

Bewertung von Optionen zur Verbesserung der Sicherheitssituation im Rahmen der Stilllegung der Schachtanlage Asse II

Abschlussbericht der AGO-Phase-1 (2008)

Arbeitsgruppe Optionenvergleich

Bundesamt für Strahlenschutz (BfS)

(Kleemann, U., Ranft, M.)

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

(Bühler, M., Pitterich, H.)

Sachverständige der Begleitgruppe Asse II des Landkreises Wolfenbüttel

Bertram, R.

Kreusch, J.

Krupp, R.

Stand: 12.02.2009

Inhaltsverzeichnis

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS.....	3
1 GRUNDLAGEN UND ALLGEMEINE ANMERKUNGEN	4
1.1 AUFTRAG UND ZIELSTELLUNG	4
1.2 GRUNDLAGEN UND RANDBEDINGUNGEN.....	4
1.3 VORGEHENSWEISE UND AUFBAU DES BERICHTES	6
2 SITUATION DER SCHACHTANLAGE ASSE IM HINBLICK AUF DEN BETRIEB UND FÜR DIE STILLLEGUNG AUS SICHT DER AGO	7
2.1 RADIOLOGISCHE GEGEBENHEITEN UND ABFÄLLE	7
2.2 GEOLOGISCHE GEGEBENHEITEN	7
2.3 BERGBAULICHE UND GEOTECHNISCHE GEGEBENHEITEN.....	9
3 BESCHREIBUNG DER GRUNDSÄTZLICHEN MÖGLICHKEITEN ZUR STILLLEGUNG DES ENDLAGERS FÜR RADIOAKTIVE ABFÄLLE ASSE	11
4 BEWERTUNG DES HERLEITUNGSBERICHTS DES HMGU (HMGU (2008A))	16
5 BEWERTUNG DES ENTWURFS DER STÖRFALLANALYSE DES HMGU (HMGU (2008B)).....	18
6 BEWERTUNG DER MACHBARKEITSSTUDIE ZUR VERSATZDRUCKERHÖHUNG IN DEN GRUBENBAUEN DER SÜDFLANKE (CDM (2008)).....	19
7 BEWERTUNG DER MACHBARKEITSSTUDIE ZUR RÜCKHOLUNG DER MAW (EWN & TÜV (2008))	20
8 BEWERTUNG DER GRUNDLEGENDEN STILLLEGUNGSOPTIONEN	22
8.1 ZIEL UND GRUNDLAGEN DER BEWERTUNG	22
8.2 BEWERTUNG DER OPTIONEN	23
8.3 ERGEBNIS DER BEWERTUNG	30
9 EMPFEHLUNGEN ZUR WEITEREN VORGEHENSWEISE	31
LITERATURVERZEICHNIS.....	33
ANLAGEN	

Gesamtseitenzahl: 38 (ohne Anlagen)

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

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

1 GRUNDLAGEN UND ALLGEMEINE ANMERKUNGEN

1.1 AUFTRAG UND ZIELSTELLUNG

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

Nach vorlaufenden Gesprächen haben sich das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF), das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) sowie das Niedersächsische Ministerium für Umwelt und Klimaschutz (NMU) auf ein gemeinsames Vorgehen im Zusammenhang mit der Schachanlage Asse II verständigt. Die Festlegungen wurden in einer Presseerklärung der Ministerien vom 21.11.2007 veröffentlicht (BMU, BMBF & NMU 2007). Übergeordnetes Ziel ist es „...weitere Maßnahmen zur Verbesserung der Sicherheitssituation der Asse...“ zu prüfen und bei Bedarf durchzuführen. Dabei steht die Prüfung ergänzender bzw. alternativer Stilllegungsmaßnahmen im Mittelpunkt.

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

Entsprechend des Auftrags von BMU und BMBF standen Maßnahmen zur Verbesserung der Sicherheitssituation der Asse im Vordergrund der Arbeiten. Dazu hat sich die AGO zunächst anhand vorliegender Unterlagen mit den Standortgegebenheiten und den bestehenden Planungen des HMGU auseinandergesetzt. Darüber hinaus wurden auftragsgemäß Fragen der Störfallanalyse, der Stabilisierung der Südflanke und der Rückholung der MAW untersucht. Sofern sich dabei Hinweise zu alternativen Möglichkeiten der Stilllegung ergaben wurden diese systematisch dokumentiert.

Die AGO legt Wert auf die Feststellung, dass die Erarbeitung alternativer Stilllegungskonzepte weder Gegenstand ihres Auftrages, noch in der zur Verfügung stehenden Zeit und mit den zur Verfügung stehenden Ressourcen möglich war.

1.2 GRUNDLAGEN UND RANDBEDINGUNGEN

Die Zielstellung und Vorgehensweise der Arbeitsgruppe Optionenvergleich sind in einer Agenda festgelegt (AGO (2008a)). Die Kriterien für die Beurteilung von Handlungsoptionen und die Prüfmaßstäbe wurden vorab in einem ersten Schritt erarbeitet. Sie sind in einem Kriterienkatalog dokumentiert (AGO (2008b)).

Aus der Agenda ergab sich eine schrittweise Vorgehensweise, die wie folgt in ein Arbeitsprogramm für die „AG Optionenvergleich“ umgesetzt wurde.

1. Sichtung der vorgelegten Unterlagen zu den Standortverhältnissen der Schachanlage Asse II

Grundlage: Berichte des Helmholtz Zentrum München. (siehe Anhang: Der AGO auf ihre Anforderung zur Verfügung gestellten Unterlagen des Betreibers HMGU).

2. Sichtung und Bewertung der Herleitung des Stilllegungskonzeptes des HMGU

Grundlage: Bericht des HMGU zur Herleitung und Begründung des Stilllegungskonzeptes und zu den geprüften Stilllegungsalternativen bzw. -varianten (HMGU (2008a)).

3. Ermittlung der Risiken und Konsequenzen möglicher nicht geplanter und erwarteter Systementwicklungen als Beurteilungskriterium für die Notwendigkeit der Umsetzung ergänzender oder alternativer Maßnahmen.

Grundlage: Bericht des HMGU zur Störfallanalyse (HMGU (2008b)).

4. Prüfung der Möglichkeit der Risiko- und Konsequenzenminimierung durch die Rückholung des MAW

Grundlage: Bericht der EWN und des TÜV Nord Ensys zur Rückholbarkeit des MAW unter technischen, zeitlichen und radiologischen Aspekten. (EWN & TÜV (2008)).

5. Prüfung der Möglichkeit und nachweislichen Wirksamkeit der Stabilisierung der Südflanke und damit der Minimierung des Risikos eines verstärkten Lösungszutritts über das Deckgebirge

Grundlage: Bericht der CDM Consult zur technischen Machbarkeit und Erfolgshöufigkeit einer Stabilisierung durch Erhöhung des Versatzdruckes in den mit Salzgrus verfüllten Abbaukammern der Südflanke. (CDM (2008)).

6. Bewertung der vorliegenden Handlungsoptionen (Punkt 1, 3, 4) anhand der vorliegenden Ergebnisse der Langzeitsicherheitsanalyse (Konsequenzen in der Nachbetriebsphase) und der Ergebnisse der Störfallanalyse (Konsequenzen in der Stilllegungsphase) an Hand von vorab festgelegten fachlichen Kriterien entsprechend den Grundprinzipien des Strahlenschutzes (Rechtfertigung, Optimierung). Schutzziel ist der dauerhafte Schutz des Menschen und der Umwelt.

Die AGO hat keine eigenen Sachverhaltsermittlungen vorgenommen oder beauftragt. Dies bedeutet, dass die Überlegungen der AGO auf den grundlegenden von der Schachanlage Asse II ermittelten Sachverhalten und Randbedingungen (z. B. geologisches Modell, Abfallinventar, geomechanische Standortverhältnisse) für die Stilllegung der Asse aufbauen. Die fachlich-inhaltliche Prüfung dieser Sachverhalte war im zur Verfügung stehenden Zeitrahmen der Beurteilung von Handlungsoptionen nicht möglich. Sie ist Aufgabe der Genehmigungsbehörde und ihrer Gutachter im Genehmigungsverfahren.

Die konstituierende Sitzung der AGO hat am 05.03.2008 stattgefunden. Erschwert wurden die Arbeiten durch die verspätete und z. T. unvollständige Vorlage von notwendigen Unterlagen. So hat die AGO erst am 18.03.2008 den Bericht zur Herleitung des Stilllegungskonzeptes erhalten. Die zur Einarbeitung in die Thematik notwendigen Unterlagen wurden den Mitgliedern der AGO erst Mitte April zur Verfügung gestellt. Als besonders nachteilig erwiesen hat sich die Tatsache, dass der Bericht zur Störfallanalyse als eine wesentliche Beurteilungsgrundlage erst Ende Juli 2008 und unvollständig vorgelegt wurde. In der vorliegenden Form konnten nicht wie vorgesehen als Maßstab für die Beurteilung von Handlungsoptionen herangezogen werden. Infolge dessen fehlte der AGO wie auch den Bearbeitern der Studie zur MAW-Rückholung eine geeignete Beurteilungsbasis.

1.3 VORGEHENSWEISE UND AUFBAU DES BERICHTES

Der vorliegende Bericht dient der zusammenfassenden Dokumentation der von der AGO durchgeführten Arbeiten und der Darstellung der Schlussfolgerungen der AGO. Die Ergebnisse einzelner Bearbeitungsschritte sind detailliert in Einzelstellungen der AGO (AGO (2008c), AGO (2008d), AGO (2008e) und AGO (2008f)) dokumentiert. Sie werden daher hier nur zusammenfassend wiedergegeben.

Der vorliegende Abschlussbericht enthält eine Darstellung des gegenwärtigen Anlagenzustandes und der Standortverhältnisse soweit diese aus Sicht der AGO für die Beurteilung der Handlungsoptionen zur Verbesserung der Sicherheitssituation relevant sind (Kapitel 2).

In Kapitel 3 erfolgt eine Beschreibung der grundsätzlichen Möglichkeiten zur Stilllegung des Endlagers für radioaktive Abfälle Asse aus Sicht der AGO. Diese Darstellung listet systematisch alle grundsätzlichen Möglichkeiten auf, ohne im Detail auf ihre Realisierbarkeit einzugehen.

Die wesentlichen Ergebnisse der Prüfung des Herleitungsberichtes und des zugrunde liegenden Schließungskonzeptes sind in Kapitel 4 dargestellt.

Die Auseinandersetzung der AGO mit der Störfallanalyse des HMGU ist in Kapitel 5 dargestellt.

Die Bewertung der Ergebnisse der Fa. CDM zu den Möglichkeiten zur Verbesserung der geomechanischen Situation der AGO an Hand des AGO-Kriterienkatalogs ist in Kapitel 6 dargestellt.

In Kapitel 7 des vorliegenden Berichtes setzt sich die AGO mit den technischen Möglichkeiten und der Notwendigkeit der Rückholung der mittelradioaktiven Abfälle auseinander.

Im Kapitel 8 werden auf der Basis der der AGO vorliegender Daten zur Asse und den durchgeführten Untersuchungen die im Kapitel 3 aufgelisteten grundsätzlichen Stilllegungsoptionen an Hand von Kriterien einer ersten Bewertung zugeführt. Ziel dieser Bewertung ist eine Einengung auf realisierbare und erfolgshöfliche Konzepte unter dem Gesichtspunkt größtmöglicher Sicherheit.

Die zusammenfassenden Empfehlungen der AGO zur weiteren Vorgehensweise sind in Kapitel 9 dargestellt.

2 SITUATION DER SCHACHTANLAGE ASSE II IM HINBLICK AUF DEN BETRIEB UND FÜR DIE STILLLEGUNG AUS SICHT DER AGO

2.1 RADIOLOGISCHE GEGEBENHEITEN UND ABFÄLLE

	MAW (Kammer 8a, 511m Sohle)	LAW (Kammern auf 750- u. 725-m-Sohle)
Anzahl Gebinde	1.301 (davon 8 Gebinde mit LAW)	124.495
Gesamt-Aktivität Bq	1,19 E 15 (39 %)	1,84 E 15 (61 %)
Anteil α-Strahler Bq	1,17 E 13 (6,5 %)	1,68 E 14 (93,5 %)
Anteil β-Strahler Bq	1,18 E 15 (41 %)	1,67 E 15 (59 %)
Masseanteil	1 %	99 %

Tabelle 1: Aktivitätsinventar am Stichtag 01.01.2003 nach GERSTMANN, MEYER & THOLEN (2002), Tab. 5.2

Nach Tabelle 1 lagern in der MAW-Kammer etwa 1 % der Gebinde (und damit etwa 1 % der Abfallmasse). Dieses eine Prozent enthält zurzeit aber noch 39 % der Gesamtaktivität, die überwiegend aus kurzlebigen Radionukliden besteht. Andererseits enthalten die MAW aber nur 6,5 % der überwiegend langlebigen α -Strahler, die längerfristig radiologisch wichtiger sind.

2.2 GEOLOGISCHE GEGEBENHEITEN

Die geologischen und hydrogeologischen Gegebenheiten im Bereich der Schachtanlage Asse II werden in folgenden der AGO vorliegenden Unterlagen des HMGU beschrieben: KLARR (1981); RAUCHE, FRANZKE & SCHWANDT (2004), WEINBERG (1997), KLEMENZ ET AL. (2006), STOCKMANN ET AL. (2005), STOCKMANN ET AL. (2006) BATSCHKE, KLARR & STEMPEL (1994) und HMGU (2008a). Am 30.09.2008 hat die AGO zur letztgenannten Unterlage der HMGU (Entwicklung und Beschreibung des Schließungskonzeptes) eine Stellungnahme vorgelegt (AGO 2008c).

Die Asse als Teil der Sattelstruktur des Asse-Heeseberg-Höhenzugs besteht aus unterschiedlichen zechsteinzeitlichen d. h. ca. 230 Mio. Jahre alten Salzgesteinen. Der Sattelkern besteht aus Staßfurt-Steinsalz (z2Na) und wird vom Kaliflöz Staßfurt überlagert. Die Kalisalze bestehen aus sehr leicht löslichem Carnallit. Darüber schließt unmittelbar das Leine-Steinsalz (z3Na) an. Innerhalb des Leine-Steinsalzes befindet sich das Anhydritmittelsalz, eine Wechsellagerung aus Steinsalz und Anhydrit. Anschließend folgen noch die Schwaden- und Tonmittelsalze. Der Obere Leine-Ton beendet den Leine-Zyklus und der darauffolgende Rote Salzton beginnt den Aller-Zyklus (Z4), auf den noch Ohre- und Friesland-Folge folgen.

Das Deck- und Nebengebirge des Salzes wird überwiegend durch aus Ton-, Sand- und Kalkstein bestehende Schichten des Buntsandstein, des Muschelkalk und des Keupers gebildet. Das Deckgebirge ist über dem Sattelzentrum blockartig verstürzt.

Im Bereich des Bergwerkes ASSE II ist die Nordostflanke des Sattels relativ gleichmäßig ausgebildet. Demgegenüber ist die Schichtenfolge der Südwestflanke durch die halokinetischen Gebirgsbewegungen und die Salzkeilbildung unvollständig und stärker gestört. Das Staßfurt-Salinar grenzt direkt an den

Oberen Buntsandstein, da der Salzkeil aus den Schichten des Unteren und Mittleren Buntsandsteins in ca. 1.500 m Tiefe abgerissen und in horizontaler Lage geblieben ist. An der Südwestflanke sind unter anderem die Steinsalzabbau in einer Isoklinalfalte des Leinsteinsalzes (Lagerverdoppelung) abgebaut worden.

Die hydrogeologische Situation im Fernfeld ist durch die Trennung des lokalen vom regionalen hydraulischen System durch tiefe Muldenstrukturen charakterisiert. Der Einfluss des regionalen hydrogeologischen Systems auf die lokalen Bedingungen der Asse ist aufgrund der Durchlässigkeitsabnahme der Grundwasserleiter in der Tiefe und der Dichtezunahme infolge der Versalzung des Tiefengrundwassers gering.

Die lokal bedeutendsten Grundwasser leitenden Horizonte sind das verstürzte Deckgebirge, der Muschelkalk und im Bereich des Salzspiegels der verkarstete Rötanhydrit. Als bedeutender lösungsführender Horizont innerhalb der Salzstruktur ist das Anhydritmittelsalz zu nennen.

Die Barrierewirkung des Steinsalzes in der Südflanke als auch die des angrenzenden Nebengebirges (Oberer Buntsandstein) ist durch bergbaubedingte gebirgsmechanische Beanspruchungen eingeschränkt.

Im Bereich der Störungen und der gebirgsmechanisch beanspruchten Zonen ist die Gebirgsdurchlässigkeit im Deck- und Nebengebirge erhöht. Hierdurch sind Wasserwegsamkeiten in dem aus grundwassernichtleitenden Tongesteinen bestehenden oberen Buntsandstein zwischen der Salzflanke und dem Muschelkalkaquifer entstanden. Weitere Wasserwegsamkeiten bestehen in dem geogen und durch die bergbaulich bedingten Bewegungen aufgelockerten Rötanhydrit des oberen Buntsandsteins.

Es ist sowohl ein Zufluss von Grundwasser aus dem Unteren Muschelkalk über den Scherdeformationsbereich als auch über die Störungszonen durch den Oberen Buntsandstein möglich. Ein weiterer möglicher Zuflusspfad ist die Wegsamkeit aus dem verstürzten Deckgebirge über den Oberen Buntsandstein (Rötanhydrit). Das Grundwasser aus dem Bereich des Salzspiegels kann hierbei seinen Weg direkt über den Rötanhydrit nehmen. Ein zusätzlicher Zuflusspfad ist über die westlich der Schachanlage Asse II am Salzspiegel ausstreichenden Anhydritmittelsalze und den Rötanhydrit grundsätzlich möglich.

Mindestens seit 1988 besteht an der Südflanke ein Zutritt von derzeit noch NaCl-gesättigten Grundwässern. Die Zutrittsrate ist in der Vergangenheit angestiegen und der $MgCl_2$ -Gehalt hat abgenommen. Die Menge und Zusammensetzung der zutretenden Lösung ist derzeit weitgehend konstant. Die Zutrittslösung ist an $MgCl_2$ und $MgSO_4$ untersättigt und kann somit Minerale des Kalisalzes lösen und dieses zersetzen. Es ist eine geringfügige aber permanente Abnahme des $MgCl_2$ -Gehaltes zu verzeichnen.

Der Zutritt von Salzlösungen zum Grubengebäude erfolgt über die Zone der desintegrierten Steinsalzbarriere zwischen 500 m und 574 m Teufe. Über welchen der o. g. Wege das Grundwasser zu der Zone der desintegrierten Steinsalzbarriere gelangt, und ob alle drei o. g. Wege die gleiche Bedeutung für den Lösungszutritt besitzen ist derzeit nicht bekannt. Maßgeblich ist, dass das Grundwasser im Scheitel der Salzstruktur bis zum Salzspiegel und in der Südflanke bis in tiefere Teile der Flanke der Salzstruktur vordringen kann.

Aus Sicht der AGO werden die HMGU-Angaben zu folgenden geologisch / hydrogeologischen Sachverhalten als grundsätzlich plausibel eingeschätzt:

- Grundsätzlicher geologischer Bau des Untersuchungsgebietes (Lagerungsverhältnisse, Strukturbau, tektonische Situation), unter Berücksichtigung der Kenntnislücken bezüglich des tieferen Untergrundes, des strukturellen Baus des Nebengebirges und den Abläufen während der Genese der Salzstruktur

- Existenz eines Lösungszutritts und seiner Herkunft aus dem Deck-/Nebengebirge
- Existenz von großflächig aufgeschlossenen Carnallitvorkommen

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

- Hydrogeologische Verhältnisse und Datenbasis im Deckgebirge
- Bewertung der Lagerungsverhältnisse und Bedeutung der Anhydritmittel sowie des tektonisch beanspruchten Schichtpakets Roter Salzton/Pegmatitanhydrit in der Salzstruktur
- Zuflusspfad der zutretenden Deckgebirgslösungen und dessen hydraulische Wirksamkeit
- Beginn und Ort des Lösungszutritts sowie zeitliche Entwicklung des Chemismus und der gefassten Mengen
- Quantitative mineralogische und chemische Zusammensetzung des Carnallits

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

- Das Leinsteinsalz in der Nordflanke bildet eine derzeit offensichtlich wirksame geologische Barriere (über die Barriereigenschaften der Hangendschutzschicht zwischen oberster Sohle und Salzspiegel kann aufgrund der fehlenden Referenzen zu Lagerstättenkartierung oder eines belastbaren geologischen Lagerstättenmodells sowie wegen des unklaren Verlaufs der Anhydritmittel des Anhydritmittelsalzes derzeit keine Aussage getroffen werden).
- Neben Steinsalz ist Carnallit großflächig aufgeschlossen, und im Strukturscheitel sind große Carnallitmengen für potentielle Lösungsprozesse verfügbar.
- Es sind Carnallitauflüsse auch in einzelnen Einlagerungskammern zu vermuten.
- Sowohl im Bereich des Salzstrukturscheitels (Salzspiegel) als auch an den Flanken der Salzstruktur sind mobile Grundwässer mit möglichem Anschluss an leistungsfähige Aquifere verfügbar.
- Transportpfade im Deckgebirge, mögliche Zutrittsmengen und der Lösungsschemismus der zutretenden Lösungen und damit der sich einstellende Zustand im Grubengebäude sind derzeit nicht sicher zu prognostizieren.

2.3 BERGBAULICHE UND GEOTECHNISCHE GEGEBENHEITEN

Die Schachtanlage Asse II bei Wolfenbüttel ist ein ca. 100 Jahre altes Kali- und Steinsalzbergwerk, dessen Schacht II von 1906 bis 1908 geteuft wurde. Das Grubenfeld wurde ab 1909 aufgefahren. Ab 1909 begann die Carnallit-Gewinnung auf der NE-Flanke zwischen 717 m bis 750 m Teufe und ab 1916 wurde auch Leinsteinsalz in der isoklinal verfalteten Leinsteinsalzmulde an der SW-Flanke abgebaut. Der Abbau des Staßfurtsteinsalzes ist in wenigen Abbauen im Sattelkern ebenfalls erfolgt.

