

# **Prüfung von Unterlagen zur Schließung der Schachtanlage Asse II im Hinblick auf die Anforderungen eines atomrechtlichen Planfeststellungsverfahrens**

**Fachbereich  
Sicherheit nuklearer Entsorgung**

**Dr. Peter Brennecke, Dr. Gernot Eilers,  
Reinhard Köster, Karin Kugel,  
Dirk Laske, Kai Möller,  
Dr. Jürgen Preuss, Matthias Ranft,  
Urban Regenauer, Nicole Schubarth-Engelschall,  
Christine Schulze, Dr. Gerhard Stier-Friedland,  
Dr. Jörg Thiel, Andreas Weiser,  
Dr. Jürgen Wollrath, Hans-Jürgen Ziegler,  
Dr. Jürgen Gerler (SW 1.7)**



**Bundesamt für Strahlenschutz**

Salzgitter, 26.09.2007

# KURZFASSUNG

- Verfasser: Dr. Peter Brennecke, Dr. Gernot Eilers, Reinhard Köster, Karin Kugel, Dirk Laske, Kai Möller, Dr. Jürgen Preuss, Matthias Ranft, Urban Regenauer, Nicole Schubarth-Engelschall, Christine Schulze, Dr. Gerhard Stier-Friedland, Dr. Jörg Thiel, Andreas Weiser, Dr. Jürgen Wollrath, Hans-Jürgen Ziegler, Dr. Jürgen Gerler (SW 1.7)
- Titel: Prüfung von Unterlagen zur Schließung der Schachtanlage Asse II im Hinblick auf die Anforderungen eines atomrechtlichen Planfeststellungsverfahrens
- Stand: 26.09.2007
- Stichworte: Forschungsbergwerk Asse, Schachtanlage Asse II, Stilllegung, Langzeitsicherheitsnachweis, Vollständigkeitsprüfung, Tiefgangsprüfung, atomrechtliches Planfeststellungsverfahren

Die Schachtanlage Asse II, in der ca. 47.000 m<sup>3</sup> radioaktive Abfälle mit einer Gesamtaktivität von  $3,1 \times 10^{15}$  Bq (Stand 2002) lagern, wird von der GSF - Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit GmbH betrieben. Die Versuchseinlagerung endete 1978 und die Forschungsarbeiten wurden 1992 beendet. Zurzeit läuft das Genehmigungsverfahren zur Stilllegung. Das Bundesamt für Strahlenschutz wurde vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit mit einer Stellungnahme beauftragt, inwieweit die mit dem Abschlussbetriebsplan zur Schließung der Schachtanlage Asse II (Forschungsbergwerk Asse) vorgelegten Nachweise zur Langzeitsicherheit analog und mit gleichem Tiefgang zu einem atomrechtlichen Planfeststellungsverfahren nach Stand von Wissenschaft und Technik geführt werden. Grundlage dieser Stellungnahme sind 33 von der GSF beim Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie eingereichte Unterlagen zur Nachweisführung der Langzeitsicherheit, die dem Bundesamt für Strahlenschutz zur Verfügung gestellt wurden.

Die Vollständigkeit der vorgelegten Unterlagen wird auf Grundlage der Erfahrungen aus den atomrechtlichen Planfeststellungsverfahren Endlager Konrad und Stilllegung des Endlager für radioaktive Abfälle Morsleben bewertet. Einzelbewertungen erfolgen für die bei solchen Verfahren üblicherweise zu behandelnden Themenkomplexe. Die Themenkomplexe geologisch-hydrogeologische, bergbaulich-gebirgsmechanische und seismologische Standortbeschreibung, radioaktive Abfälle, Langzeitsicherheitsanalyse und Safety Case werden in den vorgelegten Unterlagen vollständig behandelt. Nicht vollständig behandelt werden die Planungen zum Verfüllen und Verschließen des Grubengebäudes. Auf einige Themenkomplexe wird nicht eingegangen (radiologische und allgemeine Standortbeschreibung, Analysen zum bestimmungsgemäßen Stilllegungsbetrieb, Störfallanalysen, Nachweise zur Kritikalitätssicherheit im Stilllegungsbetrieb und zur Standsicherheit der Schächte bei Beanspruchung infolge Erdbeben, Anlagensicherung, Anlagenplanung, Umweltverträglichkeitsprüfung, Maßnahmen zum Abschluss des Betriebes), was zum Teil darin begründet ist, dass dem Bundesamt für Strahlenschutz ausschließlich 33 Unterlagen zur Langzeitsicherheit vorgelegt wurden.

Die Prüfung des Tiefgangs der vorgelegten Unterlagen erbrachte das Ergebnis, dass in Teilaspekten die für ein atomrechtliches Planfeststellungsverfahren zur Stilllegung eines Bergwerks mit radioaktiven Abfällen notwendigen Nachweise in dem erforderlichen Tiefgang dargestellt sind (seismologische Standortbeschreibung, Radionuklidinventar, Tragfähigkeitsanalyse, gebirgsmechanische Langzeit- und Senkungsprognose, Grundwassermodellierung, geologische Langzeitprognose, Szenarienanalyse, Berechnung des Radionuklidquellterms, Biosphärenmodell, Gasbildung). Andere Teilaspekte weisen diesen Tiefgang jedoch nicht oder nicht in allen Punkten auf (allgemeine Standortbeschreibung, geologische Standortbeschreibung, Kritikalität, Planungen und Nachweise zum Verfüll- und Verschlusskonzept, grundwasserrelevante Aspekte, Langzeitsicherheitsnachweis). Auf einige notwendige Teilaspekte wird in den Unterlagen nicht eingegangen (radiologische Standortbeschreibung, Sicherheitsanalyse für den bestimmungsgemäßen Stilllegungsbetrieb, Störfallanalyse). Da weitere Unterlagen zur Langzeitsicherheit nicht zur Verfügung gestellt wurden, war es

nur in wenigen Fällen möglich, die Qualität und Quantität der Daten, auf welchen der Langzeitsicherheitsnachweis basiert, in die Tiefgangsprüfung einzubeziehen. Eingeschränkt sind aus diesem Grund auch Aussagen zum Stand von Wissenschaft und Technik der angewandten Auswertemethoden und Berechnungsverfahren sowie der vorgesehenen Verfüll- und Verschlussmaßnahmen.

Aus Sicht des Bundesamt für Strahlenschutz sind die zur Prüfung vorgelegten 33 Unterlagen im Hinblick auf ein atomrechtliches Planfeststellungsverfahren nicht vollständig. Sie weisen nicht für alle fachlichen Aspekte den dafür notwendigen Tiefgang auf.

# ABSTRACT

Authors: Dr. Peter Brennecke, Dr. Gernot Eilers, Reinhard Köster, Karin Kugel, Dirk Laske, Kai Möller, Dr. Jürgen Preuss, Matthias Ranft, Urban Regenauer, Nicole Schubarth-Engelschall, Christine Schulze, Dr. Gerhard Stier-Friedland, Dr. Jörg Thiel, Andreas Weiser, Dr. Jürgen Wollrath, Hans-Jürgen Ziegler, Dr. Jürgen Gerler (SW 1.7)

Title: Evaluation of the evidence for long-term safety submitted with the closing operating plan for the closure of the Asse II mine with respect to the requirements of a licensing (plan-approval) procedure under nuclear law

Status: 26.09.2007

Key words: Asse research mine, Asse II mine, decommissioning, proof of long-term safety, evaluation for completeness, evaluation for depth, licensing (plan-approval) procedure under nuclear law

The Asse II mine wherein approx. 47,000 m<sup>3</sup> radioactive waste with a total activity of 3.1 x 10<sup>15</sup> Bq (as of 2002) has been emplaced, is operated by GSF - Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit GmbH. The trial emplacement operations ceased in 1978 and research & development work was finished in 1992. At present, the decommissioning licensing procedure is performed. Bundesamt für Strahlenschutz was charged by Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit with an evaluation stating to what extent the evidence for long-term safety that had been submitted with the closing operating plan for the closure of the Asse II mine (Asse research mine) is complete and has been furnished with the same depth as a licensing (plan-approval) procedure under nuclear law according to the state-of-the-art of science and technology. This evaluation is based on 33 documents relating to the furnishing of evidence of long-term safety which were submitted by GSF to Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie and were available to Bundesamt für Strahlenschutz.

The completeness of the submitted documents is evaluated on the basis of the experience gained in the licensing (plan-approval) procedures under nuclear law for the Konrad repository and the decommissioning of the Morsleben radioactive waste repository. Single evaluations are carried out for ranges of topics that must usually be treated in such procedures. The range of topics on the geological-hydrogeological, mining-related and rock mechanical as well as seismological site characterisation were completely treated in the submitted documents. The plans for the backfilling and sealing of the mine were not completely treated. Some of the range of topics were not treated at all (radiological and general site characterisation, analyses of the normal decommissioning operation, incident analysis, evidence of criticality safety during the decommissioning operation and evidence of the stability of the shafts due to earth quakes, facility security, facility planning, environmental assessment as well as measures for operational closure), which is partially due to the fact that solely documents relating to long-term safety were submitted to Bundesamt für Strahlenschutz.

The evaluation for depth of the submitted documents had the result that some aspects of the evidence required for a licensing (plan-approval) procedure under nuclear law for the closure of a mine with radioactive waste have been presented in the submitted documents with the required depth (seismological site characterisation, radionuclide inventory, analysis of load-bearing capacity, rock mechanical long term and subsidence prognoses, groundwater modelling, geological long term prognoses, scenario analysis, calculation of the radionuclide source term, biosphere model, gas formation). Other aspects do not hold this depth, however, or not in all aspects (general site characterisation, geological site characterisation, criticality, plans and evidence regarding the backfilling and sealing concept, groundwater-related aspects, evidence of long term safety). Some necessary aspects are not mentioned in the documents (radiological site characterisation, safety assessment of the normal decommissioning operation, incident analysis). Since further long

term safety-related documents were not available, it was only in some cases possible to include the quality and quantity of the data which the long-term safety proof is based on, in the evaluation for depth. For the same reason, statements on the state-of-the-art of science and technology of the applied evaluation methods as well as of calculation procedures and the planned backfilling and sealing measures are restricted.

According to the Bundesamt für Strahlenschutz point of view, the 33 documents submitted for examination are not complete with regard to a licensing (plan-approval) procedure under nuclear law. They do not hold the necessary depth for all technical aspects.

# INHALTSVERZEICHNIS

KURZFASSUNG .....	3
ABSTRACT .....	5
INHALTSVERZEICHNIS .....	7
ANHANGSVERZEICHNIS.....	8
ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS .....	9
HANDLUNGSRAHMEN .....	12
<b>1 VERANLASSUNG.....</b>	<b>12</b>
<b>2 VORGEHEN DES BUNDESAMTES FÜR STRAHLENSCHUTZ .....</b>	<b>13</b>
2.1 VOLLSTÄNDIGKEITSPRÜFUNG.....	13
2.2 TIEFGANGSPRÜFUNG.....	13
<b>3 VOLLSTÄNDIGKEITSPRÜFUNG IN HINBLICK AUF EIN VERFAHREN NACH § 9b AtG .15</b>	
3.1 GRUNDSÄTZLICHE ANFORDERUNGEN AN DIE VORZULEGENDEN UNTERLAGEN.....	15
3.2 UNTERLAGENSTRUKTUR IN DEN VERFAHREN KONRAD UND MORSLEBEN .....	16
3.2.1 Standortbeschreibung – Erfassung der Ausgangssituation.....	16
3.2.2 Radioaktive Abfälle .....	18
3.2.3 Planungen zum Verfüllen und Verschließen des Grubengebäudes und der Schächte .....	18
3.2.4 Sicherheitsanalysen.....	18
3.2.5 Anlagensicherung .....	19
3.2.6 Anlagenplanung .....	19
3.2.7 Maßnahmen zur Umweltverträglichkeitsprüfung .....	20
3.2.8 Maßnahmen zum Abschluss des Betriebes .....	20
3.3 BEWERTUNG DER VOLLSTÄNDIGKEIT DER VORGELEGTEN UNTERLAGEN ZUR STILLEGUNG DER SCHACHTANLAGE ASSE II.....	20
3.3.1 Standortbeschreibung – Erfassung der Ausgangssituation.....	21
3.3.2 Radioaktive Abfälle .....	21
3.3.3 Planungen zum Verfüllen und Verschließen des Grubengebäudes und der Schächte .....	21
3.3.4 Sicherheitsanalysen.....	22
3.3.5 Anlagensicherung .....	22
3.3.6 Anlagenplanung .....	22
3.3.7 Maßnahmen zur Umweltverträglichkeitsprüfung .....	22
3.3.8 Maßnahmen zum Abschluss des Betriebes .....	22
<b>4 INHALT UND TIEFGANG DER „UNTERLAGEN ZUM SICHERHEITSBERICHT“ DES FORSCHUNGSBERGWERKES ASSE II .....</b>	<b>23</b>
4.1 WESENTLICHE GRUNDLAGEN DES LANGZEITSICHERHEITSNACHWEISES DES FORSCHUNGSBERGWERKES ASSE .....	23
4.2 STANDORTBESCHREIBUNG – ERFASSUNG DER AUSGANGSSITUATION.....	25
4.2.1 Allgemeine Standortbeschreibung .....	25
4.2.2 Geologische Standortbeschreibung .....	26
4.2.2.1 Deck- und Nebengebirge .....	26
4.2.2.2 Salzstruktur .....	35
4.2.3 Seismologische Standortbeschreibung .....	38
4.2.4 Radiologische Standortbeschreibung und Abfalldatenbasis .....	43

4.2.4.1	Radiologische Standortbeschreibung.....	43
4.2.4.2	Abfalldatenbasis.....	44
4.3	SICHERHEITSANALYSEN.....	46
4.3.1	Sicherheitsanalysen für den Stilllegungsbetrieb.....	46
4.3.1.1	Sicherheitsanalysen für den bestimmungsgemäßen Stilllegungsbetrieb .....	46
4.3.1.2	Störfallanalysen für den Stilllegungsbetrieb .....	46
4.3.2	Analysen zur Langzeitsicherheit .....	47
4.3.2.1	Modellierung der Grundwasserbewegung.....	47
4.3.2.2	Geologische Langzeitprognose und Szenarienanalyse .....	52
4.3.2.3	Berechnung eines Radionuklidquellterms .....	55
4.3.2.4	Grundwasserrelevante Aspekte .....	57
4.3.2.5	Biosphärenmodell .....	62
4.3.2.6	Gasbildung.....	65
4.3.2.7	Kritikalitätssicherheit .....	67
4.3.2.8	Tragfähigkeitsanalyse des Gesamtsystems der Schachtanlage Asse II in der Betriebsphase und gebirgsmechanische Langzeitprognose.....	68
4.3.2.9	Bergschadenkundliche Senkungsprognose für die Betriebsphase und Langzeitprognose .....	77
4.3.2.10	Langzeitsicherheitsnachweis / Safety Case .....	79
4.4	PLANUNGEN UND NACHWEISE ZUM VERFÜLL- UND VERSCHLUSSKONZEPT.....	84
4.4.1	Schutzfluid und Druckluftbeaufschlagung (Schutzfluidkonzept).....	86
4.4.2	Mg-Depots .....	88
4.4.3	Strömungsbarrieren .....	91
4.4.4	Feststoffversatz.....	93
4.4.5	Schachtverschlüsse .....	94
<b>5</b>	<b>DISKUSSION DES SICHERHEITS- UND NACHWEISKONZEPTES .....</b>	<b>108</b>
<b>6</b>	<b>SCHWIERIGKEITEN BEI DER BEARBEITUNG DER AUFGABE .....</b>	<b>111</b>
<b>7</b>	<b>ZUSAMMENFASSUNG .....</b>	<b>112</b>
	<b>LITERATURVERZEICHNIS .....</b>	<b>115</b>
	<b>ANHANG .....</b>	<b>121</b>

Gesamtseitenzahl: 132

## ANHANGSVERZEICHNIS

Anhang 1:	Stellungnahme zur Beantwortbarkeit der BMU-Fragen an den BMBF (16 Sicherheitsfragen).	121
Anhang 2:	Unterlagen zur Vollständigkeitsprüfung (33 „Unterlagen zum Sicherheitsbericht“).	128
Anhang 3:	Berichtsstruktur der Unterlagen zum Abschlussbetriebsplan zur Schließung der Schachtanlage Asse II (nach Kenntnissen des BfS).	131
Anhang 4:	Themenkomplexe für die Stilllegung eines Endlagers nach AtG – am Beispiel des ERAM.....	132



# ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

<b>ASSEKAT</b>	Datenbank zur Erfassung der Informationen aus den Einlagerungsdokumenten Asse
<b>AtG</b>	Gesetz über die friedliche Verwendung der Kernenergie und den Schutz gegen ihre Gefahren (Atomgesetz)
<b>AtVfV</b>	Verordnung über das Verfahren bei der Genehmigung von Anlagen nach § 7 des Atomgesetzes (Atomrechtliche Verfahrensverordnung)
<b>AtZüV</b>	Verordnung für die Überprüfung der Zuverlässigkeit zum Schutz gegen Entwendung oder erhebliche Freisetzung radioaktiver Stoffe nach dem Atomgesetz (Atomrechtliche Zuverlässigkeitsüberprüfungs-Verordnung)
<b>AU</b>	Arbeitsunterlage
<b>AVK</b>	Abfallfluss-Verfolgungs- und Produktkontrollsystem (Computerprogramm zur Berechnung Aktivitätsinventar)
<b>AVV</b>	Hier: Entwurf der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zu § 47 StrlSchV, Stand: 05/05
<b>BBergG</b>	Bundesberggesetz
<b>Bek.</b>	Bekanntmachung
<b>BfS</b>	Bundesamt für Strahlenschutz
<b>BGR</b>	Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe
<b>BMBF</b>	Bundesministerium für Bildung und Forschung
<b>BMI</b>	Bundesministerium des Innern
<b>BMU</b>	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
<b>DBE</b>	Deutsche Gesellschaft zum Bau und Betrieb von Endlagern für Abfallstoffe mbH
<b>DBE TEC</b>	DBE TECHNOLOGY GmbH
<b>DVGW</b>	Deutscher Vereinigung des Gas- und Wasserfaches e.V.
<b>DWR</b>	Druckwasserreaktor
<b>ELB</b>	Einlagerungsbereich
<b>ELK</b>	Einlagerungskammer
<b>EMS-98</b>	European Macroseismic Scale 1998 (Europäische Makroseismische Skala 1998)
<b>ERAM</b>	Endlager für radioaktive Abfälle Morsleben
<b>FB Asse</b>	Forschungsbergwerk Asse
<b>FEP</b>	features, events and processes (Zustände, Ereignisse und Prozesse)
<b>FZK</b>	Forschungszentrum Karlsruhe
<b>FZK-INE</b>	Forschungszentrum Karlsruhe - Institut für Nukleare Entsorgung

<b>GKSS</b>	GKSS-Forschungszentrum Geesthacht GmbH (früher: Gesellschaft für Kernenergieverwertung in Schiffbau- und Schifffahrt mbH)
<b>GNS</b>	Gesellschaft für Nuklearservice mbH
<b>GSF</b>	GSF - Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit GmbH (früher: Gesellschaft für Strahlenforschung mbH)
<b>GWL</b>	Grundwasserleiter
<b>HMI</b>	Hahn-Meitner-Institut
<b>i. V. m.</b>	in Verbindung mit
<b>IAEA</b>	International Atomic Energy Agency
<b>ICRP</b>	International Commission on Radiological Protection
<b>IfG</b>	Institut für Gebirgsmechanik GmbH
<b>ISS</b>	Institut für Strahlenschutz (des GSF - Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit GmbH)
<b>KKW</b>	Kernkraftwerk
<b>Konrad</b>	Endlager Schachanlage Konrad
<b>KTA</b>	Kerntechnischer Ausschuss
<b>KTA 2201.1</b>	Regel des Kerntechnischen Ausschusses: Auslegung von Kernkraftwerken gegen seismische Einwirkungen
<b>LAW</b>	schwach radioaktive Abfälle (low active waste)
<b>LAWA</b>	Länderarbeitsgemeinschaft Wasser
<b>LBEG</b>	Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie
<b>LBP</b>	Landschaftspflegerischen Begleitplanes
<b>LZSN</b>	Langzeitsicherheitsnachweis
<b>MAW</b>	mittelradioaktive Abfälle (medium active waste)
<b>MM-Skala</b>	Modifizierte Mercalli-Skala
<b>MSK-Skala</b>	Medvedev-Sponheuer-Karnik-Skala
<b>NMU</b>	Niedersächsisches Umweltministerium
<b>NWG</b>	Niedersächsisches Wassergesetz
<b>Nukem</b>	Nuklear-Chemie und Metallurgie GmbH
<b>OECD/NEA</b>	Organisation for Economic Co-operation and Development / Nuclear Energy Agency (Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung / Kernenergieagentur)
<b>PAI</b>	Programm zur Aktualisierung des Asse-Inventars
<b>PFV</b>	Planfeststellungsverfahren

<b>PROSA</b>	Probabilistic Safety Assessment (Computerprogramm)
<b>PU</b>	Prüfunterlage
<b>Q-Lösung</b>	salinare Lösung mit einer Zusammensetzung im Punkt Q der 25°C-Isotherme des quinären Systems
<b>R-Lauge</b>	salinare Lösung mit einer Zusammensetzung im Punkt R der 25°C-Isotherme des quinären Systems
<b>RN</b>	Radionuklide
<b>RS</b>	Abteilung Sicherheit kerntechnischer Einrichtungen, Strahlenschutz, nukleare Ver- und Entsorgung (des BMU)
<b>RS III</b>	Unterabteilung Nukleare Ver- und Entsorgung
<b>RS III 2</b>	Referat Grundsatzangelegenheiten der nuklearen Entsorgung, Endlagerung
<b>SIA</b>	Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein
<b>StrISchV</b>	Verordnung über den Schutz vor Schäden durch ionisierende Strahlen (Strahlenschutzverordnung)
<b>SUG</b>	Stoffuntergruppen
<b>SWR</b>	Siedewasserreaktor
<b>TEM</b>	Transientenelektromagnetische Messungen
<b>TOF</b>	Tagesoberfläche
<b>TrinkwV 2001</b>	Verordnung über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch (Trinkwasserverordnung 2001)
<b>TU BA</b>	Technische Universität Bergakademie Freiberg
<b>UVP</b>	Umweltverträglichkeitsprüfung
<b>UVS</b>	Umweltverträglichkeitsstudie
<b>VBA</b>	Verlorene Betonabschirmung
<b>VwVfG</b>	Verwaltungsverfahrensgesetz
<b>WAK</b>	Wiederaufarbeitungsanlage Karlsruhe
<b>WHG</b>	Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushalts (Wasserhaushaltsgesetz)
<b>WIPP</b>	Waste Isolation Pilot Plant
<b>ZPI</b>	zur Prüfung erforderlichen Informationen

# HANDLUNGSRAHMEN

Zwischen dem Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) sowie dem Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) wurde ein Konsultationsverfahren vereinbart, bei dem die Kompetenzen des BMU zur Beurteilung von offenen Fragen im Zusammenhang mit der Stilllegung (Schließung) der Schachtanlage Asse II (Forschungsbergwerk Asse) genutzt werden und bei dem das BMU die Möglichkeit hat, jederzeit durch eigene Beiträge in das Verfahren einzugreifen. Grundlage hierfür ist § 19 Abs. 3 Atomgesetz (AtG), wonach die Aufsichtsbehörde anordnen kann, dass ein Zustand beseitigt wird, der den Vorschriften des Atomgesetzes oder der aufgrund dieses Gesetzes erlassenen Rechtsverordnungen, den Bestimmungen des Bescheids über die Genehmigung oder allgemeine Zulassungen oder einer nachträglich angeordneten Auflage widerspricht oder aus dem sich durch die Wirkung ionisierender Strahlen Gefahren für Leben, Gesundheit oder Sachgüter ergeben könnten.

## 1 VERANLASSUNG

Mit Erlass vom 30.03.2007 (Aktenzeichen: RS III 2 - 14841/) wurde das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) vom BMU insbesondere um Stellungnahme gebeten, inwieweit die mit dem Abschlussbetriebsplan zur Schließung der Schachtanlage Asse II vorgelegten Nachweise zur Langzeitsicherheit analog und mit gleichem Tiefgang zu einem atomrechtlichen Planfeststellungsverfahren nach Stand von Wissenschaft und Technik geführt werden. Des Weiteren sollte beantwortet werden, ob diese Unterlagen ausreichen, die vom BMU an das BMBF gestellten 16 fachlichen Fragen zur Schachtanlage Asse II zu beantworten (siehe Anhang 1).

Die vom BMU erbetene Stellungnahme wurde in zwei Schritten bearbeitet:

- Vollständigkeitsprüfung
- Tiefgangsprüfung und Beantwortbarkeit der 16 Fragen

## **2 VORGEHEN DES BUNDESAMTES FÜR STRAHLENSCHUTZ**

### **2.1 VOLLSTÄNDIGKEITSPRÜFUNG**

Im ersten Schritt wurde geprüft, ob die mit dem o. g. Erlass des BMU vorgelegten Unterlagen zur Stilllegung der Schachtanlage Asse II für ein atomrechtliches Planfeststellungsverfahren (PFV) zur Stilllegung dieser Anlage vollständig sind. Die Ergebnisse dieser Prüfung (Kapitel 3) wurden dem BMU mit Schreiben (AZ: SE/KI/Me 9A/-/AA) vom 31.05.2007 mitgeteilt. Grundlage der Prüfung bildeten die vom BMBF dem BMU vorgelegten und von diesem an das BfS weitergeleiteten „Unterlagen zum Sicherheitsbericht“ (27 Prüf- und 6 Arbeitsunterlagen mit insgesamt ca. 5.000 Blatt; Auflistung siehe Anhang 2). Es handelt sich dabei ausschließlich um Unterlagen, die dem Aspekt Langzeitsicherheit der Schließung der Schachtanlage Asse II zugeordnet sind (Berichtsstruktur siehe Anhang 3). Eine qualifizierte Aussage, ob die vom GSF-Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit GmbH (GSF) bzw. in dessen Auftrag erstellten Unterlagen insgesamt für ein atomrechtliches PFV ausreichen, konnte deshalb auf dieser Grundlage allein nicht erfolgen. Hierfür wäre zusätzlich die Kenntnis weiterer durch die bzw. im Auftrag der GSF erstellter Unterlagen notwendig gewesen. Diese lagen dem BfS jedoch nicht vor.

Die Prüfung auf Vollständigkeit der Unterlagen erfolgte unter verfahrensspezifischen Gesichtspunkten. Dies bedeutet, dass die vorgelegten Unterlagen dahingehend bewertet wurden, ob sie in Bezug auf die sich aus einem atomrechtlichen PFV ergebenden Anforderungen an die zu bearbeitenden Themenkomplexe vollständig sind. Diese Prüfung erfolgte auf Basis der im Projekt Stilllegung des Endlagers für radioaktive Abfälle Morsleben (ERAM) bearbeiteten Themenkomplexe (siehe Anhang 4) und aufgrund der bisherigen Erfahrungen des BfS mit den atomrechtlichen PFV für das Endlager Konrad und für die Stilllegung des ERAM. Ist eine in einem atomrechtlichen Planfeststellungsverfahren zu behandelnde Thematik durch die in den dem BfS vorgelegten Unterlagen zur Langzeitsicherheit der Schachtanlage Asse II behandelten Themenkomplexen inhaltlich abgedeckt, wurden die Unterlagen in Bezug auf diese Thematik als vollständig bewertet. Waren bei der Prüfung der Unterlagen auf Vollständigkeit offensichtliche verfahrensrelevante Defizite erkennbar, welche Auswirkungen auf die Erteilung eines atomrechtlichen Planfeststellungsbeschlusses haben können, wurde die Thematik dagegen als unvollständig behandelt angesehen.

Die Vollständigkeit der zu behandelnden Themenkomplexe wurde dabei auf der Ebene von Hauptaufgaben (z. B. Standortbeschreibung, Sicherheitsanalysen, Anlagenplanung) und der sie untersetzenden Aufgaben (z. B. Sicherheitsanalysen Stilllegungsbetrieb, Langzeitsicherheitsanalyse) geprüft (siehe Anhang 4).

### **2.2 TIEFGANGSPRÜFUNG**

In Ergänzung zur Vollständigkeitsprüfung wurden die Unterlagen zur Langzeitsicherheit der Schachtanlage Asse II in einem zweiten Schritt einer tiefer gehenden fachlich-inhaltlichen Prüfung unterzogen. Diese Prüfung des Tiefgangs der „Unterlagen zum Sicherheitsbericht“ (27 Prüf- und 6 Arbeitsunterlagen mit insgesamt ca. 5.000 Blatt; Auflistung siehe Anhang 2) im Hinblick auf die Anforderungen eines atomrechtlichen PFV zur Stilllegung eines Endlagers erfolgte auch nach standortspezifischen Gesichtspunkten. Hierbei wurden auch die der Stilllegung der Schachtanlage Asse II zugrunde liegenden konzept- bzw. anlagen-spezifischen Faktoren berücksichtigt.

Zielsetzung dieser Prüfung war es, festzustellen, ob die Inhalte der in den für ein atomrechtliches PFV zur Stilllegung der Schachtanlage Asse II im Rahmen des Langzeitsicherheitsnachweises notwendigerweise zu behandelnden Themenkomplexe hierfür aussagekräftig und detailliert genug sind und den Anforderungen an Transparenz und Nachvollziehbarkeit genügen. Eine Prüfung, ob die Unterlagen inhaltlich fachlich richtig sind, konnte nur zum Teil erfolgen, da nicht alle dazu wesentlichen Informationen vorlagen und der Zeitraum für eine solche Prüfung wesentlich umfangreicher gewesen wäre. Auf dennoch beim Studium der Unterlagen erkannte formale sowie fachliche Fehler und auf Inkonsistenzen in bzw. zwischen den Unterlagen wird im

vorliegenden Bericht nur im Einzelfall hingewiesen. Die durchgeführte standortspezifische Betrachtung schließt die Möglichkeit ein, dass die im Projekt Stilllegung des ERAM und im atomrechtlichen PFV Konrad in diesem Rahmen behandelten Themenkomplexe für den Standort Asse ggf. von geringerer Bedeutung sind und deshalb in den Unterlagen mit einem entsprechend geringeren Tiefgang bzw. gar nicht behandelt werden müssen. Hieraus resultiert nicht zwangsläufig ein Defizit in den Unterlagen im Hinblick auf ihren Tiefgang für ein atomrechtliches PFV.

In die Tiefgangsprüfung wurden außer den in Kapitel 2.1 erwähnten 33 Unterlagen zusätzlich der Abschlussbetriebsplan zur Schließung des Forschungsbergwerks Asse (SCHAUERMANN 2007) sowie die dazugehörige Anlage 2 (GSF 2007) mit einbezogen, die dem BfS vom BMU mit Schreiben (AZ: RS III 2 - 14841/21) vom 27.07.2007 zugesandt wurden. Für die Nachweisführung zur Langzeitsicherheit der Asse haben diese Unterlagen jedoch keine Bedeutung. Deshalb werden sie im Rahmen der Tiefgangsprüfung nicht weiter verwendet.

Der zweite Bearbeitungsschritt umfasste auch die Stellungnahme zur Frage des BMU, ob auf der Basis der dem BfS vorliegenden 33 Unterlagen die 16 vom BMU an das BMBF gerichteten Fragen beantwortet werden können. Die Stellungnahme ist in Anhang 1 enthalten.

#### Anmerkungen:

Der Bericht wurde aus fachlichen Gründen von mehreren Autoren des BfS erstellt. Hierdurch sind Darstellungsunterschiede in einzelnen Kapiteln bedingt.

Bei einer Prüfung des Tiefgangs von Unterlagen im Hinblick auf die Anforderungen eines atomrechtlichen PFV besteht für den/die Prüfer in vielen Fällen ein Ermessensspielraum. Der vom BfS gewählte Maßstab wurde von den Erfahrungen aus den PFV Konrad und ERAM bestimmt.

### **3 VOLLSTÄNDIGKEITSPRÜFUNG IN HINBLICK AUF EIN VERFAHREN NACH § 9b AtG**

#### **3.1 GRUNDSÄTZLICHE ANFORDERUNGEN AN DIE VORZULEGENDEN UNTERLAGEN**

Im atomrechtlichen Planfeststellungsverfahren gemäß § 9b AtG sind nach Art und Umfang folgende Unterlagen vorzulegen:

##### ***Auszulegende Unterlagen (§ 6 AtVfV)***

- der Antrag
- der „Plan“ nach § 9b Abs. 5 AtG i. V. m. § 3 Abs. 1 Nr. 1 AtVfV (kerntechnischer Vorhabensteil) und § 73 VwVfG (konventioneller Vorhabensteil)
- eine Kurzbeschreibung des Vorhabens gemäß § 3 Abs. 4 AtVfV
- die Beschreibung der anfallenden radioaktiven Reststoffe einschließlich vorgesehener Vermeidungs- und Verwertungsmaßnahmen nach § 3 Abs. 1 Nr. 8 AtVfV
- Angaben über sonstige Umweltauswirkungen (Umweltverträglichkeitsstudie und Landschaftspflegerischer Begleitplan) nach § 3 Abs. 1 Nr. 9 AtVfV
- eine Übersicht über geprüfte technische Verfahrensalternativen nach § 3 Abs. 2 Nr. 1 AtVfV
- Hinweise auf Schwierigkeiten bei der Zusammenstellung der UVP-Unterlagen gemäß § 3 Abs. 2 Nr. 2 AtVfV

##### ***Sonstige Unterlagen***

- ergänzende Pläne, Zeichnungen und Beschreibungen der Anlage nach § 3 Abs. 1 Nr. 2 AtVfV
- Angaben zur Anlagensicherung nach § 3 Abs. 1 Nr. 3 AtVfV
- Angaben zu Zuverlässigkeit und Fachkunde der verantwortlichen Personen nach § 3 Abs. 1 Nr. 4 AtVfV
- Angaben über die notwendigen Kenntnisse der sonstigen tätigen Personen gemäß § 3 Abs. 1 Nr. 5 AtVfV
- eine Aufstellung aller für die Sicherheit bedeutsamen Angaben nach § 3 Abs. 1 Nr. 6 AtVfV
- Unterlagen zu den konzentrierten Rechtsgebieten (z. B. Baurecht, Wasserrecht, bergrechtlicher obligatorischer Rahmenbetriebsplan, § 57b Abs. 3 BBergG)

Anhaltspunkte für den Inhalt und den Tiefgang der im atomrechtlichen Verfahren einzureichenden Unterlagen ergeben sich, soweit die entsprechenden Aspekte auf Endlager übertragbar sind, ergänzend zu §§ 3 AtVfV und 73 VwVfG z. B. aus folgenden Vorschriften und Verordnungen:

- AtZüV
- Richtlinie für den Fachkundenachweis von Kernkraftwerkspersonal - Bek. d. BMU v. 14.04.1993
- Merkpostenaufstellung mit Gliederung für einen Standardsicherheitsbericht für Kernkraftwerke mit Druckwasserreaktor oder Siedewasserreaktor - Bek. d. BMI v. 26.07.1976
- Bekanntmachung der Zusammenstellung der in atomrechtlichen Genehmigungs- und Aufsichtsverfahren für Kernkraftwerke zur Prüfung erforderlichen Informationen (ZPI) des BMI v. 20.10.1982

- Bekanntmachung der Zusammenstellung der zur bauaufsichtlichen Prüfung kerntechnischer Anlagen erforderlichen Unterlagen des BMI v. 06.11.1981

Parallel zum atomrechtlichen PFV sind für die (nicht konzentrierten, vgl. § 9b Abs. 5 Nr. 3 AtG) Haupt-, Sonder- und Abschlussbetriebsplanverfahren die erforderlichen Unterlagen bei der Bergbehörde einzureichen, §§ 52 Abs. 1 und 2, 53 BBergG. Ein ggf. notwendiger bergrechtlicher Rahmenbetriebsplan wird vom atomrechtlichen PFV konzentriert.

## 3.2 UNTERLAGENSTRUKTUR IN DEN VERFAHREN KONRAD UND MORSLEBEN

Für die vom BfS betriebenen atomrechtlichen PFV für Endlager wurden entsprechend der nachfolgend dargestellten Struktur und den stichpunktartig zusammengefassten Inhalten Unterlagen erstellt und der Planfeststellungsbehörde eingereicht. Die Unterlagen stellen auf der Basis einer umfassenden aktuellen Zustandsbeschreibung (Standortbeschreibung) einerseits die planfestzustellenden Maßnahmen vollständig und nachvollziehbar dar und liefern andererseits den Nachweis für die entsprechende Wirksamkeit der Maßnahmen zur Einhaltung der Schutzziele und damit den Nachweis der Sicherheit des Endlagers in der Betriebs- und Nachbetriebsphase.

Nach ihrem Verwendungszweck und ihrer Stellung im atomrechtlichen Verfahren können diese Unterlagen unterteilt werden in

- Genehmigungsunterlagen,

die den zu genehmigenden Tatbestand vollständig und nachvollziehbar darstellen. Diese Unterlagen können Bestandteil des Planfeststellungsbeschlusses werden. Tatbestände oder Maßnahmen, die keine sicherheitliche Relevanz besitzen, können außerhalb der atomrechtlichen Genehmigung geregelt werden.

- Prüfunterlagen,

die die Wirksamkeit der in den Genehmigungsunterlagen dargestellten Maßnahmen und die Einhaltung der Schutzziele nachweisen.

- Auszulegende Unterlagen,

die im Rahmen des Öffentlichkeitsbeteiligungsverfahrens der Öffentlichkeit vorgelegt werden (siehe Kapitel 3.1).

Eine inhaltlich-fachliche Gliederung dieser Unterlage des BfS ist in den folgenden und hinsichtlich ihrer Bedeutung für die Stilllegung der Schachanlage Asse II kurz beschriebenen Themenkomplexe beschrieben.

### 3.2.1 Standortbeschreibung – Erfassung der Ausgangssituation

#### **Allgemeine Standortbeschreibung**

In diesem Themenkomplex erfolgt die allgemeine geographische und meteorologische Beschreibung des Standortes. Er umfasst zum Beispiel die Einordnung des Standortes in die Landesplanung, den Verkehr und die Besiedelung, die Erfassung gewerblicher, industrieller und militärischer Anlagen und die Darstellung der meteorologischen Verhältnisse am Standort.



### ***Geologische Standortbeschreibung***

Die geologische Standortbeschreibung beinhaltet die Erfassung und Beschreibung aller geologischen Sachverhalte. Sie erfolgt einerseits mit dem Ziel einer allgemeinen umfassenden Beschreibung der geologischen Gegebenheiten des Standortes und andererseits zur Bereitstellung der insbesondere für den Langzeitsicherheitsnachweis (LZSN) notwendigen Daten und Parameter. Die geologische Standortbeschreibung umfasst im Wesentlichen die stratigraphischen, lithologischen und tektonischen Gegebenheiten für alle Strukturelemente des Standortes (im Fall einer Salinarstruktur Subsalinar, Salinar und Suprasalinar) und seiner Umgebung zur Entwicklung eines geologischen und genetischen Standortmodells. Auf dieser Basis erfolgt auch eine Prognose der zukünftigen geologischen Entwicklung (geologische Langzeitbewertung) als eine der Grundlagen für die Szenarienanalyse. Die Erfassung und Bewertung von Rohstoffvorkommen ist für die Stilllegung einer bestehenden Anlage von untergeordneter Bedeutung, da die Anlage bereits besteht und eine Alternativenentscheidung nicht möglich ist.

### ***Ingenieurgeologische Standortbeschreibung***

Die ingenieurgeologische Standortbeschreibung umfasst die Darstellung der Baugrundverhältnisse. Sie ist für die Stilllegung einer Anlage, in deren Rahmen keine dauerhaft bestehenden Gebäude errichtet werden, nicht erforderlich.

### ***Gebirgsmechanische Standortbeschreibung***

Die gebirgsmechanische Standortbeschreibung umfasst die vollständige Darstellung der bergbaulichen und gebirgsmechanischen Verhältnisse am Standort. Sie beschreibt den Ausgangszustand für das Stilllegungskonzept und die Randbedingungen für den LZSN. Sie erfolgt wie die geologische Standortbeschreibung einerseits mit der Zielstellung einer allgemeinen umfassenden Beschreibung der Verhältnisse des Standortes und andererseits mit dem Ziel, die für den LZSN notwendigen Daten und Parameter bereitzustellen. Wesentliche Elemente sind dabei die Erfassung der bergbaulichen und geometrischen Situation sowie der notwendigen Gesteins- und Gebirgsparameter, die Modellierung des derzeitigen gebirgsmechanischen Zustandes mit dem Ziel der Beurteilung der Standsicherheit und Integrität sowie die Modellierung möglicher Auswirkungen auf die Tagesoberfläche (Senkungen).

### ***Seismologische Standortbeschreibung***

Die seismologische Standortbeschreibung beinhaltet ein seismologisches Gutachten, in dem die seismischen Verhältnisse am Standort erfasst und beschrieben werden.

### ***Radiologische Standortbeschreibung***

Dieser Punkt beinhaltet die Erfassung und Beschreibung der radiologischen Gegebenheiten am Standort im Ausgangszustand. Es handelt sich im Wesentlichen um die radiologische Grundbelastung (Luft, Boden, Wasser, Bewuchs), die Erfassung der Vorbelastung aus ggf. vorhandenen weiteren kerntechnischen Einrichtungen im Umkreis des Endlagers und die Beschreibung der radiologischen Auswirkungen einer bestehenden Anlage infolge von Ableitungen und Direktstrahlung.

### ***Hydrologische Standortbeschreibung***

In der hydrologischen Standortbeschreibung werden Wasserhaushaltsgrößen wie z. B. Niederschlag, Verdunstung, Abfluss und Speichervermögen als Eingangsparameter für Grundwassermodelle erfasst. Weiterhin werden gewässerkundliche Informationen zur Wasserbilanz, zum Hoch- und Niedrigwasser sowie zu Ab- bzw. Durchflussmengen in den Vorflutern im Untersuchungsgebiet dargestellt.

### ***Hydrogeologische Standortbeschreibung***

Die hydrogeologische Standortbeschreibung umfasst im Wesentlichen die Darstellung der hydrogeologisch relevanten Einheiten (Grundwasserleiter, -geringleiter, -nichtleiter) des Deck- und Nebengebirges. Dazu werden z. B. Aquifergeometrie, hydraulische Eigenschaften wie Durchlässigkeit und Porosität, Grundwasserbeschaffenheit sowie geochemische Eigenschaften und das Sorptionsvermögen der hydrostratigraphischen Einheiten erfasst. Mit diesen Daten wird ein hydrogeologisches Standortmodell erstellt. Weiterhin beinhaltet die hydrogeologische Standortbeschreibung u. a. Aussagen zur Grundwasserbewegung (Strömungsrichtung und -geschwindigkeit) und ein hydrogeologisches Grundwassermodell, welches die Bewegung des Grundwassers darstellt und die Basis für Modellrechnungen eines potentiellen Radionuklidtransports im Deckgebirge bildet.

### **3.2.2 Radioaktive Abfälle**

Dieser Punkt umfasst die vollständige Dokumentation der Abfalldaten, der Endlagerungsbedingungen sowie der Maßnahmen zur Produktkontrolle. Im Fall der Stilllegung einer Anlage sind die beiden letztgenannten Punkte von untergeordneter Bedeutung. Die Unterlagen für das PFV müssen eine vollständige Beschreibung der radioaktiven Abfälle hinsichtlich ihres chemischen und radiologischen Inventars beinhalten und eine Beurteilung ihrer quantitativen und qualitativen Belastbarkeit ermöglichen. Es ist ein Quellterm für die Durchführung der Langzeitsicherheitsanalyse und für die Durchführung der weiteren Sicherheitsanalysen (Störfallanalysen) zu ermitteln. Unter diesen Themenkomplex fallen auch die Beschreibung von Gas bildenden Stoffen im Endlager und eine Ermittlung der möglichen Gasbildung (Rate und Menge).

### **3.2.3 Planungen zum Verfüllen und Verschließen des Grubengebäudes und der Schächte**

Dieser Themenkomplex umfasst alle Planungen und Nachweise im Zusammenhang mit den Maßnahmen zum Verfüllen von Grubenhohlräumen, der Errichtung von Verschlussbauwerken und die dafür notwendigen Materialentwicklungen und Stabilitätsnachweise. Für das verfüllte und verschlossene Endlager ist der Nachweis der Standsicherheit und Integrität bzw. eine Prognose über das Tragverhalten zu erbringen. Dieser Themenkomplex lässt sich in folgende wesentliche Aufgaben gliedern, zu denen Unterlagen zu erstellen sind:

- Verfüll- und Verschlussplanungen von Hohlräumen, Strecken und Bohrungen
- Planung der Schachtverschlüsse; Nachweisführung der Dichtwirkung
- Planungen und Nachweise für die Verfüll- und Verschlussmaterialien
- Standsicherheits- und Integritätsnachweis / Tragfähigkeitsanalyse für die verfüllte Grube
- Planungen zur Bewetterung und Klimatechnik beim Verschluss
- Planungen von sonstigen technischen Maßnahmen

### **3.2.4 Sicherheitsanalysen**

#### ***Sicherheitsanalysen für den Stilllegungsbetrieb***

Im Fall einer Stilllegung eines Endlagers sind keine Sicherheitsanalysen für den Einlagerungsbetrieb vorzunehmen. Gleichwohl sind der bestimmungsgemäße Stilllegungsbetrieb (Normalbetrieb und anomale

Betriebsfälle) sowie mögliche Störfälle im Stilllegungsbetrieb sowie konventionelle Schadstoffemissionen zu untersuchen. Für den bestimmungsgemäßen Stilllegungsbetrieb sind folgende Themen zu bearbeiten:

- Sicherheitsanalyse für den bestimmungsgemäßen Stilllegungsbetrieb
- Ermittlung der potentiellen Strahlenexposition der Bevölkerung infolge der Ableitung radioaktiver Stoffe auf der Grundlage der AVV zu § 47 StrlSchV (Entwurf)

Bestandteil dieses Themenkomplexes ist ebenfalls der Nachweis der Kritikalitätssicherheit während des Stilllegungsbetriebes.

Im Rahmen der Stilllegung ist als Bestandteil der Sicherheitsanalysen der Nachweis zu führen, dass die Standsicherheit der Schächte für den verbleibenden Betriebszeitraum (auch unter Berücksichtigung seismischer Ereignisse) gegeben ist und so die geplanten Stilllegungsmaßnahmen ordnungsgemäß durchgeführt werden können.

### ***Langzeitsicherheitsanalysen für die Phase nach Verschluss des Endlagers***

Dieser Themenkomplex umfasst alle zum Nachweis der Langzeitsicherheit der Anlage erforderlichen Unterlagen. Er umfasst im Wesentlichen die Szenarienanalyse, Radionuklid-Ausbreitungsrechnungen, eine Unsicherheits- und Konsequenzenanalyse, aber auch eine Beurteilung der Konsequenzen der Gasbildung sowie den Nachweis der Kritikalitätssicherheit und der Auswirkungen unbeabsichtigten menschlichen Eindringens in der Phase nach Verschluss des Endlagers. Unter diesem Punkt sind ebenfalls die Auswirkungen von nicht-radioaktiven chemischen und chemotoxischen Bestandteilen der Abfallgebinde sowie der Füll- und Versatzmaterialien auf das Grundwasser zu untersuchen und zu bewerten („grundwasserrechtliche Aspekte“). Die hierfür zu verwendenden Expositionspfade, Langzeit-Ausbreitungs- und Ablagerungsfaktoren (Dosisumwandlungsfaktoren) sind zu ermitteln.

## **3.2.5 Anlagensicherung**

Dieser Themenkomplex umfasst die Maßnahmen der Anlagensicherung während des Stilllegungsbetriebes.

## **3.2.6 Anlagenplanung**

### ***Anlagen über Tage***

Dieser Themenkomplex umfasst eine Beschreibung der Bergwerksanlagen, der Medienver- und -entsorgung sowie der Elektro-, Leit- und Nachrichtentechnik, der Strahlungsüberwachung sowie der Entsorgung konventioneller Abfälle, der Maschinenteknik sowie des Brandschutzes für die Arbeiten zur Verfüllung und Stilllegung.

### ***Anlagen unter Tage***

Wie bei den Unterlagen zur Anlagenplanung über Tage sind alle im Zusammenhang mit der Stilllegung durchzuführenden Arbeiten zu beschreiben und ihre möglichen Wechselwirkungen zu bewerten. Der Tiefgang muss eine Beurteilung der Machbarkeit und Sicherheit der Planungen ermöglichen. Zusätzlich zu den übertägigen Planungen ist die Bewetterung zu beschreiben.

### **Anlagenübergreifende Unterlagen**

Unter diesem Themenkomplex sind im Wesentlichen Unterlagen zur betrieblichen Organisation, der Personalqualifikation und der Qualitätssicherung zu erstellen.

### **3.2.7 Maßnahmen zur Umweltverträglichkeitsprüfung**

Dieser Punkt umfasst alle mit der Durchführung einer Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP) für die geplanten Stilllegungsmaßnahmen verbundenen Arbeiten. Es erfolgt die Erstellung einer Umweltverträglichkeitsstudie (UVS) einschließlich Kartierungen (Flora, Fauna) und eines Landschaftspflegerischen Begleitplanes (LBP), der die erforderlichen Ausgleichs- und Ersatzmaßnahmen beinhaltet.

### **3.2.8 Maßnahmen zum Abschluss des Betriebes**

Dieser Themenkomplex umfasst die Beschreibung und Planung der Maßnahmen zur Stilllegung und zum Rückbau der nicht kerntechnischen Tagesanlagen. Unterlagen zu diesem Punkt können auch außerhalb des AtG-Verfahrens z. B. im bergrechtlichen Verfahren erstellt werden (z. B. ERAM), da laut den „Sicherheitskriterien für die Endlagerung radioaktiver Abfälle in einem Bergwerk“ (BMI 1983) die Stilllegung mit dem Verfüllen der Schächte abgeschlossen wird. Die im Rahmen der Fortschreibung dieser Sicherheitskriterien erarbeiteten Berichte BALTES, RÖHLIG & KINDT (2007) und BRENNECKE et al. (2007) enthalten hierzu keine abweichenden Vorgaben.

Eine Überwachung der Nachbetriebsphase ist nicht vorgesehen, da eine Stilllegung entsprechend den Sicherheitskriterien so durchzuführen ist, dass ein gesondertes Kontroll- und Überwachungsprogramm entbehrlich ist. Auch die Überarbeitung/Fortschreibung der Sicherheitskriterien von 1983 geht von einer nachsorgefreien Gewährleistung der Sicherheit von Mensch und Umwelt aus („passive Sicherheit“).

## **3.3 BEWERTUNG DER VOLLSTÄNDIGKEIT DER VORGELEGTEN UNTERLAGEN ZUR STILLLEGUNG DER SCHACHTANLAGE ASSE II**

Die Bewertung erfolgte anhand der zuvor erläuterten *inhaltlich-fachlichen Gliederung* der Unterlagen zu den Endlagern Morsleben und Konrad (vgl. Kapitel 3.2). Der Schwerpunkt liegt dabei auf der Struktur des Projektes Stilllegung des ERAM, da die Aufgabenstellung (Stilllegung) vergleichbar ist.

Nachfolgend werden zu den einzelnen Themenkomplexen die Ergebnisse der Vollständigkeitsprüfung dargelegt. Die vor dem Hintergrund eines atomrechtlichen PFV geprüften Unterlagen wurden entweder als vollständig oder unvollständig in Bezug auf die jeweiligen Themenkomplexe bewertet. Einige Themenkomplexe, die als vollständig bewertet wurden, lassen jedoch Defizite im Tiefgang erkennen. Bei einigen Gliederungspunkten oder Themenkomplexen wird darauf hingewiesen, dass entsprechende Unterlagen fehlen und nicht zur Prüfung vorlagen. Da der Sicherheitsbericht dem BfS nicht vorliegt, ist nicht bekannt, ob diese Unterlage Themen umfasst, die in den geprüften Unterlagen nicht enthalten sind, deren Behandlung jedoch notwendig ist.

Es sei an dieser Stelle nochmals darauf hingewiesen, dass ausschließlich die 33 dem BfS vorgelegten Unterlagen zum Sicherheitsbericht Grundlage der Prüfung waren. Sofern nachfolgend auf fehlende oder nicht vorhandene Unterlagen hingewiesen wird, bedeutet dies nur, dass sie nicht zu den 33 Unterlagen zählen und dem BfS nicht zur Verfügung standen.

### **3.3.1 Standortbeschreibung – Erfassung der Ausgangssituation**

Die Unterlagen zu diesem Themenkomplex werden in den wesentlichen Punkten als vollständig bewertet. Es liegen geologisch-hydrogeologische Beschreibungen des Standortes, eine bergbaulich-gebirgsmechanische sowie eine seismologische Standortbeschreibung vor.

Es fehlen Unterlagen zur radiologischen Standortbeschreibung. Dazu gehören zum Beispiel die Ermittlung der Strahlenexposition der Bevölkerung unter Berücksichtigung der betrieblichen Ableitungen radioaktiver Stoffe mit der Fortluft und dem Abwasser auf der Grundlage der AVV zu § 47 StrlSchV (Entwurf), die radioaktive Vorbelastung durch Ableitungen aus anderen Anlagen mit der Fortluft und dem Abwasser sowie die radioaktive Grundbelastung der Umweltmedien Luft, Oberflächengewässer, Boden und Bewuchs.

In den vorgelegten Unterlagen gibt es keine allgemeinen Standortdaten. Dazu gehören zum Beispiel die Einordnung des Standortes in Raumordnung und Landesplanung, geographische Lage, Besiedlung, Böden, Vegetation und Landschaftsnutzung, Gewässer und Wassernutzung, Gewerbe und Industriebetriebe, Verkehrswege sowie meteorologische Verhältnisse.

### **3.3.2 Radioaktive Abfälle**

Die Unterlagen zu diesem Themenkomplex werden als vollständig bewertet. Es liegen Unterlagen zu den Themen „Abfalldatenbasis“ und „Gasbildung“ vor.

Eine Unterteilung der Unterlagen zur „Abfalldatenbasis“, wie sie für das ERAM vorgenommen wurde (Altabfälle, neue Abfälle, zwischengelagerte Abfälle, Gesamtüberblick) liegt nicht vor. Sie ist für ein atomrechtliches PFV zur Stilllegung der Schachthanlage Asse II auch nicht erforderlich, da es sich ausschließlich um Altabfälle handelt. Ein Bericht zur Produktkontrolle entfällt, da es derartige Regelungen zur Zeit des damaligen Einlagerungsbetriebes noch nicht gab.

### **3.3.3 Planungen zum Verfüllen und Verschließen des Grubengebäudes und der Schächte**

Die Unterlagen zu diesem Themenkomplex werden als nicht vollständig bewertet. Es bestehen folgende Defizite, die für ein atomrechtliches PFV relevant sind:

Der Nachweis für die Bemessung der Schachtverschlussysteme (Tragfähigkeit, Gebrauchstauglichkeit) ist nicht vollständig. Nachweisführungen für die Bemessung der Strömungsbarrieren (Standicherheit, Gebrauchstauglichkeit) sowie zur Drucklufteinspeisung und -beaufschlagung des Gebirges sind nicht vorhanden. Weiterhin fehlen Unterlagen zum Nachweis der Materialeigenschaften und -kennwerte für den Baustoff Sorelbeton für die Strömungsbarrieren, zur Wetter- und Klimatechnik sowie zum Konzept von Vorsorgemaßnahmen während der Verfüllung.

### **3.3.4 Sicherheitsanalysen**

Die Unterlagen zu den Sicherheitsanalysen werden als vollständig in Bezug auf die Langzeitsicherheitsanalyse (Szenarienanalyse, Radionuklidtransportrechnungen über den Wasser- und Gaspfad, Konsequenzen- und Unsicherheitsanalyse, Kritikalitätssicherheit, grundwasserrechtliche Aspekte) und den Safety Case bewertet.

Es fehlen Analysen über die Auswirkungen der vorgesehenen Maßnahmen auf die Sicherheit während des Stilllegungsbetriebs. Zum bestimmungsgemäßen Stilllegungsbetrieb (Normalbetrieb und anomale Betriebsfälle) wurden keine Unterlagen zur Sicherheitsanalyse, zur Ermittlung der Langzeit-Ausbreitungs- und Ablagerungsfaktoren sowie zur Ermittlung der potentiellen Strahlenexposition der Bevölkerung infolge der Ableitung radioaktiver Stoffe auf der Grundlage der AVV zu § 47 StrlSchV vorgelegt.

Ebenso wurden keine Unterlagen zur Störfallanalyse und Nachweise zur Kritikalitätssicherheit im Stilllegungsbetrieb vorgelegt. Weiterhin fehlen Unterlagen zur Strahlenexposition des Personals bei Störfällen sowie die Bewertung der Anlagensicherheit bei Störfällen in der Betriebsphase.

Es wurden keine Unterlagen zum Nachweis der Standsicherheit der Schächte bei Beanspruchung infolge Erdbeben vorgelegt. Eine entsprechende Unterlage ist aus Sicht des BfS erforderlich, um den Nachweis zu erbringen, dass die geplanten Stilllegungsmaßnahmen ordnungsgemäß durchgeführt werden können.

### **3.3.5 Anlagensicherung**

Unterlagen zur Anlagensicherung wurden nicht vorgelegt.

### **3.3.6 Anlagenplanung**

Es wurden keine Unterlagen zu den im Rahmen der Stilllegung zu errichtenden Anlagen über und unter Tage (Beschreibung des Bergwerks, Medienver- und -entsorgung incl. Elektro-, Leit- und Nachrichtentechnik, Strahlungsüberwachung, konventionelle Abfälle, Maschinenteknik, Brandschutz, Erschließung und Infrastruktur) sowie zu anlagenübergreifenden Aspekten (betriebliche Organisation, Personalqualifikation, Qualitätssicherung) vorgelegt.

### **3.3.7 Maßnahmen zur Umweltverträglichkeitsprüfung**

Es wurden keine Unterlagen zur Umweltverträglichkeitsprüfung vorgelegt (UVS, LBP).

### **3.3.8 Maßnahmen zum Abschluss des Betriebes**

Es wurden keine Unterlagen zur Stilllegung und zum Rückbau der Tagesanlagen vorgelegt. Diese sind für die Stilllegung der Schachanlage Asse II nicht notwendig, da auch im atomrechtlichen PFV Stilllegung des ERAM diese Maßnahmen zum Abschluss des Betriebes einem nachgeschalteten bergrechtlichen Verfahren zugeordnet werden.

Ebenso wurden keine Unterlagen zur Überwachung in der Nachbetriebsphase vorgelegt. Diese sind für ein atomrechtliches PFV zur Stilllegung der Schachanlage Asse II nicht notwendig (siehe Kapitel 3.2.8).

Unterlagen, in denen die Rückholung der in der Schachanlage Asse II eingelagerten radioaktiven Abfälle behandelt wird, liegen nicht vor.

## **4 INHALT UND TIEFGANG DER „UNTERLAGEN ZUM SICHERHEITSBERICHT“ DES FORSCHUNGSBERGWERKES ASSE II**

### **4.1 WESENTLICHE GRUNDLAGEN DES LANGZEITSICHERHEITSNACHWEISES DES FORSCHUNGSBERGWERKES ASSE**

Grundlage eines Langzeitsicherheitsnachweises ist der Anlagenzustand des Endlagersystems in der Nachbetriebsphase. Dieser ist definiert durch die

- geplanten Stilllegungsmaßnahmen,
- mögliche Entwicklungen des Endlagersystems in der Zukunft (Szenarien) und
- die für den LZSN relevanten Systemparameter (z. B. Transportwege, Permeabilitäten, Konvergenz- und Gasbildungsrate).

Das Schließungskonzept des Forschungsbergwerkes Asse sieht die Flutung mit einem weitgehend gesättigten und mit den im Bergwerk aufgeschlossenen Salzgesteinen im Gleichgewicht stehenden Schutzfluid vor. Diese Maßnahme ist laut Antragsteller (GSF) erforderlich, da eine trockene Verwahrung aufgrund des bereits stattfindenden und weder zu unterbindenden noch zu begrenzenden natürlichen Zutritts von Salzlösungen zu massiven Lösungserscheinungen an den im Grubengebäude weitflächig aufgeschlossenen Kalisalzen führt. In deren Folge können sich Zustände ergeben, welche die Prognostizierbarkeit des Verhaltens des Gesamtsystems unmöglich machen. Neben dem grundsätzlichen Nachteil, dass mit dem Schutzfluid ein Transportmedium in das Endlager eingebracht wird, erfordert die Verfüllung mit Schutzfluid weitere Maßnahmen.

