

# **Stellungnahme zum Bericht des Helmholtz Zentrum München:**

## **„Entwicklung und Beschreibung des Konzepts zur Schließung der Schachtanlage Asse“**

### **Arbeitsgruppe Optionenvergleich**

**Bundesamt für Strahlenschutz (BfS)**

**(Kleemann, U., Ranft, M.)**

**Projektträger Forschungszentrum Karlsruhe - Wassertechnologie und Entsorgung (PTKA-WTE)**

**(Bühler, M. , Pitterich, H.)**

**Sachverständige der Begleitgruppe Asse II des Landkreises Wolfenbüttel**

**Bertram, R.**

**Kreusch, J.**

**Krupp, R.**

**STAND: 29.09.2008**

# INHALTSVERZEICHNIS

<b>INHALTSVERZEICHNIS</b> .....	<b>2</b>
<b>ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS</b> .....	<b>4</b>
<b>1 GRUNDLAGEN UND ALLGEMEINE ANMERKUNGEN</b> .....	<b>5</b>
1.1 AUFTRAG, GRUNDLAGEN UND VORGEHENSWEISE .....	5
1.1.1 Auftrag .....	5
1.1.2 Grundlagen .....	5
1.1.3 Vorgehensweise .....	6
1.2 ANFORDERUNGEN AN DIE HERLEITUNG VON STILLLEGUNGSOPTIONEN .....	7
<b>2 ANMERKUNGEN ZUR BESCHREIBUNG DER STANDORTBEDINGUNGEN UND ZUR ERFASSUNG DER AUSGANGSSITUATION (HMGU 2008A:KAP 2)</b> .....	<b>8</b>
2.1 SACHVERHALTSDARSTELLUNG IM HERLEITUNGSBERICHT .....	8
2.2 BEWERTUNG DURCH DIE AGO .....	9
2.3 AUSGANGSSITUATION AUS SICHT DER AGO .....	11
<b>3 ANMERKUNGEN DER AGO ZU DEN DARGESTELLTEN STILLLEGUNGSAALTERNATIVEN UND SCHLIEßUNGSKONZEPTEN (HMGU 2008A:KAP 3 UND 4)</b> .....	<b>13</b>
3.1 SACHVERHALTSDARSTELLUNG IM HERLEITUNGSBERICHT .....	13
3.2 BEWERTUNG DURCH DIE AGO .....	14
3.3 SCHLUSSFOLGERUNGEN DER AGO .....	15
<b>4 ANMERKUNGEN DER AGO ZUR DARSTELLUNG DES SICHERHEITSKONZEPTES (HMGU 2008A:KAP 5)</b> .....	<b>17</b>
4.1 SACHVERHALTSDARSTELLUNG IM HERLEITUNGSBERICHT .....	17
4.2 BEWERTUNG DURCH DIE AGO .....	17
4.3 SCHLUSSFOLGERUNGEN DER AGO .....	18
<b>5 ANMERKUNGEN DER AGO ZUR AUSWAHL GEEIGNETER SCHLIEßUNGSMAßNAHMEN (HMGU 2008A:KAP 6)</b> .....	<b>20</b>
5.1 ZUR STABILISIERUNG DES TRAGSYSTEMS .....	20
5.1.1 Sachverhaltsdarstellung im Herleitungsbericht .....	20
5.1.2 Bewertung durch die AGO .....	21
5.2 ZUR BEGRENZUNG DER SCHADSTOFFMOBILISIERUNG .....	22
5.2.1 Sachverhaltsdarstellung im Herleitungsbericht .....	22
5.2.2 Bewertung durch die AGO .....	23
5.3 ZUR BEGRENZUNG UND LENKUNG DER LÖSUNGSBEWEGUNG .....	23
5.3.1 Sachverhaltsdarstellung im Herleitungsbericht .....	23
5.3.2 Bewertung durch die AGO .....	24

5.4	ZUR BEGRENZUNG DES AUSTRITTS VON LÖSUNGEN UND SCHADSTOFFEN IN DAS DECKGEBIRGE.....	26
5.4.1	Sachverhaltsdarstellung im Herleitungsbericht .....	26
5.4.2	Bewertung durch die AGO .....	26
5.5	ZUR VERMEIDUNG VON FLUIDBEWEGUNGEN ÜBER TAGESSCHÄCHTE .....	27
5.5.1	Sachverhaltsdarstellung im Herleitungsbericht .....	27
5.5.2	Bewertung durch die AGO .....	27
5.6	ZUM EINLEITREGIME FÜR DAS SCHUTZFLUID .....	28
5.6.1	Sachverhaltsdarstellung im Herleitungsbericht .....	28
5.6.2	Bewertung durch die AGO .....	28
<b>6</b>	<b>ZUSAMMENFASSUNG .....</b>	<b>30</b>
	<b>LITERATURVERZEICHNIS .....</b>	<b>36</b>

Gesamtseitenzahl: 40

# ANHANGVERZEICHNIS

Anhang 1: Der AGO auf ihre Anforderung zur Verfügung gestellten Unterlagen des Betreibers HMGU .....37

## ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

<b>AGO</b>	Arbeitsgruppe Optionenvergleich
<b>AkEnd</b>	Arbeitskreis Endlagerung
<b>AtG</b>	Atomgesetz
<b>AtVfV</b>	Atomrechtliche Verfahrensvorschrift
<b>BfS</b>	Bundesamt für Strahlenschutz
<b>BMBF</b>	Bundesministerium für Bildung und Forschung
<b>BMI</b>	Bundesministerium des Innern
<b>BMU</b>	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
<b>ELK</b>	Einlagerungskammer
<b>FB Asse</b>	Forschungsbergwerk Asse
<b>FZK</b>	Forschungszentrum Karlsruhe GmbH
<b>GSF</b>	GSF – Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit GmbH (früher: Gesellschaft für Strahlenforschung mbH) heute: Helmholtz Zentrum München – Deutsches Forschungszentrum für Gesundheit und Umwelt (GmbH)
<b>HMGU</b>	Helmholtz Zentrum München – Deutsches Forschungszentrum für Gesundheit und Umwelt (GmbH)
<b>LAW</b>	schwach radioaktive Abfälle (low active waste)
<b>MAW</b>	mittelradioaktive Abfälle (medium active waste)
<b>NMU</b>	Niedersächsischen Ministerium für Umwelt und Klimaschutz
<b>PTKA-WTE</b>	Projekträger Forschungszentrum Karlsruhe - Bereich Wassertechnologie und Entsorgung
<b>StrISchV</b>	Strahlenschutzverordnung
<b>UVP</b>	Umweltverträglichkeitsprüfung
<b>UVPG</b>	Gesetz über die Umweltverträglichkeitsprüfung

# 1 GRUNDLAGEN UND ALLGEMEINE ANMERKUNGEN

## 1.1 AUFTRAG, GRUNDLAGEN UND VORGEHENSWEISE

### 1.1.1 Auftrag

In der Schachanlage Asse II wurden im Zeitraum zwischen 1967 und 1978 radioaktive Abfälle eingelagert. Nach heutigen Kriterien erfüllt die Altanlage Asse nicht die Anforderungen an ein Endlager für radioaktive Abfälle (BMI 1983a, AKEND 2002, BALTES et. al. 2007). Als Forschungsbergwerk wurde ein ehemaliges Kali- und Steinsalzbergwerk, das ungünstige geologische und bergbaulich-geomechanische Randbedingungen aufweist, genutzt. Aufgrund ungenügender Schutzschichtmächtigkeiten existiert ein Lösungszutritt aus dem Deckgebirge, der nach Betreiberangaben seit 1988 bekannt ist. Wegen fortschreitender Entfestigung von Tragelementen des Grubengebäudes sind Auswirkungen auf das Deckgebirge vorhanden und somit auch kurzfristig steigende Zutrittsraten nicht auszuschließen. Die Stilllegung der Schachanlage Asse II stellt unter diesen Randbedingungen eine besondere Herausforderung dar.

Nach vorlaufenden Gesprächen 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 Schachanlage Asse II verständigt. Die Festlegungen wurden in einer Presseerklärung der Ministerien vom 21.11.2007 veröffentlicht (BMU, BMBF & NMU 2007). Übergeordnetes Ziel ist es „...weitere Maßnahmen zur Verbesserung der Sicherheitssituation der Asse...“ zu prüfen und bei Bedarf durchzuführen. Dabei steht die Prüfung ergänzender bzw. alternativer Stilllegungsmaßnahmen im Mittelpunkt.

Zur Realisierung der o. g. Zielstellung wurde die „Arbeitsgruppe Optionenvergleich“ (AGO) gegründet, in der neben den Ministerien drei von der zwischenzeitlich konstituierten „Begleitgruppe Asse-II“ des Landkreises Wolfenbüttel ausgewählte Experten vertreten sind. Die Ministerien BMBF und BMU lassen sich in der Arbeitsgruppe durch Fachinstitutionen vertreten. Mit der Durchführung der im Folgenden beschriebenen Arbeiten hat das BMBF den Projektträger Forschungszentrum Karlsruhe - Wassertechnologie und Entsorgung (PTKA-WTE) und das BMU das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) beauftragt. Das Niedersächsische Umweltministerium ist in der AGO beobachtend vertreten.

### 1.1.2 Grundlagen

Die Zielstellung und Vorgehensweise der Arbeitsgruppe ist in einer Agenda festgelegt (AGO 2008a). Erster Prüfschwerpunkt ist ein Bericht des Betreibers, welcher die Herleitung des von ihm gewählten Stilllegungskonzeptes beschreibt und begründet (HMGU 2008a). Dieser Bericht wurde der AGO am 18.03.2008 übergeben.

Die Kriterien für die Tätigkeit der AGO und die Prüfmaßstäbe wurden vorab in einem ersten Schritt erarbeitet (AGO 2008b).

Die vorliegende Stellungnahme dokumentiert die Ergebnisse der Prüfung des als „Herleitungsbericht“ bezeichneten Berichtes „Entwicklung und Beschreibung des Konzeptes zur Schließung der Schachanlage Asse“ (HMGU 2008a) entsprechend der in AGO (2008a) formulierten Zielstellung und entsprechend der folgenden, in AGO (2008b) festgelegten Kriterien:

1. Vollständigkeit (sind alle Aspekte ausreichend betrachtet um die Maßnahme, den Vorschlag beurteilen zu können),
2. Nachvollziehbarkeit (sind alle für das Verständnis erforderlichen Argumente enthalten und erläutert),

3. Plausibilität (fachliche Fehlerfreiheit),
4. Technische Machbarkeit (es ist nachgewiesen, dass die Maßnahme technisch durchführbar ist),
5. Nachweisliche Wirksamkeit (es ist belastbar nachgewiesen, dass die Maßnahme nach Auffassung des Verfassers zu einer sicherheitlichen Verbesserung führen kann).

Die nachfolgende Bewertung des vorgelegten Stilllegungskonzeptes orientiert sich an der Gliederung des „Herleitungsberichtes“ (HMGU 2008a) und an vorstehenden Beurteilungskriterien. Die Beurteilung der von HMGU beschriebenen Schließungsmaßnahmen, insbesondere zu den Punkten 4. und 5. „technische Machbarkeit“ und „nachweisliche Wirksamkeit“, erfolgt auf Grundlage von Unterlagen, die der AGO Mitte Mai 2008 auf ihre Anforderung zur Verfügung gestellt wurden (Anhang 1) und in dem der AGO zur Verfügung stehenden Zeitrahmen.

### 1.1.3 Vorgehensweise

Es wurde zunächst geprüft, ob die mit den vorgelegten Unterlagen zur Stilllegung der Schachanlage Asse II dargestellten Handlungsoptionen vollständig sind und nachvollziehbar beschrieben wurden. Die Bewertung der Vollständigkeit kann dabei nur auf Grundlage des vorgelegten „Herleitungsberichtes“ erfolgen, welcher eine konzentrierte und überschaubare Zusammenfassung der der Genehmigungsbehörde zur Prüfung vorgelegten Verfahrensunterlagen darstellen soll.

In Ergänzung zur Vollständigkeitsprüfung wird der vorgelegte Herleitungsbericht zum Schließungskonzept der Schachanlage Asse II, soweit möglich, einer tiefer gehenden fachlich-inhaltlichen Prüfung unterzogen. Hierbei wird das vorgestellte Konzept auf Nachvollziehbarkeit der für das Verständnis erforderlichen Argumente und auf fachliche Plausibilität überprüft. Diese Prüfung erfolgt auch nach standort- und systemspezifischen Gesichtspunkten, ist jedoch durch die der AGO zur Verfügung stehenden Informationen und den Zeitrahmen eingeschränkt. Die vollständige fachliche Prüfung aller Antragsunterlagen ist Aufgabe der Genehmigungsbehörde und ihrer Gutachter. Hierzu liegen der AGO die erforderlichen Antragsunterlagen nicht vollständig vor bzw. wurden teilweise noch nicht erstellt. Auf dennoch beim Studium der vorliegenden Unterlagen erkannte formale sowie fachliche Fehler und auf Inkonsistenzen wird in vorliegender Stellungnahme im Einzelfall hingewiesen.

In HMGU (2008a) werden folgende inhaltliche Themenkomplexe behandelt:

- Erläuterung der Standortbedingungen und Ausgangssituation (Kap. 2),
- Darstellung möglicher Systementwicklungen und grundsätzlicher Handlungsoptionen (Kap. 3 und 4),
- Darstellung des gewählten Sicherheitskonzeptes (Kap. 5) und
- Auswahl geeigneter Schließungsmaßnahmen (Kap. 6).

Die Prüfung erfolgt entsprechend den o. g. Themenkomplexen aus HMGU (2008a). In Anlehnung an die Rahmenrichtlinie zur Gestaltung von Sachverständigengutachten in atomrechtlichen Verwaltungsverfahren (BMI 1983b) wird zunächst entsprechend den Kapiteln in HMGU (2008a) der dort formulierte Sachverhalt in seinen wesentlichen Punkten wiedergegeben. Die Sachverhalte werden nachfolgend an Hand der in Abschnitt 1.1.2 genannten fünf Kriterien einer Bewertung unterzogen. Sofern sinnvoll oder erforderlich werden von der AGO schließlich eigene Schlussfolgerungen zu dem im jeweiligen Kapitel behandelten Themenkomplex gezogen.

Die Prüfung von HMGU (2008a) berücksichtigt insbesondere, ob im Rahmen der Entwicklung des Schließungskonzeptes der Schachanlage Asse II alternative Optionen untersucht und bewertet sowie die unter Sicherheitsaspekten und unter Plausibilitäts Gesichtspunkten beste Lösung gewählt wurde.

Erkannte Lücken werden aufgezeigt. Die Darstellung von alternativen Maßnahmen oder Konzepten ist jedoch nicht Gegenstand dieser Stellungnahme, sondern ggf. des Abschlussberichtes der AGO.

## 1.2 ANFORDERUNGEN AN DIE HERLEITUNG VON STILLLEGUNGSOPTIONEN

Eine Festlegung zur Herleitung und Darstellung von Stilllegungsoptionen existiert nicht. Ausgehend von dem Umstand, dass es sich bei der Stilllegung der Schachanlage Asse II um ein UVP-pflichtiges Vorhaben handelt, ist bei Anwendung der Anforderungen des AtG entsprechend § 3 AtVfV „...eine Übersicht der wichtigsten vom Antragsteller geprüften technischen Verfahrensalternativen, einschließlich der Angabe der wesentlichen Auswahlgründe, soweit diese für die Beurteilung der Zulässigkeit des Vorhabens nach .... bedeutsam sein können...“, vorzulegen.

Für den Verschluss und die abschließende Verwahrung von Endlagerbergwerken gelten besonders strenge Anforderungen. Neben der Einhaltung der Schutzziele des Wasserhaushaltsgesetzes und des Bundesberggesetzes ist der Nachweis der Langzeitsicherheit auch bzw. insbesondere unter radiologischen Gesichtspunkten zu führen. Da für die Stilllegung der Schachanlage Asse II vergleichbare Maßstäbe wie in einem atomrechtlichen Planfeststellungsverfahren angewandt werden sollen, hat sich das gewählte Stilllegungskonzept an den o. a. Schutzziele zu orientieren und die Anforderungen des § 9b Abs. 4 AtG zu erfüllen. Damit gilt auch hier der im Strahlenschutz allgemeingültige Grundsatz der Optimierung (§ 6 StrlSchV).

Aufgrund der gegebenen Randbedingungen stellt die Asse ein sehr komplexes System für die Auswahl und Planung der Stilllegungsmaßnahmen dar. Die Darstellung von geprüften technischen Vorhabensalternativen im Sinne des UVPG sollte daher aus Sicht der AGO für die Asse den folgenden Anforderungen genügen:

- Eine systematische und nachvollziehbare Darstellung aller die Stilllegung wesentlich bestimmenden Sachverhalte ist zu gewährleisten. Die Nachvollziehbarkeit kann durch Verweise auf entsprechende verfügbare Fachberichte sichergestellt werden.
- Das Sicherheits- und Nachweiskonzept für die Stilllegung der Schachanlage Asse II ist darzustellen und zu begründen. Dabei sollten die Ziele (Schutzziele) des Konzeptes und daraus resultierenden Anforderungen an die Stilllegungsmaßnahmen definiert werden.
- Alle in Frage kommenden grundlegenden Stilllegungsoptionen sind vollständig und systematisch darzustellen.
- Die Auswahl der favorisierten Stilllegungsoption ist an Hand der Auswahlkriterien nachvollziehbar zu begründen.
- Alle für die gewählte Stilllegungsoption in Frage kommenden Stilllegungsmaßnahmen (Einzelelemente des Stilllegungskonzeptes) sind zu beschreiben.
- Die ausgewählten Stilllegungsmaßnahmen sind nachvollziehbar zu begründen.
- Es ist zu belegen, dass die gewählten Maßnahmen die Anforderungen des Sicherheits- und Nachweiskonzeptes erfüllen.
- Die Unsicherheiten und Risiken des gewählten Konzeptes sind zu beschreiben und zu bewerten.

## **2 ANMERKUNGEN ZUR BESCHREIBUNG DER STANDORTBEDINGUNGEN UND ZUR ERFASSUNG DER AUSGANGSSITUATION (HMGU 2008A:KAP 2)**

### **2.1 SACHVERHALTSDARSTELLUNG IM HERLEITUNGSBERICHT**

Im Kapitel 2 „Standortbedingungen“ des Herleitungsberichtes erfolgt eine geologische, hydrogeologische und gebirgsmechanische Beschreibung der Ausgangssituation am Standort Asse. Es umfasst ebenfalls die Schilderung der bergbaulichen Aktivitäten sowie der Phase der Einlagerung von radioaktiven Abfällen und deren Auswirkungen. Weiterhin erfolgt eine Beschreibung der Lösungs- und Gaszutritte in das Grubengebäude in Vergangenheit und Gegenwart.

