter Grubenbaue.
<b>Ausfällung:</b>	Abscheiden eines gelösten Stoffes aus einer Lösung.
<b>Auslegung:</b>	Umsetzung von sicherheitstechnischen Anforderungen, bei deren Einhaltung die nach dem Stand von Wissenschaft und Technik erforderliche Vorsorge gegen Schäden durch die Errichtung und den Betrieb einer kerntechnischen Anlage getroffen ist (§ 7 Abs. 2 Nr. 3 AtG), um die im AtG und in der StrlSchV festgelegten und in Sicherheitskriterien und Leitlinien konkretisierten Schutzziele zu erreichen.

<b>Auslegungs- überschreitendes Ereignis:</b>	Auslegungsüberschreitende Ereignisabläufe sind solche Abläufe, die sich aus in der Auslegung der kerntechnischen Anlage nicht mehr zu berücksichtigenden System- oder Komponentenausfällen entwickeln können. Im Rahmen der Erfüllung des § 3 der Verordnung über das Verfahren bei der Genehmigung von Anlagen nach § 7 AtG (Atomrechtliche Verfahrensverordnung - AtVfV) wird eine Darlegung der zur Erfüllung der nach § 7 Abs. 2 Nr. 3 AtG vorgesehenen Vorsorgemaßnahmen, einschließlich einer Erläuterung der zum Ausschluss oder zur Begrenzung von Auswirkungen auslegungsüberschreitender Ereignisabläufe vorgesehenen Maßnahmen und deren Aufgaben verlangt. Diese Maßnahmen werden im Notfallhandbuch dargestellt.
<b>Barriereintegrität:</b>	Unverletzter Zustand der Barrieren, bei dem diese ihre Funktion erfüllen.
<b>Barrieren:</b>	Geologische Gegebenheiten oder technische bzw. geotechnische Maßnahmen zur Behinderung oder Verhinderung der Freisetzung von Schadstoffen aus den Abfällen in die Biosphäre.
<b>Becquerel:</b>	Das Becquerel (Kurzzeichen: Bq) ist die Maßeinheit der „Aktivität“ eines radioaktiven Stoffes und gibt an, wie viele Kernzerfälle pro Sekunde stattfinden.
<b>Betrieb, bestimmungsgemäßer:</b>	Betriebsvorgänge, für die die Anlage bei funktionsfähigem Zustand der Systeme (ungestörter Zustand) bestimmt und geeignet ist (Normalbetrieb); auch Betriebsvorgänge, die bei Fehlfunktionen von Anlagenteilen oder Systemen (gestörter Zustand) ablaufen, soweit hierbei einer Fortführung des Betriebs sicherheitstechnische Gründe nicht entgegenstehen (anormaler Betrieb); Instandhaltungsvorgänge (Inspektion, Wartung, Instandsetzung).
<b>Bewetterung, Wetter:</b>	Versorgung der Grubenbaue mit frischer Luft.
<b>Biosphäre:</b>	Griechisch bios-spharia (= Leben-Kugel); der von Lebewesen besiedelte Teil der Erde.
<b>Blindschacht:</b>	Vertikaler Grubenbau (Schacht), der nicht in Verbindung mit der Oberfläche steht.
<b>Brucit:</b>	Magnesiumhaltiges Mineral, das im Magnesium-Depot enthalten ist, $Mg(OH)_2$ .
<b>Carnallit:</b>	Leicht lösliches, wasserhaltiges Salzmineral ( $KCl \cdot MgCl_2 \cdot 6H_2O$ ).
<b>Carnallitit:</b>	Salzgestein, das aus Carnallit, Steinsalz und anderen Salzmineralien besteht; Bestandteile sind Bischofit ( $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ ), Carnallit ( $KCl \cdot MgCl_2 \cdot 6H_2O$ ), Kieserit ( $MgSO_4 \cdot H_2O$ ), Steinsalz (NaCl), Anhydrit ( $CaSO_4$ ).
<b>Deckgebirge:</b>	Gesamtheit der anstehenden Schichten im Hangenden (Gestein oberhalb einer betrachteten Gesteinschicht) des Salzsattels Asse bis zur Tagesoberfläche (Post Zechstein).
<b>Diffusor:</b>	Trichterförmig erweitertes Rohr zur allmählichen Verzögerung der Abwetter, um eine Verwirbelung der Strömung und damit Strömungsverluste zu verhindern.