Das Bergwerk Asse II weist einen hohen Durchbauungsgrad und ein hinsichtlich dauerhafter Isolation der Abfälle sehr ungünstiges Design auf. Große Teile der Grubenbaue sind bereits mit Salzgrusversatz verfüllt, jedoch weist das Verfüllmaterial aufgrund der pneumatischen Einbringung erhebliche Anteile an Porenraum auf. Das Baufeld der Südflanke ist von einer durchgehenden Auflockerungszone im Salzgestein und im Nebengebirge flankiert, die erhöhte Durchlässigkeiten aufweist. Im oberen Bereich der

Südflanke besteht aufgrund der geringmächtigen Salzbarriere und der geomechanisch bedingten Schädigungsprozesse ein Integritätsverlust. Dieser Integritätsverlust hat zu einem Zutritt von Grundwässern aus dem Nebengebirge geführt. Der Zutrittsbereich ist wegen des Salzgrusversatzes an der Südflanke nicht mehr erreichbar. Die Einlagerungskammern des LAW sind mit benachbarten Grubenhöhlräumen über eine Vielzahl von Wegsamkeiten (Grubenbaue, Auflockerungszonen, Bohrungen) hydraulisch verbunden, so dass die Gefahr eines Kontaktes der eingelagerten Abfälle mit der Zutrittslösung besteht. Die zutretenden Lösungen werden zwar derzeit weitestgehend auf der 658-m-Sohle gefasst, sind aber über Grubenbaue und die Auflockerungszone z. T. bereits bis zur 725-m-Sohle und 750-m-Sohle vorgedrungen. Die Zuflussrate liegt derzeit konstant bei ca. 12 m³/d wobei die auf der 658-m-Sohle aufgefangene Zutrittsmenge ab- und die auf der 725-m-Sohle aufgefangene Zutrittsmenge zunimmt.

Das Tragsystem des Baufeldes in der Südflanke befindet sich im Grenzzustand der dilatanten Entfestigung mit Auswirkungen auf das angrenzende Deckgebirge. Das stark beanspruchte Tragsystem der Südflanke (Pfeiler-Schweben-System) befindet sich zu großen Teilen bereits im Nachbruchbereich. Die fortschreitenden Verformungen in der Südflanke führen zu erhöhten Pfeilerstauchungen und damit verbundenem Pfeilerversagen, so dass fortlaufend weitere Pfeiler in den Nachbruchbereich übergehen, insbesondere in der Baufeldmitte. Damit verbunden sind Spannungsumlagerungen auf die derzeit noch vergleichsweise intakten und somit tragfähigeren Pfeiler der Randbereiche, den stärker dimensionierten, Zentralpfeiler sowie auf das angrenzende Nebengebirge. Dies wird durch Spannungs- und Verformungsmessungen sowie durch Mikroseismik belegt. Der hoch belastete Zentralpfeiler ist an seiner Tragfähigkeitsgrenze angelangt und reagiert zunehmend mit Entfestigung.

Die Resttragfähigkeit der Pfeiler im Nachbruchbereich ist abhängig vom einwirkenden Manteldruck und der Konturstabilisierung durch die verbliebenen Schweben bzw. Schwebenringe und den eingebrachten Versatz. Die gemessenen Spannungen und Deformationen im Tragsystem der Asse-Südflanke belegen eine geringe stabilisierende Wirkung des Versatzes auf die Pfeiler (Pfeilerbettung). Es deutet sich damit ein Rückgang der Verformungsraten im Baufeld der Südflanke an. Pfeilerdeformationsmessungen zeigen seit 1999 eine degressive Entwicklung der Pfeilerstauchungsraten, wobei die Verformungen nach wie vor auf einem hohen Niveau ablaufen. Seit 2007 verlaufen die Pfeilerstauchungsraten wieder auf konstantem bzw. leicht progressivem Niveau. Die gemessenen mittleren Versatzdruckwerte lassen den Schluss zu, dass bedingt durch die hohe Anfangsporosität von bis zu 42 % ein signifikanter Lastaufbau im Versatz durch Kompaktion noch nicht erfolgen konnte. Infolgedessen schreitet der Entfestigungs- und Schädigungsprozess weiter voran. Die zunehmenden Verformungen zeigen verstärkt Wirkung im die Südflanke überspannenden Deckgebirge, wo sie zur weiteren Ausbildung von Scherbändern und somit einer Erhöhung der Mobilität des Deckgebirges führen. Aktuelle mikroseismische Messergebnisse belegen zunehmende Beanspruchungen und Scherdeformationen im Deckgebirge, insbesondere entlang tektonisch angelegter Störungszonen.

3 BESCHREIBUNG DER GRUNDSÄTZLICHEN MÖGLICHKEITEN ZUR STILLLEGUNG DES ENDLAGERS FÜR RADIOAKTIVE ABFÄLLE ASSE

Die grundsätzlichen Optionen und ihre zugehörigen Varianten zur Stilllegung des Endlagers Asse sind bereits in der Stellungnahme der AGO zum „Herleitungsbericht“ des Helmholtz Zentrum München kurz benannt worden (AGO (2008c)). Diese Optionen werden hier etwas ausführlicher dargestellt, wobei die Darstellung sich auf die wesentlichen Merkmale der einzelnen Optionen bzw. ihrer Varianten konzentriert. Zudem wird bei einigen Varianten gegenüber der Darstellung in AGO (2008c) eine zusätzliche Differenzierung vorgenommen. Die Bewertung der Optionen und Varianten erfolgt in Abschnitt 8.

Die grundlegenden **Optionen** sind:

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

Für diese Optionen ergeben sich folgende **Varianten** und **Untervarianten**:

- I Schließung und Verbleib der radioaktiven Abfälle am derzeitigen Ort
 - Ia) Trockenverwahrung
 - Ib) Natürliches Volllaufen
 - Ib1) Volllaufen ohne weitere Maßnahmen
 - Ib2) Volllaufen nach Durchführung von Maßnahmen
 - Ic) Gezielte Flutung mit einem „Schutzfluid“
 - Ic1) HMGU-Schutzfluidkonzept
 - Ic2) Alternatives Konzept mit gezielter Flutung
- II Rückholung der radioaktiven Abfälle
 - IIa) Rückholung der MAW
 - IIb) Rückholung der LAW
 - IIc) Rückholung aller Abfälle
 - IId) Rückholung von Teilen der Abfällen
- III Interne Umlagerung der radioaktiven Abfälle in der Asse
 - IIIa) Interne Umlagerung der MAW
 - IIIb) Interne Umlagerung der LAW

IIIc) Interne Umlagerung aller Abfälle

IIIId) Interne Umlagerung von Teilen der Abfälle

Bei der Beschreibung der einzelnen Varianten muss beachtet werden, dass der Kenntnisstand zu den Varianten unterschiedlich ist. Zu der Variante Ib1) liegen bereits Überlegungen des Helmholtz Zentrums München vor, und Variante Ic) entspricht dem von Helmholtz Zentrum München favorisierten Verschlusskonzept. Weiterhin gibt es Überlegungen von Fichtner Consulting & IT (FICT (2006)) zur Rückholung der Abfälle (Varianten der Option II), und es liegt eine Studie zur Rückholung der MAW-Abfälle (Variante IIa)) vor (EWN & TÜV (2008)). Insbesondere die Varianten Ia), Ib2), Ic2) und die Varianten der Option III sind noch nicht entsprechend detailliert ausgearbeitet. Dennoch können die wesentlichen Merkmale auch dieser Varianten identifiziert werden.

Diese Optionen bzw. ihre zugeordneten Varianten sind durch folgende Merkmale gekennzeichnet:

Option I: Schließung mit Verbleib der radioaktiven Abfälle am derzeitigen Ort

Diese Option ist dadurch gekennzeichnet, dass die radioaktiven Abfälle nicht geborgen werden, sondern genau dort verbleiben, wo sie eingelagert worden sind. Die Varianten dieser Option unterscheiden sich allein danach, ob und welche Maßnahmen zur besseren Isolation der Abfälle und zur Verminderung der Mobilisierung und Ausbreitung der Schadstoffe umgesetzt werden.

Variante Ia) Trockenverwahrung

Kennzeichen dieser Variante ist die dauerhafte Vermeidung des Zutritts von Deckgebirgschwässern in das Grubengebäude während des gesamten Nachweiszeitraums. Damit wären bei Machbarkeit dieser Variante Mobilisierungs- und Transportmechanismen für Radionuklide weitestgehend ausgeschaltet, und auch die Auflösung von löslichen Gesteinen (i. W. Carnallit) durch zutretende Lösungen wäre nicht zu besorgen. Dies setzt die dauerhafte Abdichtung bestehender und die Verhinderung von neuen Lösungszutritten aus dem Deckgebirge voraus.

Variante Ib) Natürliches Volllaufen

Kennzeichen dieser Variante ist das natürliche Volllaufen der Grubenhohlräume nach der Stilllegung durch Lösungszutritte aus dem Deckgebirge .

Ein natürliches Volllaufen des Grubengebäudes durch die bereits bestehenden Zuflüsse von Grundwasser aus dem Deckgebirge käme einem unkontrollierten Absaufen des Bergwerkes gleich.

Infolge des Absaufens würden die eingelagerten Schadstoffe teilweise oder ganz in Lösung gehen. Durch die fortschreitende Konvergenz würde das lösungsgefüllte Hohlraumvolumen ständig verkleinert und die kontaminierten Lösungen würden ins Grundwasser des Neben- und Deckgebirges ausgepresst, von wo aus eine weitere Ausbreitung in die Biosphäre möglich ist. Die Prognostizierbarkeit des Gesamtsystems wäre damit eingeschränkt.

Bei einem natürlichem Volllaufen des Bergwerkes würde der Zutritt von Reaktions- und Transportmitteln für die Radionuklide also in Kauf genommen. Diese Variante besitzt folgende zwei Untervarianten:

Untervariante Ib1) Volllaufen ohne weitere Maßnahmen

Bei dieser Untervariante wird das natürliche Volllaufen des Grubengebäudes nach der Stilllegung in Kauf genommen, ohne dass weitere Maßnahmen getroffen werden. Diese Untervariante ist von HMGU (2008a) bereits betrachtet worden, und die AGO hat dazu Stellung bezogen (AGO (2008c)). Das derzeitige Hohlraumvolumen (unversetzte Auffahrungen plus Porenraum) von rund 1.500.000 m³ (GSF (2006c)) würde mit einer gesättigten oder auch ungesättigten NaCl-Lösung volllaufen. Durch Auf- und Umlöseprozesse, besonders im Bereich von aufgeschlossenem Carnallit, würde zusätzlicher Hohlraum entstehen und bislang noch tragfähiges Gebirge würde durch selektive Auslaugung und Umlösung von Kalium- und Magnesiumsalzen porös und entfestigt. Hierdurch würde sich die Standsicherheit des Grubengebäudes weiter verschlechtern.

Untervariante Ib2) Volllaufen nach Durchführung von Maßnahmen

Diese Untervariante ist dadurch gekennzeichnet, dass sie das natürliche Volllaufen des Grubengebäudes mit Deckgebirgswässern nach der Stilllegung zwar in Kauf nimmt, vorher aber technische Maßnahmen zur Hohlraumminimierung oder Isolation der Abfälle getroffen werden.. Zu den technischen Maßnahmen können die Abdichtung von einzelnen Grubenbereichen, das Einbringen von Versatzmaterialien (z. B. Sorelbeton, Selbstverheilender Versatz) oder chemischen Puffersubstanzen (z. B. Hartsalz, Brucit) oder die Druckluftbeaufschlagung während der Phase des Volllaufens etc. gehören.

Variante Ic) Gezielte Flutung

Kennzeichen dieser Variante ist die gezielte Flutung der noch vorhandenen Resthohlräume des Grubengebäudes ggf. nach Durchführung weiterer vorheriger Maßnahmen mit einem weitgehend inerten oder im chemischen Gleichgewicht mit den anstehenden Gesteinen stehenden Fluid. Hierdurch soll das natürliche Volllaufen weitgehend verhindert und damit die Auf- oder Umlösung von Salzgesteinen minimiert werden. Zudem übernimmt das Fluid eine hydraulische Stützwirkung. Auch mit der gezielten Flutung steht ein Reaktions- und Transportmittel zur Verfügung.

Untervariante Ic1) HMGU-Schutzfluid-Konzept

Diese Variante entspricht dem in HMGU (2008a) vorgestellten Schließungskonzept. Die AGO hat dazu bereits Stellung bezogen (AGO (2008c)).

Untervariante Ic2) Alternatives Konzept mit gezielter Flutung

Neben dem HMGU-Schutzfluid-Konzept sind weitere Schutzfluide und sonstige Maßnahmen in der Diskussion. Vorstellbar ist der Einsatz alternativer Fluide (z. B. eine „Z-Lösung“) und alternativer technischer Maßnahmen mit dem Ziel, die Robustheit der Schließungsmaßnahmen zu verbessern und die Mobilisierungs- und Transporteigenschaften zu minimieren.

Option II: Rückholung der radioaktiven Abfälle

Kennzeichnend für diese Option ist die möglichst weitgehende Beseitigung des durch die eingelagerten radioaktiven Abfälle hervorgerufenen langfristigen, lokalen Gefährdungspotentials durch Rückholung von Abfallteilmengen oder aller Abfälle. Damit verbunden ist u. a. die Notwendigkeit der Behandlung (Konditionierung, Neuverpackung), der Zwischenlagerung, des Transports und schließlich der Endlagerung der rückgeholt Abfälle. Für den Fall, dass Teile der Abfälle im Endlager Asse II verbleiben, müssen weiterhin Maßnahmen zur Gewährleistung der langfristigen Sicherheit getroffen werden.

Variante IIa) Rückholung der MAW

Bei dieser Variante sollen nur die MAW-Abfälle (1301 Fässer aus der Kammer 8a, 511-m-Sohle) zurückgeholt werden. Alle anderen Abfälle sollen im Endlager Asse II verbleiben. Diese Variante hat vorrangig Auswirkungen auf die Ergebnisse von Störfallbetrachtungen während des Betriebes bzw. der Stilllegungsphase. Sie ist weniger bedeutsam für die Langzeitbetrachtung, da der Anteil der α -Strahler gering ist (s. Tabelle 1, Kap. 2.1). Für die Rückholung der MAW-Abfälle ist nur eine Kammer zu öffnen. Dennoch müssen für die in der Asse verbleibenden LAW-Abfälle weitere Maßnahmen mit Blick auf die Langzeitsicherheit getroffen werden. Zu dieser Variante liegt eine Studie (EWN & TÜV (2008)) sowie deren Bewertung durch die AGO (AGO (2008f)) vor.

Variante IIb) Rückholung der LAW

Bei dieser Variante werden nur die LAW-Abfälle (124.495 Fässer in 13 Kammern auf der 750-m- und 725-m-Sohle) zurückgeholt. Alle anderen Abfälle verbleiben im Endlager. Sie ist bedeutsam für die Langzeitbetrachtung, da die für die langfristige Sicherheit des Endlagers relevanten α -Strahler überwiegend in den LAW vorliegen. Der Großteil an α -Strahler-Inventar ist in wenigen Einlagerungskammern der 750m Sohle enthalten. Gegenüber der Variante IIa) ist es bei dieser Variante notwendig, die Einlagerungskammern zu öffnen und abgekippte, mit Salzgrus zugeschüttete Abfälle zu bergen. Für die in der Asse verbleibenden MAW-Abfälle sind weitere Maßnahmen mit Blick auf Störfall- und Langzeitsicherheit zu treffen.

Variante IIc) Rückholung aller radioaktiven Abfälle

Bei dieser Variante sollen die LAW-Abfälle und die MAW-Abfälle zurückgeholt werden. Damit würde angestrebt, das gesamte radioaktive Gefährdungspotenzial aus der Asse zu entfernen. Die Rückholung aller Arten von Abfällen wurde in FICT (2006) betrachtet. Der Aufwand für diese Variante ist am höchsten. Falls aus technischen Gründen eine vollständige Rückholung nicht realisierbar sein sollte, müssen entsprechende Maßnahmen für die im Grubengebäude verbleibenden Reste des Inventars getroffen werden.

Variante II d) Teilrückholung von radioaktiven Abfällen

Kennzeichnend für diese Variante ist die Rückholung von bestimmten Teilen der Abfälle (unabhängig von LAW oder MAW). Dazu gehören vorrangig die Abfälle, die aufgrund ihrer Zugänglichkeit relativ gut rückholbar sind und/oder die LAW-Abfälle, die deutliche Beiträge zum radiologischen

Langzeitrisko leisten (α -Strahler). Für die in der Asse verbleibenden Abfälle müssten dann trotzdem weitere Maßnahmen mit Blick auf die Langzeitsicherheit getroffen werden.

Option III: Interne Umlagerung der radioaktiven Abfälle in der Asse

Kern sämtlicher Varianten dieser Option ist die Umlagerung von in der Schachanlage Asse II eingelagerten Abfällen in neu zu errichtende Endlagerhöhlräume innerhalb der Asse-Salzstruktur. Das Ziel dieser Option wäre die Bergung der Abfälle aus dem gefährdeten bestehenden Bergwerksteil und deren Verbringung in neu aufzufahrende, hydraulisch langzeitsicher abdichtbare Endlagerhöhlräume. Hierzu sind neue Kammern bzw. Kavernen deutlich unterhalb des vorhandenen Grubengebäudes der Schachanlage Asse II im älteren Steinsalz Kern der Salzstruktur mit ausreichendem Sicherheitsabstand zur Salzstockgrenze und zu existierenden Hohlräumen aufzufahren. Erste Überlegungen gehen von der Erstellung von zwei Kavernen zwischen 1.100 m und 1.200 m Tiefe mit zusammen ca. 100.000 m³ Volumen aus, die in einer geschätzten Herstellungsdauer von ca. einem halben Jahr aufgefahren würden. Da jede Endlager-Kaverne nur durch einen einzigen, ca. 350 m langen Blindschacht zugänglich wäre, bestünde die Möglichkeit die Kaverne gegenüber dem restlichen Grubengebäudes hydraulisch sicher abzudichten (BERTRAM & KRUPP (2009)).

Variante IIIa) Interne Umlagerung der MAW

Kennzeichnend wäre die Beschränkung der Umlagerung auf die MAW, mit Rückholung oder Verbleib der LAW an ihrem derzeitigen Ort. Der Raumbedarf für die Umlagerung nur der MAW wäre wesentlich geringer als bei Umlagerung aller Abfälle. Für die nicht umgelagerten Abfälle müssten dann weitere Maßnahmen mit Blick auf die Langzeitsicherheit getroffen werden.

Variante IIIb) Interne Umlagerung der LAW

Kennzeichnend wäre die Beschränkung der Umlagerung auf die LAW, mit Rückholung oder Verbleib der MAW an ihrem derzeitigen Ort. Der Raumbedarf für die Umlagerung nur der LAW wäre kaum geringer als bei Umlagerung aller Abfälle. Für die nicht umgelagerten Abfälle müssten dann weitere Maßnahmen mit Blick auf die Langzeitsicherheit getroffen werden.

Variante IIIc) Interne Umlagerung aller radioaktiven Abfälle

Kennzeichnend wäre die Umlagerung aller Abfälle (MAW und LAW). Der Raumbedarf für die Umlagerung aller Abfälle wäre etwa der gleiche wie bei Umlagerung nur der LAW und beträgt nach BERTRAM & KRUPP (2009) ca. 100.000 m³. Der Zeitbedarf wäre bei parallel arbeitenden Teams vermutlich nicht länger als bei der Umlagerung von nur LAW.

Variante III d) Interne Umlagerung von Teilen der radioaktiven Abfälle

Kennzeichnend für diese Variante ist die Rückholung von bestimmten Teilen der Abfälle (unabhängig von LAW oder MAW). Dazu gehören vorrangig die Abfälle, die aufgrund ihrer Zugänglichkeit relativ gut rückholbar sind und/oder diejenigen LAW-Abfälle, die deutliche Beiträge zum radiologischen Langzeitrisko leisten (α -Strahler). Für die in der Asse verbleibenden Abfälle müssten dann trotzdem weitere Maßnahmen mit Blick auf die Langzeitsicherheit getroffen werden.

4 BEWERTUNG DES HERLEITUNGSBERICHTS DES HMGU (HMGU (2008A))

Die sich aus den gegebenen Standortbedingungen der Schachanlage Asse II ergebenden Randbedingungen für die Planung von Stilllegungskonzepten und -maßnahmen stellen sich für die AGO auf der Basis des Herleitungsberichts des HMGU (HMGU (2008a)) wie folgt dar:

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

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

Das Leinsteinsalz in der Nordflanke bildet eine derzeit offensichtlich wirksame geologische Barriere.

Neben Steinsalz ist Carnallit großflächig aufgeschlossen und im Strukturscheitel sind große Carnallitmengen für potentielle Lösungsprozesse verfügbar. Ebenso sind Carnallitaufrisse auch in einzelnen Einlagerungskammern zu vermuten.

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

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

Der Integritätsverlust hat zu einem Zutritt von Grundwässern aus dem Nebengebirge geführt. Der Zutrittsbereich ist wegen des Salzgrusversatzes an der Südflanke nicht mehr direkt erreichbar.

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

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

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

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

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

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

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

Der Herleitungsbericht (HMGU (2008a)) enthält darauf aufbauend ein mögliches Konzept für die Stilllegung und für den Nachweis der Langzeitsicherheit, welches abgesehen von den in der Stellungnahme (AGO (2008c)) aufgezeigten offenen Punkten zur technischen Machbarkeit und Wirksamkeit in sich folgerichtig ist. Die gewählte Stilllegungsoption wurde aber nicht systematisch ermittelt. Die von HMGU präferierte Stilllegungsoption „Schutzfluidkonzept“ erscheint in Anbetracht der gegebenen standort- und systemspezifischen Randbedingungen als eine Möglichkeit, in dem System Verhältnisse herzustellen, die eine Prognose des zukünftigen Verhaltens mit hinreichender Sicherheit erlauben, sofern alle offenen Punkte eindeutig und mit ausreichendem Tiefgang beantwortet werden können.

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

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

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

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

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

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

5 BEWERTUNG DES ENTWURFS DER STÖRFALLANALYSE DES HMGU (HMGU (2008B))

Der Bericht zur Störfallanalyse (HMGU (2008b)) wurde der AGO von HMGU lediglich in einer Entwurfsfassung zur Verfügung gestellt und bisher nicht ergänzt bzw. aktualisiert. Der Entwurf-Status der Unterlage wurde von HMGU damit begründet, dass sich noch wesentliche erläuternde Unterlagen zur Nachvollziehbarkeit der Störfallanalyse (Sicherheitsanalyse des bestimmungsgemäßen Betriebs, Herleitung der maximal zu erwartenden Zutrittsrate und Nachweis der Nichtselbstentzündlichkeit bituminierter Nitrate) in der Bearbeitung befinden.

In ihrer Stellungnahme zum Entwurf der Störfallanalyse des HMGU (AGO (2008d)) stellt die AGO zusammenfassend fest, dass in der Unterlage der als relevant einzustufende Störfall eines Lösungszutritts aus dem Deckgebirge von mehr als 200 m³/d nicht betrachtet wird und für einige der betrachteten Störfälle eine Zuordnung zur Störfallklasse 2 aufgrund der im Entwurf dargestellten Vorsorgemaßnahmen nicht gerechtfertigt ist. Insbesondere für die Störfallszenarien „Zutritt von Schachtwässern und Salzlösungen aus dem Deckgebirge in das Grubengebäude“ und „Einwirkungen infolge des Lösungs- und Verfüllstoffmanagements“ ist der Hinweis auf getroffene Vorsorgemaßnahmen nicht ausreichend. Mindestens für diese radiologisch relevanten Störfälle sollte die Einhaltung der Störfallplanungswerte nach § 49 Abs. 1 StrlSchV sowohl während der Stilllegung als auch in der Nachbetriebsphase durch quantitative Betrachtungen der möglichen radiologischen Auswirkungen in der Umgebung nachgewiesen werden.