Die Beschreibung der geologischen Situation am Standort umfasst sowohl die Gesteine der Salzstruktur im Bereich der Schachanlage als auch das umgebende Deck- und Nebengebirge. Diese werden hinsichtlich ihrer geologischen und hydraulischen Eigenschaften und hinsichtlich ihrer gebirgsmechanischen Beanspruchung infolge des Bergbaus charakterisiert und die Barrierewirkung bewertet. Es wird festgestellt, dass die Barrierewirkung des Steinsalzes in der Südflanke als auch des angrenzenden Nebengebirges (Oberer Buntsandstein) durch bergbaubedingte gebirgsmechanische Beanspruchungen „eingeschränkt“ ist.

Bei der Darstellung der hydrogeologischen Situation wird zunächst die Trennung vom regionalen hydraulischen System durch tiefe Muldenstrukturen beschrieben. Es wird festgestellt, dass der Einfluss des regionalen hydrogeologischen Systems auf die lokalen Bedingungen der Asse aufgrund der Durchlässigkeitsabnahme der Grundwasserleiter in der Tiefe und der Dichtezunahme infolge der Versalzung des Tiefengrundwassers gering sei. Als lokal bedeutende grundwasserleitende Horizonte werden das verstückelte Deckgebirge, der Muschelkalk und im Bereich des Salzspiegels der verkarstete Rötanhydrit identifiziert. Es wird auf die Erhöhung der Durchlässigkeiten der Grundwassergeringleiter durch Störungen und gebirgsmechanische Beanspruchung hingewiesen. Auf die in diesem Zusammenhang stehende Entstehung von Wasserwegsamkeiten zwischen der Salzflanke und dem Muschelkalk wird eingegangen. Die Bedeutung des Rötanhydrits und die Möglichkeit, dass Salzlösungen an der Südflanke aus dem Bereich des Salzspiegels bis zum Scherdeformationsbereich an der Zutritsstelle vordringen können, werden angesprochen. Als maßgeblich wird festgestellt, dass Grundwasser im Scheitel der Salzstruktur bis zum Salzspiegel und in der Südflanke bis zur Flanke der Salzstruktur vordringen könne, dass das Grundwasser im Tiefenbereich der Schachanlage NaCl-reich sei und dass sich in den tektonisch und gebirgsmechanisch überprägten Bereichen die Gebirgsdurchlässigkeit erhöht habe.

Die Historie der Schachanlage und die Einlagerung und Art der radioaktiven Abfälle werden beschrieben. Die Einlagerungsorte werden aufgeführt und zur Einlagerungstechnik Ausführungen gemacht. Sohlenrisse in Höhe der Einlagerungskammern sollen deren Anordnung im Kontext des Grubengebäudes verdeutlichen. Es wird festgestellt, dass das Bergwerk für Salzgewinnung und nicht gezielt für Endlagerung aufgefahren wurde. Es wird beschrieben, dass neben Steinsalz im Grubengebäude Carnallit großflächig aufgeschlossen sei und dass die Einlagerungskammern (ELK) mit benachbarten Grubenbauen durch eine Vielzahl von Wegsamkeiten verbunden seien. Des Weiteren lägen noch unverfüllte Hohlräume in einigen Einlagerungskammern, in ihrem Nahbereich und in wenigen Grubenbauen der großen Baufelder vor.

Ausgehend von den o. g. geologischen und hydrogeologischen Gegebenheiten sowie von den bergbaulichen Aktivitäten wird die gebirgsmechanische Situation beschrieben. Hierzu wird festgestellt, dass sich das Tragsystem in einem Grenzzustand befinde, in dem mit fortschreitender Entfestigung der Tragelemente eine Überzugswirkung auf die Randbereiche der Grube und das Deckgebirge gegeben sei. Die meisten Pfeiler befänden sich im Nachbruchbereich und erhielten ihre Resttragfähigkeit zunehmend aus horizontaler Stützwirkung des eingebrachten Versatzes und der Schwebenringe. Infolge der Überlastung der Tragelemente und damit verbundenen großen horizontalen Verformungen in der Südflanke sei das Leine Steinsalz im oberen Bereich der Südflanke und das südlich angrenzende Deckgebirge durch Scherdeformationen stark



beansprucht. Das gesamte Baufeld in der Südflanke sei von einer erhöht durchlässigen Auflockerungszone flankiert.

Die Entwicklung der Lösungszutritte wird dargestellt. Seit 1988 bestünde ein Lösungszutritt aus dem Nebengebirge in die Grubenbaue. Der gegenwärtige Salzlösungszutritt von ca. 12 m<sup>3</sup> pro Tag im oberen Bereich der Südflanke resultiere aus den gebirgsmechanischen Beanspruchungen. Das anstehende Steinsalz habe seine Barrierefunktion verloren und ermögliche durch den Scherdeformationsbereich Grundwasser den Zutritt ins Grubengebäude. Es wird der Zufluss von Grundwasser aus dem Unteren Muschelkalk über den Scherdeformationsbereich und Störungszonen durch den Oberen Buntsandstein angenommen. Als weiterer möglicher Zuflusspfad wird die Wegsamkeit aus dem verstückelten Deckgebirge über den Oberen Buntsandstein (Rötanhydrit) genannt. Der Zutritt der Salzlösungen zum Grubengebäude erfolge über die Zone der desintegrierten Steinsalzbarriere zwischen 500 m und 574 m Teufe. Die Menge und Zusammensetzung der zutretenden Lösung sei derzeit weitgehend konstant. Die Zutrittslösung sei jedoch an MgCl<sub>2</sub> und MgSO<sub>4</sub> untersättigt und könne somit Minerale des Kalisalzes lösen und dieses zersetzen. Die Lösung werde auf der 658-m-Sohle, 725-m-Sohle und 750-m-Sohle aufgefangen.

Aus den aufgeführten Standortbedingungen werden in HMGU (2008a) hinsichtlich des Sicherheits- und Schließungskonzeptes Schlussfolgerungen gezogen:

- Eine gesicherte Prognose für die Zuflussmenge und den Zuflussschemismus sei nicht möglich.
- Eine dauerhafte Abdichtung der Zuflüsse sei nicht möglich, da durch andauernde Gebirgsverformungen neue Wegsamkeiten entstünden.
- Eine vollständige Einkapselung des in der Grube aufgeschlossenen Carnallitits, der Abfallgebände oder der Einlagerungskammern sei aufgrund der bergbaulichen und geomechanischen Gegebenheiten nicht möglich.

Aus den gegebenen Randbedingungen wird der Schluss gezogen, dass ein Zutritt von ungesättigten Lösungen unbekannter Zusammensetzung in der Nachbetriebsphase weder zum Carnallitit noch zu den Abfällen ausgeschlossen werden könne. Damit sei ein vollständiger trockener Einschluss der Abfälle ausgeschlossen.

Da bei einer „trockenen Verwahrung“ (Anm. AGO: HMGU meint damit das natürliche Volllaufen der Grube, ohne Schutzfluideinleitung und ohne weitere Ertüchtigungsmaßnahmen) eine gesicherte Prognose des Systemverhaltens für die Nachbetriebsphase nicht möglich sei, werden folgende Punkte als grundlegende Anforderungen an das Schließungskonzept der Schachtanlage Asse II abgeleitet:

1. eine hinreichende Stützung des Tragsystems und
2. der Schutz des Carnallitits vor Lösungen aus dem Deckgebirge.

Hieraus ergeben sich die vorgeschlagenen technischen Maßnahmen, die in den weiteren Kapiteln von HMGU (2008a) diskutiert werden.

## **2.2 BEWERTUNG DURCH DIE AGO**

Bei den Angaben zur Beschreibung der Ausgangssituation für die Stilllegung fehlt eine Beschreibung der eingelagerten radioaktiven Abfälle. Es liegt lediglich eine Angabe der Gesamtaktivität der schwach- und mittelradioaktiven Abfälle vor. Eine Auflistung des radionuklidspezifischen Aktivitätsinventars erfolgt nicht.

Die Angaben bezüglich der Einlagerungsorte und Einlagerungstechniken sind im Hinblick auf eine Beurteilung der Ausgangssituation weitgehend vollständig. Hinsichtlich der Kenndaten zu den Einlagerungskammern fehlt die Anzahl der jeweils in den Kammern eingelagerten Gebinde. Es fehlen Angaben oder Verweise

zum chemischen und physikalischen Zustand der eingelagerten Abfälle und ihrer Fixierungsmittel. Die Angaben in HMGU (2008a:Tab 6.2) sind zur Beurteilung der Zugänglichkeit und Handhabbarkeit der Abfälle nicht ausreichend.

Im Kapitel 2.2 (hydrogeologische Situation) fehlt die konkrete Beschreibung von Verlauf und Bedeutung der lokalen Hauptstörungen (z. B. Diagonal- und Querstörung Ammerbek, Diagonalstörung Groß Vahlberg) wie auch des tektonischen Kontakts zwischen Zechstein Salinar und dem Oberen Buntsandstein etc. Diese haben als Wegsamkeiten für die mögliche Ausbreitung von Radionukliden im Hinblick auf den Langzeitsicherheitsnachweis Bedeutung und sollten daher eingehender diskutiert werden.

Zur Beschreibung des sicherheitsrelevanten und szenarienbestimmenden Lösungszutrittes ist festzustellen, dass für die Schlussfolgerung, der „...**wahrscheinliche** Zuflusspfad im Deckgebirge kann aus dem Unteren Muschelkalk über den Scherdeformationsbereich und Störungszonen durch den Oberen Buntsandstein .... verlaufen...“ (HMGU 2008a), Belege im Bericht oder in zitierten Quellen fehlen. Diese Feststellung ist jedoch wesentlich für die zu betrachtenden Ausbreitungspfade im Langzeitsicherheitsnachweis.

Unzureichend ist die Nachvollziehbarkeit der Aussagen in HMGU (2008a). Es werden bis auf wenige Ausnahmen (vier Asse-spezifische Berichte) keine Literaturquellen genannt und keine näheren Informationen zur Datengrundlage geliefert. Somit fehlen für das Verständnis und die Beurteilung der Qualität notwendige Hintergrundinformationen und der notwendige Bezug zu den Primärdaten. Insbesondere, wenn halbquantitative Angaben wie „...fast vollständig...“, „...fast ausschließlich...“ oder „...weitgehend...“ verwendet werden, sind Querverweise zu den quantitativen Primärdaten erforderlich.

Im Kapitel zu den geologischen Verhältnissen wird aufgrund fehlender detaillierter zeichnerischer Darstellungen die Nachvollziehbarkeit erschwert. In der abgebildeten Schnittdarstellung wird beispielsweise weder der im Text beschriebene mögliche Kontakt der Anhydritmittel mit dem Oberen Buntsandstein noch das Ausstreichen der Anhydritmittel am Salzspiegel westlich der Schachanlage sichtbar.

Insbesondere ist die Nachvollziehbarkeit der ohnehin spärlichen Angaben zum Abfallinventar ohne Verweis auf entsprechende Quellen unzureichend.

Die geologische Beschreibung der Einlagerungsorte der Abfälle in HMGU (2008a:Kap. 2.3.2) ist zu allgemein gehalten und so nicht nachvollziehbar. Insbesondere die Formulierung, dass die Einlagerungskammern „...fast ausschließlich...“ im Steinsalz liegen wirft Fragen auf. Die Lage der LAW-Einlagerungskammern (zwei im älteren Steinsalz im Sattelzentrum und 10 im Leinsteinsalzbaufeld an der Südflanke) lässt vermuten, dass hier Teile des Kaliflöz Staßfurt in den Einlagerungskammern oder ihrer Nähe aufgeschlossen sein können. Die AGO hält diese Frage für die Beurteilung der möglichen bergbaulichen Maßnahmen zur Abdichtung für wesentlich. Für das gewählte Stilllegungskonzept ist die möglichst genaue Kenntnis der Carnallitzusammensetzung nötig. Angaben oder Querverweise dazu fehlen in HMGU (2008a).

Eine Beurteilung der Richtigkeit der getroffenen Schlussfolgerungen ist ohne Querverweise auf erläuternde Primärunterlagen kaum möglich. Als Beispiel sei die Feststellung des Ausschlusses eines direkten Kontaktes von Grubenhöhlräumen (außer Tagesschächte) mit den in HMGU (2008a) als potentielle Wegsamkeit angesehenen Anhydritmitteln des Anhydritmittelsalzes (z3AM) genannt. Ohne zumindest den Verweis auf eine mit entsprechendem Detaillierungsgrad durchgeführte geologische Kartierung oder das Risswerk ist diese möglicherweise szenarienbestimmende Feststellung nicht nachvollziehbar.

Ein weiteres Beispiel sind Widersprüche in der Darstellung der für die Auswahl und Parametrisierung der Transportpfade relevanten geologischen Baueinheiten. Während der Rötanhydrit in HMGU (2008a:S8) aufgrund von Verkarstung, bergbaulicher und tektonischer Beanspruchung als „...hydraulisch durchlässig...“ eingestuft wird, gilt er in Kapitel 2.2 (HMGU 2008a:S10) nur im verkarsteten „...Bereich des Salzspiegels...“ als potentiell grundwasserleitend. Insbesondere im Hinblick auf die Einschätzung der Relevanz (bzw. Wahrscheinlichkeit) möglicher Transportpfade sind konsistente Angaben mit Verweis auf Primärdaten erforderlich.

Eine Erwähnung und Bewertung des tektonisch beanspruchten Schichtpakets Roter Salzton/Pegmatitanhydrit (T4/A4) als Wegsamkeit zum grundwasserführenden Hutbereich fehlt.

Die Plausibilität der in der Beschreibung der Standortbedingungen gemachten insgesamt knappen Angaben zu den geologischen und hydrogeologischen Verhältnissen (Kap. 2.1 u. 2.2) wie auch zur bergbaulichen (Kap. 2.3) und geotechnischen Situation (Kap. 2.4) ist ohne entsprechende Querverweise nicht im Detail zu beurteilen.

Eine weitergehende Einschätzung der Qualität der Datenbasis und des Tiefgangs der durchgeführten Untersuchungen und der Standortbeschreibung ist in BfS (2007a) enthalten.

Als grundsätzlich plausibel werden die Angaben zu folgenden Sachverhalten eingeschätzt:

- Grundsätzlicher geologischer Bau des Untersuchungsgebietes (Lagerungsverhältnisse, Strukturbau, tektonische Situation), unter Berücksichtigung der Kenntnislücken bezüglich des tieferen Untergrundes, des strukturellen Baus des Nebengebirges und den Modalitäten der Genese der Salzstruktur,
- Bergbauliche Verhältnisse im Grubengebäude,
- Geomechanische Situation der Tragelemente des Bergwerks,
- Existenz eines Lösungszutritts und seiner Herkunft aus dem Deck-/Nebengebirge,
- Existenz von großflächig aufgeschlossenen Carnallitvorkommen.

Beim derzeitigen Kenntnisstand ergeben sich aus Sicht der AGO insbesondere zu folgenden Punkten Unklarheiten oder Unplausibilitäten:

- Hydrogeologische Verhältnisse und Datenbasis im Deckgebirge,
- Bewertung der Lagerungsverhältnisse und Bedeutung der Anhydritmittel sowie des tektonisch beanspruchten Schichtpakets Roter Salzton/Pegmatitanhydrit in der Salzstruktur,
- Geomechanische Gegebenheiten und Parameter im Deckgebirge,
- Zuflusspfad der zutretenden Deckgebirgslösungen und dessen hydraulische Wirksamkeit,
- Beginn und Ort des Lösungszutritts sowie zeitliche Entwicklung des Chemismus und der gefassten Mengen,
- Quantitative mineralogische und chemische Zusammensetzung des Carnallits,
- Zeitpunkt möglicher progressiver Änderungen der geomechanischen Verhältnisse,
- Chemische und physikalische Wechselwirkungen im System Abfälle, Kalisalze, Schutzfluid, Versatzmaterialien.

## **2.3 AUSGANGSSITUATION AUS SICHT DER AGO**

Die sich aus den gegebenen Standortbedingungen ergebenden Randbedingungen für die Planung von Stilllegungskonzepten und -maßnahmen stellen sich für die AGO auf der Basis der vorliegenden Unterlagen wie folgt dar:

Das Bergwerk weist einen hohen Durchbauungsgrad und ein hinsichtlich dauerhafter Isolation der Abfälle sehr ungünstiges Design auf.

Große Teile der Grubenbaue sind bereits verfüllt. Das Verfüllmaterial weist zum Teil erhebliche Anteile an Porenraum auf (pneumantisch eingebrachter Salzgrus).

Das Leinsteinsalz in der Nordflanke bildet eine derzeit offensichtlich wirksame geologische Barriere (über die Barriereigenschaften der Hangendschutzschicht zwischen oberster Sohle und Salzspiegel kann aufgrund der fehlenden Referenzen zu Lagerstättenkartierung oder eines belastbaren geologischen Lagerstättenmodells sowie wegen des unklaren Verlaufs der Anhydritmittel des Anhydritmittelsalzes derzeit keine Aussage getroffen werden).

Neben Steinsalz ist Carnallit großflächig aufgeschlossen, und im Strukturscheitel sind große Carnallitmengen für potentielle Lösungsprozesse verfügbar.

Es sind Carnallitaufschlüsse auch in einzelnen Einlagerungskammern zu vermuten.

Sowohl im Bereich des Salzstrukturscheitels (Salzspiegel) als auch an den Flanken der Salzstruktur sind mobile Grundwässer mit möglichem Anschluss an leistungsfähige Aquifere verfügbar.

Im Bereich der Südflanke besteht aufgrund der geringmächtigen Salzbarriere und der geomechanisch bedingten Schädigungsprozesse ein Integritätsverlust.

Der Integritätsverlust hat zu einem Zutritt von Grundwässern aus dem Nebengebirge geführt.

Der Zutrittsbereich ist wegen des Salzgrusversatzes an der Südflanke nicht mehr direkt erreichbar.

Die Einlagerungskammern des LAW sind mit benachbarten Grubenhohlräumen über eine Vielzahl von Wegsamkeiten (Grubenbaue, Auflockerungszonen, Bohrungen) hydraulisch verbunden.

Das Tragsystem des Baufeldes in der Südflanke befindet sich im Grenzzustand der dilatanten Entfestigung mit Auswirkungen auf das angrenzende Deckgebirge.

Die Schädigungsprozesse in der desintegrierten Steinsalzbarriere und die Auswirkungen der Verformungen auf das Deckgebirge dauern aufgrund der gewählten nachgiebigen Hohlraumverfüllung mit pneumantisch eingebrachtem Salzgrus in der Südflanke weiter an.

Der verbleibende Zeitraum für die Durchführung von Stilllegungsmaßnahmen ist beim derzeitigen Zustand des Tragsystems begrenzt, da ohne zusätzliche stabilisierende Maßnahmen beschleunigte Verformungen und in deren Folge auch stark zunehmende Lösungszuflüsse nicht ausgeschlossen werden können.