Die Stilllegungsmaßnahmen umfassen im Wesentlichen folgende Punkte:

- Die Resthohlraumverfüllung mit verschiedenen Feststoffen mit dem Ziel der Stabilisierung und Hohlraumreduzierung
- Die Verfüllung der MAW-Kammer mit Sorelbeton mit dem Ziel der Minimierung der Schadstofffreisetzung durch Einstellung einer „Gasblase“
- Die Einbringung von Mg-Depots an geeigneten Positionen zur Begrenzung der Schadstoffmobilisierung
- Den Bau von Strömungsbarrieren zur Lenkung der im Grubengebäude ablaufenden Transportprozesse radionuklidhaltiger salinärer Lösungen
- Die Errichtung von Schachtverschlüssen
- Die Druckbeaufschlagung der Grube in der Verfüllphase zur Minimierung der (temporär) ungünstigen geomechanischen Effekte der Schutzfluidverfüllung
- Die Einbringung eines Schutzfluides zum Ausschluss von weiteren ungesättigten Lösungszutritten

Die Szenarien wurden auf der Basis einer vollständigen Szenarienanalyse für das Nah- und Fernfeld ermittelt. Neben dem Referenzszenario wurden alternative Szenarien ermittelt und bewertet. Das Referenzszenario umfasst folgende FEP:

- Wirksame Rückhaltung ausgewählter Radionuklide in den Einlagerungsbereichen durch Löslichkeitsgrenzen und Sorption
- Lösungsbewegung und Auspressung durch Konvergenz und Gasbildung
- Vernachlässigbares Eindringen von Lösung in den Fasskegel der MAW-Kammer (Gasblase) und dadurch vernachlässigbar geringe Mobilisierung von Schadstoffen aus der MAW-Kammer
- Geringe Gasbildung im Fasskegel der MAW-Kammer

- Zone der desintegrierten Steinsalzbarriere in der Südflanke zwischen 574 m und 500 m Teufe
- Auspressen von Lösung und Austreten von Gas aus der Grube in den Rötanhydrit so1A der Südflanke zwischen 574 m und 500 m Teufe
- Kein oder höchstens sehr geringer Gasaustritt entlang der Tagesschächte
- Klimaentwicklung ohne Vergletscherung des Standortes bis zu 150.000 Jahren
- Vorherrschender Transport der Radionuklide in Lösung durch die Rötitaquitarde in den Muschelkalk, kein oder untergeordnetes Hochpressen von kontaminierter Lösung ins verstückelte Deckgebirge/Hutgestein
- Hochschleppen von salz- und radionuklidhaltiger Lösung zur Geländeoberfläche durch den natürlichen Grundwasserfluss
- Vorwiegender Übertritt der Radionuklide in Lösung in die Biosphäre in der Südflanke der Salzstruktur im Nahbereich des Asse-Höhenzuges
- Austritt der Radionuklide in der Gasphase über die Zone der desintegrierten Steinsalz-Barriere in den Rötanhydrit und Aufstieg durch das Deckgebirge zur Geländeoberfläche

Weitere Grundlagen des LZSN im Allgemeinen sind die geologischen, geomechanischen, bergbaulichen und geochemischen Daten des Standortes, die einerseits im Rahmen der Szenarienanalyse die zukünftige Entwicklung des Endlagersystems beschreiben (z. B. Subrosionsraten, Senkungen), andererseits aber auch unmittelbare Eingangsparameter für die Modellrechnungen darstellen können (z. B. Konvergenzraten, Gasbildungsrate, Löslichkeitsgrenzen). Diese werden in den nachfolgenden Kapiteln erwähnt und der Tiefgang ihrer Ableitung und Darstellung wird soweit möglich bewertet.

Grundlage des LZSN im Speziellen sind jedoch jene Parameter, welche auf der Basis der ausgewählten Szenarien die Ergebnisse der Modellrechnungen zur potentiellen Radionukklid-Ausbreitung wesentlich beeinflussen. Auf ihnen gründet sich in besonderer Weise der Nachweis der Langzeitsicherheit. Im vorliegenden LZSN für das Forschungsbergwerk Asse sind dies:

- Radionuklidquellterm (mit allen für seine Ableitung zugrunde gelegten bergbaulichen Maßnahmen (Mg-Depots) und geochemischen Prozessen und Parametern)
- Sicherstellung einer Transportverzögerung im Grubengebäude durch Festlegung bestimmter Transportpfade in der Grube (Kanalisation im Baufeld der Südflanke)
- Begrenzung der Konvergenz
- Transportverzögerung und Verdünnung in der Grube
- Transport im Deckgebirge

Es wird ersichtlich, dass diese wesentlichen Effekte in hohem Maße von der bestimmungsgemäßen Funktion technischer Maßnahmen (Strömungsbarrieren, Mg-Depots) und der belastbaren Kenntnis der bestimmenden Parameter (Löslichkeitsbegrenzungen, transportrelevante Parameter des Deckgebirges) abhängen. Zur Berücksichtigung von Unsicherheiten wurden alternative (ungünstige) Szenarien untersucht und Parametervariationen durchgeführt.



## **4.2 STANDORTBESCHREIBUNG – ERFASSUNG DER AUSGANGSSITUATION**

### **4.2.1 Allgemeine Standortbeschreibung**

#### **Anforderungen (Erforderliche Daten und Parameter)**

Für ein atomrechtliches PFV sind Informationen zur allgemeinen Standortbeschreibung erforderlich. Nach § 3 AtVfV ist der so genannte Sicherheitsbericht zu erstellen, der auch die Beschreibung der Umwelt und ihrer Bestandteile enthält. Es sind Daten zu den untenstehenden Punkten zu erheben, wobei sich Art und Umfang der Daten (insbesondere die Umkreise) am Standardsicherheitsbericht für Kernkraftwerke (KKW) orientieren sollten:

- Einordnung des Standortes in die Raum- und Landesplanung
- Geographische Lage (Lageplan, Katasterplan und -auszug, Karten in verschiedenen Maßstäben)
- Besiedlung (Ort im 10-km-Umkreis, Großstädte (>100.000 Einwohner) bis 50 km, Verwaltungsgliederung)
- Böden, Vegetation und Landschaftsnutzung (Boden- und Wassernutzung im Umkreis von 10 km)
- Gewässer und Wassernutzung (Boden- und Wassernutzung im Umkreis von 10 km)
- Gewerbe- und Industriebetriebe, Militärische Anlagen (10-km-Umkreis)
- Verkehrswege (mit Angabe des Verkehrsaufkommens, Flughäfen im Umkreis von 50 km)
- Meteorologische Verhältnisse (z. B. Niederschläge, Windrichtung)

#### **Vorgehensweise des Antragstellers und Datengrundlage (Belegdichte und Belegqualität)**

Für die allgemeine Standortbeschreibung wurde keine Unterlage vorgelegt. Eine UVS, aus der die Daten hervorgehen könnten, liegt dem BfS nicht vor.

Der Abschlussbetriebsplan (SCHAUERMANN 2007) beinhaltet 26 Anlagen (siehe hierzu Berichtsstruktur im Anhang 3) von denen nur die Anlage 2 "Betriebschronik" (GSF 2007) vorliegt. Anlage 1 ist der nicht vorliegende Sicherheitsbericht (GSF 2006b), in dem möglicherweise die Daten zur allgemeinen Standortbeschreibung zu finden sind.

Vereinzelt werden Informationen zu den oben genannten Punkten in den 33 Unterlagen angesprochen, z. B. die Schacht-Koordinaten, Lage der Schachtanlage, vereinzelt meteorologische Sachverhalte, Hinweise in einleitenden Kapiteln. Eine ausführliche Beschreibung, z. B. der Einordnung in die Raum- und Landschaftsplanung, von Industrieanlagen, von Verkehrswegen und der Besiedlung im Umkreis von 10 km liegt somit nicht vor. In der Betriebschronik sind ausführliche Daten zum Betrieb der Schachtanlage Asse II aufgeführt. Es wird kurz auf die unmittelbaren Verkehrsverbindungen eingegangen. Eine weitere Beschreibung der Umwelt und ihrer Bestandteile erfolgt nicht.

#### **Bewertung (Defizite und Relevanz im Langzeitsicherheitsnachweis)**

Unterlagen zur allgemeinen Standortbeschreibung liegen nicht vor. Dieser Aspekt ist jedoch für den LZSN nur von untergeordneter Bedeutung. Gleichwohl ist der Tiefgang zur "Allgemeinen Standortbeschreibung" für ein atomrechtliches PFV nicht ausreichend.

## 4.2.2 Geologische Standortbeschreibung

Dieses Kapitel umfasst neben der geologischen Standortbeschreibung auch die Aspekte der Hydrogeologie und Hydrologie.

### 4.2.2.1 Deck- und Nebengebirge

Die Beschreibung der geologischen und hydrogeologischen Ausgangssituation am Standort Asse dient der Entwicklung geologischer und hydrogeologischer Modellvorstellungen. Diese werden den numerischen Modellierungen für die Langzeitsicherheitsanalyse zugrunde gelegt, insbesondere den numerischen Berechnungen zum Grundwasserfluss im Deckgebirge. Die hydrogeologischen Verhältnisse am Standort nehmen direkt Einfluss auf die Transportpfade und die Ausbreitung von möglicherweise freigesetzten Schadstoffen im Deckgebirge in der Nachbetriebsphase. Die Kenntnis der hydrogeologischen Ausgangssituation (Identifizierung von Fließsystemen, Eigenschaften der hydrogeologisch relevanten Einheiten und Wegsamkeiten sowie weitere sicherheitsrelevante hydraulische Parameter) ist daher maßgeblich für die Bewertung der zukünftigen Entwicklung des Standorts und der Ableitung von Szenarien. Die Kenntnis der geologischen Gegebenheiten (Stratigraphie, Lithologie, Strukturgeologie) dient sowohl als Grundlage der o. g. hydrogeologischen Beschreibung der Darstellung der geologischen Situation als auch als Grundlage der Interpretation der Strukturgenese und der geologischen Langzeitprognose.

Die räumliche Herkunft und Entstehung der zutretenden Salzlösungen und die Genese der Lösungszutritte stellen wesentliche sicherheitsrelevante Aspekte dar, welche die heutigen Verhältnisse am Standort prägen. Ihre Identifikation und Bewertung müssen bei der Vorhersage möglicher Austrittsstellen und Ausbreitungspfade von Radionukliden berücksichtigt werden und bilden die Grundlage für Aussagen zur Langzeitsicherheit.

### Anforderungen (Erforderliche Daten und Parameter)

#### *Allgemein*

Bei der Beschreibung der geologischen und hydrogeologischen Ausgangssituation sollten zunächst die grundsätzlichen Ziele und die Vorgehensweise zur geologischen, hydrogeologischen und hydrologischen Standortbeschreibung genannt und erläutert werden. Es sollten die wesentlichen sicherheitsrelevanten Aspekte im Zusammenhang mit den geologischen und hydrogeologischen Verhältnissen des Standorts dargestellt und in das Konzept des LZSN eingeordnet werden. Die Rolle der verschiedenen geologischen und hydrogeologischen Merkmale bei der Beurteilung der Langzeitsicherheit ist darzustellen. Auf dieser Basis lassen sich die für den Standort erhobenen Daten und Informationen hinsichtlich ihrer Bedeutung einordnen und die in diesem Zusammenhang notwendige Qualität und Quantität der Daten bewerten. Mit den aus den Ergebnissen abgeleiteten Schlussfolgerungen müssen sich die für die zukünftige Entwicklung des Standorts gemachten Annahmen nachvollziehen lassen, welche wiederum Grundlage für die geplanten Maßnahmen zur Schließung der Schachanlage Asse II darstellen.

Grundsätzlich sollten in der geologischen und hydrogeologischen Standortbeschreibung folgende Punkte enthalten sein, um die verwendete Datengrundlage transparent darzustellen und die Qualität der Ergebnisse nachvollziehbar zu machen:

- Darstellung der erhobenen bzw. zugrunde liegenden Daten (z. B. allgemeine sicherheitsrelevante Parameter und Parameterwerte, Anzahl von Bohrungen, Messnetz, Messpunktdichte bzw. Proben-dichte, Mess- und Probenahmezeitraum, Lage der Messstellen)
- Beschreibung der angewandten Methoden sowie von Randbedingungen, ggf. Problemen bei der Durchführung und Auswerteverfahren

- Diskussion von Unsicherheiten bei der Interpretation von Sachverhalten und der Verwendung relevanter Parameter

Inhaltlich sollte die geologische Standortbeschreibung folgende Themen behandeln:

- Geologischer Aufbau des Untersuchungsgebietes mit Erfassung und Darstellung der stratigraphischen, lithologischen und strukturellen Gegebenheiten
- Geologische Einordnung des Untersuchungsgebietes in den strukturellen Rahmen soweit für die strukturgenetische Interpretation erforderlich
- Hydrogeologischer Aufbau, Gesteinsausbildung aus hydrogeologischer Sicht und Einordnung in den regionalen und/oder lokalen geologischen Kontext
- Hydrostratigraphische Stockwerksgliederung in Grundwasserleiter, -nichtleiter, -geringleiter
- Parametrisierung der hydrogeologischen Einheiten hinsichtlich ihrer hydraulisch relevanten Eigenschaften (z. B. Durchlässigkeit, Porosität, Speicherkoeffizienten, Diffusivität)
- Identifikation, Beschreibung, Parametrisierung und Bewertung hydraulisch relevanter Wegsamkeiten (Klüfte bzw. Klufnetze, Störungszonen)
- Grundwasserbewegung (Strömungsrichtung und -geschwindigkeit, hydraulische Gradienten bzw. Grundwasserdruckhöhen, -flurabstand, -gleichen)
- Einfluss dichteabhängiger Strömung
- Fließsysteme
- Wasserhaushaltsdaten (Niederschlag, Abfluss, Verdunstung), Grundwasserneubildung, Quellen
- In- und Exfiltrationsgebiete
- Süß-/Salzwassergrenze
- Grundwasserbeschaffenheit von Deckgebirgslösungen für die Beurteilung ihrer Herkunft und Genese (Haupt- und Nebenkomponeenten, Dichte, pH-Wert, elektrische Leitfähigkeit, Temperatur)
- Zutretende Salzlösungen im Grubengebäude für die Interpretation und Bewertung ihrer Herkunft (Kartierung der Zutrittsstellen, Untersuchung der Beschaffenheit) (siehe Kapitel 4.2.2.2)
- Daten zum Sorptionsverhalten (Kd-Werte bzw. Retardationskoeffizienten)
- Allgemeine Standortverhältnisse (topographische Lage, Morphologie, Gewässernetz, Klima, Vegetation, Bodennutzung, Böden)

### ***Spezielle Anforderungen für den Standort Asse***

Auf Basis der dem LZSN für den Standort Asse zugrunde liegenden geologischen und hydrogeologischen Ausgangssituation lassen sich neben den grundsätzlichen Anforderungen an die Standortbeschreibung (s. o.) die speziell für den Standort Asse relevanten Merkmale identifizieren. Daraus ergeben sich für den Standort Asse spezifische, auf Basis der allgemeinen Anforderungen näher zu definierende Anforderungen an die geologische Standortbeschreibung. Die Wesentlichen werden im Folgenden kurz aufgeführt:

- Erfassung und Erläuterung der geologisch-strukturellen Gegebenheiten am Top der Salzstruktur als Basis für die Einschätzung der bisherigen und zukünftigen Salinar- und Sulfatsubrosion
- Erfassung und genetische Interpretation des strukturellen Inventars (Störungen, Störungszonen, Klüfte) im Deckgebirge zur Ableitung eines konsistenten geologischen Deckgebirgsmodells als Grundlage für die hydrogeologische Charakterisierung
- Charakterisierung der geologischen Gegebenheiten an der Südflanke, insbesondere der Übertrittsstelle für Lösungen in das und aus dem Endlager (geologisches Modell)

- Beschreibung der relevanten Transportpfade (su- $\rho$ , smS, mu, mo1/mo2, ko und z3AM) sowie der (teufenabhängigen) Veränderung der hydraulischen Durchlässigkeiten insbesondere im Bereich der desintegrierten Salzbarriere
- Erfassung der entlang des Zechstein-Salzspiegels verlaufenden Subrosionsgerinne
- Bewertung der in den relevanten Einheiten vorherrschenden Fließsysteme hinsichtlich prioritär zu betrachtender Fließpfade
- Ableitung potentieller Austritts- und Ausbreitungspfade für Schadstoffe und deren hydraulischen Eigenschaften unter Berücksichtigung der an der Südflanke identifizierten Zutrittsstellen
- Darstellung der lokalen Grundwasserbewegung und lokalen Ex- und Infiltrationszonen, da nach KLEMENZ et al. (2006) großräumige bzw. regionale Grundwasserbewegungen für die Langzeit-sicherheit des Standortes nicht relevant sind
- Beschreibung und Nachweise zu den hydraulischen Wechselwirkungen zwischen den Teilgebieten (zentraler Teil / südliches Längstal und Asse-Südflanke)
- Erläuterung zur Bestimmung der Infiltrationszonen Asse-Burg, Remlinger Herse und Klein Vahlberger Buchen sowie der Exfiltrationszonen Täler des Rothebaches, der Ammerbeek sowie bei Groß Denkte
- Erläuterung der Wirksamkeit der Störungszonen bei Groß Vahlberg, Ammerbeek und von Groß Wittmar
- Beschreibung der Eigenschaften der Kluffzonen in den Grundwasserleitern und -geringleitern, da sich nach BUHMANN, FÖRSTER & RESELE (2006) das Grundwasser in allen hydrogeologischen Einheiten entlang von diskreten Wegsamkeiten bewegt und den Einheiten daher typische Eigenschaften von Kluffgrundwasserleitern zuzuordnen sind
- Charakterisierung der geologischen Trennfläche S3/D9 als hydraulische Verbindung zwischen Rötäquitarde und mu (GWL)

## **Vorgehensweise des Antragstellers und Datengrundlage (Belegdichte und Belegqualität)**

### ***Grundsätzliche Anmerkungen***

Grundlage für die geologische Standortbeschreibung ist der Bericht RAUCHE, FRANZKE & SCHWANDT (2004), strukturgenetische Aussagen sind auch in KLEMENZ & RESELE (2005) enthalten. Angaben zur hydrogeologischen Standortbeschreibung sind im Wesentlichen in KLEMENZ et al. (2006) enthalten. Diese Unterlage wurde der Prüfung als Referenzunterlage zugrunde gelegt. In Ergänzung dazu wurden alle anderen vorliegenden Unterlagen (siehe Anhang 2) einbezogen. Es wurden auch die nachfolgenden Unterlagen berücksichtigt: STOCKMANN et al. (2003), STOCKMANN et al. (2006), POLLER, RESELE & POPPEI (2006), BUHMANN, FÖRSTER & RESELE (2006).

Die Bewertung, ob die Ausgangssituation in einem für einen LZSN im Rahmen eines atomrechtlichen PFV ausreichenden Tiefgang erfasst und dargelegt wurde, kann nur anhand der in den vorliegenden Unterlagen beschriebenen Sachverhalte erfolgen. Die Prüfung des Themenkomplexes „Geologische und Hydrogeologische Standortbeschreibung“ beruht daher im Wesentlichen auf den in den geprüften Berichten dargestellten Tiefgang. In den Fällen, in denen detaillierte Angaben zu den zugrunde liegenden Daten gemacht oder ggf. Messdaten zitiert werden, wurde dies bei der Prüfung berücksichtigt.

Die der Standortbeschreibung zugrunde liegenden Daten sind in KLEMENZ et al. (2006) und RAUCHE, FRANZKE & SCHWANDT (2004) größtenteils unter Bezugnahme auf die Berichte, denen sie entnommen wurden, dargestellt. Somit handelt es sich bei den genannten Daten vornehmlich um sekundäre Daten. Bei der Beschreibung der geologischen Sachverhalte wird auf einen Teil der Daten näher eingegangen, indem auch Parameterwerte genannt werden. Als Beispiel sei hier die Beschreibung möglicher In- und Exfiltrationszonen bzgl. der Höhenlage von Aufschlüssen relevanter Grundwasserleiter im Gebiet der Asse

genannt. Zum größten Teil wird für nähere Informationen jedoch auf Hintergrundberichte mit Primärdaten verwiesen. Die Kenntnis dieser Informationen ist für eine Bewertung des Tiefgangs der zu prüfenden Unterlage wesentlich. Diese Hintergrundberichte lagen bei der Tiefgangsprüfung nicht vor. In diesen Fällen kann deshalb keine Aussage dahingehend gemacht werden, ob die Daten mit einer angemessenen Qualität und Quantität erhoben bzw. verwendet wurden.

### ***Datengrundlage für die Geologische Standortbeschreibung***

Die Datengrundlage wird in RAUCHE, FRANZKE & SCHWANDT (2004) durch Nennung der zugrunde liegenden Berichte aufgelistet. Eine detaillierte Bewertung der Belegdichte und Belegqualität der geologischen Daten erfolgt nicht. Offensichtlich beruht die geologische Erkundung des Untersuchungsgebietes („Fern- und Mittelfeld“) auf keinem einheitlichen und an den Erfordernissen des LZSN und der Stilllegungsplanung ausgerichteten Erkundungs-, Auswertungs- und Dokumentationsprogramm. Die Datenbasis besteht vielmehr aus verschiedenen, mit unterschiedlichen Intentionen und Zielstellungen durchgeführten Einzeluntersuchungen, welche zum Teil auch schon zusammenfassend ausgewertet wurden (z. B. BATSCHE, KLARR & v. STEMPEL 1994, WEINBERG 1997). Diese liegen dem BfS jedoch nicht vor.

Eine Beschreibung der stratigraphischen, lithologischen und strukturellen Gegebenheiten des Deck- und Nebengebirges liegt vor, und es erfolgt die geologische Einordnung des Untersuchungsgebietes in den strukturellen Rahmen. Eine Darstellung der Strukturgenese, wie sie für die geologische Langzeitprognose erforderlich ist, ist in RAUCHE, FRANZKE & SCHWANDT (2004) und KLEMENZ & RESELE (2005) enthalten.

Daten zu den geologisch-strukturellen Gegebenheiten am Top der Salzstruktur liegen in RAUCHE, FRANZKE & SCHWANDT (2004) vor. Es werden textliche Erläuterungen zum Hutgestein und zur Subrosion auf Basis von Einzeluntersuchungsergebnissen gegeben. Insgesamt umfasst der Abschnitt zur Salinarsubrosion und der Verbreitung der Residuen (Deckgebirgsresiduen und Zechsteinresiduen) in RAUCHE, FRANZKE & SCHWANDT (2004) zwei Seiten. Graphische Abbildungen zur Verdeutlichung der geologisch-strukturellen Gegebenheiten des Hutgesteins liegen nicht vor.

Der Bericht KLEMENZ & RESELE (2005) enthält eine Abschätzung zur Salinarsubrosion der zechsteinzeitlichen Salze und der Salzgesteine im Deckgebirge. Es werden sowohl fossile wie rezente Subrosionsraten abgeschätzt und für die geologische Langzeitprognose Annahmen zur zukünftig möglichen Subrosion getroffen.

Daten zum strukturellen Inventar (Störungen, Störungszonen, Klüfte) im Deckgebirge sind in RAUCHE, FRANZKE & SCHWANDT (2004) textlich und graphisch dargestellt. Eine detaillierte Charakterisierung der geologischen Gegebenheiten, speziell an der Südflanke der Struktur, ist den Unterlagen nicht zu entnehmen.

### ***Datengrundlage für die Hydrogeologische Standortbeschreibung***

In den zur Prüfung vorgelegten Unterlagen ist eine Dokumentation der geologischen Einheiten, die zum Teil aus Bohrungen abgeleitet wurden, enthalten. In Form von Tabellen wird die Zuordnung der geologischen Schichten zu hydrogeologischen Einheiten vorgenommen.

Die regionale Geologie hinsichtlich struktureller Elemente sowie die Morphologie auf Basis der geologischen Situation mit einer Beschreibung der Aufteilung des Asse-Höhenzugs in Längstäler, markanten Erhöhungen, wichtigen Strukturelemente, Lagerungsverhältnisse sowie der Unterscheidung von Längs-, Quer- und Diagonalstörungen sind dargestellt. Darauf aufbauend werden mögliche ausgebildete Wegsamkeiten abgeleitet. Ebenso wird die Lage wichtiger In- und Exfiltrationszonen beschrieben. Die Datengrundlage für die Erfassung der (Struktur-)Geologie beruht auf einer geologischen Karte im Maßstab 1:10.000 und einer Serie von Längs- und Querschnitten. Die lithostratigraphische Schichtenfolge ist aus Geländeaufnahmen und Bohrerergebnissen abgeleitet. Die geologische Karte sowie die Längs- und Querschnitte lagen bei der Tiefgangsprüfung nicht vor.

Die hydraulische Durchlässigkeit wurde im Wesentlichen auf Basis hydraulischer Untersuchungen in Bohrungen mittels Pumpversuchen, Packerversuchen, Einschwingversuchen und Einbohrlochmethode bestimmt. Schwerpunkt war hier die Untersuchung der Grundwasserleiter; Aquitarden wurden nur wenig untersucht. Ebenfalls in Bohrungen erfolgte die Messung des Grundwasserspiegels bzw. der hydraulischen Druckhöhen. Für die hydraulische Durchlässigkeit wurden zudem Werte vom Standort Konrad übertragen.

Die Grundwasserneubildung wurde mittels unterschiedlicher Methoden untersucht, von denen das Verfahren nach Ziegler / Gabriel als am besten geeignet angesehen wird. Des Weiteren wurden die Höhenlagen von Quellaustritten und permanenten Wasserläufen berücksichtigt. Für Grundwasser leitende Schichten mit erhöhter Salinität wurden Dichtekorrekturen für die Bestimmung des Süßwasserdruckspiegels vorgenommen. Die Bestimmung der Grundwasseroberfläche bzw. die Erstellung eines Grundwassergleichenplanes basiert auf der Verwendung von Daten aus oberflächennahen Grundwasserständen in un tiefen Grundwassermessstellen, Höhenlagen von Quellen und Höhenlagen der mit dem Grundwasser in Verbindung stehenden Vorfluter sowie Messungen des Grundwasserspiegels in den Schächten Asse 1 und Asse 2 (Messwerte an ca. 50 Messstellen). Tiefer liegende Messintervalle blieben unberücksichtigt.

Fließrichtung und Fließgeschwindigkeit wurden über die Identifikation möglicher hydraulischer Verbindungen mit Hilfe von Markierungsversuchen und Interferenzmessungen während hydraulischer Tests bestimmt. Es wurden insgesamt sechs Markierungsversuche durchgeführt, davon zwei im Subrosionsgerinne, einer in der NE-Flanke und drei in der SW-Flanke. Die Darstellung der Fließverhältnisse und die Erstellung von Grundwassergleichenplänen basieren auf Daten zu Position, Höhenlage und geologische Formationen von Quellaustritten, Brunnen, Drainagen und Vorfluter (als Messstellen M bezeichnet) sowie auf Verlauf und Höhenlage der permanent Wasser führenden Gerinne.

Porositätswerte wurden für die Einheiten Buntsandstein bis Muschelkalk an den Bohrungen R5 bis R9 ermittelt. Dazu wurden Bohrlochgeophysik und Laboruntersuchungen an Kernproben eingesetzt. Zusätzlich wurden Porositätswerte von den Standorten Konrad und Morsleben übertragen.

Die Bestimmung der Süß-/Salzwassergrenze beruht auf transientenelektromagnetischen Messungen (TEM), der Analyse entnommener Wasserproben bzw. Leitfähigkeitsprofilen in Bohrungen sowie auf Hubschrauber-Elektromagnetik.

Für die Beschreibung der hydrogeologischen Modellvorstellungen wird in einen Fernbereich und einen Nahbereich unterschieden. Die für die regionalen Grundwasserverhältnisse des Fernbereichs charakteristischen Merkmale werden dargestellt und Einflüsse auf die Wasserabflüsse aus dem Standortbereich Asse in den Fernbereich (Störungen, Dichteeffekte,  $k_f$ -Abnahme) diskutiert. Die Verhältnisse im Nahbereich werden anhand von sieben identifizierten Fließsystemen dargestellt und die darin relevanten hydrogeologischen Einheiten auf Grundlage von Bohrkernen (Lithologie), Bohrungen (Filterstrecken) und der Auswertung der hydraulischen Untersuchungen parametrisiert. Dabei wird die Belastbarkeit der Ergebnisse für die hydrogeologische Modellierung diskutiert.

Im hydrogeologischen Modell werden Subrosionsgerinne für den Bereich um die Schachanlage Asse II ausgeschlossen. Die relevanten lokalen Störungen werden als diskrete Wegsamkeiten berücksichtigt und die Wasserbewegung im oberflächennahen aufgelockerten Bereich (bis 200 m Tiefe) vernachlässigt. Es werden Annahmen zu den Subrosionsgerinnen und einer möglichen Zerblockung der Aquifere getroffen. Auf Basis verschiedener Fließsysteme werden die lokalen Grundwasserbewegungen abgebildet. Die Datengrundlage zur Bestimmung der Fließsysteme beruht auf dem geologisch-hydrogeologischen Bau der Asse, der Position der Süß-/Salzwassergrenze, der Lokalisation, Schüttung, Mineralisierung und zeitlichen Variabilität von Quellen sowie auf Verkarstungserscheinungen, Fließgeschwindigkeiten (aus Tracertests) und Isotopendaten. Einflüsse auf die Fließverhältnisse durch erhöhte Dichte von Salzwasser werden diskutiert ebenso die Bestimmung der Grundwasserneubildung für verschiedene Teilgebiete.

Der Nahbereich wird für die detaillierte Betrachtung der Gegebenheiten in sieben Teilgebiete untergliedert. Zur Charakterisierung dieser Teilgebiete werden Angaben zu Morphologie / Oberflächen-Einzugsgebiete, durchgeführten Untersuchungen und Messungen, hydrogeologischem Bau bzw. unterirdischem Einzugsgebiet, Süß-/Salzwassergrenze, besondere Verhältnisse (hydraulische Indikatoren), konzeptueller

Beschreibung des hydrogeologischen Baus bzw. Schemas des Grundwasserflusses sowie Querverbindung zu anderen Teilgebieten gemacht. Die Parametrisierung der hydrogeologischen Einheiten erfolgt anhand drei charakteristischer Teilgebiete.

## **Bewertung (Defizite und Relevanz im Langzeitsicherheitsnachweis)**

### ***Allgemeine Anmerkungen***

Die Vorgehensweise zur geologischen und hydrogeologischen Standortbeschreibung entspricht grundsätzlich jener für einen LZSN im Rahmen eines atomrechtlichen PFV. Plausibel werden die geologischen und hydrogeologischen Gegebenheiten des Standorts beschrieben, in den geologischen und strukturellen Kontext (Dreiteilung in NE-Flanke, SW-Flanke und zentralen Bereich) eingeordnet und Wechselwirkungen zwischen den Gebieten abgeleitet. Die Einordnung in das geologisch-strukturelle Umfeld sowie die stratigraphisch-lithologische Beschreibung ist nachvollziehbar und entspricht den Anforderungen. Die hydrogeologische Unterteilung in Teilgebiete und Fließsysteme ist sinnvoll, ebenso die schwerpunktmäßige Betrachtung der für den LZSN relevanten Merkmale und Gebirgsbereiche bzw. hydrogeologische Einheiten, insbesondere der SW-Flanke und des zentralen Bereichs (südliches Längstal). Es werden die regionalen und lokalen In- und Exfiltrationszonen abgeleitet und beschrieben, ebenso wie die Grundwasserflüsse im Nahbereich. Die Eigenschaften der verschiedenen Einheiten und Teilgebiete werden beschrieben und parametrisiert. Die Verwendung der vorhandenen Datenbasis sowie die Berücksichtigung der heutigen hydrogeologischen Gegebenheiten am Standort führen zu logischen Schlussfolgerungen und Annahmen und der Entwicklung eines hydrogeologischen Modells. Der Tiefgang zur Beschreibung der Standortverhältnisse entspricht grundsätzlich dem für einen LZSN für ein atomrechtliches PFV.

Einschränkungen des Tiefgangs sind jedoch hinsichtlich der Datengrundlage zu machen, die als kritisch bzw. nicht ausreichend eingestuft werden muss. Die Darstellung der erhobenen bzw. zugrunde liegenden Daten (z. B. allgemeine sicherheitsrelevante Parameter und Parameterwerte, Anzahl von Bohrungen, Messnetz, Messpunktdichte bzw. Probendichte, Mess- und Probenahmezeitraum, Lage der Messstellen) ist unvollständig bzw. nicht transparent. Zum einen fehlt in vielen Darstellungen des Sachverhaltes der Bezug zu den Primärdaten. Oftmals werden eine oder mehrere Literaturquellen genannt und keine näheren Informationen zur Datengrundlage und somit die für das Verständnis und die Beurteilung der Qualität notwendige Hintergrundinformation geliefert. Aus diesem Grund ist in vielen Fällen die Belegdichte mit Daten unzureichend. Zum anderen vermitteln die Unterlagen den Eindruck, dass für einige Betrachtungen zu wenig Daten erhoben bzw. alte Daten lediglich neu interpretiert wurden.

Da der Tiefgang für verschiedene Themenkomplexe zur geologischen und hydrogeologischen Standortbeschreibung unterschiedlich ist, werden diese nachfolgend differenziert behandelt und der Tiefgang sowie ggf. Defizite kommentiert.

### ***Bewertung des Tiefgangs der geologischen Standortbeschreibung***

Die Einordnung in das geologisch-strukturelle Umfeld und die stratigraphisch-lithologische Beschreibung ist nachvollziehbar und entspricht den Anforderungen an die Darstellungstiefe im Rahmen des PFV. Die stratigraphische, lithologische Darstellung ist ausreichend. Angesichts der Bedeutung der strukturellen Gegebenheiten des Deck- und Nebengebirges ist eine nachvollziehbarere Darstellung der tektonischen Verhältnisse sinnvoll. Es ist nicht ersichtlich, auf welcher Datenbasis das dargestellte Störungsmuster basiert und wie es sich in die Tiefe, insbesondere im Bereich der SW-Flanke, fortsetzt. Hierzu werden üblicherweise Horizontkarten der einzelnen Baueinheiten oder geologische Karten in unterschiedlichen Teufenniveaus und geologische Schnittserien erstellt. Die drei in Anlage 9 von RAUCHE, FRANZKE & SCHWANDT (2004) dargestellten geologischen Schnitte sind dafür nicht ausreichend und ergeben kein konsistentes strukturelles Modell des Deckgebirges. Es kann nicht beurteilt werden, inwieweit diese auf seismischen Daten beruhen (SCHWERDT 1984, GSF 1983, GGD 1998, BAUER et al. 1998, HENTE 1998) und welche mit Bohrungen

korreliert wurden. Im Detail ist eine unzureichende Konsistenz mit anderen Darstellungen festzustellen (KLEMENZ & RESELE 2005: Abb. 13). Sofern das dargestellte Störungsmuster explizit in die Beurteilung geomechanischer oder langzeitsicherheitsrelevanter Sachverhalte eingeht, wird auf der Basis der vorliegenden Unterlagen ihre Belastbarkeit als unzureichend angesehen.

Die in RAUCHE, FRANZKE & SCHWANDT (2004) dargestellten Daten der geologisch-strukturellen Gegebenheiten am Top der Salzstruktur spiegeln nicht die Bedeutung des Hutgesteins für die Interpretation der fossilen, rezenten und zukünftigen subrosiven Entwicklung wider. Die dokumentierten Mächtigkeitsangaben für das Hutgestein (S. 48 „10 bis 15 m im Bereich der Tiefbohrung Remlingen 9“; „60 m im Umfeld Schacht II“) ergeben kein konsistentes Bild und keine sichere Datengrundlage. Gleiches muss für die Darstellung des Verlaufs der Ablaugungsgrenze (Salzspiegel) festgestellt werden. Auch hierzu werden in den vorliegenden Unterlagen keine konsistenten, beurteilungsfähigen Daten vorgelegt. Die in RAUCHE, FRANZKE & SCHWANDT (2004) abgebildete computergenerierte Darstellung der „Teufenlage Oberkante Salinar“ (Abb. 6) lässt aufgrund ihres Maßstabes und der fehlenden Angaben zu Stützstellen den zur Subrosionsanalyse und zur Bewertung der Hangendschutzschicht notwendigen Detaillierungsgrad vermissen. Die in KLEMENZ & RESELE (2005) verwendete Abb. 6 stammt aus dem Jahr 1963 und umfasst damit nicht die neueren Untersuchungsergebnisse aus der Zeit der Erkundung des Forschungsbergwerkes. Eine alle Untersuchungsdaten (Bohrungen, EMR-Messungen, ggf. Seismik) zu den Ablaugungsgrenzen umfassende Darstellung in den Unterlagen zum LZSN ist daher sinnvoll. Eine Einschätzung der hydrogeologischen Gegebenheiten ohne eine detaillierte lithologische und strukturelle Charakterisierung des Hutgesteins ist mit den vorliegenden Informationen kaum möglich.

Die in KLEMENZ & RESELE (2005) enthaltene Darstellung zur Abschätzung der Salinarsubrosion zechsteinzeitlicher Salze und der Salzgesteine im Deckgebirge ist sehr umfangreich und in sich nachvollziehbar. Auf der Basis der vorliegenden Unterlagen kann jedoch nicht abschließend beurteilt werden, ob und inwieweit der gewählte Ansatz zu belastbaren Prognosen führt. Als Defizit wird auf Basis der vorliegenden Unterlagen die o. g. mangelnde Kenntnis zum Hutgestein angesehen. Zum Beispiel sind die für die Rückrechnung der fossilen Subrosion gewählten Annahmen für den Gehalt an unlöslichen Bestandteilen der salinaren Schichten (ohne nichtchloridische Schichten) von 10 % bis 20 % hoch und nicht begründet. Auf Prozesse der selektiven Subrosion (z. B. infolge des Lösungstransports über austreichende Anhydritmittel) wird mit der Begründung, diese Hypothese würde im LZSN nicht weiter verfolgt, nicht eingegangen. Zur Beurteilung der subrosiven Gegebenheiten in der Vergangenheit und damit auch als Grundlage der Prognose ist auch eine Einschätzung der Humidsubrosion der Sulfate erforderlich. Sofern auch Sulfate über geologische Zeiten gelöst werden, ist dies in die Mengenbilanzierung einzubeziehen. Aussagen dazu sind in den vorliegenden Berichten nicht enthalten.

### ***Bewertung des Tiefgangs der hydrogeologischen Standortbeschreibung***

Die Darstellung des geologischen Hintergrunds, der strukturellen Einheiten und des grundsätzlichen Aufbaus des Asse-Höhenzugs sowie die Einordnung der hydrogeologischen Einheiten in die geologische Schichtenfolge sind ausführlich und mit entsprechenden Abbildungen und Tabellen hinterlegt. Die geologischen Ausführungen als Grundlage zur hydrogeologischen Standortbeschreibung sind in ihrem Tiefgang ausreichend.

Die Darstellung der relevanten Grundwasserleiter und des hydrogeologischen Stockwerkbaus ist plausibel und erfolgt auch mit einer angemessenen Auflösung der Einheiten für den Nahbereich im hydrogeologischen Modell. Der hydrogeologische Aufbau (Verteilung und räumliche Verbreitung der Einheiten) wird mit ausreichendem Tiefgang und Bezug zu unterschiedlichen Teilgebieten beschrieben.

Die Bestimmung hydraulisch relevanter Parameter an rund 60 zur Verfügung stehenden Bohrungen ist ausreichend. Die Beschreibung der Methoden, die Diskussion der Randbedingungen und der Ergebnisse sowie die Übersicht der durchgeführten Tests mit Ergebnissen, getesteten Intervallen und dazugehörigen Referenzen erfolgt mit dem nötigen Tiefgang, ebenso die Darstellung der Schlussfolgerungen. Aufgrund der Darlegung in (KLEMENZ et al. 2006), dass die hydraulischen Versuche im verstärzten Deckgebirge, im Hutgestein und in den Subrosionsgerinnen zum Teil nur wenig belastbare Ergebnisse lieferten und die Transmissivitäten der Subrosionsgerinne teilweise abgeschätzt wurden, ist die Aussagekraft der Angaben zu



den hydraulischen Durchlässigkeiten nicht ausreichend. Als den Tiefgang einschränkend ist zudem die Fokussierung der Untersuchungen auf untiefe durchlässige Zonen anzusehen. Undurchlässige Schichten, die eine hydraulische Trennung zwischen Grundwasserleitern bewirken, wurden nicht untersucht. Da ein Merkmal des Fließsystems am Standort Asse die Hauptfließrichtung längs der Struktur ist und eine Grundwasserbewegung quer zur Struktur nur über Leckage zwischen den Schichten erfolgt, ist hier eine größere Datengrundlage zur Bestätigung dieser Annahme sinnvoll.

Des Weiteren wurden Daten (hydraulische Durchlässigkeit) aus dem Konrad-Modell (Plan Konrad) für die im Standortbereich Asse wenig untersuchten Schichten zwischen Muschelkalk und Quartär übertragen, ohne dass die Möglichkeiten einer Übertragbarkeit diskutiert wurden.

Die Angaben zu den Porositäten sind grundsätzlich plausibel. Die durchgeführten bohrlochgeophysikalischen Messungen und Untersuchungen an Bohrkernen liefern in der Regel qualitativ ausreichende Daten. Allerdings ist auch hier eine ausreichende Belegdichte mit Daten fraglich, da Ergebnisse zur Porosität lediglich für fünf Bohrungen (R5 – R9) vorliegen und wiederum Daten vom Standort Konrad übertragen werden. Auch fehlt hier eine Bewertung, inwieweit sich die verschiedenen Datensätze ergänzen oder widersprechen.

Angaben zu Vorkommen, Lage, Orientierung, Öffnungsweite und Durchlässigkeiten von Klüften (hier lediglich über einen Korrekturfaktor zur Erhöhung der Durchlässigkeit in den betreffenden Einheiten enthalten) im Standortbereich Asse bzw. für die in den Bohrungen erfassten Einheiten sind in den vorliegenden Unterlagen nicht enthalten. Dies wird insofern als notwendig angesehen, als den Grundwasser leitenden Schichten grundsätzlich die Eigenschaften von Kluftgrundwasserleitern zugeordnet werden und nach BUHMANN, FÖRSTER & RESELE (2006) die Bewegung des Grundwassers auf diskreten Wegsamkeiten stattfindet. Auch die im lokalen Bereich (Nahbereich) des Standorts Asse als bedeutend identifizierten und in der Modellierung diskret berücksichtigten Klüfte sind nicht durch einen eigenen Datensatz hinsichtlich der notwendigen Informationen (s. o.) dokumentiert. Ihre Wirksamkeit bzgl. der Standortverhältnisse wird zwar plausibel beschrieben, es liegen jedoch keine konkreten Daten vor.

Die Durchführung von Markierungsversuchen und Interferenztests zur Bestimmung der Fließrichtungen und Fließgeschwindigkeiten ist angemessen. Die zur Bestimmung der Fließverhältnisse zugrunde liegende Daten sind größtenteils mit ausreichendem Tiefgang beschrieben und plausibel. Die Messstellen werden ausführlich dargestellt und die Messergebnisse (elektrische Leitfähigkeit, mittlere Schüttung) aufgelistet. Lediglich einige grundsätzliche Angaben, z. B. zur Anzahl der Messstellen, fehlen. Insgesamt wird der Tiefgang zur Beschreibung der Fließverhältnisse und Ableitung der verschiedenen Fließsysteme in den Teilgebieten als ausreichend angesehen.

Jedoch werden sechs Markierungsversuche für das gesamte Untersuchungsgebiet als nicht ausreichend betrachtet. An den Beobachtungsstellen wurden zum Teil nur geringe Wiederfindungsraten erfasst (1,6 % recovery) bzw. es wurden keine Tracerdurchbrüche gemessen. Trotzdem werden mit den vorliegenden Ergebnissen mögliche hydraulische Verbindungen interpretiert bzw. ausgeschlossen. Zudem werden mögliche Einschränkungen beim Einsatz des Tracers Uranin nicht diskutiert. Insgesamt sind die Anzahl der Untersuchungen sowie die Ergebnisse der Markierungsversuche als unbefriedigend und der Tiefgang als unzureichend zu betrachten. Für eine ausreichende Datengrundlage sind eine größere Anzahl von Untersuchungen an einer größeren Anzahl von Bohrungen und einer angemessenen Anzahl von Beobachtungsstellen sowie längere Messzeiträume, die insbesondere aufgrund der großen Durchlässigkeitsunterschiede erforderlich sind, notwendig.

Das Vorgehen zur Ermittlung des Grundwasserspiegels bzw. der Druckhöhen ist plausibel. Die Darstellung der Messungen und die vorgenommene Umrechnung in Süßwasserdruckhöhen sind nachvollziehbar. Der Tiefgang bei der Diskussion der Ergebnisse sowie möglicher Unsicherheiten ist ausreichend. Mangelnder Tiefgang findet sich bei der Kartendarstellung der Ergebnisse, da lediglich ein Gleichenplan abgebildet ist. Zu diesem fehlen Angaben zum Messzeitraum bzw. Messzeitpunkt. In (KLEMENZ et al. 2006) werden lediglich zwei Messkampagnen aus den Jahren 1986 zw. 1989 erwähnt. Die Erstellung des für die hydrogeologische Standortbeschreibung wichtigen Grundwassergleichenplans basiert scheinbar auf einer mangelhaften Datengrundlage, die lediglich neu interpretiert wird. Die Feststellung der am Standort sehr komplexen

Fließverhältnisse wird als Begründung dafür angeführt, dass sie nicht in einem einzigen Gleichenplan abgebildet werden können. Aus diesem Grunde sollte die Darstellung umfangreicher ausfallen und nicht auf einen Plan beschränkt bleiben. Hier ist der Tiefgang nicht ausreichend, insbesondere deshalb, weil in BUHMANN, FÖRSTER & RESELE (2006) auf die Bedeutung der Erfassung der Grundwasseroberfläche für den LZSN hingewiesen wird. Es fehlen weiterhin Darstellungen zu Flurabstand, Ganglinien und (jahres)zeitlichen Entwicklungen der Grundwassergleichen.

Die Beschreibung der regionalen und lokalen Ex- und Infiltrationsgebiete erfolgt mit ausreichendem Tiefgang. Die Bestimmung der Grundwasserneubildung unter Berücksichtigung der Ergebnisse verschiedener Arbeiten ist angemessen und plausibel. Die zugrunde liegenden Messdaten liegen jedoch nicht vor und so lässt sich die Wahl der als geeignet angesehenen Methode nach Ziegler / Gabriel zur Ermittlung der Grundwasserneubildung nicht nachvollziehen. Zudem wurden die Neubildungsraten über das gesamte Einzugsgebiet gemittelt bestimmt und keine flächenhafte Differenzierung vorgenommen. Dies stellt eine vereinfachende Annahme dar, die zwar zu nutzbaren und realistischen Werten führen kann, deren Zulässigkeit jedoch nicht begründet wird. Auch im Zusammenhang mit der hydrogeologischen Modellbildung ist die Datengrundlage zur Grundwasserneubildung nicht ausreichend, da Unsicherheiten aufgrund nicht gemessener bzw. nicht messbarer Schüttungen verbleiben, so dass es zum Teil bei Abschätzungen bleibt bzw. Unsicherheiten für die über die Fläche gemittelten Werte hingenommen werden.

Die Beschreibung der Lokalitäten und Mengen von Grundwasserentnahmen für die Erfassung der Grundwasserbeschaffenheit und Bestimmung von Isotopen ist ausreichend. Jedoch wird für die Analysenergebnisse wiederum auf Literatur mit den entsprechenden Primärdaten verwiesen. Es gibt daher keine Angaben zu Analysenergebnissen, zur Anzahl der untersuchten Proben, zum Beprobungszeitraum oder zu den untersuchten und bei der hydrogeologischen Standortbeschreibung als relevant angesehenen Parametern.

Die Erfassung der Süß-/Salzwassergrenze mit den dargestellten Methoden wird in einem ausreichenden Tiefgang beschrieben. Zwar werden zu den analysierten Grundwasserproben wiederum keine Ergebnisse genannt, sondern auf entsprechende Primärliteratur verwiesen, die Untersuchungen und Ergebnisse der TEM sowie der Hubschrauber-Elektromagnetik werden jedoch ausführlich und plausibel dargestellt, entsprechend mittels Abbildungen dokumentiert und nachvollziehbare Schlussfolgerungen vorgenommen.

Daten zum Sorptionsverhalten der Grundwasser leitenden Schichten im Deckgebirge sind in der hydrogeologischen Standortbeschreibung nicht enthalten. Diese sind für den LZSN für den Standortbereich Asse jedoch nicht relevant, da eine Sorption von Schadstoffen im Deckgebirge nicht berücksichtigt wird.

Angaben zu den allgemeinen Standortverhältnissen (topographische Lage, Morphologie, Gewässernetz, Klima, Vegetation, Bodenutzung, Böden) werden in Kapitel 4.2.1 behandelt.

Insgesamt ist die Ableitung der hydrogeologischen Grundlagen zur Modellbildung plausibel und den Verhältnissen am Standort angemessen. Der Tiefgang ist für das Verständnis der Situation und die entsprechende Transformation der Informationen in ein hydrogeologisches Modell ausreichend. Wiederum ist zu bemerken, dass die Annahmen und Festlegungen oftmals keine Rückschlüsse auf die Datengrundlage zulassen bzw. von einer unzureichenden Datengrundlage für die Ableitung der Annahmen auszugehen ist. Dies bedeutet nicht, dass eine größere Belegdichte mit Daten zu anderen Schlussfolgerungen führen würde. Das Vertrauen in die Daten und die Annahmen würde sich jedoch mit einer tiefgründigen Datengrundlage erhöhen und Fragestellungen mit größerer Sicherheit beantworten lassen.

Die Beschreibung des Fernbereichs des hydrogeologischen Modells erfolgt mit ausreichendem Tiefgang. Die dazu vorgenommene Diskussion möglicher Einflüsse auf Wasserabflüsse aus dem Standortbereich Asse in den Fernbereich ist plausibel, beruht jedoch lediglich auf schematischen Annahmen zu Störungen, Dichteeffekten (Berücksichtigung bzw. Bewertung des Einflusses dichteabhängiger Strömung) und  $k_f$ -Abnahme. Hier fehlt ein stärkerer Standortbezug. Es wird zudem festgehalten, dass „*der Kenntnisstand über die im Fernbereich vorhandenen Störungen (Lokalisation, Verstellung, Durchlässigkeit) gering ist*“ (KLEMENZ et al. 2006). Die grundsätzlich und für die Modellbetrachtung gemachte Annahme, die Grundwasserhältnisse im Fernfeld seien für den Nahbereich nicht relevant und werden deshalb nicht weiter verfolgt, bedarf an dieser Stelle einer stärkeren Begründung.

Der Nahbereich des hydrogeologischen Modells wird mit ausreichendem Tiefgang und plausibel beschrieben, auch hinsichtlich der Unterschiede in den hydrogeologischen Einheiten zwischen NE- und SW-Flanke. Die Berücksichtigung von Störungen als diskrete Wegsamkeiten im Modell ist angemessen und der Standortbezug diesbezüglich nachvollziehbar. Lediglich eine plausible Begründung für die Vernachlässigung der Wasserbewegung im oberflächennahen, aufgelockerten Bereich mit deutlich erhöhter Durchlässigkeit (bis 200 m Tiefe) fehlt. Diese Festlegung wird nicht mit Erkundungsergebnissen oder konkreten Daten in Zusammenhang gestellt und ist nicht nachvollziehbar. Das gleiche gilt für den Ausschluss von Subrosionsgerinnen im Bereich der Schachanlage Asse II.

Die Einteilung des Nahbereichs in verschiedene Fließsysteme, Teilgebiete und weitere Teilgebieten zur Parametrisierung der hydrogeologischen Einheiten ist nachvollziehbar und angemessen angesichts der komplizierten Zusammenhänge am Standort. Die Beschreibung der Fließsysteme ist ausreichend ebenso die Darstellung möglicher Ausbreitungspfade. Der Bezug zu lokalen Einheiten und Störungszonen wird hergestellt und die Bedeutung relevanter Wegsamkeiten erläutert, z. B. der geologischen Trennfläche S3/D9 im kleinräumigen Bereich sowie der Störungszonen bei Groß Vahlberg, Ammerbeek und von Groß Wittmar im großräumigen Bereich.

Eine detaillierte Übersicht, inwieweit sich die verschiedentlich vorgenommenen Einteilungen (Fließsysteme, Teilgebiete) überschneiden oder miteinander zusammenhängen, fehlt allerdings. Die Bestimmung der Fließsysteme ist unter Berücksichtigung der zitierten Primärdaten ausreichend, aber aufgrund der nicht vorliegenden Unterlagen bzw. der scheinbar geringen Datendichte nicht nachvollziehbar. Das gleiche gilt für die Einteilung der Fließsysteme in Kluft-, Poren- und doppelporöse Grundwasserleiter.

Die Einteilung des Nahbereichs in sieben Teilgebiete ist für die Bearbeitung des komplexen Standorts ein angemessener und plausibler Ansatz. Die Beschreibung der Teilgebiete erfolgt detailliert, mit Standortbezug und hinsichtlich der Lage der Teilgebiete mit Berücksichtigung der dort jeweils relevanten Sachverhalte. Auch wird ein Schwerpunkt der Beschreibung auf den Bereich der SW-Flanke gelegt, der aufgrund der gebirgsmechanischen Beanspruchung und der Lösungszutritte für die Langzeitsicherheit bedeutsam ist. Der Tiefgang ist somit ausreichend. Für die Einteilung der Teilgebiete werden jedoch Indikatoren zugrunde gelegt, die schwer zu fassen sind und zum Teil auf einer möglicherweise mangelhaften Datengrundlage beruhen, wie bereits an anderer Stelle erwähnt wurde. Eine ausreichende Datenqualität und Belegdichte ist hier somit fraglich.

#### **4.2.2.2 Salzstruktur**

##### **Anforderungen (Erforderliche Daten und Parameter)**

Während die geologischen Daten und charakteristischen Eigenschaften des Deck- und Nebengebirges vor allem als Eingangsdaten für die hydrogeologischen Modellrechnungen, die Szenarienanalyse und den LZSN von Bedeutung sind, dienen die Geodaten der Salzstruktur darüber hinaus als Grundlage für die Planung der Maßnahmen des Stilllegungskonzeptes (Verfüll- und Verschlussmaßnahmen). Zur Erfüllung der beiden o. g. Anforderungskomplexe ist üblicherweise die Erfassung und Beschreibung folgender Punkte erforderlich:

- Genese der Salzstruktur (insbesondere als Grundlage der geologischen Langzeitprognose)
- Begrenzungen der Salzstruktur (Grundlage der Szenarienanalyse – Schutzschichtmächtigkeiten)
- Stratigraphische und strukturelle Verhältnisse innerhalb der Salzstruktur mit dem Ziel der möglichst detaillierten Darstellung der Lagerungsverhältnisse (Grundlage für die Analyse zukünftiger Prozesse, z. B. Subrosion, und für die Planung von Maßnahmen der Stilllegung)
- Petrographisch/geochemische Wirtsgesteinseigenschaften (Grundlage für die Modellierung von Lösungsprozessen und der geochemischen Verhältnisse im Nahfeld)
- Informationen zu Lösungs- und Gaszutritten (Grundlage für die Szenarienanalyse und zur Einschätzung potentieller Transportwege im Salinar)

- Hydraulische Eigenschaften der Gesteine der Salzstruktur (Grundlage für die Modellierung von Transportprozessen in der Salzstruktur und zur Planung der technischen Maßnahmen)

Üblicherweise werden die strukturell-geologischen Informationen zu einem geologischen Lagerstättenmodell zusammengefasst und in geeigneter Weise dargestellt (Sohlenkarten, Schnittserien). Die ergänzenden petrographischen, geochemischen und hydrogeologischen Daten werden den einzelnen Modelleinheiten zugeordnet.

### **Vorgehensweise des Antragstellers und Datengrundlage (Belegdichte und Belegqualität)**

Die Darstellung der geologischen Daten zur Salzstruktur erfolgt von der GSF im Wesentlichen im Bericht RAUCHE, FRANZKE & SCHWANDT (2004) sowie in den Berichten STOCKMANN et al. (2003) und STOCKMANN et al. (2006). In der Systematik von RAUCHE, FRANZKE & SCHWANDT (2004) beschreiben die geowissenschaftlichen Daten der Salzstruktur das so genannte geologische „Nahfeld“, während die lokalen und regionalen geowissenschaftlichen Daten dem so genannten „Mittelfeld“ und „Fernfeld“ zugeordnet werden. Die Genese der Salzstruktur, ihre Entwicklung und die wesentlichen entwicklungsbestimmenden Prozesse (Halokinese, Subrosion, Erosion) werden als Grundlage einer geologischen Langzeitprognose in KLEMENZ & RESELE (2005) erläutert.

In RAUCHE, FRANZKE & SCHWANDT (2004) wird auf das methodische Vorgehen und die Datenbasis eingegangen; eine nachvollziehbare textliche oder ggf. graphische Darstellung erfolgt nicht. Es werden jedoch die zugrunde liegenden (dem BfS nicht vorliegenden) Berichte genannt. Offensichtlich beruht die geologische Beschreibung der Salzstruktur nicht auf einem einheitlichen, an den Erfordernissen des LZSN und der Stilllegungsplanung ausgerichteten Erkundungs-, Auswertungs- und Dokumentationsprogramm. Die Datenbasis besteht aus verschiedenen, mit unterschiedlichen Intentionen und Zielstellungen durchgeführten Einzeluntersuchungen, welche zum Teil zusammenfassend ausgewertet wurden, siehe z. B. KLARR (1981) und WALLMÜLLER (2001). Diese Berichte liegen dem BfS jedoch nicht vor.

Fragen der Genese der Salzstruktur werden sowohl in KLEMENZ & RESELE (2005) als auch in RAUCHE, FRANZKE & SCHWANDT (2004) behandelt. Wesentliche genetische Prozesse (Hebungen, Subrosion) werden im Hinblick auf die geologische Langzeitprognose quantifiziert.

Die Beschreibung der strukturellen Verhältnisse in der Salzstruktur und ihrer engeren Umgebung erfolgt in RAUCHE, FRANZKE & SCHWANDT (2004) und bei KLEMENZ & RESELE (2005), ohne jedoch explizit auf die Begrenzungen der Salzstruktur, die Lagebeziehungen zwischen strukturellen Elementen im Deck-/Nebengebirge und dem Grubengebäude oder hydrogeologisch relevanten Schichtgliedern des Salinars (z3HA, z3AM) einzugehen. Die in KLEMENZ & RESELE (2005) in Abb. 13 enthaltenen, sehr kleinmaßstäblichen Profilschnitte weisen keine Darstellung der ggf. vorhandenen Grubenbaue auf. Angaben zu Trennflächen (Klüften) und ihrer Häufigkeit, Orientierung und Eigenschaften finden sich auch für die kompetenten Schichtglieder der salinaren Abfolge (z3HA, z3AM) nicht.

Die Darstellung der Lagerungsverhältnisse innerhalb der Salzstruktur erfolgt in RAUCHE, FRANZKE & SCHWANDT (2004). In den vorliegenden Berichten zur Standortbeschreibung erfolgt keine Darstellung der Datengrundlage für die Konstruktion der Lagerungsverhältnisse (Kartierungen, Maßstäbe, Bohrinformationen). Zugrunde liegende Daten, wie z. B. Bohraufschlüsse, werden nicht genannt. Eine gemeinsame Darstellung der stratigraphischen und strukturellen Verhältnisse mit den Grubenbauen erfolgt in den vorliegenden Berichten nicht. In allen vorliegenden Berichten wird zur Darstellung und Veranschaulichung der Lagerungsverhältnisse und Lagerungsbeziehungen auf nur einen geologischen Schnitt (RAUCHE, FRANZKE & SCHWANDT 2004: Abb. 11) zurückgegriffen.

Der Bericht RAUCHE, FRANZKE & SCHWANDT (2004) umfasst eine stratigraphisch/lithologische Beschreibung der in der Salzstruktur vorkommenden Gesteine. Sie erfolgt einheitlich für die gesamte Struktur. Geochemische Daten sind nur in geringem Umfang für einige Schichtglieder dargestellt. Das Makro- und Mikrogefüge wird beschrieben.

Die Darstellung der Informationen zu Lösungs- und Gaszutritten erfolgt in RAUCHE, FRANZKE & SCHWANDT (2004), STOCKMANN et al. (2003) sowie in STOCKMANN et al. (2006), wobei im erstgenannten Bericht die Detailuntersuchungen zusammengefasst werden. Detailliertere Angaben liegen von den Lösungszutritten aus jüngerer Zeit vor. Insbesondere die Lösungszutritte an der Südflanke der Salzstruktur sind umfangreich dokumentiert. Von älteren Lösungszutritten fehlen häufig genauere Mengenangaben und/oder analytische Daten. Auch von Lösungszutritten aus jüngerer Zeit wurden nicht immer Lösungsanalysen durchgeführt (z. B. Lösungszutritte in Extensometer- und Inklinometerbohrungen 1994, 1997 und 2001). Ein einheitliches Verzeichnis aller im Grubengebäude aufgetretenen salinaren Lösungen (unabhängig von ihrer Menge, Herkunft und Genese) existiert offenbar nicht. Es wird in den Unterlagen mehrfach darauf hingewiesen, dass bestimmte Lösungsvorkommen nicht im „Laugenstellenverzeichnis“ aufgeführt sind. Angaben zu Reservoirabschätzung finden sich nur in geringem Umfang, konkrete Reservoirangaben auf der Basis hydraulischer Untersuchungen liegen in den Berichten nicht vor. Hydraulische Parameter von ggf. transport- oder speicherrelevanten Schichtgliedern der salinaren Folge (z3HA, z3AM) wurden nicht mit der notwendigen Belastbarkeit bestimmt.