Die erforderliche Quantifizierung der radiologischen Konsequenzen des auslegungsüberschreitenden Ereignisses „unbeherrschbarer Lösungszuflusses“ in der Stilllegungsphase (mit Konsequenzen für die Stabilität des Gesamtsystems) vor Realisierung der Stilllegungsmaßnahmen fehlt. Somit stellt der Entwurf der Störfallanalyse keine geeignete Grundlage dar, um die Notwendigkeit und Rechtfertigung von „...weiteren Maßnahmen zur Verbesserung der Sicherheitssituation der Asse...“ (AGO (2008a)) zu beurteilen. Die bisher nicht vorliegende Sicherheitsanalyse wirkt sich erschwerend auf die Beurteilung von Schließungsoptionen wie z. B. der Rückholung der MAW-Abfälle aus.

6 BEWERTUNG DER MACHBARKEITSSTUDIE ZUR VERSATZDRUCKERHÖHUNG IN DEN GRUBENBAUEN DER SÜDFLANKE (CDM (2008))

Die AGO bewertet die in der Machbarkeitsstudie zur Versatzdruckerhöhung in den Grubenbauen der Südflanke (CDM (2008)) vorgeschlagenen Aktivitäten zur Erhöhung der Versatzsteifigkeit und damit zur Reduktion der Verformungsraten im Tragsystem der SW-Flanke der Schachtanlage Asse in ihrer Stellungnahme (AGO (2008e)) wie folgt:

Die bis Ende des Jahres 2008 vorliegenden geomechanischen Prognosen des IfG Leipzig weisen einen etwa sechsjährigen Handlungsspielraum aus. Die AGO plädiert deshalb für die unverzügliche Aufnahme konkreter Planungen zur Realisierung einer qualifizierten Firstspaltverfüllung nach dem von CDM entwickelten Grundkonzept. Die AGO teilt die Meinung, dass der durch die Firstspaltverfüllung erreichbare kraftschlüssige Verbund zwischen Versatz und Kammerwandungen zu einer deutlichen Reduzierung der Verformungsraten führen wird.

Nachteilige Auswirkungen der Firstspaltverfüllung auf ein zu realisierendes Stilllegungskonzept und den Nachweis der Langzeitsicherheit werden von der AGO nicht gesehen.

Hinsichtlich der von CDM vorgeschlagenen Verdichtungsinjektionen zur frühzeitigen Erhöhung der Versatzsteifigkeit ergibt sich aufgrund der noch zu klärenden offenen Fragen die Notwendigkeit von Vorversuchen und weiteren Modellrechnungen. Falls die offenen Fragen positiv beantwortet werden, empfiehlt die AGO die Durchführung der Verdichtungsinjektionen.

Zusätzlich zu der in (CDM (2008)) betrachteten Kammerauswahl für die Verdichtungsinjektion sollte untersucht werden, ob die den Baufeldgrenzen am nächsten gelegenen Kammern vorrangig ausgesteift werden sollten, um die dort vorhandenen abrupten Steifigkeitssprünge und die dadurch bewirkten Verschiebungsdifferenzen und Spannungskonzentrationen zu vermindern.

Die AGO merkt abschließend an, dass das Risiko eines weiter steigenden Lösungszutritts trotz der von CDM vorgeschlagenen Maßnahmen bestehen bleibt. Die AGO schließt sich der Feststellung von CDM an: „Eine eindeutige Korrelation zwischen Verformungszustand des Gebirges und dem Laugenzutritt kann ... aufgrund der komplexen Gebirgsverhältnisse und des nicht eindeutig definierbaren Laugenzutritts in das Salzgebirge nicht angegeben werden.“ (CDM (2008), S. 24).

7 BEWERTUNG DER MACHBARKEITSSTUDIE ZUR RÜCKHOLUNG DER MAW (EWN & TÜV (2008))

Die AGO kommt in ihrer Stellungnahme (AGO (2008f)) zu folgender zusammenfassender Bewertung der in EWN & TÜV (2008) vorgelegten Betrachtungen:

Die Aussagen des Berichtes zu genehmigungsrechtlichen Aspekten wurden von der AGO nicht im Detail geprüft. Die Prüfung der rechtlichen Randbedingungen sollte Gegenstand einer gesonderten Bewertung sein. Die AGO weist jedoch auf folgende Punkte hin:

- Durch eine von EWN und TÜV favorisierte behördliche Anordnung der Rückholungsmaßnahmen werden die in einem Genehmigungsverfahren mit Planfeststellung festgelegten Beteiligungsrechte betroffener Dritter weitgehend eingeschränkt. Eine solche Anordnung erfordert das Vorliegen einer konkreten Gefahr. Unter Störfallgesichtspunkten wäre eine Rückholung nur zu rechtfertigen, wenn dadurch die Gefahr beseitigt wird. Die für eine abschließende Einschätzung erforderliche Störfallanalyse liegt bislang nur unvollständig als Entwurf vor. Die Bewertung der Rechtfertigung der Rückholung ist daher noch nicht abgeschlossen.
- Es sollte vor Beginn der Rückholung sichergestellt sein, dass die Transporte zur Hauptabteilung Dekontaminationsbetriebe (HDB) des Forschungszentrums Karlsruhe, die dortige Produktkontrolle und endlagergerechte Konditionierung gewährleistet werden können, da ansonsten eine längerfristige Lagerung ggf. auch Produktkontrolle und Konditionierung am Standort erfolgen müsste. Auch die Einlagerung im Endlager Konrad sollte sichergestellt sein, insbesondere vor dem Hintergrund, dass hierzu alle MAW als Charge betrachtet werden müssen,

Aus Sicht der AGO ist festzustellen, dass auf der Basis der beschriebenen Techniken und Varianten und unter Berücksichtigung der zugrunde gelegten Annahmen eine Bergung der radioaktiven Abfälle aus der MAW-Kammer grundsätzlich technisch machbar ist. Es bestehen jedoch bei zahlreichen Punkten – insbesondere im Hinblick auf den Zeitplan und die Frage einer ggf. am Standort zu errichtenden kerntechnischen Anlage (zur Konditionierung und/oder längerfristigen Lagerung) erhebliche Unsicherheiten. Die Abschätzung der Zeitabläufe und somit der gesamten Dauer des Vorhabens in EWN & TÜV (2008) werden als sehr optimistisch bewertet. Die Unsicherheiten bezüglich des Zeit- und Kostenrahmens sind erheblich. Diese Unsicherheiten betreffen in besonderem Maße die Durchführung eines atomrechtlichen Genehmigungsverfahrens für die Rückholung.

Ob eine vollständige Bergung aller 1301 in der Kammer 8a auf der 511m Sohle eingelagerten Fässer gelingt ist fraglich. In EWN & TÜV (2008) wird von einem Verbleib nicht handhabbarer Gebinde in der Kammer ausgegangen. Dekontaminationsarbeiten in dieser Kammer werden nicht in Betracht gezogen. Betrachtungen zu radiologischen Konsequenzen von in der MAW-Kammer verbleibenden Fässern liegen nicht vor.

Des Weiteren nimmt die AGO wie folgt Stellung¹:

Die radiologischen Konsequenzen (Strahlenexposition) für die Bevölkerung resultierend aus Rückholung und Zwischenlagerung der MAW-Abfälle wird in EWN & TÜV (2008) in der Summe im Wesentlichen wegen sehr konservativer Annahmen zur Zwischenlagerung als zu hoch eingeschätzt. Das gleiche trifft zu auf die Expositionsabschätzung für die mit einer möglichen Rückholung beauftragten Beschäftigten.

Beim Eintreten von Störfällen kann es zu radiologischen Konsequenzen und einer Strahlenexposition von Personal oder Bevölkerung kommen. Die AGO kommt allerdings zu der Auffassung, dass für den Fall der

¹ Sondervotum: Herr Prof. Dr. Bertram teilt die von der AGO angenommene Überschätzung der vom TÜV dargelegten Strahlenexposition der Bevölkerung im Falle der Rückholung der MAW-Abfälle nicht.

Realisierung entsprechender Umrüstmaßnahmen die bisher betrachteten Störfälle mit radiologisch bedeutsamen Konsequenzen ausgeschlossen werden können.

Für den Fall des untertägigen Transportunfalls auf der 490-m-Sohle ist eine belastbare Beurteilungsgrundlage zu schaffen, um auch für diesen Fall eine Unterschreitung der Störfallplanungswerte nachzuweisen.

Im Bericht EWN & TÜV (2008) wird der Nutzen einer Rückholung der MAW-Abfälle aus der Asse in Frage gestellt. Begründet wird dies wesentlich mit Argumenten des Strahlenschutzes, insbesondere damit, dass nach den durchgeführten Berechnungen die Bevölkerung (im Wesentlichen durch die Direktstrahlung aus den oberirdisch in einem Zwischenlager deponierten Abfallbehältern im Bereich von $400\mu\text{Sv/a}$) und die mit der Rückholung der Abfälle beauftragten Beschäftigten (kollektiv etwa 400 mSv, individuell im Mittel etwa 10 mSv) zusätzlich in nicht zu vernachlässigender Höhe exponiert würden.

Allerdings ist festzuhalten, dass viele Grundannahmen sehr konservativ gewählt wurden und damit die realen Expositionen für die Bevölkerung und die Beschäftigten wesentlich überschätzt werden. Die AGO ist der Auffassung, dass die im Fall einer Rückholung der MAW real eintretenden Strahlenexpositionen von Personal und Bevölkerung niedriger liegen würden, als in EWN & TÜV (2008) eingeschätzt.

Zu den Konsequenzen möglicher Freisetzungen liegen bislang nur unvollständige Konsequenzanalysen vor (Auswirkungen einer möglichen Freisetzung aus dem Endlager Asse in der Zukunft). In einer kürzlich erstellten Betrachtung zu den radiologischen Auswirkungen eines Ersaufens der Schachtanlage wurden die maximal zu erwartenden Dosen für die Bevölkerung bei Exposition durch mobilisierte und freigesetzte Radionuklide abgeschätzt (COLENCO (2008)). Diese und weitere der AGO vorliegenden Konsequenzanalysen weisen die untergeordnete Bedeutung der MAW für die prognostizierte Strahlenexposition der Bevölkerung unter dem Gesichtspunkt der Langzeitsicherheit aus.

Bei den MAW-Abfällen handelt es sich zu einem erheblichen Teil um Strukturmaterialien aus dem kernnahen Bereich, die bei der Wiederaufarbeitung von Brennelementen in der Wiederaufarbeitungsanlage Karlsruhe (WAK) angefallen sind. Die Auslaugbarkeit der Radionuklide in diesen Abfällen wird als sehr gering eingestuft, da zum einen die Zementierung des Abfalls schützend wirkt, zum anderen die Radionuklide überwiegend als Aktivierungsprodukte des Materials vorliegen und somit kurzfristig nicht auslaugbar sind. Zudem sind die für die Strahlenexposition der Bevölkerung wesentlichen α -Strahler nur zu 6,5 % in den MAW-Abfällen enthalten. Unter dem Gesichtspunkt der Langzeitsicherheit ist eine Rückholung allein der MAW folglich nicht zu empfehlen.

8 BEWERTUNG DER GRUNDLEGENDEN STILLLEGUNGSOPTIONEN

8.1 ZIEL UND GRUNDLAGEN DER BEWERTUNG

Das Ziel des Optionenvergleichs ist die Ermittlung der optimalen Stilllegungsoption für die Schachanlage Asse II. Diese optimale Stilllegungsoption müsste unter Berücksichtigung der am Standort gegebenen ungünstigen geologisch-bergbaulichen Umstände technisch umsetzbar sein und durch sie müsste langfristig die Freisetzung von radioaktiven und chemotoxischen Stoffen vermieden oder bestmöglich minimiert werden.

Die optimale Stilllegungsoption muss aus den in Kap. 3 beschriebenen grundlegenden Optionen und ihren Varianten mittels einer vergleichenden Bewertung identifiziert werden. Dazu ist es jedoch notwendig, zu den einzelnen Optionen bzw. Varianten genügend Informationen zu besitzen. Dies ist derzeit – von einigen wenigen Varianten abgesehen – nicht der Fall. Außerdem ist derzeit die Methodik zur vergleichenden Bewertung von Optionen noch nicht festgelegt und noch zu entwickeln. Die fehlenden Informationen und die noch nicht festgelegte Bewertungsmethodik führen dazu, dass eine abschließende vergleichende Bewertung der Optionen zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht möglich ist.

Deshalb werden in einem ersten Schritt die Optionen auf Grundlage der vorliegenden Informationen daraufhin überprüft, ob sie überhaupt in der Lage sind, das Ziel zu gewährleisten. Optionen, die dazu (wahrscheinlich) nicht in der Lage sind, werden zurückgestellt; alle anderen Optionen werden in die folgende vergleichende Bewertung der Stilllegungsoptionen einbezogen. Als Ergebnis des ersten Bewertungsschrittes erfolgt die Identifizierung der Optionen bzw. Varianten, die weiter verfolgt werden sollen.

Die Bewertung der Optionen bzw. Varianten im ersten Bewertungsschritt geschieht qualitativ, denn mit Ausnahme der Varianten Ic) „Flutung mit Schutzfluid“ und IIa) „Rückholung MAW“ liegen keine belastbaren quantitativen Informationen vor. Diese Informationen sollen im Laufe des Jahres 2009 vom Betreiber zur Verfügung gestellt werden.

Die qualitative Bewertung orientiert sich an folgenden drei Beurteilungsfeldern:

- **Die Wirksamkeit der Maßnahme im Hinblick auf die Langzeitsicherheit.** Die Gewährleistung der Langzeitsicherheit steht im Vordergrund der Bewertung. Um die langfristigen radiologischen Gefahren zu minimieren, muss entweder das Bergwerk in einen Zustand versetzt werden können, der eine langzeitsichere Verwahrung der radioaktiven Abfälle an ihrem jetzigen Lagerplatz ermöglicht, oder die Abfälle müssen aus dem Bergwerk aus-, zwischen- und endgelagert werden, oder durch Umlagerung an einen sicheren Ort verbracht werden, an dem ein Wasserzutritt in das Bergwerk Asse II unschädlich ist.
- **Die Berücksichtigung der speziellen geologischen, geochemischen, bergbaulichen und gebirgsmechanischen Voraussetzungen und Randbedingungen.** Dabei ist die Gefahr eines nicht mehr beherrschbaren Wassereinbruchs zu berücksichtigen. Jedoch ist der Zeitpunkt dieses möglichen Wassereinbruchs nicht prognostizierbar. Es sollte aber davon ausgegangen werden, dass diese Gefahr mit fortschreitender Verformung des Nebengebirges im Zeitverlauf anwächst.
- **Die grundsätzliche technische Machbarkeit der Maßnahme.** Dabei muss auch die organisatorische Umsetzbarkeit der Optionen bzw. Varianten im Hinblick auf Folgewirkungen, Genehmigungssituation, Logistik u. ä. berücksichtigt werden.

Das Ergebnis dieser Bewertung führt zu zwei Kategorien: **Kategorie A** umfasst diejenigen Optionen, die nach gegenwärtigem Kenntnisstand weiter betrachtet werden sollen und die im zweiten Bewertungsschritt vergleichend bewertet werden sollen. **Kategorie B** enthält die Optionen, die aus derzeitiger Sicht nicht zielführend sind und daher zurückgestellt werden.

8.2 BEWERTUNG DER OPTIONEN

Nachfolgend werden bei jeder Option bzw. Variante bereits heute erkennbare Bewertungsargumente aufgeführt und eine Einstufung entsprechend der Bewertungsgrundlagen (s. 8.1) in die Kategorie A oder B vorgenommen.

I Schließung und Verbleib der radioaktiven Abfälle am derzeitigen Ort

la) Trockenverwahrung (in situ)

In wissenschaftlichen Fachkreisen besteht Konsens darüber, dass bei der Endlagerung radioaktiver Abfälle im Salz ein trockenes Endlagersystem erreicht werden kann. Um dieser Sicherheitsphilosophie gerecht werden zu können, müsste die Schachanlage Asse II gegen die eindringenden Nebengebirgswässer sicher und dauerhaft abgedichtet werden. Zur Abdichtung wären großflächige Bohr- und Injektionsmaßnahmen im Nebengebirge der Südflanke erforderlich. Grundsätzlich könnten solche Maßnahmen sowohl aus dem Grubengebäude heraus als auch von außerhalb des Salzstockes aus erfolgen. Im letzteren Falle müsste zumindest abschnittsweise mit dem aufwändigen Gefrierverfahren operiert werden. Wegen der hohen hydrostatischen Drücke des Grundwassers in dieser Tiefe (5 bis 8 MPa) ist ein dauerhafter Erfolg derartiger Abdichtungsmaßnahmen sehr fraglich, und das Risiko zusätzlicher Wasserzutritte als Folge der Bohrarbeiten ist nicht von der Hand zu weisen. Gegen die langfristige Wirksamkeit sprechen auch die umfangreichen Erfahrungen im Salzbergbau. Entsprechende Wasserzutritte würden zwangsläufig mit den Abfällen in Kontakt kommen, die Radionuklide mobilisieren und in die Biosphäre freisetzen. Deshalb führt diese Maßnahme mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit nicht zu dem Ziel, die Langzeitsicherheit zu gewährleisten. Darüber hinaus würde die Durchführung einer solchen Abdichtungs-Maßnahme mehrere Jahre in Anspruch nehmen.

Aus den genannten Gründen wird die langzeitsichere Trockenverwahrung (in situ) der Abfälle in Kategorie B eingeordnet.

lb) Natürliches Vollaufen

Hier sind zwei Untervarianten zu berücksichtigen:

lb1) Vollaufen ohne weitere Maßnahmen

Ein natürliches Vollaufen des Grubengebäudes durch die bereits bestehenden Zuflüsse von NaCl-gesättigtem Grundwasser aus dem Deckgebirge würde der Sicherheitsphilosophie einer trockenen Endlagerung im Salz nicht gerecht werden. Eine schnelle Mobilisierung der Radionuklide wäre unvermeidlich. Auf- und Umlösungsprozesse, insbesondere der Lösungsangriff auf Carnallit, würden die bereits grenzwertige Standsicherheit des Grubengebäudes weiter verschlechtern und bei ungünstigem Verlauf könnte sogar ein Tagesbruch nicht ausgeschlossen werden. Zudem wäre aufgrund der fortschreitenden Konvergenz die Ausbreitung von kontaminierten Lösungen ins Grundwasser und damit in die Biosphäre nicht zu verhindern. Die erforderliche Langzeitsicherheit kann durch diese Variante nicht gewährleistet werden. Aus den genannten Gründen wird diese Variante in Kategorie B eingeordnet.

lb2) Vollaufen nach Durchführung von Maßnahmen

Im Unterschied zur Variante lb1) könnte durch geeignete Maßnahmen (z. B. Einbringen von Sorelbeton in alle Hohlräume und Verfüllen des Porenraums mit einem geeigneten, verfestigenden Material) der flutbare

Resthohlraum so stark verkleinert werden, dass auch das Volumen eindringender Grundwässer – und damit das Volumen von konvergenzbedingt wieder ausgepressten, kontaminierten Lösungen – klein wäre. Zudem würde das Grubengebäude durch eine verfestigende Verfüllung der Resthohlräume stabilisiert, so dass die Tragfähigkeitsprobleme im Bereich der Südflanke im Zeitverlauf abnehmen würden. Dennoch würde auch diese Variante die Sicherheitsphilosophie einer trockenen Endlagerung im Salz verfehlen. Der konvergenzbedingte Austritt begrenzter Mengen kontaminierter Lösungen ins Nebengebirge ist langfristig wahrscheinlich, spricht bei Einhaltung der Grenzwerte aus Sicht des Strahlenschutzes aber nicht grundsätzlich gegen die Langzeitsicherheit dieser Variante. Allerdings liegen im Fall der Schachanlage Asse II ungünstige Randbedingungen vor, die gekennzeichnet sind durch die Nähe der Abbaue zum Deckgebirge, einem Porenvolumen von ca. 1.000.000 m³ in den mit Salzgrus verfüllten Abbaukammern der Südflanke und deren Nähe zu den Einlagerungskammern mit radioaktiven Abfällen.

Bei dieser Variante ist insbesondere die Frage zu beantworten, durch welche Maßnahmen und mit welchen gegen zutretende Fluide beständigen Materialien eine ausreichende Verkleinerung und/oder Isolation der Resthohlräume erfolgen könnte und wie somit Auflösungseffekte eindringender Grundwässer vorrangig auf den Carnallit verringert oder vermieden werden könnte (vgl. auch die Argumente unter Ic)).

Das natürliche Volllaufenlassen nach Durchführung von Maßnahmen wird auch mit Blick auf noch zu erstellende Gutachten in Kategorie A eingeordnet.

Ic) Gezielte Flutung

Untervariante Ic1) HMGU-Schutzfluid-Konzept

Die gezielte Flutung der im Zuge der Stilllegung verbleibenden Resthohlräume im Grubengebäude der Schachanlage Asse II mit einer technischen R-Lösung („Schutzfluid“), gekoppelt mit einer Druckluft-Beaufschlagung in der Phase der Schutzfluid-Einleitung, war bis vor einiger Zeit die bevorzugte (und einzige) Stilllegungsoption des bisherigen Betreibers. Allerdings birgt diese Variante nach Meinung der AGO (AGO (2008c)) eine Reihe offener Fragen, insbesondere:

- Die unzureichende Robustheit des komplexen Zusammenwirkens der einzelnen Maßnahmen dieses Stilllegungskonzepts. Bei Funktionsausfall einzelner Bestandteile, sind erhebliche Auswirkungen auf das gesamte Schließungskonzept zu erwarten.
- Das Vorliegen großer Mengen metastabiler Mineral-Vergesellschaftungen, die in Gegenwart von wässrigen Lösungen beliebiger Zusammensetzung reagieren und sowohl die Zusammensetzung der Lösung verändern als auch die betroffenen Gesteinspartien zersetzen und mechanisch schwächen.
- Nicht beachtete Reaktionsketten zwischen der eingeleiteten R-Lösung und den Baustoffen (Sorelphasen, Portlandit, Brucit), den nicht-radioaktiven Komponenten - darunter auch chemotoxische - und den aufgeschlossenen Kalium- und Magnesiumsalzen.
- Nicht beachtete Reaktionsabläufe zwischen möglichen gebildeten Gasen und Gasgemischen und chemische Konsequenzen einer hoch komprimierten Gasphase.
- Das vom Flutungsmedium ausgelöste Feuchtekriechen in Tragelementen.
- Auftriebskräfte in leichten Gebinden und Bildung einer aufschwimmenden organischen Phase.