Für den Fall beschleunigter Verformungen und in ihrer Folge stark zunehmender Lösungszuflüsse bestehen nur eingeschränkte Möglichkeiten der Gefahrenabwehr.

Das Baufeld der Südflanke ist von einer durchgehenden Auflockerungszone im Salzgestein und im Nebengebirge flankiert, die erhöhte Durchlässigkeiten aufweist.

Die zutretenden Lösungen sind über Grubenbaue und die Auflockerungszone z. T. bereits bis zur 750-m-Sohle vorgedrungen.

Transportpfade im Deckgebirge, mögliche Zutrittsmengen und der Lösungsschemismus der zutretenden Lösungen und damit der sich einstellende Zustand im Grubengebäude sind derzeit nicht sicher zu prognostizieren.

### **3 ANMERKUNGEN DER AGO ZU DEN DARGESTELLTEN STILLEGUNGSAalternativen UND SCHLIEßUNGS- KONZEPTEN (HMGU 2008A:KAP 3 UND 4)**

#### **3.1 SACHVERHALTSDARSTELLUNG IM HERLEITUNGSBERICHT**

In Kapitel 3 und Kapitel 4 von HMGU (2008a) erfolgt die Gegenüberstellung der aus Sicht des Betreibers möglichen Schließungskonzepte unter Berücksichtigung der standortspezifischen Ausgangssituation. Als mögliche Optionen werden in HMGU (2008a)

1. der Verschluss des Bergwerkes ohne Einleitung eines Schutzfluids (vom HMGU als „trockene Verwahrung“ bezeichnet),
2. der Verschluss des Bergwerkes mit Einleitung eines Schutzfluids und
3. die Rückholung der radioaktiven Abfälle

genannt.

Die Beurteilung der Entwicklung des Systems ohne Schutzfluideinleitung erfolgt unter der Annahme, dass nur ein Verschluss der Tagesschächte und der Versatz offener Grubenbaue als technische Schließungsmaßnahmen durchgeführt werden. Da der natürliche Lösungszufluss auf diese Weise nicht gestoppt werden könne, wird ein natürliches Volllaufen des Grubengebäudes in der Nachbetriebsphase unterstellt, welches eine Umlösung und Zersetzung von Salzgestein zur Folge habe. Unter diesen Voraussetzungen würde eine gesicherte Prognose der zukünftigen Entwicklung des Systems als nicht möglich erachtet. Die in Kapitel 2 von HMGU (2008a) formulierten grundlegenden Anforderungen an das Sicherheits- und Schließungskonzept (Stützung des Tragsystems, Schutz des Carnallitits vor Zersetzung) würden bei einem Verschluss des Bergwerkes und natürlicher Flutung ohne Einleitung eines Schutzfluids nicht mit Sicherheit erfüllt.

Da die Möglichkeit einer „trockenen Verwahrung“ ausgeschlossen sei, bestünden laut HMGU alternativ nur die Optionen einer „nassen“ Verwahrung mit Einleitung eines sogenannten Schutzfluids und einer Rückholung der radioaktiven Abfälle. Es wird die Einleitung einer an  $MgCl_2$  und  $MgSO_4$  gesättigten Salzlösung (Schutzfluid) empfohlen, welche mit den anstehenden Salzgesteinen und den Versatzmaterialien als weitgehend im Gleichgewicht angesehen wird und die keine nennenswerten Umlösungsprozesse zur Folge haben soll. Das einzubringende Schutzfluid würde laut HMGU sowohl eine stabilisierende Wirkung infolge des hydrostatischen Drucks als auch den Schutz des Carnallitits vor Zersetzungen bewirken.

Bei der Betrachtung einer möglichen Rückholung der radioaktiven Abfälle wird von HMGU auf eine externe gutachterliche Stellungnahme von Fichtner Consulting & IT (FCIT 2006) verwiesen. Die Gesamtdauer für die Rückholung aller Abfälle wird in FCIT (2006:S67) mit 20 bis 25 Jahren angegeben, in HMGU (2008a) jedoch mit 30 bis 40 Jahren abgeschätzt. Aufgrund des zu erwartenden zeitlichen und technischen Aufwandes, der bergmännischen, arbeits- und strahlenschutztechnischen Risiken, der gegebenen begrenzten Resttragfähigkeit des Systems sowie möglicher unkontrollierbar ansteigender Lösungszutritte in das Grubengebäude komme eine Rückholung der Abfälle nicht in Betracht. Eine ausschließliche Rückholung der MAW-Abfälle wird seitens HMGU ebenfalls nicht in Betracht gezogen, da der mögliche langfristige Sicherheitsgewinn vernachlässigbar gering sei und die radiologischen und bergmännisch-technischen Risiken einer Rückholung diese nicht rechtfertigten. Durch eine Rückholung der MAW-Abfälle würde der sichere Abschluss dieser Abfälle verhindert werden und eine erhöhte Gefährdung durch potentielle Strahlenexposition während der Rückholung entstehen (HMGU 2008a:S27).

## 3.2 BEWERTUNG DURCH DIE AGO

Die Darstellungen der Stilllegungsalternativen und der betrachteten Schließungskonzepte werden als unvollständig erachtet. Die Auswahl der durch das HMGU dargestellten Handlungsoptionen ist frühzeitig eingeschränkt und beinhaltet nicht alle denkbaren Stilllegungsoptionen. Es werden alternativ zum Schutzfluidkonzept lediglich die aus Sicht des HMGU unter den gegebenen Randbedingungen möglichen Optionen „natürliches Volllaufen“ (ohne weitere Maßnahmen) und „Rückholung“ aufgezählt und bewertet.

Die Festlegung auf das Schutzfluidkonzept erfolgt auch in den Kapiteln 3 und 4 von HMGU (2008a) aus Sicht der AGO verfrüht. Im Sinne der konsequenten Prüfung und Herleitung sollten zunächst alle denkbaren Schließungsoptionen zur Schachanlage Asse II zumindest genannt und unter Berücksichtigung der vorliegenden standortspezifischen Rahmenbedingungen bewertet werden.

Die Begründung für die Wahl der präferierten Stilllegungsoption „Schutzfluidkonzept“ ist nur begrenzt nachvollziehbar. Zwar erscheint in Anbetracht der gegebenen standort- und systemspezifischen Randbedingungen diese Option als eine Möglichkeit, das System in eine prognostizierbare Situation zu überführen. Diese Option hat jedoch den Nachteil, dass bewusst in Kauf genommen wird, dass ein Reaktions- und Transportmedium für Radionuklide zu einem frühen Zeitpunkt in Kontakt zu den radioaktiven Abfällen kommt.

Es wird plausibel ausgeführt, dass es mit technischen Mitteln nicht möglich ist, die vorhandenen Eintrittsstellen von Salzlösungen in situ abzudichten. Die Konsequenzen, die bei einem Szenario beim Volllaufen des Grubengebäudes mit der zutretenden Salzlösung unter Berücksichtigung der standortspezifischen Randbedingungen und ohne Durchführung zusätzlicher Maßnahmen geprüft und bewertet werden müssen, werden nachvollziehbar beschrieben. Die negativen Auswirkungen auf das Tragsystem und die Schadstoffausbreitung werden plausibel analysiert.

Die Aussage, dass *„...durch das natürliche Volllaufen und die resultierende Umlösung und Zersetzung von Salzgestein sich das Grubengebäude in einer Weise entwickeln würde, die keine gesicherte Prognose ermöglicht...“* (HMGU 2008a), wird jedoch nicht quantifiziert oder belastbar belegt. Mögliche positive Effekte zusätzlicher technischer Maßnahmen, wie Versatzertüchtigung oder der Bau von Abdichtungsbauwerken, werden nicht berücksichtigt. Eine abschließende vergleichende Bewertung der Szenarien „System ohne Schutzfluideinleitung“ und „System mit Schutzfluideinleitung“ ist deshalb auf Grundlage der vorgelegten Berichte und Untersuchungsergebnisse nicht möglich.

Der Schlussfolgerung, dass für das Volllaufen des Grubengebäudes mit Deckgebirgslösung die Prognose-sicherheit für die Nachbetriebsphase eingeschränkt ist und somit keine belastbare Prognose der gebirgsmechanischen und geochemischen Entwicklung sowie der Schadstoffausbreitung möglich ist, mit denen gemäß Sicherheitskonzept ein Langzeitsicherheitsnachweis für den Standort geführt werden könnte, ist nach dem derzeitigen Kenntnisstand trotzdem zu folgen.

Die Darstellung einer möglichen Rückholung der Abfälle ist in HMGU (2008a) bei Verweis auf FCIT (2006) stark komprimiert. Es wird nachvollziehbar und mit Quellenangabe dargestellt, dass eine vollständige Rückholung der LAW-Abfälle vor dem Hintergrund des vom Betreiber zugrunde gelegten Zeithorizontes bis 2014 nicht durchführbar ist. Auf welcher Basis der in HMGU (2008a) genannte Zeitraum von 30 bis 40 Jahren ermittelt wurde kann nicht nachvollzogen werden, zumal in der zugrundeliegenden Studie von einem Zeitbedarf für die Rückholung von 20 bis 25 Jahren ausgegangen wird. Die technische Machbarkeit und nachweisliche Wirksamkeit im Sinne einer sicherheitlichen Verbesserung bei einer vollständigen Rückholung der radioaktiven Abfälle ist für das bestehende System und auf der Basis der Ergebnisse von FCIT (2006) in Anbetracht der gegebenen Risiken somit nicht nachweisbar. Aufgrund der großen Stückzahl von LAW-Gebinden würde deren Rückholung tatsächlich einen längeren Zeitraum beanspruchen und die Entfernung großer Versatzvolumina erfordern.

Unbefriedigend ist die Darstellung zur Rückholung der MAW-Abfälle. Ohne Begründung wird festgestellt, dass eine Rückholung der MAW-Abfälle die Sicherheit gefährden würde, da ein sicherer Einschluss in der MAW-Kammer möglich sei. Es wird nicht dargestellt, welche Gefährdung hier gemeint ist. Allerdings

erscheint es der AGO plausibel, hier die durch eine Rückholung verursachte Strahlenbelastung für Betriebspersonal und Bevölkerung und die ebenfalls damit einhergehenden Störfallrisiken anzunehmen. Die Gefährdung beim Verbleib wäre gegen die Gefährdung bei Rückholung abzuwägen.

Unter dem Aspekt der Minimierung des im Langzeitsicherheitsnachweis maßgeblich dosisbestimmenden Inventars an Alpha-Aktivität (laut PRÖHL 2006 tragen  $^{239/240}\text{Pu}$  und  $^{241}\text{Am}$  mindestens mit 80 % zur potentiellen Strahlenexposition in der Nachbetriebsphase bei) gibt es jedoch keine plausible Begründung, die Rückholung auf MAW zu beschränken. Ein Großteil der alphastrahlenden langlebigen Isotope wie z. B. Uran, Plutonium, Americium befinden sich in den LAW-Kammern, insbesondere in der Kammer 7/750 (30 % der Alpha-Aktivität) aber auch in den Kammern 1/750, 6/750 und 11/750 (11 %, 10 % und 14 % der Alpha-Aktivität). Insgesamt findet sich nur 8 % der Alpha-Aktivität in der MAW-Kammer 8a/511 (GESTMANN et al. 2002).

Die Bewertung der Option „Rückholung“ durch HMGU erfolgt anscheinend ausschließlich im Hinblick auf das Risiko eines progressiven Tragfähigkeitsverlustes ab 2014 und hinsichtlich der Langzeitsicherheit. Ein potentieller kurzzeitiger Sicherheitsgewinn im Störfall eines vorzeitigen Absaufens vor Realisierung der Stilllegungsmaßnahmen durch eine möglichst schnelle selektive Rückholung der MAW-Abfälle wird nicht diskutiert. Es wird weiter nicht dargestellt, wie ein sicherer Einschluss in der MAW-Kammer – besonders im Rahmen eines Störfallszenarios – belastbar gewährleistet werden kann.

Somit sind die Darstellungen zur Rückholbarkeit zwar plausibel, aber unvollständig und nur begrenzt nachvollziehbar.

### **3.3 SCHLUSSFOLGERUNGEN DER AGO**

In Kapitel 1.2 dieser Stellungnahme wurden Anforderungen an die Herleitung von Stilllegungsoptionen dargestellt. Diese Anforderungen sind mit dem vorgelegten Herleitungsbericht (HMGU 2008a) nicht erfüllt.

Die bei einem vollständigen Optionenvergleich zu berücksichtigenden Stilllegungsoptionen sollten sich auf die eingelagerten Abfälle beziehen, von denen die potentiellen Risiken ausgehen. Damit lassen sich für die Stilllegung der Schachanlage Asse II folgende Optionen unterscheiden:

- I Schließung mit Verbleib der radioaktiven Abfälle am derzeitigen Ort
- II Rückholung der radioaktiven Abfälle
- III Interne Umlagerung der radioaktiven Abfälle

Für die einzelnen Optionen ergeben sich dabei verschiedene Varianten:

- I Schließung mit Verbleib der Abfälle am derzeitigen Ort
  - Ia) Trockenverwahrung
  - Ib) Natürliches Volllaufen
  - Ic) Flutung
- II Rückholung
  - Ila) Rückholung der MAW
  - Ilb) Rückholung der LAW
  - Ilc) Rückholung aller Abfälle
  - Ild) Teilrückholung von Abfällen

### III Interne Umlagerung von Abfällen

IIIa) Interne Umlagerung der LAW

IIIb) Interne Umlagerung der MAW

IIIc) Interne Umlagerung aller Abfälle

Die Prüfung der o. g. Optionen und Varianten für die Stilllegung muss auch mögliche Störfälle und ihre Auswirkung in der Biosphäre umfassen. Auch die Konsequenzen im Fall eines technisch nicht beherrschbaren Absaufens des Bergwerkes während der Umsetzung einer Handlungsoption sind bei der Prüfung zu beachten. Hierzu werden Aussagen in der Störfallanalyse des HMGU bzw. in der Störfallanalyse für die Rückholung der MAW erwartet.



## **4 ANMERKUNGEN DER AGO ZUR DARSTELLUNG DES SICHERHEITSKONZEPTE (HMGU 2008A:KAP 5)**

### **4.1 SACHVERHALTSDARSTELLUNG IM HERLEITUNGSBERICHT**

In Kapitel 5 von HMGU (2008a) wird die Strategie beschrieben, mit der die langfristig sichere Schließung der Schachtanlage unter Einbeziehung der Standortbedingungen und natürlich ablaufenden Prozesse sichergestellt werden soll. Das Sicherheitskonzept bildet die Grundlage für das Schließungskonzept und die darauf aufbauende Konzeptplanung.

Grundlagen für das Sicherheitskonzept bilden laut HMGU die aus den Standortbedingungen resultierenden Anforderungen, weiterhin die Empfehlungen der Internationalen Atomenergiebehörde sowie der nationalen Reaktorsicherheitskommission und Strahlenschutzkommission. Die Einhaltung gesetzlicher Schutzziele soll durch das gewählte Sicherheitskonzept gewährleistet sein.

Die strategischen Elemente des Sicherheitskonzeptes in HMGU (2008a) sind:

1. Stabilisierung des Tragsystems am Standort,
2. Begrenzung bzw. Behinderung der Schadstoffmobilisierung,
3. Begrenzung bzw. Behinderung der Lösungsbewegung im Grubengebäude und Lenkung von unvermeidlichen Lösungsbewegungen,
4. Begrenzung des Austritts von Lösungen aus dem Grubengebäude ins Deckgebirge,
5. Vermeiden von neuen hydraulischen Wegsamkeiten zwischen Grubengebäude und Deckgebirge,
6. Vermeiden eines Lösungszutritts oder -austritts über Tagesschächte,
7. Mechanischer Schutz des Systems „Grubengebäude/Salzstruktur“.

Für das Sicherheitskonzept während der Betriebsphase werden ebenfalls Anforderungen genannt. Diese betreffen den Arbeits- und Strahlenschutz sowie die radiologische Sicherheit für den Zeitraum während der Verfüllung und des Verschlusses der Schachtanlage Asse II.

### **4.2 BEWERTUNG DURCH DIE AGO**

Die genannten strategischen Elemente des Sicherheitskonzeptes bestimmen als Ziele und Anforderungen die nachfolgende Auswahl von Stilllegungsmaßnahmen. Dieses schrittweise Vorgehen ist zielführend und nachvollziehbar. Eine vollständige vorlaufende Festlegung und Formulierung der von konkreten Maßnahmen unabhängigen Anforderungen im Sinne von sicherheitsgerichteten Zielen, zunächst auch unabhängig von der technischen Machbarkeit und nachweislichen Wirksamkeit einzelner Schließungsmaßnahmen, ermöglicht später ein objektives Vergleichskriterium zur Beurteilung potentieller Maßnahmen.

Die Darstellung des gewählten Sicherheitskonzeptes für die Nachbetriebsphase ist unvollständig, seine einzelnen Elemente sind aber ansonsten nachvollziehbar. Die „strategischen Elemente“ 1 bis 6 sind grundsätzlich richtig erkannt worden. Die Einschränkung der Transportprozesse auf den Lösungspfad ist nicht plausibel. Auch der Transport über den Gaspfad sollte im Sicherheitskonzept berücksichtigt werden.

Die Definition der strategischen Elemente 2. bis 4. erfolgt unter der Annahme, dass eine Trockenhaltung der Grube ausgeschlossen wird. Dieser Annahme ist unter Zugrundelegung der in den Kapiteln 2 und 3 von

HMGU (2008) dargestellten Sachverhalte nur dann zu folgen, wenn ein natürliches Volllaufen / Absaufen der Resthohlräume und somit ein Kontakt der Abfälle mit einem flüssigen Transportmedium nicht zu verhindern ist. Somit erlangt die Forderung nach einer „Begrenzung des Austritts von Lösungen aus dem Grubengebäude ins Deckgebirge“ besondere Bedeutung, da hiermit letztendlich die Einhaltung der Schutzziele bei einer möglichen Kontamination oberflächennaher Grundwässer zu gewährleisten sein wird.

Als zusätzliches sicherheitlich ebenfalls relevantes strategisches Element des Sicherheitskonzeptes wäre noch die „Begrenzung der Gasbildung in den Einlagerungskammern bzw. Begrenzung der Gasaustritte aus dem Grubengebäude ins Deckgebirge“ zu ergänzen, um eine mögliche Gefährdung über den Gaspfad zu berücksichtigen.

Das an 7. genannte strategische Element des Sicherheitskonzeptes „mechanischer Schutz des Systems Grubengebäude/Salzstruktur“ ist unverständlich. Aus den Ausführungen ist nicht nachvollziehbar, was damit gemeint ist.

