

AGO-Kurzstellungnahme zum BGE-Bericht

„Hydrogeologische Risiken bei Auffahrung und Betrieb des geplanten Rückholungsbergwerks östlich der Schachtanlage Asse II“; BGE (Stand: 29.10.2018).

Arbeitsgruppe Optionen – Rückholung (AGO)

Projektträger Karlsruhe (PTKA)
Bühler, M.; Stacheder, M.

Gutachter der Begleitgruppe Asse-II des Landkreises Wolfenbüttel

Brückner, U.
Gellermann, R.
Hoffmann, F.
Kreusch, J.
Krupp, R.

Abgestimmte Fassung vom 16.12.2019

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	2
0. Veranlassung und Vorgehensweise	3
0.1 Veranlassung.....	3
0.2 Vorgehensweise	3
0.3 Von der AGO berücksichtigte Unterlagen und Informationen.....	3
1. Aufgabenstellung.....	3
2. Vorgehensweise	3
3. Allgemeine Anmerkungen zu hydrogeologischen Risiken in Salzbergwerken.....	4
4. Geologische und hydrogeologische Randbedingungen	6
4.1 Stratigraphische Einordnung der Gesteinspakete	6
4.2 Mächtigkeit von Gesteinspaketen	6
4.3 Raumlage der Gesteine	7
4.4 Mineralogische Zusammensetzung, Spurenelemente und Isotopie der Gesteine	7
4.5 Primäre und sekundäre Hohlräume	8
4.6 Füllung der Hohlräume mit Lösungen und Gasen.....	9
4.7 Komplexität der geologischen Verhältnisse östlich der Schachanlage Asse II	10
4.8 Potentiell grundwasserführende Schichten im Deckgebirge.....	11
4.8.1 Kluft- und Porengrundwasserleiter	11
4.8.2 Subrosion	11
4.8.3 Störungen	12
4.9 Potenziell lösungs- und gasführende Schichten im Salinar	12
4.10 Potentielle Fließpfade vom Deckgebirge in das Salinar	13
5 Risiken durch die Altanlagen Asse I, II und III.....	16
5.1 Schachanlage Asse I.....	16
5.2 Schachanlage Asse II	18
5.3 Schachanlage Asse III.....	18
6. Zusammenfassung und Bewertung der Risiken.....	19
Fazit der AGO	21
Literaturverzeichnis	22

0. Veranlassung und Vorgehensweise

0.1 Veranlassung

Der BGE-Bericht „Hydrogeologische Risiken bei Auffahrung und Betrieb des geplanten Rückholungsbergwerks östlich der Schachtanlage Asse II Projekt Asse“ (BGE 2018), datiert auf den 29.10.2018 und wurde der AGO mit fast einjähriger Verzögerung am 20.09.2019 zur Kenntnis gegeben.

0.2 Vorgehensweise

Basierend auf einem Entwurf des AGO-Gutachters Dr. Ralf Krupp hat die AGO auf ihrer Sitzung 08/2019 am 25.09.2019 in Göttingen entschieden, daraus eine AGO-Kurzstellungnahme zu verfassen. In den Sitzungen 09/2019 am 23./24.10.2019, 10/2019 am 21.11.2019 und 11/2019 am 12.12.2019 hat sie über den Entwurf beraten und die Inhalte abgestimmt. Die Endredaktion erfolgte am 16.12.2019.

0.3 Von der AGO berücksichtigte Unterlagen und Informationen

Die vorliegende Kurzstellungnahme der AGO greift im Wesentlichen auf den Bericht BGE (2018) sowie in der Literatur angegebene Dokumente zurück.

Die nachfolgenden Kommentare folgen der Gliederung und den Kapitelnummern des Berichts BGE (2018). Soweit diese Kurzstellungnahme ohne weitere Quellenspezifikationen auf einen „Bericht“ verweist, ist der Bericht BGE (2018) gemeint.