### **Bewertung (Defizite und Relevanz im Langzeitsicherheitsnachweis)**

Die Darstellung der geologischen Daten zur Salzstruktur auf Basis der vorliegenden Berichte erscheint plausibel und ist überwiegend nachvollziehbar. Festzustellen ist, dass die geologische Beschreibung der Salzstruktur offensichtlich auf einem nicht einheitlichen und nicht an den Erfordernissen des LZSN ausgerichteten Erkundungs-, Auswertungs- und Dokumentationsprogramm beruht. Dies schränkt die Nachvollziehbarkeit aufgrund der Vielfalt und unterschiedlichen Belastbarkeit der Daten ein. Als Defizit stellt sich daher dar, dass in RAUCHE, FRANZKE & SCHWANDT (2004) keine ausreichende Systematisierung und tatsächliche Wertung der Datenbasis erfolgt. Das im genannten Bericht enthaltene Kapitel 2.2 ist dafür unzureichend.

Die Genese der Salzstruktur ist ausreichend behandelt und im Hinblick auf die geologische Langzeitprognose ausreichend quantifiziert sowie nachvollziehbar. Die Beschreibung der strukturellen Verhältnisse in der Salzstruktur und ihrer engeren Umgebung ist plausibel. Sie ist jedoch ohne nachvollziehbare Darstellung der Lagebeziehungen zwischen strukturellen Elementen im Deck-/Nebengebirge und dem Grubengebäude oder hydrogeologisch relevanten Schichtgliedern des Salinars (Lage der Strukturflanken, salinare Schutzschichten) unvollständig und ohne ausreichende Erläuterung und Bewertung der Belegdichte und Belegqualität der Grundlagendaten (Bohrungen, Seismik) in ihrer Belastbarkeit kaum einzuschätzen.

Die Darstellung der Lagerungsverhältnisse innerhalb der Salzstruktur ist, soweit sie erfolgt, plausibel. Aufgrund der fehlenden gemeinsamen Darstellung der stratigraphischen und strukturellen Gegebenheiten mit den Grubenbauen und den zugrunde liegenden Aufschlüssen und Erkundungsergebnissen in den vorliegenden Unterlagen ist die Nachvollziehbarkeit jedoch eingeschränkt. Es kann anhand der vorliegenden Informationen nicht beurteilt werden, inwieweit die (textlichen) Erläuterungen auf einheitlichen Kartierungen in geeigneten Maßstäben gründen und welche Erkundungsmaßnahmen (z. B. Bohrungen, EMR-Messungen) die Datenbasis erweitern. Auch Inkonsistenzen erschweren die Nachvollziehbarkeit. So wird in RAUCHE, FRANZKE & SCHWANDT (2004: 35) festgestellt *„Im Bergwerk Asse 2 ist er (der Hauptanhydrit) lediglich an vier Stellen aufgeschlossen“*. Auf Seite 65 des gleichen Berichtes findet sich jedoch die Feststellung *„Der Hauptanhydrit tritt im Bereich des Bergwerkes Asse 2 in isolierten Schollen auf. Zahlreiche dieser Schollen lieferten geringe Mengen an Salzlösungen“*.

Als Defizit wird im Rahmen der Beschreibung der „*montanhydrogeologischen*“ Verhältnisse das Fehlen eines einheitlichen Katasters aller vorkommenden salinaren Lösungen sowie der offensichtlich unterschiedliche Untersuchungstiefgang verschiedener Lösungsvorkommen auch in jüngerer Zeit (z. T. keine geochemischen Untersuchungen, z. T. keine Spurenelementbestimmungen) angesehen. Die standortspezifischen hydraulischen und geometrisch-strukturellen Daten zur Fließpfad- und Reservoircharakterisierung sind lückenhaft.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass der zur Beschreibung der Salzstruktur erforderliche Tiefgang für ein atomrechtliches PFV auf Basis der vorliegenden Unterlagen nur zum Teil gegeben ist. Inwieweit die Einbeziehung zitierter aber nicht vorliegender Unterlagen Abhilfe schaffen würde, kann abschließend nicht

beurteilt werden. Insbesondere im Hinblick auf den LZSN ist das Fehlen struktureller und hydraulischer Daten für die kompetenten Schichtglieder der salinaren Abfolge nachteilig. Die Übertragbarkeit dieser Daten vom Hauptanhydrit im ERAM auf die Verhältnisse in der Schachanlage Asse II ist nicht belegt. Anhand der häufigen Lösungszutritte aus dem z3AM und dem z3HA und der potentiell transportrelevanten Bedeutung dieser Schichten ist eine standortspezifische Charakterisierung dringend geboten. Grundlage des LZSN ist der Ausschluss des so genannten Szenariums 4 (Zufluss über Deckgebirge, Hauptanhydrit und Anhydrit-mittelsalz) in STOCKMANN et al. (2006) und BUHMANN, FÖRSTER & RESELE (2006). Nachteilig ist die unklare Datenlage zur hydraulischen Charakterisierung der Gesteine der Salzstruktur auch im Hinblick auf die Bewertung der geplanten Stilllegungsmaßnahmen (z. B. Strömungsbarrieren, Abdichtung MAW-Kammer).

### **4.2.3 Seismologische Standortbeschreibung**

Die GSF hat für den Standort des Forschungsbergwerks Asse (FB Asse) die Eigenschaften erwarteter Erdbeben und deren Kenngrößen in der zweiteiligen Unterlage „Seismologische Verhältnisse und seismische Einwirkungen am Standort – Abschlussbericht“ untersucht (GOMMLICH 2006). Im ersten Teil wird die Erdbebenaktivität in der Umgebung des Standortes beschrieben. Im zweiten Teil erfolgt die Ableitung standortspezifischer seismischer Lastannahmen.

Die Prüfung umfasst den fachlichen Tiefgang der Aussagen, ihre Vollständigkeit, Richtigkeit und Nachvollziehbarkeit. Die verwendete Datengrundlage wurde gesichtet. Wesentliche Aussagen werden nach ihrer Reihenfolge in der Antragsunterlage zusammengefasst (*Kursivschrift*). Die Vorgehensweise bei der Erstellung des Berichtes wird kurz bewertet. Sonstige Auffälligkeiten werden vermerkt.

Zur Begutachtung wurde außer den von der GSF aufgelisteten und dem BfS zugänglichen Referenzen noch AMBRASEYS, SIMPSON & BOMMER (1996) herangezogen.

Die im Folgenden verwendete Querverweise auf einzelne Kapitel beziehen sich immer auf die Unterlage GOMMLICH (2006).

#### **Anforderungen (Erforderliche Daten und Parameter)**

Der Nachweis der Erdbebensicherheit einer kerntechnischen Anlage besteht darin, dass für alle Anlagenteile, welche zur Einhaltung kerntechnischer und radiologischer Schutzziele definierte Aufgaben erfüllen müssen, die erdbebensichere Auslegung gezeigt wird. Dies geschieht in aufeinander folgenden, abgestimmten Schritten. Das auf Kernkraftwerke (KKW) in der Betriebsphase abgestellte kerntechnische Regelwerk kann in Gestalt der Regel KTA 2201.1 in der Fassung 6/90 sinngemäß der Auslegung übertägiger, sicherheitsrelevanter Bauwerke eines Endlagers zugrunde gelegt werden.

In der Nachweiskette stellt die Ableitung seismischer Lastannahmen den ersten Schritt dar. Anschließend sind die Auswirkungen seismischer Lasten auf Bauwerke zu untersuchen, was für das FB Asse in weiteren, dem BfS nicht durchgängig vorliegenden Unterlagen erfolgt und daher nicht Gegenstand dieser Stellungnahme ist.

#### **Vorgehensweise des Antragstellers und Datengrundlage (Belegdichte und Belegqualität)**

##### ***Stellungnahme zum ersten Teilbericht „Seismologische Verhältnisse“***

*Die Grundlage der Darstellung der seismologischen Verhältnisse bilden die Einteilung Deutschlands in Bebenregionen, der Erdbebenkatalog und die Regel KTA 2201.1. Der Standort des FB Asse wird demzufolge in die seismogeographische Region „Harz“ eingeordnet.*

Die aufgeführten Grundlagen sind aktuell, allgemein anerkannt und für die Einordnung von Standorten geeignet. Die Einordnung in die Region „Harz“ ist zutreffend. KTA 2201.1 verlangt die Angabe „tektonischer Einheiten“. Die Einteilung Deutschlands in „seismotektonische Einheiten“ oder „seismogeographische Regionen“ (LEYDECKER & AICHELE 1998) entspricht dieser Forderung, da die Zerlegung unter Berücksichtigung umfassender Informationen zur geologisch-tektonisch-seismologischen Geschichte der oberen Erdkruste vorgenommen wurde.

*In 1 der geprüften Unterlage werden die Standortkoordinaten des Schachts Asse 2 auf den zehnten Teil einer Bogensekunde genau genannt.*

Angesichts der Lageunsicherheiten insbesondere historischer Erdbeben ist eine derartige Koordinatengenauigkeit für seismologische Fragestellungen weder vorgeschrieben noch für die Ableitung seismischer Lastannahmen erforderlich.

*In 1.1 wird das geologisch-tektonische Umfeld des Standorts beschrieben. Weiterhin wird ein Überblick über die Bewegungsgeschichte gegeben und wichtige Bruchstrukturen benannt.*

Die geologische und tektonische Gliederung des Standortumfelds ist der Standardliteratur entlehnt und zutreffend wiedergegeben. Der Hinweis auf die seit der höheren Oberkreide nachweislich inaktiven Abschiebungen im Assesockel ist von hervorgehobener Bedeutung für die Erdbebensicherheit des Standorts.

*Unter 1.2 wird ein Überblick über die Seismizität innerhalb des 50-km-Umkreises um das FB Asse gegeben. Es wird auf Unterschiede zwischen den Skalen MSK und EMS-98 hingewiesen. Die Abnahme der makroseismischen Intensität tektonischer und bergbaulich verursachter Erdbeben wird entfernungsabhängig durch ausgewählte Absorptionskoeffizienten und Herdtiefen nach Kövesligethy eingegabelt. Als das Erdbeben mit der größten Epizentralintensität wird das Ereignis bei Magdeburg im Jahr 1409 ( $I_0 = VI$ ) identifiziert.*

Die gesonderte Auflistung von Erdbeben innerhalb eines 50 km-Kreises um den Standort wird von KTA 2201.1 nicht verlangt, ist aber zulässig.

KTA 2201.1 fordert die Verwendung der MSK-Skala für Intensitätsangaben. Die Anmerkung, die neuere Skala EMS-98 könne in einem bestimmten Intervall ggf. zu geringeren Intensitätseinstufungen führen, ist für das über das Ereignis von 1409 parametrisierte Bemessungserdbeben des Standorts nicht relevant.

Eine unnötige Irritation bezüglich der späteren Festlegung des Bemessungserdbebens in 2.2 entsteht dadurch, dass hier bei der Bestimmung der Intensitätsabnahme  $\Delta I(R) = I_0 - I(R)$  für das Ereignis von 1409 als Epizentralentfernung  $R = 20$  km angenommen wird, was auf  $I(R) = V$  MSK führt. In 2.2 und darauffolgenden Kapiteln wird regelwerkskonform  $R \approx 10$  km angesetzt.

Stärken und Schwächen der Beziehung von KÖVESLIGETHY (1907) sind bekannt. Die erwartete Intensitätsminderung mit der Entfernung wird durch physikalisch sinnvoll gewählte Kombinationen aus der Wellendämpfung tektonischer bzw. anthropogener Erdbeben und deren Herdtiefe (GOMMLICH 2006: Abb. 1-6) eingegabelt. Hierdurch gelangt die GSF zu einer übersichtlichen Darstellung für  $\Delta I(R)$ .

*In 1.3 werden die bisherigen Betrachtungen zur Seismizität am Standort durch Einbeziehung der relevanten Ereignisse im 200-km-Kreis ergänzt.*

Angesichts der Diskussion der Seismizität in der Region NX (Nördliches Niedersachsen und Schleswig-Holstein) ist darauf hinzuweisen, dass die Bewertung der Ereignisse von Soltau (1977) und Rotenburg (2004) jeweils eindeutig zu einer Intensität  $I_0 = V-VI$  MSK geführt hat.

*In 1.4 werden die bisherigen Betrachtungen zusammengefasst: Der Standort des FB Asse in der seismogeographischen Region Harz hat in der historisch überblickbaren Vergangenheit keine Auswirkungen von Schadensbeben erfahren. Die makroseismische Intensität am Standort betrug höchstens  $I = V$  MSK.*

Die geschilderte Situation entspricht dem gegenwärtigen wissenschaftlichen Kenntnisstand.

## **Stellungnahme zum zweiten Teilbericht „Seismische Einwirkungen am Standort“**

*In 2.1 werden die im ersten Teil der Unterlage erzielten Ergebnisse wiederholt.*

Diese Zusammenfassung geologisch-tektonischer Befunde – insbesondere die Präzisierung vorheriger Aussagen zur seismologischen Irrelevanz nachgewiesener Störungen im Sockel von Asse und Elm – ist knapp, aber ausreichend gehalten.

*In 2.2 wird die Festlegung des Bemessungserdbebens erläutert. Dessen Intensität am Standort beträgt VI½ MSK, seine Überschreitungswahrscheinlichkeit wird zu  $10^{-5} a^{-1}$  ermittelt.*

Anwendung findet die kerntechnische Regel KTA 2201.1. Deren Wortlaut zur Auswahl des Vergleichsereignisses für das Bemessungserdbeben wird unscharf wiedergegeben. Die Maßgabe des Regelwerks wird jedoch korrekt befolgt. Es wird nachgewiesen, dass das Ereignis von 1409 für den Standort des FB Asse ausschlaggebend ist. Das Epizentrum des Bemessungserdbebens verlegt die GSF deshalb an den zum Standort nächstgelegenen Punkt auf der Grenze zwischen den Zonen „Harz“ und „Altmark“. Da die Entfernung vom Standort zu diesem Punkt kleiner ist als die Lageunsicherheit des Epizentrums von 1409 und deshalb keine merkliche Abminderung der Epizentralintensität stattfinden darf, behält Gommlich (2006)  $I = VI$  MSK bei und erteilt in Abwägung der geologischen Imponderabilien einen Sicherheitszuschlag von einem halben Grad.

Die Regel KTA 2201.1 schreibt die deterministische Bestimmung des Bemessungserdbebens vor. In atomrechtlichen PFV hat es sich in den vergangenen Jahren durchgesetzt, das hypothetische Ereignis „Bemessungserdbeben“ mit einer aus tektonischen Argumenten abgeleiteten Aussage zur Auftretenswahrscheinlichkeit vergleichbarer Erdbeben abzurunden. Auf diese Weise kann die deterministisch nicht quantifizierbare Häufigkeit solcher Ereignisse verdeutlicht werden.

Die GSF bezieht sich zunächst auf frühe probabilistische Untersuchungen von AHORNER & ROSENHAUER (1984). Demzufolge wird die Intensität  $I = VI$  MSK am Standort Asse im Zeitraum von 100 a mit der Wahrscheinlichkeit von mehr als 99% nicht überschritten. Zu Recht wird darauf verwiesen, dass die Datengrundlage der Untersuchungen von AHORNER & ROSENHAUER (1984) in Norddeutschland heute ergänzungsbedürftig wäre. Die anschließende Abschätzung der Überschreitungswahrscheinlichkeit für die Intensität  $I = VI\frac{1}{2}$  MSK am Standort des FB Asse weist inhaltliche Schwächen auf. Es wird nämlich die Seismizität der Niederrheinischen Bucht (mit einer rezent aktiven Dehnungstektonik samt effektivem Spannungsabbau und entsprechend häufiger Auslösung von Erdbeben) in Zusammenhang mit der des Standorts gebracht. Im Umfeld der Asse ist eine vergleichbare tektonische Situation keinesfalls vorhanden. Vielmehr sind aufgrund des großräumigen krustalen Spannungsfeldes Horizontalbewegungen entlang steil einfallender Störungen mit allenfalls geringen Auf-/Abschiebungskomponenten zu erwarten. Die Herdflächenlösungen norddeutscher Erdbeben haben diese Modellvorstellung bestätigt. Zwar äußert sich KTA 2201.1 nicht zu Wahrscheinlichkeitsbetrachtungen, es ist aber Konsens unter den Seismologen, dass für probabilistische Vergleiche stets nur Regionen mit ähnlichem seismisch-tektonischen Regime betrachtet werden dürfen.

*In 2.3 werden weitere Kennwerte des Bemessungserdbebens abgeleitet und erläutert (Maximalbeschleunigung, Antwortspektrum der Horizontalbeschleunigung im Freifeld, Dauer der Starkbebenphase).*

Unter der Maximalbeschleunigung versteht KTA 2201.1 die Starrkörperhorizontalbeschleunigung des Freifeld-Antwortspektrums (als Einhängewert von Standardspektren) oder den Maximalwert der Resultierenden der Horizontalbeschleunigungskomponenten in der Starkbewegungsphase des Erdbebenzeitverlaufs (d. h. als Amplitude).

Die GSF verwendet die zweite Definition der Maximalbeschleunigung.

Mit Hilfe der empirischen Beziehung von MURPHY & O'BRIEN (1977) wird zunächst der Spitzenwert der Horizontalbeschleunigung im Freifeld über die bereits vorliegende Intensität des Bemessungserdbebens, die sich auf die modifizierte Mercalli-Skala (MM-Skala) bezieht, zu  $a_H = 0,75 \text{ ms}^{-2}$  berechnet. Es ist richtig, dass zwischen den Intensitätsskalen MM und MSK im betrachteten Wertebereich keine wesentlichen Unterschiede bestehen



Bei MURPHY & O'BRIEN (1977) stellt die maximale Horizontalbeschleunigung  $a_H$  den Durchschnitt der Maxima aller untersuchten Horizontalkomponenten dar, ist folglich noch keine Resultierende.

Der geforderte Übergang auf das Maximum der Resultierenden wird im nächsten Schritt durch Anbringen eines Faktors  $\kappa$  an das betrachtete Maximum der horizontalen Komponente bewerkstelligt. Die Wahl von  $\kappa$  hängt auch davon ab, welches Wahrscheinlichkeitsniveau die spektralen Amplituden der Beschleunigung des Einmassenschwingers im Freifeld für Eigenfrequenzen unterhalb des Starrkörperwertes (d. h.,  $f_0$  unterhalb von etwa 25 Hz) innerhalb der ausgewählten Intensitäts-/Bodenklasse repräsentieren sollen.

Beim Übergang auf das Maximum der Resultierenden wird der Faktor  $\kappa = 1,3$  gewählt. Die fachliche Begründung dafür fehlt.

Die obere Grenze des Faktors, nämlich  $\kappa = 2^{1/2}$ , folgt aus geometrischen Überlegungen. In diesem äußerst seltenen Fall würden beide Horizontalkomponenten stets zeitgleich dieselben Spitzenbeschleunigungen aufweisen. Die untere Grenze  $\kappa = 1$  entspricht der ebenfalls kaum auftretenden Situation, dass einer der beiden horizontalen Sensoren bezüglich der Front des einfallenden, oberflächenparallelen Wellenfeldanteils immer orthogonal orientiert ist. Innerhalb der Grenzen muss der Faktor aus den statistischen Eigenschaften der Seismizität des Standortumfeldes hergeleitet werden. In einem Erdbebenregime vom Typus der norddeutschen Hintergrundseismizität gelten aber folgende Werte zweier häufig gebrauchter Fraktile:  $\kappa_{0,5} \approx 1,1$  und  $\kappa_{0,84} \approx 1,3$ . Danach verwendet die GSF das 84%-Fraktile des Faktors  $\kappa$  und arbeitet mit einer entsprechend vergrößerten Maximalbeschleunigung weiter.

Nach regelkonformer Festlegung der horizontalen und vertikalen Maximalbeschleunigung wird das Freifeld-Beschleunigungsantwortspektrum ausgewählt. Dabei werden die von HOSSER (1987) erarbeiteten untergrund- und intensitätsabhängigen Spektren, die durch statistische Auswertung registrierter Horizontalbeschleunigungs-Zeitverläufe europäischer Erdbeben hergeleitet wurden, genutzt. Für Bemessungszwecke erfolgte die Spektreneinteilung für drei Intensitäts- und drei Baugrundklassen. Die Hosser-Spektren benötigen keinen Einhängewert. Sie sind in guter Näherung als Komponenten-Medianspektren aufzufassen. Die spektrale Maximalbeschleunigung entsprechend KTA 2201.1 wird wie oben durch Anbringen eines Faktors  $\kappa = 1,3$  erzeugt. Der Hochfrequenzbereich dieses Antwortspektrums ist mit dem Wert nach MURPHY & O'BRIEN (1977) vergleichbar.

Gemäß den Ausführungen zur Stärke des Bemessungserdbebens wird dem Hosser-Spektrum die Intensitätsklasse 1 zugeordnet. Die Baugrundklasse wird auf M festgelegt. Das abgeleitete Beschleunigungs-Antwortspektrum wird über einen Streckenzug in doppelt-logarithmischer Auftragung mitgeteilt.

Die Angabe eines Hosser-Antwortspektrums für untertägige Verhältnisse stößt auf methodische Schwierigkeiten, die mit der Modellbildung der Wellenausbreitung verknüpft sind. Es ist jedoch abdeckend, innerhalb eines weitgehend verfüllten Bergwerks von einem über Tage definierten Spektrum für die Bodenklasse R auszugehen. Auf diese Weise überschätzt man in der Regel die untertägigen seismischen Wirkungen weitgehend, da im Spektrum der Einfluss der Oberflächenreflexion erhalten bleibt.

Die Dauer der Erschütterungen des Bemessungserdbebens (Starkbebendauer) wird ebenfalls nach der Einteilung von HOSSER (1987) festgelegt. Dabei nimmt die GSF unter Berücksichtigung der Standort-Bodenklasse jeweils Anhebungen der Starkbebendauer für über- und unter Tage vor. Die endgültigen Werte liegen innerhalb der von HOSSER (1987) mitgeteilten Unsicherheiten.

*In 2.4 werden die Parameter des Bemessungserdbebens zusammengefasst.*

In der Zusammenfassung der erzielten Ergebnisse fehlt der laut KTA 2201.1 verlangte Verweis auf das Beschleunigungs-Antwortspektrum.

## **Bewertung (Defizite und Relevanz im Langzeitsicherheitsnachweis)**

Die Bewertung der geprüften Sachverhalte folgt der Argumentationsreihenfolge in der Antragsunterlage:

Die seismologische Einordnung des Standortes FB Asse in die Bebenregion „Harz“ ist allgemein anerkannt und angemessen.

Die große Genauigkeit der Standortkoordinaten würde bei tatsächlicher Weiterverwendung die Angabe des geodätischen Referenzsystems verlangen.

Die Beschreibung des geologisch-tektonischen Standortumfeldes ist der Aufgabe angemessen.

Die Betrachtungen zur Seismizität um den Standort durch Einbeziehung der relevanten Ereignisse im 50-km bzw. im 200-km-Kreis wurden vollständig vorgenommen. Daher wird der Argumentation in den geprüften Unterlagen beigelegt, dass die Region Harz in der historisch überblickbaren Vergangenheit keine Auswirkungen von Schadensbeben erfahren hat.

Die zusammenfassende Darstellung der geologisch-tektonischen Befunde in 2.1 ist als Ausgangsbasis für die anschließende Parametrisierung des Bemessungsbebens geeignet.

Das Vorgehen bei der Auswahl des Ereignisses von 1409 als Bemessungserdbeben für den Standort FB Asse, die Verlegung des Epizentrums an die Grenze der Zonen „Harz“ und „Altmark“ sowie die Wahl eines Sicherheitszuschlags von einem halben Grad sind nachvollziehbar, sicherheitsbewusst und bei seismologischen Standortgutachten für atomrechtliche PFV üblich.

Ebenfalls nachvollziehbar und zutreffend ist die Schlussfolgerung, das Niveau der Überschreitenswahrscheinlichkeit eines Ereignisses der Intensität  $I = VI$  MSK am Standort müsse kleiner ausfallen als  $10^{-4} \text{ a}^{-1}$ .

Die Seismizität der Niederrheinischen Bucht kann nach dem Stand der Wissenschaft nicht mit den Verhältnissen am Standort FB Asse in Zusammenhang gebracht werden. Die Übertragbarkeit der speziellen Situation der Niederrheinischen Bucht auf die Verhältnisse am Standort ist nicht gegeben. Demzufolge ist die Abschätzung der Überschreitenswahrscheinlichkeit eines Ereignisses der Intensität  $I = VI\frac{1}{2}$  MSK von weniger als  $10^{-5} \text{ a}^{-1}$  zwar tendenziell richtig, aus fachlicher Sicht aber unzureichend begründet. Somit sind an der methodischen Vorgehensweise der GSF Abstriche vorzunehmen. Das Vorgehen widerspricht dem Konzept vergleichbarer tektonischer Einheiten in KTA 2201.1 (wobei probabilistische Betrachtungen zur Überschreitenswahrscheinlichkeit von Erdbeben nicht Gegenstand der Regel sind). Die sicherheitlich abdeckenden Eigenschaften des Bemessungserdbebens werden von der GSF jedenfalls nicht ausreichend verdeutlicht.

Bei der Ableitung des Freifeld-Beschleunigungsantwortspektrums werden die so genannten Hosser-Spektren für die Intensitätsklasse 1 genutzt. Die Wahl der Baugrundklasse fällt auf M. Beiden Klassifizierungen kann gefolgt werden.

Dem von der GSF gewählten Hosser-Antwortspektrum für die untertägigen seismischen Verhältnisse in Gestalt eines übertage definierten Spektrums für die Bodenklasse R kann unter der Annahme eines weitgehend verfüllten Bergwerks zugestimmt werden.

Der Festlegung der Erschütterungsdauer des Bemessungserdbebens (Starkbebendauer) gemäß der Einteilung von HOSSER (1987) kann ebenfalls gefolgt werden.

Angesichts der nicht beabsichtigten Rückholung eingelagerter radioaktiver Abfälle ist für langfristige Sicherheitsbetrachtungen zur Erdbebengefährdung des FB Asse die Anwendung des maßgeblichen kerntechnischen Regelwerks nur folgerichtig. Für herkömmliche Bauwerke ohne besondere sicherheitliche Bedeutung wäre nach DIN 4149 kein Nachweis der Erdbebensicherheit am Standort vonnöten.

Die Ergebnisse für das Bemessungserdbeben sind vor dem Hintergrund der innerhalb der letzten tausend Jahre in Norddeutschland bemerkten Erdbebetätigkeit sicherlich konservativ angesetzt – dies umso mehr,

als mit der Verfüllung/Verwahrung des FB Asse die allmähliche Annäherung an die vor der Auffahrung bestehenden Untergrundverhältnisse stattfindet.

Am Standort des FB Asse wird bereits eine seismische Überwachung durchgeführt. Das kerntechnischen Regelwerk hätte letztere für den Fall gefordert, dass die Maximalbeschleunigung des Bemessungserdbebens mindestens  $1 \text{ ms}^{-2}$  beträgt.

Die Auswirkungen von Erdbeben auf den Baugrund des Standorts lassen keine Liquefaktionsvorgänge erwarten. Der entsprechende Hinweis fehlt in der Antragsunterlage.

Zusammenfassend kann aus fachlicher Sicht festgestellt werden, dass die von der GSF eingesetzte Methodik, die Datengrundlage sowie die abgeleiteten Schlussfolgerungen den Anforderungen an ein atomrechtliches PFV zur Stilllegung eines Endlagers für radioaktive Abfälle entsprechen. Die Resultate sind für weitergehende Untersuchungen geeignet. Insgesamt wird ein stimmiges Bild der seismologischen Standortverhältnisse gezeichnet, das den Erkenntnissen des BfS innerhalb der Verfahren Konrad und Morsleben nicht widerspricht. Die Parameter des Bemessungserdbebens fügen sich widerspruchsfrei in die Resultate des BfS zu den Standorten Konrad und Morsleben ein. Insoweit wird dem Ergebnis zugestimmt.

Die Erörterung der Überschreitenswahrscheinlichkeit eines Ereignisses von der Intensität des Bemessungserdbebens kann durch vertiefte Betrachtung von Geologie und Tektonik der nahen Standortumgebung (insbesondere auch der Subherzynen Senke) verbessert werden. Entscheidungserheblich ist dieser letzte Aspekt nicht.

## **4.2.4 Radiologische Standortbeschreibung und Abfalldatenbasis**

### **4.2.4.1 Radiologische Standortbeschreibung**

#### **Anforderungen (Erforderliche Daten und Parameter)**

In der radiologischen Standortbeschreibung sind die strahlenschutzrelevanten Gegebenheiten im Bereich der Schachtanlage vor Beginn der Stilllegung darzustellen. Dazu gehört die Beschreibung der radiologischen Grundbelastung, welche durch die natürlicherweise am Standort vorhandenen Radionuklide, die kosmische Strahlung und durch die künstliche Radioaktivität außerhalb des Geltungsbereichs des AtG verursacht wird, die Beschreibung der radiologischen Vorbelastung nach § 47 Abs. 5 StrlSchV durch ggf. vorhandene Ableitungen aus anderen Anlagen oder Einrichtungen oder früheren Tätigkeiten im Geltungsbereich der StrlSchV und die Beschreibung der mit der Endlagerung radioaktiver Abfälle und dem Betrieb der Schachtanlage Asse II verbundenen radiologischen Umweltbeeinflussungen. Zur radiologischen Standortbeschreibung gehören insbesondere auch eine Darstellung und Charakterisierung der ggf. auf der Betriebsfläche oder in den Kontroll- und Überwachungsbereichen vorhandenen Kontamination.

#### **Vorgehensweise des Antragstellers und Datengrundlage (Belegdichte und Belegqualität)**

In den übergebenen Unterlagen ist die bei einem atomrechtlichen Stilllegungsverfahren erforderliche Beschreibung der radiologischen Standortverhältnisse nicht enthalten.

#### **Bewertung (Defizite und Relevanz im Langzeitsicherheitsnachweis)**

Unterlagen zur radiologischen Standortbeschreibung liegen nicht vor. Dieser Aspekt ist hier jedoch für den LZSN nur von untergeordneter Bedeutung.

#### 4.2.4.2 Abfalldatenbasis

Nachfolgend wird der Themenkomplex „Bestimmung des nuklidspezifischen Aktivitätsinventars der Schachanlage Asse“ behandelt. Hierzu liegt dem BfS der Bericht GERSTMANN, MEYER & THOLEN (2002) vor.

##### **Anforderungen (Erforderliche Daten und Parameter)**

Zum Führen des LZSN ist es notwendig, dass ein radionuklidspezifisches Aktivitätsinventar für die einzelnen Einlagerungskammern zur Verfügung steht. Sofern anhand der vorliegenden Einlagerungsdokumente ein solches nicht unmittelbar daraus entnommen werden kann, sind Lösungswege zu entwickeln, wie durch eine Nacherhebung abdeckende, abgesicherte und plausible Angaben zum Aktivitätsinventar ermittelt werden können. Dabei sind sowohl die Verhältnisse zum Zeitpunkt der Einlagerung als auch die heutigen Kenntnisse über radioaktive Abfälle heranzuziehen. Ebenso sind im Hinblick auf den Umfang der zu betrachtenden relevanten Radionuklide insbesondere die Endlagerungsbedingungen für das Endlager für radioaktive Abfälle Morsleben (ERAM) zu berücksichtigen. Die Ermittlung des nuklidspezifischen Aktivitätsinventars ist plausibel und nachvollziehbar darzustellen. Die Quellen sind aufzuführen und zu begründen. Ebenso sind die Unsicherheiten zu ermitteln und zu bewerten.

##### **Vorgehensweise des Antragstellers und Datengrundlage (Belegdichte und Belegqualität)**

Ein wesentlicher Teil der Arbeiten umfasste die systematische Auswertung der Einlagerungsdokumente und die Aufnahme der Informationen in eine Datenbank (ASSEKAT). Da es in den Annahmehedingungen keinerlei Anforderungen an eine Deklaration radionuklidspezifischer Aktivitäten gab, musste der Informationsgehalt aus den Einlagerungsdokumenten nach bestimmten Kriterien sortiert werden. Von den Abfallablieferern wurde lediglich die Gesamtaktivität angegeben, nur in wenigen Fällen gab es Angaben zu Einzelnucliden. Unter Berücksichtigung der Abfallherkunft und der Abfallart wurden diese „Rohdaten“ zusammengefasst und ggf. korrigiert. Diese Daten dienten als Basis für die Ermittlung des radionuklidspezifischen Aktivitätsinventars. Vom Institut für Strahlenschutz (ISS) wurde zur Berechnung das Programm PAI – Programm zur Aktualisierung des Asse-Inventars entwickelt.

Die Ermittlung des radionuklidspezifischen Aktivitätsinventars erfolgte herkunftsbezogen und dementsprechend wurde die Zuordnung zu den Einlagerungskammern für LAW (1/3 der Gesamtaktivität) und MAW (2/3 der Gesamtaktivität) vorgenommen.

Sowohl in den LAW-Kammern als auch in der MAW-Kammer stammt der Großteil des Aktivitätsinventars aus dem Forschungszentrum Karlsruhe (FZK), weiterhin aus Kernkraftwerken (KKW) sowie von anderen Ablieferern (Forschungszentrum Jülich, Amersham Buchler, GKSS, HMI Berlin, Nukem u. a.). Die Aktivitätsbestimmung für die vom FZK abgelieferten radioaktiven Abfälle erfolgte auf der Grundlage eines umfassenden Informationsaustauschs zwischen GSF und FZK. Praktisch alle vom FZK abgelieferten Abfälle stammten aus der WAK, so dass eine Charakterisierung dieser Abfälle auf der Grundlage der Herkunft der aufgearbeiteten Brennelemente, der Abbrände der Brennelemente sowie der Zeiträume der Kampagnen nachträglich gut möglich war. Es konnte ein abdeckender Radionuklidvektor bestimmt werden.

Zur Ermittlung der Radionuklidvektoren der KKW-Abfälle wurden die in den Begleitlisten genannten Abfallarten zu vier Abfallgruppen zusammengefasst. Für diese Abfallgruppen und die beiden Reaktortypen DWR und SWR wurde das Aktivitätsinventar von Referenzgebinden von der GNS mit dem Programm AVK unter Verwendung von repräsentativen Datensätzen für Altabfälle berechnet.

Für die Abfälle der verbleibenden Ablieferer wurde eine allgemeine Herangehensweise gewählt. Im Einzelnen wird die Ermittlung des Thorium- und Uraninventars vom HMI Berlin und den Firmen Transnuklear und Nukem (GERSTMANN, MEYER & THOLEN 2002) beschrieben.

Ra-226, Th-232, Uran- und Plutonium-Massen wurden gesondert betrachtet und bewertet.

Um eine Vergleichbarkeit zwischen den Aktivitätsangaben zu haben, wurde als Stichtag für die Aktivitätsangaben der 01.01.1980 gewählt (Beendigung der Einlagerung).

Es wurde das radionuklidspezifische Aktivitätsinventar für jede Einlagerungskammer ermittelt. Radionuklide, deren Aktivität zum Stichtag kleiner als 1 Bq war, wurden im Inventar nicht berücksichtigt.

In einem weiteren Kapitel werden Unsicherheitsbetrachtungen zum radionuklidspezifischen Aktivitätsinventar vorgenommen. Es sind sowohl die Unsicherheiten der von den Ablieferern deklarierten Aktivitäts- und Massenangaben als auch die Unsicherheiten der Auswertemethodik betrachtet worden. Die GSF kommt zu dem Schluss, dass die Aktivitätsangaben in den Einlagerungsdokumenten insgesamt abdeckend sind.

Es wurden maximale Schwankungsbreiten abgeschätzt. Bezogen auf einzelne Einlagerungskammern ergab sich in Einzelfällen eine sehr hohe Unsicherheit. Die größten positiven Abweichungen (Schwankungsbreiten) wurden bei der Ermittlung des radionuklidspezifischen Aktivitätsinventars für den Nachweis der Langzeitsicherheit mit berücksichtigt. Die radionuklidspezifischen Aktivitäten sind zum Zeitpunkt 01.01.2003 berechnet worden. Dabei sind sowohl der Zerfall als auch der Aktivitätsaufbau berücksichtigt worden.

### **Bewertung (Defizite und Relevanz im Langzeitsicherheitsnachweis)**

Die der GSF von den Abfallverursachern vorgelegten Angaben in den Einlagerungsdokumenten entsprechen in keiner Weise den heutigen Anforderungen. Daher ergibt sich die Notwendigkeit einer Nachdeklaration und weiteren Detaillierung der Abfalldaten. Es ist anzumerken, dass eine Nachdeklaration von Radionukliden allein auf der Grundlage von Recherchen bei noch vorhandenen Abfallverursachern, Literaturrecherchen und Plausibilitätsprüfungen sehr schwierig und kompliziert ist.

Durch die gewählte Systematik bei der Aufarbeitung der wenigen vorhandenen Informationen ist es jedoch gelungen, Ansatzpunkte für eine realisierbare Nachdeklaration zu schaffen. Der gewählte Weg ist nachvollziehbar und plausibel. Für die nuklidspezifischen Aktivitätsinventare wurden Radionuklide herangezogen, die in den Einlagerungsbedingungen ERAM genannt sind und zur Gesamtaktivität beitragen. Die Darstellung der Ergebnisse ist mit der für das PFV ERAM vergleichbar.

Da der größte Anteil der endgelagerten Abfälle aus FZK, WAK und KKW stammt, konnte die Zusammensetzung gut nachvollzogen werden. Der Anteil der nicht auswertbaren Abfälle am radionuklidspezifischen Aktivitätsinventar wird dagegen als vernachlässigbar eingeschätzt. Die Begründung kann nachvollzogen werden.

Der vorgelegte Bericht GERSTMANN, MEYER & THOLEN (2002) zeigt die Unsicherheiten bei der Ermittlung eines radionuklidspezifischen Aktivitätsinventars auf, quantifiziert sie und berücksichtigt diese bei der Erstellung des Quellterms für die Langzeitsicherheit.

Eine inhaltliche Prüfung der durchgeführten Arbeiten ist hier ohne Einsicht in die zitierten Unterlagen und ohne vertiefte Kenntnis der Datenbank nicht zu leisten. Das Vorgehen insgesamt ist Ziel führend.

Abschließend kann festgestellt werden, dass bei der Bestimmung des radionuklidspezifischen Aktivitätsinventars der Schachanlage Asse II ein Vorgehen gewählt wurde, das auch im Rahmen eines atomrechtlichen PFV einen ausreichenden Tiefgang gewährleistet. Die abgeschätzten Unsicherheiten/Schwankungsbreiten gehen in den Quellterm ein. Das gewählte Radionuklidspektrum orientiert sich an den Endlagerungsbedingungen für das ERAM.

## **4.3 SICHERHEITSANALYSEN**

### **4.3.1 Sicherheitsanalysen für den Stilllegungsbetrieb**

Zur Stilllegung der Schachanlage Asse II nach Atomrecht wäre in einem PFV gemäß § 9b Abs. 4 AtG i. V. m. § 7 Abs. 2 Nr. 3 AtG nachzuweisen, dass die nach dem Stand von Wissenschaft und Technik erforderliche Vorsorge gegen Schäden bei der Stilllegung der Anlage getroffen ist. Als eine der zu erfüllenden Voraussetzungen für den Nachweis der Einhaltung der Schutzziele wird in den Sicherheitskriterien für die Endlagerung radioaktiver Abfälle in einem Bergwerk (BMI 1983) die Durchführung einer Sicherheitsanalyse vorgeschrieben. Im Besonderen sind Sicherheitsanalysen aus radiologischer Sicht für den bestimmungsgemäßen Stilllegungsbetrieb und für unterstellte Störfälle während des Stilllegungsbetriebs durchzuführen.

#### **4.3.1.1 Sicherheitsanalysen für den bestimmungsgemäßen Stilllegungsbetrieb**

##### **Anforderungen (Erforderliche Daten und Parameter)**

In den Sicherheitsanalysen für den bestimmungsgemäßen Stilllegungsbetrieb ist nachzuweisen, dass die im AtG und der StrlSchV vorgegebenen Schutzziele eingehalten werden. Für diesen Nachweis ist unter anderem die potentielle Strahlenexposition der Bevölkerung infolge der Ableitung radioaktiver Stoffe im bestimmungsgemäßen Stilllegungsbetrieb auf der Grundlage der AVV zu § 47 StrlSchV zu ermitteln. Des Weiteren ist zu zeigen, dass die Vorgaben des § 55 StrlSchV für die Strahlenexposition des Betriebspersonals eingehalten werden.

##### **Vorgehensweise des Antragstellers und Datengrundlage (Belegdichte und Belegqualität)**

Die für ein Stilllegungsverfahren nach AtG erforderlichen Analysen zu den Auswirkungen der vorgesehenen Maßnahmen zur Schließung der Schachanlage Asse II auf die Sicherheit während des bestimmungsgemäßen Stilllegungsbetriebs sind in den vorliegenden Unterlagen nicht dargestellt. Es werden lediglich Aussagen zu den Auswirkungen auf die Langzeitsicherheit getroffen.

##### **Bewertung (Defizite und Relevanz im Langzeitsicherheitsnachweis)**

Spezielle Unterlagen zu Sicherheitsanalysen für den bestimmungsgemäßen Stilllegungsbetrieb liegen nicht vor.

#### **4.3.1.2 Störfallanalysen für den Stilllegungsbetrieb**

##### **Anforderungen (Erforderliche Daten und Parameter)**

In den Störfallanalysen ist nachzuweisen, dass während des Stilllegungsbetriebs der Schachanlage Asse II die Störfallplanungswerte nach § 49 Abs. 1 StrlSchV entweder eingehalten werden, wobei eine störfallbedingte Freisetzung radioaktiver Stoffe gemäß dem Minimierungsgebot nach § 6 Abs. 2 StrlSchV auch unterhalb der Grenzwerte so gering wie möglich zu halten ist oder eine ausreichende Vorsorge nach dem Stand von Wissenschaft und Technik gegen Störfälle getroffen ist, um eine störfallbedingte Freisetzung radioaktiver Stoffe gemäß dem Vermeidungsgebot nach § 6 Abs. 1 StrlSchV auszuschließen. Neben anlageninternen Ereignissen sind auch Einwirkungen von außen zu berücksichtigen.

## **Vorgehensweise des Antragstellers und Datengrundlage (Belegdichte und Belegqualität)**

Auf der Basis der vorliegenden Unterlagen ist nicht erkennbar, dass die vorgesehenen Maßnahmen zur Schließung der Schachanlage Asse II im Hinblick auf mögliche Störfälle analysiert wurden. Die vorliegenden Unterlagen beinhalten lediglich Aussagen zu sicherheitsrelevanten Auswirkungen auf die Langzeitsicherheit.

## **Bewertung (Defizite und Relevanz im Langzeitsicherheitsnachweis)**

Unterlagen zur Störfallanalyse für den Stilllegungsbetrieb liegen nicht vor.

## **4.3.2 Analysen zur Langzeitsicherheit**

### **4.3.2.1 Modellierung der Grundwasserbewegung**

Zur Transportmodellierung im Deckgebirge liegt dem BfS der Bericht POLLER, RESELE & POPPEI (2006) vor. Er umfasst die vierte Phase der Modellierung der Grundwasserbewegung im Deckgebirge des Standortes Asse.

### **Anforderungen (Erforderliche Daten und Parameter)**

Die Beschreibung, Darstellung und Prognose von Transportprozessen im Grundwasser ist eines der wesentlichen Elemente der Beschreibung eines Standortes und der für ihn durchzuführenden Sicherheitsanalyse. Die Notwendigkeit und Anforderungen an diese Aufgabe resultieren dabei im Wesentlichen aus zwei Elementen der Sicherheitsanalyse.

Zum einen ist das Verständnis der hydrogeologischen Prozesse im Deck- und Nebengebirge der Salzstruktur eine unabdingbare Voraussetzung für die korrekte Beschreibung der Standortbedingungen und der auf ihnen aufbauenden Szenarien für die kurzfristige und langfristige Entwicklung des Standortes. Wesentlich für diesen Aspekt sind die Umsetzung standortspezifischer Gegebenheiten in der Modellierung und folgende damit verbundene Punkte:

- Dichteverteilung
- Grundwasserströmung (Strömungsrichtungen, 3D-Fließfeld)
- Mögliche Zuflüsse (Menge/Dauer, Dichte, Lokalität)
- Charakterisierung von Zuflusswegen zur Salzstruktur bzw. in das Grubengebäude
- Grundsätzliche Beschreibung und modellhafte Umsetzung der für die Grundwasserbewegung und den Transport von Schadstoffen relevanten Prozesse (z. B. Rückhaltung von Radionukliden, Dichteabhängige Strömung)

Zum anderen liefern die Ergebnisse der Modellierung der Grundwasserbewegung die Grundlage für die Beschreibung der potentiellen Ausbreitung von Schadstoffen in der Nachbetriebsphase des Endlagers. Modelle zur Durchführung von Langzeitsicherheitsanalysen umfassen neben den Modellkompartimenten Nahfeld, Transport in der Grube und Biosphäre insbesondere die Geosphäre. Der Transport in diesem Modellkompartiment hat häufig einen großen Einfluss auf die Transportzeiten im Gesamtmodell. Erforderlich für die Erstellung eines Geosphärenkompartimentes des Transportmodells für den LZSN sind:

- Konzeptuelles Modell (Geometrie, Wege, Eigenschaften von Transportwegen bzw. Fließpfaden)

- Transport bestimmende Parameter (z. B. quasi-poröse Näherung, Klufftransport, Porosität, Permeabilität)
- Transportzeiten
- Angaben zur Verdünnung in Grundwasser leitenden Schichten im Deckgebirge

Ein weiterer Aspekt der Modellierung der Grundwasserbewegung sind Fragen der Bergwerks- und Betriebssicherheit in der noch laufenden Betriebsphase und in der Phase des Stilllegungsbetriebs. Eng verknüpft mit Aspekten des Stilllegungskonzeptes, von denen speziell für den Standort Asse die Wechselwirkung zwischen Grundwasserhydraulik und Druckluftbeaufschlagung im Rahmen der Stilllegungsmaßnahmen relevant sind, sind die möglichen Zuflüsse, Zuflussraten sowie die hydraulischen Drücke an der Übergangsstelle.

Weitere grundsätzliche Anforderungen, die für eine transparente Darstellung und Nachvollziehbarkeit der Modellierung von Bedeutung sind, sind:

- Darstellung und Begründung der gewählten Anfangs- und Randbedingungen
- Nennung und Erläuterung der zugrunde liegenden Eingangsparameter (Werte, Bandbreiten, Verteilungsfunktionen)
- Darstellung unterschiedlicher Rechenvarianten bzw. Rechenfälle, deren Eintrittswahrscheinlichkeiten sowie Begründung für die Wahl der Rechenfälle bzw. für den Ausschluss anderer Varianten
- Modell-/Gebietsgrenzen
- Bewertung von Unsicherheiten im Modell
- Kalibrierung des Modells
- Beschreibung des numerischen Programms

### **Vorgehensweise des Antragstellers und Datengrundlage (Belegdichte und Belegqualität)**

Eine Grundannahme für die Modellierung der Grundwasserbewegung ist das Funktionieren des geplanten Verfüll- und Verschlusskonzeptes. Dies beinhaltet die weitgehende Verfüllung des Resthohlraumvolumens der Schachanlage Asse II mit Salzversatz und Sorelbeton, das Verfüllen von Poren- und verbleibendem Resthohlraumvolumen mit einem Schutzfluid und in diesem Zusammenhang das Erreichen eines pneumatischen Stützdrucks. Der dabei zugrunde gelegte Zeitplan geht von einer geplanten Flutung der 500-m-Sohle im Jahr 2014 aus und bildet die Grundlage für die Abbildung der Anfangsbedingungen für die Rechenfälle R13 und R14, d. h. für die hydraulischen Verhältnisse im Verlauf der Schließungsmaßnahmen bis zum Beginn der Lösungsauspressung (frühe Nachbetriebsphase) Anfang 2017.

Die Zielstellung und die Bedeutung der Deckgebirgsmodellierung für den LZSN werden kurz dargestellt wie auch die bisher durchgeführten Modellrechnungen (Phasen I bis III; Rechenfälle R8, R10, R11) und die damit verbundenen Ziele und Weiterentwicklungen des Modellkonzeptes. Die Modellrechnungen zur Phase IV beruhen auf drei verschiedenen Rechenfällen zum Deckgebirgsszenario (R12, R13, R14). In den Rechenfällen R12 und R13 werden eine unterschiedliche Herkunft (Zutrittspfade) und Zusammensetzung der dem Grubengebäude zutretenden Deckgebirgslösung betrachtet, wobei im Ergebnis drei räumlich begrenzte Exfiltrationszonen identifiziert wurden. Der Rechenfall R14 beschreibt eine Kombination der anderen beiden Fälle.

Hinsichtlich des Modellkonzeptes werden die Modellausdehnung bzw. -grenzen dargestellt. Störungszonen werden durch lokal erhöhte Permeabilitäten und Unterbrechungen von Grundwasserleitern durch lokal erniedrigte Permeabilitäten abgebildet. Der Transport in den hydrogeologischen Einheiten wird über eine äquivalent-porösen Näherung (Permeabilitäten, Lösungsdrücke und Lösungsflüsse sind räumlich gemittelte Werte) betrachtet. Die Abbildung der hydraulisch relevanten Einheiten Rötanhydrit, verstütztes Deckgebirge/Hutgestein und Subrosionsgerinne im Modell wird behandelt.



Es werden drei Arten von Lösungen unterschieden: 1.) oberflächennahes Süßwasser, 2.) tieferes, an NaCl und teilweise an CaSO<sub>4</sub> gesättigtes Deckgebirgswasser und 3.) in der Nachbetriebsphase ausgepresste Grubenlösung. Unterschiedliche Dichten für diese Lösungen werden mittels eines fiktiven Lösungsinhaltsstoffes (lineare Beziehung zwischen Lösungsdichte und Konzentration des Lösungsinhaltsstoffes) berücksichtigt. Unterschiedliche dynamische Viskositäten werden ebenfalls berücksichtigt. Die Berechnung des Volumenanteils an Grubenlösung, die sich ausbreitet, und die Ermittlung der Schadstoffkonzentrationen erfolgt in Form von zwei unabhängigen Tracerrechnungen.

Die für das Modellkonzept verwendete Datengrundlage wird beschrieben. Als wesentlich werden die Tiefenlinienpläne der Basis oder der Hangendgrenzen der relevanten hydrogeologischen Einheiten (Basis des Rötanhydrit und Keuper, Basis und Hangendgrenze des Unteren Muschelkalk) genannt. Die dazu genannten Unterlagen lagen für die Tiefgangsprüfung nur zum Teil vor. Des Weiteren liegt der Modellierung ein speziell für den Rötanhydrit entwickeltes hydraulisches konzeptuelles Modell zugrunde.

Bei der Ausbreitung von Schadstoffen bzw. Grubenlösung aus dem Grubengebäude in das Deckgebirge werden als wichtige Prozesse die Auspressung in der Nachbetriebsphase durch Konvergenz und die Lösungsverdrängung infolge Gasbildung und -speicherung berücksichtigt. Weitere Prozesse und Näherungen werden beschrieben. Darunter fällt u. a. die Berücksichtigung von Dichteeffekten. Ausfällungen infolge geochemischer Prozesse beim Mischen unterschiedlicher Lösungen werden nicht berücksichtigt.

Das für die Modellierung verwendete numerische Programm bzw. die numerischen, modelltechnischen Ansätze des Grundwassermodells werden dargestellt. Dies umfasst Angaben zum Rechenprogramm, zu Elementnetzen sowie zu den Anfangs- und Randbedingungen der einzelnen Modellrechnungen.

Die Randbedingungen für das Modell werden dargestellt, Vor- und Nachteile diskutiert und die Umsetzung der standortspezifischen Gegebenheiten bei der Festlegung der Randbedingungen erläutert. Als Anfangsbedingungen werden die als stationär angesetzten Verhältnisse vor dem Einsetzen des Lösungszutritts zugrunde gelegt. Der heutige Zustand wird als instationär angesehen. Für die verschiedenen Rechenfälle werden unterschiedliche Anfangsbedingungen verwendet, wobei diese für R13 und R14 mittels separater instationärer Modellrechnungen, die den Modellrechnungen zur Auspressung von Grubenlösung in das Deckgebirge sowie deren Ausbreitung im Deckgebirge vorangestellt werden, ermittelt wurden. Die Auspressrate von Grubenlösung als Randbedingung an der Übertrittsstelle wurde mittels separater Modellrechnungen ermittelt. Dazu liegen dem BfS die Unterlagen BUHMANN et al. (2005) und BUHMANN et al. (2006) vor.

Die Parameter, die der Modellierung zugrunde liegen, werden aufgelistet. Es handelt sich dabei um so genannte globale Parameter (Dichte und dynamische Viskosität von Lösungen, Dispersionslängen, Diffusionskonstanten / Porendiffusivität), für die gleiche Werte für alle hydrogeologischen Einheiten angesetzt werden. Des Weiteren werden Parameter der hydrogeologischen Einheiten verstütztes Deckgebirge und Subrosionsgerinne, Rötanhydrit (so1A), Anhydritmittel (am), Röttaquitarde (so2-so4) und Muschelkalk (mu, mm, mo) genannt. Diese Angaben umfassen Permeabilitäten, Porositäten, Höhenlagen und zum Teil horizontale Verbreitungen. Die Datengrundlage zu den Parametern wird genannt, zum Teil weitergehend diskutiert. Das Vorgehen zur Festlegung der Permeabilitäten und Porositäten wird erläutert. Die Permeabilitäten der Anhydritmittel sowie des Scherdeformationsbereichs S3/D9 wurden im Zuge der Modellkalibrierung an der Rate des heutigen Lösungszutritts bestimmt. Insgesamt beruhen die aufgeführten Parameter oftmals auf Angaben in Unterlagen, die zum Teil nicht zur Prüfung vorlagen. Angaben zu Bandbreiten und Verteilungsfunktionen werden nicht gemacht.

Bei der Modellierung werden die hydrogeologisch bzw. hydraulisch relevanten Einheiten (oberflächennahe aufgelockerte Zone, verstütztes Deckgebirge / Hutgestein, Subrosionsgerinne, Rötanhydrit, Anhydritmittel, Röttaquitarde mit bergbaubedingter Auflockerung im Scherdeformationsbereich S3/D9, Unterer Muschelkalk, Oberer Muschelkalk, vier relevante Störungszonen) berücksichtigt. Ihre charakteristischen Eigenschaften sowie z. B. die geometrischen Verhältnisse (Mächtigkeit, Höhenlage, Erstreckung) und wie diese im Modell berücksichtigt werden, werden erläutert. Zum Beispiel wird der Scherdeformationsbereich S3/D9 in der Röttaquitarde durch erhöhte Permeabilitäten und Porositäten abgebildet. Im Rechenfall R13 wird die Permeabilität in der Röttaquitarde in den Störungszonen um den Faktor 30 erhöht. Als nicht belastbar werden die nahe der Grundwasseroberfläche örtlich lokal ermittelten Modellergebnisse angesehen, da das Deckgebirgs-

modell nach POLLER, RESELE & POPPEI (2006) nicht für die Modellierung des oberflächennahen Fließsystems ausgelegt ist.

In POLLER, RESELE & POPPEI (2006) wird festgehalten, dass z. B. die Mächtigkeit der Subrosionsgerinne numerisch bedingt ist und lediglich die querschnittsintegrierte Transmissivität und Porosität hydraulisch maßgebend sind. Die zugrunde liegende Datenbasis zur Abbildung der hydrogeologischen Einheiten wird genannt, entsprechende Unterlagen liegen dem BfS jedoch größtenteils nicht vor.

Die so genannte „Übertrittszone“, d. h. der Bereich mit desintegrierter Steinsalz-Barriere, über welche in der Nachbetriebsphase Grubenlösung aus der Schachanlage Asse II in das Deckgebirge ausgepresst wird, wird in ihrer modellhaften Umsetzung und bzgl. ihrer Randbedingungen beschrieben.

Zuflusswege zur Salzstruktur bzw. ins Grubengebäude werden charakterisiert. Grundsätzlich verlaufen die betrachteten Fließpfade aus dem Grubengebäude durch die Zone der desintegrierten Steinsalzbarriere an der Südflanke in das Deckgebirge, d. h. eine Ausbreitung findet grundsätzlich zunächst über den bergbaubedingt aufgelockerten Rötanhydrit statt. Für die weitere Ausbreitung werden grundsätzlich zwei mögliche unterschiedliche Verläufe betrachtet, die als Rechenfälle R12 und R13 abgebildet werden. Die wesentlichen Unterschiede sind z. B. im Fall R12 hydraulisch wirksame Anhydritmittel und im Fall R13 der hydraulisch hoch wirksame Scherdeformationsbereich S3/D9 in der Röttaquitarde. Hydraulisch wirksame Wegsamkeiten innerhalb des Zechstein direkt von der Schachanlage Asse II zum Salzspiegel werden ausgeschlossen.

Die verschiedenen Rechenfälle R12, R13 und R14 werden hinsichtlich ihrer besonderen Merkmale bzw. Unterschiede beschrieben. Dabei werden die Gegebenheiten vor Einsetzen des Lösungszutritts, die heutigen Gegebenheiten sowie die Gegebenheiten in der Nachbetriebsphase betrachtet, ein Vergleich mit beobachtbaren Größen wird angestellt und Schlussfolgerungen gezogen. Die Rechenfälle gliedern sich in unterschiedliche Modellrechnungen, die sich auf unterschiedliche betrachtete Zeiträume beziehen und für die sich zeitlich anschließenden Modellrechnungen jeweils die Anfangsbedingungen liefern.

Die Modellausdehnung und Modellränder im Norden, Süden, Osten und Westen sowie an der Basis des Modells bezogen auf den Standortbereich Asse werden textlich erläutert und beruhen auf den am Standort ermittelten Gegebenheiten, z. B. bzgl. der Lage von Störungszonen, In- und Exfiltrationszonen sowie der Lage, Erstreckung und Mächtigkeit der relevanten (hydro-)geologischen Einheiten. Wesentliche Grundlage sind die Erkenntnisse aus der geologischen und hydrogeologischen Standortbeschreibung (hydrogeologische Modellvorstellungen).

Eine Kalibrierung des Modells, insbesondere der daraus abgeleiteten Permeabilitäten, wird vorgenommen. Grundlage der Kalibrierung sind die im Grubengebäude beobachteten Lösungszutritte. Die Ergebnisse der Modellierung werden mit beobachtbaren Größen verglichen.

Für die verschiedenen Rechenfälle werden die Ergebnisse bzgl. der Transportzeiten, der Verdünnung in Grundwasser leitenden Schichten im Deckgebirge sowie der Austrittspunkte im Deckgebirge (Exfiltrationszonen) dargestellt. Die Ergebnisse der Deckgebirgsmodellierung werden als Eingangsdaten für weiterführende Rechnungen zum Fluid- und Radionuklidtransport verwendet. In diesen Rechnungen werden Transferfunktionen ermittelt, die die Barrierenwirkung des Deckgebirges zwischen Austrittsstelle aus der Salzstruktur und betrachteter Exfiltrationszone beschreiben. Nach BUHMANN et al. (2006) ist dieses Vorgehen sehr konservativ.

## **Bewertung (Defizite und Relevanz im Langzeitsicherheitsnachweis)**

Die Methodik und Ergebnisse vorlaufender Modellrechnungen (Phase I bis Phase III) in COLENCO 2004, RESELE, POLLER & KLEMENZ (2005) und COLENCO (2005) lagen für die Tiefgangsprüfung nicht vor. Die Beurteilung der Modellierungen zur Grundwasserbewegung im Deckgebirge des Standortes Asse konnte daher nur unter Vorbehalt erfolgen, da in den Phasen I bis III wesentliche Grundlagen und Effekte behandelt werden.

Das numerische Modell und seine modelltechnischen Ansätze werden mit ausreichendem Tiefgang beschrieben. Insgesamt sind die Ausführungen zur Modellierung der Grundwasserbewegung im Deckgebirge und die Beschreibung der Rechenfälle plausibel und ausführlich und besitzen einen hinreichenden Tiefgang. Die Darstellung der Besonderheiten der Rechenfälle bzgl. ihrer Abbildung der früheren, heutigen und zukünftigen Gegebenheiten ist umfassend. Die Anfangs- und Randbedingungen werden plausibel dargestellt und sind auf Basis der bei ihrer Festlegung hinzugezogenen standortspezifischen Gegebenheiten weitgehend nachvollziehbar. Die Schlussfolgerungen zu den verschiedenen Rechenfällen, nach welchen das Deckgebirgsmodell die jeweils abgebildete hydrogeologische Modellvorstellung für Aussagen zur Langzeitsicherheit der Schachanlage Asse II nach deren Verschluss in geeigneter Weise wiedergibt, sind auf Basis der vorliegenden Informationen schlüssig.

Die für die Ausbreitung der Tracer zugrunde liegende Auspressrate von Grubenlösung als Randbedingung an der Übertrittsstelle wurde mittels separater Modellrechnungen ermittelt. Da die hierfür zugrunde liegenden Unterlagen nur teilweise vorliegen, kann der Tiefgang nicht beurteilt werden. Die Vorgehensweise ist jedoch grundsätzlich angemessen. Die Berücksichtigung unterschiedlicher Dichten und Viskositäten der verschiedenen Lösungen erfolgt plausibel über die funktionale Abhängigkeit mit dem Dichte bestimmenden Lösungsinhaltsstoff. Die Darstellung der Modellrechnungen zur Verteilung der Lösungen mit unterschiedlichen Dichten unter Berücksichtigung unterschiedlicher Zeitpunkte erfolgt mit ausreichendem Tiefgang. Die Angaben zu den Lösungsdrücken an der Übertrittsstelle sind anhand der verfügbaren Informationen plausibel.