Nach Auffassung der AGO basiert der Nachweis der Einhaltung der radiologischen und wasserrechtlichen Schutzziele durch HMGU auf folgenden wesentlichen, durch technische Maßnahmen sicherzustellenden, Sicherheitsfunktionen:

1. Herstellung eines langfristig prognostizierbaren Zustandes des Endlagersystems (im Wesentlichen durch die Schutzfluidverfüllung),
2. Beschränkung der Mobilisierung der Schadstoffe aus den Einlagerungskammern (Löslichkeit, Sorption) durch Einstellung langfristig definierter geochemischer Verhältnisse und damit der Begrenzung des Radionuklid-Quellterms – „geochemische Barriere“ (im Wesentlichen Mg-Depots),
3. Transportverzögerung in der Grube durch Vermeidung/Begrenzung der Durchströmung von Einlagerungskammern, und von kanalisierten, kurzen Wegen im Wesentlichen durch „Strömungsbarrieren“,
4. Verringerung der Konvergenzrate und damit der Rate der Lösungsauspressung in das Deckgebirge (Feststoffversatz und Schutzfluid).

Weitere Prozesse bzw. Sachverhalte sollen maßgeblich – unabhängig von den durchgeführten technischen Maßnahmen – die Begrenzung der potentiellen Strahlenexposition durch Freisetzung von Schadstoffen aus dem Endlager bestimmen. Dies sind:

5. Verdünnung im Grubengebäude,
6. Transportverzögerung im Deckgebirge.

Den Anforderungen an das Sicherheitskonzept während der Phase des Stilllegungsbetriebs (Arbeits- und Strahlenschutz, radiologische Sicherheit) kann gefolgt werden. Sie gelten für jede zu prüfende Option. So ist auch z. B. bei einer Rückholung eine Strahlenexposition des Personals, wie auch die Freisetzung von Radionukliden mit den Abwettern zu vermeiden bzw. auf einem unbedenklich niedrigen Niveau zu halten (Minimierungsgebot). Eine Nennung und Diskussion konkreter Maßnahmen zur Gewährleistung der Sicherheit während des Stilllegungsbetriebes und bei betrieblichen Störfällen erfolgt nicht. Die Ausführungen hinsichtlich des Sicherheitskonzeptes für die Betriebsphase sind somit zwar plausibel und nachvollziehbar, aber insgesamt besonders hinsichtlich einer Störfallbetrachtung unvollständig.

### **4.3 SCHLUSSFOLGERUNGEN DER AGO**

Zum Nachweis der Langzeitsicherheit wird bei Endlagern in Bezug auf die radiologischen und wasserrechtlichen Schutzziele national und international die Strategie des Einschlusses (Isolation und Konzentration) verfolgt.

Eine Strategie des Einschlusses der Abfälle durch Isolation und Konzentration kann aufgrund des bestehenden Integritätsverlustes der geologischen Barriere und des, aus Sicht von HMGU, unvermeidlichen Einbringens einer Salzlösung (und damit eines Transportmediums) in den vorhandenen Resthohlraum, nicht gewährleistet werden. Daher stützt sich das Sicherheitskonzept auf die Begrenzung der Folgen dieser beiden Randbedingungen. Die Freisetzung von Schadstoffen soll durch chemische (Mg-Depots) und geotechnische Maßnahmen (Strömungsbarrieren) begrenzt und behindert werden.

Das Sicherheitskonzept von HMGU berücksichtigt standortspezifische Gegebenheiten und ist in sich folgerichtig. Wesentliches Element ist zunächst die Herstellung und Gewährleistung langfristig definierter bergbaulicher Verhältnisse durch die Einleitung von Schutzfluid.

Das System ist aus Sicht der AGO störanfällig, da es als eine Abfolge aufeinander aufbauender und voneinander abhängiger Maßnahmen anzusehen ist. Dies gilt z. B. für den Fall, dass

1. eine pneumatische Druckbeaufschlagung nicht gelingt oder nicht den stützenden Effekt erzeugt,
2. die technischen Maßnahmen zur Lenkung der Lösungsbewegung und damit zur Transportverzögerung oder
3. die technischen Maßnahmen zur Begrenzung der Mobilisierung von Radionukliden nicht wie geplant wirken,
4. das Schutzfluid durch Reaktionen seinen Chemismus verändert und in unzulässigem Maße den Carnallit angreift,
5. große Luftvolumina eingeschlossen werden,
6. sicherheitsgefährdende Gasgemische entstehen oder
7. sicherheitsgefährdende Wechselwirkungen zwischen den chemischen und chemotoxischen Substanzen auftreten.

Das gewählte Sicherheitskonzept ist abhängig von der Realisierbarkeit und Wirksamkeit der zugrunde liegenden Maßnahmen. Sollte es beispielsweise im Zusammenhang mit anzunehmenden zukünftig intensiveren konvergenzbedingten Bewegungen und damit möglicherweise verbundenen verstärkten Grundwasserzutritten in das Grubengebäude zum Verlust der Prognostizierbarkeit der Stabilität des Endlagersystems kommen, ist dem Sicherheitskonzept die Basis entzogen. In welchem Umfang und zu welchem Zeitpunkt die Maßnahmen des Stilllegungskonzeptes nicht mehr (rechtzeitig) umgesetzt werden können, war nicht Gegenstand der Prüfung der AGO. Grundsätzlich ist eine möglichst zügige Prüfung und ggf. Umsetzung der geplanten oder alternativer Maßnahmen erforderlich.

Aufgrund der Spezifik des Endlagersystems wird aus Sicht der AGO die Realisierung eines gestaffelten Sicherheitssystems („defense in depth“) nur eingeschränkt möglich sein.

## **5 ANMERKUNGEN DER AGO ZUR AUSWAHL GEEIGNETER SCHLIEßUNGSMAßNAHMEN (HMGU 2008A:KAP 6)**

Im Kapitel 6 von HMGU (2008a) werden in Betracht gezogene Maßnahmen zur Umsetzung der strategischen Elemente des Sicherheitskonzeptes dargelegt und bewertet. Ziel ist die Identifikation der vor dem Hintergrund der gewählten Stilllegungsoption „Schutzfluideinleitung“ am besten geeigneten technischen Einzelmaßnahmen. Für die ausgewählte Stilllegungsoption „Schutzfluideinleitung“ werden generelle Anforderungen benannt und die technische Machbarkeit überprüft.

Bereits Eingangs wird die Prüfung der verschiedenen Maßnahmen und deren Einfügung in das Stilllegungskonzept als iterativer Prozess bezeichnet. Die Ergebnisse der einzelnen Annäherungsschritte sollen letztendlich zu einer Optimierung der betrachteten Maßnahmen, ihrer Kombination und damit des Gesamtkonzeptes führen.

### **5.1 ZUR STABILISIERUNG DES TRAGSYSTEMS**

#### **5.1.1 Sachverhaltsdarstellung im Herleitungsbericht**

Durch das als unabdingbar angesehene Einleiten des Schutzfluids soll eine Stützung des Tragsystems durch den Aufbau eines hydrostatischen Drucks im Grubengebäude erfolgen. Das Schutzfluid soll im Mittel chemisch der Zusammensetzung einer Lösung am Punkt R bzw. IP 19 quinären Systems ozeanischer Salze entsprechen, um eine nennenswerte Umlösung und Zersetzung am weiträumig aufgeschlossenen Carnallit zu verhindern.

Während der Einleitung des Schutzfluids sei im entfestigten Tragsystem mit beschleunigten Kriechverformungen zu rechnen, so dass ohne zusätzliche Stabilisierungsmaßnahmen gleichbleibende oder abnehmende Deckgebirgsverschiebungsraten nicht zu gewährleisten seien. Deshalb seien oberhalb von 700 m Teufe zusätzliche Stabilisierungsmaßnahmen während der Einleitungsphase des Schutzfluids erforderlich. Als potentielle zusätzliche Stabilisierungsmaßnahmen werden verglichen:

1. der Einbau von Spülversatz,
2. der Einbau von Pumpversatz,
3. die Injektion der Versatzkörper,
4. eine erhöhte Einletrate des Schutzfluids und
5. die Aufprägung eines pneumatischen Stützdrucks.

Die potentiellen Maßnahmen werden hinsichtlich ihrer Wirksamkeit für den Erhalt der Resttragfähigkeit des Tragsystems und hinsichtlich ihrer technischen Realisierbarkeit untersucht und bewertet. Insbesondere die Flutung und die Einbringung von Spül- oder Pumpversatz wurden als Stilllegungsmaßnahmen von Kalibergwerken bereits vielfach durchgeführt und seien daher nach Ansicht des HMGU machbar und technisch erprobt.

Nach Abwägung aller Aspekte wird vom Betreiber die Aufprägung eines pneumatischen Stützdrucks in Höhe von 1 bis 1,5 MPa als die sicherste und zweckmäßigste Lösung erachtet, um das Ziel einer hinreichenden und gleichmäßigen Stützung der Tragelemente während der Einleitphase des Schutzfluids zu erreichen. Ergänzend wird der vorlaufende Einbau von Pumpversatz in noch unverfüllte Hohlräume der Abbaue und Begleitstrecken vorgeschlagen. Die technische Machbarkeit der Schutzfluideinleitung und Druckluftbeaufschlagung sei gewährleistet.

## 5.1.2 Bewertung durch die AGO

Die Darstellung der potentiellen Maßnahmen zur Stabilisierung des Tragsystems wird als vollständig angesehen. Die Diskussion der einzelnen Maßnahmen und Abwägung der Vor- und Nachteile ist weitgehend nachvollziehbar und plausibel. Die Beschreibung der chemischen Wechselwirkungen des Fluids mit dem Mg-Depot, den Zementphasen (Portlandit) und dem mancherorts aufgeschlossenen Carnallit ist unvollständig. Bei der vom HMGU zugrunde gelegten mineralischen Zusammensetzung der Salzgesteine (insbesondere der Kalisalzes) ist bei der Realisierung des Schutzfluidkonzepts das Einbringen einer Lösung mit einer Zusammensetzung nahe am Punkt R (des quinären Löslichkeitsdiagramms ozeanischer Salze) geboten. Bei anderer Zusammensetzung wären ggf. andere Lösungen sinnvoll (Z-Lösung oder Q-Lösung). Bei Gegenwart von Brucit, Sorelphasen und/oder Portlandit müssen die chemischen Wechselwirkungen zwischen Fluid und metastabil koexistierenden Phasen jedoch betrachtet werden.

Der negativen Bewertung von Spülversatz – dem Einspülen von Salzgrus mit Schutzfluid in Resthohlräume der versetzten Abbaue – kann nicht uneingeschränkt gefolgt werden. Das Besorgen von Feuchtekiechen und Versatzsackungen gilt gleichermaßen für das planmäßige Einleiten des Schutzfluids. Ebenso kann der Einwand der nicht voraussehbaren gleichmäßigen Durchfeuchtung des Versatzes und somit einer eingeschränkten Prognosesicherheit gleichsam gegen eine Schutzfluideinleitung vorgebracht werden. Hier wäre eine fundierte Begründung der unterschiedlichen Bewertung der Folgen von Spülversatz und Schutzfluideinleitung wünschenswert.

Der positiven Bewertung von Pumpversatz mit Sorelbeton wird gefolgt. Die durch den eingebrachten Beton bewirkte Verringerung des konvergenzaktiven Hohlraumes verbunden mit einer Stützung des Tragsystems ist entsprechend dem formulierten Sicherheitskonzept zielführend. Es fehlen bei den Ausführungen zum Pumpversatz jedoch Aussagen zu den Auswirkungen einer möglichen Kanalisierung der gas- und konvergenzbedingten Fluidströmung in der Südflanke. Da der Sorelbeton eine deutlich geringere Permeabilität als der Blasversatz und das aufgelockerte Steinsalz aufweist, haben dadurch kanalisierte Strömungswege möglicherweise bedeutsame Auswirkungen auf den Nuklidtransport in der Grube und somit auf den Langzeitsicherheitsnachweis.

Der negativen Bewertung einer Ertüchtigung der Versatzkörper in der Südflanke durch Versatzinjektion kann derzeit nicht gefolgt werden. Die vorgebrachten negativen Effekte und Aspekte werden nicht belegt bzw. können ggf. durch modifizierte technische Ausführungen umgangen werden. So wird auch in HMGU (2008a) festgestellt, dass es sich lediglich um „Unwägbarkeiten“ des Verfahrens handle. Hier sind genauere Untersuchungen erforderlich. Derzeit erfolgen im Rahmen einer vom BMBF in Auftrag gegebenen Machbarkeitsstudie zur Versatzertüchtigung auf diesem Gebiet Untersuchungen. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen sind für eine endgültige Beurteilung der Ertüchtigungsmaßnahmen abzuwarten.

Den Argumenten für die Auswahl der Maßnahme „pneumatischer Stützdruck“ kann grundsätzlich zunächst gefolgt werden. Die nachweisliche Wirksamkeit der Maßnahme wird durch den Verweis auf von externen Sachverständigen durchgeführte numerische Berechnungen zur Tragfähigkeitsanalyse (KAMLOT, BRÜCKNER & GÜNTHER 2006) belegt. Eine pneumatische Stabilisierungsmaßnahme während der Betriebsphase muss dennoch kritisch bewertet werden, da sie hohe Anforderungen an die technische Ausführung stellt. Insbesondere sind hier die Funktionstüchtigkeit der Kurzzeitdichtung in Schacht 4 und die nach erfolgter Einleitung des Schutzfluids erforderlichen Maßnahmen Rückbau und langzeitsichere Abdichtung von Druck- und Rohrleitungen zu nennen. Insbesondere ist zu prüfen, wie negative Folgen eines möglichen Versagens der Druckbeaufschlagung aufgefangen werden können.

In HMGU (2008a) wird auf Gasspeicherung in Kavernen und gespannte Gaspolster in bereits verschlossenen Salzbergwerken verwiesen. Die Anführung von Beispielen, bei denen Gase unter Druck in Salzformationen eingeschlossen sind, kann nach Auffassung der AGO wegen der Besonderheit der vorgeschädigten Salzbarriere einen standortspezifischen Machbarkeits- und Sicherheitsnachweis nicht ersetzen. Eine Übertragbarkeit der bei Gas- und Druckluftspeichern gewonnenen Erfahrungen wird vom HMGU zwar konstatiert, jedoch nicht nachgewiesen.

Hinsichtlich der Sicherstellung einer vollständigen Aufsättigung aller Grubenbereiche (ausgenommen MAW-Kammer) mit der notwendigen Menge an Schutzfluid und einer gesicherten Aufrechterhaltung eines konstanten pneumatischen Innendruckes von 1-1,5 MPa bestehen im vorliegenden Bericht Lücken. Die grundsätzliche technische Machbarkeit der mannlosen Schutzfluideinleitung und Druckluftbeaufschlagung kann zwar auf Grundlage der vorliegenden Unterlagen nicht ausgeschlossen werden, jedoch existieren ausführungstechnische Schwierigkeiten (spezifikationsgerechte Verfügbarkeit des Schutzfluides, handling (z. B. Verstopfen von Leitungen), Vermeidung größerer Luftpolster, qualitätsgesicherte Einbringung der notwendigen Mengen) und sicherheitliche Risiken (Reaktionsmöglichkeiten bei unplanmäßigen Effekten, fehlende Redundanz, Beherrschung und Konsequenzen eines „blow-out“), die im Rahmen der Konzeptentwicklung behandelt werden müssten.

Es bestehen Zweifel, ob die Anlieferung und Bereithaltung spezifikationsgerechter R-Lösungen in der erforderlichen Menge von 1600 m<sup>3</sup>/d und einer Temperatur von 30°C technisch darstellbar ist. Diese Lösungen müssen anschließend ohne Auskristallisation (Rohr-Verstopfer, Zukristallisation benötigter Wegsamkeiten im Versatz) an den jeweiligen Bestimmungsort im Bergwerk geleitet werden. Hierfür fehlen praktische Erfahrungen. Es stellt sich die generelle Frage, ob, wie, wie schnell und wann das Schutzfluid überhaupt die Resthohlräume, die es stützen soll, erreichen kann. Damit verbunden stellt sich die Frage, wie die Luft aus den Rest-Hohlräumen und Porenräumen entweichen soll. Im Verhältnis zu den hohen Einleitraten für das Schutzfluid werden hier ungelöste Probleme bzw. unbeantwortete Fragen gesehen.

## **5.2 ZUR BEGRENZUNG DER SCHADSTOFFMOBILISIERUNG**

### **5.2.1 Sachverhaltsdarstellung im Herleitungsbericht**

Laut HMGU sei ein Kontakt der Abfallgebinde mit dem Schutzfluid mit Ausnahme der MAW-Einlagerungskammer unvermeidbar. Da die Mobilisierungsrate sicherheitlich relevanter Radionuklide vom chemischen Milieu an der Oberfläche der Matrices und in den Einlagerungskammern abhängt, soll durch eine Beeinflussung des chemischen Milieus die Mobilisierung von Schadstoffen begrenzt und/oder behindert werden. Hierfür wird das Einbringen geeigneter Versatzstoffe in hinreichender Menge aber auch das Begrenzen des Austausches der Lösungen im Porenraum von Einlagerungskammern durch den Bau von Strömungsbarrieren vorgeschlagen. Zusätzlich erfolgt durch die Versatzeinbringung eine Minimierung des für die Lösungen zur Verfügung stehenden Volumens in den Einlagerungskammern. Das Ziel der Maßnahmen sei ein langfristig stabiles neutrales bis leicht alkalisches Milieu in den Einlagerungskammern und somit die Begrenzung der Freisetzung von Radionukliden.

Weitere Ziele seien die Verminderung der Lösungsmenge in den Einlagerungskammern durch Resthohlraumverfüllung und eine Reduzierung der Menge und Rate der aus den Einlagerungskammern verdrängten kontaminierten Lösung durch eine Verringerung der Volumen-Konvergenz.

Als mögliche Versatzstoffe für die Einstellung bzw. Stabilisierung des Milieus in den Einlagerungskammern werden

- Ca-Mg-Carbonate (Magnesit, Dolomit, Calcit),
- Tone (Bentonite, Smektite),
- Apatit,
- Magnetit,
- Technische Ionen-Austauscher,
- Zement oder andere Baustoffe mit Ca-Bindemitteln (Ca-Depot) und
- Zement oder andere Baustoffe mit Mg-Bindemitteln (Mg-Depot)

betrachtet. Die Versatzstoffe werden bezüglich ihres Einflusses auf das geochemische Milieu in den Einlagerungskammern und auf die Rückhaltung von relevanten Radionukliden bewertet.