<b>Dosis, effektive:</b>	Kurzbezeichnung für die effektive Äquivalentdosis; dient der Ermittlung der Strahlenexposition des Menschen; dabei werden unterschiedliche Arten ionisierender Strahlung und die Belastung einzelner Organe berücksichtigt; Maßeinheit = Sievert (Sv).
<b>Dosisleistung:</b>	Quotient aus der Dosis und der Zeit.
<b>Einlagerungskammer:</b>	Planmäßig bergmännisch hergestellter Hohlraum in den radioaktive Abfälle eingelagert sind.
<b>Endlagerung:</b>	Wartungsfreie, zeitlich unbefristete und sichere Beseitigung von radioaktivem Abfall ohne beabsichtigte Rückholbarkeit.
<b>Expositionspfad:</b>	Weg der radioaktiven Stoffe von der Ableitung aus einer Anlage oder Einrichtung über einen Ausbreitungs- oder Transportvorgang bis zu einer Strahlenexposition des Menschen.
<b>Feuchte kriechen:</b>	Beschleunigung des normalen plastischen Verformungsverhaltens (Kriechen) von Salzgestein bei Auftreten von Feuchtigkeit.
<b>Firste:</b>	Obere Grenzfläche (Decke) eines Grubenbaus.
<b>Freisetzung:</b>	Das Entweichen radioaktiver Stoffe aus den vorgesehenen Umschließungen in die Anlage oder Umgebung.
<b>Gammasubmersion:</b>	Äußere Strahlenexposition des Menschen durch Gammastrahlung aus der Abluffahne.
<b>Gebirgsmechanik:</b>	Lehre vom mechanischen Verhalten des Gebirges bei tektonischen/technischen Krafteinwirkungen oder Verformungen.
<b>Grenzwert:</b>	Höchstwert, der nicht überschritten werden darf.
<b>Grubengebäude:</b>	Sammelbegriff für alle bergmännisch hergestellten Hohlräume eines Bergwerks.
<b>Haufwerk:</b>	Aus dem Gebirgsverband herausgelöstes Gestein.
<b>Individualdosis:</b>	Individuelles Maß für die Strahlenexposition von Einzelpersonen durch ionisierende Strahlung.
<b>Ingestion:</b>	Innere Strahlenexposition des Menschen durch Aufnahme radioaktiver Stoffe mit der Nahrung.
<b>Inhalation:</b>	Aufnahme von radioaktiven Stoffen in den menschlichen Organismus durch Einatmen.
<b>Inkorporation:</b>	Allgemein: Aufnahme in den Körper; speziell: Aufnahme radioaktiver Stoffe in den menschlichen Körper.
<b>Kalisalz:</b>	Gestein oder Bergbauprodukt aus verschiedenen Salzmineralien mit einem hohen Anteil an Kaliumverbindungen.
<b>Kaverne:</b>	Lateinisch caverna (= Höhle); ellipsenförmiger unterirdischer Hohlraum.