Die Abbildung der Ergebnisse der Deckgebirgsmodellierung in weiterführenden Rechnungen zum Fluid- und Radionuklidtransport in Form von Transferfunktionen ist ein angemessener Ansatz und trägt einem konservativen Vorgehen Rechnung.

Die Wahl der Modellausdehnung und Modellränder ist komplex und an die geologisch-hydrogeologischen Gegebenheiten im Standortbereich Asse angelehnt. Die Erläuterung der Modellausdehnung und Modellränder ist ausführlich und im Zusammenhang mit der Beschreibung der Randbedingungen plausibel. Lediglich eine bildhafte Darstellung zur verbesserten Veranschaulichung wäre aufgrund der Komplexität des Standorts und der Differenzierung der Modellränder wünschenswert. Die in den Unterlagen enthaltenen Tiefenlinienpläne sind z. B. ohne Bezug zu den topographisch-morphologischen Gegebenheiten oder zu markanten Geländepunkten (z. B. Lage des Schachtes Asse 2) nur eingeschränkt aussagekräftig. Die Wahl der Grundwasser Oberfläche aus dem Grundwassergleichenplan als Modelloberfläche ist ein angemessenes Vorgehen. Vor dem Hintergrund der anscheinend geringen Datengrundlage zur Erstellung des Gleichenplans (siehe Kapitel 4.2.2) lässt sich jedoch nicht beurteilen, wie realistisch die Gegebenheiten im Standortbereich Asse in diesem Punkt wiedergegeben werden.

Die der Modellierung zugrunde liegenden Annahmen und Daten, z. B. zur Ableitung der Randbedingungen, lagen dem BfS zum größten Teil nicht vor. Dies betrifft u. a. geologische Längs- und Querschnitte zur Ableitung der Tiefenlinienpläne. Aus diesem Grund ist z. B. die Festlegung von Modellgrenzen nur eingeschränkt nachvollziehbar.

Die als wesentlich für das Modellkonzept verwendeten Tiefenlinienpläne der Basis oder der Hangendgrenzen der relevanten hydrogeologischen Einheiten wurden aus Unterlagen abgeleitet, die dem BfS für die Tiefgangsprüfung nur zum Teil vorlagen. Daher kann keine Aussage dahingehend getroffen werden, ob die Datengrundlage für die Ableitung des Modellkonzeptes an dieser Stelle ausreichend ist.

In die Modellierungen der Grundwasserbewegung im Deckgebirge des Standortes Asse fließen naturgemäß Daten und Ergebnisse aus der geologischen und hydrogeologischen Standortbeschreibung ein. Da bei der Prüfung dieses Themenkomplexes (siehe Kapitel 4.2.2) für Teilbereiche Defizite in den Datengrundlagen festgestellt wurden, lässt sich nicht abschließend beurteilen, inwieweit die für die Grundwassermodellierung genutzte Datenbasis ebenfalls von diesen Defiziten betroffen ist und ggf. die Aussagefähigkeit der Modellierungsergebnisse einschränkt. Zum Beispiel wird in POLLER, RESELE & POPPEI (2006) erwähnt, dass die Mächtigkeit der Subrosionsgerinne numerisch bedingt ist und lediglich die querschnittsintegrierte Transmissivität und Porosität hydraulisch maßgebend sind. Diese Parameter beruhen jedoch nicht auf direkten Messungen, sondern auf Interpretationen aus Quellschüttungen und Schätzwerten. An dieser Stelle wäre eine größere Belastbarkeit der Parameter von Vorteil.

Die Angaben zu den Permeabilitäten, z. B. der Anhydritmittel und des Scherdeformationsbereichs S3/D9 (aus Modellkalibrierung anhand der Rate des heutigen Lösungszutritts), sowie zu den Porositäten (Schätzungen) sind ebenfalls nicht so belastbar wie sie z. B. im Vergleich mit direkten Messungen sein sollten. Sofern die benutzten Werte ausreichend konservativ gegenüber den realen Gegebenheiten gewählt sind, ist dieses Vorgehen akzeptabel. Die Diskussion des Vorgehens zur Kalibrierung von Permeabilitäten ist plausibel. Da die Parameter Permeabilität und Porosität scheinbar nur in wenigen Fällen aus direkten Messungen stammen, jedoch hydraulisch maßgebende Bedeutung haben, wären Daten, die zumindest teilweise auf belastbaren Messergebnissen beruhen, vorzuziehen.

Hinsichtlich der in der geologischen und hydrogeologischen Standortbeschreibung zusammengestellten Informationen wird der Ausschluss hydraulisch wirksamer Wegsamkeiten innerhalb des Zechstein direkt von der Schachanlage Asse II zum Salzspiegel zwar plausibel dargestellt, ist jedoch nicht vollkommen nachvollziehbar. Die dazu notwendigen tiefer gehenden Unterlagen liegen dem BfS nicht vor.

#### **4.3.2.2 Geologische Langzeitprognose und Szenarienanalyse**

Zu diesem Themenkomplex liegen die Unterlagen KLEMENZ & RESELE (2005) (geologische Langzeitprognose) und BUHMANN et al. (2005) (Szenarienanalyse) vor. BUHMANN et al. (2005) konzentrieren sich dabei auf das Fernfeld, also die Geosphäre mit dem Deckgebirge, dem Hut- und Wirtsgestein. Eine Szenarienanalyse des Nahfeldes liegt dem BfS nicht vor, wurde jedoch offensichtlich angefertigt (RESELE & WILHELM 2006). Die nachfolgende Stellungnahme kann sich daher naturgemäß nur auf die „Geosphärenszenarien“ beziehen. Es wird kein Szenario für zukünftige menschliche Einwirkungen dargestellt.

#### **Anforderungen (Erforderliche Daten und Parameter)**

Die Szenarienanalyse ist ein wesentlicher Bestandteil des LZSN. Sie liefert auf Basis der Standortdaten und unter Berücksichtigung des Endlagerkonzeptes die möglichen zukünftigen Entwicklungen für den Standort und das Endlagersystem. Sie basiert auf allen verfügbaren Standortdaten, dem Endlagerkonzept und muss das geplante Stilllegungskonzept mit seinen einzelnen Maßnahmen berücksichtigen.

National wie international hat sich eine formalisierte Vorgehensweise als praktikabel erwiesen und durchgesetzt. Diese soll durch Einhaltung eines schematischen Ablaufs die Vollständigkeit der Szenarien sicherstellen.

Dazu sind zunächst anhand der Standortdaten alle Merkmale, Ereignisse und Prozesse (engl. FEP) des Endlagersystems zusammenzustellen, die seine Eigenschaften bestimmen können. Anhand der Standortcharakteristik sind die für den Standort besonders relevanten (sicherheitsrelevanten) FEP zu identifizieren und in einem weiteren Bearbeitungsschritt zu Szenarien zu aggregieren. Abschließend erfolgt eine Bewertung und Auswahl zu betrachtender Szenarien (Szenarienklassifikation) nach ihrer Wahrscheinlichkeit und/oder dem Schadensrisiko. Die Methoden für die Szenarienaggregation und die Szenariengewichtung sind nicht standardisiert und werden von Fall zu Fall standortspezifisch entwickelt. BALTES, RÖHLIG & KINDT (2007) und BRENNECKE et al. (2007) fordern in Übereinstimmung mit dem nationalen und internationalen Diskussionsstand die Einstufung in wahrscheinliche, weniger wahrscheinliche und nicht weiter zu betrachtende Szenarien.

Das Ergebnis einer vollständigen Szenarienanalyse muss Szenarien berücksichtigen, welche wahrscheinliche und weniger wahrscheinliche Entwicklungen des gesamten Endlagersystems (Nahfeld und Fernfeld) beschreiben. Der Ausschluss von Szenarien muss begründet werden. Die weiter zu betrachtenden Szenarien müssen einen Detaillierungsgrad haben, um alle für die Analyse der Langzeitsicherheit notwendigen Prozesse zu beschreiben und alle dafür notwendigen Daten zu identifizieren. Ihre Basis müssen zuverlässige geowissenschaftliche, geotechnische, geochemische und weitere Daten sein. Datenunsicherheiten sind bei der Analyse der Szenarien in geeigneter Weise zu berücksichtigen (z. B. können unwahrscheinliche Szenarien mit einem großen Schadensrisiko auch dann berücksichtigt werden, wenn die ihnen zugrunde liegenden bzw. sie ausschließenden Daten unsicher sind).

Die geologische Langzeitprognose ist eine der Grundlagen der Szenarienanalyse und kann mit ihr verknüpft, aber auch unabhängig von ihr durchgeführt werden. Im Rahmen einer geowissenschaftlichen Langzeitprognose werden die sich aus dem Geosystem ergebenden endogenen und exogenen Einwirkungen sowie Einflüsse von bergbaulich/geotechnischen Wirkfaktoren auf die Entwicklung des Endlagersystems (im Wesentlichen auf das Fernfeld) untersucht. Mit ihr werden letztendlich die relevanten FEP ermittelt, welche sich aus dem geologisch/geomechanisch/bergbaulichen Umfeld ergeben. Die geowissenschaftliche Langzeitprognose basiert auf einer Analyse der Entwicklung des Geosystems in der Vergangenheit. Dies erfolgt durch die Bestimmung der in der Vergangenheit wirksamen endogenen und exogenen Kräfte und bei Bedarf durch ihre möglichst belastbare Quantifizierung. Auf dieser Basis erfolgt im nächsten Schritt eine quantitative, ggf. auch nur qualitative Prognose (abhängig vom Prognosezeitraum). Die Prognose sollte mit höherer Auflösung und Verlässlichkeit einen Zeitraum von ca. 150.000 Jahren umfassen, da hier die höheren Auswirkungen zu erwarten sind und das System gut prognostizierbar ist. Für den Zeitraum danach sind insbesondere bei Standorten, welche in der Vergangenheit glazialen Prozessen ausgesetzt waren, aufgrund der erneut zu erwartenden vollglazialen Verhältnisse, Aussagen zu den obersten Schichten der Geosphäre (bis ca. 300 m bis 500 m) spekulativ. Für bestimmte, langsam ablaufende geologische Prozesse sind jedoch Abschätzungen möglich.

Konsequenzen der bergbaulichen Veränderungen sind zu beschreiben, gegebenenfalls zu quantifizieren und zu bewerten.

### **Vorgehensweise des Antragstellers und Datengrundlage (Belegdichte und Belegqualität)**

Die geowissenschaftliche Langzeitprognose (KLEMENZ & RESELE 2005) wurde von der GSF von der Szenarienanalyse (RESELE 2006) formal getrennt.

Die geowissenschaftliche Langzeitprognose basiert auf einer Analyse der geologischen Entwicklung des regionalen Umfeldes und der Genese und weiteren Entwicklung der Salzstruktur. Die in der Vergangenheit maßgeblichen endogenen und exogenen Wirkfaktoren wurden bestimmt (Epirogenese, Erosion, Subrosion, klimatische Entwicklung). Breiten Raum nimmt in KLEMENZ & RESELE (2005) die Analyse der Auswirkungen klimatischer Veränderungen ein, da diese in diesem Geo- und heutigen Endlagersystem zu vergleichsweise schnell wirksamen geologischen Veränderungen führen können.

Auf der Basis des heutigen Zustandes und der geplanten Maßnahmen der Stilllegung werden auch die bergbaulich/gebirgsmechanischen Veränderungen erfasst und bewertet. Dabei wird auf weitere Fachberichte (z. B. SROKA & HÖBELBARTH 2006) Bezug genommen.

Für die für den Standort wesentlichen Wirkfaktoren der geowissenschaftlichen Langzeitprognose werden quantitative Prognosen abgeleitet (z. B. Hebung, Subrosion, bergbaulich bedingte Senkungen). Es erfolgen z. T. qualitative Bewertungen für den Zeitraum >150.000 Jahre.

In KLEMENZ & RESELE (2005) werden auch klimaunabhängige Ereignisse hinsichtlich ihrer Relevanz untersucht.

In der Szenarienanalyse (RESELE 2006) werden die ihr zugrunde liegenden Eingangsdaten und Randbedingungen erläutert. Sie basiert auf den geowissenschaftlichen Standortdaten (geowissenschaftliche Langzeitprognose, hydrogeologische Modellvorstellungen, Analyse der Nahfeldszenarien und Schließungskonzept). Die Kompartimente des Multibarrierensystems werden dargestellt. Der mögliche Einfluss benachbarter Schachtanlagen (FÖRSTER et al. 2006) wird in der Szenarienanalyse berücksichtigt.

Die Szenarientwicklung erfolgt entsprechend international üblicher Vorgehensweise in mehreren, aufeinander aufbauenden Schritten.

In einem ersten Schritt erfolgt die Beschreibung des Systems Schachtanlage Asse und seiner Eigenschaften, der heute und möglicherweise in Zukunft ablaufenden Prozesse und eintretenden Ereignisse (features, events, processes, FEP), soweit diese den Einschluss der Schadstoffe oder deren Freisetzung beeinflussen können. Gestützt auf diese Systembeschreibung werden in einem zweiten Schritt die potentiell

sicherheitsrelevanten FEP identifiziert und spezifisch für den Standort Asse definiert. Zur Überprüfung auf Vollständigkeit erfolgt ein Abgleich der so identifizierten FEP mit international anerkannten FEP-Listen. Die als potentiell sicherheitsrelevant erkannten FEP werden in einem dritten Schritt zu Szenarien zusammengefügt. Die Szenarien werden zu acht Szenariengruppen zusammengefasst. Die für die einzelnen Szenariengruppen repräsentativen Szenarien und ihre Varianten werden hinsichtlich ihrer Eintretenswahrscheinlichkeit und Prognoseunsicherheit bewertet. Als Referenzszenario wird das repräsentative Szenario der Szenariengruppe ausgewählt, deren Eintretenswahrscheinlichkeit am höchsten ist.

Die Szenarienaggregation und die Szenarienauswahl erfolgt auf der Basis einer nicht vollständig objektifizierbaren Entscheidung durch den „Analysten“. Eine objektive Definition und gegenseitige Abgrenzung von einzelnen Szenarien und Szenariengruppen ist nicht willkürfrei möglich, jedoch müssen die im Sicherheitsnachweis berücksichtigten Szenarien alle möglichen Zustände und Entwicklungen abdecken. Die Szenarientwicklung erfolgt nach der in den Niederlanden entwickelten Methodik PROSA (OECD/NEA 2001). Diese beruht auf einer ein-eindeutigen Zuordnung zwischen einem Szenario und der qualitativen Wirkungsweise des standortspezifischen Mehrbarrierensystems. Die Szenariengruppen unterscheiden sich nach dieser Methodik durch die qualitative Wirkungsweise des Mehrbarrierensystems. Die ausgewählten Szenariengruppen führen alle zu einem früheren oder späteren Übertritt von Radionukliden aus dem Grubengebäude in die Geosphäre und durch diese in die Biosphäre. Durch Kombination der Szenariengruppen für die Teilsysteme Geosphäre und Nahfeld ergeben sich 16 Szenariengruppen für das Gesamtsystem. Mögliche Entwicklungen, bei denen es zu keiner Radionuklidfreisetzung kommt, werden mit dieser Methodik nicht erfasst. Sie beschränkt sich deshalb auf die ungünstigen möglichen Entwicklungen des Gesamtsystems.

Die in RESELE (2006) abgeleiteten Szenarien für das Fernfeld werden mit den in RESELE & WILHELM (2006) ermittelten Szenarien zu einem vollständigen Datensatz zusammengefügt. Das Ergebnis sind neben dem so genannten Referenzszenario weitere für die Systementwicklung des Endlagersystems (Nahfeld+Fernfeld) mögliche Entwicklungslinien. Es wird eine nicht quantifizierte, argumentative Beurteilung der Szenarien hinsichtlich ihrer Wahrscheinlichkeit vorgenommen. Auf Datenunsicherheiten wird vereinzelt argumentativ eingegangen, eine Integration der Datenunsicherheiten in den Bewertungsansatz erfolgt nicht.

## **Bewertung (Defizite und Relevanz im Langzeitsicherheitsnachweis)**

Die formale Trennung der geowissenschaftliche Langzeitprognose (KLEMENZ & RESELE 2005) von der Szenarienanalyse (RESELE 2006) ist positiv zu bewerten. Es verbessert die Übersichtlichkeit. Konsistenzprobleme wurden nicht festgestellt. Die Szenarienanalyse des Nahfeldes kann nicht abschließend bewertet werden, da die dazu erstellte Unterlage RESELE & WILHELM (2006) nicht vorliegt. Die Stellungnahme zur Szenarienanalyse insgesamt muss damit unvollständig bleiben.

Die Methodik der geowissenschaftlichen Langzeitprognose ist der Aufgabenstellung angemessen und entspricht dem üblichen Vorgehen. Die Ableitung der relevanten geowissenschaftlichen Wirkfaktoren ist vollständig und nachvollziehbar. Die Ergebnisse sind plausibel. Vermisst wird jedoch die Auseinandersetzung mit den Auswirkungen langsam ablaufender, zum Spannungsaufbau im Deckgebirge und in Randbereichen des Salinars führender Prozesse. Gegebenenfalls können diese Prozesse durch Kluftbildung zu Veränderungen in den Transportpfaden des Modells führen.

Auf Basis der dem BfS vorliegenden Unterlagen ist festzustellen, dass die geologische Datenbasis eine zum Teil geringe Belegdichte und Belegqualität aufweist. Dies hat keine Auswirkungen auf die Identifikation der relevanten Wirkfaktoren, jedoch auf ihre Quantifizierung. Ein Beispiel hierfür ist die Quantifizierung der „salzkinetischen Bewegungen“ und der auf dieser Basis durchgeführten Prognose oder die Quantifizierung der Subrosion (vgl. Ausführungen dazu in Kapitel 4.2.2.2). Eine in den methodischen Ansatz integrierte Bewertung der Konsequenzen von Datenunsicherheiten liegt nicht vor.

Im Hinblick auf ein atomrechtliches PFV ist die geowissenschaftliche Langzeitprognose methodisch korrekt und vollständig und ihre Ergebnisse sind weitgehend plausibel. Unsicherheiten in der Datenbasis können auf Basis der vorliegenden Unterlagen nicht ausgeschlossen werden.

Die Methodik der Szenarienanalyse ist der Aufgabenstellung angemessen und entspricht dem Stand von Wissenschaft und Technik und der vorgehensweise in anderen Ländern/Projekten. Die Ableitung der FEP für das Fernfeld erfolgt auf Basis der richtigen und vollständigen Wirkfaktoren. Sie können für das Nahfeld nicht beurteilt werden. Die Szenarientwicklung ist fachlich fundiert und aus fachlicher Sicht in ausreichendem Tiefgang dokumentiert. Allerdings fehlt, wie auch in der Unterlage vermerkt, eine Betrachtung zu Szenarien, die zukünftige menschliche Handlungen mit Auswirkungen auf die Langzeitsicherheit des Endlagers beinhalten.

Bei der Auswahl der „Asse-spezifischen FEP“ wird argumentativ die FEP-Wahrscheinlichkeit und FEP-Relevanz berücksichtigt. Die Nachvollziehbarkeit der Auswahl der relevanten FEP (Begründung) ist auf Basis der vorliegenden Unterlagen nicht vollständig gegeben.

Die Auswahl der Szenarien („Szenariengruppen“) erscheint angemessen und plausibel. Auch hier ist die Nachvollziehbarkeit der Kombination der Gesamtszenarien (Geosphäre und Nahfeld) nicht ohne weiteres gegeben.

Die von BALTES, RÖHLIG & KINDT (2007) und BRENNECKE et al. (2007) geforderte und in der Zielstellung wiedergegebene Einstufung der Szenarien in die Szenarienklassen wahrscheinliche, weniger wahrscheinlichen und nicht weiter zu betrachtenden Szenarien erfolgt in dieser Strenge nicht. Vielmehr erfolgt eine argumentative Beschreibung der Wahrscheinlichkeit.

Im Hinblick auf ein atomrechtliches PFV ist die Szenarienanalyse methodisch korrekt und vollständig und ihre Ergebnisse sind weitgehend plausibel. Der fachliche Tiefgang ist ausreichend. Die Nachvollziehbarkeit ist aufgrund der dem BfS nicht vollständig vorliegenden Unterlagen in einzelnen Punkten eingeschränkt. Unsicherheiten in der Datenbasis können auf Basis der vorliegenden Unterlagen nicht ausgeschlossen werden.

Im Rahmen einer Szenarienanalyse wird das Fehlen der Betrachtung zukünftiger menschlicher Einwirkungen nicht als mangelnder Tiefgang angesehen. Üblicherweise werden standardisierte Szenarien verwendet, die sich einer standortspezifischen Prognose entziehen. Die Aufstellung und Behandlung eines solchen Szenarios erfolgt im LZSN. Ein Fehlen wird dort bewertet.

Der Bericht zur Szenarientwicklung behandelt den Zustand des Gesamtsystems nach Ausführung der vorgesehenen technischen Maßnahmen zur Schließung der Schachanlage Asse II. Nicht Gegenstand der BfS-Stellungnahme ist eine fachliche Aussage, ob diese Maßnahmen sicher umgesetzt werden können und die darauf aufbauenden, als sicherheitsrelevant identifizierten FEP und die daraus hergeleiteten Szenarien tatsächlich, wie in der Unterlage ausgeführt, sämtliche möglichen heutigen Zustände und künftigen Entwicklungen des Gesamtsystems Asse abdecken. Dies bedarf einer umfangreichen interdisziplinären Überprüfung, die im Rahmen dieser Stellungnahme nicht möglich war.

### **4.3.2.3 Berechnung eines Radionuklidquellterms**

Nachfolgend wird der Themenkomplex die Ermittlung eines Quellterms behandelt. Die hierzu dem BfS vorliegenden Berichte sind (METZ et al. 2006) und (LÜTZENKIRCHEN et al. 2006).

#### **Anforderungen (Erforderliche Daten und Parameter)**

Zur Berechnung eines Radionuklidquellterms ist Folgendes erforderlich:

Als Grundlage dient das Szenario des LZSN. Zur Bestimmung des Quellterms sind das Ausgangsinventar, alle beteiligten Feststoffe und Lösungen sowie alle relevanten FEPs zu berücksichtigen. Das definierte Szenario muss durch die durchgeführten Rechnungen und Experimente abgebildet werden. Dabei ist deutlich zu machen, dass berechnete oder im Labor ermittelte Werte auf die tatsächlichen Verhältnisse übertragbar sind. Hierbei müssen Unsicherheiten benannt und in die Betrachtung integriert werden. Die Untersuchungen können experimentell oder durch Modellrechnungen durchgeführt werden. Wird ein

Szenario experimentell korrekt nachgestellt, ist eine detaillierte Kenntnis der im Experiment ablaufenden Prozesse nicht zwingend erforderlich. Bei der Ermittlung der benötigten Daten durch Modellrechnungen hingegen ist ein grundlegendes Prozessverständnis notwendig und Unsicherheiten sind zu ermitteln und zu bewerten. Alle relevanten Prozesse müssen in das Modell einbezogen werden

### **Vorgehensweise des Antragstellers und Datengrundlage (Belegdichte und Belegqualität)**

Im Rahmen der Arbeiten für die Asse hat das FZK-INE gemäß den vorliegenden Unterlagen den Nuklidquellterm mittels geochemischer Modellierung ermittelt. Die Modellierung erfolgte dabei auf Basis thermodynamischer Daten – größtenteils Pitzer-Koeffizienten. Dabei wurde zunächst das zu betrachtende Szenario definiert.

Die vorgenommenen Arbeiten haben im Wesentlichen Gültigkeit unter der Voraussetzung folgender Punkte:

- Das Stoffinventar der eingelagerten Abfallprodukte ist ebenso wie die Zusammensetzung des anstehenden Gesteines bekannt.
- Die LAW-Einlagerungskammern werden vollständig mit Schutzfluid gefüllt.
- Die MAW-Kammer wird nicht mit Schutzfluid gefüllt. Sollte hier doch Lösung zutreten, handelt es sich um Schutzfluid.
- Die Lösungen befinden sich lange genug in den Einlagerungskammern, damit sich ein Gleichgewicht einstellen kann (angenommen sind 500 Jahre).

Die Richtigkeit dieser Annahmen wird in den geprüften Unterlagen METZ et al. (2006) und LÜTZENKIRCHEN et al. (2006) als gegeben angenommen. Damit wird die erfolgreiche Realisierung des Verfüll- und Verschlusskonzeptes unterstellt (siehe Kapitel 4.4).

Ausgehend von den oben genannten Annahmen wird eine Konzentration für die betrachteten Nuklide in der Lösung in den Einlagerungskammern durch geochemische Modellierung ermittelt. Gemäß den vorliegenden Unterlagen wurde darauf geachtet, die wesentlichen Festphasen, gelösten Spezies und Reaktionen in die Modellierung einzubeziehen. Dabei wurde unter anderem auch die Sorption von Am und Pu an den Festphasen der Einlagerungskammern einbezogen. Unterlagen zur experimentellen Ermittlung der Sorptionswerte für Am und Pu (LÜTZENKIRCHEN et al. 2004) liegen nicht vor und können daher nicht beurteilt werden. Da diese Experimente nach Aussage des Berichtes nicht alle Einlagerungskammern abdecken, wurden über eine „Expertenschätzung“ (LÜTZENKIRCHEN, METZ & KIENZLER 2006) für diese Einlagerungskammern die Werte aus den durchgeführten Experimenten abgeschätzt. Die entsprechende Unterlage liegt nicht vor und konnte nicht geprüft werden.

In Form von ausgewählten Laborversuchen fand eine Überprüfung statt, ob die errechneten Werte auf die tatsächlichen Verhältnisse anwendbar sind. In diesen Versuchen sollte das zugrunde gelegte Szenario so gut wie möglich reproduziert werden. Die in diesen Versuchen ermittelten Werte wurden mit den Errechneten verglichen und ergaben nach Aussage der vorliegenden Berichte eine gute Übereinstimmung. Bei den durchgeführten Untersuchungen wurde Q-Lösung verwendet, die nach den vorliegenden Berichten bis 2005 als Schutzfluid vorgesehen war. Aktuell ist geplant, R-Lösung als Schutzfluid zu verwenden. Laut den vorliegenden Berichten wird in KORTHAUS, METZ & KIENZLER (2005) gezeigt, dass sich die erwartete Entwicklung der Lösungszusammensetzung hierdurch nicht wesentlich verändert. Diese Unterlage liegt dem BfS nicht vor.

In den vorliegenden Unterlagen werden Unsicherheiten bei den Eingangsdaten und in der Modellierung thematisiert. Es wurden Untersuchungen zu den existierenden Unsicherheiten im Inventar (FÖRSTER & MARGGRAF 2005) und Studien zu möglichen Extremfällen (KORTHAUS et al. 2006) durchgeführt. Die entsprechenden Unterlagen liegen nicht vor und konnten nicht bewertet werden. Auf Basis dieser Untersuchungen und Annahmen, etwa zu veränderten Lösungszutritten, wurden Rechnungen mit veränderten Parametern durchgeführt. Im Ergebnis der geprüften Berichte werden die Unterschiede als nicht signifikant beurteilt.



## **Bewertung (Defizite und Relevanz im Langzeitsicherheitsnachweis)**

Die thermodynamische Modellierung geochemischer Milieus ist ein anspruchsvoller Vorgang. Die zugrunde liegenden thermodynamischen Daten – in diesem Falle größtenteils Pitzer-Koeffizienten – sind zum Teil nicht oder nur mit großen Ungenauigkeiten bekannt. Die Aussagekraft thermodynamischer Modellierungen ist umstritten. Allerdings wird in diesem Fall ein klar definiertes und verhältnismäßig gut bekanntes System modelliert. Eine korrekte thermodynamische Modellierung erscheint daher in diesem speziellen Fall prinzipiell möglich. Ob die verfügbaren Daten dies in ausreichender Belastbarkeit erlauben, und ob dies in korrekter Form geschieht, kann hier nicht beurteilt werden. Im Weiteren wurde daher ausschließlich geprüft, ob das Vorgehen grundsätzlich als plausibel zu bewerten ist.

Das verwendete Modell bildet das unterstellte Szenario ab. Die Ausführungen hierzu sind plausibel. Aus den Unterlagen geht ein ausreichendes Prozessverständnis hervor. Eine Aussage, ob wirklich alle bedeutenden Festphasen, gelösten Spezies und Reaktionen in die Modellrechnungen eingeflossen sind, kann nicht erfolgen. Nicht beurteilt werden kann auch das Vorgehen zur Sorption, da die Unterlagen zu den zugrunde liegenden Untersuchungen nicht vorliegen. Das gilt insbesondere bzgl. der so genannten Expertenschätzung zur Übertragung von Sorptionsexperimenten auf andere Verhältnisse.

Das experimentelle Vorgehen zur Bestätigung der thermodynamischen Rechnungen ist plausibel und entspricht in der Abbildung des zugrunde gelegten Szenarios z. B. dem Vorgehen bei der Ermittlung von Sorptionsparametern für das ERAM. Eine Schwierigkeit ist, dass in den Versuchen Q-Lösung statt der als Schutzfluid geplanten R-Lösung verwendet wurde. Die vergleichsweise kleinen Unterschiede zwischen R-Lösung und Q-Lösung lassen dies nicht von vornherein als falsch erscheinen. Ohne die zugrunde liegenden Betrachtungen des FZK-INE zu kennen, kann hierzu allerdings inhaltlich keine Stellung genommen werden. Grundsätzlich zeigt das gewählte Vorgehen den für ein Stilllegungsverfahren im Rahmen des AtG notwendigen Tiefgang. Aussagen dazu, ob experimentell alle notwendigen Parameter getestet wurden oder ob sich im Rahmen der Modellierung Schwachstellen zeigten, die mit dem experimentellen Programm nicht abgedeckt werden, sind nicht möglich.

Die vorliegenden Berichte zeigen einen Ansatz, bestehende Unsicherheiten zu benennen und in die Betrachtungen zu integrieren. Grundsätzlich ermöglicht der gewählte Weg einen ausreichenden Tiefgang. Die Richtigkeit der getroffenen Aussagen und die Vollständigkeit der durchgeführten Rechnungen bezüglich der Unsicherheiten kann hier nicht beurteilt werden.

Abschließend lässt sich festhalten, dass bei der Ermittlung eines Quellterms für die Radionuklide Am, Np, Pu, Ra, Sr, Th und U mit einem für ein atomrechtliches PFV ausreichenden Tiefgang und plausibel vorgegangen wurde. Dabei ist aufgrund der Komplexität der Thematik im Rahmen einer Tiefgangsprüfung und auf Basis der vorliegenden Unterlagen nicht nachvollziehbar, ob die erzielten Ergebnisse tatsächlich belastbar sind. Im Einzelfall ist hier erheblicher Diskussionsbedarf nicht auszuschließen. Es kann nicht aus den Berichten abgeleitet werden, wie die gewonnenen Daten in die Sicherheitsbetrachtung eingehen.

### **4.3.2.4 Grundwasserrelevante Aspekte**

Nachfolgend wird der Themenkomplex „Bestimmung und Bewertung möglicher Auswirkungen freigesetzter nichtradioaktiver Stoffe auf das oberflächennahe Grundwasser“ behandelt.

Zur Teilaufgabe „Grundwasserrelevante Aspekte“ hat das GSF-Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit, Forschungsbergwerk Asse drei Berichte vorgelegt:

BUCHHEIM, MEYER & THOLEN (2004), BUCHHEIM, MEYER & STOLZENBERG (2006a) und BUCHHEIM, MEYER & STOLZENBERG (2006b).

## **Anforderungen (Erforderliche Daten und Parameter)**

Nach § 34 Abs. 2 Wasserhaushaltsgesetz (WHG) und § 137 Abs. 2 Niedersächsisches Wassergesetz (NWG) dürfen Stoffe nur so gelagert oder abgelagert werden, dass eine schädliche Verunreinigung des Grundwassers oder eine sonstige nachteilige Veränderung seiner Eigenschaften nicht zu besorgen ist.

Lagern oder Ablagern im Sinne von § 34 Abs. 2 WHG und § 137 Abs. 2 NWG ist ein Lagern zur späteren Weiterverwendung bzw. ein Ablagern zur Entledigung (hier: Endlagerung). Gemäß den Anforderungen des Wasserhaushaltsgesetzes, des Niedersächsischen Wassergesetzes und der Grundwasserverordnung ist der Nachweis zu führen, dass die in der Schachtanlage Asse II endgelagerten radioaktiven Abfälle einschließlich der Baustoffe für die Verfüllung der Einlagerungskammern und der Stoffe für die Stabilisierung des geochemischen Milieus (Mg-Depots aus Brucit-Granulat; mit Brucit-Pulver angereichertes Schutzfluid) keine Verunreinigung bzw. schädlichen Veränderungen der Beschaffenheit des oberflächennahen Grundwassers verursachen.

In den einschlägigen Verordnungen, Regelwerken und Empfehlungen aus dem Bereich des Wasserrechts, die zur Bewertung etwaiger Beeinträchtigungen der Grundwasserbeschaffenheit herangezogen werden, sind anorganische und organische Stoffe als Elemente und Verbindungen mit ihren jeweiligen Begrenzungen einzeln aufgeführt. Um einen Vergleich mit den hier genannten Konzentrationen durchführen zu können, muss das gesamte in der Schachtanlage Asse II vorhandene grundwasserrelevante Stoffinventar – soweit zutreffend – nach diesen Elementen und Verbindungen aufgeschlüsselt werden.

Abfallgebinde setzen sich hauptsächlich aus anorganischen und zu einem geringeren Anteil aus organischen, nichtradioaktiven Stoffen zusammen, die als Bestandteile des Abfallbehälters, des Fixierungsmittels und des radioaktiven Abfalls auftreten können. Gegenüber den großen Massen dieser Stoffe sind die Massen der in den Abfallgebänden enthaltenen Radionuklide vergleichsweise gering. Um den o. g. Nachweis führen zu können, muss die stoffliche Zusammensetzung der anorganischen und organischen, nichtradioaktiven Bestandteile der Abfallgebände, der Baustoffe für die Verfüllung der Einlagerungskammern und der Stoffe für die Stabilisierung des geochemischen Milieus ermittelt und bilanziert werden. Dies schließt auch eine Betrachtung zur Abschätzung von Massenanteilen und Zusammensetzungen der Abfallgebände mit ein. Die Aufschlüsselung nach Elementen und Verbindungen hat unabhängig davon zu erfolgen, ob die einzelnen Stoffbestandteile chemotoxisch sind oder nicht, da auch nicht-chemotoxische Stoffbestandteile für die Prüfung auf Einhaltung der wasserrechtlichen Begrenzungen heranzuziehen sind. In Anlehnung an die Modellvorstellungen und Randbedingungen der radiologischen Langzeitsicherheitsanalyse ist auf dieser Basis die Untersuchung und Bewertung einer möglichen Verschmutzung des oberflächennahen Grundwassers durch das gesamte grundwasserrelevante Inventar der anorganischen und organischen nichtradioaktiven Stoffe vorzunehmen.

## **Vorgehensweise des Antragstellers und Datengrundlage (Belegdichte und Belegqualität)**

Die Untersuchung möglicher Auswirkungen, die von den endgelagerten radioaktiven Abfällen, den Baustoffen für die Verfüllung der Einlagerungskammern und der Stoffe für die Stabilisierung des geochemischen Milieus auf das oberflächennahe Grundwasser ausgehen können, beruht auf einem Vergleich von Stoffkonzentrationen, die einerseits unter theoretischen Annahmen modellmäßig berechnet und andererseits als Maßstab Verordnungen, Regelwerken und Empfehlungen aus dem Bereich des Wasserrechts entnommen werden. Hierbei ist insbesondere die Grundwasserverordnung zu beachten, und zwar die in den Listen I und II angegebenen Stofffamilien und Stoffgruppen. Sie enthalten diejenigen anorganischen und organischen Stoffe, die aus wasserrechtlicher Sicht von Bedeutung sind und deren Vorhandensein im Abfallinventar und in den Inventaren der Stoffe für die Verfüllung und Stabilisierung geprüft werden muss. Sofern dies der Fall ist, sind die möglichen Auswirkungen auf das oberflächennahe Grundwasser zu untersuchen und zu bewerten.

Entsprechend dieser Vorgehensweise sind die eingereichten Verfahrensunterlagen inhaltlich strukturiert:

- Im Bericht BUCHHEIM, MEYER & THOLEN (2004) wird das Inventar an chemischen und chemotoxischen Stoffen in den eingelagerten radioaktiven Abfällen der Schachanlage Asse II bestimmt.
- Im Bericht BUCHHEIM, MEYER & STOLZENBERG (2006a) wird ein Quellterm für chemische und chemotoxische Stoffe in den Einlagerungsbereichen der Schachanlage Asse II mit radioaktiven Abfällen und Versatzstoffen bestimmt.
- Im Bericht BUCHHEIM, MEYER & STOLZENBERG (2006b) wird die Prüfung auf Einhaltung der wasserrechtlichen Bestimmungen von chemischen und chemotoxischen Stoffen der eingelagerten Abfälle und Versatzstoffe in der Schachanlage Asse II vorgenommen.

Unter Beizug der von HERZOG & SCHNEIDER (2001) für die Asse erfassten stofflichen Hauptbestandteile entstanden im Anschluss an eine umfangreiche Vollständigkeits- und Plausibilitätskontrolle als wesentliche Grundlage für die Aufbereitung des abfallbezogenen Stoffinventars die in BUCHHEIM (2002) bzw. BUCHHEIM, MEYER & THOLEN (2004) zusammengestellten Angaben und Daten. Das hier beschriebene Inventar ist vollständig in Materialien, Komponenten (auch Verbindungen) und Elemente zerlegt („Zwiebelschalenprinzip“). Aus Gründen der Transparenz und Eindeutigkeit wurde dabei zwischen solchen Stoffanteilen unterschieden, die

- dem eigentlichen radioaktiven Abfall,
- den verwendeten Fixierungsmitteln und
- den Abfallbehältern bzw. Verpackungen

zuzuordnen sind. Im Hinblick auf die chemische Aufschlüsselung des Stoffinventars wurden die auf Abfall, Fixierungsmittel und Abfallbehälter/Verpackung entfallenden stofflichen Anteile gemäß des von Buchheim eingeführten und angewandten „Zwiebelschalenprinzips“ in drei Bearbeitungsschritten systematisch erfasst. Diese Schritte umfassen

- das Material (Stoffgruppe), z. B. Bauschutt (anorganischer Abfall) oder Kugelharze (organischer Abfall),
- die Komponenten (auch Verbindungen), z. B. für das Material Bauschutt oder für das Material Kugelharze und
- die chemischen Elemente aus den Komponenten für das Material Bauschutt oder für das Material Kugelharze.

Um eine eindeutige Darstellungsweise der Materialien ohne Informationsverluste zu erreichen, Datenkonsistenz bei den Materialzusammensetzungen und -abhängigkeiten zu gewährleisten und um die Inventare einzelner Materialien korrekt berechnen und interpretieren zu können, ist von Buchheim das Materialschichtmodell eingeführt worden (BUCHHEIM, MEYER & THOLEN 2004). Dieses Modell ermöglicht in aufeinander aufbauenden Schichten die korrekte, vollständige und widerspruchsfreie chemische Aufschlüsselung /Beschreibung eines jeden Materials, das im Abfallinventar enthalten ist, und durch Kumulation der Einzelangaben auch die genaue chemische Aufschlüsselung des gesamten Abfallinventars selbst.

Mit Hilfe des Materialschichtmodells wurde das in der Schachanlage Asse II vorhandene Abfallinventar nach Materialien, Komponenten (auch Verbindungen) und Elementen erfasst und aufgeschlüsselt (BUCHHEIM, MEYER & THOLEN 2004, BUCHHEIM, MEYER & STOLZENBERG (2006a).

Auch wenn die Verfahrensberichte HERZOG & SCHNEIDER (2001) und BUCHHEIM (2002) nicht zur Verfügung standen, belegen die detaillierten Ergebnistabellen

- B.1 Gesamtinventar aus allen Stoffuntergruppen (SUG) und allen Kammern, alle Beiträge; geordnet nach Masse der Materialien [kg]
- B.2 Gesamtinventar aus allen Stoffuntergruppen (SUG) und allen Kammern, alle Beiträge; geordnet nach Masse der Materialien in Abfällen, Abfallbehältern und Fixierungsmitteln [kg]

- B.3 Anorganische und organische Komponenten gesamt (in kg), sortiert nach Komponenten
- B.4 Elemente in anorganischer bzw. organischer Bindung gesamt (in kg), sortiert nach Elementen

im Anhang B zu BUCHHEIM, MEYER & THOLEN (2004) unmittelbar die von Buchheim gewählte, vorstehend beschriebene Vorgehensweise und zeigen auf, dass nur auf diesem Wege eine solch detaillierte Aufschlüsselung des abfallbezogenen chemischen und chemotoxischen Inventars durchgeführt werden konnte. Hiermit wurde auch die Grundlage gelegt, um die stofflichen Anteile des Abfallinventars entsprechend den in den Listen I und II aus der Anlage zur Grundwasserverordnung genannten Stofffamilien und Stoffgruppen so aufzubereiten, dass die Einzelstoffe einschließlich ihrer Massenanteile direkt diesen Stofffamilien und Stoffgruppen zugeordnet werden konnten.

Um die wasserrechtliche Prüfung hinsichtlich einer schädlichen Verunreinigung des Grundwassers oder einer sonstigen nachteiligen Veränderung seiner Eigenschaften durchführen zu können, bedarf es über die detaillierte Aufschlüsselung des Abfallinventars hinaus weiterer Angaben. Hierzu werden in BUCHHEIM, MEYER & STOLZENBERG (2006a) die als Bestandteile der radioaktiven Abfälle eingelagerten Massen von Uran, Thorium und Plutonium ergänzt (GERSTMANN, MEYER & THOLEN 2002) und insbesondere Angaben zu den Stoffen aufgenommen, die als Baustoffe für die Verfüllung der Einlagerungskammern und als Stoffe für die Stabilisierung des geochemischen Milieus vorgesehen sind. Den Mengen- bzw. Massenangaben der Versatzstoffe innerhalb der Einlagerungskammern liegt das Verfüllkonzept der LAW-Einlagerungskammern (FÖRSTER & MARGGRAF 2005) und der MAW-Einlagerungskammer (FÖRSTER, MARGGRAF & TEICHMANN 2005) zugrunde. Danach wurden für die LAW-Einlagerungskammern die Versatzstoffe Brucit-Granulat, Brucit-Pulver und Schutzfluid und für die MAW-Einlagerungskammer Sorelbeton und Schutzfluid (ohne Brucit-Pulver) betrachtet. Die chemische Zusammensetzung ist im Anhang C von BUCHHEIM, MEYER & STOLZENBERG (2006a) detailliert in mehreren Tabellen dokumentiert. Nach FÖRSTER & MARGGRAF (2006) und LOMMERZHEIM et al. (2006) wird in die MAW-Kammer Brucit eingebracht (Abdeckung des Fasskegels mit einer ca. 0,5 m dicken Schicht Brucit-Granulat mit etwa 138 m<sup>3</sup> Granulat vor Einbringen des Sorelbetons) und kein Schutzfluid in den Porenraum der Einlagerungskammer gezielt eingeleitet. Diese Aktualisierung der Verfüllplanung ist nicht in die Bewertung der grundwasserrelevanten Aspekte eingegangen.

Auf der Basis der Einzelangaben zu den radioaktiven Abfällen wie auch zu den o. g. Stoffen zur Verfüllung und zur Stabilisierung wurde das Gesamtinventar der Grundwasser gefährdenden Stoffe erarbeitet. Die Massen der wasserrechtlich relevanten Stoffe wurden dabei pro Einlagerungsfeld angegeben. Damit war die Grundlage für die Ermittlung eines Quellterms gegeben, der für die weitere Modellbetrachtung zur Freisetzung der nichtradioaktiven anorganischen und organischen Stoffe benötigt wird. Im Hinblick auf diesen Quellterm wird in BUCHHEIM, MEYER & STOLZENBERG (2006a) wie folgt vorgegangen:

Im ersten Schritt wurde die hypothetisch vollständige Lösung der wasserrechtlich relevanten Stoffe im angebotenen Wasseranteil im Schutzfluid unterstellt. Durch diese Vorgehensweise wurden maximale Konzentrationen jeweils der betreffenden Stoffe im Wasser ermittelt.

Im zweiten Schritt wurde die Löslichkeit der Stoffe in reinem Wasser ermittelt. Diejenigen Stoffe, die aufgrund ihrer chemischen Eigenschaften mit dem Wasser schwer lösliche Verbindungen oder keine bzw. vernachlässigbare Chlorokomplexe unter Asse-spezifischen Bedingungen bilden können, wurden ebenfalls dargestellt und diskutiert.

Im dritten und letzten Schritt wurden die Stoffe betrachtet, deren reale Löslichkeit in MgCl<sub>2</sub>-reichen Salzlösungen auf Ergebnissen von Experimenten basieren. Darüber hinaus wurden die Stoffe diskutiert, die mit den Bestandteilen des Schutzfluids reagieren. Die Stoffkonzentrationen wurden auf den Wasseranteil des Schutzfluids bezogen.

Zur Bewertung der möglichen Auswirkungen auf den Zustand des oberflächennahen Grundwassers werden in BUCHHEIM, MEYER & STOLZENBERG (2006b) die sich nach Freisetzung aus den Einlagerungsbereichen der Schachanlage Asse II im Grundwasser einstellenden Konzentrationen modellmäßig berechnet. Hierzu werden die Konzentrationen der einzelnen anorganischen und organischen Stoffe aus dem jeweiligen Inven-

tar der einzelnen Einlagerungsbereiche ohne Schutzfluidanteil bzw. der Schutzfluidanteil alleine mit den jeweils entsprechenden Reduktionsfaktoren rechnerisch verdünnt. Die so ermittelten Konzentrationsbeiträge der einzelnen Stoffe werden addiert und die so resultierende Gesamtkonzentration im oberflächennahen Grundwasser mit dem jeweiligen Prüfwert verglichen.

Da es für die Bewertung von Beeinträchtigungen des Grundwassers keine unmittelbar geltenden, rechtlich verbindlichen Grenz- oder Richtwerte als Maßstab gibt, werden in BUCHHEIM, MEYER & STOLZENBERG (2006b) Maßstäbe herangezogen, die von der Sache her grundsätzlich geeignet sind, die schädlichen Verunreinigungen bzw. nachteiligen Veränderungen des Grundwassers zu konkretisieren und etwaige Beeinträchtigungen zu bewerten. Hierzu werden insbesondere einschlägige Unterlagen der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) und der Deutschen Vereinigung des Gas- und Wasserfaches e. V. (DVGW) wie auch die novellierte Trinkwasserverordnung vom 21. Mai 2001 herangezogen. Mit Hilfe des Vergleichs zwischen den modellmäßig berechneten Konzentrationen und den entsprechenden Begrenzungen aus diesen wasserrechtlichen Regelwerken wird dann der Nachweis der Einhaltung des Schutzzieles gemäß § 34 Abs. 2 WHG und § 137 Abs. 2 NWG geführt. Diese Vorgehensweise entspricht vollständig den gewählten Vorgehensweisen im abgeschlossenen PFV Konrad und im laufenden PFV ERAM.

### **Bewertung (Defizite und Relevanz im Langzeitsicherheitsnachweis)**

Die in den drei Berichten von BUCHHEIM, MEYER & THOLEN (2004), BUCHHEIM, MEYER & STOLZENBERG (2006a) und BUCHHEIM, MEYER & STOLZENBERG (2006b) dargestellte Bestimmung und Bewertung möglicher Auswirkungen freigesetzter nichtradioaktiver Stoffe aus der Schachanlage Asse II auf das oberflächennahe Grundwasser steht mit den Arbeiten in Einklang, die das BfS zu dieser Themenstellung in dem abgeschlossenen PFV Konrad als Endlager für radioaktive Abfälle mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung und in dem laufenden PFV für das Verfüllen und Verschließen des ERAM durchgeführt hat. Damit ist festzustellen, dass die drei o. g. Unterlagen die Anforderungen erfüllen, die ein atomrechtliches PFV an den Umfang und Tiefgang diesbezüglicher Verfahrensunterlagen stellt.

Die in BUCHHEIM, MEYER & THOLEN (2004) dargestellte Vorgehensweise zur Ermittlung und detaillierten Aufschlüsselung des endgelagerten Abfallinventars in der Schachanlage Asse II stimmt vollständig mit den Vorgehensweisen überein, die bei der Bearbeitung des Themenkomplexes Bestimmung und Bewertung möglicher Auswirkungen freigesetzter nichtradioaktiver Stoffe auf das oberflächennahe Grundwasser im Rahmen des abgeschlossenen PFV Konrad und des laufenden PFV für das ERAM gewählt wurden.

Zusammenfassend bleibt festzustellen, dass die Vorgehensweisen zur Ermittlung des stoffspezifischen Gesamtinventars (radioaktive Abfälle, Verfüllungsmaterialien, Stabilisierungsmaterialien) sowie die Durchführung der verschiedenen Schritte zur Bestimmung des Quellterms im Einklang mit dem Umfang und Tiefgang der Arbeiten stehen, die zu dieser Themenstellung im Rahmen des abgeschlossenen PFV Konrad und des laufenden PFV ERAM durchgeführt wurden bzw. werden. Im Hinblick auf den Umfang der Arbeiten sei angemerkt, dass mit dem dritten Schritt bei der Quelltermbestimmung über die für Konrad und ERAM durchgeführten Arbeiten hinausgegangen wird.

Allerdings decken die drei Berichte nicht alle Punkte zu diesem Themenkomplex ab, d. h. für ein atomrechtliches PFV sind die von der GSF vorgelegten Unterlagen für die Teilaufgabe „Grundwasserrelevante Aspekte“ nicht vollständig. Im Rahmen des PFV Konrad hatte die zuständige Planfeststellungsbehörde die Vorlage weiterer Unterlagen gefordert, und zwar

- Plausibilitätsbetrachtung zur Chemotoxizität radioaktiver Abfälle mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung (Vergleich der chemotoxischen Inventare und der Radionuklidinventare radioaktiver Abfälle sowie Vergleich mit einer Uranerzlagerstätte; Vergleich der Inventare chemotoxischer Stoffe in den Abfallgebänden und in den Sedimenten der Schachanlage Konrad),
- chemischer Abbau toxischer Stoffe in radioaktiven Abfällen,
- strahlenchemischer Abbau oder Aufbau chemotoxischer Stoffe in radioaktiven Abfällen.

Im Rahmen des PFV ERAM hat die Begutachtung und Diskussion der vom BfS eingereichten Verfahrensunterlagen zu den grundwasserrelevanten Aspekten gerade begonnen. Daher ist es derzeit noch offen, ob – und wenn ja – welche Nachforderungen von der zuständigen Planfeststellungsbehörde erhoben werden.

In den von der GSF eingereichten Unterlagen wird bezüglich der Massenangaben bzw. der Zusammensetzung der Versatzstoffe auf das geplante Verfüllkonzept für die LAW-Einlagerungskammern und die MAW-Einlagerungskammer zurückgegriffen. Damit ist der Salzgrus, mit dem die Kammern der Südflanke der Schachanlage Asse II verfüllt wurden, ebenfalls zu berücksichtigen. Unter Bezug auf das PFV ERAM (hier: Berücksichtigung der beiden Baustoffe M2 und M3) sind deshalb die eingereichten Unterlagen durch eine weitere Verfahrensunterlage zu ergänzen:

- Berücksichtigung des Verfüllmaterials in den Kammern der Südflanke im Rahmen der wasserrechtlichen Prüfung und Bewertung.

Zusammenfassend sind die drei eingereichten Berichte zur Teilaufgabe „Grundwasserrelevante Aspekte“ im Hinblick auf die vollständige Prüfung der grundwasserrechtlichen Aspekte für ein atomrechtliches PFV durch weitere vier o. g. Unterlagen zu ergänzen. Die für die Massenangaben und Zusammensetzung der Versatzstoffe in der MAW-Kammer zitierte Unterlage (FÖRSTER, MARGGRAF & TEICHMANN 2005) entspricht nicht dem aktuellen Planungsstand (FÖRSTER & MARGGRAF 2006 und LOMMERZHEIM et. al. 2006).

#### **4.3.2.5 Biosphärenmodell**

Das Biosphärenmodell wird in Pröhl (2006), NIEMEYER & RESELE (2006), BUHMANN, FÖRSTER & RESELE (2006), BUHMANN et al. (2006) beschrieben. Der Bericht GSF (2006a) liegt dem BfS nicht vor.

#### **Anforderungen (Erforderliche Daten und Parameter)**

Es ist zu prüfen, ob das im Abschlussbetriebsplan zur Schließung der Schachanlage Asse II im Zusammenhang mit dem Nachweis der Langzeitsicherheit verwendete Biosphärenmodell auch in einem atomrechtlichen PFV Bestand hätte.

#### **Vorgehensweise des Antragstellers und Datengrundlage (Belegdichte und Belegqualität)**

Das Biosphärenmodell der Asse berücksichtigt die potentielle Strahlenexposition von Personen der Bevölkerung über den Grundwasser-, Oberflächenwasser- und Gaspfad, verursacht durch die nicht auszuschließende Freisetzung von Radionukliden aus den Einlagerungsbereichen in der Nachbetriebsphase. Die Abschätzung der Strahlenexposition orientiert sich dabei an den Modellansätzen des Entwurfs der AVV zu § 47 StrlSchV (Stand 21.01.2005) und den Vorgaben der Anlage VII zu § 47 StrlSchV. Da für lange Zeiträume keine belastbaren Vorhersagen zu den sich ändernden Lebensbedingungen und -gewohnheiten getroffen werden können, werden im Biosphärenmodell die heutigen Lebensbedingungen und -gewohnheiten am Standort zugrunde gelegt. Zusätzlich wird durch Sensitivitätsbetrachtungen orientierend geprüft, wie sich Klimaänderungen und veränderte Lebensgewohnheiten auf die Strahlenexposition auswirken können.

#### **Lösungspfad**

Nach BUHMANN, FÖRSTER & RESELE (2006) sind die für die Abschätzung der Strahlenexposition über den Grund- und Oberflächenwasserpfad wichtigen Annahmen und Prozesse in GSF (2006a) dargestellt. Diese Unterlage liegt dem BfS nicht vor. Die Tiefgangsprüfung zur Thematik Biosphärenmodell - Lösungspfad konnte daher nur anhand der Prüfunterlage PRÖHL (2006) sowie der zusammenfassenden Darstellung in BUHMANN, FÖRSTER & RESELE (2006) erfolgen.

Der Anwendungsbereich der AVV zu § 47 StrlSchV (Entwurf) ist auf die Ermittlung der Strahlenexposition im Zusammenhang mit Ableitungen aus Anlagen und Einrichtungen begrenzt. Die analoge Anwendung der AVV auf die Ermittlung der Strahlenexposition im Zusammenhang mit diffusen Freisetzungen von Radionukliden aus radioaktiven Abfällen in tiefen geologischen Formationen erfordert Anpassungen bei den Parametern und Modellen, die im Fall der Asse wie folgt vorgenommen wurden:

- Eine altersgruppenspezifische Abschätzung der effektiven Dosis wurde als nicht erforderlich erachtet, da bei diffusen Radionuklidfreisetzung aus tiefen geologischen Formationen davon auszugehen ist, dass sich die Radionuklidkonzentrationen in der Biosphäre nur langsam in Zeiträumen, die wesentlich länger sind als die Lebenserwartung des Menschen, verändern. Die jährliche Strahlenexposition der Referenzperson sollte daher über die gesamte Lebenserwartung gemittelt werden und dieser Mittelwert wird angemessen durch die jährliche Strahlenexposition eines Erwachsenen repräsentiert. Die potentielle Strahlenexposition wird im Biosphärenmodell der Asse daher für eine Referenzperson aus der Gruppe der Erwachsenen abgeschätzt.
- Die Beregnung von Weide- und Ackerflächen wird am Standort der Asse aufgrund der klimatischen Bedingungen und Bodenarten als nicht erforderlich angesehen und im Biosphärenmodell nicht berücksichtigt. Für den Anbau von Blatt- und Wurzelgemüse im Hausgarten wird eine Beregnung gemäß AVV unterstellt. Die Beregnung von Obst wird mit 50 % des in der AVV angegebenen Wertes angesetzt, da aufgrund günstiger Bodeneigenschaften am Standort Asse angenommen wird, dass nur die Hälfte der verzehrten Obstsorten eine Beregnung erfordert.
- Stark sorbierende Radionuklide werden im Biosphärenmodell der Asse schneller mit den Bodenpartikeln in tiefere Bereiche verlagert. Die Verweilzeiten der Aktiniden und Radionuklide, die laut AVV der Gruppe der Aktiniden zuzuordnen sind, werden daher um eine Größenordnung niedriger angesetzt.
- Der Transferfaktor Futter-Milch für Selen wird aus physiologischen Gründen von 0,05 d/kg (Wert nach AVV) auf 0,004 d/kg gesenkt.
- Mit Ausnahme des Trinkwassers werden bei den Verzehrswerten nicht, wie in § 47 StrlSchV vorgegeben, die mit den Sicherheitsfaktoren der Anlage VII Teil B Tabelle 1 Spalte 8 StrlSchV multiplizierten Mittelwerte berücksichtigt, sondern lediglich die mittleren Verzehrswerten. Beim Trinkwasser wird die mittlere Verzehrswert nach StrlSchV als zu niedrig angesehen und der mit dem Sicherheitsfaktor multiplizierte Wert verwendet.

Zusätzlich werden beim Biosphärenmodell der Asse Szenarien berücksichtigt, die in der AVV nicht oder nicht explizit enthalten sind. Dazu gehören die externe Exposition durch Aufenthalt auf beregneten Flächen und die Exposition durch Inhalation von resuspendierten Bodenpartikeln.

Im Rahmen von Sensitivitätsanalysen werden orientierend vier weitere Szenarien betrachtet:

- Abkühlung des Klimas mit Einstellung jeglicher Beregnung
- Erwärmung mit erhöhtem Beregnungsbedarf
- Verzehrsmengen einschließlich der Sicherheitsfaktoren ohne Klimaänderung
- alle Parameter gemäß AVV

Das Biosphärenmodell liefert in Verbindung mit der aus der Transportmodellierung BUHMANN et al. (2006) resultierenden Aktivitätskonzentration im Grund- und Oberflächenwasser für die so genannte kombinierte Variante eine maximale Strahlenexposition der Referenzperson von 0,051 mSv/a. Diese maximale Strahlenexposition wird für das Exfiltrationsgebiet „Muschelkalk – Tal von Wittmar“ (m-Witt) berechnet und in ca. 23.000 Jahren nach Schließung der Schachanlage erreicht. Aus den Sensitivitätsbetrachtungen folgt, dass die effektive Dosis im Exfiltrationsgebiet m-Witt bei strikter Anwendung der AVV ca. 0,2 mSv/a betragen würde.

## **Gaspfad**

Die Szenarien des Gaspfades sind in NIEMEYER & RESELE (2006) sowie PRÖHL (2006) erläutert. Von den volatilen Radionukliden im Bergwerk Asse ist nach Abschluss der Stilllegungsarbeiten nur noch C-14 für die Strahlenexposition in der Biosphäre von Bedeutung. Andere Nuklide wie H-3, J-129 oder Rn-222 sind aufgrund der Mengen oder des radioaktiven Zerfalls beim Transport bis in die Biosphäre vernachlässigbar. Der Radiokohlenstoff kann nach dem Abbau organischer Verbindungen als Methan oder Kohlendioxid vorliegen. Kohlendioxid wird in den Einlagerungskammern quasi vollständig als Karbonatverbindung gefällt, so dass die Ausbreitung von C-14 bis in die Biosphäre vorrangig in Form von Methan erfolgt. In der Biosphäre wird das Methan dann mikrobiell zu Kohlendioxid oxidiert.

Die Auswirkungen einer C-14-Freisetzung in die Biosphäre werden auf der Basis verschiedener Rechenfälle für den Gastransport im Grubengebäude und Nahfeld ermittelt. Prinzipiell werden dabei zwei Austritts- und Aufstiegswege unterschieden:

- Übertritt von Gas aus der Grube entlang der Zone der desintegrierten Steinsalz-Barriere in den Rötanhydrit mit anschließendem Aufstieg des Gases im Rötanhydrit und durch das verstürzte Deckgebirge bis in die Biosphäre (Referenzszenario)
- Austritt von Gas entlang der mit Dichteelementen versehenen Tagesschächte bis in die Biosphäre (im Referenzszenario von untergeordneter Bedeutung)

Innerhalb der Biosphäre werden folgende Expositionsszenarien betrachtet:

- Flächenhafte Freisetzung von C-14 aus dem Boden einer landwirtschaftlichen Nutzfläche (wahrscheinliches Szenario) mit Assimilation durch Pflanzen und Übergang in die Nahrungskette bis zum Menschen
- Kanalisierte Freisetzung in den Keller eines Wohnhauses (wenig wahrscheinliches Szenario) und Aufnahme von C-14 durch Inhalation
- Teilweise Lösung von Methan oder Kohlendioxid im aberflächennahen Grundwasser und Übergang von C-14 in die Nahrungskette, insbesondere über den Expositionspfad Grund-/Oberflächenwasser - Fischteich - Fisch (alternatives Szenario)

Im Referenzfall beginnt der Gasaustritt aus der Grube nach ca. 1.500 Jahren und in den alternativen Rechenfällen nach 150 bis 750 Jahren und erreicht bald darauf sein Maximum. Die Austrittsraten für C-14 liegen zwischen  $10^9$  und  $10^{10}$  Bq/a, was beim wahrscheinlichen Biosphärenszenario „Landwirtschaft“ zu einer effektiven Dosis bei einer erwachsenen Referenzperson zwischen 0,0007 mSv/a im Referenzfall und 0,009 mSv/a im ungünstigsten Szenario (vergrößerte Zone der desintegrierten Steinsalzbarriere) führt. Für das weniger wahrscheinliche Biosphärenszenario „Freisetzung in ein Wohnhaus“ sind die effektiven Dosen um den Faktor 7 bis 8 höher.