Als Maßnahme mit dem größten Sicherheitsgewinn wird das Einbringen von Mg-Depots in Form eines fließfähigen Baustoffes auf Basis von Brucit und MgO bewertet. Eine weitere deutliche Reduzierung des durch Konvergenz beeinflussbaren Porenvolumens wird durch das zusätzliche Einbringen von Sorelbeton erreicht. Die grundsätzliche technische Machbarkeit der Einbringung von fließfähigen Versatzstoffen sei gegeben und entspreche dem Stand der Technik.

## 5.2.2 Bewertung durch die AGO

Die Anforderungen an die einzubringenden Stoffe werden ohne Literaturzitate dargestellt. Es werden unterschiedliche mögliche Versatzstoffe abgeleitet. Wie diese Optionen ausgewählt wurden ist nicht ersichtlich und somit nicht nachvollziehbar. Anhand des Herleitungsberichtes kann nicht beurteilt werden, ob andere Optionen ggf. ebenfalls betrachtenswert wären.

Die Abwägung der Vor- und Nachteile der einzelnen Optionen erfolgt ohne Verweis auf die Primärliteratur und kann daher nicht vollständig nachvollzogen werden.

Die Wirksamkeit der Maßnahme als pH-Puffer ist dann gegeben, wenn nachgewiesen werden kann, dass eine quantitativ ausreichende Menge an Mg-Depots in die Einlagerungskammern eingebracht werden kann, um das geochemische Milieu langfristig zu stabilisieren. Dieser Nachweis soll bei der technischen Ausführung erbracht werden können. HMGU (2008a) enthält jedoch keine Verweise auf entsprechende Unterlagen. Die Zusammensetzung und Rezeptur des „Mg-Depots“ wird nicht mitgeteilt.

Der Einbau von Brucit sollte technisch kein Problem darstellen. Allerdings ist die Sicherstellung der vollen Wirksamkeit noch mit Unwägbarkeiten behaftet, z. B. hinsichtlich des tatsächlich zur Verfügung stehenden unverfüllten Hohlraumes in den Einlagerungskammern und der jeweiligen Geometrie des Firstspaltes.

Aus den Unterlagen geht ebenso nicht hervor, ob die Auswirkungen des Schutzfluids auf das Mg-Depot, den Sorelzement, sowie sekundär durch Portlandit gefällten Brucit betrachtet worden sind. Nachdem bekannt ist, dass die 1-3-8-Sorelphase thermodynamisch stabil ist, wird Brucit solange mit der Magnesiumchlorid-Komponente der R-Lösung reagieren bis entweder aller Brucit aufgebraucht ist, oder bis der invariante Punkt zwischen der Sorel-Phase und Brucit erreicht ist. Nach ALTMAIER et al. (2003) liegt dieser invariante Punkt bei einer Wasserstoffionenkonzentration von  $10^{-8,95}$  und einer Magnesiumchlorid-Molalität von 1,8 mol/kg H<sub>2</sub>O während die Mg-Molalität einer R-Lösung bei 4,75 mol/kg H<sub>2</sub>O liegt. Eine an Mg verarmte (ehemalige) R-Lösung kann den Carnallit in Abhängigkeit von seiner Zugänglichkeit angreifen. Weiterhin kann eine durch Reaktion mit Portlandit entstandene Ca-Ionen-reiche Lösung mit dem Carnallit unter Bildung von Polyhalit reagieren. Diese Reaktionen können ggf. größere Stoffmengen betreffen. Die Relevanz der beschriebenen Prozesse für das Schließungskonzept und den Sicherheitsnachweis ist auf Grundlage geochemischer Modellrechnungen unter Berücksichtigung der standortspezifischen Randbedingungen und der heute akzeptierten thermodynamischen Löslichkeitsprodukte für die Sorel-Phasen, sowie der Masse der eingelagerten/eingebauten Basen (Portlandit, Brucit, etc.) zu bewerten

## 5.3 ZUR BEGRENZUNG UND LENKUNG DER LÖSUNGSBEWEGUNG

### 5.3.1 Sachverhaltsdarstellung im Herleitungsbericht

Aufgrund der Randbedingungen im von HMGU gewählten Stilllegungskonzept (Schutzfluidkonzept) sind Lösungsbewegungen aufgrund von Konvergenz, Gasentwicklung, Konvektion und Druckdifferenzen im Grubengebäude und aus diesem heraus durch das desintegrierte Steinsalz in das Deckgebirge unvermeid-

bar. Ein vom HMGU formuliertes Ziel ist deshalb die Begrenzung der Lösungsflüsse im Nahbereich der Einlagerungskammern und die Lenkung unvermeidlicher Lösungsbewegungen an den Einlagerungskammern vorbei in langfristig stabile Fließwege.

Als potentielle Maßnahmen werden

- die Begrenzung der Lösungsflüsse durch Strömungsbarrieren,
- die Lenkung der Lösungsflüsse in bevorzugten Wegsamkeiten durch Verfüllung und Stabilisierung mit Schotter,
- eine geeignete Anordnung von Strömungsbarrieren und Schotter und
- der Einbau von stützendem Versatz

vorgeschlagen.

Der Einbau von Strömungsbarrieren sei dabei unabdingbar, alternative Konzepte werden durch HMGU als für die vorliegenden Standortbedingungen ungeeignet erachtet. Die in HMGU (2008a) betrachteten alternativen Ausführungskonzepte der Strömungsbarrieren sind:

- eine veränderte Geometrie der Strömungsbarrieren,
- Strömungsbarrieren ohne Widerlager,
- Selbsterhärtender bzw. Selbstheilender Versatz und
- Alternative Baustoffe.

Unter den gegebenen Standortbedingungen wird der Einbau von Strömungsbarrieren aus Sorelbeton in einfacher Geometrie mit massiven Widerlagern und der Einbau von Schotter in ausgewählten Grubenbauen als geeignete Maßnahmen ausgewählt. Generelle Anforderungen an die Strömungsbarrieren hinsichtlich der integralen Permeabilität, Lagestabilität und chemischen Langzeitstabilität werden formuliert. Die technische Machbarkeit sei gegeben und durch den erfolgreichen Bau einer Pilotströmungsbarriere demonstriert.

Die Maßnahmen in der MAW-Kammer umfassen den Einbau des Mg-Depots und die Resthohlraumverfüllung mit Sorelbeton. Die sich somit über den Abfällen befindliche „Sorelbetonglocke“ sei hydraulisch dicht und soll in Verbindung mit dem umgebenden intakten Salzgestein ein Eindringen von Lösung in den Fasskegel der MAW verhindern.

### **5.3.2 Bewertung durch die AGO**

Die Darstellung der potentiellen Maßnahmen zur Begrenzung und Lenkung der Lösungsbewegung im Grubengebäude beschränkt sich in HMGU (2008a) auf den Bau massiver Strömungsbarrieren unterschiedlicher Ausführung. Andere Optionen werden nicht genannt. Die unterschiedlichen Ausführungskonzepte für die Strömungsbarrieren werden plausibel dargestellt, sind jedoch ohne die Kenntnis zugrundeliegender Ausführungsplanungen nur eingeschränkt nachvollziehbar.

Der Einbau von geringdurchlässigen, massiven Strömungsbarrieren aus Sorelbeton wird als geeignete Maßnahme zur Verringerung konvergenzgetriebener Strömungen mit einem deutlichen Sicherheitsgewinn beurteilt. Der verwendete Sorel-Beton zum Bau der Barrieren ist unter den gegebenen geochemischen Bedingungen eine sinnvolle Wahl. Die Verwendung von Schotter und Split sollte auf das notwendige Minimum beschränkt werden. Die Herleitung von generellen Anforderungen an Strömungsbarrieren, stützenden Versatz in den Auffahrungen und an die Schotterstrecken ist plausibel. Es wird weiterhin plausibel dargelegt, dass die ausgewählten Baustoffe den strömungs- und gebirgsmechanischen Anforderungen genügen.

Die Wirksamkeit der Maßnahmen zur Begrenzung und Lenkung der Lösungsbewegung durch den Einbau der Strömungsbarrieren, kann auf der Basis der, der AGO vorliegenden Unterlagen, nicht abschließend beurteilt werden. Große Teile des Grubengebäudes weisen Auflockerungszonen auf, die sich zudem durch



fortlaufende Gebirgsbewegung verändern können. Für die geplanten Strömungsbarrieren ist nachzuweisen, dass ihre Wirkung nicht durch geogene (Anhydritpakete) oder bergbauliche Wegsamkeiten (Auflockerungszonen) eingeschränkt oder aufgehoben wird.

Nicht betrachtet werden in HMGU (2008a) die Wegsamkeiten, die erforderlich sind um ein Entweichen der Gasphase bei Flutung zu ermöglichen. Die Auswirkungen möglicherweise eingeschlossener Grubenluft werden nicht bewertet. Es bleibt unklar, welche Maßnahmen ergriffen werden können, wenn die geplanten Schutzfluidmengen nicht eingeleitet werden können.

Der Nachweis der technischen Machbarkeit erfolgte durch den Bau einer Pilotströmungsbarriere aus Sorel-Beton, welche nach Angaben des Betreibers die gestellten Anforderungen hinsichtlich Standsicherheit und Gebrauchstauglichkeit erfüllt. Der Nachweis der langfristigen Wirksamkeit einer solchen Barriere ist damit jedoch nicht erbracht und kann nur indirekt durch Modellrechnungen erfolgen. Die Begrenzung und Lenkung der Lösungsbewegung durch den Einbau der Strömungsbarrieren muss unter Berücksichtigung der gegebenen geotechnischen Randbedingungen (große Teile des Grubengebäudes, vor allem auch die Südflanke, weisen dilatante Auflockerungszonen auf, die sich zudem durch fortlaufende Gebirgsbewegung verändern können) im Einzelfall nachgewiesen werden. Auslegungsberechnungen, Nachweisführungen zur Lagestabilität der Strömungsbarrieren und zur Integrität des umgebenden Gebirges und bautechnische Nachweise zur Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit der Strömungsbarrieren sind in HMGU (2008a) nicht zitiert und damit nicht nachvollziehbar.

Es werden keine Angaben bzw. weiteren Ausführungen dazu gemacht, ob vorhandener Versatz durch Injektionsmaßnahmen mit Sorelmörtel zu einer Strömungsbarriere wie gefordert ertüchtigt werden kann und wie der Nachweis der Gebrauchstauglichkeit erfolgen soll. Darüber hinaus werden auch keine weiteren Ausführungen zum Injektionsmaterial und zur Injektionstechnik gemacht. Insgesamt kann dem Konzept der Strömungsbarrieren gefolgt werden.

Die Maßnahmen in der MAW-Kammer werden gesondert betrachtet. Die Ausführung, dass eine hydraulisch weitgehend dichte Abkapselung des Fasskegels in der MAW-Kammer möglich sei, erscheint fraglich. Geschätzt ein Viertel der rund 1200 MAW-Fässer (nämlich bituminierte und unfixierte Abfälle) dürften leichter als Sorel-Beton sein, wodurch die Fässer beim Einfüllen des fließfähigen Betons aufschwimmen können. Daher ist für die geplante Verfüllung der MAW-Kammer mit Sorelbeton und Mg-Depot die Auftriebssicherheit aller Fässer zu prüfen und ggf. sind geeignete Maßnahmen zu ergreifen.

Ob dies in gleichem Maße auch für die mit Salzgrusversatz bedeckten Abfallbinde in den LAW-Kammern gilt ist zu prüfen. Es ist zumindest vorstellbar, dass die Einleitung von Schutzfluid zum Verlust der Kohäsion im Salzgrus führt. Dazu finden sich keine Aussagen in HMGU (2008a)

Die Nachvollziehbarkeit der Ausführungen zur MAW-Kammer ist jedoch ohne detailliertere Darstellung der angrenzenden Grubenbaue und genaue Angaben über deren Integrität und derzeitigen Verfüllstand eingeschränkt. Der Detaillierungsgrad und die Lesbarkeit der Abbildungen in Anlage 8 von HMGU (2008a) sind hierfür nicht ausreichend.

Für das Verschlusskonzept der MAW-Kammer ist eine Betrachtung alternativer Optionen aus den vorgelegten Berichten nicht zu entnehmen. Auch Maßnahmen, die durch geeignete Verfüllung das Entstehen eines größeren luftgefüllten Hohlraumes im Fasskegel unterhalb der „Sorelbetonglocke“ vermeiden oder so weit möglich minimieren, sollten Gegenstand einer Optimierung des Verschlusskonzeptes sein.

Ebenso fehlen Angaben zur technischen Durchführung der Verfüllung der MAW-Kammer. Die Ausführung der hierfür nötigen Zugangsbohrungen und die Ableitung kontaminierter Gase aus der Einlagerungskammer erfordern insbesondere hinsichtlich strahlenschutztechnischer Aspekte sorgfältige Planung. Die MAW-Kammer muss zur Verfüllung geöffnet werden. Die Maßnahmen zum Personenschutz vor radioaktiver Strahlung während der Versatarbeiten werden nicht angesprochen.

Ein ebenfalls beachtenswerter Aspekt ist die Behandlung der MAW-Kammer im Störfall eines vorzeitigen und technisch nicht beherrschbaren Absaufens der Grube. Die Möglichkeit einer vorgezogenen Verfüllung der MAW-Kammer und der dafür erforderliche Zeitbedarf sollte im Sinne einer sicherheitsgerichteten Gefahrenabwehrmaßnahme, ähnlich wie die selektive Rückholung, ebenfalls diskutiert werden.

## **5.4 ZUR BEGRENZUNG DES AUSTRITTS VON LÖSUNGEN UND SCHADSTOFFEN IN DAS DECKGEBIRGE**

### **5.4.1 Sachverhaltsdarstellung im Herleitungsbericht**

Die Begrenzung des Austritts von Lösungen und Schadstoffen in das Deckgebirge soll durch eine Verhinderung bzw. Begrenzung der in HMGU (2008a) genannten auslösenden oder befördernden Prozesse (Konvergenz, Gasentstehung, Konvektion) angestrebt werden. Hierzu wird vornehmlich auf bereits genannte Maßnahmen zur Stabilisierung des Tragsystems und zur Verfüllung von Resthohlräumen zurückgegriffen. Die betrachteten potentiellen Maßnahmen zielen somit zum einen auf eine weitgehende Resthohlraumverfüllung mit Salzgrus, Sorelbeton und Hartgesteinschotter sowie auf Konvektionsbegrenzung durch Anforderungen an die Dichte des Schutzfluids (mit der Teufe zunehmend). Als bevorzugter Verfüllbaustoff wird Sorelbeton genannt, das Einbringen von Salzgrus und Schotter stellt mögliche Alternativen dar.

### **5.4.2 Bewertung durch die AGO**

Die vom HMGU vorgeschlagenen Maßnahmen zur Begrenzung von Lösungsaustritten in das Deckgebirge korrelieren mit den bereits diskutierten Maßnahmen zur Stabilisierung des Grubengebäudes, Lenkung der Lösungsbewegung und Zusammensetzung des Schutzfluids. Insofern werden in diesem Zusammenhang nur die Anforderungen konkretisiert.

Für die Resthohlraumverfüllung wird Sorelbeton gegenüber Steinsalzgrus deutlich präferiert. Begründet wird dieses mit der geringeren Porosität und höheren Steifigkeit des Betons, welche auch kurzfristig zu einer Abnahme der Konvergenzbewegung versetzter Grubenbereiche beiträgt. Diese Einschätzung wird geteilt und die Sorelbetonverfüllung als zielführende Maßnahme im Sinne der strategischen Elemente des Sicherheitskonzeptes bewertet. Auch im Sinne der Minimierung des fluidzugänglichen Porenraums im bereits eingebrachten Versatz (i.b. in den Grubenbauen der Südflanke) und damit der Minimierung des gas- und konvergenzgetriebenen Lösungsstroms aus der Grube wären Injektionsmaßnahmen zu prüfen. Diese werden in HMGU (2008a) unter diesem Aspekt nicht erwähnt und damit auf ihre Wirksamkeit und technische Machbarkeit nicht geprüft.

Auf eine weitere Verfüllung derzeit noch unverfüllter Grubenbaue mit Salzgrus statt Sorelbeton, die in HMGU (2008a) ebenfalls erwähnt wird, jedoch nicht nachvollzogen werden kann, sollte im Sinne der Minimierung des konvergenzaktiven Hohlraumes verzichtet werden.

Die Anforderungen an die Zusammensetzung und Dichte des Schutzfluids sind unklar bzw. in diesen Bandbreiten auf der Basis der Ausführungen in HMGU (2008a) nicht nachvollziehbar. Die angegebenen Toleranzen für einzelne Lösungskomponenten sind in dieser Größenordnung ohne Begründung inakzeptabel.

Der Forderung nach einer mit der Teufe nicht abnehmenden Dichte des Schutzfluids zur Vermeidung von Konvektionsbewegungen kann grundsätzlich gefolgt werden. Die Anforderungen an das Schutzfluid sollten sich jedoch auch an der chemische Zusammensetzung des jeweils aufgeschlossenen Carnallitits orientieren, um chemisches Gleichgewicht weitgehend sicherzustellen und das Lösungspotential zu minimieren. Es muss dabei nachgewiesen werden, dass unzulässige Hohlraumneubildungen nicht auftreten.

Da detaillierte Angaben zur Carnallititzusammensetzung der Asse fehlen, ist die Nachvollziehbarkeit der abgeleiteten Bandbreiten für die Mineralphasenzusammensetzung des Schutzfluids nicht gegeben. Zusätzlich ist eine mögliche Veränderung der Schutzfluidzusammensetzung und damit der Dichte im Laufe der Zeit (Äquilibrierung mit den lokal anstehenden Salzgesteinen oder Versatzmaterialien) zu berücksichtigen. Infolgedessen möglicherweise später auftretende großräumige Konvektionsbewegungen sind belastbar auszuschließen. Angaben hierzu fehlen in HMGU (2008a).

Die gewonnenen Erkenntnisse und abgeleiteten Anforderungen an die Resthohlraumverfüllung und Konvergenzbegrenzung zur Minimierung des Austritts von Lösungen sind ansonsten nachvollziehbar und plausibel.

Die technische Machbarkeit der vorgeschlagenen Maßnahmen zur Resthohlraumverfüllung mit stützendem Material (Sorelbeton) wird nicht als kritisch eingeschätzt. Gleiches bzgl. der technischen Machbarkeit gilt für die Einleitung von Schutzfluid mit variabler Dichte (abgesehen von den dazu bereits genannten offenen Fragen vgl. Kapitel 5.1.2). Die Wirksamkeit von zur Hohlraumminimierung eingebrachtem, stützendem Versatz zur Begrenzung der auspressbaren Lösungsmengen und -raten wird nicht in Zweifel gezogen. Die Wirksamkeit der gewählten variablen Schutzfluiddichte zur Unterbindung von Konvektion im Grubengebäude kann ohne Kenntnis der zugrundeliegenden Berechnungen nicht beurteilt werden.