<b>Konditionierung:</b>	Unter Konditionierung versteht man die zwischen- und/oder endlagergerechte Behandlung und Verpackung von radioaktiven Abfällen. Die wichtigsten Teilbereiche der Konditionierung sind die Verfestigung flüssiger Abfälle und die handhabungsgerechte Verpackung unter Berücksichtigung des erforderlichen Strahlenschutzes für die später mit der Handhabung noch beschäftigten Mitarbeiter in den Zwischen- und Endlagern.
<b>Kontamination, radioaktiv:</b>	Verunreinigung von Arbeitsflächen, Geräten, Räumen, Wasser, Luft usw. durch radioaktive Stoffe.
<b>Kontrollbereich:</b>	Bereiche, in denen Personen im Kalenderjahr eine effektive Dosis von mehr als 6 mSv oder höhere Organdosen als 45 mSv für die Augenlinse oder 150 mSv für die Haut, die Hände, die Unterarme, die Füße und Knöchel erhalten können.
<b>Konvergenz:</b>	Lateinisch con-vergere (= sich zueinander neigen); natürlicher Prozess der Volumenreduzierung von untertägigen Hohlräumen infolge Verformung bzw. Auflockerung auf Grund des Gebirgsdrucks.
<b>Langzeitsicherheitsnachweis:</b>	Nachweis zum langfristig sicheren Abschluss von Abfällen von der Biosphäre.
<b>Lithologie:</b>	Gesteinskunde der Sedimentgesteine
<b>Löser:</b>	Gesteinbrocken, die sich von der Decke eines Grubenbaues ablösen und herunterfallen können (Löserfall) oder bereits herabgefallen sind.
<b>Luftporenvolumen:</b>	Anteil der mit Luft gefüllten Hohlräume in einem Material.
<b>Magnesiumchlorid:</b>	Magnesiumsalz, chemische Formel $MgCl_2$ .
<b>Magnesium-Depot:</b>	Brucit-haltiges ( $Mg(OH)_2$ ) Material, das die Entwicklung des chemischen Milieus in den Einlagerungsbereichen günstig beeinflusst.
<b>Medieneintrag:</b>	Eintrag von Stoffen in Boden oder Wasser (z. B. Spülwasser bei Bohrungen oder unfallbedingte Einträge von Öl sowie Schmier- und Kühlmittel sowie der Eintrag chemotoxischer Stoffe aus den Einlagerungsbereichen).
<b>Mittelradioaktive Abfälle:</b>	Radioaktive Abfälle, die bei ihrer Handhabung einer zusätzlichen Abschirmung der Behälter bedürfen.
<b>Nebengebirge:</b>	Gesteinsschichten, die sich seitlich außerhalb der Salzstruktur befinden.
<b>Nuklid:</b>	Atome bestehen aus Kern und Hülle; die Bestandteile des Kernes – Neutronen und Protonen – werden als Nukleonen bezeichnet; Kerne mit unterschiedlicher Anzahl von Protonen und Neutronen ergeben die Atomarten, die als Nuklide bezeichnet werden.
<b>Ortsdosis:</b>	Äquivalentdosis für Weichteilgewebe, gemessen an einem bestimmten Ort.
<b>Pfeiler:</b>	Stützelement (stehenbleibender Lagerstättenteil) zwischen Hohlräumen in einem Bergwerk.