Bei dieser Option soll die Langzeitsicherheit durch viele einzelne und aufeinander aufbauende Bestandteile des Schließungskonzeptes gewährleistet werden. Zudem werden in jedem Fall Radionuklide in die Biosphäre freigesetzt, wobei die Abschätzungen von Radionuklid-Konzentrationen und radiologischen Belastungen in der Biosphäre auf Grundlage von unbefriedigend geklärten hydrogeologischen Randbedingungen im Deckgebirge vorgenommen werden.

Im Vergleich zum natürlichen Volllaufen der Schachanlage (ohne oder mit weiteren Maßnahmen) mit NaCl-Lösungen aus dem Nebengebirge hätte die Flutung mit R-Lösung unbestritten den Vorteil, dass sich das Ausmaß des Lösungsangriffs vor allem auf den Carnallit deutlich verringern ließe.

Das HMGU-Schutzfluidkonzept wird in Kategorie A eingeordnet^{2,3}.

Untervariante Ic2) Alternatives Konzept mit gezielter Flutung

Ein alternatives Konzept zur Verfüllung aller restlichen Grubenhohlräume mit einem stützenden Versatz und die anschließende Flutung der Porenräume mit einer alternativen fluiden Phase (z. B. einer „Z-Lösung“), mit dem Ziel die Schließungsmaßnahmen zu verbessern und die Mobilisierungs- und Transporteigenschaften zu minimieren, ist bisher nicht näher untersucht worden.

Eine Z-Lösung wäre gegenüber Halit, Bischofit, Carnallit und Kieserit thermodynamisch stabil, jedoch nicht gegenüber Sylvin, Brucit und Portlandit sowie Anhydrit oder Gips. Gegenüber einer R-Lösung hätte eine Z-Lösung den Vorteil, dass Bischofit nicht angegriffen würde. Bischofit würde aber dennoch, bei Gegenwart jeder beliebigen wässrigen Lösung, mit dem Sylvin des Ronnenberg-Versatzes unter Bildung von Carnallit reagieren. Dies liegt daran, dass diese beiden Minerale unter den relevanten Druck- und Temperaturbedingungen keine gemeinsame Phasengrenze besitzen und daher nur bei Abwesenheit eines Reaktionsmediums metastabil koexistieren können.

Neben Salzlösungen wäre hier ggf. noch an organische Flüssigkeiten wie Mineralöl, Silikonöl, etc. zu denken. Alternative Flutungsmedien müssten gegenüber den aufgeschlossenen Salz-Paragenesen und den verwendeten Baustoffen sowie den eingelagerten Abfällen, Verpackungs- und Konditionierungsmitteln inert sein. Sie müssten ferner spezifisch schwerer als die salinen Grundwässer des Neben- und Deckgebirges sein, um eine Unterschichtung durch diese Grundwässer zu vermeiden. Sie müssten unter den gegebenen Bedingungen chemisch langzeitstabil und dürften biologisch nicht abbaubar sein. Außerdem dürften sie zu keiner Gefährdung des Grundwassers führen. Schließlich sollten sie kein Reaktions- oder Transportmedium für die eingelagerten chemotoxischen und radioaktiven Abfälle darstellen. Sie müssten einen hinreichend niedrigen Dampfdruck und eine geringe Wasserlöslichkeit haben.

Die AGO ist jedoch der Auffassung, dass die Realisierung einer langzeitsicheren Stilllegung auch bei Einsatz alternativer Flüssigkeiten, die die genannten Anforderungen erfüllen müssten, voraussichtlich schwierig nachweisbar sein wird. Aus diesem Grund und da bisher kein ausgearbeitetes Konzept vorliegt, können alternative Konzepte mit gezielter Flutung derzeit von der AGO nicht abschließend bewertet werden. Eine Einordnung dieser Untervariante in eine der Kategorien A oder B unterbleibt deshalb.

² Diese Einordnung wird nicht von den AGO-Mitgliedern Prof. Bertram und Dr. Krupp mitgetragen.

³ Erläuterndes Zusatzvotum des BfS:

Das BfS sieht beim derzeitigen Planungsstand von Stilllegungsmaßnahmen die Umsetzung des HMGU-Schutzfluid-Konzeptes als „ultima ratio“ im Falle eines zunehmenden Lösungszutritts oder bei sich abzeichnenden anderen sicherheitsrelevanten Prozessen, die sofortiges Handeln erfordern. Es stellt derzeit das einzige planerisch soweit ausgearbeitete Konzept dar, welches ein sofortiges Handeln zulässt.

Ziel ist ein vollständiger, methodisch abgesicherter und transparenter Optionenvergleich. Nur wenn an dessen Ende keine andere, sicherheitlich bessere Stilllegungsoption zur Verfügung steht, wäre die Asse nach Klärung der noch offenen Fragen nach einem entsprechend angepassten Konzept im Rahmen eines atomrechtlichen Planfeststellungsverfahrens stillzulegen.

II Rückholung der radioaktiven Abfälle

Eine Bergung und Auslagerung der radioaktiven Abfälle aus der Schachtanlage Asse II und eine Konditionierung und Verbringung in ein zugelassenes Endlager, wäre eine grundsätzliche Lösung des Problems. Allerdings stehen einer solchen Lösung Hindernisse im Wege, insbesondere:

- Erfordernis der Genehmigung und Errichtung eines Zwischenlagers mit Konditionierungsanlage am Standort Asse
- Maß der Verfügbarkeit zugelassener und geeigneter Transportbehälter
- Der Zeitbedarf für Genehmigungsverfahren und Realisierung der Rückholung der Abfälle
- Strahlenbelastung des Personals

Folgende Rückholungs-Varianten sind im Einzelnen zu betrachten:

Ila) Rückholung der MAW

Eine ausschließliche Rückholung der überwiegend kurzlebigen MAW würde vor allem in der näheren Zukunft (Jahrzehnte bis Jahrhunderte) zu einer deutlichen Verringerung der Radioaktivität in der Asse führen, hätte für die langfristige Strahlenbelastung (Langzeitsicherheit) aber kaum eine Bedeutung. Die Rückholung der MAW wurde bereits im Detail untersucht (EWN & TÜV (2008)), mit dem auch von der AGO akzeptierten Ergebnis, dass diese zwar technisch möglich ist, mit einer Rückholung der MAW alleine aber kein größerer Gewinn an Langzeitsicherheit verbunden wäre. Eine Rückholung der MAW könnte allerdings bei schwerwiegenden Störfällen während der Betriebs- bzw. Schließungsphase die radiologische Belastung deutlich mindern, sofern sie vor dem Störfall abgeschlossen wäre.

Der größte Anteil der Strahlenbelastung ergäbe sich bei der Rückholung der MAW weniger bei der Bergung der Abfallgebände, sondern bei den vorgeschriebenen wiederkehrenden Dichtigkeitsprüfungen der zwischengelagerten Transportbehälter. Mehrheitlich ist die AGO der Auffassung (AGO (2008f)), dass die Strahlenbelastung für die Bevölkerung von EWN & TÜV (2008) deutlich zu hoch angesetzt wurde.

Der Zeitbedarf für die Bergung der MAW aus Kammer 8a (511-m-Sohle) und ihren Transport nach über Tage wird von EWN & TÜV (2008) auf ca. 5 Jahre geschätzt.

Im Ergebnis ist die alleinige Rückholung der MAW-Abfälle mit Blick auf das übergeordnete Ziel der Langzeitsicherheit ohne deutlich positiven Effekt, da der Anteil der (überwiegend langlebigen) α -Strahler im MAW nur rund 6,5 % beträgt. Aus diesen Gründen wird die alleinige Rückholung der MAW in Kategorie B eingeordnet.

Ilb) Rückholung der LAW

Eine Rückholung nur der LAW würde mit Abschluss der Maßnahme zu einer Reduzierung der Gesamtaktivität um 61 % führen, aber insbesondere langfristig eine fast vollständige Beseitigung aller eingelagerten Aktivität bewirken, denn die verbleibende Restaktivität der MAW ginge mit dem Zerfall der überwiegend kurzlebigen Nuklide dieser Abfälle vergleichsweise schnell (mehrere hundert Jahre) zurück.

Mit einer Rückholung der LAW würden die radiologisch besonders bedeutsamen und für den Langzeitsicherheitsnachweis wichtigen, überwiegend langlebigen α -Strahler zu 93,5 % (Masse) aus der Asse entfernt. Damit wäre ein erheblicher Beitrag zur Langzeitsicherheit erbracht.

Eine Rückholung der LAW würde die übertägige Neuverpackung (Konditionierung) und Zwischenlagerung von rund 125.000 beschädigten Abfallgebänden einschließlich dem mit gewonnenen und kontaminierten Salz erfordern. Das mit Salz vermischte Abfallvolumen würde nach BERTRAM & KRUPP (2009) unverpackt ca. 100.000 m³ betragen und eine Zwischenlagerhalle mit ca. 10 ha Grundfläche erfordern.

Für die bei dieser Variante nicht rückgeholten MAW müsste eine sichere Einkapselung oder eine andere Lösung noch gefunden werden.

Weitere Probleme dieser Variante sind der große Zeitbedarf, die radiologischen Konsequenzen für die Beschäftigten und die Bevölkerung und die Frage einer Endlagerung dieser Abfälle. Es ist zu berücksichtigen, dass das Endlager Konrad für 303.000 m³ zugelassen ist und frühestens Ende 2013 in Betrieb gehen wird. Mit der Thematik „Annahmebedingungen im Endlager Konrad“ hat sich die AGO in AGO (2008f) befasst.

Bei alleiniger Berücksichtigung des Kriteriums Langzeitsicherheit schneidet diese Variante gut ab. Die Option der Rückholung der LAW sollte deshalb weiterhin verfolgt werden. Sie wird in Kategorie A eingeordnet.

IIc) Rückholung aller Abfälle

Die Maßnahmen zur Rückholung aller Abfälle würden im Wesentlichen aus der Summe der Maßnahmen zu den Optionen IIa) und IIb) bestehen. Lediglich für den erforderlichen Zeitrahmen könnte man davon ausgehen, dass die Rückholung der MAW weitgehend parallel zur Rückholung der LAW erfolgen könnte. Insgesamt würde diese Variante das beste Ergebnis hinsichtlich der Langzeitsicherheit aufweisen. Allerdings sind dann die kumulierten sonstigen Probleme, die bei den Varianten IIa) und IIb) kurz angesprochen wurden, zu berücksichtigen.

Als Konsequenz eines vollständig geräumten Endlagers würde sich allerdings die Stilllegung der Schachanlage Asse II im Sinne eines zu schließenden Kali- und Steinsalzbergwerkes wesentlich einfacher gestalten.

Diese Variante wird insbesondere wegen der impliziten Gewährleistung der Langzeitsicherheit in die Kategorie A eingestuft.

IIId) Rückholung von Teilen der Abfälle

Eine Teilrückholung könnte sich entweder auf besonders einfach zugängliche Abfallgebinde oder auf radiologisch besonders wichtige Abfall-Teilmengen beschränken.

Eine Rückholung besonders leicht zugänglicher Abfälle würde gegenüber einer vollständigen Rückholung den erforderlichen Aufwand hauptsächlich quantitativ, aber kaum qualitativ verringern. Das heißt, das Endlager müsste weiterhin sicher stillgelegt werden, mit allen bestehenden Schwierigkeiten, nur das Inventar wäre mehr oder weniger verkleinert worden. Wenn die Lösung und spätere Ausbreitung von Schadstoffen durch die eingelagerte Abfallmasse begrenzt wird, wäre ein gewisser Vorteil erzielbar. Unter dem Gesichtspunkt der Langzeitsicherheit ist der Nutzen einer Teilrückholung der leicht zugänglichen Abfallgebinde jedoch eher gering zu bewerten.

Eine gezielte Rückholung radiologisch besonders wichtiger Abfälle, wie beispielsweise jener Abfälle, die vorrangig α -Strahler und deren Zerfallsprodukte enthalten (z.B. Pu-241 und das daraus entstehende Am-241/Np-237), könnte einen Nutzen haben. In der Praxis würde eine gezielte Teilrückholung dadurch erschwert, dass zwar die Inhalte der Einlagerungskammern weitgehend bekannt sind, in jeder Einlagerungskammer aber mehrere tausend bis mehrere zehntausend, im einzelnen nicht identifizierte Gebinde gelagert sind. Der Aufwand zur Identifizierung, Freilegung und gezielten Rückholung der Gebinde wäre erheblich. Eine kammerweise Totalräumung würde vermutlich schneller gehen und wäre voraussichtlich mit geringeren Strahlungs Dosen verbunden, würde aber auch erheblich größere Abfallmengen erzeugen.

Die Teilrückholung von Abfällen weist zwar gewisse Probleme auf; der Aufwand gegenüber der Rückholung aller Abfälle wird geringer. Dennoch sollte diese Variante wegen ihrer möglichen positiven

Auswirkungen auf die Langzeitsicherheit detailliert geprüft werden. Die Teilrückholung wird daher der Kategorie A zugeordnet.

III Interne Umlagerung der radioaktiven Abfälle in der Asse

Die Umlagerung der radioaktiven Abfälle innerhalb des Asse-Salzsattels zeigt einige Parallelen zur Rückholung. Die wesentlichen Unterschiede bestehen darin, dass die absehbaren Folgeprobleme einer Rückholung zum Teil vermieden werden könnten. Stattdessen müssten bei einer Umlagerung, ausgehend vom bestehenden Grubengebäude der Schachanlage Asse II, neue Einlagerungshohlräume in einem geologisch geeigneteren und bergmännisch noch unverritzten, tiefer liegenden Bereich des Salzstockes aufgeföhren werden. Hierfür wäre in einem atomrechtlichen Planfeststellungsverfahren ein Langzeitsicherheitsnachweis zu erbringen.

Im Vergleich zur Rückholung der Abfälle wäre bei der Umlagerung die radiologische Belastung des Personals und der Bevölkerung voraussichtlich geringer. Nach ersten Schätzungen wäre die Umlagerung auch möglicherweise schneller realisierbar als eine Rückholung.

Folgende Varianten können unterschieden werden:

IIIa) Interne Umlagerung der MAW

Eine interne Umlagerung nur der überwiegend kurzlebigen MAW, die ca. 6,5 % der α -Strahler enthalten, würde keinen wesentlichen Beitrag zur Lösung der Probleme, insbesondere zur Langzeitsicherheit, liefern. Deshalb sollte diese Variante nicht weiter verfolgt werden. Die interne Umlagerung nur der MAW wird deshalb in Kategorie B eingestuft.

IIIb) Interne Umlagerung der LAW

Die überwiegend langlebigen LAW, die 61% der Aktivität und 99% der Masse enthalten, würden in einen tieferen, hydraulisch abdichtbaren Bereich umgelagert.

Bei dieser Variante würden die überwiegend kurzlebigen MAW, die derzeit noch etwa 39 % der Aktivität des gesamten Abfallinventars, aber nur ca. 1 % des Abfallvolumens ausmachen, nicht umgelagert. Stattdessen müssten die MAW entweder zurückgeholt (vgl. EWN & TÜV (2008)) oder langzeitsicher eingekapselt werden, wofür noch kein detailliertes Konzept vorliegt.

Eine Beschränkung der Umlagerung auf die LAW könnte lediglich beim Strahlenschutz für das Personal einen gewissen (noch zu quantifizierenden) Vorteil einbringen, falls die MAW an ihrem jetzigen Ort verbleiben. Davon abgesehen scheint wenig dafür zu sprechen, nur die LAW, aber nicht die MAW umzulagern.

Diese Variante sollte unter dem Gesichtspunkt der Langzeitsicherheit nicht ausgeschlossen und der Kategorie A zugeordnet werden.

IIIc) Interne Umlagerung aller Abfälle

Bei dieser Variante würden alle Abfälle (LAW plus MAW) in einen tieferen, hydraulisch abdichtbaren Bereich umgelagert. Der bisherige, durch Wassereintrüche bedrohte Teil der Schachanlage Asse II würde soweit technisch machbar vom radioaktiven Inventar geräumt. Selbst im Falle eines späteren Absaufens wären die in mit Dichtbauwerken verschlossenen Kavernen umgelagerten Abfälle voraussichtlich langzeitsicher verwahrt.

Für die Herstellung der neuen Kavernen und die dafür benötigte Zeit würde das für die MAW zusätzlich benötigte Volumen (ca. 1 %) voraussichtlich keinen Unterschied machen. Die Umlagerung der MAW plus LAW würde voraussichtlich keinen größeren Zeitrahmen erfordern als die Umlagerung nur der LAW. Der Zeitbedarf für die Herstellung der Kavernen und die Umlagerung sollte nach ersten Schätzungen (BERTRAM & KRUPP (2009)) wenige Jahre in Anspruch nehmen.

Aussagen zur erwarteten Strahlenbelastung von Personal und Bevölkerung und zur technischen Machbarkeit finden sich in BERTRAM & KRUPP (2009).

Die Umlagerung aller Abfälle ist vertiefend weiter zu betrachten und wird daher in Kategorie A eingeordnet.

III d) Interne Umlagerung von Teilen der Abfälle

Eine Teilumlagerung könnte sich entweder auf besonders einfach zugängliche Abfallgebinde oder auf radiologisch besonders wichtige Abfall-Teilmengen beschränken.

Für die Teilumlagerung gilt sinngemäß genau das Gleiche, was für die Teilrückholung (Option II d)) bereits gesagt wurde.

Die Teilumlagerung von Abfällen weist zwar gewisse Probleme auf; der Aufwand gegenüber der Umlagerung aller Abfälle wird geringer. Dennoch sollte diese Variante wegen ihrer möglichen positiven Auswirkungen auf die Langzeitsicherheit detailliert geprüft werden. Die Teilumlagerung wird daher der Kategorie A zugeordnet.

8.3 ERGEBNIS DER BEWERTUNG

Die qualitative Einstufung der Optionen bzw. Varianten in die Kategorien A (weiter verfolgen und vergleichend bewerten) oder B (zurückstellen) nach den in Kap. 8.1 dargestellten Bewertungsgrundsätzen führt demnach zu folgendem Ergebnis:

Gruppe	Option	Kategorie
I	Schließung und Verbleib der radioaktiven Abfälle am derzeitigen Ort	*)
	Ia) Trockenverwahrung (in situ)	B
	Ib) Natürliches Volllaufen	
	- Ib1) Volllaufen ohne weitere Maßnahmen	B
	- Ib2) Volllaufen nach Durchführung von Maßnahmen	A
	Ic) gezielte Flutung	
	- Ic1) HMGU-Schutzfluid-Konzept	A *)
	- Ic2) Alternatives Konzept mit gezielter Flutung	- **)
II	Rückholung der radioaktiven Abfälle	
	IIa) Rückholung der MAW	B
	IIb) Rückholung der LAW	A
	IIc) Rückholung aller Abfälle	A
	IId) Rückholung von Teilen der Abfälle	A
III	Interne Umlagerung der radioaktiven Abfälle in der Asse	
	IIIa) Interne Umlagerung der MAW	B
	IIIb) Interne Umlagerung der LAW	A
	IIIc) Interne Umlagerung aller Abfälle	A
	IIId) Interne Umlagerung von Teilen der Abfälle	A

Tabelle 2: Qualitative Einstufung der Optionen bzw. Varianten in die Kategorien A oder B

*) Zu dieser Einstufung existieren Sondervoten (Vgl. Abschnitt 8.2 und Anlage 1)

***) Die AGO konnte hierzu keine Kategorisierung vornehmen (Vgl. Abschnitt 8.2)

Das Sondervotum des AGO-Mitglieds Dr. Krupp zu Kapitel 8 ist als Anlage 1 beigefügt.

9 EMPFEHLUNGEN ZUR WEITEREN VORGEHENSWEISE

Um eine vergleichende Bewertung der verbleibenden Optionen bzw. Varianten durchführen zu können fehlen noch verschiedene Kenntnisse, und zwar sowohl über einige der Varianten als auch über die zu wählende Vergleichsmethodik. Zwei Aufgaben können unterschieden werden:

1. Aufgabe: Informationsbeschaffung über weiter zu betrachtende Optionen bzw. Varianten

Bei den Varianten, bei denen ein zu geringer Kenntnisstand vorliegt um sie in die vergleichende Bewertung aufzunehmen, handelt es sich um:

- Untervariante Ib2) Volllaufen nach Durchführung von Maßnahmen
- Variante IIb) Rückholung der LAW
- Variante IIc) Rückholung aller Abfälle
- Variante IIId) Rückholung von Teilen der Abfälle
- Variante IIIb) Interne Umlagerung der LAW
- Variante IIIc) Interne Umlagerung aller Abfälle
- Variante IIId) Interne Umlagerung von Teilen der Abfälle

Zu diesen Varianten müssen Machbarkeits- und Auswirkungsstudien angefertigt werden. Dabei genügt es, wenn man die einzelnen Varianten nach inhaltlicher Zugehörigkeit bündelt. Demnach verbleiben drei Aufgaben:

- Prüfung der Machbarkeit/Auswirkung der Variante Ib2)
- Prüfung der Machbarkeit/Auswirkung der Rückholung der LAW (Variante IIb), unter Berücksichtigung der Varianten IIc) und IIId))
Vom BfS wurde bereits eine weitere Machbarkeits-Studie zur Rückholung der LAW in Auftrag gegeben, die eventuell noch neue Lösungsmöglichkeiten aufzeigen könnte.
- Prüfung der Machbarkeit/Auswirkung der internen Umlagerung aller Abfälle (Variante IIIc), unter Berücksichtigung der Varianten IIIb) und IIId))

2. Aufgabe: Methodenentwicklung für die vergleichende Bewertung der Optionen

Langfristig bilden die in der SchachanlageASSE eingelagerten radioaktiven und anderen Stoffe zusammen mit Salz-Paragenesen, den flüssigen und gasförmigen Phasen, den verwendeten Baustoffen, sowie Verpackungs- und Konditionierungsmitteln ein vielphasiges Multikomponentensystem, das sich ständig unter dem Einfluss unvermeidbarer Wechselwirkungen räumlich und stofflich irreversibel verändert. Diese Vorgänge sind als Randbedingungen zu berücksichtigen.

Die vergleichende Bewertung der Optionen muss drei grundlegende Voraussetzungen erfüllen, um Akzeptanz des Entscheidungsprozesses und des Ergebnisses zu erreichen:

- Nachvollziehbarkeit der Entscheidungen (verständliche Darstellung und Begründung der einzelnen und aufeinander folgenden Bewertungsschritte),
- Transparenz (vollständige und zeitnahe Veröffentlichung aller Bewertungsschritte) und

- Plausibilität (Erfordernis der sachlichen Richtigkeit und Glaubwürdigkeit).