## **5.5 ZUR VERMEIDUNG VON FLUIDBEWEGUNGEN ÜBER TAGESSCHÄCHTE**

### **5.5.1 Sachverhaltsdarstellung im Herleitungsbericht**

Relevante Fluidbewegungen über die Schächte Asse 2 und Asse 4 sollen durch den Einbau von langzeitwirksamen Abdichtungen bzw. mit Hilfe geeigneter Verschlussbauwerke vermieden werden. Die Lage der Verschlussbauwerke soll durch das Einbringen setzungsstabiler Füllsäulen stabilisiert werden. Als mögliche Baustoffe für die setzungsstabilen Füllsäulen werden Sorelbeton und Schotter genannt. Als strömungsbegrenzende Dichtelemente (Verschlussbauwerke) kämen Bauwerke aus Sorelbeton, Bentonit und Salzton in Betracht.

Als geeignete Maßnahmen werden der Einbau von kohäsiven Füllsäulen aus Sorelbeton und der Einbau eines diversitären Dichtungssystems, bestehend aus Sorelbeton-, Bitumen-, Salzton- und Bentonitelementen, ausgewählt. Die generellen Anforderungen hinsichtlich Permeabilität, Lagestabilität und chemischer Langzeitstabilität werden formuliert. Aussagen zur grundsätzlichen technischen Machbarkeit werden getroffen.

### **5.5.2 Bewertung durch die AGO**

Die Darstellung des gewählten Schachtverschlussystems ist weitgehend vollständig, aber nicht in allen Punkten nachvollziehbar. Die Aufzählung potentieller Dichtelemente lässt die Möglichkeit einer kombinierten Schotter-Asphalt-Dichtung als Hauptdichtelement vermissen. Die Anordnung der Süßwasserdichtung (Bentonit/Salzton) unterhalb des Salzspiegels wird nicht begründet, erscheint nicht nachvollziehbar und ist unplausibel.

Die formulierten generellen Anforderungen an das Abdichtungssystem sind plausibel. Die Wahl eines diversitären Dichtungssystems ist unter den Gegebenheiten zielführend und ebenfalls plausibel. Allerdings genügt die gewählte Ausführungsvariante nicht für alle Beanspruchungsszenarien den Anforderungen an ein diversitäres Dichtungssystem. Bei einer Durchströmung der Abdichtung von oberhalb, möglicherweise mit ungesättigter Lösung aus dem Deckgebirge oder der Zutrittsstelle im Anhydritmittel, verhält sich das Hauptdichtelement aus Sorelbeton nicht langzeitstabil, sondern unterliegt der Korrosion und Zersetzung. Infolgedessen kann auch die Widerlagerfunktion des Hauptdichtelements aus Sorelbeton gegenüber der Salzton/Bentonit-Abdichtung und somit deren Lagestabilität nicht sicher gewährleistet werden. Eine nachweisliche Sicherstellung der langfristigen Wirksamkeit der Abdichtung gegenüber aus dem Deckgebirge anstehender Lösung ist somit nicht gegeben.

Die genauen Anforderungen und Abmessungen der einzelnen Elemente der gewählten Ausführungsvariante (Auslegung) werden im vorliegenden Bericht nicht diskutiert, sondern sind Bestandteil ergänzender Planungsunterlagen. Die generelle Anforderung an eine integrale Permeabilität von  $5E-16 \text{ m}^2$  resultiert aus

Strömungsmodellierungen. Der Nachweis der Wirksamkeit soll zusätzlich in situ erfolgen, durch die Aufprägung des pneumatischen Innendruckes. Wie genau dieser Nachweis durchgeführt und erbracht werden soll, geht nicht hervor. Die technische Machbarkeit des speziellen Schachtverschlusses wird zwar als gegeben erachtet, kann aber durch Beispiele aus dem Salzbergbau nur eingeschränkt belegt werden. Der Einbau einer kohäsiven Sorelbetonsäule als langzeitsetzungsstabiles Widerlagerelement ist aus dem Salzbergbau bislang nicht bekannt.

Zur technischen Machbarkeit wird anhand der Beispiele Burggraf-Bernsdorf und Bernterode aufgeführt, dass sich die Kombination Soleton / Bitumen als Schachtverschluss seit mehr als 30 Jahren bewährt hat. Hieraus wird geschlossen, dass aus Bitumen und Salztou flüssigkeits- und gasdichte Dichteelemente gebaut werden können. Das Beispiel kann jedoch nicht für die technische Machbarkeit der geplanten Schachtbauwerke gelten, die u. a. aus Sorelbeton bestehen. In dem letzten Abschnitt des Kapitels zu den Schachtabdichtungsbauwerken wird mit der Aussage, dass der Einbau von Dichteelementen zum Zeitpunkt des Einbaus der Schachtverschlüsse dem Stand der Technik entspricht, eingeräumt dass dies zur Zeit noch nicht der Fall ist.

Das Konzept der Schachtverschlüsse muss noch eingehend diskutiert werden. Hier stellt sich u. a. die Frage, ob es zulässig ist, von einer zukünftigen technischen Entwicklung Kredit zu nehmen, oder ob technisch bewährte Alternativen zu den geplanten Schachtverschlüssen existieren. Genauso spekulativ wie die zukünftige technische Entwicklung ist die Annahme, dass ein alternatives oder optimiertes Stilllegungskonzept, z. B. ohne pneumatische Druckaufprägung, geringere Ansprüche an einen Schachtverschluss stellen wird, welches die Auswahlmöglichkeiten technisch bewährter Alternativen erweitern würde.

## **5.6 ZUM EINLEITREGIME FÜR DAS SCHUTZFLUID**

### **5.6.1 Sachverhaltsdarstellung im Herleitungsbericht**

Hinsichtlich der Einleitung des Schutzfluids wird zwischen der Einleitung bis zur 700-m-Sohle und oberhalb der 700-m-Sohle unterschieden. Bis zur 700-m-Sohle soll die Einleitung aus dem nicht verschlossenen Grubengebäude erfolgen. Oberhalb der 700-m-Sohle soll die Einleitung mannlos in das bereits verschlossene Grubengebäude durchgeführt werden.

Die Einleitung des Schutzfluids oberhalb der 700-m-Sohle soll über Bohrungen erfolgen, die nach der Einbringung des Schutzfluids qualitätsgerecht verfüllt werden. Für das mannlose Einleiten des Schutzfluids in den oberen Sohlen sind verschiedene Varianten der technischen Umsetzung und des zeitlichen Ablaufs betrachtet worden. Im Ergebnis der Prüfung und Bewertung der Einleitvarianten wurde vom HMGU die Einleitung des Schutzfluids von über Tage durch eine spezielle Verrohrung im Schacht 4 bis zur Oberkante der sofortwirksamen Kurzzeitdichtung und von dort durch separate Bohrungen in verschiedene Abbaue im oberen Baufeld in der Südflanke als bevorzugte Variante für die technische Umsetzung festgelegt.

### **5.6.2 Bewertung durch die AGO**

Ausgehend von dem Schutzfluidkonzept wird die technische Durchführung der Schutzfluideinleitung nachvollziehbar beschrieben. Die Wahl einer Rohrleitung zur Einleitung über den Schacht 4 ist nachvollziehbar, da der Schacht 2 aus Betriebsgründen bis zum Ende der untertägigen Arbeiten benötigt wird. Es wird jedoch nicht dargelegt, wie der Bau der Leitung in das Verschlusskonzept des Schachtes integriert ist. Auch bleibt die Frage offen, wie der Rückbau der Rohrleitung nach dem Ende der Schutzfluideinleitung erfolgen soll.

Die geplante mannlose Schutzfluideinleitung oberhalb der 700-m-Sohle resultiert aus der als unabdingbar erachteten Druckluftbeaufschlagung zur gebirgsmechanischen Stabilisierung des Grubengebäudes. Die Festlegung des erreichten Fluidspiegels zu Beginn der Druckluftbeaufschlagung auf 700 m Teufe und somit

der Anfangszeitpunkt für die mannlose Schutzfluideinleitung wird nicht ausreichend plausibel begründet. Zudem wird in HMGU (2008a) nicht explizit beschrieben, ob der aufgebrachte Druck nach Ende der Schutzfluideinleitung bestehen bleiben oder die Druckluft abgelassen werden soll.

Da die Umsetzung des technischen Konzeptes zur mannlosen Fluideinleitung bei gleichzeitiger Druckluftbeaufschlagung und sofort wirksamer Schachtabdichtung technisch aufwendig und risikobehaftet erscheint, wird eine nachvollziehbare Begründung für die Notwendigkeit einer Druckluftbeaufschlagung vermisst. Ebenso ist unklar, wie bei betrieblichen Störfällen, wie z. B. dem Versagen/Zusetzen von Schutzfluidleitungen, verfahren werden soll.

## 6 ZUSAMMENFASSUNG

Nach vorlaufenden Gesprächen 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 Schachanlage Asse II verständigt. Übergeordnetes Ziel ist es „...weitere Maßnahmen zur Verbesserung der Sicherheitssituation der Asse...“ zu prüfen und bei Bedarf durchzuführen. Dabei steht die Prüfung ergänzender bzw. alternativer Stilllegungsmaßnahmen im Mittelpunkt.

Zur Realisierung der o. g. Zielstellung wurde die „Arbeitsgruppe Optionenvergleich“ (AGO) gegründet, in der neben den Ministerien drei von der zwischenzeitlich konstituierten „Begleitgruppe Asse-II“ des Landkreises Wolfenbüttel ausgewählte Experten vertreten sind. Erster Prüfungsschwerpunkt der Arbeitsgruppe ist die Auseinandersetzung mit einem Bericht des Betreibers, welcher die Herleitung des von ihm gewählten Stilllegungskonzeptes beschreibt und begründet (HMGU 2008a).

Die vorliegende Stellungnahme dokumentiert die Ergebnisse der Prüfung des Berichtes „Entwicklung und Beschreibung des Konzeptes zur Schließung der Schachanlage Asse“ (HMGU 2008a) entsprechend der in AGO (2008a) formulierten Zielstellung und entsprechend der Kriterien Vollständigkeit, Nachvollziehbarkeit, Plausibilität, technische Machbarkeit und nachweisliche Wirksamkeit.

Eine verbindliche Festlegung zur Herleitung und Darstellung von Stilllegungsoptionen existiert nicht. Die von der AGO an die Herleitung und Darstellung von Stilllegungsoptionen für die Asse formulierten Anforderungen sind in Kapitel 1.2 dokumentiert.

### **Zur Beurteilung der Vollständigkeit**

Die Ausführungen des HMGU zur Entwicklung und Beschreibung des Schließungskonzeptes der Schachanlage Asse II werden in wesentlichen Punkten als unvollständig erachtet.

Die Beschreibung der Standortbedingungen ist nur zum Teil vollständig. Die Angaben zur gebirgsmechanischen Situation, zum Grubengebäude und zu den Einlagerungsorten sind im Hinblick auf eine Beurteilung der Ausgangssituation weitgehend vollständig. Die im Herleitungsbericht fehlenden Detailangaben zur geologischen und hydrogeologischen Situation, bezüglich des Abfallinventars und der gegenwärtigen Situation in den Einlagerungskammern sowie zur Beschaffenheit der Abfälle und zur stofflichen Zusammensetzung der Abfälle und Fixierungsmitteln der eingelagerten Gebinde finden sich nur teilweise in weiterführenden (jedoch im Herleitungsbericht nicht zitierten) Unterlagen. Für eine detaillierte Bewertung insbesondere der physikalisch-chemischen Wechselwirkungen reichen diese Angaben nicht aus.

Die Darstellungen der Stilllegungsalternativen und der betrachteten Schließungskonzepte sind unvollständig. Die Ermittlung des von HMGU präferierten / geplanten Stilllegungskonzeptes erfolgte nach Auffassung der AGO nicht systematisch und umfassend. Somit ist fraglich, ob es sich um ein „optimales“ Konzept handelt. Die Auswahl der durch das HMGU dargestellten Handlungsoptionen ist frühzeitig eingeschränkt und beinhaltet nicht alle denkbaren Stilllegungsoptionen. Es werden alternativ zum Schutzfluidkonzept lediglich die aus Sicht des HMGU unter den gegebenen Randbedingungen möglichen Optionen „natürliches Vollaufen“ (ohne weitere Maßnahmen) und „Rückholung“ aufgezählt und bewertet. Die Untersuchung von Optionen zur Schließung der Schachanlage ohne eine Flutung des Resthohlraumvolumens erfolgt nicht mit dem nötigen Tiefgang. Auch die Darstellungen zur Option Rückholung sind unvollständig. Es wird weiter nicht dargestellt, wie ein sicherer Einschluss der MAW-Kammer – besonders im Rahmen eines Störfallszenarios – gewährleistet werden kann.

Die Darstellung des Sicherheitskonzeptes für die Nachbetriebsphase ist ebenfalls unvollständig. Die Einschränkung auf die Transportprozesse über den Lösungspfad ist nicht plausibel. Auch der Transport über den Gaspfad sollte im strategischen Sicherheitskonzept Berücksichtigung finden. Der Gesichtspunkt der Trockenhaltung des Endlagers wird von vorne herein nicht betrachtet. Die genannten strategischen

Elemente des Sicherheitskonzeptes sind grundsätzlich richtig erkannt worden. Die Ausführungen zum Sicherheitskonzept für die Betriebsphase sind hinsichtlich einer Störfallbetrachtung unvollständig.

Die Darstellung der potentiellen Einzelmaßnahmen für das von HMGU gewählte Schließungskonzept wird als weitgehend vollständig angesehen. Unzureichend ist die Diskussion der einzelnen Maßnahmen im Hinblick auf die chemischen Wechselwirkungen des Schutzfluids mit den radioaktiven Abfällen, den Gebindebestandteilen, den eingebrachten Versatzstoffen und als Sekundärfolge nicht quantifizierten Auf- und Umlösungsprozessen an dem weiträumig aufgeschlossenen Carnallit, mit der Folge der Verminderung der Standsicherheit. In diesem Zusammenhang fehlen auch Angaben zum Umfang und zur Qualität der Untersuchung der quantitativen mineralischen Zusammensetzung des Staßfurt-Flözes (Carnallit). Insbesondere fehlt eine Betrachtung der chemischen Wechselwirkungen zwischen den nichtradioaktiven und toxischen Gebindeanteilen und deren Folgen (z .B. Entstehung zündfähiger und toxischer Gasgemische).

Die mögliche Bildung einer aufschwimmenden organischen Phase über dem Schutzfluid und die daraus resultierenden Gefahren für Messeinrichtungen, Schachtverschlüsse und ggf. andere wichtige Einrichtungen werden nicht angesprochen.

Das Problem ggf. auftreibender Abfallgebinde im Falle einer Flutung mit Schutzfluid, sowie bei der Einbringung von fließfähigem Sorelbeton ist nicht erwähnt

Nicht betrachtet werden in HMGU (2008a) die Wegsamkeiten, die erforderlich sind, um ein Entweichen der Gasphase bei Flutung zu ermöglichen. Die Auswirkungen möglicherweise eingeschlossener Grubenluft werden nicht bewertet. Es bleibt unklar, welche Maßnahmen ergriffen werden können, wenn die geplanten Schutzfluidmengen nicht eingeleitet werden können.

Bezüglich der wichtigen Lösungszutritte an der Südflanke werden die bekannten Tatsachen über die Migrationswege und das Lösungsreservoir im Deckgebirge nicht ausreichend beschrieben.

### **Zur Beurteilung der Nachvollziehbarkeit**

Insgesamt unzureichend ist die Nachvollziehbarkeit der in HMGU (2008a) getroffenen Aussagen und Festlegungen. Es werden bis auf wenige Ausnahmen (vier Asse-spezifische Berichte) keine Literaturquellen genannt und keine näheren Informationen zur Datengrundlage geliefert. Somit fehlen für das Verständnis und die Beurteilung der Plausibilität der beschriebenen Standortbedingungen, technischen Machbarkeit und Wirksamkeit der vorgeschlagenen Maßnahmen notwendige Hintergrundinformationen und der notwendige Bezug zu den Primärdaten. Von der AGO wurde versucht dieses Manko durch intensive Befassung mit den zur Verfügung stehenden weiterführenden Unterlagen zu kompensieren soweit dies in der zur Verfügung stehenden Zeit möglich war.

Aufgrund fehlender detaillierter zeichnerischer Darstellungen wird die Nachvollziehbarkeit der Aussagen zu den Standortverhältnissen erschwert. Ebenso ist die Nachvollziehbarkeit der ohnehin spärlichen Angaben zum Abfallinventar ohne Verweis auf entsprechende Quellen unzureichend. Die geologische Beschreibung der Einlagerungsorte der Abfälle ist zu allgemein gehalten und so ebenfalls nicht nachvollziehbar.

Die genannten, alternativen Ausführungskonzepte für Stabilisierungsmaßnahmen, Maßnahmen zur Begrenzung der Schadstoffmobilisierung, die Anforderungen an das Schutzfluid, die Strömungsbarrieren, Schachtverschlüsse u. ä. werden zwar plausibel dargestellt, sind jedoch ohne die Kenntnis zugrundeliegender Ausführungsplanungen nur eingeschränkt nachvollziehbar.

### **Zur Beurteilung der Plausibilität**

Die Plausibilität der in der Beschreibung der Standortbedingungen gemachten insgesamt knappen Angaben zu den geologischen und hydrogeologischen Verhältnissen und zur bergbaulichen und geotechnischen Situation ist ohne entsprechende Querverweise nicht im Detail zu beurteilen.

Als grundsätzlich plausibel werden die Angaben zu folgenden Sachverhalten eingeschätzt:

- Grundsätzlicher geologischer Bau des Untersuchungsgebietes (Lagerungsverhältnisse, Strukturbau, tektonische Situation), unter Berücksichtigung der Kenntnislücken bezüglich des tieferen Untergrundes, des strukturellen Baus des Nebengebirges und den Modalitäten der Genese der Salzstruktur,
- Bergbauliche Verhältnisse im Grubengebäude,
- Geomechanische Situation der Tragelemente des Bergwerks,
- Existenz eines Lösungszutritts und seiner Herkunft aus dem Deck-/Nebengebirge,
- Existenz von großflächig aufgeschlossenen Carnallitvorkommen.

Beim derzeitigen Kenntnisstand ergeben sich aus Sicht der AGO insbesondere zu folgenden Punkten Unklarheiten oder Unplausibilitäten:

- Hydrogeologische Verhältnisse im Neben- und Deckgebirge und Datenbasis,
- Bewertung der Lagerungsverhältnisse und Bedeutung der Anhydritmittel des z3AM in der Salzstruktur,
- Geomechanische Gegebenheiten und Parameter im Deckgebirge,
- Zuflusspfad der zutretenden Deckgebirgslösungen und dessen hydraulische Wirksamkeit,
- Beginn und Ort des Lösungszutritts sowie zeitliche Entwicklung des Chemismus und der gefassten Mengen,
- Quantitative mineralogische und chemische Zusammensetzung des Carnallitits und in deren Folge die erforderliche Zusammensetzung des Schutzfluids,
- Zeitpunkt möglicher progressiver Änderungen der geomechanischen Verhältnisse,
- Chemische und physikalische Wechselwirkungen im System Abfälle, Carnallit, Schutzfluid, Versatzmaterialien.