<b>Radioaktivität:</b>	Vorgang des spontanen, ohne äußere Einwirkung stattfindenden Zerfalls von Atomkernen, sogenannten Radionukliden. Radionuklide wandeln sich in andere Nuklide um, wobei eine charakteristische Alpha-, Beta- oder Gamma-Strahlung ausgesendet wird. Es gibt sowohl in der Natur vorkommende natürliche Radionuklide als auch durch kernphysikalische Prozesse erzeugte Radionuklide.
<b>Radionuklid:</b>	Ein Radionuklid ist ein instabiles Nuklid, das spontan ohne äußere Einwirkung unter Aussendung energiereicher (ionisierender) Strahlung in ein anderes Nuklid zerfällt.
<b>Radionuklidinventar:</b>	Radionuklide und entsprechende Aktivitäten, die z. B. in einem Abfallgebäude (endzulagernde Einheit aus Abfallprodukt und Abfallbehälter) oder in einer Einlagerungskammer enthalten sind.
<b>Radiotoxizität:</b>	Maß für die Gesundheitsschädlichkeit eines Radionuklids im menschlichen Körper, wenn es durch Ingestion aufgenommen wird.
<b>Radon-222:</b>	Radon-222 ist ein natürliches Zerfallsprodukt aus der Uran-Radium- Reihe, das überall auf der Erde vorhanden ist und wesentlich zur natürlichen Umweltradioaktivität beiträgt. Es ist ein Edelgas, das farb-, geruchs- und geschmacklos ist, sich nicht bindet und über Risse und Spalten aus dem Erdreich in die Atemluft entweicht. Durch weiteren Zerfall entstehen wiederum radioaktive Folgeprodukte, die über die Atemwege in die Lunge gelangen und dort u. a. Alpha-Strahlung aussenden. Diese kann die Zellen der Lunge schädigen. Diese Schäden können die Entstehung von Krebserkrankungen begünstigen.
<b>Redundanz:</b>	Vorhandensein von gleichartigen und gleichzeitig funktionsbereiten technischen Systemen in einer größeren als zur Erfüllung der vorgesehenen Funktion notwendigen Anzahl.
<b>R-Lösung:</b>	Salinare Lösung (wässrige Lösung mit unterschiedlicher Salzkonzentration) mit einer Zusammensetzung am Punkt R der 25°C Isotherme des quinären Systems.
<b>Salinare Lösungen:</b>	Wässrige Lösungen mit unterschiedlicher Salzkonzentration.
<b>Salzgrus:</b>	Feinkörniges Salzgesteinsmaterial.
<b>Schutzfluid:</b>	Salzlösung, die mit Halit, Carnallit, Kieserit und Kainit gesättigt ist (entspricht Lösung am Punkt R im quinären System) und deshalb kein Lösevermögen gegenüber diesen Salzen besitzt. Somit wird das Salzgestein vor Zersetzung durch andere Lösungen geschützt.
<b>Schutzziele:</b>	Schützenswerte Ziele in Rechtsvorschriften.
<b>Schwachradioaktive Abfälle:</b>	Radioaktive Abfälle, die bei ihrer Handhabung keiner zusätzlichen Abschirmung der Behälter bedürfen.
<b>Schwebe:</b>	Horizontale Gebirgsschicht, die zwei übereinander angeordnete Grubenbaue eines Bergwerks voneinander trennt.

<b>Sicherheitsüberprüfung/-analyse:</b>	Im Rahmen einer Sicherheitsüberprüfung/-analyse werden mit Hilfe von Berechnungen und Untersuchungen mögliche radiologische Auswirkungen eines Endlagers im bestimmungsgemäßen Betrieb, in der Nachbetriebsphase und bei Störfällen abgeschätzt und überprüft.
<b>Sievert:</b>	SI-Einheit der Äquivalentdosis und der effektiven Dosis 1 Sievert (Sv) = 100 Rem, 1 Sievert = 1 000 Millisievert (mSv) = 1 000 000 Mikrosievert (µSv).
<b>Sohle:</b>	Gesamtheit der annähernd in einem Niveau aufgefahrenen Grubenbaue; auch untere Grenzfläche eines Grubenbaus.
<b>Sorelbeton:</b>	Baustoff, erzeugt durch Mischen von Magnesiumoxid, feinkörnigem Steinsalzgrus und Magnesiumchloridlösung.
<b>Sorption:</b>	Aufnahme eines Gases oder gelösten Stoffes durch einen anderen festen oder flüssigen Stoff.
<b>Steinsalz:</b>	Salzmineral, auch Halit genannt, chemische Formel NaCl.
<b>Steinsalz-Barriere:</b>	Salzgestein zwischen Grubengebäude und wasserführendem Deckgebirge.
<b>Störfall:</b>	Ereignisablauf, bei dessen Eintreten der Betrieb der Anlage oder die Tätigkeit aus sicherheitstechnischen Gründen nicht fortgeführt werden kann und für den die Anlage auszulegen ist oder für den bei der Tätigkeit vorsorglich Schutzvorkehrungen vorzusehen sind.
<b>Strahlenexposition:</b>	Lateinisch ex-ponere (= hinaus-setzen); bezeichnet im Allgemeinen die Einwirkung von Strahlung auf den menschlichen Körper. Im Strahlenschutz wird beim Umgang mit oder bei der Anwendung von radioaktiven Stoffen die Einwirkung ionisierender Strahlung betrachtet.
<b>Strahlenschutz:</b>	Schutz von Mensch und Umwelt vor den schädigenden Wirkungen ionisierender und nicht ionisierender Strahlung.
<b>Strahlenschutzbereiche:</b>	Räumlich abgetrennte Bereiche, in denen Personen ionisierender Strahlung ausgesetzt sein können, die oberhalb des Grenzwerts für das allgemeine Staatsgebiet liegt.
<b>Strahlung, ionisierende:</b>	Jede Strahlung, die direkt oder indirekt Materie ionisiert, d. h. Atome bzw. Moleküle elektrisch auflädt.
<b>Strahlung, radioaktive:</b>	Strahlung ist eine Energieform, die sich als elektromagnetische Welle – oder als Teilchenstrahlung – durch Raum und Materie bewegt.
<b>Strecke:</b>	Tunnelartiger Grubenbau, der nahezu horizontal aufgefahren ist.
<b>Strömungsbarriere:</b>	Verschlussbauwerk, das während der Nachbetriebsphase die Einlagerungsbereiche vom restlichen Grubengebäude abtrennt und die Lösungsströme im Grubengebäude lenkt.
<b>Subrosion:</b>	Unter der Erdoberfläche stattfindende Auflösung von löslichem Gestein durch Grundwässer.
<b>Sumpf:</b>	Vertiefung unterhalb des Streckenniveaus in der sich Flüssigkeit sammelt.
<b>Teufe:</b>	Tiefenlage unter der Tagesoberfläche.