Zur vergleichenden Bewertung der Optionen liefert die Entscheidungstheorie das methodische Rüstzeug. Daraus lässt sich ein auf die vorliegende Aufgabe zugeschnittenes Bewertungsverfahren zusammenstellen, das die grundlegenden Anforderungen an die vergleichende Bewertung erfüllt.

Folgende Anforderungen an die vergleichende Bewertung sind zu beachten, da nur so ein rationaler und nachvollziehbarer Bewertungsprozess möglich ist:

- Verdeutlichen der den Entscheidungsprozess beeinflussenden normativen Elemente (subjektive Bewertungen) und Regelung des Umgangs mit subjektiven Bewertungen/ Entscheidungen.
- Eindeutige Formulierung des Zielsystems (wonach wird bei der Entscheidung gesucht?)
- Festlegung des methodischen Rahmens des Bewertungssystems (z. B. Anwendung formalisierter Methoden)
- Festlegung von Kriterien, ihrer Gewichtung und Aggregation
- Feststellung des Mindest-Informationsbedarfs
- Umgang mit Kenntnislücken und Unsicherheiten, Irrtumsvorbehalt
- Adaption von Bewertungsmaßstab und Bewertungsgröße; Beachtung der jeweiligen Skalentypen
- Begründung der Abwägungsentscheidungen bei der Aggregation der einzelnen Bewertungsergebnisse
- Klare Gliederung des Entscheidungsprozesses (Nachvollziehbarkeit und Transparenz)
- Darstellung von Art und Ausmaß von Unsicherheiten bei der Bewertung

LITERATURVERZEICHNIS

- AGO (2008a): Agenda für die Tätigkeit der „AG Optionenvergleich“- Bericht der Arbeitsgruppe Optionenvergleich, Stand:18.03.2008, Karlsruhe, unveröff.
- AGO (2008b): Kriterien für die Beurteilung von Handlungsoptionen für die Stilllegung der Schachanlage Asse II.- Bericht der Arbeitsgruppe Optionenvergleich, Stand:14.04.2008, Karlsruhe, unveröff.
- AGO (2008c): Stellungnahme zum Bericht des Helmholtz Zentrum München: „Entwicklung und Beschreibung des Konzepts zur Schließung der Schachanlage Asse“- Bericht der Arbeitsgruppe Optionenvergleich, Stand: 29.09.2008, Karlsruhe, unveröff.
- AGO (2008d): Stellungnahme zum Bericht des Helmholtz Zentrum München: „Entwurf der Störfallanalyse“- Bericht der Arbeitsgruppe Optionenvergleich, Stand: 14.10.2008, Karlsruhe, unveröff.
- AGO (2008e): Stellungnahme zum Bericht der CDM Consult GmbH Bochum: „Konzeptstudie zur Erhöhung der Versatzsteifigkeit der mit Salzgrus verfüllten Kammern der Südwestflanke der Schachanlage Asse II“- Bericht der Arbeitsgruppe Optionenvergleich, Stand: 21.10.2008, Karlsruhe, unveröff.
- AGO (2008f): Stellungnahme zum Bericht der EWN GmbH und der TÜV NORD SysTec GmbH : „Möglichkeit einer Rückholung der MAW-Abfälle aus der Schachanlage Asse“- Bericht der Arbeitsgruppe Optionenvergleich, Stand: 22.12.2008, Karlsruhe, unveröff.
- AKEND (2002): Auswahlverfahren für Endlagerstandorte - Empfehlungen des AkEnd – Arbeitskreis Auswahlverfahren Endlagerstandorte. – Abschlussbericht, Langfassung, Dezember 2002, 260 S.
- ALTMAIER, M., METZ, V., NECK, V., MÜLLER, R., UND FANGHÄNEL, TH. (2003): Solid-liquid equilibria of Mg(OH)₂(cr) and Mg₂(OH)₃Cl·4H₂O(cr) in the system Mg-Na-H-OH-Cl-H₂O at 25°C. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 67, 3595-3601
- BALTES, B., RÖHLIG, K.-J. & KINDT, A. (2007): Sicherheitsanforderungen an die Endlagerung hochradioaktiver Abfälle in tiefen geologischen Formationen – Entwurf der GRS. – Bericht - GRS-A-3358, Auftrags-Nr. 854752, (erstellt im Auftrag des BMU), Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Januar 2007.
- BERTRAM, R. & KRUPP, R. (2009): Konzeptskizze für einen tiefen Endlagerbereich in der Schachanlage Asse II - Stand 09.01.2009 mit red. Überarbeitung vom 07.02.2009, Burgdorf, unveröff., beigefügt als Anlage 2
- BFS (2005): Konzeptionelle und sicherheitstechnische Fragen der Endlagerung radioaktiver Abfälle - Wirtsgesteine im Vergleich. – Synthesebericht des Bundesamtes für Strahlenschutz, BfS-17/05, Wirtschaftsverlag NW; Salzgitter, November 2005.
- BFS (2007a): Prüfung von Unterlagen zur Schließung der Schachanlage Asse II im Hinblick auf die Anforderungen eines atomrechtlichen Planfeststellungsverfahrens. – unveröff Bericht des Bundesamtes für Strahlenschutz, BfS-SE-IB 23/07; Salzgitter, 26.September 2007.
- BMI (1983a): Sicherheitskriterien für die Endlagerung radioaktiver Abfälle in einem Bergwerk. *Bundesanzeiger* 35 (1983) Nr. 2 S. 45/46
- BMI (1983b): Rahmenrichtlinie über die Gestaltung von Sachverständigengutachten in atomrechtlichen Verwaltungsverfahren. – Bek. D. BMI v. 15.12.1983 – RS I 6 – 513 820/4 -
- BMU, BMBF & NMU (2007): Gemeinsame Pressemitteilung von BMU, BMBF, NMU.- 21.11.2007
- CDM (2008): Konzeptstudie zur Erhöhung der Versatzsteifigkeit der mit Salzgrus verfüllten Kammern der Südwestflanke der Schachanlage Asse II - CDM Consult GmbH Bochum, Glabisch, Jordan, Kisse, Kroll, Raabe, Trapp, 12.09.2008, Bochum, unveröff.

- COLENCO (2008): Schachtanlage Asse II – Abschätzung der Dosis bei einem unterstellten Absaufen des Grubengebäudes. – MEMO 1299/04 (Entwurf) der AF-Colenco AG, 10.10.2008.
- EWN & TÜV (2008): Möglichkeit einer Rückholung der MAW-Abfälle aus der Schachtanlage Asse. EWN GmbH Lubmin und TÜV NORD SysTec GmbH & Co. KG Hamburg, 28.11.2008.
- FCIT (2006): Gutachterliche Stellungnahme zu einer Rückholung der in der Schachtanlage Asse II eingelagerten radioaktiven Abfälle. Erstellt von Fichtner Consulting & IT, September 2006.
- 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]**
- HMGU (2008a): Entwicklung und Beschreibung des Konzeptes zur Schließung der Schachtanlage Asse. - Bericht des Helmholtzzentrum München, Stand: März 2008.
- HMGU (2008b): Störfallanalyse - Entwurf, keine Prüfunterlage. - Bericht des Helmholtzzentrum München, ohne Datum, der AGO zur Verfügung gestellt am 23.07.2008.
- KAMLOT, P., BRÜCKNER, D. & GÜNTHER, R.-M. (2006): Tragfähigkeitsanalyse des Gesamtsystems der Schachtanlage Asse in der Betriebsphase. – Bericht im Rahmen der LVB II des Rahmenvertrages „Gebirgsmechanische Modellierung“ Auftrags-Nr. B IfG 19/2003, Rev. 02 – Institut für Gebirgsmechanik GmbH, Leipzig, 06.10.2006. **[PU-IV.8 e]**
- PRÖHL, G. (2006): Abschätzung der potentiellen Strahlenexposition in der Nachbetriebsphase der Schachtanlage Asse. – Auftrags-Nr. 31/181168/99/T, FE-Nr. 76278 - GSF - Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit - Institut für Strahlenschutz, Oktober 2006. **[PU-IX.5 c]**

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

- BATSCHÉ, H., KLARR, K. & v. STEMPEL, Ch. (1994): Hydrologisches Forschungsprogramm Asse, Abschlußbericht. – Abteilungsbericht IFT 4/94. Textband: 461 S., Anlagenband 662 S., Institut für Tief Lagerung, GSF - Forschungsbergwerk Asse, unveröffentlichter Bericht, Braunschweig.
- BAUER, M., KÜSTERMANN, W., DEUBEL, K., FISCHER, K.-H., SEITZ, R. & VORMBAUM, M., (1998): Ergebnisbericht Reflexionsseismik, Bohrlochseismik, Seismische Arbeiten zur Struktur erkundung des Deckgebirges im Gebiet des Forschungsbergwerkes Asse - Hauptphase. - Geophysik GGD, 95 S. 31/170263/97/T, Asse, Remlingen.
- BRACKE, G. & MÜLLER, W. (2005): Realistische und maximale Gasbildung in der Schachanlage Asse. – ISTec-A-979. Institut für Sicherheitstechnologie (ISTec) GmbH; Garching, 11.07.2005. **[PU-VI.2b Ae]**
- BUCHHEIM, B. (2002): Inventar chemischer und chemotoxischer Stoffe von radioaktiven Abfällen in der 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 Auftr. der DBE Technology GmbH), 12.12.2006. **[PU-IX.5 g]**
- BUHMANN, D., FÖRSTER, B. & RESELE, G. (2006): Gesamtbewertung der Langzeitsicherheit für den Standort Asse (Konsequenzenanalyse). - Colenco-Bericht 3762/01, GRS-A-3350, Rev.00, GRS-Auftrags-Nr. 420401, Colenco Power Engineering AG, Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, 12.12.2006. **[PU-X a]**
- BUHMANN, D., GRUPA, J. B., HART, J., POPPEI, J. & RESELE, G. (2005): Fluid- und Radionuklidtransport am Standort Asse, Projekt Langzeitsicherheit Asse - Transportmodellierung. – Abschlussbericht - NRG Bericht ALSA-C-1.5B-NR145, 20995/05.68275/I, NRG, Colenco, GRS; Petten, Niederlande, 27.07.2005. **[PU-VI.3 f]**
- BUHMANN, D., MÖNIG, J., POLEY, A. D., POPPEI, J. & RESELE, G. (2006): Fluid- und Radionuklidtransport am Standort Asse, Projekt Langzeitsicherheit Asse - Transportmodellierung. – Ergänzungsbericht - NRG Bericht ALSA-C-10.4B-NR227, 21889/06.77241/I, NRG, Colenco, GRS; Petten, Niederlande, 12.12.2006. **[PU-VI.3 i]**
- COLENCO (2004): Grundwasserbewegung im Deckgebirge des Standortes Asse - Südflanke, Bericht 3247/08, Colenco Power Engineering AG, 12. März 2004.
- COLENCO (2005): Deckgebirgsmodellierung Phase III - Grundwasserbewegung im Deckgebirge des Standortes Asse (Ergänzungsbericht zu Phase II). Colenco Bericht 3331/57, Colenco Power Engineering AG, November 2005.

- EIKMEIER, V., FÖRSTER, B., HENSEL, G., KAPPEL, G., STOCKMANN, N. & TEICHMANN, L. (2006): Herleitung und Beschreibung des Konzepts zur Schließung der Schachanlage Asse. - Projekt Langzeitsicherheit Asse, GSF - Schließungskonzept, Bericht der GSF, Rev. 05, 02.10.2006. **[PU-V.2 c]**
- ERCOSPLAN (2005): Machbarkeitsstudie Druckluft - Drucklufteinspeisung 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 Schachanlagen Asse I und III auf die Schließung der Schachanlage Asse II. - Projekt Langzeitsicherheit Asse, GSF - Schachanlage Asse, Bericht der GSF, Rev. 00, Dezember 2006. **[PU-IV.4 b]**
- FÖRSTER, B. & MARGGRAF, G. (2005): Arbeitsunterlage für die geochemische Milieustudie in den Einlagerungskammern: Verfüllkonzeption für die Einlagerungskammern der 750-m und 725-m Sohle für den Fall der Beeinflussung des geochemischen Milieus durch Brucit (Verfüllkonzept G). – MS Excel Datei \Milieu_Stand_21.04.05_G.xls\ GSF-Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit, FB Asse, Projekt Langzeitsicherheit Asse, Remlingen, Stand 21.04.2005.
- FÖRSTER, B. & MARGGRAF, G. (2006): Konzeptionelles Modell für die Verfüllung der Einlagerungsbereiche. - Projekt Langzeitsicherheit Asse, GSF - Verfüllkonzept Einlagerungsbereiche, Bericht der GSF, Rev. 00, März 2006. **[AU-V.2b d]**
- FÖRSTER, B., MARGGRAF G. & TEICHMANN L. (2005): Verfüllkonzeption für die Einlagerungskammer 8a/511 (MAW). – GSF-Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit, Arbeitsunterlage, 20.04.2005.
- FÖRSTER, B. & TEICHMANN, L. (2006). Einbauorte von Strömungsbarrieren. - Projekt Langzeitsicherheit Asse, GSF - Einbauorte Strömungsbarrieren, Bericht der GSF, Rev. 04, 31.10.2006. **[AU-V.2c e]**
- FZK-INE (2004): Nachweis der geochemischen Wirksamkeit von Versatzstoffen aus Mg-Hydroxid/Mg-Oxychlorid in Q-Lösung. Abschlussbericht, FZK-INE 006/04, Stand: November 2004.
- FZK-INE (2005): Stellungnahme zur Beständigkeit von Sorel-Phasen und Sorelbeton gegenüber Salzlösungen. – Stellungnahme, Institut für nukleare Entsorgung Karlsruhe, Dezember 2005.
- GERSTMANN, U., MEYER, H. & THOLEN, M. (2002): Bestimmung des nuklidspezifischen Aktivitätsinventars der 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]**
- GSF (2000): Bergschadenkundliches Senkungsvorausrechnungsmodell für die Schachanlage Asse, Stand 2000.
- GSF (2006c): Ermittlung des Volumens der Resthohlräume für das Einbringen eines Schutzfluides, Projekt Langzeitsicherheit FB Asse, Rev. 03, März 2006.
- HERZOG, C. & SCHNEIDER, L. (2001): Bestimmung der stofflichen Hauptbestandteile der in die 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]**
- IBEWa (2005): Permeabilitäts- und Porositätsuntersuchungen an Versatzmaterialien, Freiberg, Mai 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]**
- KAPPEI, G. & EIKMEIER, V. (2006): Verfüll- und Verschlusskonzept für die Schließung der Tagesschächte 2 und 4 des Bergwerkes Asse. (Schachtverschlusskonzept). - Bericht der GSF, 16/ERV/GH/BZ/0001/00, 15.11.2006. **[AU-V.2e b1]**
- KLARR, K. (1981): Grundlagen zur Geologie der Asse.- GSF-Bericht T117, S. 92, 5 Tabellen, GSF, Braunschweig, März 1981.
- KLEMENZ, W., LAVANCHY, J.-M., RESELE, G. & POLLER, A. (2006): Hydrogeologische Modellvorstellungen, GSF - Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit - Forschungsbergwerk Asse. – Bericht 4956/07, Rev. 03, Colenco Power Engineering AG; Baden, Schweiz, November 2006. **[PU-IV.7 d]**
- KLEMENZ, W. & RESELE, G. (2005): Geowissenschaftliche Langzeitprognose, GSF - Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit - Forschungsbergwerk Asse. – Colenco Bericht 4927/01, Colenco Power Engineering AG; Baden, Schweiz, Juni 2005. **[PU-VII.1 a]**
- KORTHAUS, E., METZ, V. & KIENZLER, B. (2005): Bewertung der Verfüllung der Grubenbaue von der 775-m-Sohle bis zur 700-m-Sohle mit R-Lösung hinsichtlich der Übertragbarkeit bisheriger Modellrechnungen und experimenteller Ergebnisse des FZK-INE und des Einflusses auf das geochemische Milieu in den Einlagerungskammern sowie die Freisetzung von Radionukliden. – FZK-INE 005/05. 8 S., Forschungszentrum Karlsruhe.
- KORTHAUS, E., METZ, V., LÜTZENKIRCHEN, J. & KIENZLER, B. (2006): Bestimmung des maximal zulässigen Lösungsaustauschs zwischen den Einlagerungskammern - Ergebnisse der Untersuchungen zum einmaligen Lösungsaustausch. – FZK-INE 010/05. Forschungszentrum Karlsruhe, 2006.
- LOMMERZHEIM, A., FÖRSTER, B., MARGGRAF, G. & TEICHMANN, L. (2006): Technisches Konzept zum Einbringen des Mg-Depots in die Einlagerungskammern und ihren Nahbereich. – Projekt Langzeitsicherheit Asse, GSF - Forschungsbergwerk Asse, Ergänzungsbericht SG 3210, Rev. 00, 30.03.2006. **[AU-V.2b c1]**
- LÜTZENKIRCHEN, J., KORTHAUS, E., METZ, V. & KIENZLER, B. (2006): Experimentelles Programm zur Bestätigung der Ergebnisse von standortspezifischen Modellrechnungen für die 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., VEJMEKA, 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, Standortsspezifische 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. Standortsspezifische 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 Radionuklide auf dem Gaspfad - GSF - Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit - Forschungsbergwerk Asse. – Colenco Bericht 3331/108, Colenco Power Engineering AG; Baden, Schweiz, Okt. 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]**

- PREUßE, A. & SROKA, A. (2000): Bergschadenkundliches Senkungsvorausrechnungsmodell für die Schachtanlage Asse. Gutachterliche Stellungnahme für das GSF. - Forschungszentrum, Schachtanlage Asse. Dortmund - Dresden.
- PRÖHL, G. (2006): Abschätzung der potentiellen Strahlenexposition in der Nachbetriebsphase der Schachtanlage Asse. – Auftrags-Nr. 31/181168/99/T, FE-Nr. 76278 - GSF - Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit - Institut für Strahlenschutz, Oktober 2006. **[PU-IX.5 c]**
- RAUCHE, H., FRANZKE, H.-J. & SCHWANDT, A. (2004): Zusammenfassung der geologischen Grundlagen für die Langzeitsicherheitsbewertung der Schachtanlage Asse II. – ERCOSPLAN Ingenieurgesellschaft Geotechnik und Bergbau mbH, Projektnummer EGB 03-003; Erfurt, 16.06.2004. **[PU-IV.5 d]**
- RESELE, G. (2005): Konzeptuelles Modell für den Lösungszutritt „Scherspannungsbereich S3/D9 und Anhydritmittel“. – Memorandum 3331/66, Rev. 01, 17.08.2005, Colenco Power Engineering AG, Baden/Schweiz, 2005.
- RESELE, G. (2006): Szenarienentwicklung Asse - GSF - Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit - Forschungsbergwerk Asse. - Colenco Bericht 3331/99 (Revision von Colenco-Bericht 4927/07), Colenco Power Engineering AG; Baden, Schweiz, November 2006. **[PU-VIII d]**
- RESELE, G., POLLER, A. & KLEMENZ, W. (2005): Deckgebirgsmodellierung Phase II. Grundwasserbewegung im Deckgebirge des Standortes Asse (Abschlussbericht). - Colenco Bericht 3331/36, Colenco Power Engineering AG, März 2005.
- RESELE, G. & WILHELM, S. (2006): Schachtanlage Asse - Szenarienentwicklung Nahfeld. – Colenco-Bericht 3331/98 (Revision 2006), Colenco Power Engineering AG; Baden, Schweiz, November 2006.
- SCHROERS, C., KAMLOT, P. & GÜNTHER, R.-M. (2006): Dreidimensionale gebirgsmechanische Modellrechnungen zur Standsicherheitsanalyse des Bergwerkes Asse. – Bericht im Rahmen der LVB VIII des Rahmenvertrages „Gebirgsmechanische Modellierung“ Auftrags-Nr. B IfG 36/2004, Institut für Gebirgsmechanik GmbH; Leipzig, 03.11.2006. **[AU-IV.8 d1]**
- SROKA, A. & 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., MEYER T. & HEYDORN, M. (2005): Forschungsbergwerk Asse: Technisches Konzept zum Bau von Strömungsbarrieren basierend auf Erfahrungen aus dem Bau der Pilotströmungsbarriere. - Bericht zum Projekt Langzeitsicherheit, Rev.03, DBE Technology GmbH / GSF FB Asse, Remlingen, 12.12.2005.
- TEICHMANN, L., STOLZENBERG, G., FÖRSTER, B. & STOCKMANN, N. (2006): Schutzfluidkonzept. Projekt Langzeitsicherheit Asse, GSF - Schutzfluidkonzept, Bericht der GSF, REV 02, 31.10.2006. **[AU-V.2a b]**
- WEINBERG, H.-J. (1997): Zusammenfassender Bericht über die strukturgeologischen Untersuchungen im Asse-Sattel. – GSF-Forschungsbericht 31/170702/97/T, 52 S., 1 Abb., 4 Tab., 1 Tafel, 3 Karten, Gesellschaft für angewandte Biologie und Geol. mbH, Göttingen, unveröffentlicht.

Anlage 1:

Sondervotum von Herrn Dr. Krupp zu Kapitel 8 des Abschlussberichts der AGO-Phase-1

Dr.habil. Ralf E. Krupp
Flachsfeld 5
31303 Burgdorf

Telefon: 05136 / 7846 — e-mail: ralf.krupp@cretaceous.de

Arbeitsgruppe Optionenvergleich

07.02.2009

Sondervotum zu Kapitel 8 des AGO-Abschlussberichtes - Bewertung der grundlegenden Stilllegungsoptionen

Aus Sicht des Verfassers werden bei der Bewertung der Stilllegungsoptionen die in der Schachtanlage Asse II vorliegenden Rahmenbedingungen nicht hinreichend berücksichtigt. Daher soll in diesem Sondervotum aus Sicht des Verfassers auf einige Punkte hingewiesen werden.

Die Optionen der Gruppe I sehen eine Schließung der Schachtanlage und einen Verbleib der radioaktiven Abfälle an ihrem derzeitigen Lagerplatz vor. Da ein Zutritt von Grundwässern zu diesen Orten langfristig nicht zu verhindern ist, würde das Grundprinzip der trockenen Verwahrung radioaktiver (und chemotoxischer) Abfälle verletzt. Damit würden noch nicht einmal die Anforderungen erfüllt, wie sie an gewöhnliche Untertagedeponien gestellt werden. Die Lösungen würden ein Reaktions- und Transportmedium für radioaktive und chemotoxische Stoffe bereitstellen und gasbildende Korrosionsreaktionen in Gang setzen. Infolge der Konvergenz des Salzgebirges würden kontaminierte Lösungen ins Grundwasser verdrängt und könnten so in die Biosphäre gelangen. Die zutretenden Salzwässer würden direkt, oder indirekt über Reaktionen mit Ronnenberg-Versatz oder Beton (VBAs), auch den Carnallitit und teilweise auch die eingesetzten Baustoffe angreifen und so die gebirgsmechanische Situation des Endlager-Komplexes weiter verschlechtern. Aus diesen Gründen hält der Verfasser sämtliche „nassen“ Stilllegungs-Optionen der Gruppe I unter Gesichtspunkten der Langzeitsicherheit für untauglich und plädiert für eine Einstufung in Kategorie B.