Es wird plausibel ausgeführt, dass es mit technischen Mitteln nicht möglich ist, die vorhandenen Eintrittsstellen von Salzlösungen in situ abzudichten. Unabhängig von den o.a. Unklarheiten und Unplausibilitäten sind die Konsequenzen des Szenarios eines Volllaufens des Grubengebäudes mit natürlich zutretender Salzlösung langfristig unbekannter Zusammensetzung plausibel beschrieben. Die negativen Auswirkungen auf das Tragsystem und die Schadstoffausbreitung werden plausibel analysiert.

Das von HMGU dargestellte Sicherheits- und Nachweiskonzept basiert auf den Standortgegebenheiten und ist in sich folgerichtig und plausibel. Bei der Plausibilität der vorgeschlagenen technischen Maßnahmen bestehen im Einzelnen offene Punkte. Dies betrifft z.B.

- die Wechselwirkungen des Schutzfluids mit dem Mg-Depot, den Zementphasen sowie dem Ronnenbergversatz und die Rückwirkungen auf das (Um-)Lösepotential für Carnallit,
- die negative Beurteilung von Injektionsmaßnahmen zur Ertüchtigung des Versatzkörpers,
- die Auftriebssicherheit der Abfallgebinde bei der Verfüllung der MAW-Kammer mit Sorelbeton,
- die diversitäre Auslegung des Schachtverschlussystems bei verschiedenen Beanspruchungsszenarien,
- die Festlegung des Flutungspegels zu Beginn der Druckluftbeaufschlagung und
- die Machbarkeit der Lenkung der Lösungsbewegung durch Strömungsbarrieren.



## **Zur Beurteilung der technischen Machbarkeit**

Die technische Machbarkeit der einzelnen, in HMGU (2008a) vorgeschlagenen Maßnahmen zur Umsetzung des Schließungskonzeptes kann ohne die Kenntnis zugrundeliegender Ausführungsplanungen nicht im Einzelnen beurteilt werden. Vom Betreiber wird konstatiert, dass alle vorgeschlagenen Maßnahmen technisch durchführbar und teilweise vergleichbar an anderen Standorten bereits erprobt bzw. erfolgreich umgesetzt worden seien. Die grundsätzliche technische Machbarkeit der Einbringung von Salzlösungen bzw. fließfähigen Versatzstoffen sei gegeben und entspreche dem Stand der Technik. Insbesondere die technische Flutung und die Einbringung von Spül- oder Pumpversatz wurden als Stilllegungsmaßnahmen von Kalibergwerken bereits vielfach durchgeführt und seien daher nach Ansicht des HMGU machbar und technisch erprobt. Die technische Machbarkeit der Schutzfluideinleitung und Druckluftbeaufschlagung sei somit gewährleistet.

In HMGU (2008a) wird hinsichtlich der Druckluftbeaufschlagung auf Gasspeicherung in Kavernen und gespannte Gaspolster in bereits verschlossenen Salzbergwerken verwiesen. Die Anführung von Beispielen, bei denen Gase unter Druck in Salzformationen eingeschlossen sind, kann jedoch einen standortspezifischen Machbarkeits- und Sicherheitsnachweis nicht ersetzen. Eine Übertragbarkeit der dort gewonnenen Erfahrungen wird vom HMGU zwar konstatiert, jedoch nicht nachgewiesen.

Ebenso bestehen hinsichtlich der Sicherstellung einer vollständigen Aufsättigung aller Grubenbereiche mit der notwendigen Menge an Schutzfluid, dem planmäßigen Entweichen der durch das Schutzfluid verdrängten Gasphase sowie einer gesicherten Aufrechterhaltung eines konstanten pneumatischen Innendruckes von 1-1,5 MPa im vorliegenden Bericht Lücken. Die grundsätzliche technische Machbarkeit der mannlosen Schutzfluideinleitung und der Druckluftbeaufschlagung kann zwar auf Grundlage der vorliegenden Unterlagen nicht ausgeschlossen werden, jedoch existieren ausführungstechnische Schwierigkeiten und sicherheitliche Risiken.

Der Nachweis der technischen Machbarkeit und Wirksamkeit der massiven Strömungsbarrieren erfolgte durch den Bau einer Pilotströmungsbarriere aus Sorel-Beton, welche nach Angaben des Betreibers die gestellten Anforderungen hinsichtlich Standsicherheit und Gebrauchstauglichkeit erfüllt. Der Nachweis der langfristigen Wirksamkeit einer solchen Barriere ist damit jedoch nicht erbracht und kann nur indirekt durch Modellrechnungen erfolgen. Auslegungsberechnungen, Nachweisführungen zur Lagestabilität der Barrieren und zur Integrität des umgebenden Gebirges und bautechnische Nachweise zur Tragfähigkeits- und Gebrauchstauglichkeit der Strömungsbarrieren liegen zur Beurteilung nicht vor.

Die technische Machbarkeit des speziellen Schachtverschlusses wird zwar als gegeben erachtet, kann aber durch Beispiele aus dem Salzbergbau nur eingeschränkt belegt werden. Der Einbau einer kohäsiven Sorel-betonsäule als langzeitsetzungsstabiles Widerlagerelement ist aus dem Salzbergbau bislang nicht bekannt.

## **Zur Beurteilung der nachweislichen Wirksamkeit**

Die nachweisliche Wirksamkeit der technischen Maßnahmen im Schließungskonzept wird nur zum Teil durch Verweise belegt. Konkret erfolgt dies nur für die Wirksamkeit der Maßnahmen zur mechanischen Stabilisierung des Grubengebäudes (Schutzfluid, Druckluftbeaufschlagung) durch den Verweis auf von externen Sachverständigen durchgeführte numerische Berechnungen zur Tragfähigkeitsanalyse (KAMLOT et al, 2006). Die nachweisliche Wirksamkeit der sonstigen Maßnahmen, wie Strömungsbarrieren, Mg-Depots, Schachtverschlüsse u. ä. kann auf der Basis des Herleitungsberichtes dementsprechend nicht abschließend beurteilt werden.

## **Schlussfolgerungen**

Die sich aus den gegebenen Standortbedingungen der Schachthanlage Asse II ergebenden Randbedingungen für die Planung von Stilllegungskonzepten und -maßnahmen stellen sich für die AGO auf der Basis der vorliegenden Unterlagen wie folgt dar:

Das Bergwerk weist einen hohen Durchbauungsgrad und ein hinsichtlich dauerhafter Isolation der Abfälle sehr ungünstiges Design auf.

Große Teile der Grubenbaue sind bereits verfüllt. Das Verfüllmaterial weist zum Teil erhebliche Anteile an Porenraum auf (Blasversatz, Salzgrus).

Das Leinsteinsalz in der Nordflanke bildet eine derzeit offensichtlich wirksame geologische Barriere (über die Barriereigenschaften der Hangendschutzschicht zwischen oberster Sohle und Salzspiegel kann aufgrund der fehlenden Referenzen zu Lagerstättenkartierung oder eines belastbaren geologischen Lagerstättenmodells sowie wegen des unklaren Verlaufs der Anhydritmittel des Anhydritmittelsalzes derzeit keine Aussage getroffen werden).

Neben Steinsalz ist Carnallit großflächig aufgeschlossen und im Strukturscheitel sind große Carnallitmengen für potentielle Lösungsprozesse verfügbar.

Es sind Carnallitaufschlüsse auch in einzelnen Einlagerungskammern zu vermuten.

Sowohl im Bereich des Salzstrukturscheitels (Salzspiegel) als auch an den Flanken der Salzstruktur sind mobile Grundwässer mit möglichem Anschluss an leistungsfähige Aquifere verfügbar.

Im Bereich der Südflanke besteht aufgrund der geringmächtigen Salzbarriere und der geomechanisch bedingten Schädigungsprozesse ein Integritätsverlust.

Der Integritätsverlust hat zu einem Zutritt von Grundwässern aus dem Nebengebirge geführt.

Der Zutrittsbereich ist wegen des Salzgrusversatzes an der Südflanke nicht mehr direkt erreichbar.

Die Einlagerungskammern des LAW sind mit benachbarten Grubenhohlräumen über eine Vielzahl von Wegsamkeiten (Grubenbaue, Auflockerungszonen) hydraulisch verbunden.

Das Tragsystem des Baufeldes in der Südflanke befindet sich im Grenzzustand der dilatanten Entfestigung in deren Folge eine durchgehende Auflockerungszone mit erhöhten Durchlässigkeiten entstanden ist.

Die Schädigungsprozesse in der desintegrierten Steinsalzbarriere und die Auswirkungen der Verformungen auf das Deckgebirge dauern aufgrund der gewählten nachgiebigen Hohlraumverfüllung mit pneumatisch eingebrachtem Salzgrus in der Südflanke weiter an.

Der verbleibende Zeitraum für die Durchführung von Stilllegungsmaßnahmen ist beim derzeitigen Zustand des Tragsystems begrenzt, da ohne zusätzliche stabilisierende Maßnahmen beschleunigte Verformungen und in deren Folge auch stark zunehmende Lösungszuflüsse nicht ausgeschlossen werden können.

Für den Fall beschleunigter Verformungen und in ihrer Folge möglicherweise stark zunehmender Lösungszuflüsse bestehen nur eingeschränkte Möglichkeiten der Gefahrenabwehr.

Die zutretenden Lösungen sind über Grubenbaue, Bohrungen in Pfeilern und Schweben und durch die Auflockerungszone z. T. bereits bis zur 750-m-Sohle, auf der die meisten Einlagerungskammern liegen, vorgedrungen.

Transportpfade im Deckgebirge, mögliche Zutrittsmengen und der Lösungsschemismus der zutretenden Lösungen und damit der sich einstellende Zustand im Grubengebäude sind beim derzeitigen Kenntnisstand nicht sicher zu prognostizieren.

Der Bericht enthält darauf aufbauend ein mögliches Konzept für die Stilllegung und für den Nachweis der Langzeitsicherheit, welches abgesehen von den aufgezeigten offenen Punkten (vgl. Seite 33f) zur technischen Machbarkeit und Wirksamkeit in sich folgerichtig ist. Die gewählte Stilllegungsoption wurde aber nicht systematisch ermittelt. Die von HMGU präferierte Stilllegungsoption „Schutzfluidkonzept“ erscheint in Anbetracht der gegebenen standort- und systemspezifischen Randbedingungen als eine Möglichkeit, in dem System Verhältnisse herzustellen, die eine Prognose des zukünftigen Verhaltens mit hinreichender Sicher-

heit erlauben, sofern alle offenen Punkte eindeutig und mit ausreichendem Tiefgang beantwortet werden können.

Diese von HMGU präferierte Option hat jedoch den grundlegenden Nachteil, dass bewusst in Kauf genommen wird, dass ein Reaktions- und Transportmedium für Radionuklide zu einem frühen Zeitpunkt in Kontakt zu den radioaktiven Abfällen kommt. Der Argumentation von HMGU, dass für das natürliche Volllaufen des Grubengebäudes mit Deckgebirgslösung die Prognosesicherheit für die Nachbetriebsphase eingeschränkt sei und somit keine belastbare Prognose der gebirgsmechanischen und geochemischen Entwicklung sowie der Schadstoffausbreitung möglich wäre, mit denen gemäß Sicherheitskonzept ein Langzeitsicherheitsnachweis für den Standort geführt werden könnte, ist nach dem derzeitigen Kenntnisstand trotzdem zu folgen.

Die Darstellung und Bewertung möglicher alternativer Stilllegungsoptionen ist nicht vollständig, und die Herleitung des gewählten Stilllegungskonzeptes ist nicht in jedem Punkt nachvollziehbar. Der Herleitungsbericht enthält nur wenige Verweise auf vertiefende Unterlagen. Die Aussagen des Herleitungsberichtes sind daher über weite Strecken nicht begründet.

Die bei einem vollständigen Optionenvergleich zu berücksichtigenden Stilllegungsoptionen sollten sich primär auf die eingelagerten Abfälle beziehen, von denen die potentiellen Risiken ausgehen. Damit lassen sich für die Stilllegung der Schachanlage Asse II folgende Optionen unterscheiden:

- I Schließung mit Verbleib der radioaktiven Abfälle am derzeitigen Ort
- II Rückholung aller oder eines Teiles der radioaktiven Abfälle
- III Interne Umlagerung der radioaktiven Abfälle

Für diese Optionen sind wiederum in einem transparenten Verfahren verschiedene Varianten zu untersuchen, vergleichend zu bewerten und die unter dem Aspekt der Betriebs-, Störfall- und Langzeitsicherheit, sowie des Grundwasser- und Oberflächenschutzes beste Option auszuwählen. Dazu gehören vor allem die Aspekte Betriebs-, Störfall- und Langzeitsicherheit. Erst auf diesem Ergebnis kann dann die beste Option ausgewählt werden.

Die Prüfung der Optionen und Varianten für die Stilllegung muss auch mögliche Störfälle und ihre Auswirkung in der Biosphäre umfassen. Auch die Konsequenzen im Fall eines unkontrollierten Absaufens des Bergwerkes während der Umsetzung einer Handlungsoption sind bei der Prüfung zu beachten. Hierzu werden Aussagen in der Störfallanalyse der Asse bzw. in der Störfallanalyse für die Rückholung der MAW erwartet.

## LITERATURVERZEICHNIS

- AGO (2008a): Agenda für die Tätigkeit der „AG Optionenvergleich“- Bericht der Arbeitsgruppe Optionenvergleich, Stand:18.03.2008, Karlsruhe, unveröff.
- AGO (2008b): Kriterien für die Beurteilung von Handlungsoptionen für die Stilllegung der Schachanlage Asse II.- Bericht der Arbeitsgruppe Optionenvergleich, Stand:14.04.2008, Karlsruhe, unveröff.
- AKEND (2002): Auswahlverfahren für Endlagerstandorte - Empfehlungen des AkEnd – Arbeitskreis Auswahlverfahren Endlagerstandorte. – Abschlussbericht, Langfassung, Dezember 2002, 260 S.
- ALTMAYER, M., METZ, V., NECK, V., MÜLLER, R., UND FANGHÄNEL, T. (2003): Solid-liquid equilibria of  $Mg(OH)_2(cr)$  and  $Mg_2(OH)_3Cl \cdot 4H_2O(cr)$  in the system Mg-Na-H-OH-Cl-H<sub>2</sub>O at 25°C. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 67, 3595-3601
- BALTES, B., RÖHLIG, K.-J. & KINDT, A. (2007): Sicherheitsanforderungen an die Endlagerung hochradioaktiver Abfälle in tiefen geologischen Formationen – Entwurf der GRS. – Bericht - GRS-A-3358, Auftrags-Nr. 854752, (erstellt im Auftrag des BMU), Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Januar 2007.
- BFS (2005): Konzeptionelle und sicherheitstechnische Fragen der Endlagerung radioaktiver Abfälle - Wirtsgesteine im Vergleich. – Synthesebericht des Bundesamtes für Strahlenschutz, BfS-17/05, Wirtschaftsverlag NW; Salzgitter, November 2005.
- BFS (2007a): Prüfung von Unterlagen zur Schließung der Schachanlage Asse II im Hinblick auf die Anforderungen eines atomrechtlichen Planfeststellungsverfahrens. – unveröff Bericht des Bundesamtes für Strahlenschutz, BfS-SE-IB 23/07; Salzgitter, 26. September 2007.
- BMI (1983a): Sicherheitskriterien für die Endlagerung radioaktiver Abfälle in einem Bergwerk. *Bundesanzeiger* 35 (1983) Nr. 2 S. 45/46
- BMI (1983b): Rahmenrichtlinie über die Gestaltung von Sachverständigengutachten in atomrechtlichen Verwaltungsverfahren. – Bek. D. BMI v. 15.12.1983 – RS I 6 – 513 820/4 -
- BMU, BMBF & NMU (2007): Gemeinsame Pressemitteilung von BMU, BMBF, NMU.- 21.11.2007
- FCIT (2006): Gutachterliche Stellungnahme zu einer Rückholung der in der Schachanlage Asse II eingelagerten radioaktiven Abfälle. Erstellt von Fichtner Consulting & IT, September 2006.
- GERSTMANN, U., MEYER, H. & THOLEN, M. (2002): Bestimmung des nuklidspezifischen Aktivitätsinventars der Schachanlage Asse. - GSF-Abschlußbericht, Auftrags-Nr. 31/179 294/99, FE Nr. 76277 – GSF - Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit, August 2002. **[PU-IV.10 c]**
- HMGU (2008a): Entwicklung und Beschreibung des Konzeptes zur Schließung der Schachanlage Asse. - Bericht des Helmholtzzentrum München, Stand: März 2008.
- KAMLOT, P., BRÜCKNER, D. & GÜNTHER, R.-M. (2006): Tragfähigkeitsanalyse des Gesamtsystems der Schachanlage Asse in der Betriebsphase. – Bericht im Rahmen der LVB II des Rahmenvertrages „Gebirgsmechanische Modellierung“ Auftrags-Nr. B IfG 19/2003, Rev. 02 – Institut für Gebirgsmechanik GmbH, Leipzig, 06.10.2006. **[PU-IV.8 e]**
- PRÖHL, G. (2006): Abschätzung der potentiellen Strahlenexposition in der Nachbetriebsphase der Schachanlage Asse. – Auftrags-Nr. 31/181168/99/T, FE-Nr. 76278 - GSF - Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit - Institut für Strahlenschutz, Oktober 2006. **[PU-IX.5 c]**