<b>Tiefenaufschluss:</b>	Grubenbereich unterhalb der 800-m-Sohle in der SchachanlageASSE II.
<b>Tritium:</b>	Radioaktives Isotop des Wasserstoffs mit zwei Neutronen und einem Proton im Kern.
<b>Überwachungsbereiche:</b>	Bereiche, in denen Personen eine höhere effektive Dosis als 1 mSv oder höhere Organdosen als 15 mSv für die Augenlinse oder 50 mSv für die Haut, die Hände, die Unterarme, die Füße und Knöchel im Kalenderjahr erhalten können.
<b>Umlösung:</b>	Vorgänge in ungesättigten und/oder nicht an allen Komponenten gesättigten Lösungen (Wechsel von Lösung und Auskristallisation einzelner Komponenten) bei Reaktion dieser Lösungen mit löslichen Mineralien oder Gesteinen. Entfernen von losem Gestein von Decke (Firste) und Stößen (seitliche Begrenzung eines Grubenbaus), um die Gefährdung durch Steinfall zu vermeiden.
<b>Verfüllen:</b>	Einbringen von Material in Grubenbaue zur Minimierung des Hohlraumvolumens.
<b>Versatz:</b>	Material, mit dem die Hohlräume eines Bergwerks zur Stabilisierung verfüllt werden.
<b>Verschließen:</b>	Abtrennung von Grubenbauen gegen das übrige Grubengebäude mit speziellen Bauwerken.
<b>Vorsorgemaßnahmen:</b>	Die Genehmigungsvoraussetzungen für die Lagerung von radioaktiven Abfällen in einem Endlager beinhalten, dass nach „Stand von Wissenschaft und Technik erforderliche Vorsorge gegen Schäden durch die Errichtung und den Betrieb der Anlage getroffen ist“. Alle zur Gewährleistung dieser Forderungen vorsorglich getroffenen Maßnahmen werden als Vorsorgemaßnahmen bezeichnet.
<b>Zutrittslösung:</b>	Salzlösungen, die im Grubengebäude zutreten.