Eine Kardinalfrage, ohne deren vorherige Beantwortung eine Bewertung der Optionen nur bedingt Sinn macht, ist der zugrunde zu legende Zeithorizont zur Umsetzung von (Teil-) Maßnahmen. Die seit längerer Zeit an der Südflanke zufließenden Salzlösungen stammen mit einiger Wahrscheinlichkeit aus dem Einsturzgebirge über dem Salzstock und die Zuflussraten werden im Nebengebirge gedrosselt. Zusätzlich und unabhängig von diesen Zuflüssen besteht aber die Gefahr der Entstehung von neuen Wegsamkeiten zwischen dem Grubengebäude und dem leistungsfähigen Muschelkalk-Grundwasserleiter entlang einer nachgewiesenen und mechanisch aktiven Störung südlich des Salzstockrandes. Leider lassen sich keine Aussagen

über die Wahrscheinlichkeit oder den Zeitpunkt neuer Grundwassereinbrüche über diese aktive Störung treffen. Gewiss ist nur, dass mit fortschreitender Gebirgsverformung die Gefahr des Aufreisens von Zuflusswegen ansteigt.

Aus dieser Erkenntnis heraus zieht der Verfasser den Schluss, dass die konkrete Gefahr nicht mehr beherrschbarer Grundwasserzutritte zu den radioaktiven Abfällen bereits real vorliegt, und dass der Schadenseintritt mit weiterem Zeitablauf wahrscheinlicher wird. Die Abwehr dieser erkannten und real existierenden Gefahrensituation darf daher nur solange aufgeschoben werden, bis eine erfolgversprechende Abwehrmaßnahme feststeht. - Unter Gefahrenabwehr werden vom Verfasser vorsorgende Maßnahmen zur Verhinderung des Schadenseintritts verstanden, hier der Kontakt der radioaktiven Abfälle mit dem Grundwasser. Maßnahmen zum Umgang mit einem bereits eingetretenen Schaden, wie einem nicht mehr beherrschbaren Wassereinbruch, sind nach diesem Verständnis keine Gefahrenabwehr, sondern nachträgliche Versuche zur Schadensbegrenzung.

Die Frage, wie viel Zeit noch zur Durchführung einer Stilllegungsmaßnahme verbleibt, ist daher falsch gestellt. Die Frage muss lauten: Wie viel Zeit ist man bereit sich zu nehmen und dies zu verantworten? In diesem Zusammenhang ist es sinnvoll zu unterscheiden zwischen dem Zeitbedarf zur Sicherung der radioaktiven Abfälle, bzw. zur Schließung der Bergwerksanlage. Es wird empfohlen, bereits vorziehbare Schritte zu erfolgversprechenden Optionen vorsorglich in die Wege zu leiten, soweit andere Optionen dadurch nicht in Frage gestellt werden.



Burgdorf, 07.02.2008

Dr. habil. Ralf Krupp
(Dipl.-Geologe, Geochemiker)

Anlage 2:

**BERTRAM, R. & KRUPP, R. (2009)
Konzeptskizze für einen tiefen Endlagerbereich in der Schacht-
anlage Asse II**

Prof. Rolf Bertram und Dr.habil. Ralf Krupp
c/o Dr.habil. Ralf E. Krupp
Flachsfeld 5
31303 Burgdorf

Telefon: 05136 / 7846 — e-mail: ralf.krupp@cretaceous.de

An die
- Arbeitsgruppe Optionenvergleich

Stand: 09.01.2009 (redaktionell überarbeitet am 07.02.2009)
Konzeptskizze für einen tiefen Endlagerbereich in der Schachanlage Asse II

Auf der AGO-Sitzung vom 16/17. Oktober 2008 wurde seitens des Verfassers angeboten, zusammen mit Herrn Prof. Bertram eine Projektskizze für einen tiefen Umlagerungsbereich zu entwerfen und Untersuchungsempfehlungen für eine solche Umlagerungs-Option zu formulieren. Diese Skizze wurde am 22.10.2008 vorgelegt.

Bei dem Entwurf ist zu berücksichtigen, dass aufgrund des maroden Zustandes der Schachanlage, trotz der geplanten Ertüchtigungsmaßnahmen, für die Umlagerung oder für andere Optionen nur ein begrenzter und nicht definierbarer Zeitraum verfügbar ist und daher aufwändige Bergungsmethoden, Konditionierungen und Neuverpackungen der radioaktiven Abfälle nur beschränkt möglich sind. Die Dringlichkeit wird durch jüngste mikroseismische Befunde aus dem Bereich der Südflanke, sowie durch neuere Berechnungen des IfG Leipzig zur begrenzten Wirksamkeit von Firstspaltverfüllungen unterstrichen.

Neben dem unbekanntem Zeitfenster sind bei Sanierungskonzepten Fragen des Strahlenschutzes, der betrieblichen Sicherheit, der bergbaulichen Sicherheit sowie der Bewetterung zu beachten. Weitere, besonders für die Langzeitsicherheit der umgelagerten Abfälle wichtige Randbedingungen ergeben sich durch den geologischen Bau des Salzstockes und das bestehende Grubengebäude.

Da die Ausgangsbedingungen den Adressaten dieses Entwurfes bekannt sind, wird an dieser Stelle auf eine nochmalige Darstellung verzichtet.

Der Vollständigkeit halber soll an dieser Stelle betont werden, dass es sich bei den vorgeschlagenen Maßnahmen um **Gefahrenabwehr (s.u.) und nicht um eine planmäßige Endlagerung in einem Design-Endlager** handelt. Die vorgeschlagenen Maßnahmen halten die Option für eine spätere Rückholung der radioaktiven Abfälle offen.

Darstellung des Konzeptes

Das Konzept sieht eine Bergung und Umlagerung aller radioaktiven Abfälle innerhalb des Salzstockes Asse vor. Die Abfälle sollen mannlos, durch Versturz über Rolllöcher auf der 511m Sohle und der 750m Sohle in Kavernen umgelagert werden, die zuvor in 1100 bis 1200 m Tiefe aufgefahren werden sollen. Sofern gewährleistet ist, dass nach abgeschlossener Umlagerung keine sicherheitsrelevante Gasbildung durch den wasserstoffhaltigen Sorelbeton auftritt, könnten die Rolllöcher und die ggf. noch vorhandenen Firsthohlräume der Kavernen mit Sorelbeton vergossen werden. Sicherheitshalber sollte zwischen Abfall und Sorelbeton eine ausreichend dicke Schicht aus möglichst reinem Steinsalz-Grus eingebracht werden.

Die vorgeschlagene Lösung könnte sowohl für die MAW als auch die LAW zur Anwendung kommen, weist aber aus Gründen des Strahlenschutzes bei der Bergung der Gebinde Unterschiede auf. Es wird davon ausgegangen, dass zahlreiche Abfallbehälter beschädigt sind und dass bei den mit Steinsalz versetzten Abfallkammern die Behälter grundsätzlich mitsamt dem Versatz geborgen und umgelagert werden müssen. Eine Aufstellung der Abfälle ist in Tabellen 1 bis 3 enthalten.

Tabelle 1 - Aufstellung der eingelagerten radioaktiven Abfälle (zusammengestellt aus Grubenriss)

Einlagerung schwachradioaktiver Rückstände														
Abbau		Einlagerungs-		100 l	150 l	200 l	250 l	300 l	400 l	Beton-	Sonder-	eingel.	Gebinde-	Eing.
Na 2	Na 3	Beg.	Ende	0,1 m ³	0,15 m ³	0,2 m ³	0,25 m ³	0,3 m ³	0,4 m ³	absch.	verpack.	Beh.	brotto-	verf.
										1,17 m ³	Stk	insges.	volumen	
													m ³	
	4	4/67	3/71	—	100	6165	25	30	10	—	10	6340	1488,00	5/71
	1	11/69	9/72	—	—	10156	—	25	752	—	—	10933	2693,00	8/73
	2	3/72	8/73	—	—	5372	185	29	1711	153	—	7450	2305,00	
	12	8/73	9/74	—	—	6080	428	24	215	717	—	7464	2514,00	1/75
	5	7/72	5/77	—	—	7013	—	3	1349	1198	2	9561	3701,00	
	8	9/74	10/75	213	—	10200	—	154	709	—	2	11278	2833,00	3/76
	10	8/74	11/76	76	—	4266	20	14	280	8	—	4664	1175,00	9/83
	11	8/73	11/77	16	—	3965	30	50	604	4731	3	9399	6792,00	3/78
2		10/76	12/78	—	—	30504	—	—	6392	—	4	36900	10230,00	12/80
	7	7/77	7/78	—	—	1079	—	—	139	3138	—	4356	3993,00	4/82
	6	6/78	12/78	—	—	1617	—	—	1184	4799	11	7611	6592,00	11/81
Na 2	Na 3	Beg.	Ende	0,1 m ³	0,15 m ³	0,2 m ³	0,25 m ³	0,3 m ³	0,4 m ³	1,17 m ³	Stk = m ³	insges.	m ³	verf.
7		10/75	1/77	—	—	7643	—	12	840	35	—	8530	2251,00	
Einlagerung mittelradioaktiver Rückstände														
Abbau		Einlagerungs-		100 l	150 l	200 l	250 l	300 l	400 l	Beton-	Sonder-	eingel.	eingel.	Eing.
Na 2	Na 3	Beg.	Ende	0,1 m ³	0,15 m ³	0,2 m ³	0,25 m ³	0,3 m ³	0,4 m ³	absch.	verpack.	Beh.	m ³	verf.
										1,17 m ³	Stk = m ³	insges.		
	8a	8/72	1/77	—	—	1301	—	—	—	—	—	1301	325,00	

Tabelle 2 - LAW- und MAW-Kammern					
Abbau-kammer	Versatz, Art u. Menge	Anzahl / Art Gebinde	Volumen der Gebinde/ der Kammer	Art der Einlagerung	Versatz-Volumen
LAW Gruppe 1					
750m/1 Na3	Kein Versatz	10933 MF	2693 m ³ 6600 m ³	horizontal gestapelt	0
750m/2 Na3	Kein Versatz	7450 MF	2305 m ³ 5300 m ³	horizontal gestapelt	0
750m/12 Na3	Kein Versatz	7464	2514 m ³ 7800 m ³	horizontal gestapelt	0
750m/11 Na3	Kein Versatz	9399 MF, VBA	6792 m ³ 11500 m ³	verkippt / gestapelt	0
750m/7 Na3	Sturzversatz	4356 MF, VBA	3993 m ³ 13400 m ³	horizontal gestapelt	< 9407 m ³
750m/6 Na3	Sturzversatz	7611 ?	6592 m ³ 14200 m ³	verkippt / gestapelt	< 7608 m ³
750m/5 Na3	Teilversatz	9561 MF, VBA	3701 m ³ 12100 m ³	verkippt / gestapelt	< 8399 m ³
Teilsomme			28590 m³		
LAW Gruppe 2					
750m/4	Kein Versatz	6340 MF	1488 m ³ 6500 m ³	vertikal gestapelt	0
750m/8 Na3	Kein Versatz	11278 MF	2833 m ³ 8400 m ³	verkippt	0
750m/10 Na3	Sturzversatz	4664	1175 m ³ 8800 m ³	verkippt	< 7625 m ³
750m/2 Na2	Sturzversatz	36900 MF	10230 m ³ 22800 m ³	verkippt	< 12570 m ³
725m/7 Na2	Teilversatz	8530	2251 m ³ 16400 m ³	verkippt	< 14149 m ³
Teilsomme			17977 m³		
MAW					
511m/8a Na3	Kein Versatz	1301	325 m ³ 6000 m ³	abgeseilt	0
Teilsomme			325 m³		
Summe			46892 m³		< 59758 m³
MF = Metallfässer, MBA = verlorene Betonabschirmungen					

Spezifische Daten der Einlagerungskammern

Einlagerungskammer	LAW												Summe bzw. Mittel	MAW 8a/511		
	10/750	8/750	4/750	5/750	6/750	7/750	11/750	12/750	2/750	1/750	2/750 i. Na2	7/725 i. Na2				
Kammergeometrie																
mittlere Länge ¹⁾	[m]	38	62	51	46	49	59	62	36	23	50	82	84		23	
mittlere Breite ¹⁾	[m]	27	19	16	35	39	33	25	32	28	20	23	20		23	
mittlere Höhe	[m]	11,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	17	17		14	
planmetrierte Grundfläche	[m ²]	1.030	1.180	910	1.700	1.990	1.880	1.620	1.230	740	1.060	1.880	1.620		500	
Chronologie																
Kammer erstellt ²⁾		1923	1920 - 1921	1918 - 1919	1918 - 1919	1919	1919 - 1920	1921	1922	1917	1916 - 1918	1927 - 1928 u. 1931	1932 - 1936		1961 - 1962	
Einlagerung ³⁾		8/74 - 11/76	9/74 - 11/78	4/67 - 3/71	7/72 - 5/77	6/78 - 12/78	7/77 - 7/78	8/73 - 11/77	8/73 - 9/74	3/72 - 8/73	11/69 - 9/72	10/76 - 12/78	10/75 - 1/77		8/72 - 1/77	
Einlagerungstechnik ¹⁾		Abkipf	Abkipf	Stapel stehend	Abkipf.(unten) + Stapel lieg.(oben) + Abkipf.(oben)	Abkipf.(unten) + Stapel lieg.(oben)	Abkipf.(unten) + Stapel lieg.(oben)	Abkipf.(unten) + Stapel lieg.(oben)	Stapel liegend	Stapel lieg. teilw. stehend	Stapel liegend	Abkipf	Abkipf		Abseil	
Eingelagerte Abfallgebinde ³⁾																
100 l - Fässer	[Stk]	76	213	0	0	0	0	16	0	0	0	0	0		305	0
150 l - Fässer	[Stk]	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0		100	0
200 l - Fässer	[Stk]	4.266	10.200	6.165	7.009	1.617	1.079	3.965	6.080	5.372	10.156	30.504	7.643		94.056	1.301 *
250 l - Fässer	[Stk]	20	0	25	0	0	0	30	428	185	0	0	0		688	0
300 l - Fässer	[Stk]	14	154	30	3	0	0	50	24	29	25	0	12		341	0
400 l - Fässer	[Stk]	280	709	10	1.349	1.184	139	604	215	1.711	752	6.392	840		14.185	0
VBA (1,17m ³)	[Stk]	8	0	0	1.198	4.799	3.138	4.731	717	153	0	0	35		14.779	0
Sonderverpackungen	[Stk]	0	2	10	2	11	0	3	0	0	0	4	0		32	0
Gebindebruttovolumen	[m ³]	1.175	2.833	1.488	3.701	6.592	3.993	6.792	2.514	2.305	2.693	10.230	2.251		46.566	325
z. eingelagerte Gebinde	[Stk]	4.664	11.278	6.340	9.561	7.611	4.356	9.399	7.464	7.450	10.933	36.900	8.530		124.486	1.301 *
geringster Abstand zum Deckgebirge	[m]	20	30	40	40	50	60	90	140	160	110	120	120			60
Kammervolumina																
geschätztes Kammerievol.	[m ³]	8.800	8.400	6.500	12.100	14.200	13.400	11.500	7.800	5.300	6.600	22.800	16.400		133.800	6.000
Resthohr. (Luft) i. d. Kammer	[m ³]	4.500	4.400	3.800	6.200	5.300	6.300	4.500	4.300	2.500	3.100	10.900	7.800		63.600	5.600
"- entspricht		51%	52%	58%	51%	37%	47%	39%	55%	47%	47%	48%	48%		48%	95%
Genauigkeitsabschätzung	[%]	+/- 10%	+/- 19%	+/- 18%	+/- 19%	+/- 18%	+/- 19%	+/- 17%	+/- 19%	+/- 18%	+/- 19%	+/- 12%	+/- 6%		+/- 16%	+/- 19%
unverfüllter Hohlraum	[m ³]	-	-	2.900	320	-	-	1000 ⁴⁾	3.300	1.700	2.100	-	1.900		12.220	5.600

¹⁾ Quelle : Hohraumbilanz Kunze

²⁾ Quelle : Grubenbild der Schachanlage Asse

³⁾ Quelle : Datenbank ASSEKAT_8.0

⁴⁾ oberhalb der Ausgleichsschicht zwischen den gekippten und gestapelten Fässern

LAW Einlagerungskammer für schwachradioaktive Abfälle

MAW Einlagerungskammer für mittelradioaktive Abfälle

* von den 1.301 eingelagerten Abfallgebinden in der Kammer 8a/511 sind 8 den schwachradioaktiven Abfällen zuzuordnen.

Zusammenfassung

Summe Gebinde LAW	124.494 Stk.
Summe Gebinde MAW	1.293 Stk.
Gebinde gesamt	<u>125.787 Stk.</u>

Summe Gebindebruttovolumen 46.891 m³

Tabelle 3 – Daten zu Einlagerungskammern

(aus: Heydorn, M, Hensel, G, Bracke, G (2005) Beschreibung der Lagerbereiche der Abfälle. GSF-Bericht)

Bergung der LAW-Abfälle

Die LAW-Abfälle sollen weitgehend mit bergmännischen Methoden geborgen werden, wobei unterschiedliche Varianten denkbar sind:

Für die gestapelten und nicht mit Salzgrus versetzten Abfallgebände wäre eine fassweise Bergung möglich, bei der ein Fass durch ein Fahrzeug mit Greifeinrichtung entnommen und auf ein Transportfahrzeug geladen wird, welches zu einem Rollloch fährt.

Wesentlich schneller könnten die Fässer durch einen (fernbedienten) Schaufellader aufgeladen und zum Rollloch befördert werden. Die früher durch Versturz-Technik abgelagerten und mit Salzgrus versetzten Abfälle könnten mit einer Reißbraupe gelockert und mit einem Schaufellader direkt oder auch per Transportfahrzeug zum Rollloch befördert und abgekippt werden. Zur Vermeidung der teilweise nicht unerheblichen Fahrstrecken zwischen Abfallkammer und Rollloch wäre der Einsatz von Bandförderanlagen zu prüfen.

Grob geschätzter Zeitbedarf: Bei einem angenommenen Fassungsvermögen von 5 Gebinden pro Schaufel und 5 Minuten pro Lade-/Fahr-Zyklus ergibt sich ein Zeitbedarf von ca. 90 Tagen für alle ca. 125 000 Gebinde. Rechnet man für den mit umzulagernden, kontaminierten Salzversatz nochmals die gleiche Zeit hinzu, so errechnet sich der Gesamt-Zeitbedarf auf ca. ein halbes Jahr. Beim Einsatz von zwei parallel arbeitenden Geräten an zwei Kavernen wäre die Umlagerung daher in ca. 3 Monaten zu bewältigen.

Nach einer dritten Variante könnten die mit Salzgrus versetzten Abfälle mit einem Fräsergerät (continuous miner) gewonnen und per Bandförderanlage direkt ins Rollloch befördert werden. Nachteile dieser Methode könnten starke Staubentwicklung und Störungen durch verklemmte Blechteile (Fässer) sein.

Während dieser Bergungsarbeiten sollten nach Möglichkeit die Aktivitäten und ggf. Inhaltsstoffe ermittelt werden und besonders problematische Gebinde sollten zur separaten Behandlung (Rückholung) aussortiert werden.

Bergung der MAW-Abfälle

Bei den 1301 Fässern handelt es sich ausschließlich um 200 Liter Rollreifen-Fässer (630 mm größter Außendurchmesser, 923 mm größte Höhe).

Die MAW-Abfälle können nur mannlos durch ferngesteuerte Maschinen geborgen werden. Hierzu könnte ein schweres Manipulator-Fahrzeug zum Einsatz kommen, wie es auch in einer Studie von EWN und TÜV Nord (2008) zur Rückholung der MAW vorgesehen ist. Zwischen der Kammer 8a und dem Rollloch auf der 511m Sohle soll eine kurze lineare und zur Kammer tangential Verbindungsstrecke aufgeföhren werden, in der eine Bandförderanlage zum Rollloch installiert werden soll. Die Gebinde könnten dann vom Manipulator auf das Förderband gesetzt und von diesem direkt ins Rollloch befördert werden.

Noch schneller und einfacher wäre der Einsatz eines ferngesteuerten Radladers, der den Fassberg (inklusive beschädigter Gebinde) über die kurze Fahrstrecke zum Rollloch befördert und abwirft.

Grob geschätzter Zeitbedarf: Bei einem angenommenen Fassungsvermögen von 5 Gebinden pro Schaufel und 5 Minuten pro Lade-/Fahr-Zyklus ergibt sich ein Zeitbedarf von einem Tag für alle ca. 1300 Gebinde.

Einsatz fernbedienter Arbeitsgeräte

Durch Entwicklungsarbeiten im Kalibergbau ist seit einigen Jahren der praktische Einsatz fernbedienter und teilweise sogar autonomer Arbeitsmaschinen deutlich fortgeschritten. So kommen in steinschlaggefährdeten Abbaubereichen Schaufellader zum Einsatz, bei welchen nur noch die Be- und Entladevorgänge manuell fernbedient erfolgen, während wiederkehrende Fahrstrecken nach erfolgter Lernphase von dem Ladefahrzeug autonom zurück gelegt werden können. Dazu ist das Ladefahrzeug mit Videotechnik und Laserscannern ausgestattet. (Hunstock und Spachtholz, 2005)

Für den Einsatz in der Asse wären solche Lader sinnvoll, weil sie den Aufenthalt von Personen in den Kontrollbereichen weitestgehend überflüssig machen. Dies hätte vor allem positive Auswirkungen auf die Strahlenbelastung des Personals, könnte aber auch die Sonder-Bewetterung dieser Bereiche während des Umlagerungsbetriebs vereinfachen helfen (nur Verbrennungsluft für Dieselmotoren). – Eine weitere

überlegenswerte Variante wäre der Einsatz von elektrisch betriebenen Fahrladern, die keine Verbrennungsluft benötigen, deren Reichweite allerdings durch die Kabellänge begrenzt ist.

Bewetterung und Strahlenschutz während der Umlagerung

Bei der Bergung, dem Transport und der Verkipfung der Abfälle kommt es zur Entwicklung von radioaktiv kontaminiertem Staub. Daher müssen relevante Bereiche des Grubengebäudes abgeschottet und als Kontrollbereiche definiert und überwacht werden. In diesen Bereichen müssen die ausziehenden Wetter durch geeignete Maßnahmen (Filter, Gaswäsche, Molekularsiebe) von radioaktiven Stäuben und Gasen befreit werden (Vgl. hierzu: EWN und TÜV Nord (2008) Möglichkeit einer Rückholung der MAW-Abfälle aus der SchachanlageASSE). Dabei ist zu prüfen, ob und in welchem Ausmaß radioaktive Ultrafeinstäube (Nanopartikel) auftreten und ggf. zurückgehalten werden können. Eventuell sind zusätzliche Maßnahmen zur Entfernung von Tritium (als HTO) erforderlich, beispielsweise durch Anwendung von Trockenmitteln zur Bindung von Luftfeuchtigkeit.