Die höchste potentielle Strahlenexposition wurde für das Biosphärenszenario „Fischteich“ ermittelt. Hier liegt die berechnete effektive Dosis eines Erwachsenen im Referenzfall bei 0,11 mSv/a und im ungünstigsten Fall (vergrößerte Zone der desintegrierten Steinsalzbarriere) bei 0,23 mSv/a.

## **Bewertung (Defizite und Relevanz im Langzeitsicherheitsnachweis)**

Die GSF führt aus, dass das Biosphärenmodell der Asse und die Modellierung der Auswirkungen einer potentiellen Radionuklidfreisetzung in der Nachbetriebsphase auf Modellansätzen gemäß § 47 StrlSchV und der AVV zu § 47 StrlSchV (Neufassung, Stand 21.01.2005) beruhen. Die Modelle und Parameter wurden laut GSF an die gegenwärtigen Verhältnisse am Standort Asse und den Stand der Wissenschaft angepasst und damit ein realitätsnahes, standortspezifisches Modell der Referenzbiosphäre entwickelt. Dieses Vorgehen entspricht im Grundsatz den Anforderungen, die auch an ein atomrechtliches PFV zur Stilllegung eines Endlagers zu stellen sind. Die GSF nimmt allerdings Änderungen an den Modellen und Parametern der AVV vor, die nicht durch den Standort selbst veranlasst sind. Dies betrifft insbesondere die



Nichtanwendung der Sicherheitsfaktoren (Spalte 8 der Anlage VII Teil B Tabelle 1 StrlSchV) bei den Verzehrswerten bzw. die ausschließliche Anwendung des Sicherheitsfaktors beim Lebensmittel Trinkwasser. Hier wird bewusst von Vorgaben der StrlSchV zur Art und Weise, wie die Einhaltung der effektiven Dosis nach § 47 Abs. 1 StrlSchV nachzuweisen ist, abgewichen, obwohl genau dieses Schutzziel auch als Kriterium für den Nachweis der Langzeitsicherheit herangezogen wird. Begründet wird dieses Vorgehen mit dem Abbau von Konservativitäten bzw. dem Ziel einer möglichst realistischen Ermittlung der Exposition. Bei den PFV zu den Endlagern Morsleben und Konrad wurde anders, d. h. nach AVV, verfahren.

Welche Strahlenexposition bei Anwendung der Sicherheitsfaktoren nach Anlage VII Teil B Tabelle 1 StrlSchV zu berücksichtigen wäre, hat die GSF für den Lösungspfad orientierend in den Sensitivitätsbetrachtungen geprüft. Danach wäre die Exposition in den Exfiltrationsgebieten „m-Witt“, „m-Amm“ und „vD-Amm“ um den Faktor 1,5 bis 1,6 höher als ohne Berücksichtigung der Sicherheitsfaktoren und das Dosiskriterium 0,3 mSv/a wäre weiterhin unterschritten. Für den Gaspfad, der von GSF bei den Sensitivitätsbetrachtungen nicht berücksichtigt wurde, ergäbe sich für das Szenario „Fischteich“ ein 5fach höherer Wert, so dass die effektive Dosis eines Erwachsenen hier im Referenzfall bei 0,55 mSv/a und im ungünstigsten Fall (vergrößerte Zone der desintegrierten Steinsalzbarriere) bei ca. 1,2 mSv/a liegen würde. Damit wäre die Einhaltung des Dosiskriteriums von 0,3 mSv/a nicht mehr gewährleistet. Angesichts der Entscheidungsrelevanz dieses Punktes ist darauf hinzuweisen, dass das Biosphärenszenario „Fischteich“ im Zusammenhang mit der C-14-Problematik bei anderen atomrechtlichen PFV (Morsleben, Konrad) bislang nicht betrachtet wurde und auch international bislang kaum diskutiert wird. Das Modellverständnis zu diesem Biosphärenszenario ist insgesamt noch unzureichend und vor der Anwendung in Stilllegungsverfahren sind weitere Untersuchungen zur Eingrenzung der möglichen Exposition zu empfehlen.

Auch die von der GSF vorgenommenen Änderungen an den Parametern der AVV zur Verweilzeit der Aktiniden im Boden und dem Transferfaktor Futter-Milch für Selen sind nicht durch die lokalen Verhältnisse am Standort der Asse veranlasst, sondern beruhen auf neueren wissenschaftlichen Erkenntnissen, die allerdings noch nicht als Stand der Wissenschaft angesehen werden können. Beim Themenkomplex Verweilzeit der Aktiniden im Boden bestehen insbesondere bei Ackerböden noch Kenntnisdefizite, die vor einer Verwendung der neuen, weniger konservativen Werte in atomrechtlichen PFV zunächst ausgeräumt werden sollten. Für Endlager bzw. die Schachanlage Asse II sind Akkumulationszeiten für Radionuklide im Boden von einigen tausend Jahren in Ansatz zu bringen, wodurch auch kleinere Änderungen bei den Verweilzeiten erhebliche Auswirkungen auf die aus dem Boden-Pflanze-Pfad resultierende Exposition haben können.

Der Verzicht auf die Berechnung von Wiesen und Ackerflächen im Biosphärenmodell der Asse wird von der GSF hinreichend begründet. Die Sensitivitätsbetrachtungen haben außerdem gezeigt, dass das Schutzziel 0,3 mSv/a auch bei einer Berechnung von Wiesen und Ackerflächen eingehalten wird.

Die Reduzierung der Expositionsberechnung auf eine Referenzperson aus der Gruppe der Erwachsenen wird ebenfalls hinreichend begründet und ist bei LZSN für Endlager national und international üblich. Diese Herangehensweise ist auch konform mit den aktuellen Empfehlungen der ICRP (2007).

Der Tiefgang der Bearbeitung wird als ausreichend für ein atomrechtliches PFV angesehen.

#### **4.3.2.6 Gasbildung**

Im Zuge der Tiefgangsprüfung Asse wurde auf Basis des dem BfS übergebenen Berichtes ISTec-A-979 (BRACKE 2005) das Vorgehen im Rahmen der Ermittlung der Gasbildung im Forschungsbergwerk Asse nach Verschluss geprüft. Die Bewertung der Auswirkungen der Gasbildung ist nicht Teil dieser Prüfung.

#### **Anforderungen (Erforderliche Daten und Parameter)**

Die Entwicklung von Gasen in einem Endlager kann von Bedeutung sein im Hinblick sowohl auf die Integrität der natürlichen und ingenieurtechnischen Barrieren, als auch als Transportmedium für Nuklide.

Für die Abschätzung der Gasentwicklung ist Folgendes zu leisten:

- Die betrachteten Mechanismen der Gasentwicklung müssen beschrieben und in der Abschätzung enthalten sein. Dabei sind sie in die im Endlager zu erwartenden Szenarien einzuordnen.
- Darauf aufbauend ist das Inventar Gas bildender Stoffe darzustellen.
- Die Menge der entstehenden Gase ist zu ermitteln. Abhängig vom jeweiligen Szenario kann dabei die Geschwindigkeit der Gasentwicklung von Bedeutung sein. Diese ist nachvollziehbar für die einzelnen Prozesse zu ermitteln.

### **Vorgehensweise des Antragstellers und Datengrundlage (Belegdichte und Belegqualität)**

Grundlage für die geprüfte Unterlage sind Vorgaben zum Stoffinventar und zu den geochemischen Randbedingungen, die aus anderen Unterlagen im Rahmen der Stilllegung Asse abgeleitet wurden.

Im Rahmen des Vorhabens sind zunächst die Gas bildenden Prozesse beschrieben und bewertet worden. Dabei wurden im Wesentlichen folgende Gas bildende Vorgänge betrachtet:

Anaerobe Metallkorrosion unter Bildung von Wasserstoff, Radiolyse und mikrobielle Gasbildung.

Die möglichen Gas bildenden Prozesse werden ausführlich diskutiert und dargestellt. Unter Einbeziehung der zugrunde gelegten Szenarien (instantane Flutung mit Schutzfluid, bekannte geochemische Randbedingungen) wurden die abgeschätzte Gasmenge und die Gasbildungsraten hergeleitet. Dabei ist wesentlich, dass nicht nur die maximal zu erwartende Gasmenge stöchiometrisch ermittelt wurde, sondern auch die zeitliche Entwicklung der Gasbildung. Dies erfolgte mit der Begründung, dass die Annahme einer maximalen Gasentwicklung nicht immer konservativ sei. Wie die Gasbildungsraten in die Sicherheitsanalyse eingehen wurde im vorliegenden Dokument nicht erläutert.

Die Abschätzung der Gasbildungsraten erfolgte wesentlich auf Basis einer umfangreichen Recherche zu im Labor ermittelten Werten und natürlichen und anthropogenen Analoga. Wesentlich für die Gasbildungsraten ist dabei das zugrunde gelegte Stoffinventar. Das vorgegebene Inventar wurde entsprechend der Gasbildungsprozesse ausgewertet. Materialoberflächen wurden aus Literaturdaten gewonnen oder logisch hergeleitet.

Im Ergebnis wurde unter Angabe der Bandbreite ermittelt, welche Mengen Gas in welchem Zeitraum entstehen.

### **Bewertung (Defizite und Relevanz im Langzeitsicherheitsnachweis)**

Die betrachteten wesentlichen Gas bildenden Prozesse in einem Endlager sind dem derzeitigen Stand der Wissenschaft entsprechend dargestellt. Die Betrachtungen zum vorhandenen Gas bildenden Inventar sind in ausreichendem Tiefgang erfolgt, wobei hier keine Aussage über die Richtigkeit getroffen werden kann. Die Betrachtungen zu den Gasbildungsraten sind nachvollziehbar und weisen einen ausreichenden Tiefgang aus. Zur Richtigkeit der aus zahlreichen Literaturdaten hergeleiteten Werte kann hier keine Aussage getroffen werden.

Die Abschätzung der Gasmengen ist nachvollziehbar und im Tiefgang dem Vorgehen im Zuge eines atomrechtlichen PFV vergleichbar. Nicht aus dem Bericht abgeleitet werden kann, wie die gewonnenen Daten in die Sicherheitsbetrachtungen für die Asse eingehen sollen.

Abschließend lässt sich feststellen, dass das im geprüften Bericht dargestellte Vorgehen in Art und Tiefgang einem Vorgehen in einem atomrechtlichen PFV entspricht.

### 4.3.2.7 Kritikalitätssicherheit

#### Anforderungen (Erforderliche Daten und Parameter)

Als eine der zu erfüllenden Voraussetzungen für den Nachweis der Einhaltung der grundsätzlichen Schutzziele wird in den Sicherheitskriterien für die Endlagerung radioaktiver Abfälle in einem Bergwerk (BMI 1983) die Durchführung einer Sicherheitsanalyse vorgeschrieben. Teil einer solchen Sicherheitsanalyse ist der Nachweis der Kritikalitätssicherheit in der Betriebs- und Nachbetriebsphase der Anlage.

Für den Stilllegungsbetrieb ist nachzuweisen, dass die Unterkritikalität der eingelagerten kernbrennstoffhaltigen Abfälle bei den geplanten Maßnahmen zur Schließung der Schachanlage Asse II gewährleistet ist. Für die Nachbetriebsphase ist nachzuweisen, dass unter Berücksichtigung der zu erwartenden geologischen und geochemischen Veränderungen des stillgelegten Forschungsbergwerks die Unterkritikalität langfristig sichergestellt ist.

Die vorliegenden Unterlagen enthalten lediglich eine knappe Darstellung der durchgeführten Untersuchungen zur Kritikalitätssicherheit in der Nachbetriebsphase der Schachanlage Asse II (BUHMANN, FÖRSTER & RESELE 2006: Kap. 7.7). Der grundlegende dort zitierte Bericht „Stellungnahme zur langfristigen Kritikalitätssicherheit der in das FB Asse eingelagerten kernbrennstoffhaltigen Abfälle unter Berücksichtigung der Anwesenheit von Schutzfluid (FZK-INE 008/06, 23.10.2006)“ (FZK-INE 2006) liegt dem BfS nicht vor. Daher kann nicht geprüft werden, ob der Tiefgang dieser Unterlage für ein atomrechtliches PFV ausreicht. Die kurze Darstellung in dem o. g. Bericht zur Konsequenzanalyse gestattet lediglich eine Beurteilung der grundsätzlichen Vorgehensweise.

#### Vorgehensweise des Antragstellers und Datengrundlage (Belegdichte und Belegqualität)

Den Untersuchungen zur Kritikalitätssicherheit in der Nachbetriebsphase der Schachanlage Asse II liegt folgendes Szenario zugrunde: Das Schutzfluid dringt in die Kammern ein, in denen die kernbrennstoffhaltigen Abfälle lagern. Durch Korrosionsprozesse kommt es zur Zersetzung der Abfallprodukte und zur Bildung neuer, thermodynamisch stabiler Festphasen. Es wird untersucht, ob aus den in den Einlagerungskammern vorhandenen Kernbrennstoffmengen durch geochemische Transportprozesse (Lösungsaustausch, Sorption) eine kritische Spaltstoffanordnung entstehen kann. Durch Berechnung des Neutronenmultiplikationsfaktors für unendlich ausgedehnte homogene Systeme  $k_{inf}$  wird gezeigt, dass unter den zugrunde gelegten Randbedingungen die Bildung einer kritischen Spaltstoffanordnung ausgeschlossen werden kann.

#### Bewertung (Defizite und Relevanz im Langzeitsicherheitsnachweis)

Das Vorgehen zum Nachweis der Kritikalitätssicherheit in der Nachbetriebsphase der Schachanlage Asse II entspricht dem Stand von Wissenschaft und Technik. Aus dem Vorhaben „Konzeptionelle und sicherheitstechnische Fragen der Endlagerung radioaktiver Abfälle“ (BFS 2005) ist bekannt, dass die geochemischen Randbedingungen im Nahfeld der eingelagerten Kernbrennstoffe von besonderer Bedeutung für die Beurteilung der Kritikalitätssicherheit in der Nachbetriebsphase sind. Aus diesen Untersuchungen ist auch bekannt, dass derzeit noch Informationslücken, insbesondere zur Geochemie von Plutonium bestehen.

Auf der Basis der vorliegenden Unterlagen kann nicht beurteilt werden, ob Daten- und Modellunsicherheiten im Nachweis der Kritikalitätssicherheit gebührend berücksichtigt wurden. Zu hinterfragen sind insbesondere die Angaben zu den Spaltstoffinventaren in den Einlagerungskammern. Im Gegensatz zum geplanten Endlager Konrad wurden in der Asse II auch nicht nach vorgegebenen Endlagerungsbedingungen produktkontrollierte radioaktive Abfälle eingelagert.

Auswirkungen auf den LZSN ergeben sich nur dann, wenn die langfristige Unterkritikalität der eingelagerten Kernbrennstoffe nicht nachgewiesen werden kann. Nach den Ergebnissen der durchgeführten Untersuchungen zur Kritikalitätssicherheit in der Nachbetriebsphase der Schachanlage Asse II ist dies nicht der Fall.

### **4.3.2.8 Tragfähigkeitsanalyse des Gesamtsystems der Schachtanlage Asse II in der Betriebsphase und gebirgsmechanische Langzeitprognose**

#### **Zielsetzung und Anforderungen (Erforderliche Daten und Parameter)**

Mit der Tragfähigkeitsanalyse zur Betriebsphase und der gebirgsmechanischen Langzeitprognose zur Nachbetriebsphase soll aufgezeigt werden, dass die Maßnahmen zur Schließung der Schachtanlage Asse II geeignet sind, die Einhaltung der gesetzlichen Schutzziele zu gewährleisten.

Aus den formulierten Schutzzielen ergeben sich Anforderungen an die Datenermittlung, die Methodik der Nachweisführung und die Durchführung der Analysen. Gebirgsmechanische Untersuchungen und Analysen auf numerischer Basis erfordern eine strukturierte Vorgehensweise, um belastbare Aussagen liefern zu können. In einem atomrechtlichen PFV sind üblicherweise folgende Verfahrens- und Nachweisschritte vorgesehen und erforderlich:

1. Analyse der derzeitigen Situation und Aufstellen eines Nachweiskonzeptes
2. Auswahl und Begründung von geeigneten Konstitutivgleichungen zur Beschreibung des Materialverhaltens
3. Datenermittlung für die ausgewählten Materialgesetze
4. Messungen zur Kalibrierung der Prognosemodelle
5. Modellerstellung
6. Darstellung von Berechnungsvarianten
7. Berechnungsergebnisse sowie ihre Interpretation und Visualisierung

#### **Vorgehensweise des Antragstellers und Datengrundlage (Belegdichte und Belegqualität)**

Die GSF hat bezüglich der Zielsetzung und zum Nachweis der Anforderungen die drei Unterlagen KAMLOT, BRÜCKNER & GÜNTHER (2006), SCHROERS, KAMLOT & GÜNTHER (2006) und KAMLOT et al. (2006) vorgelegt. Nachfolgend wird die Vorgehensweise in den einzelnen Verfahrens- und Nachweisschritten beschrieben und jeweils eine Einzelbewertung der o. g. Verfahrens- und Nachweisschritte vorgenommen. Die Gesamtbewertung erfolgt abschließend unter Einbeziehung von Defiziten und der Relevanz im LZSN.

#### ***Zu 1. Analyse der derzeitigen Situation und Aufstellen eines Nachweiskonzeptes***

##### Allgemeine Anforderung

Jede geomechanische Untersuchung sollte mit der Beschreibung der aktuellen gebirgsmechanischen Situation starten. Darauf aufbauend sollte ein Nachweiskonzept erstellt werden. Für das zu entwickelnde Konzept zum Tragfähigkeitsnachweis sind insbesondere einige Grundannahmen zu treffen, die sich aus den derzeitigen Verhältnissen vor allem an der Südflanke ableiten lassen.

##### Durchgeführte Arbeiten

Grundannahmen:

- Der Lasteintrag in das Baufeld der Südflanke erfolgt hauptsächlich querschlägig zum Streichen.
- Einzelne Tragelemente des Pfeiler-Kammersystems der Südflanke befinden sich im Nachbruchbereich.
- Aus idealisierten geometrischen Verhältnissen - es wird in guter Näherung ein regelmäßiges Raster aus Kammern, Pfeilern und Schweben vorausgesetzt - kann der Lastfaktor in querschlägiger Richtung berechnet werden.

Aktuelle gebirgsmechanische Situation:

- Die Belastungen der Pfeiler und Schweben der Südflanke lagen während Jahrzehnten oberhalb der langfristig schädigungsfrei ertragbaren Beanspruchungen. Die Tragelemente haben versucht, sich durch Kriechen und plastische Deformation der Belastung zu entziehen. Als Konsequenz entstand ein nachgiebiges Gesamtsystem, welches sich durch lokales Versagen (Dilatanz, Entfestigung, im Extremfall Bruch oder Schwebenversagen) auszeichnet und sich im Grenzzustand der Tragfähigkeit befindet. Der laufende Schädigungsprozess setzt sich fort.
- Die Lastumlagerung auf das Deckgebirge führte in demselben zur Aktivierung und Neubildung von Klüften und Trennflächen. Die Erhöhung des Durchtrennungsgrades verstärkte die Bewegung der Deckgebirgsschichten in Richtung der Südflanke, die heute die maßgebliche äußere Belastung des Kammerabbausystems darstellt. Die gesamte Entwicklung scheint zudem durch hydraulische Drücke, die sich im Klufnetz der Deckgebirgsschichten ausgebildet haben, unterstützt zu werden. Lokal ist bereits ein Verlust der Integrität der Salzbarriere erfolgt (Zutrittsstelle).

Nachweiskonzept:

Da sich viele Tragelemente des Gesamtsystems bezüglich ihrer Lastgeschichte im Nachbruchbereich befinden und eine Stabilisierung als Folge der durchgeführten Verfüllmaßnahmen in den nächsten Jahren praktisch nur in geringem Maße stattfinden wird, lässt sich ein „üblicher“ Standsicherheitsnachweis nicht führen. Oft verwendete, einfache Ansätze, die zum Beispiel nur das Tragverhalten intakter Bereiche des Salzgebirges belasten und die Tragfähigkeit bereits geschädigter Bereiche konservativ vernachlässigen oder vereinfachen, sind beim Forschungsbergwerk Asse nicht ausreichend realitätsnah und führen deshalb nicht zum Ziel. Konsequenterweise musste das gesamte Nachweiskonzept auf das Nachbruchverhalten der Tragelemente ausgerichtet werden, um durch die Berücksichtigung von Restfestigkeiten Konservativitäten abbauen zu können.

Diese spezielle Vorgehensweise betrifft insbesondere

- die relativ aufwendige Modellierung des Deckgebirges mit teilweiser Aktivierung hydraulischer Drücke in Klufsystemen,
- die Auswahl der konstitutiven Ansätze, deren Schwerpunkt auf der realitätsnahen Beschreibung des Nachbruchverhaltens liegt, sowie
- den Aufbau der Versuchs- beziehungsweise Laborprogramme, die ebenfalls größtenteils auf das Nachbruchverhalten ausgerichtet worden sind.

Die eigentlichen Berechnungen werden mit Hilfe eines großräumigen zwei- und eines großräumigen dreidimensionalen Berechnungsmodells durchgeführt. Zusätzlich dient ein dreidimensionales kleinräumiges Modell der speziellen Detailuntersuchung besonders beanspruchter Schweben und Pfeiler an der Südflanke.

### Bewertung

Die durchgeführten Arbeiten entsprechen dem Stand von Wissenschaft und Technik. Eine klarere Herausarbeitung der Nachweisziele bereits am Anfang der Berichte ist wünschenswert.

## **Zu 2. Auswahl und Begründung von geeigneten Konstitutivgleichungen zur Beschreibung des Materialverhaltens**

### Allgemeine Anforderung

Eine adäquate Konstitutivbeschreibung der anstehenden Gesteine und der zu verwendenden Baustoffe ist unabdingbare Voraussetzung jeder statischen Untersuchung. Insbesondere ist darauf Wert zu legen, dass die verwendeten Materialgleichungen das bereits beobachtete oder zu erwartende Stoffverhalten physikalisch beschreiben können.

Allgemein formulieren Stoffgesetze die Entwicklung der Verzerrungen mit der Zeit, d. h. die Verzerrungsraten, in einem Festkörper als Funktionen der wirkenden Spannungen, der Temperatur und innerer Variablen. Für jede innere Variable muss eine zusätzliche Evolutionsgleichung, also ein vergleichbarer funktionaler Zusammenhang, angegeben werden.

### Durchgeführte Arbeiten

Bei der Wahl der Stoffgesetzformulierungen ist darauf geachtet worden, dass die verwendeten Konstitutivgleichungen das Verhalten der anstehenden Salzgesteine, also des Steinsalz und des Carnallit, vor allem im Nachbruchbereich möglichst realitätsnah abbilden. Die gesamte Verzerrungsrate setzt sich dazu aus einem rein elastischen, einem rein viskosen, einem visko-elastischen und einem plastischen Anteil zusammen. Die ersten beiden werden in einem Maxwell-Körper zusammengefasst. Alle Stoffansätze entsprechen dem Stand der Technik und sind im verwendeten Berechnungsprogramm implementiert sowie darin auch verifiziert. Ihre Anwendbarkeit auf die hier vorliegende Aufgabenstellung wurde in einem Forschungsvorhaben bestätigt.

Die einzelnen Verformungsanteile werden durch geeignete rheologische Modelle repräsentiert. Die Abbildung der elastischen, der viskosen und der visko-elastischen Verzerrungsanteile entspricht standardisierten Formulierungen.

Der Modellierung des plastischen Verformungsanteils zur Beschreibung von Dilatanz und Entfestigung dient ein verallgemeinertes, nichtlineares Mohr-Coulomb-Modell. Das Versagensmodell von Mohr-Coloumb ist ein in der Praxis bewährter, empirischer Ansatz für Scher- (beziehungsweise Druck-) versagen, bei dem die mittlere Hauptspannung keine Bedeutung besitzt. Die hier verwendete verallgemeinerte Form erleichtert beziehungsweise ermöglicht erst die Anpassung an die Versuchsergebnisse. Vergleichbare Ansätze sind in der Gesteinsmechanik verschiedentlich vorgeschlagen worden, beispielsweise von Hoek und Brown in parabolischer Form (HOEK & BROWN 1980a, 1980b). Die dreidimensionale Formulierung erfolgt auf üblichem Wege durch Einführung eines „plastischen Potentials“, dessen Ableitung nach den Spannungen die Fließrichtung festlegt.

Der Salzgrusversatz wird mit dem „double yield“ Stoffgesetz modelliert. Die Bezeichnung ist in der Festkörpermechanik nicht allgemein gebräuchlich und wird meist nur im Zusammenhang mit dem hier verwendeten Rechenprogramm benutzt. Die Angabe der Materialgleichungen zu diesem Stoffgesetz fehlt.

Die konstitutive Beschreibung des Deckgebirges ist als relativ detailliert einzustufen. Ausgewertete Messdaten zeigen ein richtungsabhängiges Verhalten der Gesteinsschichten aufgrund von Schwächeflächen. Zudem steht fest, dass im Deckgebirge Großklüfte vorhanden sind. Die genannten Beobachtungen finden sich in der Konstitutivbeschreibung des Deckgebirges wie folgt wieder:

- Das elastische Verhalten wird als homogen und isotrop angesetzt.
- Alle geologischen Eigenschaften, die die Festigkeiten des Gesteinsverbandes reduzieren, werden geeignet „verschmiert“, was eine kontinuumsmechanische Beschreibung erlaubt.
- Das Versagensverhalten wird transversalisotrop abgebildet. Das bedeutet im vorliegenden Fall, dass in Richtung der Schwächeflächen geringere Festigkeiten modelliert werden als senkrecht dazu.
- In allen Fällen erfolgte die Beschreibung des Gesteinsversagens mit dem Gesetz nach Mohr-Coulomb. Die Besonderheit liegt dabei in einem bilinearen Ansatz.
- Die charakteristischen Eigenschaften der Großklüfte werden durch das Coulombsche Reibungsgesetz beschrieben, d. h. ohne Kohäsion.
- Bei den eigentlichen Berechnungen werden in den Klüften des Deckgebirges hydraulische Drücke mit dem Konzept der effektiven Spannungen bei angepassten Wirkfaktoren berücksichtigt. Zudem erfolgt die Modellierung tatsächlich nachgewiesener Großklüfte.

## Bewertung

Das für die Salzgesteine verwendete Materialgesetz wird für die gestellte Aufgabe als geeignet angesehen. Die Implementierung in einem kommerziellen Programm garantiert üblicherweise Validierung sowie Verifizierung. Erläuterungen zum primären Kriechen hätten weggelassen werden können, weil es bei den späteren Berechnungen ausgeschaltet bleibt. Im Rahmen der Prüfung sind die Gleichungen des Stoffgesetzes nachvollzogen und, soweit möglich, nachgerechnet worden. Fehler wurden nicht gefunden.

Der konstitutive Ansatz „double yield“ für den Salzgrusversatz wird nicht angegeben und kann deshalb nicht geprüft werden. Zumindest im Zeitraum bis zur Stilllegung ist dieser Aspekt nur von geringer Bedeutung. Bis dahin wird die Stützwirkung des eingebrachten Versatzes an der maßgeblichen Lokation, im Bereich der Südflanke, keinen wesentlichen Beitrag zur Stabilisierung des Grubengebäudes liefern. Derzeit beschränkt sich die Aufgabe des Versatzes auf die Stabilisierung der Tragelemente (Pfeiler) durch Einbettung.

Die auf das Deckgebirge angewendete Methodik ist relativ aufwendig, basiert aber prinzipiell auf in der Gebirgsmechanik beziehungsweise im Bauwesen des Öfteren angewendeten Verfahren. Bei vielen Aufgabenstellungen spielen die Eigenschaften des Deckgebirges nur eine untergeordnete Rolle, weshalb dann eine relativ grobe Beschreibung ausreicht. Im Fall des Forschungsbergwerks Asse mit der Südflanke als ausgezeichnete Schwächezone wird die Salzbarriere (dort) aber im Wesentlichen durch eingetragene Deckgebirgsverschiebungen beansprucht. Daher ist eine möglichst realitätsnahe Modellierung unabdingbar. Diesem Aspekt ist die vergleichsweise aufwendige Vorgehensweise geschuldet. Als nachteilig ist die geringe Datenbasis zu bewerten, weshalb teilweise deutlich auf der sicheren Seite liegende Ansätze Verwendung finden. In den zweidimensionalen und dreidimensionalen Berechnungsmodellen finden unterschiedliche konstitutive Ansätze Verwendung (siehe auch Abschnitt zur Eichung der Modelle).

### **Zu 3. Datenermittlung für die ausgewählten Materialgesetze**

#### Allgemeine Anforderung

Die Wahl einer geeigneten Stoffgesetzformulierung determiniert die benötigten Materialparameter, die mit ausreichender statistischer Sicherheit bestimmt werden müssen. Die Forderung impliziert entweder eine ausreichende Anzahl von Versuchen oder geeignet konservative Annahmen, welche auf Erfahrungen basieren. Der Begriff Versuche umfasst dabei Experimente im Labor, Technikumsversuche und Messungen vor Ort.

#### Durchgeführte Arbeiten

Die Laborversuche am Salzgestein fanden in vier Serien 1998 bis 2003 an typischen und repräsentativen Proben des Leinsteinsalzes statt. Das Forschungsbergwerk Asse war an der Auswahl der Probenahmeorte beteiligt.

Die elastischen Eigenschaften wurden zunächst mit Hilfe von Durchschallungsversuchen bestimmt („dynamischen“ Elastizitätskonstanten). Eine Verifizierung der ermittelten Daten erfolgte dann im Rahmen der „statischen“ Versuche, die der Quantifizierung der Festigkeiten dienten. Insgesamt ergaben sich für Steinsalz typische Größenordnungen.

Die Durchführung der Kriechversuche erfolgte nach dem Stand von Wissenschaft und Technik, und zwar bezüglich

- der Prüfeinrichtungen,
- der klimatischen Randbedingungen,
- der Versuchsdurchführung (Lastgeschichte) und
- der Auswertung der Rohdaten.

Gemäß den Ausführungen zum Aufstellen eines Nachweiskonzeptes wurden die meisten Versuche im Nachbruchbereich gefahren, um Basisdaten für die konstitutive Beschreibung der entfestigten Steinsalzbereiche, vor allem der Pfeiler und Schweben, zu gewinnen. Im Nachbruchbereich bestimmen bei realen Strukturen der Einspanngrad beziehungsweise die kleinste Druckspannung  $\sigma_3$  und die aktuelle Deformation die verbliebene Restfestigkeit. Konsequenterweise zeichneten sich die durchgeführten Laborexperimente durch einen entsprechenden Versuchsaufbau aus, d. h. die betragsmäßig kleinste Hauptnormalspannung, im Versuch die Mantelspannung, spielte die entscheidende Rolle.

Als wesentliches Ergebnis bleibt für trockene Proben festzuhalten, dass auch relativ geringe Einspanngrade ausreichen, damit noch relativ hohe Vergleichsspannungen zulässig bleiben. Selbst bei Manteldrücken zwischen 0,2 MPa und 1,0 MPa sind ertragbare Differenzspannungen von 6,0 MPa bis 15,0 MPa ausgewiesen worden. Die plastischen Verformungen betragen dabei bis zu 20 %. Im genannten Bereich zeigt sich eine annähernd konstante Restfestigkeit, im  $\epsilon_1 - \sigma_v$ -Diagramm bildet sich ein Plateau aus. Feuchte Proben zeigen qualitativ vergleichbares Verhalten.

Das zum Carnallit durchgeführte Laborprogramm entsprach im Wesentlichen dem zum Leinsteinsalz. Die elastischen Konstanten wurden wiederum mit Hilfe von Durchschallungsversuchen und aus Festigkeitsversuchen bestimmt. Die Kriechversuche dienten insbesondere der Ermittlung von Parametern im Nachbruchbereich. Insgesamt ergaben sich im Vergleich zum Steinsalz erwartungsgemäß geringere ertragbare Deformationen sowohl im Bereich der Spitzenfestigkeit als auch beim endgültigen Versagen nach Durchfahrung des Nachbruchbereichs.

Die aktuelle und sich zukünftig einstellende Stützwirkung des bisher eingebrachten Alt-, Eigen- und Fremdversatzes beeinflusst die Aussagen zur Tragfähigkeit des Grubengebäudes. Daher sind entsprechende Experimente zum Kompaktionsverhalten der drei genannten Versatzarten unter trockenen und feuchten Bedingungen gefahren worden. Die für das Stoffgesetz „double yield“ benötigten Materialparameter werden in den geprüften Unterlagen angegeben. Sie entziehen sich jedoch einer Bewertung, da das Stoffgesetz selbst nicht angegeben wird (s. o.).

Alle Laborexperimente zum Steinsalz, zum Carnallit und zu den Versatzarten sind bei relativ hohen Verformungsraten durchgeführt worden, da Deformationsgeschwindigkeiten entsprechend den In-situ-Bedingungen aus Praktikabilitätsgründen (Versuchsdauer, Messtechnik) im Labor nicht simuliert werden können. Bekanntermaßen hängen einige Materialparameter, wie zum Beispiel die Festigkeiten viskoplastischer Werkstoffe, jedoch stark von der Belastungsgeschwindigkeit ab. Die Vorgehensweise bei der Übertragung dieser Daten auf um Größenordnungen geringere Verformungsraten in situ können nicht beurteilt werden, weil die zitierte Unterlage nicht vorliegt. Ansatzweise wird erwähnt, dass die von Steinsalz aufnehmbare „plastisch-irreversible Deformationsarbeit“ beschränkt sei. Zusätzlich wird ein Abminderungsfaktor von 0,5 bis 0,6 für die Festigkeiten als Erfahrungswert genannt.

Zu den materialspezifischen Eigenschaften der Deckgebirgsschichten liegen nur wenige Messdaten, insbesondere aus Experimenten mit einem Mindesteinspanngrad vor. Die verwendeten Kerne stammten aus den Erkundungsbohrungen Remlingen 5 bis 9.

Dieser Tatsache wird durch geeignete Ansätze wie zum Beispiel die Wahl auf der sicheren Seite liegender Materialdaten beim Gesteinsversagen begegnet. Die Besonderheit liegt dabei in einem bilinearen Ansatz für das verwendete Mohr-Coulomb-Gesetz. Im Bereich der im Labor realisierten Einspanngrade (relativ große Minimalspannung) werden die aus den Versuchen hergeleiteten Materialparameter verwendet. Für geringere Einspanngrade verzichtet die Modellierung dagegen konservativ auf den Ansatz einer Kohäsion. Das Gestein verhält sich dann im Sinne eines Nachweises schlechter und im Grenzfall der einachsigen Belastung verschwindet seine Scherfestigkeit. Der zugehörige Reibungswinkel ergibt sich aus linearer Interpolation.



## Bewertung

Prinzipiell ist davon auszugehen, dass alle für die Tragfähigkeitsanalyse benötigten Materialdaten ordnungsgemäß ermittelt worden sind. Die beschriebenen Versuchsaufbaue entsprechen dem Stand von Wissenschaft und Technik. Die in den geprüften Unterlagen dargestellten Ergebnisse erscheinen plausibel.

Die nachstehend aufgezählten Überlegungen und Angaben, die für ein Genehmigungsverfahren als unverzichtbar eingestuft werden, fehlen in den geprüften Unterlagen. Sie müssen daher in anderen, nicht zur Verfügung stehenden Verfahrensunterlagen zu finden sein.

Zur Bewertung der Materialdaten der drei Versatzarten ist der Stoffansatz „double yield“ anzugeben.

Die Vorgehensweise bei der Übertragung von Daten aus Laborversuchen mit hohen Deformationsgeschwindigkeiten auf In-situ-Verhältnisse mit um Größenordnungen geringeren Deformationsgeschwindigkeiten sollte dargestellt und an einem Beispiel erläutert werden.

Die elastischen Parameter im Nachbruchbereich sollten explizit angegeben oder die Übereinstimmung mit denen des ungeschädigten Deformationsregimes bestätigt werden.

Insgesamt liefern die durchgeführten Versuchs- und Untersuchungsprogramme eine ausreichende Datenbasis, um belastbare Aussagen zur Tragfähigkeit des Grubengebäudes zu gewinnen.

## **Zu 4. Messungen zur Kalibrierung der Prognosemodelle**

### Allgemeine Anforderung

Bei geomechanischen Aufgabenstellungen wird neben der theoretischen Betrachtung in vielen Fällen ein begleitendes Messprogramm aufgelegt. Während der eigentlichen Baumaßnahme erfolgt dann ein stetiger Abgleich von Prognosen aus der Planung und Messergebnissen („Beobachtungsmethode“). Die Modellansätze werden permanent an die vor Ort gemessenen Verschiebungen und Spannungen angepasst.

### Durchgeführte Arbeiten

Im Bereich der Lösungs-Zutrittsstelle an der Südflanke besitzt die Salzbarriere teilweise nur noch eine Mächtigkeit von wenigen Metern. Eine Prognose, wie lange die Tragfähigkeit des Grubengebäudes noch gegeben ist, hat vor allem diese Lokation zu betrachten. Wäre das Deckgebirge intakt durchgebildet und die Kriechfähigkeit des Steinsalzes alleine für die Konvergenz verantwortlich, müssten sich die größeren Verschiebungen an den nördlich gelegenen Abbauen beziehungsweise an den Nordstößen der Abbaue in der Südflanke zeigen, weil die Salzbarriere hier die größte Mächtigkeit besitzt. Tatsächlich treten die stärksten Konvergenzen aber direkt an der Südflanke auf. Deshalb müssen die dort gemessenen Bewegungen praktisch überwiegend durch die Mobilität des südlichen Deckgebirges induziert werden. Der Verformungsmechanismus im Kammersystem der Südflanke ist folglich kinematisch bestimmt.

Dieser Sachverhalt wird neben Spannungsmessungen zur Eichung der numerischen Berechnungen ausgenutzt. Dabei finden die Materialparameter des Deckgebirges sowie in seinem Kluftsystem wirkende hydraulische Drücke, die lokal die Festigkeit reduzieren, als Eingangsvariable Verwendung. Die vorgenommene „Kalibrierung“ wird mit dem Zitat *„In den letzten 10 Jahren wurden eine Vielzahl von Fallstudien mit dem Ziel einer möglichst guten Übereinstimmung der berechneten Verschiebungen, Spannungen und gebirgsmechanischen Reaktionen mit den In-situ-Messwerten durchgeführt“* bestätigt.

## Bewertung

Die vom Forschungsbergwerk Asse gewählte Vorgehensweise wird in der Normung als eine mögliche beschrieben und in der Praxis häufig umgesetzt. Die realitätsnahe Modellierung der tatsächlichen Verhältnisse erscheint wahrscheinlich. Selbst wenn dies nicht zutreffen sollte, spiegeln die mit den angesetzten Daten ermittelten Resultate die Messergebnisse in der Grube gut wider. Trotz der vorhandenen Unsicherheiten müssen die Tragfähigkeitsanalysen deshalb mindestens für kurze Zeiträume, d. h. mindestens bis zur endgültigen Stilllegung des Bergwerks, gute Prognosen liefern.

Nachteilig erscheint, dass im zweidimensionalen und im dreidimensionalen Berechnungsmodell leicht unterschiedliche Ansätze zur Modellierung des Deckgebirges gewählt werden. Der Sachverhalt könnte ein Indiz dafür sein, dass die physikalischen Vorgänge im Deckgebirge zwar bekannt sind, sich aber nicht detailliert beschreiben lassen. Für die Prognosegüte hinsichtlich der Verhältnisse in den nächsten zehn Jahren ist das jedoch irrelevant.

## **Zu 5. Modellerstellung**

### Allgemeine Anforderung

Prinzipiell müssen numerische Modelle die realen Verhältnisse möglichst gut abbilden. In letzter Konsequenz stellt jedes Modell jedoch einen Kompromiss zwischen fachlichen, wirtschaftlichen und theoretischen Aspekten dar. Damit basieren seine Güte und damit auch die Güte der erzielten Ergebnisse zunächst auf der Wahl des verwendeten Programms und dessen Möglichkeiten. Maßgeblich ist jedoch die Erfahrung des Anwenders, der die realen Verhältnisse in die Sprache der Mechanik und Mathematik übersetzen muss. Eine genormte Vorgehensweise existiert nicht.

Wesentliche Aspekte bei der Modellierung gebirgsmechanischer Aufgaben sind die korrekte Abbildung der geometrischen und geologischen Verhältnisse, die Wahl eines ausreichenden Diskretisierungsgrades sowie einer ausreichenden Ausdehnung des betrachteten Gebiets, die Ermittlung eines realitätsnahen Primärspannungszustands und das Ansetzen korrekter Randbedingungen sowie Lasten. Zudem müssen gegebenenfalls Bauzustände simuliert werden, um die „Lastgeschichte“ richtig zu erfassen.

### Durchgeführte Arbeiten

Die numerischen Berechnungen wurden vom Institut für Gebirgsmechanik in Leipzig (IfG) durchgeführt. Man erkennt, dass in die Arbeiten viel Erfahrung eingeflossen ist. Das eingesetzte Programm FLAC ist ein kommerzieller Code, der bei vergleichbaren Aufgabenstellungen weltweit eingesetzt wird.

Die oben genannten Modellierungsgrundsätze werden in allen durchgeführten Berechnungen berücksichtigt. Besonderer Wert wird auf die Ermittlung des Primärzustandes gelegt. Das verwendete zweidimensionale und das dreidimensionale Modell entsprechen einander größtenteils. Der wesentliche Unterschied besteht in der konstitutiven Beschreibung des Deckgebirges an der Südflanke (s. o.). Das dreidimensionale Detailmodell zur genauen Untersuchung einzelner Tragelemente enthält einige nahe liegende Vereinfachungen hinsichtlich der Deckgebirgsschichten.

Die Berechnungen an den „großen“ Modellen simulieren den Primärzustand, die Auffahrung und Standzeit des Bergwerks, die Schließungsmaßnahmen und die Entwicklung des Systems in den nächsten 100.000 Jahren.

## Bewertung

Die gewählte Vorgehensweise entspricht dem Stand von Wissenschaft und Technik. Die genannten Modellierungsgrundsätze sind korrekt umgesetzt. Vereinfachungen werden als zulässig und auf der sicheren Seite liegend eingestuft.

### **Zu 6. Darstellung von Berechnungsvarianten**

#### Allgemeine Anforderung

Berechnungsvarianten dienen entweder dazu, Unsicherheiten bezüglich der zukünftigen Entwicklung abzudecken oder Planungsalternativen zu bewerten.

#### Durchgeführte Arbeiten

Die in den zur Verfügung stehenden Unterlagen dargestellten Berechnungsvarianten umfassen die nachstehenden Schwerpunkte:

- Hydraulische Verhältnisse im Deckgebirge
- Stabilisierender Einfluss der noch vorhandenen Schwebenringe
- Eindringtiefe des Schutzfluids in das Salzgestein und daraus resultierendes Kriechverhalten während der Stilllegung und danach
- Auswirkungen unterschiedlicher Deckgebirgsverschiebungsraten an der Südflanke
- Simulation eines Erdbebens
- Simulation einer Eiszeit mit mehreren Untervarianten hinsichtlich des Aufbaus der Eisüberdeckung
- technische Maßnahmen und Randbedingungen zur möglichst langen Gewährleistung der Tragfähigkeit des Grubengebäudes wie Stilllegungszeitpunkt, Flutungsdauer mit Schutzfluid, alternatives Einbringen von Pumpversatz, Aufbringen eines pneumatischen Stützdrucks durch Druckluft

#### Bewertung

Die durchgeführten Berechnungen decken verschiedene, potentielle technische Maßnahmen sowie Unwägbarkeiten bezüglich der derzeitigen Verhältnisse und der zukünftigen Entwicklung ab. Fast alle Varianten setzen die Flutung mit Schutzfluid voraus.

### **Zu 7. Berechnungsergebnisse sowie ihre Visualisierung und Interpretation**

#### Allgemeine Anforderung

Zur Bewertung von Resultaten numerischer Berechnungen sind Kriterien erforderlich, die maximal zulässige oder mindestens erforderliche Größen beschreiben. Diese Kriterien sind entweder durch mechanische Zusammenhänge direkt vorgegeben oder müssen vor dem Start der Untersuchungen entwickelt werden. Die definierten Grenzgrößen werden dann mit berechneten Größen verglichen und Letztgenannte beurteilt.

Ein Beispiel für natürlich vorgegebene Kriterien ist die Forderung, dass Festigkeiten nicht überschritten werden dürfen. Ein Beispiel für ein auf das Forschungsbergwerk Asse zugeschnittenes Kriterium stellt die Festlegung dar, dass sich die Verschiebungsraten an der Südflanke nicht erhöhen dürfen.

## Durchgeführte Arbeiten

Die Auswertung der Berechnungsergebnisse folgt den in der (numerischen) Mechanik üblichen Grundsätzen. Dargestellt werden ausgewählte Feldgrößen wie Spannungs-, Verzerrungs- und Verschiebungskomponenten sowie abgeleitete Größen wie Vergleichsspannungen, Vergleichsverzerrungen, Tragwiderstände usw. anhand von Isolinienplots, dreidimensionalen Strukturelementen oder eindimensionalen Graphen. Eine vollständige Darstellung sämtlicher Berechnungsergebnisse ist bei numerischen Untersuchungen praktisch nicht möglich.

Als wesentliches Bewertungsmaß für die zukünftige Entwicklung des Tragsystems dient die Entwicklung der Verschiebungsrate an der Südflanke. Sie wird insbesondere verwendet, um die Wirksamkeit unterschiedlicher technischer Maßnahmen zu beurteilen. Vergleichbares gilt für die Evolution des Tragwiderstands.

Das wichtigste Resultat stellt die Aussage dar, dass die Prognosefähigkeit des Systems nur solange gegeben ist, wie sich die Deckgebirgsverschiebungsraten an der Südflanke nicht erhöhen. Diese Basisannahme wird vom IfG bei Umsetzung des geplanten Schließungskonzeptes derzeit bis zum Jahr 2014 erwartet. Sie beinhaltet keine Bewertung, wie sich die Zutrittsrate von Wässern an der genannten Lokation zukünftig entwickeln wird. Darüber hinaus wird für die letzte Phase der Schutzfluideinleitung das Aufbringen eines pneumatischen Innendrucks gefordert, um die Beschleunigung von Verformungsprozessen durch den Feuchteintrag in das anstehende Salzgestein zu kompensieren.

## Bewertung

Die dargestellten Berechnungsergebnisse erlauben eine erste Einschätzung der Tragfähigkeit des Systems.

Die in den Unterlagen diskutierten Ergebnisse sind zum allergrößten Teil qualitativ plausibel. Eine quantitative Einschätzung ist ohne teilweise Gegenrechnungen kaum möglich. Die angewandten Kriterien entsprechen dem Stand von Wissenschaft und Technik. Die für die Bewertung des spezifischen Tragverhaltens ausgewählten Größen (Verschiebungsrate sowie die Forderung, dass dynamische Prozesse nicht auftreten dürfen) werden für dieASSE als sinnvoll betrachtet.

Den Aussagen zur Entwicklung der Tragfähigkeit wird zugestimmt, wenn auch die Angabe des ermittelten Zeitpunktes nicht geprüft werden kann. Dafür wären eigene Vergleichsrechnungen und -untersuchungen erforderlich. Gleiches gilt für die technische Maßnahme „Aufbringen eines pneumatischen Innendrucks“.

Aus dem Gesamtzusammenhang ergibt sich die dringende Forderung nach möglichst schneller Schließung des Forschungsbergwerks. Der zeitliche Druck folgt aus der, nach derzeitigem Stand ab dem Jahr 2014 nicht mehr gegebenen Prognosefähigkeit des Systems sowie der nicht vorhersagbaren Entwicklung des Zuflusses von Deckgebirgswässern. Der stetige Abgleich von Messergebnissen mit den Berechnungsergebnissen muss unbedingt fortgesetzt werden.

## **Gesamtbewertung bezüglich Defiziten und Relevanz im Langzeitsicherheitsnachweis**

### Nachvollziehbarkeit

Das Nachweiskonzept ist trotz einer der Thematik entsprechenden Komplexität in sich schlüssig und nachvollziehbar. Ein höherer Detaillierungsgrad wäre an manchen Stellen wünschenswert, würde aber den Rahmen der Unterlagen sprengen. Vereinzelt fehlen Angaben, wobei allerdings auf andere, nicht zur Verfügung stehende Unterlagen verwiesen wird.

### Gewählte Nachweisführung

Aufgrund der In-situ-Befunde im ForschungsbergwerkASSE, die ein Tragsystem im Nachbruchbereich ausweisen, ist ein spezielles Konzept zum Nachweis der Tragfähigkeit zu entwickeln. Insbesondere kann ein

Standortsicherheitsnachweis im klassischen Sinne nicht mehr geführt werden. Laborversuche und Berechnungsansätze sind genau darauf abgestimmt worden. Das Nachweisformat wird den besonderen Anforderungen der Gegebenheiten im Forschungsbergwerk Asse gerecht.

#### Vollständigkeit

Die allgemeine Vorgehensweise folgt dem in der Gebirgsmechanik üblichen Weg und umfasst die notwendigen Untersuchungsschritte. Die entwickelten Berechnungsmodelle und -varianten sind erforderlich und abdeckend, um die Auswirkungen der Stilllegungsmaßnahmen umfassend zu analysieren. Die Berechnungsergebnisse werden an einer hinreichenden Anzahl an Abbildungen erläutert.

#### Plausibilität der Ergebnisse

Die verwendeten Materialdaten und Berechnungsergebnisse erscheinen plausibel und liegen im Rahmen von Erfahrungswerten aus anderen Projekten. Eine exakte, quantitative Prüfung ist natürlicherweise nicht möglich, weil das vergleichbare Versuche und Kalibrierungsrechnungen von Dritten voraussetzt.

Ein umfassendes Systemverständnis, das auch die quantitative Beurteilung von Detailresultaten erlaubt, kann nur durch umfangreiche Vergleichsuntersuchungen gewonnen werden. Die in den Berichten vorgestellten Berechnungen basieren auf einer mehrjährigen Bearbeitungszeit, in der fortwährend neue Erkenntnisse zu einer immer besseren und realitätsnäheren Modellierung geführt haben. Insbesondere die prognostizierten Entwicklungen bis zur endgültigen Stilllegung werden deshalb aufgrund der gewählten Nachweisführung und der Kalibrierung mit Hilfe der Verschiebungen an der Südflanke als belastbar eingestuft.

#### Stand von Wissenschaft und Technik

Die gewählten Vorgehensweisen entsprechen dem Stand von Wissenschaft und Technik.

#### Bewertung der Tragfähigkeit, ergänzende Maßnahmen

Offensichtliche Fehlplanungen und Fehler bei der Nachweisführung können nicht festgestellt werden.

Die Angabe eines genauen Zeitpunktes, bis zu dem die Tragfähigkeit des Grubengebäudes mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit noch gewährleistet ist, wird als äußerst schwierig eingeschätzt. Einige Tragelemente befinden sich, zumindest teilweise, bereits im Nachbruchbereich, andere sind schon ausgefallen (verbrochene Schweben). Die Sicherheitsreserve, die die vorliegende Tragfähigkeitsanalyse beinhaltet, muss als vergleichsweise gering eingestuft werden. Eine quantitative Beurteilung erscheint ausgeschlossen. Durch den fortlaufenden Abgleich von In-situ-Messungen und Prognoserechnungen kann es gegebenenfalls zu einer Veränderung des prognostizierten Offenhaltungszeitraums kommen.

Zu beachten ist weiterhin, dass die Unterlagen keine expliziten Aussagen zur Standortsicherheit oder Integrität beinhalten. Die gemachten Aussagen beziehen sich nur auf die Prognostizierbarkeit der Systementwicklung.

### **4.3.2.9 Bergschadenkundliche Senkungsprognose für die Betriebsphase und Langzeitprognose**

#### **Anforderungen (Erforderliche Daten und Parameter)**

Mit den Sicherheitsanalysen zur Betriebs- und Nachbetriebsphase soll aufgezeigt werden, dass die Maßnahmen zur Schließung der Schachanlage Asse II geeignet sind, die Einhaltung der gesetzlichen

Schutzziele zu gewährleisten. Nach dem Bundesberggesetz (BBergG) sind im Zusammenhang mit dem allgemeinen Vorsorgegebot des BBergG (§55 Abs. 2) folgende Schutzziele zu erfüllen:

- Schutz der Oberfläche (§ 55 Abs. 1 Satz 5 BBergG)
- Schutz Dritter vor den durch den Betrieb verursachten Gefahren für Leben und Gesundheit auch nach Einstellung des Betriebes (§ 55 Abs. 2 Satz 1 BBergG)

Aus diesen formulierten Schutzzielen ergeben sich Anforderungen an die Begrenzung der räumlichen und zeitlichen Ausbildung des Senkungstropes an der Tagesoberfläche, d.h. Anforderungen an eine Begrenzung der maximalen Absenkung bzw. Absenkungsrate an der Tagesoberfläche (TOF) und an die Schiefstellung bzw. Schiefstellungsrate von Objekten an der TOF.

### **Vorgehensweise des Antragstellers und Datengrundlage (Belegdichte und Belegqualität)**

Neben gebirgsmechanischen Prognosemodellen können für diese Aufgabenstellung insbesondere auch Berechnungsmethoden der bergschadenkundlichen Senkungsprognose eingesetzt werden. Die GSF hat zum Nachweis der gesetzten Anforderungen die Unterlage SROKA & HÖBELBARTH (2006) vorgelegt.

Für die Vorausberechnung der Senkungen an der TOF können verschiedene Modelle herangezogen werden. In der Unterlage werden die drei Modelle

- geometrisches Modell einer Abbaukammer,
- mathematisch-physikalisches Konvergenzmodell einer Abbaukammer und
- mathematisch-physikalisches Senkungsmodell

verwendet.

Die Übertragung der untertägigen Hohlraumkonvergenzen durch Salzstock und Deckgebirge bis zur TOF wird mit Hilfe des mathematisch-physikalischen Senkungsmodells beschrieben. Hierzu werden die aus der Literatur bekannten sechs wichtigsten Senkungsmodelle vorgestellt und das erweiterte Verfahren von Kochmanski gewählt. Grund für die Wahl dieses Verfahrens war „*die gute Nachbildbarkeit der sehr spitzwinkligen Senkungsmulde der Asse*“ (SROKA & HÖBELBARTH 2006). Ein Vergleich der physikalisch bedingten Eignung der Modelle wird im vorliegenden Prüfbericht nicht vorgenommen.

Mit Hilfe des modifizierten und an die Asse-Randbedingungen angepassten Senkungsmodells von Kochmanski werden die Senkungen an der TOF berechnet. Dafür wurde ein gesondertes Programm „Subcalc“ geschrieben.

Kalibriert wurde das Modell an den bekannten Senkungen über einen Zeitraum von 18 Jahren (1986 bis 2004). Es werden explizit vier Parameter des Senkungsmodells erwähnt, die unter Aspekten des Curve-Fittings gewählt wurden.

Die Senkungen an der Tagesoberfläche werden dann über 1 Mio. Jahre prognostiziert. Berechnet und dokumentiert werden sie für sieben Einzelpunkte, acht Schnitte und ein Punktraster. Auch werden Isolinien gleicher TOF-Senkungen dargestellt. Wie bei den numerischen Berechnungen werden zwei Fälle minimalen beziehungsweise maximalen Feuchteintrags im Salz mit erhöhtem Kriechen unterschieden.

Als maximaler Senkungsbetrag wird 1,60 m berechnet.

Zum Einfluss der Bodenbewegung auf die Objekte der Tagesoberfläche werden die sechs wichtigsten kinematischen Bodenbewegungselemente vollständig benannt und an der Klassifizierung der Gebäudeempfindlichkeit nach SROKA & HÖBELBARTH (2006) und ihren Grenzwerten gespiegelt.

Es wird festgestellt, dass die berechneten Werte keine Gefährdung für die Objekte an der TOF darstellen und für den gesamten Zeitraum quasi ohne Bedeutung bleiben.

Die Auswirkungen auf die Schachanlage Asse I werden untersucht, da gemäß markscheiderischem Senkungsmodell eine Beeinflussung des 1906 abgedrosselten Bergwerks Asse I durch die Konvergenz aus Asse II erwartet wird. Das Senkungsmodell weist große Bereiche der Asse I inklusive des Schachtes innerhalb des Haupteinwirkungsbereichs der Asse II aus.

Tatsächlich werden nördlich und südlich des Schachtes Asse 1 Senkungen gemessen, die allerdings im Schachtbereich durch größere Hebungen wahrscheinlich infolge Schachtwasseranstiegs überlagert werden.

Das Senkungsvorausrechnungsmodell ermittelt nach 1 Mio. Jahren Senkungen von ca. 20 mm bis 200 mm im Bereich des Grubengebäudes Asse I. Für den Schacht wird eine Absenkung von ca. 60 mm erwartet.

Aus den absoluten Werten wie aus den Senkungsgeschwindigkeiten werden keine Bruchvorgänge erwartet.

### **Bewertung (Defizite und Relevanz im Langzeitsicherheitsnachweis)**

Insgesamt handelt es sich um eine sehr vollständige Berechnung und Darstellung von Ergebnissen, die auch in einem atomrechtlichen PFV bestehen würde.

Die Aufgabe wird sinnvoll strukturiert.

Die Annahme einer weitgehend ländlichen Bebauung und die Zuordnung zur Empfindlichkeitskategorie 2 erscheinen für große Zeitbereiche des Untersuchungszeitraums angemessen.

Die gewählten Vorgehensweisen entsprechen dem Stand von Wissenschaft und Technik im Markscheidewesen und haben sich dort bei der Prognose von Einwirkungen auf die TOF als hinreichend genau erwiesen. Offensichtliche Fehlplanungen und Fehler bei der Nachweisführung wurden nicht gefunden.

Der Bericht ist ohne Hinzuziehen der vorlaufenden Studien (PREUßE & SROKA 2000, GSF 2000) jedoch nur eingeschränkt nachvollziehbar.

Die räumliche Verteilung der Senkungsmulde erscheint plausibel. Die Nachrechnung der Senkungsbeträge der Vergangenheit (18 Jahre) gelingt sehr gut. Welcher Anteil hierbei auf die Qualität des Modells zurückzuführen ist und welcher durch die Anpassung der Parameter (Curve-Fitting) erreicht wird, ist kaum abzuschätzen. Quantitative Aussagen zur Prognosegenauigkeit eines solchen Modells über 1 Mio. Jahre, auch wenn es die Vergangenheit von 18 Jahren gut nachvollziehen kann, sind aus Sicht des BfS schwierig. Zum Teil liegen aus den gebirgsmechanischen Berechnungen des IfG auch TOF-Senkungen bis 100.000 Jahre vor. Ein Abgleich der Ergebnisse des markscheiderischen Modells mit diesen Ergebnissen wäre sinnvoll.

Die Aussage des vorliegenden Berichts bezüglich einer Gefährdung an der Tagesoberfläche erscheint unter Berücksichtigung der Annahmen zur vorhandenen Infrastruktur ausreichend plausibel und robust.

Aus dem Bericht sind keine Vorschläge für weitere oder alternative Maßnahmen zur Stabilisierung des Grubengebäudes ableitbar.

#### **4.3.2.10 Langzeitsicherheitsnachweis / Safety Case**

Die folgenden vorgelegten Berichte wurden für die Stellungnahme und Bewertung des Langzeitsicherheitsnachweises (LZSN) herangezogen: BUHMANN, FÖRSTER & RESELE (2006), BUHMANN et al. (2005), BUHMANN et al. (2006), BUHMANN (2006), PRÖHL (2006), NIEMEYER & RESELE (2006) und (EIKMEIER et al. 2006). Der Schwerpunkt der Bewertung bezieht sich auf den Bericht BUHMANN, FÖRSTER & RESELE (2006), die anderen Berichte wurden zur Unterstützung der Argumentation herangezogen. Weitere für den LZSN wesentliche Themen bzw. Themenbereiche werden in den Kapiteln 4.2 und 4.3.2 gesondert behandelt und dort einer Bewertung unterzogen.

## Anforderungen

Der Langzeitsicherheitsnachweis (engl. „safety case“) ist gemäß OECD/NEA (2004) „*the synthesis of evidence, analyses and arguments that quantify and substantiate a claim that the repository will be safe after closure and beyond the time when active control of the facility can be relied on*“. Der LZSN fasst also alle Hinweise, Analysen und Argumente zusammen, die belegen, dass ein Endlager nach seinem Verschluss und nach Beendigung der aktiven Kontrolle sicher sein wird. Der LZSN entwickelt sich mit dem Projektfortschritt und wird zunehmend umfassender. Er liefert einen wichtigen Beitrag zur Entscheidungsfindung über den Fortgang des Projekts. Eine wichtige Funktion des LZSN ist es, eine Plattform bereitzustellen, anhand derer das Vertrauen in die Sicherheit des Projekts ermittelt werden kann.