## Anhang 1: Der AGO auf ihre Anforderung zur Verfügung gestellten Unterlagen des Betreibers HMGU

- BATSCHKE, H., KLARR, K. & v. STEMPEL, Ch. (1994): Hydrologisches Forschungsprogramm Asse, Abschlußbericht. – Abteilungsbericht IfT 4/94. Textband: 461 S., Anlagenband 662 S., Institut für Tief Lagerung, GSF - Forschungsbergwerk Asse, unveröffentlichter Bericht, Braunschweig.
- BAUER, M., KÜSTERMANN, W., DEUBEL, K., FISCHER, K.-H., SEITZ, R. & VORMBAUM, M., (1998): Ergebnisbericht Reflexionsseismik, Bohrlochseismik, Seismische Arbeiten zur Struktur erkundung des Deckgebirges im Gebiet des Forschungsbergwerkes Asse - Hauptphase. - Geophysik GGD, 95 S. 31/170263/97/T, Asse, Remlingen.
- BRACKE, G. & MÜLLER, W. (2005): Realistische und maximale Gasbildung in der Schachtanlage Asse. – ISTec-A-979. Institut für Sicherheitstechnologie (ISTec) GmbH; Garching, 11.07.2005. **[PU-VI.2b Ae]**
- BUCHHEIM, B. (2002): Inventar chemischer und chemotoxischer Stoffe von radioaktiven Abfällen in der Schachtanlage Asse. – Buchheim Engineering, Abschlussbericht, Dezember 2002.
- BUCHHEIM, B., MEYER, H. & STOLZENBERG, G. (2006a): Bestimmung eines Quellterms für chemische und chemotoxische Stoffe in den Einlagerungsbereichen der Schachtanlage Asse mit radioaktiven Abfällen und Versatzstoffen. – Abschlussbericht. – GSF - Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit - Forschungsbergwerk Asse, November 2006. **[PU-VI.2a Ca]**
- BUCHHEIM, B., MEYER, H. & STOLZENBERG, G. (2006b): Prüfung auf Einhaltung der wasserrechtlichen Bestimmungen von chemischen und chemotoxischen Stoffen der eingelagerten Abfälle und Versatzstoffe in der Schachtanlage Asse - Abschlussbericht. – GSF - Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit - Forschungsbergwerk Asse, Dezember 2006. **[PU-IX.7 a]**
- BUCHHEIM, B., MEYER, H. & THOLEN, M. (2004): Bestimmung des Inventars an chemischen und chemotoxischen Stoffen in den eingelagerten radioaktiven Abfällen der Schachtanlage Asse. – Abschlussbericht, GSF - Forschungszentrum GmbH, März 2004. **[PU-IV.10 g]**
- BUHMANN, D. (2006): Probabilistische Unsicherheitsanalyse für den Standort Asse auf Basis der kombinierten Variante. – GRS-A-3347, Rev.00, Auftrags-Nr. 420401, Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH (erstellt im Auftrag der DBE Technology GmbH), 12.12.2006. **[PU-IX.5 g]**
- BUHMANN, D., FÖRSTER, B. & RESELE, G. (2006): Gesamtbewertung der Langzeitsicherheit für den Standort Asse (Konsequenzenanalyse). - Colenco-Bericht 3762/01, GRS-A-3350, Rev.00, GRS-Auftrags-Nr. 420401, Colenco Power Engineering AG, Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, 12.12.2006. **[PU-X a]**
- BUHMANN, D., GRUPA, J. B., HART, J., POPPEI, J. & RESELE, G. (2005): Fluid- und Radionuklidtransport am Standort Asse, Projekt Langzeitsicherheit Asse - Transportmodellierung. – Abschlussbericht - NRG Bericht ALSA-C-1.5B-NR145, 20995/05.68275/I, NRG, Colenco, GRS; Petten, Niederlande, 27.07.2005. **[PU-VI.3 f]**
- BUHMANN, D., MÖNIG, J., POLEY, A. D., POPPEI, J. & RESELE, G. (2006): Fluid- und Radionuklidtransport am Standort Asse, Projekt Langzeitsicherheit Asse - Transportmodellierung. – Ergänzungsbericht - NRG Bericht ALSA-C-10.4B-NR227, 21889/06.77241/I, NRG, Colenco, GRS; Petten, Niederlande, 12.12.2006. **[PU-VI.3 i]**
- COLENCO (2004): Grundwasserbewegung im Deckgebirge des Standortes Asse - Südflanke, Bericht 3247/08, Colenco Power Engineering AG, 12. März 2004.
- COLENCO (2005): Deckgebirgsmodellierung Phase III - Grundwasserbewegung im Deckgebirge des Standortes Asse (Ergänzungsbericht zu Phase II). Colenco Bericht 3331/57, Colenco Power Engineering AG, November 2005.
- EIKMEIER, V., FÖRSTER, B., HENSEL, G., KAPPEI, G., STOCKMANN, N. & TEICHMANN, L. (2006): Herleitung und Beschreibung des Konzepts zur Schließung der Schachtanlage Asse. - Projekt Langzeitsicherheit Asse, GSF - Schließungskonzept, Bericht der GSF, Rev. 05, 02.10.2006. **[PU-V.2 c]**

- ERCOSPLAN (2005): Machbarkeitsstudie Druckluft - Druckluftereinspeisung zur Stabilisierung der Grubenbaue während der Einleitung von Schutzfluid oberhalb 679-m-Teufe im Bergwerk Asse II. – Ingenieurgesellschaft Geotechnik und Bergbau mbH, Erfurt, 31.03.2005.
- FÖRSTER, B., HENSEL, G., TAYLOR, T. & TEICHMANN, L. (2006): Einfluss der Schachtanlagen Asse I und III auf die Schließung der Schachtanlage Asse II. - Projekt Langzeitsicherheit Asse, GSF - Schachtanlage Asse, Bericht der GSF, Rev. 00, Dezember 2006. **[PU-IV.4 b]**
- FÖRSTER, B. & MARGGRAF, G. (2005): Arbeitsunterlage für die geochemische Milieustudie in den Einlagerungskammern: Verfüllkonzeption für die Einlagerungskammern der 750-m und 725-m Sohle für den Fall der Beeinflussung des geochemischen Milieus durch Brucit (Verfüllkonzept G). – MS Excel Datei \Milieu\_Stand\_21.04.05\_G.xls\ GSF-Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit, FB Asse, Projekt Langzeitsicherheit Asse, Remlingen, Stand 21.04.2005.
- FÖRSTER, B. & MARGGRAF, G. (2006): Konzeptionelles Modell für die Verfüllung der Einlagerungsbereiche. - Projekt Langzeitsicherheit Asse, GSF - Verfüllkonzept Einlagerungsbereiche, Bericht der GSF, Rev. 00, März 2006. **[AU-V.2b d]**
- FÖRSTER, B., MARGGRAF G. & TEICHMANN L. (2005): Verfüllkonzeption für die Einlagerungskammer 8a/511 (MAW). – GSF-Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit, Arbeitsunterlage, 20.04.2005.
- FÖRSTER, B. & TEICHMANN, L. (2006). Einbauorte von Strömungsbarrieren. - Projekt Langzeitsicherheit Asse, GSF - Einbauorte Strömungsbarrieren, Bericht der GSF, Rev. 04, 31.10.2006. **[AU-V.2c e]**
- FZK-INE (2004): Nachweis der geochemischen Wirksamkeit von Versatzstoffen aus Mg-Hydroxid/Mg-Oxychlorid in Q-Lösung. Abschlussbericht, FZK-INE 006/04, Stand: November 2004.
- FZK-INE (2005): Stellungnahme zur Beständigkeit von Sorel-Phasen und Sorelbeton gegenüber Salzlösungen. – Stellungnahme, Institut für nukleare Entsorgung Karlsruhe, Dezember 2005.
- GERSTMANN, U., MEYER, H. & THOLEN, M. (2002): Bestimmung des nuklidspezifischen Aktivitätsinventars der Schachtanlage Asse. - GSF-Abschlußbericht, Auftrags-Nr. 31/179 294/99, FE Nr. 76277 – GSF - Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit, August 2002. **[PU-IV.10 c]**
- GSF (2000): Bergschadenkundliches Senkungsvorausrechnungsmodell für die Schachtanlage Asse, Stand 2000.
- GSF (2006c): Ermittlung des Volumens der Resthohlräume für das Einbringen eines Schutzfluides, Projekt Langzeitsicherheit FB Asse, Rev. 03, März 2006.
- HERZOG, C. & SCHNEIDER, L. (2001): Bestimmung der stofflichen Hauptbestandteile der in die Schachtanlage Asse eingelagerten Abfälle. – Stoller Ingenieurtechnik GmbH, Abschlussbericht, 01.11.2001.
- HEYDORN, M., HENSEL, G. & BRACKE, G. (2005): Beschreibung der Lagerbereiche der Abfälle. - Projekt Langzeitsicherheit Asse, GSF - Lagerbereiche, Bericht der GSF, 14/77756/RHV/RB/B001/02, REV 02, 20.06.2005. **[PU-IV.10 h]**
- IBEWA (2005): Permeabilitäts- und Porositätsuntersuchungen an Versatzmaterialien, Freiberg, Mai 2005.
- KAMLOT, P., BRÜCKNER, D. & GÜNTHER, R.-M. (2006): Tragfähigkeitsanalyse des Gesamtsystems der Schachtanlage Asse in der Betriebsphase. – Bericht im Rahmen der LVB II des Rahmenvertrages „Gebirgsmechanische Modellierung“ Auftrags-Nr. B IfG 19/2003, Rev. 02 – Institut für Gebirgsmechanik GmbH, Leipzig, 06.10.2006. **[PU-IV.8 e]**
- KAMLOT, P., BRÜCKNER, D., GÜNTHER, R.-M. & SCHROERS, C. (2006): Gebirgsmechanische Langzeitprognose für die Schachtanlage Asse. – Bericht im Rahmen der LVB II „Gebirgsmechanische Langzeitprognose“ Auftrag Nr. B IfG 19/2003, Rev. 02 – Institut für Gebirgsmechanik GmbH; Leipzig, 01.11.2006. **[PU-VII.2 d]**
- KAPPEI, G. & EIKMEIER, V. (2006): Verfüll- und Verschlusskonzept für die Schließung der Tagesschächte 2 und 4 des Bergwerkes Asse. (Schachtverschlusskonzept). - Bericht der GSF, 16/ERV/GH/BZ/0001/00, 15.11.2006. **[AU-V.2e b1]**

- KLARR, K. (1981): Grundlagen zur Geologie der Asse.- GSF-Bericht T117, S. 92, 5 Tabellen, GSF, Braunschweig, März 1981.
- KLEMENZ, W., LAVANCHY, J.-M., RESELE, G. & POLLER, A. (2006): Hydrogeologische Modellvorstellungen, GSF - Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit - Forschungsbergwerk Asse. – Bericht 4956/07, Rev. 03, Colenco Power Engineering AG; Baden, Schweiz, November 2006. **[PU-IV.7 d]**
- KLEMENZ, W. & RESELE, G. (2005): Geowissenschaftliche Langzeitprognose, GSF - Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit - Forschungsbergwerk Asse. – Colenco Bericht 4927/01, Colenco Power Engineering AG; Baden, Schweiz, Juni 2005. **[PU-VII.1 a]**
- KORTHAUS, E., METZ, V. & KIENZLER, B. (2005): Bewertung der Verfüllung der Grubenbaue von der 775-m-Sohle bis zur 700-m-Sohle mit R-Lösung hinsichtlich der Übertragbarkeit bisheriger Modellrechnungen und experimenteller Ergebnisse des FZK-INE und des Einflusses auf das geochemische Milieu in den Einlagerungskammern sowie die Freisetzung von Radionukliden. – FZK-INE 005/05. 8 S., Forschungszentrum Karlsruhe.
- KORTHAUS, E., METZ, V., LÜTZENKIRCHEN, J. & KIENZLER, B. (2006): Bestimmung des maximal zulässigen Lösungsaustauschs zwischen den Einlagerungskammern - Ergebnisse der Untersuchungen zum einmaligen Lösungsaustausch. – FZK-INE 010/05. Forschungszentrum Karlsruhe, 2006.
- LOMMERZHEIM, A., FÖRSTER, B., MARGGRAF, G. & TEICHMANN, L. (2006): Technisches Konzept zum Einbringen des Mg-Depots in die Einlagerungskammern und ihren Nahbereich. – Projekt Langzeitsicherheit Asse, GSF - Forschungsbergwerk Asse, Ergänzungsbericht SG 3210, Rev. 00, 30.03.2006. **[AU-V.2b c1]**
- LÜTZENKIRCHEN, J., KORTHAUS, E., METZ, V. & KIENZLER, B. (2006): Experimentelles Programm zur Bestätigung der Ergebnisse von standortspezifischen Modellrechnungen für die Schachtanlage Asse - Überprüfung der Gültigkeit thermodynamischer Rechnungen für die Einlagerungskammern bei Lösungsaustausch. – Bericht im Auftrag des GSF-Forschungszentrums - Forschungsbergwerk Asse. FZK-INE 007/06 – Institut für Nukleare Entsorgung, 15.12.2006. **[PU-VI.2a Bq]**
- LÜTZENKIRCHEN, J., VEJMEJKA, P., KIENZLER, B., LÖSCH, G., SCHLIEKER, M. & METZ, V. (2004): Experimentelles Programm zur Bestätigung der Ergebnisse von standortspezifischen Modellrechnungen für das FB Asse: Abschlussbericht Teil 4, Standortspezifische Sorptionskoeffizienten. – FZK-INE 015/03, 57 S., Forschungszentrum Karlsruhe, April 2004.
- METZ, V., KORTHAUS, E., LÜTZENKIRCHEN, J. & KIENZLER, B. (2006): Experimentelles Programm zur Bestätigung der Ergebnisse von standortspezifischen Modellrechnungen für die Schachtanlage Asse. - Standortspezifische Modellrechnungen für die Schachtanlage Asse - Berechnung des Radionuklidquellterms auf Grundlage der Verfüllkonzepte G und MAW. – Bericht im Auftrag des GSF-Forschungszentrums - Forschungsbergwerk Asse, FZK-INE 008/05 – Institut für Nukleare Entsorgung, 11.12.2006. **[PU-VI.2a Bn]**
- NIEMEYER, M. & RESELE, G. (2006): Schachtanlage Asse – Freisetzung volatiler Radionuklide auf dem Gaspfad - GSF - Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit - Forschungsbergwerk Asse. – Colenco Bericht 3331/108, Colenco Power Engineering AG; Baden, Schweiz, Oktober 2006. **[PU-IX.6 a]**
- POLLER, A., RESELE, G. & POPPEI, J. (2006): Deckgebirgsmodellierung Phase IV, Grundwasserbewegung im Deckgebirge des Standortes Asse - GSF - Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit - Forschungsbergwerk Asse. – Schlussbericht 3331/71, Colenco Power Engineering AG; Baden, Schweiz, September 2006. **[PU-IX.4 o]**
- PREURE, A. & SROKA, A. (2000): Bergschadenkundliches Senkungsvorausrechnungsmodell für die Schachtanlage Asse. Gutachterliche Stellungnahme für das GSF. - Forschungszentrum, Schachtanlage Asse. Dortmund - Dresden.
- PRÖHL, G. (2006): Abschätzung der potentiellen Strahlenexposition in der Nachbetriebsphase der Schachtanlage Asse. – Auftrags-Nr. 31/181168/99/T, FE-Nr. 76278 - GSF - Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit - Institut für Strahlenschutz, Oktober 2006. **[PU-IX.5 c]**

- RAUCHE, H., FRANZKE, H.-J. & SCHWANDT, A. (2004): Zusammenfassung der geologischen Grundlagen für die Langzeitsicherheitsbewertung der Schachtanlage Asse II. – ERCOSPLAN Ingenieurgesellschaft Geotechnik und Bergbau mbH, Projektnummer EGB 03-003; Erfurt, 16.06.2004. **[PU-IV.5 d]**
- RESELE, G. (2005): Konzeptuelles Modell für den Lösungszutritt „Scherspannungsbereich S3/D9 und Anhydritmittel“. – Memorandum 3331/66, Rev. 01, 17.08.2005, Colenco Power Engineering AG, Baden/Schweiz, 2005.
- RESELE, G. (2006): Szenarienentwicklung Asse - GSF - Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit - Forschungsbergwerk Asse. - Colenco Bericht 3331/99 (Revision von Colenco-Bericht 4927/07), Colenco Power Engineering AG; Baden, Schweiz, November 2006. **[PU-VIII d]**
- RESELE, G., POLLER, A. & KLEMENZ, W. (2005): Deckgebirgsmodellierung Phase II. Grundwasserbewegung im Deckgebirge des Standortes Asse (Abschlussbericht). - Colenco Bericht 3331/36, Colenco Power Engineering AG, März 2005.
- RESELE, G. & WILHELM, S. (2006): Schachtanlage Asse - Szenarienentwicklung Nahfeld. – Colenco-Bericht 3331/98 (Revision 2006), Colenco Power Engineering AG; Baden, Schweiz, November 2006.
- SCHROERS, C., KAMLOT, P. & GÜNTHER, R.-M. (2006): Dreidimensionale gebirgsmechanische Modellrechnungen zur Standsicherheitsanalyse des Bergwerkes Asse. – Bericht im Rahmen der LVB VIII des Rahmenvertrages „Gebirgsmechanische Modellierung“ Auftrags-Nr. B IfG 36/2004, Institut für Gebirgsmechanik GmbH; Leipzig, 03.11.2006. **[AU-IV.8 d1]**
- SROKA, A. & HÖßELBARTH, D. (2006): Bergschadenkundliche Senkungsprognose für die Schachtanlage Asse. – Bergakademie Freiberg; Dresden, Freiberg, Juli 2005 - September 2006. **[PU-IX.8 b]**
- STOCKMANN, N., HEYDORN, M., MARGGRAF, G. & HENSEL G. (2003): Zusammenstellung und Bewertung der vor 1988 im Grubengebäude der Schachtanlage Asse II aufgetretenen Salzlösungen und Gase. - Projekt Langzeitsicherheit Asse, GSF - Forschungsbergwerk Asse, Bericht der GSF, Rev. 02, 30.05.2003. **[PU-IV.9 a]**
- STOCKMANN, N., MARGGRAF, G., TAYLOR, T., TEICHMANN, L., HEYDORN, M., & HENSEL G. (2006): Zusammenstellung und Bewertung der ab 1988 im Grubengebäude der Schachtanlage Asse II aufgetretenen Salzlösungen und Gase. - Projekt Langzeitsicherheit Asse, GSF - Forschungsbergwerk Asse, Bericht der GSF, Rev. 03, Januar 2006. **[PU-IV.9 a1]**
- TEICHMANN, L., MEYER T. & HEYDORN, M. (2005): Forschungsbergwerk Asse: Technisches Konzept zum Bau von Strömungsbarrieren basierend auf Erfahrungen aus dem Bau der Pilotströmungsbarriere. - Bericht zum Projekt Langzeitsicherheit, Rev.03, DBE Technology GmbH / GSF FB Asse, Remlingen, 12.12.2005.
- TEICHMANN, L., STOLZENBERG, G., FÖRSTER, B. & STOCKMANN, N. (2006): Schutzfluidkonzept. - Projekt Langzeitsicherheit Asse, GSF - Schutzfluidkonzept, Bericht der GSF, REV 02, 31.10.2006. **[AU-V.2a b]**
- WEINBERG, H.-J. (1997): Zusammenfassender Bericht über die strukturgeologischen Untersuchungen im Asse-Sattel. – GSF-Forschungsbericht 31/170702/97/T, 52 S., 1 Abb., 4 Tab., 1 Tafel, 3 Karten, Gesellschaft für angewandte Biologie und Geol. mbH, Göttingen, unveröffentlicht.