Sofern bemannte Arbeitsgeräte (nur bei LAW) in den Kontrollbereichen eingesetzt werden müssen, müssen diese mit klimatisierten Fahrerkabinen und mit autarker Atemluftversorgung ausgestattet sein und sollten zusätzliche Abschirmungen gegen Gammastrahlung aufweisen.

Vorzusehen sind auch Überwachungs- und ggf. Sicherungsmaßnahmen gegen Freisetzungen von explosionsfähigen und toxischen Gas- und Gas/Staub-Gemischen. Unverzichtbar und von der Umlagerung unabhängig sind zunächst umfangreiche Gasanalysen in den Einlagerungskammern und an mehreren ausgewählten Gebinden. Um das Auftreten von gefährdenden Mischungen zu verhindern oder zumindest auf ein ungefährliches Maß zu beschränken, sind vorbeugend Schutzmaßnahmen zu ergreifen (z.B. Druckentlastung, Vermeidung von zündwilligen Gasgemischen, Ermittlung und Berücksichtigung der unterschiedlichen Zündmechanismen). Zur Beurteilung von Explosionsgefahren und für die Festlegung von Schutzmaßnahmen sind die sicherheitstechnischen Kenngrößen zu ermitteln. Dabei ist besonders die Zündwirkung ionisierender Strahlung zu berücksichtigen (Energieabsorption in Abhängigkeit von Art und Oberflächenstruktur der Stäube, Zündgrenzen, Abhängigkeit von Strahlungsenergie und Strahlungsleistung, Abhängigkeit vom Strömungsverhalten). Unter Berücksichtigung der Deflagration sind explosionsgefährdete Bereiche nach Zonen getrennt zu ermitteln.

Kavernen und Rolllöcher

Um längerfristig eine trockene und sichere Lagerung gewährleisten zu können, ist durch Pilotbohrungen sicherzustellen, dass in der Nähe der vorgesehenen Kavernenpositionen keine sicherheitsgefährdenden Gas- und Laugeneinschlüsse existieren und keine Kaliflöze angeschnitten werden.

Das Gesamtvolumen der herzustellenden Abfallkavernen ist wegen des bei der Abfallbergung ebenfalls anfallenden Versatzmaterials größer als das kumulative Volumen aller Abfallgebinde (Vgl. Tabellen 1 bis 3) und beläuft sich auf deutlich mehr als 50 000 m³.

Aus logistischen Gründen und zur Beschleunigung der Gefahrenabwehrmaßnahme erscheint die Verfügbarkeit von wenigstens zwei Rolllöchern mit drei Kippstellen (Füllörter) wünschenswert (Vgl. Abbildungen 2 bis 5). Das Rollloch der östlichen Kaverne liegt nahe der Kammer 8a auf der 511m Sohle und kann sowohl von dieser Sohle als auch von der 750m Sohle aus beschickt werden (allerdings nicht gleichzeitig). Das Rollloch der westlichen Kaverne verfügt über nur ein Füllort auf der 750m Sohle. Es ist zu prüfen, ob zur Risikominderung die Erstellung einer separaten Kaverne für bestimmte Gebinde (z.B. mit hoher Dotierung von Alphastrahlern) sinnvoll ist.

Wegen der Konvergenz und ihrer gebirgsmechanischen Auswirkungen auf andere Teile des Grubengebäudes sollten keine zu groß dimensionierten Einzel-Kavernen hergestellt werden. Für vorläufige Betrachtungen wird daher zunächst von zwei vertikal zylindrischen Kavernen mit jeweils ca. 100 m Höhe und 25 m Durchmesser ausgegangen, die zusammen ein Nutz-Volumen von ca. 98 000 m³ ergeben. Bei 20 m Durchmesser und gleicher Höhe ist das Volumen ca. 63 000 m³.

Bei der Herstellung der Rolllöcher muss beachtet werden, dass der Durchmesser groß genug sein muss um Verstopfungen zu vermeiden. Es bietet sich an, zu Beginn der Kavernenherstellung Blindschächte herzustellen, die entsprechend den bergbaulichen Notwendigkeiten ohnehin ausreichende Durchmesser aufweisen werden. Nach Beraubung der Schachteinbauten können die Schächte dann als Rolllöcher dienen. Sofern

Metallauskleidungen eingebaut werden, müssen diese (dann später kontaminierten Teile) vor Verfüllung der Rolllöcher mit Sorelbeton entfernt werden. An den Kippstellen sollen die Rolllöcher ggf. mit Schleusen versehen werden, aus Sicherheitsgründen, um Staubaustrag und direkte Gammastrahlung aus der Kaverne zu minimieren und um einen zentralen Abwurf ohne seitlich wirkende Momente zu gewährleisten.

Gegenüber einem streckengebundenen tiefen Einlagerungsbereich (z.B. auf 1100 m Tiefe) hat die Variante mit Kavernen entscheidende Vorteile: Die nach unten verbrachten Abfälle müssen nicht mehr horizontal auf Abfallkammern verteilt und dort eingebaut werden. Daher erübrigen sich während der Umlagerung der Abfälle die Anwesenheit von Personen und damit die Notwendigkeit einer Bewetterung im Tieflager, die Einrichtung von Kontrollbereichen und die Offenhaltung von Fluchtwegen. Ein weiterer Vorteil der Kavernen besteht darin, dass die herabgestürzten Abfälle aufgrund der Fallhöhe und der Eigenlast der Abfallsäule eine gute Verdichtung erfahren. Nach Abschluss der Kavernen und Rolllöcher mit Sorelbeton (zusätzliche Last) kann daher binnen sehr kurzer Zeit ein Kraftschluss mit dem konvergierenden Nebengebirge erfolgen, wodurch ein rascher Abschluss der Abfälle von höheren Bergwerksbereichen und der Biosphäre erfolgt.

Der Zeitbedarf zur Herstellung der Rolllöcher und Kavernen kann grob orientierend wie folgt abgeschätzt werden:

Gestängelose Schachtbohrmaschinen mit Durchmessern von mehreren Metern sind Stand der Technik und wurden auch auf der Asse schon eingesetzt. Ein Schachtausbau ist im Salzgebirge normalerweise nicht erforderlich. Es werden routinemäßig Abteufgeschwindigkeiten von 10 m pro Tag erzielt. Eine Schachtbohrung von der 750m-Sohle bis auf 1200 m unter Tage (geplante Kavernensohle) würde demnach (ohne Vorrichtungsarbeiten) 45 Tage oder 1,5 Monate benötigen.

Zur Herstellung einer Kaverne (100 m tief, 25 m Durchmesser, 49 000 m³ Ausbruch-Volumen, ca. 110 000 t Haufwerk) in Bohr- und Sprengarbeit müssten Sprengbohrlöcher hergestellt werden. Es sind unterschiedliche Varianten denkbar, z.B.

- Staffeleinbruch an der Kavernensohle, dann Horizontal- oder Schrägbohrungen von Schachtbühnen aus, wobei die Kavernenfirste je Abschlag um ca. 5 Meter nach oben wächst. Lüftung und Leerförderung durch Polypgreifer nach jeder Sprengung (oder etappenweise Leerförderung).
- Um nicht von beengten Schachtbühnen aus mit kleinen Geräten und kurzen Gestängen bohren zu müssen wäre es auch denkbar, auf 1100 m Tiefe vom Schachtbohrloch aus seitlich eine Kammer entsprechend dem späteren Kavernenquerschnitt herzustellen und von dort aus unter Einsatz leistungsfähiger Bohrgeräte vertikale, 100 m tiefe Sprenglöcher zu bohren. Für die Herstellung dieses Bohrorts wird ein Monat angesetzt. Bei dem vorgesehenen Kavernen-Querschnitt wären ca. 200 Sprenglöcher erforderlich. Bei einer Bohrleistung von 100 m pro Stunde wären 200 Stunden plus Umrüstzeiten erforderlich. Sprengtechnisch würde die Schachtbohrung als Großbohrloch fungieren. Für die Bohrungen und die Sprengarbeiten wird ein weiterer Monat angesetzt.

Das Leerfördern der Kaverne würde mit einem Polypgreifer von der 750m Sohle aus erfolgen. Bei einer Greiferkapazität von 5 Tonnen und einem Kranfahrt-Zyklus von 5 Minuten wären demnach 110 000 Minuten oder 77 Tage (2,5 Monate) erforderlich.

Zeitbedarf: Rechnerisch würde die bergmännische Herstellung einer Schachtbohrung mit Kaverne also ungefähr 5 Monate bzw. rund ein halbes Jahr dauern. Grundsätzlich könnten die beiden Kavernen synchron hergestellt werden.

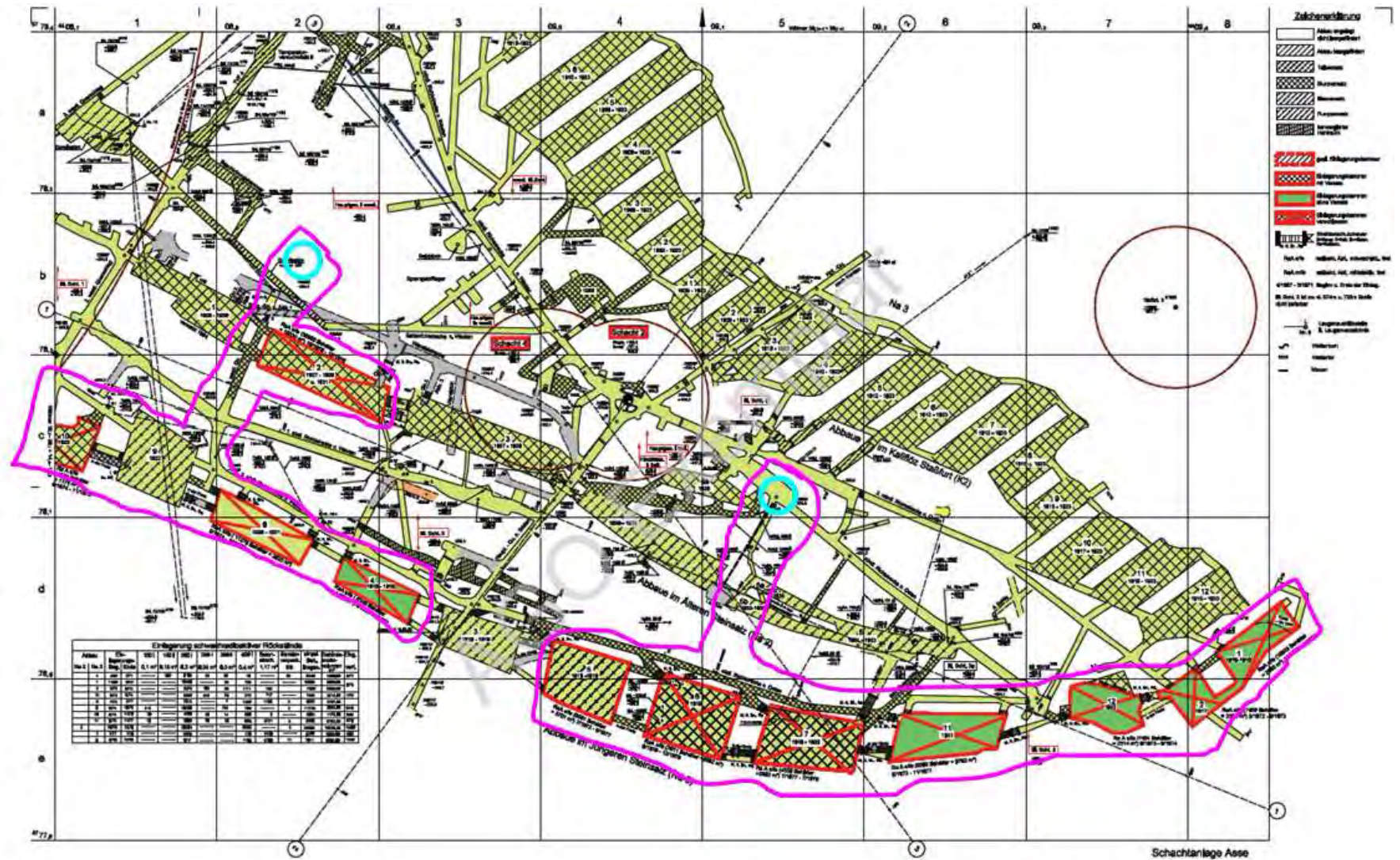


Abbildung 1 - 750m-Sohle mit ungefährender Position der Rolllöcher (Kavernen-Umriss türkis) sowie der zugehörigen Kontrollbereiche (pink). Zwischen den beiden Kontrollbereichen könnten die Schleusen und der Dekontaminationsbereich eingerichtet werden.

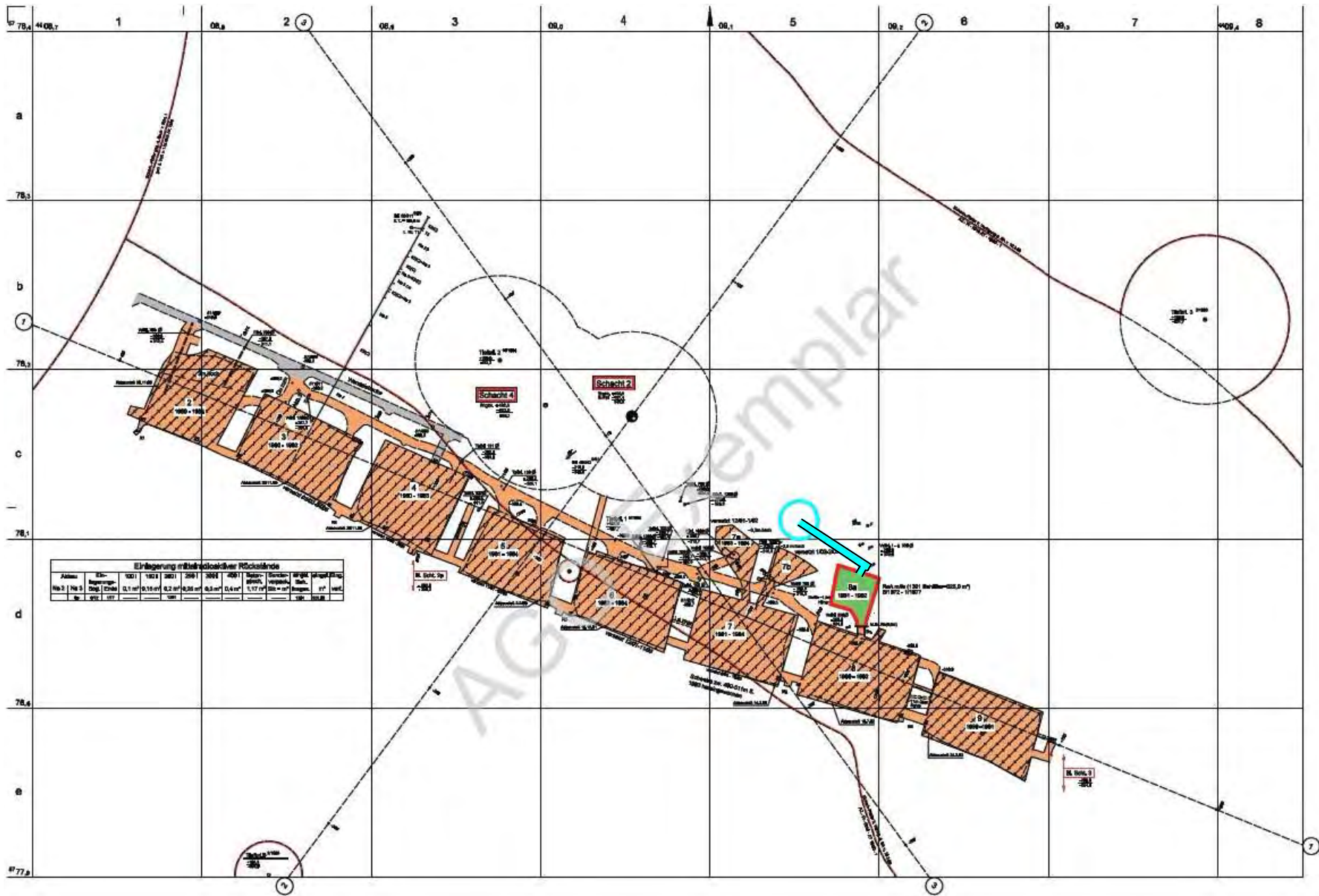


Abbildung 2 - 511m-Sohle mit ungefährender Position des Rollochs (Kavernen-Umriss türkis) sowie einer Verbindungsstrecke zur Kammer 8a.

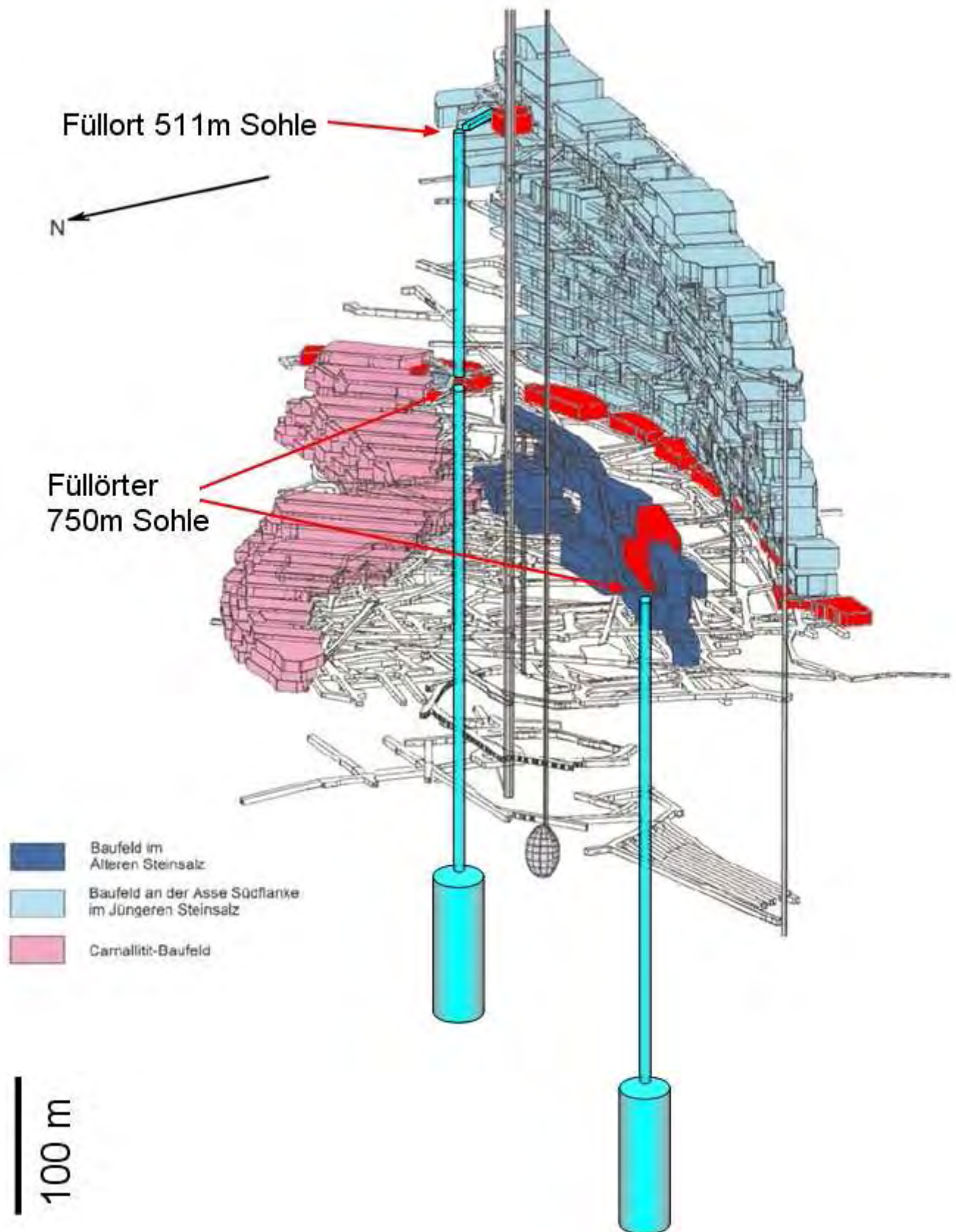


Abbildung 3 – Perspektivische Darstellung der Schachtanlage Asse II(alt) mit den projizierten neuen Kavernen und Rolllöchern (ungefähre Positionen und Abmessungen).

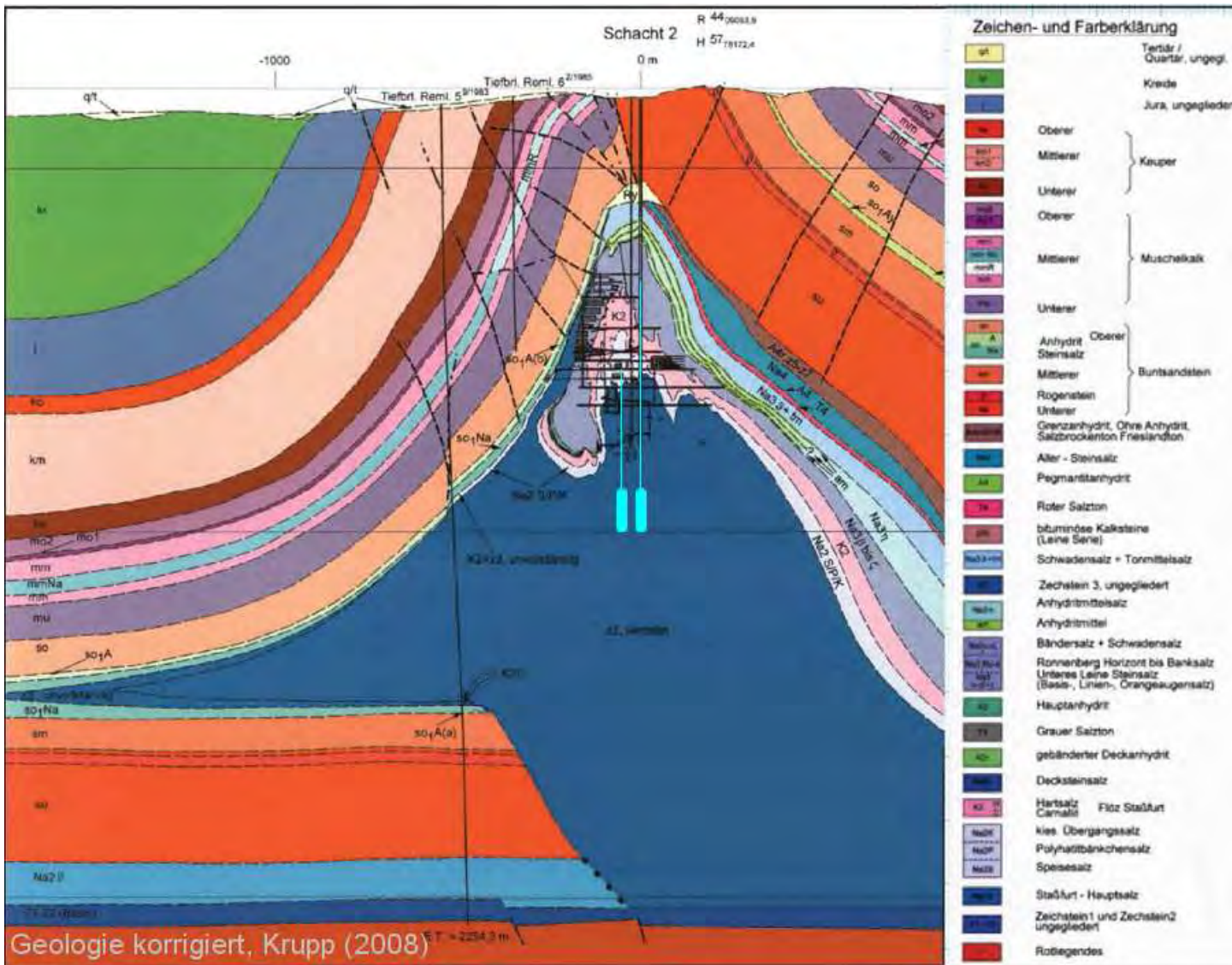


Abbildung 4 - Querschnitt durch die Asse mit den projizierten Kavernen und Rolllöchern (ungefähre Positionen und Abmessungen). Die geplanten Kavernenhohlräume befinden sich im unverritzten Älteren Steinsalz (Staffurt-Serie, Na₂) des Sattelkerns, abseits von Kalisalzen und weit unterhalb von vorhandenen Auffahrungen.