In den letzten Jahren zeigt sich eine zunehmende Übereinstimmung zum Verständnis und zur Entwicklung eines LZSN in Veröffentlichungen nationaler und internationaler Organisationen. Wichtige Prinzipien eines LZSN enthalten OECD/NEA (2004) und IAEA (2006), die auch von verschiedenen Sicherheitsberichten anderer Länder aufgegriffen werden. Der gegenwärtige Stand zur Führung eines LZSN wurde auf dem von der OECD/NEA im Januar 2007 durchgeführten Symposium „Safety Cases for the Deep Disposal of Radioactive Waste: Where Do We Stand?“ präsentiert und diskutiert.

Der vorliegende LZSN zur Schließung der Schachanlage Asse II muss sich daran orientieren. Er wird zum Ende des Projekts aufgestellt und muss deshalb umfassend alle Argumente und Analysen darstellen und hohen Ansprüchen genügen. Gemäß OECD/NEA (2004) muss ein LZSN folgende Elemente enthalten:

- Darstellung von Zweck und Aufzeigen des Rahmens, in dem er geführt wird.
- Darstellung der Sicherheitsstrategie als übergeordneter Ansatz, der zur Erzielung der Sicherheit angewendet wird.
- Darstellung der Basis, auf der die Bewertung der Langzeitsicherheit beruht. Die Bewertungsbasis enthält eine Beschreibung des Systemkonzeptes, eine Darstellung der wissenschaftlichen und technischen Informationen zu dem System und zum Verständnis des Systemverhaltens sowie eine Darstellung der Methoden, Modelle, Computerprogramme und Datenbasen, die dazu benutzt werden.
- Darstellung aller Hinweise, Analysen und Argumente zur Sicherheit des Endlagers basierend auf der Qualität des Standorts, der Endlagerauslegung, der Einhaltung der Schutzziele und der Anwendung weiterer Sicherheitsindikatoren sowie der Behandlung von Unsicherheiten.
- Synthese der wichtigsten Ergebnisse und Darstellung des Vertrauens vor dem Hintergrund von Zweck und Rahmen des LZSN mit Begründung der Entscheidung, dass die geplante Maßnahme sicher durchgeführt werden kann.

## Vorgehensweise des Antragstellers und Datengrundlage

Der LZSN ist zusammenfassend in dem Bericht BUHMANN, FÖRSTER & RESELE (2006) dokumentiert. Diese Dokumentation wird durch zahlreiche weitere Berichte gestützt und untermauert, die sich mit einzelnen Themen oder Themenbereichen detaillierter befassen und dem BfS zum großen Teil nicht vorliegen. Zusätzlich wird auf einige wichtige Themen bzw. Themenbereiche in den Kapiteln 4.2 und 4.3.2 dieser Stellungnahme gesondert eingegangen.

Der LZSN ist eine Anlage des Abschlussbetriebsplans zur endgültigen Schließung der Schachanlage Asse II nach den Vorschriften des Bundesberggesetzes. Mit Hilfe des LZSN soll aufgezeigt werden, dass die vorgesehenen Maßnahmen zur Schließung der Schachanlage Asse II geeignet sind, die Einhaltung der Schutzziele zu gewährleisten. Die Schutzziele für die Nachbetriebsphase der Schachanlage Asse II werden aus den Anforderungen des Bundesberggesetzes (BBergG) abgeleitet und wie folgt formuliert:

- Schutz der Oberfläche (§ 55 Abs. 1 Satz 5 BBergG)
- Schutz Dritter vor den durch den Betrieb verursachten Gefahren für Leben und Gesundheit auch nach Einstellung des Betriebes (§ 55 Abs. 2 Satz 1 BBergG)



Der Schutz der Oberfläche umfasst auch den Schutz des Grund- und Oberflächenwassers, des Bodens, sowie von Kultur- und vergleichbaren Gütern. Als Bemessungsgrundlage für den Schutz des Grundwassers werden die Grenzwerte der Trinkwasserverordnung (Stand 21.05.2001) sowie Prüfwerte aus einschlägigen nationalen und internationalen Regelwerken herangezogen.

Das radiologische Schutzziel wird aus dem allgemeinen Vorsorgegebot des BBergG (§ 55 Abs. 2) und aus § 1 Nr. 2 Atomgesetz (AtG) – Schutz Dritter – abgeleitet und mit Bezug auf die „Sicherheitskriterien für die Endlagerung radioaktiver Abfälle in einem Bergwerk“ (BMI 1983) durch den Grenzwert für die effektive Dosis nach § 47 StrlSchV in Höhe von 0,3 mSv/a konkretisiert. Es wird darauf hingewiesen, dass die Sicherheitskriterien für die Endlagerung radioaktiver Abfälle derzeit überarbeitet werden und dass entsprechend dem derzeitigen Stand der Diskussion bei Unsicherheitsanalysen das 90-Perzentil aller ermittelten Expositionen herangezogen wird. Der Nachweis für die Einhaltung des Dosiskriteriums wird für eine erwachsene Referenzperson einer kritischen Bevölkerungsgruppe erbracht.

In BUHMANN, FÖRSTER & RESELE (2006) werden zunächst die Standortbedingungen aufgliedert in Beschreibung der Schachanlage mit ihren Auffahrungen und dem eingebrachten chemischen und radioaktiven Stoffinventar, Beschreibung der geologischen Verhältnisse der Salzstruktur und des Deckgebirges, Beschreibung der gegenwärtigen und in der weiteren Betriebsphase erwarteten geomechanischen Standortverhältnisse, Beschreibung der seismologischen Standortverhältnisse, Beschreibung der hydrogeologischen Standortverhältnisse, Beschreibung der Salzlösungszutritte nach Herkunft und Zusammensetzung und Beschreibung der Situation an der Tagesoberfläche dargestellt.

Anschließend werden aus den allgemein formulierten Vorsorgegeboten des § 55 BBergG und des § 1 AtG die drei Schutzziele:

- Schutz des Menschen vor unzulässiger Strahlenexposition,
- Schutz des oberflächennahen Grundwassers vor unzulässiger Verunreinigung sowie Veränderung und
- Begrenzung der Oberflächenabsenkung

abgeleitet und die zu ihrer Bewertung herangezogenen Sicherheits- und Funktionsindikatoren begrifflich eingeführt.

Dann wird das Sicherheitskonzept und das darauf aufbauende Schließungskonzept vorgestellt. Mit dem Sicherheitskonzept wird die Stabilisierung des Tragsystems der Schachanlage Asse II, die Begrenzung bzw. die Behinderung der Schadstoffmobilisierung aus den Abfallgebänden, die Begrenzung bzw. Behinderung der Lösungsbewegung im Grubengebäude, die Verzögerung des Schadstofftransports im Grubengebäude, die Vermeidung von direkten Wegsamkeiten zwischen Einlagerungskammern und Deckgebirge sowie das Unterbinden eines Lösungszutritts über die Tagesschächte durch ein Multibarrierensystem bestehend aus Abfallmatrix und Abfallbehälter, technischen Bauwerken und Versatz in den Einlagerungskammern, technischen Bauwerken und Versatz im übrigen Grubengebäude, dem Wirtsgestein Steinsalz, dem Deckgebirge und der Biosphäre verfolgt.

Die Herleitung des Schließungskonzeptes erfolgte iterativ, wobei die Wirkung denkbarer technischer Maßnahmen mit Hilfe von Modellrechnungen überprüft wurde (EIKMEIER et al. 2006). Die Grundelemente des Schließungskonzeptes werden aus den Anforderungen des Sicherheitskonzeptes abgeleitet und umfassen das Einbringen des Schutzfluids einschließlich Beaufschlagen der Grube mit einem pneumatischen Druck während der Einleitung oberhalb der 700-m-Sohle, das Einbringen von Magnesiumdepots in die Einlagerungskammern und in deren bevorzugte Austrittspfade, den Einbau von Strömungsbarrieren und stützendem Versatz, die Verfüllung noch offener Hohlräume und den Verschluss der Tagesschächte, wobei den einzelnen Maßnahmen die im Sicherheitskonzept genannten sicherheitsgerichteten Funktionen zugewiesen werden und ihre Wirkung im Gesamtsystem dargestellt wird.

Auf Basis der Standortbedingungen und unter Einbezug des Schließungskonzeptes werden in der geowissenschaftlichen Langzeitprognose (vgl. Kapitel 4.3.2.2) die möglichen Einflüsse geogener Ereignisse und Prozesse auf das Endlagersystem identifiziert. Die geowissenschaftliche Langzeitprognose erfolgt

detailliert für einen Zeitraum von 150.000 Jahren. Extrapolationen für einen Zeitraum von einer Million Jahren wurden vorgenommen, da die Auswirkungen von glazialen Prozessen auf das Endlagersystem der Asse von der GSF als kalkulierbar eingeschätzt werden.

In der Szenarienentwicklung werden erkannte und mögliche Sachverhalte, Ereignisse und Prozesse (features, events, processes, FEP) sowie künftig mögliche Entwicklungen des Endlagersystems identifiziert, die zu einer Freisetzung von Schadstoffen aus den eingelagerten Abfällen in die Biosphäre oder zu einer gebirgsmechanischen Beeinträchtigung der Tagesoberfläche führen können. Die Szenarienentwicklung erfolgt entsprechend international üblicher Vorgehensweise in mehreren auf einander aufbauenden Schritten nach der Methodik von PROSA (vgl. Kapitel 4.3.2.2).

Vor der Darstellung der Konsequenzenanalyse für das Gesamtsystem erfolgt eine Beschreibung der Modellierung von Einzelprozessen und Teilsystemen. Es handelt sich dabei um geochemische Modellrechnungen für die Einlagerungskammern zur Ermittlung des geochemischen Milieus und zur Mobilisierung von Schadstoffen, die Ermittlung der Radionuklid-Quellterme für die Transportmodellierungen und der Quellterme für chemische und chemotoxische Stoffe zur Bewertung einer möglichen Verunreinigung des oberflächennahen Grundwassers, die Ermittlung von Gasbildungsraten und insgesamt gebildeten Gasmengen, Modellrechnungen zur konvektiven Lösungsbewegung im Grubengebäude, gebirgsmechanische Modellrechnungen zur Bewertung der Tragfähigkeit des Grubengebäudes bis zur Schließung der Schachanlage, Detailrechnungen zum Zweiphasenfluss für den Einlagerungsbereich MAW, Modellrechnungen zur Wechselwirkung der beiden Teilmodelle für das Grubengebäude und das Deckgebirge, hydrogeologische Modellrechnungen zur Grundwasserbewegung und zum Schadstofftransport im Deckgebirge sowie Rechnungen mit einem Biosphärenmodell zur Ermittlung der Dosiskonversionsfaktoren. Die Dokumentation dieser Themenbereiche ist generell so aufgebaut, dass zunächst die Zielsetzung und das Vorgehen der Untersuchungen deutlich gemacht werden. Anschließend wird die Datenbasis erläutert, die Modellrechnungen werden beschrieben und die Ergebnisse dokumentiert und bewertet.

Für die Konsequenzenanalyse werden auf der Basis der Standortbedingungen, des Schließungskonzeptes, der nicht auszuschließenden Szenarien und der Ergebnisse von Modellrechnungen zu Einzelprozessen und Teilsystemen Modelle entwickelt und Prognose- und Modellrechnungen für das Gesamtsystem Endlager im Hinblick auf die gebirgsmechanische Langzeitprognose, die bergschadenkundliche Senkungsvorausberechnung, potentielle Freisetzung Grundwasser gefährdender Stoffe in die Biosphäre, potentielle Strahlenexpositionen in der Biosphäre über den Lösungspfad, potentielle Strahlenexposition in der Biosphäre über den Gaspfad und die Kritikalitätssicherheit durchgeführt. Die Konsequenzenanalyse erfolgt für einen Zeitraum von 100.000 Jahren. Es erfolgt eine Darstellung des methodischen Vorgehens, eine Einschätzung der konzeptuellen Modellansätze, der verwendeten Datenbasis und der numerischen Umsetzung in Rechenprogrammen. Die Ergebnisse werden jeweils für einen Referenzfall und alternative Entwicklungen vorgestellt. Dabei werden Ungewissheiten des Systemverhaltens, der Modellannahmen und der Parameter diskutiert sowie die Auswirkungen auf die Ergebnisse bewertet. Am detailliertesten werden die Ermittlung der potentiellen Strahlenexposition in der Biosphäre über den Lösungspfad behandelt. Dazu werden zwei verschiedene Rechenprogramme zur Modellierung des Lösungs-, Gas- und Stofftransports im Nahfeld eingesetzt.

Abschließend erfolgt eine Gesamtbewertung des LZSN. Das Nachweiskonzept und das Schließungskonzept werden bewertet, ergänzende langzeitsicherheitsrelevante Aspekte werden anhand von ergänzenden Sicherheits- und Funktionsindikatoren dargestellt, die Robustheit des Endlagersystems wird bewertet. Die für die Langzeitsicherheit des Endlagers wesentlichen Prozesse werden nochmals zusammengefasst und die in den Analysen vernachlässigten Prozesse werden bewertet. Es wird dargestellt, dass die Vorgehensweise bei der Erstellung und Dokumentation des LZSN dem internationalen Stand von Wissenschaft und Technik entspricht. Vertrauenswürdigkeit und Verlässlichkeit der Ergebnisse der jeweiligen Modellrechnungen werden aufgezeigt. Es wird dargestellt, dass die Schutzziele sicher eingehalten werden und die Unterkritikalität sicher erhalten bleibt.

## Bewertung

Zur endgültigen Schließung der Schachanlage Asse II ist nach den Vorschriften des Bundesberggesetzes ein Abschlussbetriebsplan einzureichen, dem unter anderem ein LZSN für den Standort beizufügen ist. Der LZSN orientiert sich neben den bergrechtlichen Anforderungen an sicherheitstechnischen Anforderungen, die auch in einem atomrechtlichen Verfahren bei der Schließung eines Endlagers für radioaktive Abfälle (z. B. Morsleben) zugrunde gelegt werden.

Der LZSN basiert auf einer Analyse der Standortverhältnisse und der Prognose möglicher zukünftiger Entwicklungen am Standort Asse. Der Schadstofftransport bis in die Biosphäre wird durch natürliche und technische Barrieren, die zusammen ein Mehrbarrierensystem bilden, begrenzt. Die Funktion und die Wirkung der einzelnen Komponenten des Mehrbarrierensystems und die Wirkung des Mehrbarrierensystems als Ganzes werden mittels Modellrechnungen untersucht und bewertet. Mögliche Schadstofffreisetzungen in die Biosphäre und Beeinträchtigungen an der Tagesoberfläche werden anhand gesetzlicher Forderungen bewertet.

Der Nachweis der Langzeitsicherheit folgt dem Vorgehen bei einem LZSN für ein Endlager für radioaktive Abfälle in einem atomrechtlichen PFV und orientiert sich an der auch in anderen Ländern praktizierten Vorgehensweise. Als Elemente des Nachweises dienen eine Standortbeschreibung mit zugehörigen Modellvorstellungen, das Sicherheits- und Schließungskonzept, eine geowissenschaftliche Langzeitprognose, die Szenarientwicklung, Analysen und Modellrechnungen zu Teilsystemen und Einzeleffekten, Analysen und Modellrechnungen zum Schadstofftransport einschließlich Unsicherheitsbetrachtungen und Sensitivitätsanalysen sowie ergänzende Argumente zur Sicherheit des Gesamtsystems und eine Bewertung der Vertrauenswürdigkeit und Verlässlichkeit des Sicherheitsnachweises. Die für die Bewertung der Langzeitsicherheit zugrunde gelegte Datenbasis wird angesprochen, die angewendeten Modelle werden beschrieben und bewertet, und die Ergebnisse der Modellrechnungen werden präsentiert und bewertet. Die Beschränkung der Berechnungen auf einen Zeitraum von 100.000 Jahren wird nicht explizit begründet, erscheint jedoch gerechtfertigt, weil die maximalen Konsequenzen innerhalb dieses Zeitraums berechnet werden.

Die Unterlage BUHMANN, FÖRSTER & RESELE (2006) enthält damit eine umfassende wissenschaftlich-technische Erläuterung und Gesamtbewertung der Langzeitsicherheit in Bezug auf die Schutzziele

- Schutz des Menschen vor unzulässiger Strahlenexposition,
- Schutz des oberflächennahen Grundwassers vor unzulässiger Verunreinigung sowie Veränderung und
- Begrenzung der Oberflächenabsenkung

mit Schwerpunkt auf der Bewertung der Radionuklidenausbreitung auf dem Wasserpfad. Sie entspricht aus fachlicher Sicht in vielen Punkten den international üblichen Anforderungen an einen „safety case“ (OECD/NEA 2004). Es ist allerdings nicht ersichtlich, wie der im internationalen Rahmen an Bedeutung zunehmende Prozess der Optimierung im Rahmen eines schrittweisen Vorgehens bei der Entwicklung und Planung des Schließungskonzeptes und des LZSN umgesetzt wurde. Ebenso fehlt aus fachlicher Sicht eine Bewertung der zukünftigen menschlichen Einwirkungen am Standort. Entgegen der Darstellung in den Berichten zur Langzeitsicherheit der Schachanlage Asse II wird die Biosphäre allgemein nicht als Barriere im Multibarrierensystem angesehen.

Das mit Bezug auf die Sicherheitskriterien von 1983 (BMI 1983) gewählte radiologische Schutzziel wird auch auf internationaler Ebene (z. B. ICRP (2000), erneut bestätigt durch ICRP (2007)) empfohlen, gilt dort aber für die Exposition über alle Kontaminationspfade. Im LZSN für die Schachanlage Asse II wird das Dosiskriterium dagegen wie in § 47 StrlSchV und damit auch in den Sicherheitskriterien von 1983 vorgegeben jeweils separat für Radionuklidenausbreitungen über den Gas- oder Wasserpfad verwendet. Der herangezogene Maßstab zur Bewertung der radiologischen Auswirkungen in der Biosphäre erfüllt somit zwar die in den Sicherheitskriterien von 1983 festgelegten Anforderungen, stimmt aber nicht mit den von der ICRP herausgegebenen Empfehlungen überein. In der Praxis ist die unterschiedliche Anwendung des Dosiskriteriums (pfadbezogen in den Sicherheitskriterien von 1983, als Summe über alle Pfade in den

Empfehlungen der ICRP) allerdings ohne Belang, da die Expositionen über den Gas- und Lösungspfad im Falle der Schachanlage Asse II zu unterschiedlichen Zeiten auftreten und sich nicht überschneiden.

Der Schutz der Oberfläche umfasst auch den Schutz des Grund- und Oberflächenwassers, des Bodens, sowie von Kultur- und vergleichbaren Gütern. Als Bemessungsgrundlage für den Schutz des Grundwassers werden die Grenzwerte der Trinkwasserverordnung (TrinkwV 2001, Stand 21.05.2001) sowie Prüfwerte aus einschlägigen nationalen und internationalen Regelwerken herangezogen. Entsprechend wurde und wird auch bei PFV nach dem Atomrecht (Morsleben, Konrad) verfahren.

Es wird mehrfach betont, dass es unabdingbare Voraussetzung zur Führung des LZSN ist, dass die Standsicherheit des Grubengebäudes während der Betriebsphase erhalten bleibt und die vorgesehenen Maßnahmen zur Schließung – Einbringen des Schutzfluids einschließlich Beaufschlagen der Grube mit einem pneumatischen Druck während der Einleitung oberhalb der 700-m-Sohle, Einbringen von Mg-Depots in die Einlagerungskammern und in deren bevorzugte Austrittspfade, Einbau von Strömungsbarrieren und stützendem Versatz, Verfüllung noch offener Hohlräume und Verschluss der Tagesschächte – anforderungsgemäß umgesetzt werden können.

Auf die gesonderte Bewertung einzelner Teilaspekte, die Grundlagen für den LZSN darstellen bzw. wesentlich für die Bewertung der Aussagen zur Langzeitsicherheit sind, wird in anderen Kapiteln dieses Berichts eingegangen. Sie werden hier nicht wiederholt.

Eine allgemein verständliche Beschreibung der Langzeitsicherheit erfolgt in einer ergänzenden Unterlage, die in dieser Stellungnahme nicht bewertet wird. Im Rahmen dieser Stellungnahme ist zudem keine Prüfung erfolgt, ob und inwieweit alle Aussagen nachvollziehbar und vollständig durch die zugehörigen Fachberichte belegt werden, da dem BfS nicht alle zugehörigen Fachberichte vorliegen.

#### **4.4 PLANUNGEN UND NACHWEISE ZUM VERFÜLL- UND VERSCHLUSSKONZEPT**

Im Sicherheitskonzept listet die GSF die erforderlichen Schließungsmaßnahmen im Sinne eines Anforderungskatalogs auf. Auf die wesentlichen Bestandteile des Schließungskonzeptes wird kurz eingegangen, wobei hinsichtlich weiterer Details auf vertiefende, noch zu erstellende Unterlagen verwiesen wird. Die GSF hat hierzu folgende Unterlagen erstellt:

- Maßnahme 1: „Schutzfluidkonzept“, (TEICHMANN et al. 2006)
- Maßnahme 2: „Ergänzungsbericht: Technisches Konzept zum Einbringen des Mg-Depots in die Einlagerungskammern und ihren Nahbereich“ (LOMMERZHEIM et al. 2006) und „Konzeptionelles Modell für die Verfüllung der Einlagerungsbereiche“ (FÖRSTER & MARGGRAF 2006)
- Maßnahme 3: „Einbauorte von Strömungsbarrieren“ (FÖRSTER & TEICHMANN 2006)
- Maßnahme 4: „Feststoffversatz einbringen“
- Maßnahme 5: „Verfüll- und Verschlusskonzept für die Schließung der Tagesschächte 2 und 4 des Bergwerks Asse“ (KAPPEI & EIKMEIER 2006)

Die kompletten Unterlagen zur Maßnahme 4 (Feststoffversatz einbringen) liegen dem BfS nicht vor.

In den folgenden Kapiteln werden die Aussagen in den Einzelberichten zur Machbarkeit bzw. Nachweisführung den Anforderungen aus dem Verfüll- und Verschlusskonzept gegenübergestellt und bewertet.

## **Allgemeine Anforderungen (Erforderliche Daten und Parameter)**

Welche Anforderungen im Rahmen der Stilllegung an die jeweiligen Verfüll- und Verschlussmaßnahmen zu stellen sind, ist unter Berücksichtigung der standortspezifischen Randbedingungen festzulegen. Diese stellen die Grundlage der durchzuführenden Sicherheitsanalysen dar und sind modellhaft in diesen abzubilden.

Die geologischen, geohydraulischen, geotechnischen und bergbautechnische Randbedingungen müssen hinreichend bekannt und nachvollziehbar sein, damit sie als Planungsrandbedingungen der Verfüll- und Verschlussmaßnahmen verwendet werden können. Das betrifft zum Beispiel die Verbreitung löslicher Schichten (Kaliflöz), die hydraulischen Parameter der Salzgesteine im Bereich der Strömungsbarrieren sowie die Ausbildung und Eigenschaften der Auflockerungszone.

Für die jeweiligen Maßnahmen sind die maßgeblichen physikalischen und chemischen Materialdaten zu ermitteln und auf die In-situ-Verhältnisse zu übertragen bzw. anzupassen.

Die Hohlrumsituation in den jeweiligen Bereichen des Endlagers vor und nach der Durchführung der Verfüll- und Verschlussmaßnahmen sollte quantifiziert werden, wobei die Unsicherheiten benannt und in die Betrachtungen integriert werden müssen. Darüber hinaus sind im Zusammenhang mit der Realisierung eines sicheren Stilllegungsbetriebes die entsprechenden Nachweise zur Standsicherheit, der allgemeinen bergtechnischen Sicherheit und des betrieblichen Strahlenschutzes bei der Realisierung der jeweiligen Maßnahme zu führen. Das im Rahmen der Stilllegung erforderliche Qualitätssicherungs- und Überwachungsprogramm ist darzustellen.

Unter Berücksichtigung der Sicherheitskriterien für die Endlagerung radioaktiver Abfälle in einem Bergwerk sind die Anforderungen an die erforderlichen Maßnahmen in den Einlagerungskammern, im Nahbereich der Einlagerungskammern und im sonstigen Grubengebäude bis hin zur Schachtverfüllung zu definieren.

## **Bewertung (Defizite und Relevanz im Langzeitsicherheitsnachweis)**

Von der GSF wird plausibel dargestellt, dass bei der Einleitung des Schutzfluids durch die beschriebenen Maßnahmen eine ausreichende gebirgsmechanische Stabilisierung des Tragsystems gewährleistet werden kann (siehe Kapitel 4.3.2.8 Tragfähigkeitsanalyse).

Es wird plausibel ausgeführt, dass es mit technischen Mitteln alternativ zum Schutzfluidkonzept nicht möglich ist, den bekannten Zufluss von Salzlösungen in situ abzudichten. Lokale Maßnahmen der Verbesserung der Tragfähigkeit des Versatzkörpers - z. B. mit Hilfe von Verdichtung, Injektion oder Pumpversatz - werden trotz der zweifellos vorhandenen möglichen positiven lokalen Effekte als nicht zielführend bewertet, einen nachweisbaren Einfluss auf die Vermeidung bzw. Abdichtung eines Salzlösungszutrittes zu bewirken.

Die GSF beschreibt nachvollziehbar die Modellvorstellungen, die bei einem Szenario beim Volllaufen des Grubengebäudes mit der zutretenden Salzlösung unter Berücksichtigung der standortspezifischen Randbedingungen geprüft und bewertet werden müssen. Die negativen Auswirkungen auf das Tragsystem und die Schadstoffausbreitung werden plausibel analysiert und sind durch den Hinweis auf entsprechende Unterlagen belegt (KAMLOT, BRÜCKNER & GÜNTHER 2006, KAMLOT et al. 2006). Mit Bezug auf das zugrunde liegende Sicherheitskonzept ist die Schlussfolgerung nachvollziehbar, dass für das Volllaufen des Grubengebäudes mit Deckgebirgslösung keine belastbare Prognose der gebirgsmechanischen und geochemischen Entwicklung sowie der Schadstoffausbreitung möglich ist, mit denen gemäß Sicherheitskonzept ein robuster LZSN für den Standort geführt werden könnte.

Nachfolgend werden die einzelnen Maßnahmen behandelt und jeweils eine Einzelbewertung vorgenommen.

## 4.4.1 Schutzfluid und Druckluftbeaufschlagung (Schutzfluidkonzept)

### Anforderungen (Erforderliche Daten und Parameter)

Das Konzept der Schutzfluideinleitung muss den gegebenen Randbedingungen der Asse gerecht werden. Vor dem Hintergrund der im Sicherheitskonzept der GSF gestellten Anforderungen zur Begrenzung der Lösungsbewegungen im Grubengebäude, verbunden mit dem Ziel des Schutz des Grubengebäudes vor dem Zutritt von ungesättigten Lösungen in der Nachbetriebsphase, ist sicherzustellen, dass das Schutzfluid qualitätsgesichert mit einer Dichte eingestellt und eingebracht werden kann, die mit der Teufe gleich bleibend bis zunehmend ist. Insbesondere ist die Zersetzung des in Grubenbauen aufgeschlossenen Carnallitits zu vermeiden. Das Schutzfluid ist entsprechend einzustellen.

Darüber hinaus ist zu zeigen, in welchem Maße das Schutzfluid in vorhandene Resthohlräume im Grubengebäude und hier insbesondere in das Porenvolumen des vorhandenen und unterschiedlich verdichteten Salzgrusversatzes eindringt. Bei der betrieblichen Vorgehensweise der Einbringung des Schutzfluids ist die Standsicherheit des Grubengebäudes zu gewährleisten. Es ist darzustellen, dass die zur Einleitung des Schutzfluids erforderlichen Bohrungen unter Berücksichtigung aller sicherheitstechnischen Belange (Bergtechnik, Strahlenschutz) in allen Flutungsphasen gestoßen werden können. Vor dem Hintergrund der mit der Einleitung des Schutzfluids mit der Durchfeuchtung einhergehenden negativen Auswirkungen auf das Tragsystems ist zu klären, mit welchem technisch realisierbaren pneumatischen Innendruck diese kompensiert werden können.

### Vorgehensweise des Antragstellers und Datengrundlage (Belegdichte und Belegqualität)

Zu den Modellvorstellungen zum Ablauf der Schutzfluideinleitung nennt die GSF folgende zu berücksichtigende gebirgsmechanische Effekte:

- Die Stützung der noch intakten Tragelemente bei zunehmendem Fluiddruck im Grubengebäude,
- kleinere Festigkeiten von feuchtem Salzgrus und
- erhöhtes Kriechvermögen der durchfeuchteten Gebirgsbereiche.

Zur möglichen Beeinträchtigung des Tragsystems verweist die GSF als Beleg auf eine vorliegende Unterlage (KAMLOT, BRÜCKNER & GÜNTER 2006).

Die physikalisch-chemischen Eigenschaften des Schutzfluids werden so eingestellt, dass die Lösung sich weitgehend mit dem Carnallitit im geochemischen Gleichgewicht befindet. Die Zusammensetzung des Schutzfluids wird speziell für die Einbringung im Tiefenaufschluss, im Bereich der LAW-Einlagerungskammern (775-m- bis einschließlich der 700-m-Sohle) und für den Bereich oberhalb der 700-m-Sohle unter Berücksichtigung der jeweiligen Gebirgstemperatur definiert. Damit sollen dichtebedingte Konvektionsströme im Grubengebäude vernachlässigbar klein gehalten werden.

Die Einbringung eines Schutzfluids als der zentrale Baustein des Schließungskonzeptes erfordert unter der Maßgabe der Zielsetzung des Sicherheitskonzeptes (s. o.) nicht nur in geochemischer sondern auch in ablauftechnischer Hinsicht eine standortspezifische Vorgehensweise, die u. a. ein Höchstmaß an Qualitätssicherung und betrieblicher Sicherheit gewährleistet. Die GSF sieht in dieser Konsequenz die Schutzfluideinleitung in fünf Phasen vor. In Etappen werden die Grubenbereiche Tiefenaufschluss, 775-m-, 750-m-, 725-m- und 700-m-Sohle und abschließend die 679-m- bis 490-m-Sohle mit dem Schutzfluid verfüllt.

Für den Beginn der jeweiligen Einbringphase des Schutzfluids hat die GSF die notwendigen Verfüll- und Verschlussmaßnahmen sowie die erforderlichen Infrastrukturmaßnahmen als zu schaffende Voraussetzungen festgelegt. Zusätzlich weist die GSF auf das Erfordernis hin, die entsprechenden gebirgsmechanischen Bauzustände dabei direkt in situ zu beobachten und zu bewerten. Dieses ist laut GSF in der Phase 5 oberhalb der 700-m-Sohle nur indirekt möglich.

Um die zu erwartenden erheblichen Spannungsumlagerungen und temporär erhöhten Gebirgsverformungen auch im Deckgebirge durch die Einbringung des Schutzfluids zu minimieren, sind für die Phase der Einbringung des Schutzfluids oberhalb der 700-m-Sohle zusätzliche Stabilisierungsmaßnahmen vorgesehen. Die GSF plant die Stabilisierung durch den Aufbau eines pneumatischen Innendrucks von 1,0 MPa bis 1,5 MPa zu erreichen. Dies soll über den Zeitraum von drei Jahren nach Abschluss aller Arbeiten im Grubengebäude geschehen.

Die Ausbreitung des Schutzfluids im Grubengebäude und die einzubringende Schutzfluidmenge wird unter Berücksichtigung der Permeabilität und Porosität des Versatzes, der Konvergenz, der Festigkeitsparameter im Versatz und im Gebirge sowie der Spannungssituation prognostiziert. Die diesen Prognosen zugrunde liegenden Untersuchungsergebnisse in situ und im Labor liegen nicht vor (BAF 2001, IBEWA 2005).

Es wird ein mit Schutzfluid zu füllender Porenraum von insgesamt 1,45 Mio. m<sup>3</sup> zum Zeitpunkt 2014 genannt. Für den Schutzfluidbedarf wird eine Bandbreite von 1,30 ± 0,26 Mio. m<sup>3</sup> errechnet, wobei z. B. die Unsicherheit der markscheiderischen Hohlraumangaben berücksichtigt worden ist.

Es werden keine Aussagen dazu gemacht, bis zu welcher Porosität (Grenzporosität) unter den In-situ-Bedingungen das Schutzfluid in den Salzgrusversatz eindringen kann. In diesem Zusammenhang fehlt auch die als Beleg für die Ermittlung des Volumens der Resthohlräume zitierte Unterlage GSF (2006c).

Zum Nachweis der Stützwirkung des Schutzfluids sieht die GSF die Erfassung des anstehenden Fluiddruckes im Bereich der Südflanke an exemplarischen Positionen durch Drucksensoren vor. Zur Beweissicherung ist eine Volumenbilanz zwischen dem berechneten Porenvolumen und dem eingebrachten Schutzfluidvolumen vorgesehen.

## **Bewertung (Defizite und Relevanz im Langzeitsicherheitsnachweis)**

Der Einsatz von Schutzfluid ist ein erprobtes Verfahren bei der Schließung von Kali- und Steinsalzbergwerken (z. B. Kalibergwerk Hildesia). Beobachtungen in gezielt gefluteten Salzbergwerken zeigen, dass die Dichteschichtungen in den anstehenden Lösungen stabil geblieben sind. Dies wird in der Unterlage weder durch Hinweise auf ähnliche Projekte belegt noch vergleichend gegenübergestellt.

Von der GSF wird plausibel dargestellt, dass bei der Einleitung des Schutzfluids durch die beschriebenen Maßnahmen eine ausreichende gebirgsmechanische Stabilisierung des Tragsystems gewährleistet werden kann (siehe Kapitel 4.3.2.8 Tragfähigkeitsanalyse).

Die von GSF zusammenfassend dargestellten Aspekte, dass entsprechend den Zielsetzungen des Sicherheitskonzeptes eine gezielte Verfüllung des Grubengebäudes mit einem Schutzfluid frühzeitig stabile gebirgsmechanische und geochemische Bedingungen schafft, tragen den komplexen standortspezifischen Randbedingungen der Asse in Verbindung zu den weiteren Verfüll- und Verschlussmaßnahmen Rechnung und sind plausibel.

Die Ausführungen zur Bandbreite des mit Schutzfluid zu verfüllenden Resthohlraumvolumens sind plausibel und entsprechen im Wesentlichen den üblichen Betrachtungsweisen. Unterlagen, die belegen, wie diese Daten zu Stande gekommen sind, liegen dem BfS nicht vor. Inwiefern hier bereits auf mögliche Erfahrungen bei der Flutung des Tiefenaufschlusses zurückgegriffen werden konnte, ist nicht bekannt. In der Beantwortung der 16 Fragen des BMU durch den BMBF wird allerdings erwähnt, dass Messergebnisse als Erfahrungen bei Prognoserechnungen bereits berücksichtigt wurden. Es wäre insofern sehr hilfreich, wenn das errechnete bzw. prognostizierte Hohlraumvolumen in dem mit Feststoffversatz verfüllten Tiefenaufschluss dem tatsächlich mit Schutzfluid verfüllten Volumen gegenübergestellt werden könnte, um die Abschätzungen der o. g. Bandbreite des Resthohlraumvolumens insgesamt besser absichern zu können. Im Zusammenhang mit der Qualitätssicherung und der Beweissicherung beim Einbringen von Mg-Depots (siehe Kapitel 4.4.2) wird die Möglichkeit des Erfahrungsrückflusses angemerkt, hier wird aber nicht näher darauf eingegangen.

Die Ausführungen zur technischen Realisierung der Schutzfluideinbringung in TEICHMANN et al. (2006) legen fest mit welcher Genauigkeit die physikalisch-chemischen Eigenschaften des Schutzfluids anforderungs-

orientiert einzustellen sind, mit welcher Qualität und mit welchen zulässigen Bandbreiten unter Berücksichtigung der sensiblen Parameter gearbeitet werden muss. Die festgelegten Anforderungen und Maßnahmen zur Qualitätssicherung sind ausreichend.

Des Weiteren wird ohne den Hinweis auf weitere Unterlagen erläutert, in welchem Umfang die begleitende gebirgsmechanische Überwachung und Begutachtung durchzuführen ist. Die Erläuterungen dazu entsprechen der üblichen Herangehensweise. Es werden die relevanten Aspekte angesprochen.

Differenziert wird beschrieben, unter welchen Gesichtspunkten für die Fluideinbringung in der 5. Phase die Auswahl der Einleitpunkte für die verschiedenen Abbaue unter Berücksichtigung der dortigen Randbedingungen geplant ist. Die Ausführungen sind plausibel.

Die zur technischen Machbarkeit der Druckluftspeisung zitierte Unterlage ERCOSPLAN (2005) liegt nicht vor, so dass besondere technische und sicherheitstechnisch relevante Sachverhalte im Zusammenhang mit Schutzfluid und Druckluft nicht näher bewertet werden können. Erfahrungen bei der Speicherung von Gasen in verschlossenen Bergwerken werden nicht als mögliches Beispiel zum Nachweis der Machbarkeit diskutiert.

Die dem BfS vorliegende Unterlage zur technischen Realisierung der Schutzfluideinleitung (TEICHMANN et al. 2006) ist insgesamt plausibel, aber für ein atomrechtliches PFV allein nicht ausreichend, da wesentliche technische Planungen und Nachweise zur Machbarkeit fehlen.

## **4.4.2 Mg-Depots**

### **Anforderungen (Erforderliche Daten und Parameter)**

Die Entwicklung des geochemischen Milieus in den Einlagerungsbereichen eines vollgelaufenen Endlagers und die daraus resultierenden Radionuklidkonzentrationen ist im Rahmen der standortspezifischen Modellrechnungen grundsätzlich damit ein wichtiges Element der Langzeitsicherheitsanalysen. Vor dem Hintergrund der geplanten kontrollierten Einleitung eines Schutzfluids in den Porenraum des versetzten Grubengebäudes und der aufgelockerten Gebirgsbereiche ist zwangsläufig eine einsetzende chemische Wechselwirkung mit den Abfallgebinden und sowie dem Versatzmaterial zu betrachten. Hierfür ist zu prüfen und zu quantifizieren, wie das geochemische Milieu in den Einlagerungskammern (ELK) auf einem schwach alkalischen Niveau eingestellt und stabilisiert werden kann. Dies soll durch die Einbringung von Brucit-Depots (Mg-Depots) in den ELK sichergestellt werden.

Für die vorgesehenen Materialien (Brucit-Depots) sind die erforderlichen physikalischen und chemischen Daten im Labor zu ermitteln. Die Materialien und das Einbringverfahren sind aufeinander abzustimmen. Das Einbringverfahren ist hinsichtlich der Machbarkeit insbesondere unter der Maßgabe des Strahlenschutzes und der Gewährleistung eines sicheren Betriebes festzulegen. Hierfür sind die notwendigen sicherheitsanalytischen Betrachtungen durchzuführen (siehe Kapitel 4.3.1).

Für den Nachweis der Möglichkeit der Einbringung der geochemisch erforderlichen Brucitmenge ist es notwendig, die zur Verfügung stehenden Resthohlräume genau zu bestimmen. Dabei ist auch der Hohlraum zwischen den Abfallgebinden zu berücksichtigen. Es sind Aussagen zur Genauigkeit der Berechnungen bzw. Abschätzungen erforderlich. Für den Fall, dass in der jeweiligen Einlagerungskammer die erforderlichen Mg-Depots nicht hergestellt werden können, ist im näheren Umfeld dieser ELK die Verbringung von Mg-Depots vorzusehen.



## **Vorgehensweise des Antragstellers und Datengrundlage (Belegdichte und Belegqualität)**

### ***Geochemische Bedingungen***

Die GSF hat die Begrenzung der Schadstoffmobilisierung in seinem Sicherheitskonzept zugrunde gelegt. Die Einbringung von Mg-Depots in die Einlagerungskammern und ihren Nahbereich ist eines der grundlegenden Elemente des Schließungskonzeptes. Es wird dazu auf der Basis von Laborversuchen und Modellrechnungen ausgeführt, dass die Mobilisierung der für die Langzeitsicherheit wichtigen Elemente U, Th und Pu pH-Wert-abhängig ist: In saurem Milieu sind die Löslichkeiten erhöht, während die Löslichkeiten im schwach alkalischen Bereich am niedrigsten sind. Mit Hinweis auf FZK-INE (2004) wird der grundlegende Nachweis geführt, dass der pH-Wert in den Einlagerungskammern durch das Einbringen von Mg-Depots gepuffert werden kann und dass die Konzentration von Pu begrenzt wird.

Je nach Erfordernis sind als Mg-Depot Schutzfluid/Brucit-Suspension, Schutzfluid/Brucit-Granulat sowie Schutzfluid/Brucit-Mörtel vorgesehen.

Die wesentlichen chemischen Parameter des Brucit-Pulvers und Brucit-Granulats sind definiert.

Die sichere, genau quantifizierte und qualitätsgesicherte Einbringung des Mg-Depots als grundlegendes Element des Stilllegungskonzeptes erfordert nach Aussage der GSF noch weitergehende Untersuchungen.

### ***Verfahren / Vorgehensweise / Betriebssicherheit - Strahlenschutz***

In den vorliegenden Unterlagen wird ein technisches Konzept dargestellt, wie Mg-Depots in der erforderlichen Menge und Verteilung in die jeweiligen Einlagerungskammern oder in deren unmittelbaren Nahbereichen eingebracht werden sollen.

In Ergänzung zu den Anforderungen an die Einbringung der Mg-Depots nennt GSF folgende weitere zu beachtende bautechnische Anforderungen, die u. a. auch in Verbindung zu den weiteren Verfüll- und Verschlussmaßnahmen stehen:

- Der jeweilige Einlagerungsbereich ist durch Strömungsbarrieren komplett abgeschlossen und die Funktionsfähigkeit der Strömungsbarrieren ist durch Dichtheitsmessungen nachgewiesen
- Sicherstellung der organisatorischen und anlagentechnischen Voraussetzungen und Kapazitäten in dem vorgegebenen zeitlichen Rahmen
- Sicherstellung, dass bei der Herstellung der Injektionsbohrungen von höheren Sohlen die Abfallgebände nicht angebohrt werden

Im Rahmen der technischen Beschreibungen zur Einbringung der Mg-Depots wird auf die bautechnischen Anforderungen näher eingegangen.

Da eine trockene Einbringung der Mg-Depots in die Einlagerungskammern nicht möglich ist, wurden im Hinblick auf die verfahrenstechnische Ausführung die erforderlichen Lösungssuspensionen für die jeweilige Mg-Depotmaßnahme untersucht. So hat sich für die Schutzfluid/Brucit-Suspension ein Mischungsverhältnis von ca. 5 g Brucit-Pulver je Liter Schutzfluid als günstig erwiesen. Für die Einbringung des Granulates hat sich auf der Basis von Förderversuchen ein Verhältnis Schutzfluid : Brucit-Granulat von 1 : 3 als geeignet erwiesen. Weitere gesteinsphysikalische Parameter zum Brucit-Granulat im trockenen Zustand und nach der Einspülung wurden ebenfalls ermittelt und stehen als Grundlage für weitere Betrachtungen zur Verfügung. Die zitierte Unterlage IFG (2005), die den Stand der bisherigen Untersuchungsergebnisse dokumentiert, liegt nicht vor. Der Brucit-Mörtel wird aus Brucit-Pulver und Schutzfluid hergestellt. Je nach den standort-spezifischen Anforderungen wird der Brucit-Pulver-Anteil variiert. Von einer ausreichenden Verfügbarkeit der Mg-Depots wird bei den geochemischen Modellrechnungen zum LZSN ausgegangen.

In Bezug auf die Strahlenschutzanforderungen bei der Erstellung der Einleitbohrungen und bei den Verfüllmaßnahmen in den Einlagerungskammern werden die erforderlichen Maßnahmen kurz beschrieben.

Nach der Einspülung des Brucit-Granulats ist die Injektion des Brucit-Mörtels in die Konturzone der Einlagerungskammer vorgesehen. In Anbetracht der bestehenden Unsicherheiten, dass sich die erforderlichen Mengen Brucit-Mörtel nicht in die Einlagerungskammern injizieren lassen, sieht die GSF als „back-up-Maßnahme“ die zusätzliche Einbringung von Mg-Depots in Grubenräumen vor, die als relevante Transportpfade im Nahbereich der ELK bei der Transportmodellierung identifiziert wurden.

### **Beschreibung der Hohlraumsituation**

Die wichtigen kammerspezifischen Hohlraumdaten werden für den Zeitpunkt 2009 im Einzelnen beschrieben und in einer Tabelle als Grundlage zusammengefasst. Die vorgenommenen Berechnungen zu den Resthohlraumvolumina in den Einlagerungskammern ergaben Unsicherheiten von 10 % bis zu 50 %.

Die GSF weist darauf hin, dass notwendige Details der technischen Umsetzung, die sich aus den lokalen Standortbedingungen ergeben können, der Entwurfs- bzw. Ausführungsplanung vorbehalten bleiben.

Auf der Basis der Beschreibung der Lagerbereiche wird für jede Einlagerungskammer bzw. ihrem Nahfeld das jeweilige Verfüllkonzept bzw. Einbringen des Mg-Depots detailliert beschrieben, wobei die Verfüllung der Grubenbaue mit den notwendigen Brucit-Mengen in jedem Fall Priorität vor der Einbringung von stabilisierenden Feststoffversatz hat.

Im Zusammenhang mit der kammerspezifischen Vorgehensweise wird auch auf notwendige Abdichtungsmaßnahmen von Auflockerungszonen in den Stößen der ELK 2/750Na2 hingewiesen.

Zur Verfüllung der MAW-Einlagerungskammer wird ausgeführt, dass im Gegensatz zu allen anderen Einlagerungskammern die Einbringung von Brucit-Granulat ohne Schutzfluid und nur als präventive Maßnahme vorgesehen wird, falls es wider Erwarten doch zu einem Lösungszutritt kommen sollte.

Vor dem Hintergrund der bereits angesprochenen Unsicherheiten weist die GSF darauf hin, dass die errechneten Brucit-Mengen für bestimmte Transportpfade im späteren Verfüllbetrieb insoweit angepasst werden können, dass Abweichungen von  $\pm 25\%$  als tolerabel angesehen werden.

Die komplexen Maßnahmen zur Einbringung der Mg-Depots bedingen laut GSF umfangreiche Prüfungsmaßnahmen bezüglich der einzuhaltenden Anforderungen an die verschiedenen Materialien, an die Misch- und Pumpstation und an die Dokumentation. Die injizierte Menge ist das einzige Beurteilungskriterium der Injektionsgüte. Es kommt hierbei auf die Bestätigung der Einbringung der geochemisch erforderlichen Mindestmengen an. Es werden daher auch nicht nur die üblichen Maßnahmen der Qualitätssicherung im Qualitätsmanagement-Plan zusammengefasst, sondern es wird zusätzlich im Zusammenhang mit der Dokumentation als wichtiges Element auch der Erfahrungsrückfluss während der Einbringung für erforderlich gehalten. Es wird weiterhin herausgestellt, dass die Messtechnik ein wesentliches Element der Beweis-sicherung ist, wozu laut GSF noch vertiefende Ausführungsplanungen erstellt werden müssen.

### **Bewertung (Defizite und Relevanz im Langzeitsicherheitsnachweis)**

Die Aussagen, dass die beschriebenen Maßnahmen qualitativ und quantitativ geeignet sind, die Anforderungen an die geplante langfristige Stabilisierung des geochemischen Milieus im schwach alkalischen Bereich ergebenden Anforderungen zu erfüllen, sind plausibel. Eine weitergehende Bewertung ist allerdings nicht möglich, da die hierzu zitierte Unterlage FZK-INE (2004) nicht vorliegt.

Die Ausführungen zu den bautechnisch bedingten Anforderungen an die Betriebssicherheit sind plausibel und tragen den komplexen Randbedingungen Rechnung. So wird u. a. darauf hingewiesen, dass erst mit der Vorlage von Vorerkundungsergebnissen die Notwendigkeit weiterer Bohrungen zur Einbringung festgelegt

werden kann. Diese Vorgehensweise ist zielorientiert und entspricht einer vergleichbar geplanten Vorgehensweise des BfS.

Auf darüber hinaus gehende Unterlagen wie z. B. übliche sicherheitsanalytische Betrachtungen oder Besonderheiten, die bei der Bewetterung von betroffenen Arbeitsorten zu regeln sind, wird nicht verwiesen. Es besteht zwar die Forderung, es wird aber nicht näher ausgeführt, wie sichergestellt wird, dass die Melange aus Abfall und Salzversatz innerhalb der Einlagerungskammer nicht angebohrt wird. Es wird in diesem Zusammenhang allerdings deutlich gemacht, dass eine pneumatische Einbringung der Mg-Depots ausscheidet, da beim Einbringen der Mg-Depots die Austauschrate der Kammerluft mit der Grubenluft möglichst gering zu halten ist. Auf die Belange des Strahlenschutzes bei Einbringung der Mg-Depots in die ELK wird von der GSF hingewiesen. Die Unterlagen entsprechen in diesem Punkt aber nicht dem für ein atomrechtliches PFV erforderlichen Tiefgang.

In HEYDORN, HENSEL & BRACKE (2005) werden die Abschätzungen des unverfüllten Hohlraumes ausführlich und nachvollziehbar für jede Einlagerungskammer beschrieben und entsprechende Betrachtungen zu den Unsicherheiten vorgenommen. Es kann nicht nachvollzogen werden, warum die Hohlraumangaben zu den Resthohlraumvolumina in den ELK in LOMMERZHEIM et al. (2006) und FÖRSTER & MARGGRAF (2006) differieren. Hohlraumvolumina und Porositäten werden in den Unsicherheits- und Sensitivitätsanalysen variiert. Sie weisen keine hohe Sensitivität auf (BUHMANN, FORSTER & RESELE 2006). Zur Einspülung des Brucit-Granulats in die Einlagerungskammern wird in Abhängigkeit der jeweiligen Geometrie des Firstspaltes in der Kammer und den geochemischen Erfordernissen der Grad der Unsicherheit zu den Resthohlraumvolumina in den Einlagerungskammern plausibel eingeschätzt.

Vor dem Hintergrund der von der GSF herausgestellten Bedeutung der Beweissicherung ist eine weitergehende Bewertung nicht möglich, da die Unterlagen hierzu erst im Rahmen der Ausführungsplanung erstellt werden.

Die GSF beschreibt im Vergleich zu den technischen Ausführungen der Mg-Depots in den einzelnen Einlagerungskammern nur kurz die Möglichkeiten und technischen Maßnahmen, wie entsprechend den Anforderungen die Verbringung von Mg-Depots auch außerhalb der Einlagerungskammern verbracht werden sollen. Es wird auch nur kurz beschrieben, welche Substitutionsmöglichkeiten bestehen und wie sichergestellt werden kann, dass die ausgepressten Lösungen auch wirklich durch die Mg-Depots in den Grubenräumen fließen. Hier ist eine nachvollziehbare Darstellung erforderlich.

Zur Messtechnik als wesentliches Element der Beweissicherung werden keine weiteren Ausführungen gemacht. Hier besteht ein Defizit. Dies ist vor dem Hintergrund der besonderen Bedeutung der Beweissicherung kritisch zu sehen.

### **4.4.3 Strömungsbarrieren**

#### **Anforderungen (Erforderliche Daten und Parameter)**

Unter Berücksichtigung der standortspezifischen Randbedingungen ist unter der zwingenden Maßgabe der o. g. Einbringung eines Schutzfluids dafür zu sorgen, dass die Lösungsbewegungen während der Nachbetriebsphase insbesondere im Nahbereich der Einlagerungskammern mittels Strömungsbarrieren (SB) begrenzt und gelenkt werden.

Aus den Langzeitsicherheitsanalysen und der bergbaulichen Situation werden die erforderlichen Standorte für die langzeitwirksamen Strömungsbarrieren abgeleitet und die jeweils erforderlichen Dichtigkeitsanforderungen festgelegt.

Vor dem Hintergrund der o. g. Notwendigkeit der zusätzlichen Einbringung von Mg-Depots in relevanten Transportpfaden sind auch für diese Maßnahmen die Permeabilitätsanforderungen von Abdichtungsmaßnahmen an den jeweiligen Lokationen zu definieren, um die Funktion der Mg-Depots zu gewährleisten.

Zusätzlich sind vorhandene Rolllöcher mit Verbindungen zu anderen Grubenbauen, die zu einem kanalisiertem Transport in der Grube führen können, sowie die Verfüll- und Entlüftungsbohrungen langfristig wirksam zu verfüllen.

Unter Berücksichtigung der lokationsspezifischen, gebirgsmechanischen und geologischen Randbedingungen sind des Weiteren Konstruktionsprinzipien und mögliche Baustoffe darzulegen, der Nachweis der Langzeitstabilität für die geplanten Baustoffe sowie für die Tragfähigkeit, technischen Machbarkeit und Gebrauchstauglichkeit der Bauwerke zu führen. Abschließend sind die erforderlichen Qualitätssicherungsmaßnahmen darzustellen.

### **Vorgehensweise des Antragstellers und Datengrundlage (Belegdichte und Belegqualität)**

In FÖRSTER & TEICHMANN (2006) wird die vorgesehene Anordnung der Strömungsbarrieren sohlenspezifisch dargestellt. Sie werden in horizontalen und vertikalen Grubenbauen errichtet. Es wird darauf hingewiesen, dass die exakte Anordnung erst nach einer detaillierten Standorterkundung erfolgen wird.

Eine grundsätzliche geotechnische und gebirgsmechanische Beurteilung bzw. Eignung der Einbauorte erfolgte auf der Basis der gebirgsmechanischen Situation. Die hierzu zitierte Unterlage KAMLOT & WEISE (2003) liegt nicht vor. Auf dieser Grundlage sollen im Rahmen der Ausführungsplanung weitere Untersuchungen an ausgewählten Einbauorten für die Nachweisführung durchgeführt werden.

In FÖRSTER & TEICHMANN (2006) wird der Aufbau einer Strömungsbarriere (SB) dargestellt. Sie besteht aus der Kernbarriere und den Widerlagern. Kernbarriere und Widerlager sollen aus Sorelbeton hergestellt werden. Daneben gibt es stützenden Versatz, der auch die Funktion einer Strömungsbarriere übernimmt und auch aus Sorelbeton hergestellt wird oder bei schon vorhandenem Versatz mit Sorelmörtel druckinjiziert wird und dadurch ertüchtigt werden soll. Falls vorhandene Versatzkörper als Widerlager genutzt werden müssen, sollen auch diese durch Druckinjektion ertüchtigt werden.

Die Langzeitbeständigkeit von Sorelbeton im Kontakt mit dem Schutzfluid wird als nachgewiesen angegeben. Die hierzu zitierte Unterlage FZK-INE (2005) liegt nicht vor.

Die Anforderungen an die integrale Permeabilität werden in FÖRSTER & TEICHMANN (2006) genannt. Sie liegt bei horizontalen Kernbarrieren je nach Einbauort zwischen  $5 \times 10^{-14} \text{ m}^2$  und  $5 \times 10^{-16} \text{ m}^2$ . Vertikale Kernbarrieren müssen eine integrale Permeabilität von höchstens  $5 \times 10^{-14} \text{ m}^2$  aufweisen. Die notwendige Funktionsdauer wird mit maximal 100.000 Jahren angegeben und in den Langzeitsicherheitsanalysen für alle SB als konstant angesetzt. Wenn Widerlager Dichtfunktionen übernehmen müssen, soll die maximale integrale Permeabilität  $10^{-14} \text{ m}^2$  betragen. Von ertüchtigtem stützenden Versatz wird je nach Errichtungsort eine integrale Permeabilität von maximal  $10^{-14} \text{ m}^2$  und  $10^{-15} \text{ m}^2$  gefordert.

### **Bewertung (Defizite und Relevanz im Langzeitsicherheitsnachweis)**

Die Aussage zur grundsätzlichen Eignung der jeweiligen Standorte für die Errichtung einer SB ist nicht nachvollziehbar, da die hierzu zitierte Unterlage KAMLOT & WEISE (2003) nicht vorliegt.

Auslegungsberechnungen, Nachweisführungen zur Lagestabilität und zur Integrität des umgebenden Gebirges und bautechnische Nachweise zur Tragfähigkeits- und Gebrauchstauglichkeit der SB liegen ebenfalls nicht vor. Hierzu kann keine Aussage getroffen werden. In der Unterlage wird lediglich festgestellt, dass die grundsätzliche technische Machbarkeit der Errichtung von SB durch den Bau einer Pilot-Strömungsbarriere demonstriert wurde. Auf ein darauf basierendes technisches Konzept zum Bau von SB wird verwiesen (TEICHMANN, MEYER & HEYDORN 2005). Diese Unterlage liegt nicht vor.

Für die geforderte Funktionsdauer einiger Barrieren (maximal 100.000 Jahre) ist den vorliegenden Unterlagen kein Nachweis zu entnehmen. Die geforderte Funktionsdauer von 100.000 Jahren stellt eine erhebliche Herausforderung für den Nachweis der Gebrauchstauglichkeit des Gesamtsystems Gebirge/Bauwerk dar. Es werden keine Angaben bzw. weiteren Ausführungen dazu gemacht, ob vorhandener Versatz durch Injektionsmaßnahmen mit Sorelmörtel zu einer SB 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.

Insbesondere in den vertikalen, nicht zugänglichen Grubenbauen, in denen Strömungsbarrieren errichtet werden müssen, ist die Injektion der Auflockerungszone von entscheidender Bedeutung. Nachweise dazu liegen nicht vor. Aufgrund der Kenntnisse des BfS erscheint die Aussage zur chemischen Langzeitbeständigkeit von Sorelbeton in  $MgCl_2$ -reichen Lösungen jedoch plausibel. Die Unterlage FZK-INE (2005) liegt nicht vor.

Im Zusammenhang mit der Maßnahme zur Einbringung von Mg-Depots wird als Teil der gesamten Abdichtung der ELK 2/750Na2 die Sorelbeton-Injektion zur Abdichtung von Auflockerungszonen in den Stößen der ELK genannt. Es werden keine weiteren Angaben gemacht, warum die Auflockerungszonen in den Stößen dieser ELK injiziert werden müssen und wie in diesem speziellen Fall die Abdichtungsmaßnahme überprüft werden soll.

Der Tiefgang der vorliegenden Unterlagen zu den Strömungsbarrieren reicht nicht für ein atomrechtliches PFV aus, da wesentliche Beschreibungen zur Durchführung und Nachweise zur Machbarkeit fehlen.

#### **4.4.4 Feststoffversatz**

##### **Anforderungen (Erforderliche Daten und Parameter)**

Allgemein handelt es sich beim Einbringen von Feststoffversatz im übrigen Grubengebäude um Stilllegungsmaßnahmen, an die vergleichsweise geringe Anforderungen gestellt werden. Letztlich geht es hierbei um Maßnahmen der Resthohlraumverfüllung bzw. Hohlraumminimierung und -stabilisierung.

##### **Vorgehensweise des Antragstellers und Datengrundlage (Belegdichte und Belegqualität)**

Gemäß Sicherheitskonzept wird zur Begrenzung der Lösungsbewegungen als erforderliche Schließungsmaßnahme das Verfüllen noch offen stehender Abbaubegleitstrecken und der Wendelstrecke mit Sorelbeton identifiziert. Dazu wird im Zusammenhang mit der Einbringung von Schutzfluid unter anderem ausgeführt, dass der Feststoffversatz die Konvergenzrate (Stützdruck) und das Auspressen von Lösungen aus dem Grubengebäude in das Deckgebirge verringern soll.

Eine weitere Funktion des Feststoffversatzes ist die Minimierung von dichtegetriebener Strömungen infolge möglicher Lösungsprozesse im Carnallitbaufeld.

##### **Bewertung (Defizite und Relevanz im Langzeitsicherheitsnachweis)**

Spezielle Unterlagen zum Feststoffversatz liegen nicht vor.

## 4.4.5 Schachtverschlüsse

In der dem BfS zur Prüfung vorgelegten Unterlage KAPPEI & EIKMEIER (2006) wird das Schachtverschlusskonzept des FB Asse erläutert

### Anforderungen (Erforderliche Daten und Parameter)

Die notwendigen Eingangsdaten für ein atomrechtliches PFV werden am Beispiel der Stilllegung des ERAM anhand der für den Bereich der Schachtverschlusssysteme eingereichten Unterlagen identifiziert. Es wurden für den Bereich der Schachtverschlusssysteme drei Verfahrensunterlagen eingereicht:

- Konzept- und Systembeschreibung für die Schachtverschlusssysteme (Genehmigungsunterlage)
- Konzeptplanung der Schachtverschlüsse (Prüfunterlage)
- Nachweisführungen zur Langzeitstabilität, zur Tragfähigkeit und zur Gebrauchstauglichkeit der Schachtverschlüsse (Prüfunterlage)

In den Unterlagen wurden die folgenden Punkte behandelt:

- (1) Anforderungen an die Schachtverschlüsse
- (2) Historische Entwicklung und Stand der Technik von Schachtverschlüssen
- (3) Mögliche Konstruktionsprinzipien
- (4) Mögliche Baustoffe
- (5) Normen, Richtlinien und Rechtsvorschriften
- (6) Geologische, hydrogeologische und bergbauliche Situation
- (7) Gefährdungs- und Einwirkungsanalyse
- (8) Grundkonzepte für die Bauwerke inkl. Festlegung der Baustoffe
- (9) Nachweis der Langzeitstabilität für die geplanten Baustoffe
- (10) Bauwerksentwürfe
- (11) Tragfähigkeits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweis
- (12) Geohydraulische Berechnungen
- (13) Ingenieurtechnische Einschätzung
- (14) Qualitätssicherung

Das in KAPPEI & EIKMEIER (2006) erläuterte Schachtverschlusskonzept für die Schachanlage Asse II wird auf Grundlage der o.g. 14 Sachverhalte einzeln geprüft und bewertet, wobei jeder Einzelbewertung eine Bestandsaufnahme der Datengrundlage vorangestellt wird.