## Liste der bisher erschienenen BfS-Berichte

### **BfS-1/90**

Ansprachen und Grußworte zur Eröffnung des Bundesamtes für Strahlenschutz am 1. November 1989  
Salzgitter, Februar 1990

### **BfS-2/91**

Ansprachen zur Amtseinführung des Vizepräsidenten, des Leiters des Fachbereichs Strahlenhygiene und des Leiters des Fachbereichs Kerntechnische Sicherheit  
Salzgitter, August 1991

### **BfS-3/91**

Das Bundesamt für Strahlenschutz  
Salzgitter, September 1991

### **BfS-3/91-REV-1**

Das Bundesamt für Strahlenschutz  
Salzgitter, Januar 1994

### **BfS-4/91**

Wissenschaftliche Publikationen, Vorträge und Vorlesungen 1990  
Salzgitter, Oktober 1991

### **BfS-5/92**

Wissenschaftliche Publikationen, Vorträge und Vorlesungen 1991  
Salzgitter, September 1992

### **BfS-6/92**

Wissenschaftliche Publikationen, Vorträge und Vorlesungen 1992  
Salzgitter, September 1993

### **BfS-7/94**

Wissenschaftliche Publikationen, Vorträge und Vorlesungen 1993  
Salzgitter, August 1994

### **BfS-8/95**

Wissenschaftliche Publikationen, Vorträge und Vorlesungen 1994  
Salzgitter, Mai 1995

### **BfS-9/95**

Grundsteinlegung für das neue Dienstgebäude des  
Bundesamtes für Strahlenschutz am 22. Mai 1995 in Salzgitter-Lebenstedt  
Salzgitter, Juni 1995

### **BfS-10/96**

Radiologische Folgen des Tschernobyl-Unfalls 1986  
- Vorlagen-Sammlung für Transparentfolien -  
Salzgitter, August 1996

### **BfS-11/96**

*Kaul, A.*  
Radiation Protection – Nuclear Safety – Radioactive Waste Disposal  
Salzgitter, Oktober 1996

## Liste der bisher erschienenen BfS-Berichte

### **BfS-12/96**

*Kaul, A.*

Stand und Perspektive des Strahlenschutzes in Deutschland  
Salzgitter, Oktober 1996

### **BfS-13/97**

25 Jahre Einlagerung radioaktiver Abfälle im Endlager Morsleben  
Vortragsveranstaltung vom 11. Dezember 1996 in Morsleben  
Salzgitter, Januar 1997

### **BfS-14/97**

Einweihung des neuen Dienstgebäudes des Bundesamtes für Strahlenschutz am 27. Oktober 1997 in  
Salzgitter-Lebenstedt  
Salzgitter, Dezember 1997

### **BfS-15/01**

Grundlagen neuer Regelungen in der Strahlenschutzverordnung  
Informationsveranstaltung vom 10. Juli 2001 in Neuherberg und 17. Juli 2001 in Berlin.  
Salzgitter, September 2001

### **BfS-16/02**

*Bittner, S.; Braun, H.; Dusemund, H.-W.; Gregor, J.; Raguse, R.; Voß, W.*  
Einsatz des Entscheidungshilfesystems RODOS in Deutschland  
Salzgitter, Mai 2002

### **BfS-17/05**

Konzeptionelle und Sicherheitstechnische Fragen der Endlagerung radioaktiver Abfälle  
Wirtsgesteine im Vergleich  
Synthesebericht des Bundesamtes für Strahlenschutz  
Salzgitter, November 2005

### **BfS-18/09**

urn:nbn:de:0221-2009082116

Endlager Asse II

Ausgangsbedingungen und Weichenstellungen seit Übernahme durch das Bundesamt für Strahlenschutz  
am 01.01.2009  
Salzgitter, August 2009

### **BfS-19/10**

urn:nbn:de:0221-201004141430

Optionenvergleich Asse

Fachliche Bewertung der Stilllegungsoptionen für die Schachanlage Asse II  
Salzgitter, Januar 2010



# | Verantwortung für Mensch und Umwelt |

**Kontakt:**

Bundesamt für Strahlenschutz

Postfach 10 01 49

38201 Salzgitter

Telefon: + 49 30 18333-0

Telefax: + 49 30 18333-1885

Internet: [www.bfs.de](http://www.bfs.de)

E-Mail: [ePost@bfs.de](mailto:ePost@bfs.de)

Gedruckt auf Recyclingpapier aus 100 % Altpapier.



Bundesamt für Strahlenschutz