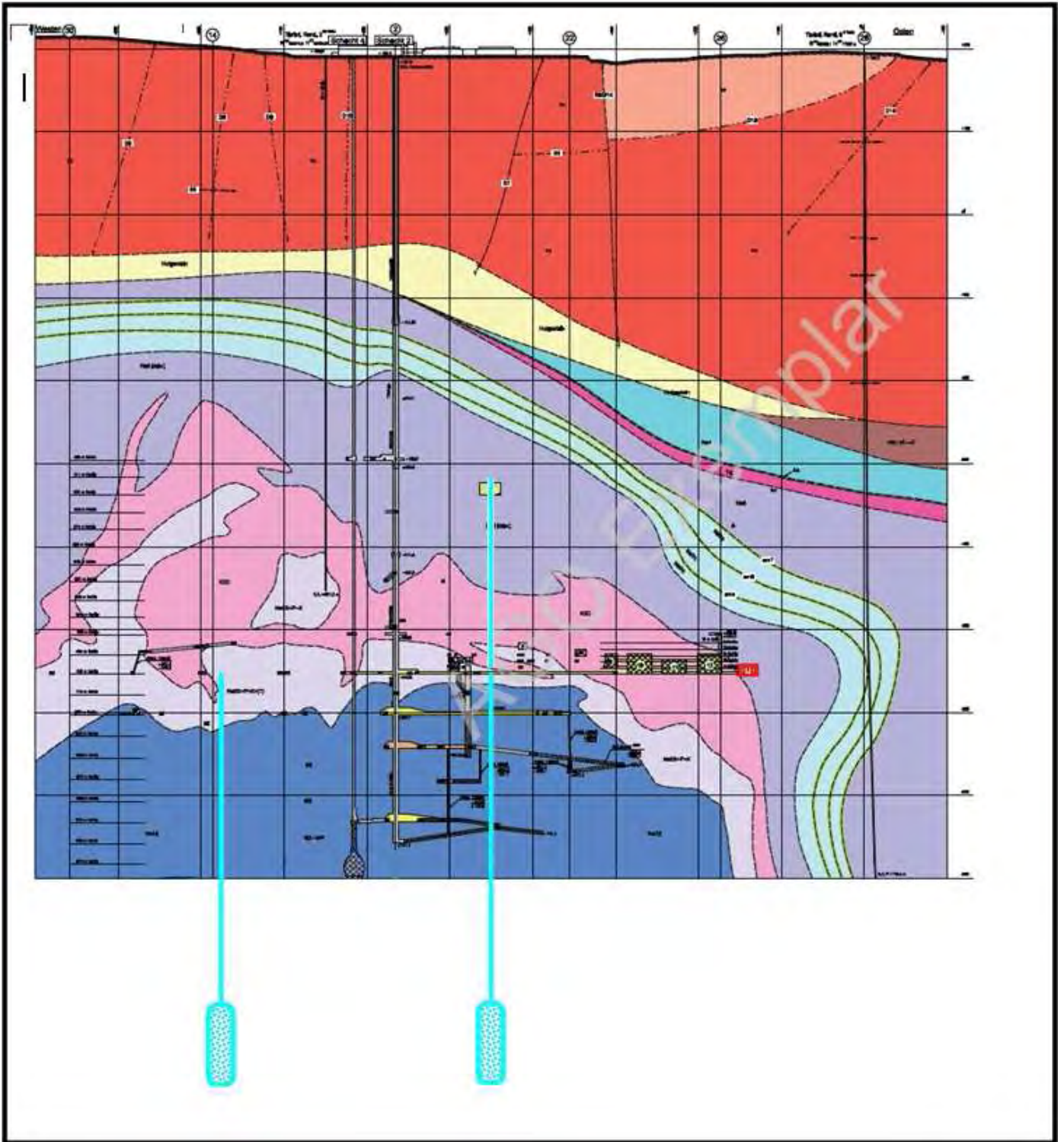


Abbildung 5 - Längsschnitt durch die Asse (Schnitt 5 des Grubenrisses) mit den projizierten Kavernen und Rolllöchern (ungefähre Positionen und Abmessungen).

Versatz ausgeräumter Abfallkammern

Aus Standsicherheitsgründen sollten Abfallkammern nach ihrer Leerräumung alsbald versetzt werden. Hierzu wird vorgeschlagen die Kammern soweit erforderlich seitlich mit Haufwerk abzdämmen und von der darüber liegenden Begleitstrecke aus mit Sorelbeton zu verfüllen.

Rückholbarkeit

Die Möglichkeit der Rückholung eingelagerter radioaktiver Abfälle ist gerade auch unter dem Aspekt der öffentlichen Akzeptanz sehr wichtig, weil dadurch die Schaffung vollendeter Tatsachen vermieden wird. Das vorgeschlagene Konzept schließt eine spätere Rückholung der umgelagerten Abfälle nicht aus, sondern vereinfacht sie und macht sie wegen der Isolierung und trockenen Verwahrung überhaupt erst möglich.

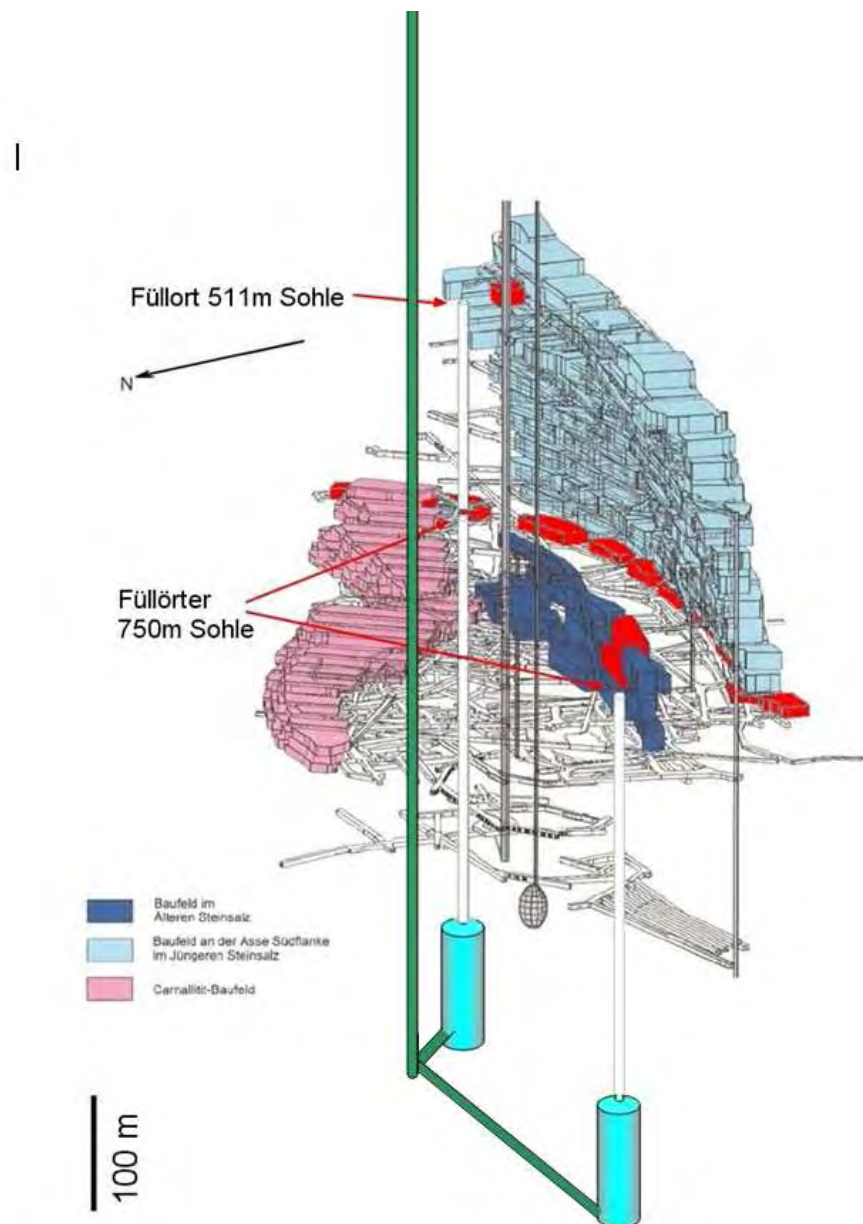


Abbildung 6 – Mögliche Rückholung umgelagerter Abfälle durch einen neuen Schacht mit Erschließungsstrecken (grün). (Verplombte ehemalige Kavernenhäse weiß)

Durch die Isolation der Abfälle in trockenen Kavernen, die nach Abschluss der Maßnahme durch mehrere hundert Meter Steinsalz (bzw. Sorelbeton) gegenüber dem Grubengebäude hydraulisch abgedichtet sind, sollte unter allen denkbaren Störfall-Szenarien ein Lösungszutritt nicht mehr möglich sein. Eine Langzeitsicherheit sollte damit gegeben sein. Soweit in Zukunft jedoch die Notwendigkeit einer Rückholung gesehen werden sollte, ist dies durch Abteufung eines neuen Schachtes im unverritzten Gebirge in unkomplizierter Weise möglich. Eine Rückholung der radioaktiven Abfälle aus den Umlagerungskavernen würde nicht mehr unter dem Zeitdruck stehen der unter den gegenwärtigen Verhältnissen einer Direkt-Rückholung im Wege steht.

Kritikalität und Neutronenquellen

Die Entstehung kritischer Massen wurde bisher für die Schachanlage Asse II stets ausgeschlossen. Im Hinblick auf die vorgesehene Versturztechnik und die starke Kompaktion sollte dieser Punkt aber nochmals geprüft werden.

Da prinzipiell auch alle Komponenten zur Bildung von Neutronenquellen vorhanden sind (energiereiche Alphastrahler, z.B. Pu 239, Am 241, Beryllium, ca. 16 kg), wird der erforderliche Kontakt zwischen Strahler und Beryllium durch Kompaktierung wahrscheinlicher. Es sollte daher geprüft werden, wie durch (alpha,n)- oder (gamma,n)- Reaktionen gebildete Neutronenquellen vermieden werden können. (Emittierte Neutronen sind nach Thermalisierung in der Lage andere nichtradioaktive Stoffe mittels einer (n,gamma)-Reaktion zu aktivieren: z.B. Na-23 (n,gamma) Na-24. (Na-24 ist ein intensiver Gammastrahler, HWZ 14,66 h.) Es sollte auch geprüft werden, ob bei der geplanten Form der Umlagerung hierdurch relevante neue Gefahrenmomente entstehen können.

Festkörperreaktionen und stromliefernde Anordnungen

Auch bei der im Tiefenbereich vorausgesetzten "trockenen" Lagerung werden angesichts der Komponentenvielfalt Festkörperreaktionen ablaufen, die während der "unendlichen" Lagerzeit zu materiellen und strukturellen Veränderungen führen. Es ist zu prüfen, welche sicherheitsrelevanten Veränderungen nach dem derzeitigen Kenntnisstand ggf. zu erwarten sind.

Um mögliche chemische und radiochemische Wechselwirkungen und deren Folgen nach der Umlagerung belastbar abschätzen zu können, sollte vor Realisierung des Konzepts geprüft werden, inwieweit die gegenwärtigen Unsicherheiten über Art, Ort und Gebindezustand des gesamten und nicht nur des radioaktiven Inventars beseitigt oder zumindest vermindert werden können. Ggf. sind besonders schadensträchtige Gebinde auszusondern und einer separaten Behandlung zuzuführen.

Vor einer Umlagerung sind auch prinzipiell auftretende Strahlendefekte im kristallinen NaCl (Bildung von kolloidalem Natrium und molekularem Chlor) sowie radiolytische Prozesse insbesondere im begleitenden kristallwasserhaltigen Polyhalit zu bedenken. Es sollte auch überprüft werden, inwieweit die durch anhaltende Bestrahlung verursachte Energiespeicherung und ggf. Energiefreisetzung im Salz zu berücksichtigen ist.

Kontakte zwischen metallischen und halbleitenden Komponenten (z.B. Oxide, Sulfide) sind nicht auszuschließen. Sperrschichten zwischen Halbleitern und Metallen bilden unter Bestrahlung Stromquellen (strahlenelektrischer Effekt). Auch hier ist zu prüfen, welche Folgen das Auftreten von elektrischen Strömen hat ("Festkörperelektrochemie") und ob diese Auswirkungen sicherheitsrelevant sind.

Austreibung von Feuchtigkeit und flüchtigen Stoffen

Es ist bekannt, dass in einige Kammern der 750m Sohle Salzlösungen eingedrungen sind. Aufgrund der deutlich höheren Temperatur in 1200 m Tiefe (ca. 45 bis 50°C) und zusätzlichen Wärmefreisetzungen (Kompaktionswärme nach freiem Fall, chemische Reaktionswärme), muss mit der Austreibung von Feuchtigkeit aus den Abfällen gerechnet werden, die auch gebundenes Tritium enthält. Auch andere flüchtige Substanzen wie Iod und CO₂ müssen beachtet werden.

Es sollte daher untersucht werden, ob dem Abfall ausreichende Mengen von Trockenmitteln etc. zugegeben werden können, z.B. gebrannter Gips (Halbhydrat), CaO oder mild gebranntes MgO, die sowohl Wasser wie auch CO₂ binden, sowie Aktivkohle, welche die Iod-Dämpfe absorbieren kann.

Zu Störfallbetrachtungen

Im derzeitigen Entwurfsstadium soll noch nicht auf alle denkbaren Störfallszenarien eingegangen werden. Ein für alle Stilllegungsoptionen gleichermaßen kritisches Szenario ist jedoch der nicht mehr beherrschbare Grundwassereintrich noch während der Stilllegungsarbeiten. Dabei ist weniger an die derzeitigen, einigermaßen konstanten Zuflüsse gedacht, die vermutlich aus dem Einsturzgebirge (Röt-Gesteine) über dem Salzstock stammen, sondern an mögliche neue Zuflüsse aus dem Muschelkalk-Aquifer, der in ca. 100 Meter Abstand zum südlichen Salzkontakt verläuft. Aufgrund der bekannterweise ablaufenden und wenig beeinflussbaren gebirgsmechanischen Verformungen ist die Frage nicht mehr ob, sondern wie bald dieser Störfall eintreten kann. Eine Vorhersage des Zeitpunktes einer solchen wasserwegsamem Bruchbildung ist aber ebenso wenig möglich wie die Vorhersage eines Erdbebens, aus vergleichbaren Gründen.

Wenn dieser Störfall aber mit nicht vernachlässigbarer Wahrscheinlichkeit bereits vor Abschluss der Sanierungsarbeiten eintreten kann, handelt es sich bei den Schließungsmaßnahmen nicht mehr um Vorsorge zur Erreichung einer Langzeitsicherheit, sondern um Abwehr einer akuten Gefahr. Vor diesem Hintergrund müssen sich alle Sanierungs-Optionen daran messen lassen, wie schnell sie umsetzbar sind und wie frühzeitig sie abgeschlossen werden können, weil dies unmittelbare Auswirkungen auf die Eintrittswahrscheinlichkeit eines Wassereintrichs vor Abschluss der Sanierung hat. Ein weiteres Kriterium ist die mögliche Schadenshöhe (Strahlenbelastung und Umweltschäden), die bei Schadenseintrich vor Abschluss der Sanierung entstehen kann.

Um zu einer Abschätzung der Konsequenzen eines Ersaufens inmitten der Umlagerungsarbeiten zu gelangen, müssten im Detail zwei Extrem-Fälle betrachtet werden, nämlich das Ersaufen zu Beginn und kurz vor dem Ende der Umlagerung. Andere Szenarien würden dazwischen liegen.

Zum derzeitigen Zeitpunkt lässt sich folgendes bereits erkennen:

Zu Beginn der Umlagerung sind praktisch alle radioaktiven Abfälle noch an ihrem derzeitigen Ort. Das flutbare Volumen (ca. 1 500 000 m³ insgesamt, davon maximal 100 000 m³ Kavernenvolumen) wäre nicht größer als ohne die Kavernen, soweit das bei der Kavernenherstellung angefallene Haufwerk innerhalb der Grube (z.B. zu Sorel-Beton) verarbeitet worden ist. Allerdings wären in diesem Stadium die radioaktiven Abfälle, soweit die Kammern bereits geöffnet sind, leichter für die Lösungen zugänglich.

Kurz vor dem Verschluss der Kavernen befinden sich alle Abfälle in den Kavernen. Die leer geräumten Abfallkammern wären bereits weitgehend mit Sorel-Beton verfüllt. Für die Volumenbilanz wäre zu unterscheiden, ob das Salz zur Herstellung dieses Sorel-Betons von außerhalb in die Schachanlage importiert wurde, oder ob es sich um Kavernenausbruch handelt. In jedem Fall würde sich das flutbare Volumen durch die Umlagerungsmaßnahme selbst nicht vergrößern. Die radioaktiven Abfälle wären jetzt bereits in den Kavernen, die aber noch nicht verschlossen wären. Durch die Kavernengeometrie mit den langen Kavernenhälsen, und infolge der guten Verdichtung der Abfälle, wäre eine Durchströmung der Abfälle stark behindert. Die Schadstoffmobilisierung wäre gegenüber einem Verbleib der Abfälle in den derzeitigen, durchströmbaren Einlagerungskammern deutlich gehemmt.

Es kann daher festgestellt werden, dass sich unter dem betrachteten Störfall-Szenario die Sicherheitssituation gegenüber dem *status quo* anfangs durch Öffnung der jeweiligen Kammer leicht verschlechtert, aber mit fortschreitender Umlagerung deutlich verbessert, auch dann, wenn die Umlagerung nicht zum geplanten Abschluss gebracht werden kann. Die mögliche Schadenshöhe wird also mit dem Umlagerungs-Fortschritt tendenziell verringert.

Rein rechnerisch wäre das hier skizzierte Umlagerungskonzept in der Lage, die drohende Gefahr eines unbeherrschbaren Lösungszutritts zu den radioaktiven Abfällen innerhalb eines Jahres zu beseitigen.

Weitere Fragen

- Es sollten Untersuchungen zur Auswahl geeigneter Geräte und zur Logistik angestellt werden.
- Es soll geklärt werden, ob es vorteilhafter ist die Kammern seitlich oder von oben anzufahren und leer zu räumen.
- Wie können die Kammerfirste gesichert werden?

- Es sollte frühzeitig eine konkrete und abschließende Festlegung bezüglich der optimalen Anzahl der Kavernen und deren genauer Position erfolgen. Nach dieser Festlegung sollte alsbald je Kaverne genau eine vertikale Pilotbohrung bis auf 1200 m Tiefe abgeteuft werden, die zur Erkundung des Gebirges und als Vorbereitung für die Herstellung der Blindschächte dient. In diesem Zusammenhang sollte auch untersucht werden, welche Auffahrungen noch vor Herstellung der Blindschächte mit Sorelbeton zubetoniert werden können bzw. müssen.
- Es sollten Prognosen zur Strahlenbelastung des Personals vor Ort angestellt und eine Ermittlung und Auswahl geeigneter technischer Schutzeinrichtungen und Einsatzplanungen getroffen werden.
- Die bergbaulichen Möglichkeiten zur Herstellung der Kavernen und der erforderliche Maschineneinsatz und die damit zusammenhängende Logistik müssen untersucht und bewertet werden. Hier kann man sich z.B. Erfahrungen aus der Herstellung der Kaverne am Fuß des Schachtes Asse 4, bei der Herstellung von Rohsalzbunkern im Kali- und Steinsalzbergbau, sowie beim Abbau von Kalisalzen in Kuppenstrukturen im Bergwerk Unterbreizbach zu Nutzen machen.
- Die Förderung und Zwischenlagerung von bei der Herstellung der Rolllöcher und Kavernen anfallendem Steinsalzhaufwerk (ca. 150 000 m³) muss geplant werden. Folgendes Vorgehen erscheint sinnvoll: Bei den Ertüchtigungsmaßnahmen der Südflanke und der Ausbetonierung sonstiger Hohlräume sollte als Zusatzstoff für den Sorelbeton zunächst nur noch Steinsalz aus der Asse selbst verwendet werden. Die dadurch frei werdenden Hohlräume können dann zur Zwischenlagerung des Kavernenausbruchs verwendet werden. Das bei der Kavernenherstellung anfallende Haufwerk kann anschließend in Form von Sorelbeton zum Versatz der leer geförderten Kammern und letztendlich aller weiteren Auffahrungen einschließlich der beiden Rolllöcher verwendet werden.

Zitierte Quellen

EWN und TÜV Nord (2008) Möglichkeit einer Rückholung der MAW-Abfälle aus der Schachanlage Asse. Gutachten der EWN GmbH und TÜV NORD SysTec GmbH & Co. KG vom 02.10.2008

Hunstock, F und Spachholz, F (2006) Entwicklungstendenzen bei Rationalisierungsprozessen im Bergbau der K+S Gruppe. In: Köhler H (Ed.) 50 Jahre Kaliforschung am Standort Sondershausen. ISBN 3-9811062-0-2 / 978-3-9811062-0-6.