### Vorgehensweise des Antragstellers und Datengrundlage (Belegdichte und Belegqualität)

Das Schachtverschlusskonzept für die Tagesschächte 2 und 4 wird in KAPPEI & EIKMEIER (2006) auf 34 Seiten zuzüglich 15 Anlagen beschrieben. Die von der DBE Technology GmbH (DBE TEC) erarbeitete Konzeptplanung zu den Schachtverschlüssen wird zitiert und lag dem BfS jedoch nicht vor. Nach Aussage von KAPPEI & EIKMEIER (2006) basiert das dargestellte "Verfüll- und Verschlusskonzept für die Schließung der Tagesschächte 2 und 4 des Bergwerks Asse" auf der Konzeptplanung der DBE TEC und ist mit dieser fachlich konsistent.

In den vorgelegten Unterlagen zum Verfüll- und Verschlusskonzept sind folgende Punkte dargestellt:

- Schachtverschlusskonzept
- Seigerriss der Schachanlage

- Schachtbilder der Schächte 2 und 4
- Geologisches Schichtenverzeichnis für die Schächte 2 und 4
- Schnittzeichnungen von der Entladeanlage am Kavernenhals Schacht 4
- Stand von Wissenschaft und Technik bei Schachtverfüllungen und -verschlüssen
- Referenzen zu kohäsiven Füllsäulen zur Verwahrung von Schächten
- Einbauorte von Strömungsbarrieren
- Magnesiabinder: Zusammensetzung, Erhärtung und Einsatz im Bergbau
- Vorbemessungen Verfüllen und Verschluss der Schächte Asse 2 und Asse 4
- Vorsorgekonzept Laugenzutritte bei Verfüllung und Verschluss der Schächte Asse 2 und Asse 4
- Asse - Schacht 2 und Schacht 4: Nachweis zur Einhaltung der Grenztemperatur an der Oberfläche eines anstehenden Trümmercarnallitits
- Qualitätssicherungsmaßnahmen bei der Verfüllung der Schächte Asse 2 und Asse 4
- Gebirgsmechanische Stellungnahme zur Konzeptplanung "Verfüllen und Verschluss der Schächte 2 und 4 des Bergwerks Asse"

Eine von Prof. Dr. Voigt, TU BA Freiberg, verfasste Stellungnahme zum "Verfüll- und Verschlusskonzept für die Schließung der Tagesschächte 2 und 4 des Bergwerks Asse" liegt der Unterlage mit dem Hinweis, dass diese zurzeit überarbeitet und nach Vorlage ergänzt wird, nicht bei.

## **Bewertung (Defizite und Relevanz im Langzeitsicherheitsnachweis)**

### ***Zu (1) Anforderungen an die Schachtverschlüsse***

Im Verschlusskonzept (KAPPEI & EIKMEIER 2006) werden folgende generelle Vorgaben (Anforderungen) an die Schachtverschlüsse genannt:

- Die Funktion muss über einen Zeitraum von ca. 100.000 Jahren erfüllt werden
- Die Verfüll- und Verschlussmaterialien müssen entsprechend langzeitstabil sein
- Das Eindringen von Wässern aus dem Deckgebirge als auch das Auspressen von signifikanten Lösungsmengen aus der Grube muss mindestens über den Nachweiszeitraum verhindert werden
- Die Verfüllmaterialien unterhalb der Verschlussbauwerke müssen langzeitbeständig sein
- Die Verfüllsäulen müssen setzungsstabil sein
- Lastabtrag von max. 8 MPa Fluiddruck an Unterkante der Verschlussbauwerke
- Lastabtrag von 4,5 MPa Fluiddruck an der Oberkante der Verschlussbauwerke
- Während der Flutungsphase müssen die Verschlussbauwerke gegenüber einem Gasdruck von 2 MPa dicht sein
- Die integrale Lösungspermeabilität aus Verschlussbauwerk und angrenzendem Gebirge darf max.  $5 \times 10^{-16} \text{ m}^2$  betragen
- Der max. zulässige Volumenstrom darf  $0,1 \text{ m}^3/\text{a}$  nicht überschreiten
- Für die technische Bauausführung wird eine integrale Permeabilität von  $< 10^{-18} \text{ m}^2$  sowie ein Gaseindringdruck von 600 kPa erwartet
- Im Bereich der 800-m-Sohle und 700-m-Sohle muss eine Strömungsbarriere mit einer integralen Permeabilität von  $5 \times 10^{-16} \text{ m}^2$  vorhanden sein
- Aufgeschlossener Carnallitit ist vor Umlösung zu schützen
- Vorhandene Stahlbetonbauwerke im Schacht sind zu rauben oder einzukapseln

### Bewertung:

Die von KAPPEI & EIKMEIER (2006) an die Schachtverschlüsse gestellten Anforderungen sind im Wesentlichen nachvollziehbar und ausreichend für eine Bemessung der Bauwerke. Allerdings passen die Angaben zur maximal zulässigen Permeabilität nicht zum maximal zulässigen Volumenstrom. Um diesen Volumenstrom gewährleisten zu können, muss die maximal zulässige integrale Lösungspemeabilität im Bereich von  $10^{-18} \text{ m}^2$  liegen. Dies entspricht dem Erwartungswert bei der technischen Bauausführung. Unklar ist, ob die Erwartungswerte der Permeabilität und des Gaseindringdrucks ein Bemessungsziel und bei der Baustoffauswahl zu berücksichtigen sind. Zusätzlich sollte auch noch die Anforderung ergänzt werden, dass die thermische Zersetzung des Carnallitits infolge der Reaktionswärme der Baustoffe nicht erfolgen darf, zumal hierzu ein Nachweis in einer separaten Unterlage geführt wird.

Die dargestellten generellen Vorgaben (Anforderungen) an die Schachtverschlüsse sind für ein atomrechtliches PVF grundsätzlich ausreichend.

### ***Zu (2) historische Entwicklung und Stand der Technik von Schachtverschlüssen***

In KAPPEI & EIKMEIER (2006) ist in Anlage 7a ein Bericht zum Stand von Wissenschaft und Technik bei Schachtverfüllungen und -verschlüssen enthalten, in dem die Erfahrungen bei Planung und Bau von Schachtverschlüssen dargestellt sind. Weiterhin werden die Schachtverschlusskonzepte für das ERAM, für das Waste Isolation Pilot Plant (WIPP) in der USA und die Ergebnisse aus dem Forschungsprojekt zur Entwicklung und Erprobung eines Schachtverschlusskonzeptes im Bergwerk Salzdettfurth diskutiert. In Anlage 7b sind Referenzen zu kohäsiven Füllsäulen zur Verwahrung von Schächten im Salz und in der Steinkohle aufgeführt.

### Bewertung:

Der in Anlage 7a dargestellte Stand von Wissenschaft und Technik bei den Schachtverschlüssen ist für ein atomrechtliches PVF angemessen und ausreichend. Auf eine historische Entwicklung beim Bau von Verschlussystemen wird kurz eingegangen und es werden insbesondere die Erfahrungen bei der Verwahrung von Tagesschächten im Südharz dargestellt. Die in Anlage 7b aufgeführten Referenzen zeigen ausschließlich Verwahrungsmaßnahmen mit kohäsiven Baustoffen auf Zementbasis, wobei im Salinaranteil überwiegend Sole- oder Salzbetone verbaut worden sind. Ein Referenzprojekt, bei dem ein Sorelbeton als kohäsive Verfüllsäule eingebaut worden ist, wird nicht aufgeführt.

### ***Zu (3) mögliche Konstruktionsprinzipien***

Mögliche Konstruktionsprinzipien von Schachtverschlüssen werden ausschließlich in Anlage 7a "Stand von Wissenschaft und Technik bei Schachtverfüllungen und -verschlüssen" dargestellt. Als Konstruktionsprinzip für die Verschlüsse der Schächte Asse 2 und 4 wird im Schachtverschlusskonzept eine Vollverfüllung mit einer geschichteten Verfüllsäule mit integrierten Dichtelementen beschrieben (untere kohäsive Widerlagersäule aus Sorelbeton [teilweise mit Barriere- und Kapselfunktion], darüber liegende Dichtelemente und obere Widerlagersäule aus Schotter).

### Bewertung:

Das von KAPPEI & EIKMEIER (2006) für beide Schächte dargestellte Konstruktionsprinzip entspricht den Richtlinien (Vollverfüllung) und ist für den Verschluss von Tagesschächten im Salinar üblich. Eine Diskussion verschiedener Konstruktionsprinzipien findet ausschließlich in Anlage 7a "Stand von Wissenschaft und Technik bei Schachtverfüllungen und -verschlüssen" statt. Für das gewählte Konstruktionsprinzip wird eine redundante Wirkungsweise nur im Zusammenhang mit der Süßwasserdichtung (kombiniertes



Salzton/Bentonit-Element) erwähnt. Ob bei der Wahl des Konstruktionsprinzips eine redundante Auslegung oder eine konstruktive Diversität angestrebt worden ist, wird nicht weiter erläutert.

Die vorliegende Unterlage zu möglichen Konstruktionsprinzipien ist für ein atomrechtliches PFV nur bedingt geeignet. Insbesondere fehlt eine Diskussionen zu redundanten und diversitären Konstruktionsprinzipien bei der Ausgestaltung der Dichtelemente.

#### **Zu (4) mögliche Baustoffe:**

Nach KAPPEI & EIKMEIER (2006) ist für die Verfüllsäule im Salinarteil unterhalb der Dichtelemente ein kohäsiver Sorelbeton, für die Kurzzeitdichtung ein Dichtelement aus Schotter/Bitumen, für das Hauptdichtelement ebenfalls ein kohäsiver Sorelbeton, für die Süßwasserdichtung ein Element aus Salzton/Bentonit und für die Füllsäule oberhalb der Dichtelemente Schotter vorgesehen. Als Begründung für den Einbau einer kohäsiven Füllsäule aus Sorelbeton werden neben der Kapselwirkung und der Barrierewirkung des Sorelbetons auch die Langzeitbeständigkeit gegenüber Schutzfluid angeführt. Für die setzungsstabile Füllsäule oberhalb der Dichtelemente sollen Diabasschotter sowie im unteren Bereich, der mit Schutzfluid geflutet ist, Magnesitschotter verwendet werden.

Für den Sorelbeton werden zwei Rezepturen (A1 und 29.6 A2) genannt, wobei sich die Rezeptur A1 durch eine höhere Steifigkeit und Reaktionswärme auszeichnet. Die Rezeptur A1 soll für das Hauptdichtelement und für die kohäsive Füllsäule bevorzugt verwendet werden. In Anlage 9 (Magnesiabinder: Zusammensetzung, Erhärtung und Einsatz im Bergbau) werden die grundsätzlichen Eigenschaften und Anwendungsfelder von Magnesiabindern allgemein beschrieben.

#### Bewertung:

Das Schachtverschlusskonzept sieht vor, als Hauptdichtelement und unterhalb des Hauptdichtelements Sorelbeton als kohäsive Füllsäule einzusetzen. Als mögliche Baustoffe werden zwei Rezepturen (A1 und 29.6 A2) genannt, deren Materialeigenschaften nur allgemein beschrieben werden. Vor dem Hintergrund, dass der Einsatz von Sorelbeton als kohäsive Füllsäule und Dichtelement erstmalig in einem Schachtverschlusskonzept vorgesehen ist und dies demzufolge nicht dem Stand der Technik entsprechen kann, wäre eine bauphysikalische Charakterisierung der geplanten Sorelbetons notwendig. Diese liegt nicht vor. Die in Anlage 9 dargestellten Eigenschaften und Anwendungsfelder von Magnesiabindern sind allgemein und nehmen keinen direkten Bezug auf die geplanten Anwendungen bei den Schachtverschlüssen.

Als Süßwasserdichtung ist ein aus Salzton/Bentonit zweischichtig aufgebautes Dichtelement vorgesehen. Die Eignung von Bentonit als Baustoff für Dichtelemente wurde in verschiedenen Technikumsversuchen und im Forschungsprojekt Schachtverschluss Salzdetfurth nachgewiesen. Salztone wurden bereits in vielen Verschlusskonzepten als Dichtmaterial verwendet und werden auch als natürliches Analogon für die Langzeitstabilität von Bentonit herangezogen. Die Auswahl der Baustoffe für eine Süßwasserdichtung ist nachvollziehbar und entspricht dem Stand der Technik.

In der Füllsäule oberhalb der Dichtelemente ist im unteren Bereich (aus Gründen der Langzeitbeständigkeit gegenüber Schutzfluid) ein Magnesitschotter und im oberen Bereich Diabasschotter vorgesehen. Die bauphysikalische Eignung von Diabasschotter wurde im Rahmen eines Großversuchs im Forschungsprojekt Schachtverschluss Salzdetfurth nachgewiesen und der Einbau von Hartgesteinsschotter entspricht dem Stand der Technik. Angaben zur Materialbeschaffenheit des Magnesitschotters sowie der Nachweis, inwiefern auch dieser die erforderlichen bauphysikalischen Eigenschaften erfüllt, fehlen.

Insgesamt sind die vorhandenen Unterlagen bzw. Ausführungen zu den geplanten Baustoffen nur bedingt für ein atomrechtliches PFV geeignet.

### **Zu (5) Normen, Richtlinien und Rechtsvorschriften**

Im Schachtverschlusskonzept werden nur allgemeingültige Regeln aufgeführt, die sich aus dem bergbehördlichen Handeln, wie z. B. aus der Richtlinie des Oberbergamts in Clausthal-Zellerfeld für das Verfüllen und Abdecken von Tagesschächten vom 15.02.1996, ableiten lassen.

#### Bewertung:

Die im Verschlusskonzept (KAPPEI & EIKMEIER 2006) genannten allgemeingültigen Richtlinien beschränken sich ausschließlich auf das Konstruktionsprinzip und den Einbau der Schachtverschlussysteme, die sich aus den bergbehördlichen Richtlinien ableiten. Weitere Normen oder Rechtsvorschriften, die insbesondere das Sicherheitskonzept oder die Nachweisführung betreffen, werden nicht genannt. Insbesondere werden keine Normen/Richtlinien (z. B. EUROCODE oder SIA) genannt, welche die Einwirkungen auf Tragwerke, die Auslegung und Bemessung von Bauwerken sowie die Sicherheit und Gebrauchsfähigkeit von Tragwerken betreffen.

Die dargestellten allgemeingültigen Regeln sind für ein PFV nicht ausreichend.

### **Zu (6) geologische, hydrogeologische und bergbauliche Situation**

Eine Beschreibung der geologischen, hydrogeologischen und bergbaulichen Situation erfolgt in Kapitel 3 im Schachtverschlusskonzept und in den Anlagen 1, 2, 3, 4 und 6. Anlage 3 und 6 zeigen die jeweiligen Schichtenverzeichnisse für die Schächte 2 und 4, Anlage 1 zeigt einen geologischen Schnitt durch die Sattelstruktur und Anlage 2 und 4 zeigen die jeweiligen Schachtbilder.

#### Bewertung:

Die in KAPPEI & EIKMEIER (2006) dargestellten Informationen zur Geologie sind kurz und beschränken sich auf die wesentlichen Schichtenfolgen, die Teufe des Salzspiegels und die Stratigraphie der aufgeschlossenen Salzgesteine. Die dargestellten geologischen Informationen sind für das Planungskonzept ausreichend.

Hydrogeologische Informationen sind ausschließlich für den Schacht 2 vorhanden und beschränken sich nur auf die beim Abteufen des Schachts im Buntsandstein (bei ca. 102 m) und im Anhydritmittel 4 (bei ca. 376 m) aufgetretenen Zuflüssen. Für den Schacht 4 sind keine hydrogeologischen Informationen vorhanden.

Die bergbauliche Situation (angeschlagene Sohlen, Schachtausbau etc.) wird für beide Schächte ausreichend beschrieben. Nach Aussage von KAPPEI & EIKMEIER (2006) sind beide Schächte trocken.

Angaben zur Geomechanik (Aufteilung in Homogenbereiche, Gesteinsdichten bzw. Überlagerungsdichten, Festigkeitseigenschaften, Grundspannungszustand etc.) sind im Schachtverschlusskonzept oder in den Anlagen nicht vorhanden.

Da keine Unterlagen mit Angaben zur Geomechanik vorhanden sind, sind die vorgelegten Unterlagen nur bedingt für ein atomrechtliches PFV geeignet.

### **Zu (7) Gefährdungs- und Einwirkungsanalyse**

Hierzu sind keine Angaben in KAPPEI & EIKMEIER (2006) vorhanden.

### Bewertung:

Mit Hilfe einer Gefährdungs- und Einwirkungsanalyse werden alle theoretisch möglichen Gefährdungen/Einwirkungen auf das Bauwerk erfasst. Um die vollständige Erfassung aller Gefährdungen/Einwirkungen auf die Schachtverschlüsse zu gewährleisten, werden diese zu unterschiedlichen Zeitpunkten innerhalb der vorgegeben Bauwerksnutzungsdauer betrachtet. Üblicherweise wird in einem ersten Schritt ein Nutzungsplan für die Schachtverschlussbauwerke aufgestellt, in dem der jeweilig identifizierten Nutzungsphase des Bauwerks die Gebrauchsfähigkeitsziele zugeordnet werden.

Die möglichen Gefährdungen und Einwirken werden entsprechend ihrer zeitlichen Veränderung in ständige, veränderliche und außergewöhnliche Gefährdungen/Einwirkungen unterteilt. Alle drei Gefährdungen (ständig, veränderlich und außergewöhnlich) können in Abhängigkeit ihrer Intensität bzw. Stärke und ihrer Eintrittswahrscheinlichkeit Einfluss auf die zu errichtenden Bauwerkskonstruktionen ausüben. Auf Grundlage einer Leitgefahr und möglicher Begleitgefahren werden Gefährdungsbilder definiert, mit deren Hilfe die Schachtverschlussbauwerke entworfen und bemessen werden können.

Da in den von der GSF zum Schachtverschlusskonzept vorgelegten Unterlagen keine Gefährdungs- und Einwirkungsanalyse vorhanden ist, ist die Prüfung, ob das gewählte Konstruktionsprinzip bzw. die vorhandenen Bemessungen der Verschlussbauwerke vollständig und angemessen sind, nur eingeschränkt möglich.

Da keine Gefährdungs- und Einwirkungsanalyse vorliegt, sind die vorliegenden Unterlagen für ein atomrechtliches PFV nicht ausreichend.

### **Zu (8) Grundkonzepte für die Bauwerke inkl. Festlegung der Baustoffe**

In KAPPEI & EIKMEIER (2006) in den Kapiteln 4 und 5 werden die Schachtverfüllkonzepte sowie die für die Schachtabschnitte vorgesehenen Komponenten beschrieben. Nach Aussage von KAPPEI & EIKMEIER (2006) bedingen das Schließungskonzept sowie die geologischen Verhältnisse ein auf den Standort Asse konzipiertes Verfüllkonzept für die Schächte. Dabei werden für einzelne Verfüllabschnitte die Erfahrungen aus anderen bereits durchgeführten Schachtverfüllungen adaptiert. Unterhalb der Verschlussbauwerke müssen Teilbereiche der Verfüllsäule neben der setzungsstabilen Stützfunktion (Widerlager) auch eine Kapsel- oder Strömungsbarrierefunktion gewährleisten. Für beide Schächte sind vergleichbare Grundkonzepte mit folgenden Komponenten (Baustoffen) dargestellt:

- Setzungsstabile Füllsäulen aus Sorelbeton
- Strömungsbarrieren
- Füllsäulen mit Kapselfunktion
- Sofort wirksame Kurzzeitdichtung aus Bitumen
- Langzeitdichtung aus Sorelbeton
- Zweischichtiges Dichtelement aus Salztou und Bentonit
- Füllsäule aus Hartgesteinsschotter (z. B. Magnesitschotter) mit Schutzfluid geflutet
- Füllsäule aus Hartgesteinsschotter (z. B. Diabasschotter) mit NaCl-Lösung geflutet

### Bewertung:

Der grundsätzliche Aufbau der beiden Verschlussysteme ist in beiden Schächten gleich und besteht aus einer unteren Widerlagersäule (kohäsive Füllsäulen mit unterschiedlichen Funktionen), den Dichtelementen und einer oberen Widerlagersäule. Dies entspricht dem „klassischen“ Aufbau von Schachtverschlussystemen. Die unteren Dichtelemente werden, wie bei Verschlusskonzepten üblich, oberhalb der ersten angeschlagenen Sohle positioniert. Dagegen enden die oberen Dichtelemente (sie dienen üblicherweise als Süßwasserdichtung) bereits unterhalb des Salzspiegels. Dies ist ungewöhnlich für ein Verschlusskonzept im

Salinar. Normalerweise wird das obere Dichtelement immer oberhalb des Salzspiegels im Bereich des Hutgesteins oder Deckgebirges unterhalb des letzten Deckgebirgszuflusses angeordnet. Da sich gemäß hydrogeologischer Beschreibung im Schacht 2 eine Zutrittstelle im Anhydritmittel im Leinsteinsalz befindet, mag dies der Grund dafür sein, dass das obere Dichtelement unterhalb der Anhydritmittel bzw. des Salzspiegels angeordnet wird. Welche zusätzlichen Gefährdungen/Einwirkungen (es besteht somit eine hydraulische Verbindung zwischen dem Salinar und dem Deckgebirge über die obere Widerlagersäule aus Schotter) sich hieraus auf das Schachtverschlussbauwerk ergeben bzw. welche Auswirkungen damit verbunden sind, werden im Schachtverschlusskonzept nicht diskutiert.

Das Schachtverschlusskonzept basiert in erster Linie auf dem Einbau von kohäsiven Füllsäulen, einem sofort wirksamen Kurzzeitdichtelement (Bitumenelement), einem Hauptdichtelement aus Sorelbeton, einem Bentonit/Salzton-Dichtelement und Füllsäulen aus Hartgesteinsschotter. Unabhängig der der Funktion werden als mögliche Baustoffe für die kohäsiven Füllsäulen die beiden Sorelbetonrezepturen (A1 und 29.6 A2) genannt. Für das Hauptdichtelement ist die Rezeptur A1 vorgesehen. In KAPPEI & EIKMEIER (2006: Kap. 5.1.1) wird ausgeführt, dass ausreichende Festigkeitseigenschaften durch Laborversuche belegt sind und die Sorelbetons Permeabilitäten zwischen  $10^{-16} \text{ m}^2$  und  $10^{-19} \text{ m}^2$  aufweisen. Dagegen ist der Anlage 10 zu entnehmen, dass die Rezeptur 29.6 A2 nicht die in den Anforderungen formulierten Festigkeitseigenschaften in situ erreicht, so dass sich ggf. die Notwendigkeit ergibt, die Rezeptur zu modifizieren. Hier besteht ein Widerspruch in der Unterlage.

Entgegen dem Einbau von kohäsiven Füllsäulen aus Standardbetonen (auf Zementbasis) entspricht der Einbau von kohäsiven Füllsäulen aus Sorelbeton nach bisherigen Erkenntnissen nicht dem Stand der Technik bei Schachtverfüllungen/-verschlüssen. Dies zeigt auch die Anlage 7b, in der ausschließlich Referenzen mit Betonen auf Zementbasis aufgeführt sind. In Anlage 10 wird der Nachweis der Funktion einer kohäsiven Füllsäule dargestellt, bei dem das mechanische Verhalten von Schotter und Sorelbeton während einer rechnerisch simulierten Schachtverfüllung verglichen wird. Mit Hilfe dieses Vergleichs soll die Schachtverfüllung mit kohäsiven Füllsäulen aus Sorelbeton in den Stand der Technik versetzt werden. Grundsätzlich kann aber nur etwas dem Stand der Technik entsprechen, wenn es wissenschaftlich begründet, praktisch erprobt und ausreichend bewährt ist. Dies ist der Unterlage nicht zu entnehmen.

Nach Angaben von KAPPEI & EIKMEIER (2006) hat der Sorelbeton vergleichbare Festigkeitseigenschaften wie natürliche Evaporitgesteine. Eine genauere Auslegung der kohäsiven Füllsäulen soll mittels numerischer Verfahren in der Entwurfsplanung erfolgen. Die Auslaufsicherheit der Verfüllsäule soll durch ausreichend dimensionierte Widerlager - vorzugsweise aus Sorelbeton - gewährleistet werden. Inwieweit die Auslaufsicherheit im Bereich der angeschlagenen Sohlen bei der Verfüllung mit kohäsiven Füllsäulen überhaupt relevant ist, wird nicht begründet. Üblicherweise spielt die Auslaufsicherheit nur bei kohäsionslosen Baustoffen wie Schotter oder andere Schüttgütern eine Rolle.

Nach bisherigen Erkenntnissen sind Sorelbetone nur im  $\text{MgCl}_2$ -reichen Milieu langzeitstabil. Demzufolge muss der Zutritt von Wässern aus dem Deckgebirge bzw. an  $\text{MgCl}_2$  untersättigten Lösungen definitiv ausgeschlossen sein, da sonst die Langzeitstabilität des Hauptdichtelements und der kohäsiven Füllsäulen nicht nachweisbar ist. Daher muss für das gesamte Verschlussbauwerk der Nachweis erbracht werden, dass im Nachweiszeitraum (100.000 Jahre) immer ein Lösungstransport aus dem mit Schutzfluid gefüllten Grubengebäude stattfindet bzw. die kohäsiven Füllsäulen einschließlich der Dichtelemente eine „genügend große“ Permeabilität besitzen, die diffusive Wechselwirkungen mit Deckgebirgschwässern ausschließen lassen.

Unklar ist, inwiefern das kombinierte Bentonit/Salzton-Dichtelement als redundant gegenüber Zutritten aus dem Deckgebirge bezeichnet werden kann, da es aus den o. g. Gründen nur als redundantes System gegenüber Lösungsaustritten aus dem Grubengebäude wirken kann. Bei Lösungszutritten aus dem Deckgebirge ist neben der gesamten Füllsäule auch das Hauptdichtelement nicht langzeitstabil. In diesem Fall kann nur das Kurzzeitdichtelement als redundantes und diversitäres System wirken.

Des Weiteren sieht das Verschlusskonzept jeweils ein sofort wirksames Kurzzeitdichtelement aus Bitumen vor, das in eine langzeitstabile Schotterschicht eingebracht wird und zwischen zwei Widerlagern eingebunden ist. Das Kurzzeitdichtelement soll den Schacht gegen die eingepresste Druckluft abdichten, die das Grubengebäude während der Flutungsphase zusätzlich stabilisiert. Die aus dem pneumatischen Druck

(15 bis 20 bar) herrührenden Lasten sollen durch eine Vorspannung des Bitumens im Kurzzeitdichtelement kompensiert werden. Hierfür soll das Bitumen mit  $< 100\text{ °C}$  injiziert werden. Ein Beleg für die technische Machbarkeit der Bitumeninjektion ist in den Unterlagen nicht vorhanden.

Das Kurzzeitdichtelement soll mindestens 100 Jahre gebrauchstauglich sein. Gemäß Vorbemessung in Anlage 10 ist für das Schotter/Bitumenelement eine Einbaulänge von 3 m vorgesehen. Bei einer in Anlage 10 aufgeführten Bitumendegradationsrate von  $5,5 \times 10^{-6}$  m ergibt sich für den Nachweiszeitraum (100.000 Jahre) ein Bitumenverlust von 0,55 m. D. h., dass die Wirkungsweise des Bitumenelements mit großer Wahrscheinlichkeit über den gesamten Nachweiszeitraum gegeben ist. Da Bitumen gegenüber dem Schutzfluid undurchlässig ist und sich das Bitumenelement unterhalb des Hauptdichtelements befindet, wird das Hauptdichtelement erst bei nahezu vollständiger Bitumendegradation durchströmt. Welche Konsequenzen bzw. Gefährdungsbilder sich hieraus für das Hauptdichtelement ergeben, wird in dem Schachtverschlusskonzept nicht diskutiert.

Oberhalb der Verschlussbauwerke wird eine setzungsstabile Widerlagersäule aus Hartgesteinsschotter eingebaut, in der ggf. zusätzliche mineralische Zwischenschichten (um den Transport der Salzlösungen einzugrenzen) vorhanden sind. Die Notwendigkeit der Zwischenschichten wird in weiterführenden Planungen geprüft. Aus Gründen der Langzeitbeständigkeit wird der untere Bereich der Widerlagersäule, der mit Schutzfluid geflutet ist, mit Magnesitschotter verfüllt. Bereiche, in denen NaCl-Lösung vorhanden ist, werden mit Diabasschotter verfüllt. Woher die Informationen stammen, dass Diabasschotter im Schutzfluid-Milieu nicht langzeitstabil ist, ist nicht bekannt. Inwieweit diese Annahme auch Auswirkungen auf die bereits unterhalb des Schachtes 4 mit Diabasschotter verfüllte Kaverne hat, wird nicht diskutiert. Weiterhin sind keine bauphysikalischen Angaben zum Magnesitschotter vorhanden bzw. es liegen keine Materialkennwerte vor. Bei sämtlichen Betrachtungen werden nur die Kennwerte vom Diabasschotter verwendet.

Das Grundkonzept und die gewählten Baustoffe sowie die sich daraus ergebenden Wechselwirkungen bzw. Auswirkungen werden in den vorliegenden Unterlagen nicht ausreichend diskutiert. Für ein atomrechtliches PFV müssten die Unterlagen bezüglich der noch offenen Punkte ergänzt werden.

### ***Zu (9) Nachweis der Langzeitstabilität für die geplanten Baustoffe***

Grundsätzlich kommen als Baustoffe für die kohäsiven Füllsäulen und das Hauptdichtelement zwei Magnesiabinder (Rezeptur A1 und 29.6 A2) in Betracht. Nach Aussage von KAPPEI & EIKMEIER (2006) weisen Magnesiabinder nach Laborversuchen und thermodynamischen Berechnungen eine hohe Stabilität gegenüber  $\text{MgCl}_2$ -haltigen Lösungen, wie den Gleichgewichtslösungen Q und R des quinären Systems auf. Im Kontakt mit Schutzfluid kann der Magnesiabinder daher als geochemisch langzeitstabil eingestuft werden. Eine entsprechende Stellungnahme enthält Anlage 14 (fehlt in KAPPEI & EIKMEIER 2006).

Bezüglich der Langzeitstabilität von Bentonit/Salton wird auf natürliche Analoga bzw. Literatur verwiesen, die belegen, dass die Materialien sowohl in  $\text{MgCl}_2$ -reichen als auch in NaCl-dominierten Lösungen langzeitstabil sind.

Oberhalb der Verschlussbauwerke werden die Schächte mit setzungsstabilen Hartgesteinsschotter verfüllt. Im unteren Bereich der Schottersäule, der mit Schutzfluid geflutet wird, soll ein langzeitstabiler Magnesitschotter verwendet werden. In Bereichen, die mit NaCl-Lösung geflutet werden, ist der Einsatz von Diabasschotter vorgesehen.

#### **Bewertung:**

Ein Nachweis zur Langzeitbeständigkeit der Magnesiabinder liegt nicht vor bzw. wird vermutlich in Anlage 14 enthalten sein. Entsprechend eigenen BfS-Untersuchungen zur Korrosionsstabilität von Magnesiabindern bei der GRS Braunschweig ist aber davon auszugehen, dass Magnesiabinder in einem  $\text{MgCl}_2$ -reichen Milieu langzeitstabil sind. Im Kontakt mit  $\text{MgCl}_2$ -armen Salzlösungen oder Süßwässern sind diese Baustoffe nicht langzeitstabil.

Ein separater Nachweis zur Langzeitbeständigkeit von Bentonit und Salzton ist im Schachtverschlusskonzept nicht enthalten. Es wird vielmehr auf andere Projekte bzw. Veröffentlichungen verwiesen, die die Langzeitbeständigkeit anhand natürlicher Analoga belegen. Da die natürlichen Analoga auch dem BfS bekannt sind, kann daher die Aussage, dass Bentonit/Salzton sowohl in  $MgCl_2$ -reichen als auch in NaCl-dominierten Lösungen langzeitstabil sind, nachvollzogen werden und entspricht dem Stand von Wissenschaft und Technik.

Ein separater Nachweis oder Literaturangaben, die insbesondere die Langzeitbeständigkeit von Magnesitschotter betreffen, sind nicht vorhanden. Aus dem Forschungsprojekt Schachtverschluss Salzdetfurth ist nur bekannt, dass die Langzeitbeständigkeit von Basalt und Diabas durch natürliche Analoga nachgewiesen ist.

Da in den vorliegenden Unterlagen die Langzeitstabilität nicht für alle Baustoffe belegt wird bzw. auch eine Anlage fehlt, sind die Unterlagen diesbezüglich nicht für ein atomrechtliches PFV ausreichend.

### **Zu (10) Bauwerksentwürfe**

In dem Schachtverschlusskonzept sind die beiden Bauwerksentwürfe wie folgt beschrieben und in mehreren Anlagen zeichnerisch dargestellt.

- |    |                 |  |
|----|-----------------|--|
| a) | Schacht 2       |  |
|    | 950 m bis 790 m | setzungsstabile Füllsäule aus Sorelbeton                               |
|    | 790 m bis 704 m | Strömungsbarriere (Sorelbeton)   |
|    | 704 m bis 553 m | Füllsäule mit Kapselfunktion (Sorelbeton)                              |
|    | 553 m bis 478 m | setzungsstabile Füllsäule aus Sorelbeton                               |
|    | 478 m bis 470 m | sofort wirksame Kurzzeitdichtung aus Bitumen                           |
|    | 470 m bis 440 m | Langzeitdichtung aus Sorelbeton  |
|    | 440 m bis 420 m | zweischichtiges Dichtelement aus Salzton und Bentonit                  |
|    | 420 m bis 395 m | Hartgesteinsschotter (z. B. Magnesitschotter) mit Schutzfluid geflutet |
|    | 395 m bis 0 m   | Hartgesteinsschotter (z. B. Diabasschotter) mit NaCl-Lösung geflutet   |
| b) | Schacht 4       |  |
|    | 996 m bis 955 m | mit Diabasschotter verfüllte Kaverne                                   |
|    | 955 m bis 935 m | setzungsstabile Füllsäule aus Sorelbeton                               |
|    | 935 m bis 924 m | Füllsäule mit Kapselfunktion (Sorelbeton)                              |
|    | 924 m bis 790 m | setzungsstabile Füllsäule aus Sorelbeton                               |
|    | 790 m bis 700 m | Strömungsbarriere (Sorelbeton)   |
|    | 700 m bis 490 m | Füllsäule mit Kapselfunktion (Sorelbeton)                              |
|    | 490 m bis 474 m | setzungsstabile Füllsäule aus Sorelbeton                               |
|    | 474 m bis 466 m | sofort wirksame Kurzzeitdichtung aus Bitumen                           |
|    | 466 m bis 436 m | Langzeitdichtung aus Sorelbeton  |
|    | 436 m bis 416 m | zweischichtiges Dichtelement aus Salzton und Bentonit                  |
|    | 416 m bis 391 m | Hartgesteinsschotter (z. B. Magnesitschotter) mit Schutzfluid geflutet |
|    | 391 m bis 0 m   | Hartgesteinsschotter (z. B. Diabasschotter) mit NaCl-Lösung geflutet   |

Die sich im unteren Teil des Schachts 4 anschließende Kaverne ist bereits mit Diabasschotter bzw. der Kavernenhals mit Sorelbeton verfüllt. Unterhalb von Schacht 4 verbleibt in der ehemaligen Entladeanlage der Stahlsalzbeton des Kavernenabschlussbauwerks zwischen etwa 926 m und 930 m. Zur Vermeidung einer Hohlraumbildung durch die Betonkorrosion bei Kontakt mit Schutzfluid wird der Stahlsalzbeton mit Sorelbeton eingekapselt.

Der Sorelbeton für die setzungsstabilen Füllsäulen muss den vorhandenen Hohlraum vollständig ausfüllen, darf nicht kompaktierbar sein und muss eine ausreichende Steifigkeit besitzen. Der Nachweis der Setzungsstabilität erfolgte für die weniger steife Rezeptur 29.6 A2 gemäß Silotheorie in Anlage 10.

Die Auslaufsicherheit der kohäsiven Verfüllsäulen wird durch ausreichend dimensionierte Widerlager - vorzugsweise aus Sorelbeton - gewährleistet.

Mit Hilfe der Kapselfunktion des Sorelbetons wird der partiell in den Schächten anstehende Carnallit (bzw. auch der Stahlsalzbeton im Schacht 4) vor Umlöseprozessen geschützt. Der Einbau von Strömungsbarrieren in den kohäsiven Füllsäulen soll die Lösungsbewegungen im Grubengebäude bzw. zwischen den angeschlagenen Sohlen deutlich begrenzen. Für beide Funktionen (Kapsel- und Barrierefunktion) werden gleiche Permeabilitätsanforderungen (Lösungspermeabilitäten von  $10^{-16} \text{ m}^2$  bis  $10^{-19} \text{ m}^2$ ) an die Sorelbetons gestellt.

Die sofort wirksame Kurzzeitdichtung besteht aus Schotter/Bitumen und wird zwischen zwei Sorelbetonwiderlager eingebaut. Die Kurzzeitdichtung (Wirksamkeit mindestens 100 Jahre) soll das Grubengebäude während der Flutungsphase gegen die eingepresste Druckluft abdichten.

Das Hauptdichtelement besteht aus einer kohäsiven Füllsäule der Rezeptur A1. Die erforderliche integrale hydraulische Leitfähigkeit wird durch die niedrige Permeabilität des Sorelbetons und den Verbund des Baustoffs mit dem Gebirge erreicht.

Gegen Zuflüsse von wässrigen Lösungen aus dem Deckgebirge ist ein kombiniertes Dichtelement aus Bentonit und Salztön vorgesehen. Im oberen Teil wird ein Bentonitdichtelement eingebaut, welches aus einem binären Gemisch besteht. Der notwendige Quelldruck ( $> 1 \text{ MPa}$ ) wird über die Trockenrohichte eingestellt. Unterhalb des Bentonits wird ein ausgeprägt plastischer inerter Ton (quellfähiger Anteil  $< 5 \%$ ) eingebaut. Durch den lagenweisen, verdichteten Einbau können Durchlässigkeiten bis zu  $10^{-11} \text{ m/s}$  erreicht werden. Die Lagestabilität des kombinierten Dichtelements wird durch die Widerlagerfunktion der darunter liegenden kohäsiven Füllsäulen sowie dem darüber liegenden Schotterwiderlager gewährleistet. Oberhalb des kombinierten Dichtelements wird eine in der Körnung abgestufte Filterschicht aus Schotter, Split und Sand eingebaut.

Eine genauere Auslegung sämtlicher Verschlusskomponenten soll mittels numerischer Verfahren in der Entwurfsplanung erfolgen.

Oberhalb der Verschlussbauwerke wird eine setzungsstabile Widerlagersäule aus Hartgesteinsschotter eingebaut, in der ggf. zusätzliche mineralische Zwischenschichten (um den Transport der Salzlösungen einzugrenzen) vorhanden sind. Die Notwendigkeit der Zwischenschichten wird in weiterführenden Planungen geprüft. Der untere Bereich der Widerlagersäule wird mit Schutzfluid geflutet und daher mit einem langzeitstabilen Magnesitschotter verfüllt. Im darüber liegenden und mit NaCl-Lösung gefluteten Bereich ist der Einsatz von Diabasschotter vorgesehen.

Die Bauwerksentwürfe sehen vor, dass der Schachtausbau in Schacht 2 oberhalb 415 m Teufe (Tübbing- und Vorbausäule) sowie im Schacht 4 oberhalb 396 m Teufe (Verrohrung) nicht geraubt wird.

#### Bewertung:

Mit Ausnahme der unterhalb des Schachtes 4 anschließenden Kaverne und der sich daraus ergebenden Einkapselung der dort vorhandenen Stahlsalzbetone sind die Bauwerksentwürfe für beide Schächte identisch. Ohne diese Einkapselung kann die Vollverfüllung im Schacht 4 nicht gewährleistet werden, da der Beton durch Korrosion zersetzt wird. Eine separate Betrachtung, dass der Korrosionsschutz über den Nachweiszeitraum gewährleistet ist, liegt nicht vor bzw. es wird hier auf eine gesonderte Planungsunterlage (Sonderbetriebsplan) zum Verfüllen des Kavernenhalses verwiesen.

Um den im Schacht aufgeschlossenen Carnallit während des Einbaus des Sorelbetons vor thermischer Zersetzung infolge der Reaktionswärme beim Abbinden zu schützen, dürfen im Kontaktbereich Carnalli-

tit/Sorelbeton keine Temperaturen  $> 80\text{ °C}$  ( $> 100\text{ °C}$  beim Stahlsalzbeton) auftreten. Diese Grenztemperatur wird gemäß Anlage 12 (Nachweis zur Einhaltung der Grenztemperatur) von beiden Rezepturen (A1 und 29.6 A2) eingehalten.

Um eine entsprechende Vorspannung (15 bis 20 bar) des Kurzzeitdichtelements gewährleisten zu können, soll dies mit heißem Bitumen ( $< 100\text{ °C}$ ) injiziert werden. Gemäß technischen Beschreibungen liegen die Mindestpumptemperaturen für die genannten Bitumina zwischen  $100\text{ °C}$  und  $120\text{ °C}$  und damit oberhalb der Grenztemperatur von  $100\text{ °C}$ . Inwiefern eine Nachinjektion bzw. Druckhaltung des abgekühlten Bitumenpfropfens über die geplante Verrohrung im Widerlager möglich ist, wird nicht diskutiert. Da aufgrund der kleineren Dichte das Bitumen immer auf dem ggf. anstehenden Schutzfluid schwimmt, wirkt die Kurzzeitdichtung während der Bitumenlebensdauer auch als redundantes und diversitäres Dichtelement und verhindert eine Durchströmung des darüber liegenden Hauptdichtelements.

Gemäß Bauwerksentwurf wird der wasserdichte Ausbau (Tübbing-/Vorbausäule bzw. Verrohrung) oberhalb der Süßwasserdichtung nicht geraubt. Da der wasserdichte Ausbau bereits unterhalb des Salzspiegels beginnt und dieser Bereich mit Magnesitschotter verfüllt und mit Schutzfluid geflutet werden soll, ist eine Korrosion des wasserdichten Ausbaus bzw. des Tübbingausbaus anzunehmen. Bei Korrosion des wasserdichten Ausbaus unterhalb des Salzspiegels ist eine hydraulisch wirksame Trennung zwischen Salinar und Deckgebirge nicht mehr gegeben. Inwieweit auch der Zutritt von untersättigten Lösungen über die Anhydritmittel möglich ist, wird nicht weiter erörtert bzw. muss bei diesem Bauwerksentwurf definitiv ausgeschlossen werden.

Die dargestellten Bauwerksentwürfe bzw. auch das gewählte Konstruktionsprinzip und die gewählten Baustoffe (siehe auch Bewertung zu (8)) werfen an einigen Stellen noch Fragen auf, die nicht ausreichend diskutiert oder beantwortet werden. Daher ist der notwendige Tiefgang für ein atomrechtliches PFV nicht gegeben.

### ***Zu (11) Tragfähigkeits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweis***

Das Schachtverschlusskonzept enthält in Anlage 10 eine Vorbemessung für die Schachtverschlüsse der Schächte 2 und 4. Die für die Vorbemessung notwendigen Materialparameter wurden auf der sicheren Seite liegend abgeschätzt. Eine genaue Auslegung erfolgt erst, wenn die Materialeigenschaften im Detail ermittelt sind und genaue Kennwerte vorliegen. Die Vorbemessung zeigt, dass die Schachtverschlüsse rechnerisch nachweisbar sind.

Die Vorbemessung enthält einen überschlägigen Nachweis der Tragsicherheit und eine Abschätzung der Setzung. Bei der Vorbemessung wird zwischen dem trockenen Zustand (maßgeblich für die konservative Abschätzung der Setzung der Schottersäule) und dem gefluteten Zustand (maßgeblich für die Belastung der Dichtelemente) unterschieden. Da der Schacht 4 einen geringeren Querschnitt als der Schacht 2 besitzt, sind die Vorbemessungen für den Schacht 2 abdeckend.

Für den Schacht 2 werden im trockenen Zustand Gesamtsetzungen von 1,64 m (Schottersäule: 0,28 m, Bentonitabschnitt: 0,78 m, Salztonabschnitt: 0,58 m) berechnet. Die kohäsiv mit dem Salzgebirge verbundenen Füllsäulen aus Sorelbeton führen zu keinen weiteren Setzungen, da das Eigengewicht kontinuierlich in das Gebirge eingetragen wird.

Der Nachweis der Standsicherheit (Tragfähigkeit) erfolgt durch Vergleich von erforderlicher und vorhandener Länge des Hauptdichtelements, um die vorhandenen Schub- bzw. Biegespannungen sicher abtragen zu können. Für den Lastabtrag werden Längen von 0,85 m bzw. 2,43 m berechnet, die deutlich kleiner sind, als die vorhandene Einbaulänge des Hauptdichtelements von 30 m.

Im gefluteten Zustand werden an der Oberkante der Süßwasserdichtung Druckbelastungen von 4,5 MPa und an der Unterkante des Hauptdichtelements von 8 MPa angesetzt. Die Druckdifferenz von 3,5 MPa wird kontinuierlich über die gesamte Länge der Dichtelemente (50 m) linear abgetragen. Für eine Bewertung wird



bei dem Bentonit- und Salzionabschnitt das Laugendruckkriterium und bei dem Hauptdichtelement der Vergleich von vorhandener und notwendiger Länge für den Lastabtrag herangezogen.

#### Bewertung:

Im Schachtverschlusskonzept ist lediglich eine Tragfähigkeitsanalyse im Rahmen einer Vorbemessung erfolgt. Hierbei wird im Wesentlichen gezeigt, dass die aus den Fluidrücken herrührenden Lasten durch die vorhandenen Bauwerke sicher in das Gebirge abgetragen werden können und dass das Bauwerk hierdurch nicht unzulässig beansprucht wird. Beanspruchungen, die aus dem Gebirge bzw. aus dem dort vorhandenen Primärspannungszustand auf die Bauwerke wirken, werden nicht betrachtet.

Für den Nachweis der Gebrauchstauglichkeit des Bentonit/Salzion-Dichtelements müssen die Vertikalverschiebungen betrachtet werden, da z. B. infolge der Setzung eine Auflockerung des Bentonitelements stattfinden kann, welches zu einer Verringerung der Einbaudichte und letztendlich zum Verlust des Quelldrucks führen kann. Insbesondere werden bei den Setzungsbetrachtungen für den Salzion Setzungen von 0,58 m ausgewiesen, die einen erheblichen Einfluss auf die Einbaudichte des Bentonits haben.

Weiterhin fehlt der Nachweis, dass das Hauptdichtelement den Kontaktbereich zwischen Dichtmaterial und Gebirge dauerhaft abdichtet. Diesbezüglich wird zwar auf den Bau einer Pilotströmungsbarriere in einer Strecke und den Quelleigenschaften verwiesen, jedoch sind keine Angaben hinsichtlich der erreichten und notwendigen Quelldrücke vorhanden. Andererseits darf der Quelldruck des Sorelbetons nicht zu einem Frac im Gebirge führen.

In Anlage 10 wird ausgeführt, dass der Sorelbeton einen niedrigen Versatzwiderstand bei niedrigen Verzerrungsgeschwindigkeiten aufweist. Welche Auswirkungen sich hieraus auf die Tragfähigkeit des Verschlussbauwerks ergeben können bzw. welche Auswirkungen dies auf die Zulässigkeit der Bauwerksbeanspruchung haben kann, wird nicht diskutiert.

Insbesondere fehlt beim Gebrauchstauglichkeitsnachweis des Hauptdichtelements, das aus Sorelbeton errichtet wird, eine Betrachtung zur Rissfreiheit des Betonkörpers nach dem Abbinden. Es wird zwar darauf hingewiesen, dass beim Bau der Pilotströmungsbarriere keine maßgeblichen Risse aufgetreten sind und die geforderte Permeabilität erreicht worden ist, jedoch ist dies nicht ausreichend für einen Gebrauchstauglichkeitsnachweis.

Grundsätzlich ist festzuhalten, dass kein vollständiger Nachweis zur Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit der Schachtverschlüsse vorliegt. Bemessungsziele und Kriterien werden nur vereinzelt im Rahmen einer Vorbemessung genannt, wobei die für die Vorbemessung notwendigen Materialparameter abgeschätzt worden sind. Der Tiefgang der vorliegenden Nachweisführungen ist nicht für ein atomrechtliches PFV geeignet.

#### ***Zu (12) geohydraulische Berechnungen***

Im Schachtverschlusskonzept sind keine hydraulischen Berechnungen vorhanden.

#### Bewertung:

Gemäß den Anforderungen in KAPPEL & EIKMEIER (2006) dürfen durch die Schachtverschlüsse maximal  $0,1 \text{ m}^3/\text{a}$  Lösung aus dem Grubengebäude bzw. in das Grubengebäude gelangen. Ob die Anforderung eingehalten wird, kann nur mit hydraulischen Berechnungen nachgewiesen werden, die nicht vorliegen. Weiterhin werden keine konkreten Permeabilitätsanforderungen an die Verschlussbauwerke gestellt, sondern es wird nur eine allgemeine Permeabilitätsspanne von  $10^{-16} \text{ m}^2$  bis  $10^{-19} \text{ m}^2$  für die Sorelbetone und von  $10^{-17} \text{ m}^2$  bis  $10^{-18} \text{ m}^2$  für den Bentonit und Salzion angegeben.

Überschlägige Berechnungen zeigen, dass bei einer Gesamtlänge der Dichtelemente von 50 m (30 m Hauptdichtelement + 20 m Bentonit/Salzion-Element) eine Permeabilität von mindestens  $6,40 \times 10^{-18} \text{ m}^2$

(entspricht einer Durchlässigkeit von  $1,45 \times 10^{-11}$  m/s) erforderlich ist, damit der zulässige Volumenstrom von  $0,1 \text{ m}^3/\text{a}$  eingehalten werden kann. Dieser Wert liegt im unteren Bereich der genannten Permeabilitäts-spanne. Permeabilitäten von  $10^{-16} \text{ m}^2$  oder  $10^{-17} \text{ m}^2$  sind nicht ausreichend für die Einhaltung des Volumenstroms.

Da weder hydraulische Berechnungen noch konkrete Permeabilitätswerte für die geplanten Dichtelemente bzw. auch keine Vorgaben aus dem LZSN bezüglich maximal zulässiger Permeabilitäten oder notwendiger Bauwerksgeometrien vorliegen, ist keine Bewertung der Gebrauchstauglichkeit der Schachtverschlüsse möglich. Dies entspricht nicht dem Tiefgang für ein atomrechtliches PVF.

### **Zu (13) ingenieurtechnische Einschätzung**

In KAPPEI & EIKMEIER (2006: Anl. 15) ist lediglich eine gebirgsmechanische Stellungnahme zur Konzeptplanung vorhanden.

#### Bewertung:

Die vorliegenden Unterlagen enthalten keine ingenieurtechnischen Einschätzungen zum erreichten Sicherheitsniveau bzw. Bewertungen, ob das vorgestellte Verschlusskonzept für alle Belastungsszenarien die Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit gewährleistet. Die in Anlage 15 vorhandene gebirgsmechanische Stellungnahme führt lediglich aus, dass aus gebirgsmechanischer Sicht keine Einwände gegen die Konzeptplanung bestehen.

Eine ingenieurtechnische Einschätzung ist zwar für ein atomrechtliches PFV nicht zwingend erforderlich (hier sind im Wesentlichen nur die geführten Nachweise entscheidend), ist aber für eine zusammenfassende Bewertung des Gesamtkonzeptes sehr hilfreich.

### **Zu (14) Qualitätssicherung**

Das Verschlusskonzept enthält in Anlage 14 eine Unterlage zu „Qualitätssicherungsmaßnahmen bei der Verfüllung der Schächte Asse 2 und 4“.

#### Bewertung:

Das vorliegende Qualitätssicherungskonzept beschreibt neben allgemeinen Grundsätzen der Qualitätssicherung auch die für die jeweilig geplanten Baustoffe erforderlichen Überwachungsschritte der Eigen- und Fremdüberwachung. Weiterhin werden qualitätsrelevante Parameter benannt, die bei Lieferung, Lagerung und Verarbeitung der Baustoffe zu überwachen sind.

Der Tiefgang der vorliegenden Unterlage ist für ein atomrechtliches PFV geeignet.

### **Zusammenfassende Bewertung aller in einem atomrechtlichen PFV für den Bereich der Schachtverschlusssysteme untersuchten Sachverhalte**

Im direkten Vergleich zum PFV zur Stilllegung des ERAM haben in der geprüften Unterlage nur drei der als sicherheitsrelevant eingestuft Sachverhalte einen als ausreichend einzustufenden Tiefgang. Im Einzelnen sind das die Anforderungen an die Bemessung der Bauwerke zum Schachtverschluss, die Darstellung von Wissenschaft und Technik bei der Schachtverfüllung sowie das Qualitätssicherungskonzept.

Bei der geprüften Unterlage werden die Punkte zu den möglichen Konstruktionsprinzipien, den möglichen Baustoffen und die Beschreibung der geologischen, hydrogeologischen und bergbaulichen Situation als bedingt geeignet für ein atomrechtliches PFV angesehen. Diese Sachverhalte erreichen an einigen Stellen

noch nicht den benötigten Tiefgang bzw. es fehlt an einer ausreichenden Belegdichte der Daten oder es wären weiterführende Untersuchungen wünschenswert.

Die Darstellungen zu den Sachverhalten Normen, Richtlinien und Rechtsvorschriften, Gefährdungs- und Einwirkungsanalyse, Grundkonzepte für die Bauwerke inkl. Festlegung der Baustoffe, Nachweis der Langzeitstabilität für die geplanten Baustoffe, Bauwerksentwürfe, Tragfähigkeits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweis, geohydraulische Berechnungen sowie die ingenieurtechnische Einschätzung sind für ein atomrechtliches PFV nicht ausreichend bzw. teilweise gar nicht vorhanden.

## 5 DISKUSSION DES SICHERHEITS- UND NACHWEISKONZEPTE

Die GSF geht davon aus, dass der vollständige trockene Einschluss des Endlagers bei den gegebenen Standortbedingungen nicht zu gewährleisten ist. Das Sicherheitskonzept wird aus den einzuhaltenden Schutzziele unter Berücksichtigung der Standortbedingungen abgeleitet und umfasst nach BUHMANN, FÖRSTER & RESELE (2006) folgende Punkte:

- Stabilisierung des Tragsystems der Schachtanlage Asse II
- Begrenzung bzw. Behinderung der Schadstoffmobilisierung aus den Abfallgebänden
- Begrenzung bzw. Behinderung der Lösungsbewegungen im Grubengebäude
- Verzögerung des Radionuklidtransports im Grubengebäude
- Vermeidung von direkten Wegsamkeiten zwischen ELK und Deckgebirge
- Unterbindung eines Lösungszutritts und -austritts über die Tagesschächte

Es ist beabsichtigt, ein Multibarrierensystem zu realisieren. Dabei haben die Barrieren unterschiedliche Funktionen, und entsprechen nicht denen eines üblichen Mehrbarrierenkonzepts (BMI 1983; Abfallform, Verpackung, Versatz, Endlagerformation, Deckgebirge/Nebengebirge). Die Langzeitsicherheit des verfüllten und verschlossenen Forschungsbergwerkes Asse wird in Bezug auf die radiologischen und wasserrechtlichen Schutzziele nicht nach der national und international verfolgten Strategie des Einschlusses (Isolation und Konzentration) bei der Errichtung von Endlagern sichergestellt. Es sind keine geringdurchlässigen technischen Barrieren und geologischen Schutzschichten, welche die Schadstofffreisetzung verhindern oder begrenzen; der Nachweis der Einhaltung der radiologischen und wasserrechtlichen Schutzziele basiert vielmehr auf folgenden wesentlichen, durch technische Maßnahmen sicherzustellenden, Sicherheitsfunktionen:

- Herstellung eines langfristig prognostizierbaren Zustandes des Endlagersystems (im Wesentlichen durch die Schutzfluidverfüllung)
- 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)
- Transportverzögerung in der Grube durch Vermeidung/Begrenzung von kanalisiertem, kurzen Wegen (im Wesentlichen durch „Strömungsbarrieren“)
- Verringerung der Konvergenz und damit der Rate der Lösungsauspressung in das Deckgebirge (Feststoffversatz und Schutzfluid)

Weitere Prozesse bzw. Sachverhalte bestimmen maßgeblich, aber unabhängig von den durchgeführten technischen Maßnahmen die Begrenzung der Freisetzung von Schadstoffen aus dem Endlager. Dies sind:

- Verdünnung im Grubengebäude
- Transportverzögerung im Deckgebirge

Die Vorgehensweise zum Nachweis der Langzeitsicherheit orientiert sich an den nationalen Richtlinien und internationalen Empfehlungen. Der LZSN basiert insgesamt auf einer Langzeitsicherheitsanalyse mit vorgeschalteter Analyse der Szenarien des Nah- und Fernfeldes. Als radiologisches Bewertungskriterium wird die potentielle maximale Jahresdosis einer erwachsenen Referenzperson ermittelt. Zusätzlich werden alternative Sicherheits- und Funktionsindikatoren betrachtet. Für einzelne der o. g. maßgeblichen Prozesse bzw. Sachverhalte, welche als Sicherheitsfunktionen des Systems definiert sind, müssen jedoch weitere Nachweise erfolgen. Der Nachweis der Wirksamkeit der maßgeblichen Prozesse bzw. Sachverhalte erfolgt im Wesentlichen durch ihre Berücksichtigung im LZSN. Die Machbarkeit und (langfristige) Funktion sind gesondert zu belegen. Dies betrifft die o. g. Punkte „geochemische Barriere“ und „Strömungsbarrieren“. Für die nicht auf technischen Maßnahmen, sondern auf den natürlich gegebenen oder sich einstellenden

Prozessen/Sachverhalten beruhenden Effekte (z. B. Transportverzögerung in der Grube), sind belastbare Nachweise für ihre Existenz und ihre modellierten Eigenschaften zu erbringen.

Dieses Nachweiskonzept wurde weitgehend umgesetzt. Die Nachweise für die „geochemische Barriere“ wurden erstellt und zum Teil durch Versuche abgesichert. Der Nachweis für die Strömungsbarrieren wird laut GSF durch „Pilotbauwerke“ erbracht (gegenständlicher Nachweis; Unterlagen dazu liegen dem BfS nicht vor). Die Nachweise für die weiteren Prozesse und Sachverhalte werden durch ihre Beschreibung und Dokumentation der Datenbasis geführt.

Eine differenzierte Bewertung der Nachweise kann durch das BfS nicht erfolgen, da nur ein (kleiner) Teil der Unterlagen vorliegt. Folgende Feststellungen können jedoch getroffen werden:

- Der Nachweis zur „geochemischen Barriere“ liegt vor, beruht jedoch im Wesentlichen auf Modellbetrachtungen (Funktion und Wirksamkeit). Die technische Machbarkeit (Mg-Depots) wird vom BfS als nicht kritisch eingeschätzt. Jedoch können die Aspekte des Strahlenschutzes nicht beurteilt werden, da hierzu keine Unterlagen vorliegen (siehe Kapitel 3.2.4).
- Der Nachweis der Transportverzögerung durch Strömungsbarrieren ist aufgrund der fehlenden Nachweise ihrer technischen Machbarkeit und ihrer dauerhaften Funktion in den vorliegenden Unterlagen nicht erbracht.
- Daten für weitere im LZSN unterstellte wesentliche Prozesse/Sachverhalte bzw. nachzuweisende Eigenschaften sind vollständig beschrieben, jedoch nicht ausreichend belegt. Unsicherheiten in den Daten werden allerdings durch die Betrachtung von alternativen Szenarien, Parametervariationen und Unsicherheitsanalysen weitgehend berücksichtigt.

Es sind für weitere, als grundlegende Voraussetzung bzw. grundlegende Annahme in den LZSN eingehende, Prozesse/Sachverhalte Nachweise zu erbringen, ohne deren Vorliegen der Nachweis der Langzeitsicherheit absolut nicht möglich ist. Von besonderer Bedeutung für die Stilllegung des Forschungsbergwerkes Asse sind dabei der Schachtverschluss und die Druckluftbeaufschlagung während der Flutungsphase zur Gewährleistung definierter Verhältnisse. Diese Nachweise liegen zum Teil nicht vor (Druckluftbeaufschlagung) bzw. bedürfen der Fortentwicklung (Schachtverschluss).

Das Sicherheitskonzept berücksichtigt die standortspezifischen Gegebenheiten und ist folgerichtig. Wesentliches Element ist zunächst die Herstellung und Gewährleistung langfristig definierter bergbaulicher Verhältnisse durch die Einleitung von Schutzfluid. Damit wird eine Prognostizierbarkeit der Entwicklung des Endlagersystems erst möglich. Aufgrund der Spezifik des Endlagersystems ist der Aufbau eines gestaffelten Sicherheitssystems („defense in depth“) nur eingeschränkt möglich. Es bestehen jedoch Sicherheitsreserven, da die Sorption im Deckgebirge nicht berücksichtigt wurde.

Auf Basis der Ergebnisse der Modellrechnungen zur Radionuklidenausbreitung im Referenzszenarium mit unterschiedlichen Parametersätzen (Parametervariation) ist das Endlagersystem Asse als weitgehend robust einzuschätzen. Die Robustheit des Systems ist jedoch für bestimmte Szenarien bzw. Szenarienkombinationen eingeschränkt. Dies gilt z. B. für den Fall, dass

- eine pneumatische Druckbeaufschlagung nicht gelingt oder nicht die gewünschten Effekte erzeugt,
- die technischen Maßnahmen zur Transportverzögerung oder
- die technischen Maßnahmen zur Begrenzung Mobilisierung von Radionukliden

nicht wie geplant wirken. Eine weitere Einschränkung der Robustheit des Systems betrifft die Ausbreitung im Deckgebirge. Falls im Deckgebirge keine hydraulischen Wegsamkeiten von der Flanke der Salzstruktur über den Muschelkalk bestehen (und die Lösungsausbreitung z. B. direkt über den Rötanhydrit in das Hutgestein und verstürzte Deckgebirge erfolgt), ergeben sich signifikant höhere Maxima der potentiellen Strahlenexposition.

Das gewählte Sicherheitskonzept ist abhängig von der Realisierbarkeit der zugrunde liegenden Maßnahmen. Sollte es im Zusammenhang mit anzunehmenden zukünftig intensiveren bergbauinduzierten Bewe-

gungen 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 des BfS. Grundsätzlich ist eine möglichst zügige Umsetzung der geplanten Maßnahmen erforderlich.

Das Sicherheits- und Nachweiskonzept für die Schachanlage Asse II geht nicht von einer Rückholung der eingelagerten radioaktiven Abfälle aus. Wie in BfS (2005) und AkEnd (2002) dargestellt, ist die Option einer Rückholung von Abfällen dem Ziel der Langzeitsicherheit unterzuordnen. Das heißt, eine im Endlagerkonzept berücksichtigte Rückholbarkeit darf nicht zu einer Beeinträchtigung der Langzeitsicherheit des Endlagers führen. Dies betrifft die Rückholung vor und nach Verschluss des Endlagers. Bei der Nutzung der Schachanlage Asse II zur Einlagerung der radioaktiven Abfälle wurde der Aspekt der Rückholung nicht verfolgt. Dementsprechend sind keine Vorkehrungen für die erleichterte Rückholung oder vereinfachende Maßnahmen getroffen worden.

Die Langzeitsicherheit des verschlossenen Forschungsbergwerkes Asse ist laut GSF gegeben. Damit ist eine Rückholung der Abfälle grundsätzlich nicht erforderlich. Sie wäre nur dann sinnvoll, wenn damit wesentliche sicherheitliche Vorteile verbunden wären. Als Voraussetzung einer Rückholung wären neben dem Nachweis der sicherheitlichen Vorteile im Sinne einer Optimierung unter Strahlenschutzgesichtspunkten und dem Nachweis der technischen Machbarkeit insbesondere der Nachweis ausreichender Zeit angesichts der fortschreitenden Schädigungsprozesse in den Barrieren und Tragelementen des Endlagers zu erbringen. Diese fortschreitenden Schädigungsprozesse führen zu einem Sicherheitsverzehr, dessen Bewertung sehr schwierig ist (vgl. Kapitel 4.3.2.8).

## 6 SCHWIERIGKEITEN BEI DER BEARBEITUNG DER AUFGABE

Die Vorgehensweise des BfS bei der Prüfung der Unterlagen gliederte sich in die Schritte Vollständigkeits- und Tiefgangsprüfung. Eine Abgrenzung der Prüfergebnisse auf Basis dieser Zweiteilung konnte zu einzelnen Themenkomplexen nicht immer eindeutig erfolgen. Ein Themenkomplex wurde immer dann als vollständig bewertet, wenn Unterlagen dazu vorlagen. So wurde z. B. die Langzeitsicherheitsanalyse als vollständig bewertet, obwohl in der vorliegenden Unterlage der Aspekt der zukünftigen menschlichen Einwirkungen nicht behandelt wird. In diesem Fall wurde das Fehlen dieses Aspekts erst bei der Tiefgangsprüfung als Defizit bewertet.

Probleme ergaben sich auch bei der Abgrenzung der Tiefgangsprüfung gegen die Prüfung der fachlichen-inhaltlichen Richtigkeit. Die Prüfung einzelner Themenkomplexe ging z. T. über die Tiefgangsprüfung hinaus auch auf fachlich-inhaltliche Aspekte ein. Dies ist z. B. bei der Bewertung der seismologischen Standortbeschreibung erfolgt.

In den dem BfS vorgelegten 27 Prüf- und 6 Arbeitsunterlagen wird auf weitere Unterlagen verwiesen, um angeführte Aussagen und Nachweise zu belegen. Diese zitierten Unterlagen liegen, bis auf wenige Ausnahmen, dem BfS nicht vor. Für die Tiefgangsprüfung ist es aus Sicht des BfS jedoch wichtig, auch den Inhalt dieser Unterlagen zu kennen, da in ihnen die Ausführungen in den dem BfS vorgelegten Berichten weiter detailliert werden. Nur dadurch wird in den meisten Fällen eine Bewertung der Datenbasis (Primärdaten) möglich, auf der die Aussagen zur Langzeitsicherheit basieren. Das gleiche gilt für die Prüfung, ob diese Daten, wie nach dem AtG gefordert, nach Stand von Wissenschaft und Technik ermittelt wurden und ob die Auswertungsmethoden bzw. Berechnungsverfahren sowie die vorgesehenen Verfüll- und Verschlussmaßnahmen dem Stand von Wissenschaft und Technik entsprechen. Deshalb wurde vom BfS mit dem in Kapitel 2.1 angeführten Schreiben vom 31.05.2007 neben den Ergebnissen der Vollständigkeitsprüfung eine größere Anzahl zitierter Unterlagen angefordert. Mit Erlass des BMU vom 09.08.2007 sollten sich die vom BfS nachgeforderten Unterlagen auf solche beschränken, die zentral für die Standsicherheit des Grubengebäudes sind. Hierauf wurde am 17.08.2007 dem BMU eine Auflistung mit 7 entsprechenden Berichten zugesandt. Diese wurde mit Schreiben des BMU vom 22.08.2007 an das Niedersächsische Umweltministerium (NMU) weitergeleitet. Bis zum 26.09.2007 (Bearbeitungsstand des vorliegenden Berichtes) sind diese Unterlagen im BfS jedoch nicht eingegangen. Es konnte dadurch nur in wenigen Fällen geprüft werden, ob die Nachweise zur Langzeitsicherheit auf, im Hinblick auf ein atomrechtliches PFV, belastbaren Datengrundlagen basieren.

## 7 ZUSAMMENFASSUNG

Die Schachanlage Asse II, in der ca. 47.000 m<sup>3</sup> radioaktive Abfälle mit einer Gesamtaktivität von  $3,1 \times 10^{15}$  Bq (Stand 2002) lagern, wird von der GSF - Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit GmbH betrieben. Das Bergwerk wurde von 1906 bis 1964 zur Gewinnung von Kali- und Steinsalz genutzt. Ab 1965 diente die Schachanlage Asse II als Forschungsbergwerk der Erprobung von Einlagerungstechniken und der Endlagerforschung. Die Versuchseinlagerung endete 1978 und die Forschungsarbeiten wurden 1992 beendet. Zurzeit läuft das Genehmigungsverfahren zur Stilllegung. Mit Erlass vom 30.03.2007 wurde das BfS vom BMU um Stellungnahme gebeten, inwieweit die mit dem Abschlussbetriebsplan zur Schließung der Schachanlage Asse II vorgelegten Nachweise zur Langzeitsicherheit analog und mit gleichem Tiefgang zu einem atomrechtlichen Planfeststellungsverfahren (PFV) nach Stand von Wissenschaft und Technik geführt werden. Des Weiteren sollte eine Stellungnahme erfolgen, ob diese Nachweise (Unterlagen) ausreichen, um 16 fachliche Fragen zur Schachanlage Asse II zu beantworten, die vom BMU an das BMBF gestellt wurden. Grundlage dieser Stellungnahme sind 33 von der GSF beim Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie eingereichte Unterlagen zur Nachweisführung der Langzeitsicherheit, die dem BfS zur Verfügung gestellt wurden.

Das BfS bearbeitete die Stellungnahmen in zwei aufeinanderfolgenden Schritten. Hierfür wurden vom BfS weitere Unterlagen angefordert, die jedoch bis auf zwei Ausnahmen (Textteil des Abschlussbetriebsplans und die Anlage 2 des Abschlussbetriebsplans, die „Betriebschronik“) im Prüfzeitraum nicht beim BfS eingingen.

Im ersten Schritt erfolgte eine Prüfung der dem BfS vom NMU vorgelegten 33 Prüf- und Arbeitsunterlagen auf ihre Vollständigkeit in Bezug auf die Anforderungen an ein atomrechtliches PFV. Das Ergebnis dieser Prüfung wurde dem BMU vorab mit Schreiben vom 31.05.2007 mitgeteilt. Die Bewertung der Vollständigkeit erfolgte auf Grundlage der im BfS vorhandenen Erfahrungen mit den Endlagern Morsleben und Konrad. Das BfS hat sich insbesondere an der Struktur des BfS-Projektes zur Stilllegung des Endlagers für radioaktive Abfälle Morsleben („ERAM“) orientiert, da es sich bei dem Vorhaben „Asse“ ebenfalls um die Stilllegung eines bereits früher betriebenen Bergwerkes handelt, in das radioaktive Abfälle eingelagert wurden. Die Themenkomplexe geologisch-hydrogeologische, bergbaulich-gebirgsmechanische und seismologische Standortbeschreibung, radioaktive Abfälle, Langzeitsicherheitsanalyse und Safety Case werden in den vorgelegten Unterlagen vollständig behandelt. Nicht vollständig behandelt werden die Planungen zum Verfüllen und Verschließen des Grubengebäudes. Auf einige Themenkomplexe wird nicht eingegangen (radiologische und allgemeine Standortbeschreibung, Analysen zum bestimmungsgemäßen Stilllegungsbetrieb, Störfallanalysen, Nachweise zur Kritikalitätssicherheit im Stilllegungsbetrieb und zur Standsicherheit der Schächte bei Beanspruchung infolge Erdbeben, Anlagensicherung, Anlagenplanung, Umweltverträglichkeitsprüfung, Maßnahmen zum Abschluss des Betriebes). Für die Prüfung stand nur ein Teil der von der GSF für das Stilllegungsverfahren erstellten Unterlagen zur Verfügung.

Im zweiten Schritt wurden die dem BfS vorliegenden Unterlagen einer Tiefgangsprüfung unterzogen. Dabei wurde für die einzelnen für einen Langzeitsicherheitsnachweis für ein stillzulegendes Endlager zu behandelnden Themenkomplexe zunächst die Datengrundlage dokumentiert, die für ein atomrechtliches PFV aus Sicht des BfS erforderlich ist. Insbesondere flossen die Erfahrungen aus dem Projekt ERAM ein, die allerdings nicht in jedem Fall auf die Stilllegung der Schachanlage Asse II übertragbar sind. Danach erfolgt eine Zusammenstellung der in den vorliegenden Unterlagen beschriebenen Datengrundlage. Zu jedem Themenkomplex bzw. Thema erfolgt eine Bewertung durch das BfS hinsichtlich des ausreichenden Tiefgangs in einem atomrechtlichen Planfeststellungsverfahren.

- Die Daten zur allgemeinen Standortbeschreibung wurden nicht in ausreichendem Tiefgang für ein atomrechtliches PFV dargestellt. (Kapitel 4.2.1)
- Die Beschreibung der geologischen Verhältnisse, inklusive Hydrogeologie und Hydrologie, ist plausibel, aber nur zum Teil nachvollziehbar. Nachvollziehbare Daten sind nicht immer in ausreichendem Maße in den vorliegenden Unterlagen enthalten. Insbesondere gilt dies für die Beschreibung der Salzstruktur. (Kapitel 4.2.2)



- Die Beschreibung und Bewertung der seismologischen Standorteigenschaften sind sowohl im Umfang der vorgelegten Unterlagen als auch im Tiefgang für ein atomrechtliches PFV ausreichend. (Kapitel 4.2.3)
- Zur radiologischen Standortbeschreibung liegen dem BfS keine Unterlagen vor. Eine Bewertung ist daher nicht möglich. (Kapitel 4.2.4.1)
- Bei der Bestimmung des nuklidspezifischen Aktivitätsinventars wurde ein Vorgehen gewählt, das auch im Rahmen eines atomrechtlichen PFV einen ausreichenden Tiefgang gewährleistet. Die abgeschätzten Unsicherheiten gehen in den Quellterm ein. Das gewählte Radionuklidspektrum orientiert sich an den Endlagerungsbedingungen für das ERAM. (Kapitel 4.2.4.2)
- Unterlagen zu Sicherheitsanalysen für den bestimmungsgemäßen Stilllegungsbetrieb und zu einer systematischen Störfallanalyse für den Stilllegungsbetrieb liegen dem BfS nicht vor. Eine Bewertung ist daher nicht möglich. (Kapitel 4.3.1)
- Die Modellierung der Grundwasserbewegung ist grundsätzlich nachvollziehbar und plausibel. Unterlagen, aus denen der Modellierung zugrunde liegende Daten und Annahmen hervorgehen, liegen dem BfS nicht vor. In die Modellierung der Grundwasserbewegung im Deckgebirge fließen zudem Daten und Ergebnisse der geologischen Standortbeschreibung ein, deren Basis nicht immer nachvollziehbar ist. (Kapitel 4.3.2.1)
- Die geowissenschaftliche Langzeitprognose wird im Hinblick auf ein atomrechtliches PFV als methodisch korrekt und vollständig beurteilt. Auch die Ergebnisse und der fachliche Tiefgang der Szenarienanalyse werden als angemessen angesehen. Das Ausmaß von Unsicherheiten in der Datenbasis kann auf Basis der vorliegenden Unterlagen nicht beurteilt werden. (Kapitel 4.3.2.2)
- Die Ermittlung des Quellterms für Radionuklide erfolgte mit einem für ein atomrechtliches PFV ausreichenden Tiefgang und einer plausiblen Vorgehensweise. Es ist nicht nachvollziehbar, ob die zugrunde gelegte Datenbasis belastbar ist. (Kapitel 4.3.2.3)
- Die angewandte Methodik zur Bearbeitung der grundwasserrelevanten Aspekte ist angemessen. Die vorgelegten Unterlagen umfassen jedoch nicht alle Aspekte, die in einem atomrechtlichen PFV relevant sind. (Kapitel 4.3.2.4)
- Das Biosphärenmodell ist grundsätzlich plausibel. Es werden jedoch Vorgaben abgemildert, die gemäß AVV konservativer gehandhabt werden. Diese weniger konservative Vorgehensweise unterscheidet sich von den Betrachtungen und Modellen für die Standorte Konrad und ERAM. (Kapitel 4.3.2.5)
- Die Gasbildung ist in Art und Umfang entsprechend dem Vorgehen in einem atomrechtlichen PFV behandelt worden. (Kapitel 4.3.2.6)
- Die Vorgehensweise zur Ermittlung der Kritikalitätssicherheit ist grundsätzlich angemessen und plausibel. Da der Bericht zur Kritikalitätssicherheit für die Nachbetriebsphase nicht vorliegt, ist eine tiefer gehende Bewertung nicht möglich. (Kapitel 4.3.2.7)
- Die vorgelegten Unterlagen zur Tragfähigkeitsanalyse lassen ausschließlich Schlussfolgerungen in Bezug auf die Prognostizierbarkeit der Entwicklung des Gesamtsystems zu. Explizite Aussagen zur Standsicherheit und Integrität sind daraus nur indirekt durch Vergleich mit den In-situ-Beobachtungen möglich. Die eingeschränkte Aussage ist dadurch begründet, dass sich die Tragstrukturen des Gebirges zum Teil im Nachbruchbereich befinden und definierte Kriterien, die den Sicherheitsabstand von einem Versagenszustand ausweisen können, für diese Beanspruchungszustände nicht mehr zur Verfügung stehen. Aussagen zum Zeitpunkt eines möglichen Verlustes der Tragfähigkeit des Grubengebäudes bedürfen aus Sicht des BfS jedoch einer ständigen Überprüfung. Für die Tragfähigkeitsanalyse des Grubengebäudes sind die Unterlagen im Tiefgang für ein atomrechtliches PFV ausreichend. (Kapitel 4.3.2.8)
- Die Berechnungen und Darstellung von Ergebnissen zur bergschadenkundlichen Senkungsprognose erfüllen die Anforderungen in einem atomrechtlichen PFV. (Kapitel 4.3.2.9)

- Der Langzeitsicherheitsnachweis (LZSN) entspricht in weiten Teilen den Anforderungen an den „Safety Case“. Einige Aspekte wurden nicht behandelt. Es fehlt z. B. die international übliche Bewertung der Auswirkungen zukünftigen menschlichen Eindringens in das Endlager. Unter der Voraussetzung, dass die Stilllegungsmaßnahmen anforderungsgemäß umgesetzt werden wird im LZSN plausibel aufgezeigt, dass die Schutzziele eingehalten werden. Aufgrund des gewählten Biosphärenmodells gilt diese Aussage für die Radionuklidenausbreitung über den Gaspfad nur eingeschränkt. (Kapitel 4.3.2.10)
- Die Unterlagen zum Verfüll- und Verschlusskonzept werden als nicht ausreichend für ein atomrechtliches PFV angesehen. Die Diskussion und Beschreibung von Alternativen zum Schutzfluidkonzept und das Versatzkonzept mit Brucit („Mg-Depots“) für die Verfüllung der Einlagerungsbereiche werden schlüssig abgehandelt. Zum Nachweis der langfristigen Funktionstüchtigkeit der Strömungsbarrieren, zum geplanten Feststoffversatz sowie zur Machbarkeit der Druckluftbeaufschlagung während des Einbringens des Schutzfluids liegen dem BfS keine Unterlagen vor. (Kapitel 4.4.1 bis 4.4.4)
- Das Schachtverschlusskonzept weist nicht den erforderlichen Tiefgang für ein atomrechtliches PFV auf. Es fehlen insbesondere Nachweise für die Langzeitstabilität der Baustoffe, für die Tragfähigkeits- und Gebrauchstauglichkeit sowie geohydraulische Berechnungen. Der Einbau von Dichtelementen aus Sorelbeton entspricht nicht dem Stand der Technik. (Kapitel 4.4.5)

Zusammenfassend ist festzustellen, dass aus Sicht des BfS die zum Abschlussbetriebsplan zur Schließung der Schachtanlage Asse II vorgelegten Nachweise zur Langzeitsicherheit nur zum Teil analog einem atomrechtlichen PFV und dem hierfür notwendigen Tiefgang geführt werden. Voraussetzung für den Langzeitsicherheitsnachweis ist, dass die Stilllegungsmaßnahmen anforderungsgemäß umgesetzt werden.

Ein weiterer Prüfauftrag galt 16 Fragen des BMU an das BMBF, nach dem zu untersuchen war, ob diese sich auf alleiniger Grundlage der übergebenen GSF-Unterlagen beantworten lassen.

- Die Fragen 3, 4, 6, 12, 13, 14 und 15 können mit den vorliegenden Unterlagen beantwortet werden.
- Die Fragen 7, 9, 10 und 16 können mit den vorliegenden Unterlagen nicht beantwortet werden.
- Die Fragen 1, 2, 5, 8 und 11 können mit den vorliegenden Unterlagen nicht vollständig beantwortet werden.

Somit sind sieben Fragen (darunter jene zu den Auswirkungen des Feuchteukriechens infolge der Schutzfluideinleitung) eindeutig mit den Informationen aus den vorliegenden Unterlagen beantwortbar. Hingegen können vier Fragen (zur Wahrscheinlichkeit, dass ein rasch steigender Lösungszutritt die Verfüllmaßnahmen verhindert; zu radiologischen Konsequenzen im Falle eines stärkeren Lösungszutritts; zur geplanten Langzeitüberwachung des Bergwerks) nicht beantwortet werden, weil keine Informationen zum Thema der Fragestellung in den vorliegenden Berichten enthalten sind. Weitere fünf Fragen (etwa zu weiteren zulässigen Verformungen des Grubengebäudes) können nur unvollständig mit den vorliegenden Informationen beantwortet werden.

Im Anhang 1 der vorliegenden Stellungnahme sind die Fragen des BMU jeweils mit einem Hinweis hinsichtlich ihrer Beantwortbarkeit auf Grundlage der dem BfS vorliegenden Unterlagen zusammengestellt.

# LITERATURVERZEICHNIS

- AHORNER, L. & ROSENHAUER, W. (1984): Probabilistische Karte der Erdbebengefährdung der Bundesrepublik Deutschland und ihrer Nachbargebiete. Abschnitt 9 in: Hosser, D. und Klein, H. (Editoren): Realistische seismische Lastannahmen für bauliche Anlagen mit erhöhtem Sekundärrisiko. Abschlußbericht eines Forschungsvorhabens im Auftrag des Inst. f. Bautechnik, 1983, Berlin.
- AKEND (2002): Auswahlverfahren für Endlagerstandorte - Empfehlungen des AkEnd – Arbeitskreis Auswahlverfahren Endlagerstandorte. – Abschlussbericht, Langfassung, Dezember 2002, 260 S.
- AMBRASEYS, N., SIMPSON, K. & BOMMER, J. (1996): Prediction of horizontal response spectra in Europe. – Earthquake Engineering and Structural Dynamics, vol. 25, pp. 371-400.
- BAF (2001): In-situ-Ermittlung von Strömungskennwerten natürlicher Salzgesteine in Auflockerungszonen gegenüber Gas und Salzlösungen unter den gegebenen Spannungsbedingungen im Gebirge. – Abschlussbericht, TU Bergakademie Freiberg, Institut für Bohrtechnik und Fluidbergbau, HÄFNER et al., Freiberg, April 2001.
- 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.
- 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.
- 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.
- BMI (1983): Sicherheitskriterien für die Endlagerung radioaktiver Abfälle in einem Bergwerk. Bundesanzeiger 35 (1983) Nr. 2 S. 45/46
- BRACKE, G. & MÜLLER, W. (2005): Realistische und maximale Gasbildung in der Schachanlage Asse. – ISTec-A-979. Institut für Sicherheitstechnologie (ISTec) GmbH; Garching, 11.07.2005. **[PU-VI.2b Ae]**
- BRENNECKE, P., JUNG, T., KLEEMANN, U., KLONK, H., WITTEW, C. & WOLLRATH, J. (2007): Sicherheitsanforderungen an die Endlagerung hochradioaktiver Abfälle in tiefen geologischen Formationen – Stellungnahme des BfS. – Bericht des BfS, SE-IB-20/07; Salzgitter.
- BUCHHEIM, B. (2002): Inventar chemischer und chemotoxischer Stoffe von radioaktiven Abfällen in der Schachanlage 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 Schachanlage 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 Schachanlage 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 Schachanlage 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 ij]**
- 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 - Druckluftspeisung 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.
- FZK-INE (2006): Stellungnahme zur langfristigen Kritikalitätssicherheit der in das FB Asse eingelagerten kernbrennstoffhaltigen Abfälle unter Berücksichtigung der Anwesenheit von Schutzfluid. FZK-INE 008/06, 23.10.2006.

- 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]**
- GGD (1998): Seismische Arbeiten zur Strukturerkundung des Deckgebirges im Gebiet des Forschungsbergwerkes Asse - Hauptphase, 30.04.1998, GEOPHYSIK GGD, Leipzig.
- GOMMLICH, G.-E. (2006): Seismologische Verhältnisse und seismische Einwirkungen am Standort. – Projekt Langzeitsicherheit Asse, GSF - Forschungsbergwerk Asse, Bericht der GSF (Teil 1: Seismologische Verhältnisse, Teil 2: Seismische Einwirkungen am Standort) 09/77732/PLA/DB/BZ/0001/03, REV 03 – 63 S., 31.01.2006. **[PU-IV.6 c]**
- GSF (1983): Abschlußbericht über Reflexionsseismische Messungen Asse.
- GSF (2000): Bergschadenkundliches Senkungsvorausrechnungsmodell für die Schachanlage Asse, Stand 2000.
- GSF (2006a): Normierte Rechnungen zur Ermittlung der potentiellen Strahlenexposition in der Nachbetriebsphase der Schachanlage Asse. – Abschlussbericht, Rev. 02, GSF Institut für Strahlenschutz, 2006.
- GSF (2006b): Schließung der Schachanlage Asse II, Sicherheitsbericht; GSF 2006.
- GSF (2006c): Ermittlung des Volumens der Resthohlräume für das Einbringen eines Schutzfluides, Projekt Langzeitsicherheit FB Asse, Rev. 03, März 2006.
- GSF (2007): Betriebschronik der Schachanlage Asse II (gemäß § 53 Abs. 2 des Bundesberggesetzes. - Bericht, 29 Seiten, Datei: ABPL\_An1.02\_Betriebschronik\_Asse\_Rev.00\_(2007-01-23)BMU.doc; GSF-KZL: A-/BPL/DB/LA/0002/00, GSF - Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit - Forschungsbergwerk Asse, Stand 23.01.2007.
- HENTE, B. (1998): Seismische Ausbreitungsmessungen im Deckgebirge der Südflanke der Schachanlage Asse. – GSF - Forschungsbergwerk Asse, November 1998, Remlingen, unveröffentl. Bericht.
- HERZOG, C. & SCHNEIDER, L. (2001): Bestimmung der stofflichen Hauptbestandteile der in die Schachanlage 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]**
- HOEK, E. & BROWN, E. T. (1980a): Empirical strength criterion for rock masses. – J. Geotech. Engng Div., ASCE **106** (GT9), 1013-1035.
- HOEK, E. & BROWN, E. T. (1980b): Underground Excavations in Rock. – Institution of Mining and Metallurgy, 527 pages; London.
- HOSSER, D. (1987): Realistische seismische Lastannahmen für Bauwerke. – Bauingenieur 62, 567 - 574, Springer Verlag.
- IAEA (2006): Geological Disposal of Radioactive Waste. – IAEA Safety Standards Series No. WS-R-4, International Atomic Energy Agency, Wien, Österreich, 2006. ISBN 92-0-105705-9
- IBEWA (2005): Permeabilitäts- und Porositätsuntersuchungen an Versatzmaterialien, Freiberg, Mai 2005.
- ICRP (2000): ICRP Publication 81: Radiation Protection Recommendations as Applied to the Disposal of Long-Lived Solid Radioactive Waste, 81. – Annals of the ICRP, Vol. 28/4, Elsevier, Amsterdam, 2000. ISBN 0-08-043859-7
- ICRP (2007): ICRP Publication 103: Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, 103. – Annals of the ICRP, Vol. 37/2-3, Elsevier, Amsterdam, 2007. ISBN 0-70-203048-1
- IfG (2005): Ergebnisbericht zum Kompaktionsverhalten und den mechanischen Eigenschaften von Brucit-Granulat. - Bericht, IfG, Institut für Gebirgsmechanik GmbH, Leipzig, April 2005.

- 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]**
- KAMLOT, P., BRÜCKNER, D., GÜNTHER, R.-M. & SCHROERS, C. (2006): Gebirgsmechanische Langzeitprognose für die Schachanlage 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]**
- KAMLOT, P. & WEISE, D. (2003): Geotechnische und gebirgsmechanische Beurteilung der prinzipiellen Einbauorte für Strömungsbarrieren. – IfG (Institut für Gebirgsmechanik), Bericht IfG-17/2003, Leipzig, 08.12.2003.
- KAPPEL, 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.
- KÖVESLIGETHY, R. (1907): Seismischer Stärkegrad und Intensität der Beben. – Gerlands Beitr. Geoph., Bd. 8, S. 24-103.
- LEYDECKER, G. & AICHELE, H. (1998): The Seismogeographical Regionalisation for Germany.- The Prime Example of Third Level Regionalisation. – Geol. Jahrbuch, Reihe E, 55, 85 - 98, 6 Figs., 1 Tab., Hannover.
- 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 Schachanlage 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., METZ, V. & KIENZLER, B. (2006): Abschätzung der kammer-spezifischen Pu- und Am-Konzentrationen für Verfüllkonzept G unter Berücksichtigung von Löslichkeits- und Sorptionsprozessen. – FZK-INE 005/06. Forschungszentrum Karlsruhe, Entwurf August 2006.

- 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 Schachanlage Asse. - Standortspezifische Modellrechnungen für die Schachanlage 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]**
- MURPHY, J. R., O'BRIEN, L. J. (1977): The Correlation of Peak Ground Acceleration Amplitude with Seismic Intensity and Other Physical Parameters. – Bull. Seis. Soc. Am., Vol. 67, Nr. 3, 877 - 915.
- NIEMEYER, M. & RESELE, G. (2006): Schachanlage 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]**
- OECD/NEA (2001): Scenario Development Methods and Practice – An Evaluation Based on the NEA Workshop on Scenario Development Madrid, Spain, May 1999. – Organisation for Economic Co-operation and Development/Nuclear Energy Agency, Paris, Frankreich, 2001. ISBN 92-64-18722-7.
- OECD/NEA (2004): Post-Closure Safety Case for Geological Repositories – Nature and Purpose. – NEA No. 3679, Organisation for Economic Co-operation and Development/Nuclear Energy Agency, Paris, Frankreich, 2004. ISBN 92-64-02075-6
- 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]**
- PREUßE, A. & SROKA, A. (2000): Bergschadenkundliches Senkungsvorausrechnungsmodell für die Schachanlage Asse. Gutachterliche Stellungnahme für das GSF. - Forschungszentrum, Schachanlage Asse. Dortmund - Dresden.
- 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]**
- RAUCHE, H., FRANZKE, H.-J. & SCHWANDT, A. (2004): Zusammenfassung der geologischen Grundlagen für die Langzeitsicherheitsbewertung der Schachanlage 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): Schachanlage Asse - Szenarienentwicklung Nahfeld. – Colenco-Bericht 3331/98 (Revision 2006), Colenco Power Engineering AG; Baden, Schweiz, November 2006.

- SCHAUERMANN, V. (2007): Abschlussbetriebsplan für die Schachtanlage Asse II - Textteil. - Bericht, 101 Seiten ohne Anlagen, Datei: ABPL\_Text\_2007-01-26Rev 00\_BI 3\_BMU.doc, GSF-KZL: A-/BPL/DB/LA/0001/00, Rev.00, GSF - Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit - Forschungsbergwerk Asse, Remlingen, 26.01.2007.
- 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]**
- SCHWERDT, L.-O. (1984): Abschlussbericht über Reflexionsseismische Messungen: Asse 1983. - 10 S., Wathlingen, unveröffentl. Bericht.
- SROKA, A. & HÖBELBARTH, D. (2006): Bergschadenskundliche 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]**
- WALLMÜLLER, R. (2001): Serie von Längs- und Querschnitten durch den Asse-Höhenzug, geologische Sohlenrisse im Gebiet der Schachtanlage Asse II und Begleittext. – GSF FB Asse, 2001.
- 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.



# ANHANG

Anhang 1: Stellungnahme zur Beantwortbarkeit der BMU-Fragen an den BMBF (16 Sicherheitsfragen).

1. Wie belastbar sind die Aussagen zur Standsicherheit des Grubengebäudes?

BMBF-Antwort (Stellungnahme des GSF-Forschungszentrums):

Im Fachgespräch am 07. Februar 2007 wurde den Vertretern des BMU und des BfS erläutert, dass die Ergebnisse der gebirgsmechanischen 2D- und 3D-Modellrechnungen ständig mit den Ergebnissen der umfangreichen In-situ-Messungen am Standort verglichen werden. Diese stimmen sehr gut überein. In die Rechnungen zur Standsicherheit wurden darüber hinaus die Ergebnisse der Laborversuche am Asse-Steinsalz, Asse-Carnallit sowie Asse-Versatz einbezogen. Aus Sicht der GSF bestehen daher keine Zweifel an den Aussagen zur Standsicherheit.

Diese Frage kann mit den vorliegenden Unterlagen nicht vollständig beantwortet werden.

Die vorgelegten Unterlagen beinhalten keine expliziten Aussagen zur Standsicherheit und Integrität. Die Aussagen beziehen sich nur auf die Prognostizierbarkeit der Entwicklung des Gesamtsystems. Die Tragstrukturen des Gebirges befinden sich zum Teil im Nachbruchbereich, so dass definierte Kriterien, welche den Sicherheitsabstand von einem Versagenszustand ausweisen können, für diese Beanspruchungszustände nicht mehr zur Verfügung stehen. In Verbindung mit den Messbeobachtungen können nur noch indirekte Aussagen zur Standsicherheit gemacht werden.

2. Welche Sicherheitsreserven beinhalten die für die Prognose der Standsicherheit gewählten Parameter?

BMBF-Antwort (Stellungnahme des GSF-Forschungszentrums):

Das Kriterium für die Beurteilung der Resttragfähigkeit des Tragsystems der Südflanke ist die Deckgebirgsverschiebungsrate. Diese wird durch horizontal in den Pfeilern angeordnete Extensometer, Inklinometer und markscheiderische Lagemessungen erfasst,

In den Rechenmodellen wurden die Stoffparameter bzgl. der Festigkeit und der Deformationsfähigkeit konservativ festgelegt, so dass nach gegenwärtigem Wissensstand die berechnete Obergrenze der Deckgebirgsverschiebungsrate abdeckend ist und die Untergrenze auch noch niedriger liegen könnte.

Durch die Verfüllung der Südflanke mit Salzversatz sind die Pfeilerstauchungsraten rückläufig. Dieser Rückgang ist derzeit stärker als in den gebirgsmechanischen Prognoserechnungen errechnet. Hieraus ergibt sich eine gewisse Sicherheitsreserve, die bei den im Rahmen der begleitenden Begutachtung geplanten Berechnungen berücksichtigt werden kann.

Diese Frage kann mit den vorliegenden Unterlagen nur qualitativ jedoch nicht quantitativ und damit nicht vollständig beantwortet werden.

Für eine Tragfähigkeitsanalyse von Hohlräumssystemen im Bergbau, bei denen sich die Gebirgsstrukturen zum Teil in einem entfestigten Zustand befinden bzw. bereits versagt haben, existieren keine normativen Regelwerke wie die DIN oder der EUROCODE. Die Eingangsparameter für die Analysen wurden vom Institut für Gebirgsmechanik (IfG) soweit möglich durch Laborversuche bzw. Parametervariationen auf der sicheren Seite liegend eingeschätzt. Statistische Verfahren zur quantifizierten Ermittlung der Schwankungsbreite der Parameter, wie sie bei genormten Baustoffen zur Anwendung kommen, können aufgrund der nicht ausreichenden Datenbasis nicht eingesetzt werden. Daraus lässt sich ableiten, dass die bei den Prognoserechnungen verwendeten Parameter in der Regel zwar Sicherheitsreserven enthalten, ihre Größe jedoch nicht quantifizierbar ist.

3. Wie belastbar kann der Einfluss von Feuchtigkeit auf das Tragvermögen des Gebirges eingeschätzt werden?

BMBF-Antwort (Stellungnahme des GSF-Forschungszentrums):

Der Einfluss des Feuchtekriechens wurde in umfangreichen Laboruntersuchungen und In-situ-Messungen wissenschaftlich untersucht und abgesichert. Weiterhin erfolgte bereits die pneumatische Versatzeinbringung in der Südflanke aus arbeitssicherheitlichen Gründen mit Zusatz von Salzlösung und auch im Tiefenaufschluss wird die Schutzfluideinbringung messtechnisch überwacht (Konvergenz- und Porenwasserdruckmessungen). Die vorliegenden Messergebnisse wurden bei den Prognoserechnungen berücksichtigt.

Diese Frage kann mit den vorliegenden Unterlagen beantwortet werden.

Die durchgeführten Laborversuche, messtechnischen Überwachungen und Modellrechnungen erlauben eine gute Beurteilung des Feuchtigkeitseinflusses auf die Gebirgstragfähigkeit. Der Einfluss auf die Größe der stationären Kriechrate ist erheblich, so dass zusätzliche technische Maßnahmen (Druckluftbeaufschlagung) ergriffen werden müssen. Damit steht ein umfangreiches Spektrum von Untersuchungsmethoden und Prognosewerkzeugen für diese Fragestellung zur Verfügung. Die Belastbarkeit der Ergebnisse wird als hoch eingeschätzt.

4. Welche Bewertungsgrößen wurden für die Beurteilung der Standsicherheit und Integrität herangezogen?

BMBF-Antwort (Stellungnahme des GSF-Forschungszentrums):

Deckgebirgsverschiebungsraten, Konvergenzraten, Senkungen über Tage, Mikroseismische Aktivität, Spannungsmessungen im Tragsystem und im Versatz, Lagemessungen, Zuflussentwicklung.

Diese Frage kann mit den vorliegenden Unterlagen beantwortet werden.

Als Bewertungsgrößen wurden In-situ-Beobachtungen und allgemein anerkannte Kriterien für das Eintreten von Materialversagen (Überschreiten der Bruch- und Dilatanzfestigkeit, Kriechbruchversagen usw.) verwendet. Die berechneten Verformungen und Spannungen werden mit den In-situ-Messungen verglichen. Die für die zukünftigen Zustände berechneten Verformungs- und Spannungsgrößen lassen sich mit Hilfe der Versagenskriterien bewerten und für die Prognose zukünftiger Entwicklungen heranziehen.

5. Welche Verformungen im Grubengebäude können noch zugelassen werden?

BMBF-Antwort (Stellungnahme des GSF-Forschungszentrums):

Die absolute Verschiebung hat weniger Einfluss auf die Standsicherheit, sondern wirkt sich vielmehr auf den Salzlösungszutritt aus. Dieser Punkt wurde am 07.02.2007 ausführlich erläutert. Aus heutiger Sicht ist ab 2014 eine weitere Stabilisierung des Tragsystems durch einen Innendruck erforderlich, um eine weitere degressive Entwicklung der Deckgebirgsverschiebungsraten sicherzustellen.

Diese Frage kann mit den vorliegenden Unterlagen nicht vollständig beantwortet werden.

Die gestellte Frage kann nicht quantitativ (exakte Zahlenangabe) beantwortet werden. Die standort-spezifischen Laboruntersuchungen weisen auf zulässige plastische Verzerrungen von etwa 15 % bis 20 % hin, je nach herrschendem Spannungszustand. Inwieweit diese durch bereits abgelaufene Verformungen zum heutigen Zeitpunkt ausgeschöpft sind, kann nicht beantwortet werden. Die GSF geht davon aus, dass stationäre Verformungsraten bis zum Zeitpunkt eines progressiven Anstiegs nicht zum Systemversagen führen. Die GSF geht offensichtlich davon aus, dass dies auch für das Deckgebirge gilt. Die Vermeidung dieses Zustandes ist nur durch zusätzliche Stabilisierungsmaßnahmen möglich. Dieses Vorgehen ist nach dem Stand von Wissenschaft und Technik zu akzeptieren.

6. Welche Alternativen sind betrachtet worden, um die Standsicherheit des Grubengebäudes zu verlängern?

BMBF-Antwort (Stellungnahme des GSF-Forschungszentrums):

Es wurden folgende Varianten untersucht:

- Trockenversatz ohne Schutzfluid
- Einbau des Schutzfluids oberhalb der 700-m-Sohle ab 2011 ohne weitere Maßnahmen
- Schutzfluideinleitung oberhalb der 700-m-Sohle ab 2011 mit Unterbrechung zum Bau der Schachtverschlüsse
- Schutzfluideinleitung oberhalb der 700-m-Sohle ab 2011 mit längerer Unterbrechung und Bau der Schachtverschlüsse
- Verdoppelung der Schutzfluideinleitungsrate oberhalb der 700-m-Sohle ab 2011 mit Unterbrechung zum Bau der Schachtverschlüsse
- Zeitlich verzögerte Schutzfluideinleitung oberhalb der 700-m-Sohle ab 2011 mit Unterbrechung zum Bau der Schachtverschlüsse und mit zusätzlichem Pumpversatz
- Zeitlich verzögerte Schutzfluideinleitung oberhalb der 700-m-Sohle ab 2011 mit Unterbrechung zum Bau der Schachtverschlüsse und mit pneumatischen Stützdruck von 0,5 MPa, 1 MPa und 2 MPa
- Injektion des bereits eingebauten Salzversatzes
- Einbau von Spülversatz

Diese Frage kann mit den vorliegenden Unterlagen dahingehend beantwortet werden, dass keine Alternativen betrachtet wurden.

Alternativen zu bereits durchgeführten und im Langzeitsicherheitsnachweis zugrunde gelegten Verwehrmaßnahmen sind in den vorliegenden Berichten nicht betrachtet worden. Die in den zur Verfügung gestellten Berichten betrachteten Varianten beschränken sich auf die weitere Stilllegung nach den bisher bereits realisierten Maßnahmen und der Überstapelung der 700-m-Sohle mit Schutzfluid. Sie umfassen Variationen des Endes der Betriebsphase, das potentielle Wirken eines pneumatischen Innendruckes, die Einleitrate des Schutzfluids, die mögliche Unterbrechung der Einleitung des Schutzfluids während der Errichtung der Schachtabdichtungen und die Verfüllung des Grubengebäudes mit einem pneumatisch eingebrachten Versatz (Blasversatz) oberhalb der 700-m-Sohle.

7. Wie hoch ist die Wahrscheinlichkeit, dass ein rasch ansteigender Lösungszufluss die vollständige Durchführung der Verfüll- und Verschlussmaßnahmen behindert bzw. verhindert?

BMBF-Antwort (Stellungnahme des GSF-Forschungszentrums):

150 Jahre Erfahrung aus dem Kali- und Steinsalzbergbau haben gelehrt, dass ein Anstieg des Lösungszuflusses jederzeit möglich ist. Aufgrund der Situation am Standort Asse wird die Möglichkeit eines solchen Anstiegs jedoch als wenig wahrscheinlich eingestuft. Hierfür sprechen die Teufenlage, die Geologie, die Zuflussentwicklung und die derzeit rückläufigen Verformungsraten.

Diese Frage kann mit den vorliegenden Unterlagen nicht beantwortet werden.

In den vorliegenden 33 Unterlagen sind keine Aussagen dazu enthalten, wie hoch die Wahrscheinlichkeit ist, dass ein rasch ansteigender Lösungszufluss die vollständige Durchführung der Verfüll- und Verschlussmaßnahmen behindert bzw. verhindert.

8. Mit welchem zeitlichen Vorlauf würde sich ein solcher Lösungszufluss ankündigen?

BMBF-Antwort (Stellungnahme des GSF-Forschungszentrums):

Ein rascher Anstieg des Lösungszuflusses kündigt sich zumeist durch Veränderung der chemischen Zusammensetzung bzw. Salzkonzentrationen der zutretenden Lösung an. Erfahrungen aus dem Kalisalzbergbau zeigen, dass die Vorlaufzeit bis zu einem rasch ansteigenden Lösungszufluss sowohl wenige Monate als auch mehrere Jahre betragen kann.

Die Entwicklung des Salzlösungszutritts in die Schachanlage Asse wird sorgfältig beobachtet und untersucht, Seit mehr als zehn Jahren treten relevante Veränderungen weder in der chemischen Zusammensetzung noch in der Zutrittsrate auf.

Diese Frage kann mit den vorliegenden Unterlagen nicht vollständig beantwortet werden.

Eine sichere Prognose ist generell nicht möglich. Es ist zu erwarten, dass der Zufluss in erster Linie durch die hydraulischen Verhältnisse im Deckgebirge und Nebengebirge beeinflusst wird. Dies bedeutet, dass durch die Auflockerungsprozesse an der Südflanke im Nebengebirge auch kurzfristig neue, möglicherweise effektivere Zuflusspfade oder Reservoirs erschlossen werden können. Angesichts dieser Mechanismen sind geringe Vorlaufzeiten und abrupte Veränderungen nicht auszuschließen.

9. Sind wirksame Maßnahmen vorhanden, um stärkere Lösungszuflüsse zu beherrschen?

BMBF-Antwort (Stellungnahme des GSF-Forschungszentrums):

Ja. Aufgrund der geologischen und hydrogeologischen Verhältnisse ist von einer maximalen Zutrittsrate von 500 m<sup>3</sup>/d auszugehen. Für diese Zutrittsrate sind technische Vorkehrungen getroffen, um Lösungen nach über Tage fördern und abtransportieren zu können. Die Erfahrungen aus dem Salzbergbau zeigen jedoch, dass auch höhere Zutrittsraten und abnehmende Salzkonzentrationen nicht auszuschließen sind.

Diese Frage kann mit den vorliegenden Unterlagen nicht beantwortet werden.

Die dem BfS vorliegenden Unterlagen enthalten keine technischen Planungen für die Ableitung größerer in das Grubengebäude eindringender Lösungsmengen. Die von der GSF angegebene Beherrschung von Lösungszuflüssen bis 500 m<sup>3</sup>/d erscheint bergbaulich/fördertechnisch möglich. In der Praxis stellt jedoch, insbesondere unter den Randbedingungen eines Endlagers und angesichts der mit einem Lösungszutritt häufig verbundenen progressiven lösungskinetischen und geomechanischen Prozesse, die Beherrschung derartiger Lösungsmengen eine erhebliche Herausforderung dar.

Aufgrund der unsicheren Datenbasis sind auch größere Zuflussraten vorstellbar.

10. Mit welchen radiologischen Konsequenzen müsste im Falle eines solchen Ereignisses gerechnet werden?

BMBF-Antwort (Stellungnahme des GSF-Forschungszentrums):

Das Auftreten einer nicht beherrschbaren Lösungsmenge hätte erfahrungsgemäß auch eine untersättigte Lösung zur Folge. Ein solcher Zufluss wäre dann mit Lösungsprozessen nicht nur im Carnallit, sondern auch im Steinsalz verbunden. Starke gebirgsmechanische Reaktionen wären im ohnehin stark beanspruchten Deckgebirge die Folge. Unter solchen Randbedingungen ist die Berechnung der radiologischen Konsequenzen schwierig. Abschätzungen deuten darauf hin, dass die potentielle Strahlenexposition 1 mSv/a übersteigen könnte.

Diese Frage kann mit den vorliegenden Unterlagen nicht beantwortet werden.

Mit dem Auftreten nicht beherrschbarer Lösungszuflüsse sind Lösungsprozesse im Carnallit und Steinsalz sowie gebirgsmechanische Reaktionen im Deckgebirge verbunden, die durch die Aussagen in den vorgelegten Unterlagen nicht abgedeckt sind. Welche radiologischen Konsequenzen sich aus einer direkten Freisetzung aus der MAW-Kammer 8a/511 (MAW - medium active waste) für diesen Fall ergeben, kann nicht beurteilt werden.

11. Wie belastbar sind die Berechnungen zu den berechneten radiologischen Konsequenzen nach Verschluss der Schachtanlage (Langzeitsicherheitsanalyse)?

BMBF-Antwort (Stellungnahme des GSF-Forschungszentrums):

Die Ergebnisse der Berechnungen über die radiologischen Konsequenzen wurden mit anerkannten deterministischen Rechenprogrammen ermittelt und sind auch mit probabilistischen Unsicherheitsanalysen nach dem Stand von Wissenschaft und Technik abgesichert. Darüber hinaus werden Rückhalteeffekte für Radionuklide - wie z. B. Sorption im Grubengebäude und Deckgebirge - nicht berücksichtigt. Damit sind die Ergebnisse des Langzeitsicherheitsnachweises belastbar und stellen sogar ungünstige Verhältnisse dar.

Diese Frage kann mit den vorliegenden Unterlagen nicht vollständig beantwortet werden.

In BUHMANN, FÖRSTER & RESELE (2006) sind Angaben zur Belastbarkeit und zum Vertrauen in die geführten Nachweise enthalten. Mehrfach wird jedoch betont, dass es unabdingbare Voraussetzung zur Führung des Langzeitsicherheitsnachweises ist, dass die Standsicherheit des Grubengebäudes während der Betriebsphase erhalten bleibt und dass die vorgesehenen Maßnahmen zur Schließung – Einbringen des Schutzfluids einschließlich Beaufschlagen der Grube mit einem pneumatischen Druck während der Einleitung oberhalb der 700-m-Sohle, Einbringen von Mg-Depots in die Einlagerungskammern und in deren bevorzugte Austrittspfade, Einbau von Strömungsbarrieren und stützendem Versatz, Verfüllung noch offener Hohlräume und Verschluss der Tagesschächte – anforderungsgemäß umgesetzt werden. Die Belastbarkeit der für die zur Berechnung der radiologischen Konsequenzen wesentlichen Daten z. B. zum Radionuklidquellterm, Biosphärenmodell kann nicht eingeschätzt werden, da entsprechende Unterlagen dem BfS nicht vorliegen.

Darüber hinaus sind die Modelle für die Berechnungen zu den radiologischen Konsequenzen nach Verschluss der Schachtanlage Asse II aufgrund von Abweichungen von der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zu § 47 StrlSchV (AVV) zu hinterfragen.

12. Welche Freisetzungsszenarien wurden betrachtet?

BMBF-Antwort (Stellungnahme des GSF-Forschungszentrums):

Die Szenarienentwicklung wurde nach der international anerkannten Methode „Probabilistic Safety Assessment“ (PROSA) durchgeführt. Im ersten Schritt wurde eine erwartete Entwicklung des Gesamtsystems beschrieben. Für diese wurde eine standortspezifische Liste der möglicherweise wirksamen Merkmale, Ereignisse und Prozesse erstellt (FEP<sup>1</sup>-Liste). In einem zweiten Schritt wurde die standortspezifische FEP-Liste auf Vollständigkeit geprüft. Insgesamt enthält die für das Vorhaben erstellte FEP-Liste über 500 Merkmale, Ereignisse und Prozesse. Die FEPs, die das Gesamtsystem oder die Stoffausbreitung beeinflussen, wurden zu Szenarien kombiniert. In einem dritten Schritt wurden die Szenarien dann gruppiert. Szenarien mit ähnlicher Wirkungsweise der Barrieren wurden in einer Szenariengruppe zusammengefasst. Weiteres zu den auf diese Weise ermittelten zahlreichen Szenarien ergibt sich aus dem Ihnen übersandten Bericht „Szenarienentwicklung Asse (November 2006)“.

<sup>1</sup> FEP: features, events, processes

Diese Frage kann mit den vorliegenden Unterlagen beantwortet werden.

In RESELE (2006) wird eine vollständige Szenarienanalyse nach dem Stand von Wissenschaft und Technik vorgenommen. Das Referenzszenarium ist im o. g. Bericht im Kapitel 8 (Fernfeld) in Verbindung mit Kapitel 7 (Nahfeld) ebenso wie die Alternativszenarien beschrieben. Die betrachteten Freisetzungsszenarien gelten nur unter der Voraussetzung eines funktionierenden Stilllegungskonzeptes.

13. Ist mit einer Freisetzung von radioaktiven Substanzen unterhalb der ersten 1.000 Jahre zu rechnen?

BMBF-Antwort (Stellungnahme des GSF-Forschungszentrums):

Nein. Nach den Berechnungen zur Langzeitsicherheit beträgt die Transportverzögerung in der Grube wenigstens 1000 bis 3000 Jahre.

Diese Frage kann mit den vorliegenden Unterlagen beantwortet werden.

Bei den Modellrechnungen zu einer Freisetzung von C-14 über den Gaspfad (NIEMEYER & RESELE 2006), deren Aussagekraft eingeschränkt ist (siehe Kapitel 4.3.2.5), beginnt im Referenzfall der Gasaustritt aus der Grube in die Biosphäre nach ca. 1.500 Jahren und in den alternativen Szenarien bzw. Rechenfällen nach 150 bis 750 Jahren und erreicht bald darauf sein Maximum. Die BMBF-Antwort betrifft ausschließlich eine Freisetzung über den Lösungspfad. Die betrachteten Freisetzungsszenarien für den Lösungspfad gelten nur unter der Voraussetzung eines funktionierenden Stilllegungskonzeptes. Eine davon abweichende direkte Freisetzung aus der MAW-Kammer 8a/511 ist nicht betrachtet worden.

14. Welche maximalen radiologischen Konsequenzen können sich ergeben und zu welchem Zeitpunkt?

BMBF-Antwort (Stellungnahme des GSF-Forschungszentrums):

Das Expositionsmaximum wird nach ca. 23.000 Jahren erwartet. Das Maximum liegt unterhalb 0,3 mSv/a.

Diese Frage kann mit den vorliegenden Unterlagen beantwortet werden (siehe Bericht zur Gesamtbewertung der Langzeitsicherheit der Schachanlage Asse II (BUHMANN, FÖRSTER & RESELE 2006)). Zur Belastbarkeit der Aussage siehe Anmerkung zur Frage 11.

Die durch die Freisetzung von Methan aus den Einlagerungsbereichen verursachte Strahlenexposition durch C-14 in der Biosphäre kann bei Anwendung der AVV nach einigen hundert Jahren den Wert des Dosiskriteriums von 0,3 mSv/a (§ 47 StrlSchV) überschreiten. Die maximalen radiologischen Konsequenzen gelten nur unter der Voraussetzung eines funktionierenden Stilllegungskonzeptes.

15. Anhand welcher Argumente, Kriterien und Indikatoren wird die Langzeitsicherheit beurteilt?

BMBF-Antwort (Stellungnahme des GSF-Forschungszentrums):

Die Kriterien leiten sich aus den gesetzlichen Vorschriften wie dem Bundesberggesetz, dem Wasserhaushaltsgesetz, der Grundwasserverordnung, der Trinkwasserverordnung, der Strahlenschutzverordnung, den Sicherheitskriterien des Bundesinnenministers, den Empfehlungen der Strahlenschutzkommission, etc. ab. Bei der Bewertung der Langzeitsicherheit am Standort wurde die international anerkannte Vorgehensweise eines „Safety case“ einbezogen. Die Beurteilung der Langzeitsicherheit erfolgt auf der Grundlage von physikalisch-chemischen Daten, die aus Ausbreitungsmodellberechnungen ermittelt werden.

Diese Frage kann mit den vorliegenden Unterlagen beantwortet werden (siehe Bericht zur Gesamtbewertung der Langzeitsicherheit der Schachanlage Asse II (BUHMANN, FÖRSTER & RESELE 2006)). Vom BfS wurde in den Projekten Konrad und ERAM eine ähnliche Vorgehensweise gewählt.

16. Welche Maßnahmen zur Langzeitüberwachung der Asse sind geplant?

BMBF-Antwort (Stellungnahme des GSF-Forschungszentrums):

Derzeit keine. Mit Schreiben vom 08.05.2006 hatte BMBF angeregt, dass GSF und BfS hierzu eine gemeinsame Auffassung erarbeiten.

Diese Frage kann mit den vorliegenden Unterlagen nicht beantwortet werden.

In den vorliegenden 33 Unterlagen sind keine geplanten Maßnahmen beschrieben. Zwischen BMFT, BMU, BfS und GSF wurde Anfang 2007 festgelegt, dass die GSF einen Vorschlag zur Langzeitüberwachung erarbeitet.

Anhang 2: Unterlagen zur Vollständigkeitsprüfung (33 „Unterlagen zum Sicherheitsbericht“).

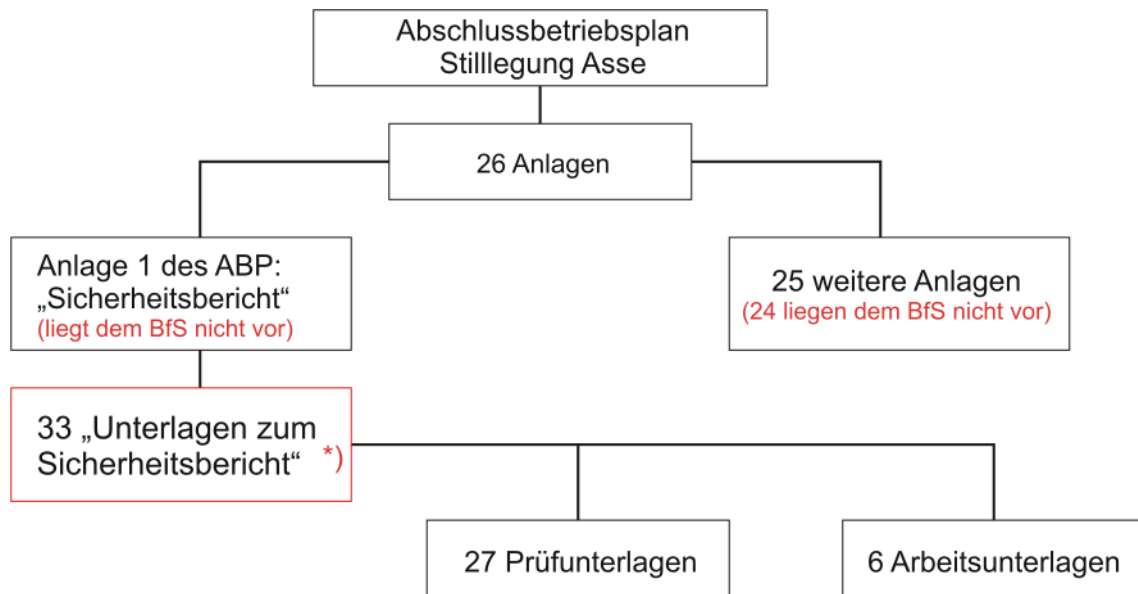
- BRACKE, G. & MÜLLER, W. (2005): Realistische und maximale Gasbildung in der Schachtanlage Asse. – ISTec-A-979. Institut für Sicherheitstechnologie (ISTec) GmbH; Garching, 11.07.2005. **[PU-VI.2b Ae]**
- BUCHHEIM, B., MEYER, H. & STOLZENBERG, G. (2006a): Bestimmung eines Quellterms für chemische und 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]**
- 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]**
- 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. & TEICHMANN, L. (2006). Einbauorte von Strömungsbarrieren. - Projekt Langzeitsicherheit Asse, GSF - Einbauorte Strömungsbarrieren, Bericht der GSF, Rev. 04, 31.10.2006. **[AU-V.2c e]**
- 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]**
- 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]**
- GOMMLICH, G.-E. (2006): Seismologische Verhältnisse und seismische Einwirkungen am Standort. – Projekt Langzeitsicherheit Asse, GSF - Forschungsbergwerk Asse, Bericht der GSF (Teil 1: Seismologische Verhältnisse, Teil 2: Seismische Einwirkungen am Standort) 09/77732/PLA/DB/BZ/0001/03, REV 03 – 63 S., 31.01.2006. **[PU-IV.6 c]**



- 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]**
- KAMLOT, P., BRÜCKNER, D., GÜNTHER, R.-M. & SCHROERS, C. (2006): Gebirgsmechanische Langzeitprognose für die Schachanlage 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]**
- 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]**
- KAPPEL, 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]**
- 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]**
- 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]**
- 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 Schachanlage 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]**
- METZ, V., KORTHAUS, E., LÜTZENKIRCHEN, J. & KIENZLER, B. (2006): Experimentelles Programm zur Bestätigung der Ergebnisse von standortspezifischen Modellrechnungen für die Schachanlage Asse. - Standortspezifische Modellrechnungen für die Schachanlage 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): Schachanlage Asse – Freisetzung volatiler Raionuklide 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]**
- 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]**
- RAUCHE, H., FRANZKE, H.-J. & SCHWANDT, A. (2004): Zusammenfassung der geologischen Grundlagen für die Langzeitsicherheitsbewertung der Schachanlage Asse II. – ERCOSPLAN Ingenieurgesellschaft Geotechnik und Bergbau mbH, Projektnummer EGB 03-003; Erfurt, 16.06.2004. **[PU-IV.5 d]**

- 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]**
- 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. & HÖBELBARTH, 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., 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]**

Anhang 3: Berichtsstruktur der Unterlagen zum Abschlussbetriebsplan zur Schließung der Schachtanlage Asse II (nach Kenntnissen des BfS).



Beispiele

Standortbeschreibung	Einfluss der Schachtanlagen Asse I und Asse III auf den Nachweis der Langzeitsicherheit <b>10 Berichte</b>	Dreidimensionale gebirgsmechanische Modellrechnungen zur Standsicherheitsanalyse des Bergwerkes Asse <b>1 Bericht</b>
Schließungsmaßnahmen	Herleitung und Beschreibung des Konzepts zur Schließung der Schachtanlage Asse <b>1 Bericht</b>	Schutzfluidkonzept  Ergänzungsbericht: Technisches Konzept zum Einbringen des Mg-Depots in die Einlagerungskammern und ihren Nahbereich <b>5 Berichte</b>
Prozesse für den Nachweis der LZS	Transportmodellierung: Fluid- und Radionuklidtransport am Standort Asse (Abschlussbericht ALSA-C) <b>6 Berichte</b>	
Langzeitprognosen	Geowissenschaftliche Langzeitprognose  Geotechnische Langzeitprognose <b>9 Berichte</b>	
Gesamtbewertung	Gesamtbewertung der Langzeitsicherheit für den Standort Asse <b>1 Bericht</b>	

\*) Die Grundlagen der „Unterlagen zum Sicherheitsbericht“ sind in ca. 400 Fachberichten zusammengestellt. Diese liegen dem BfS nicht vor.

Anhang 4: Themenkomplexe für die Stilllegung eines Endlagers nach AtG – am Beispiel des ERAM.