1. Aufgabenstellung

Sachverhalt BGE:

Für die geplante Rückholung der Abfälle aus der Schachtanlage Asse II sind ein zusätzlicher Bergungsschacht (Schacht 5), zusätzliche Infrastrukturräume sowie Anschluss- und Begleitstrecken geplant, die als Rückholungsbergwerk bezeichnet werden. Die Aufgabe des Berichtes ist es, hydrogeologische Risiken, die bei der Auffahrung und beim Betrieb des Rückholungsbergwerks entstehen können, zu benennen und entsprechend der verfügbaren Datenlage zu bewerten. Als hydrogeologische Risiken werden mögliche Austritte von Lösungen und Gas in die aufgefahrenen Hohlräume angesehen.

Kommentar AGO:

Die AGO vermisst eine Risiko-Definition. Es ist auch nicht erkennbar, dass „verfügbare Daten“ zitiert und im erforderlichen Umfang bewertet und berücksichtigt worden sind.

2. Vorgehensweise

Sachverhalt BGE:

Die vorgelegte Risikoabschätzung beschreibt sowohl allgemeine Risiken im Salzbergbau als auch standortspezifische Risiken. Sie stützt sich auf Erfahrungen sowohl aus dem Betrieb der Schachtanlage Asse II als auch aus den benachbarten Schachtanlagen Asse I und III sowie allgemeine Erfahrungen bei der Bewertung hydrogeologischer Risiken aus anderen Bergbaurevieren und berücksichtigt das grundsätzlich andere Bild über die geologischen Verhältnisse südöstlich der Schachtanlage Asse II, das sich aus jüngeren Untersuchungen ergeben hat.

Kommentar AGO:

Eine Überprüfung früherer Bewertungen im Licht neuer Fakten wird von der AGO begrüßt.

3. Allgemeine Anmerkungen zu hydrogeologischen Risiken in Salzbergwerken

Sachverhalt BGE:

In dem Kapitel werden zunächst einige grundlegende hydrogeologische Faktoren genannt, zu denen Informationen verfügbar sein müssen, um Risiken von Lösungs- und Gaszutritten beurteilen zu können.

Bezugnehmend auf Arbeiten von Schwandt (2007, 2008) werden für Bergwerke im Salinar folgende Zuflusstypen unterschieden:

- Typ I: Geringe Schüttungsmengen, die über Jahrzehnte konstant bleiben und dann langsam zurückgehen.
- Typ Ia: Variante von Typ I mit sehr hohen Zutrittsmengen zu Beginn, die schnell wieder abklingen.
- Typ II: Zu Beginn eher geringe Zuläufe, welche im weiteren Verlauf zunehmen.
- Typ IIa: Intensiver Zufluss, der zunächst abnimmt und dann wieder stark zunimmt.

Es wird weiter zwischen geschlossenen (begrenzttes Reservoir) und offenen Systemen (Anschluss an externe Grundwasserkörper bzw. Gasvorkommen) unterschieden. Für die Schachanlage Asse II liegen hierzu bisher keine verlässlichen Daten vor.

Kommentar AGO:

Die Überlegungen zu den Zuflüssen zur Schachanlage Asse II sollten sich primär an den sehr detaillierten Zeitreihen der Zuflussmengen und den Kenntnissen der Geologie orientieren. Vergleichende Diskussionen mit abstrahierten Zuflusstypen aus anderen Kalirevierern können danach erfolgen, sollten aber nicht als Richtmaß verwendet werden. Für die Hauptzuflüsse in die Schachanlage Asse II ist nach den bekannten Daten (z. B. in den Jahresberichten) in jedem Fall von einem offenen System mit Anschluss an externe Grundwasser-Körper auszugehen.

Sachverhalt BGE:

Auch die chemische Zusammensetzung, insbesondere die $MgCl_2$ -Komponente kann Hinweise auf die Natur der Lösungszutritte liefern. Nach GRS (2007) können 3 Typen (A, B, C) unterschieden werden und es werden zugehörige Konzentrationsbereiche für $MgCl_2$ genannt.

Kommentar AGO:

Die Wiedergabe der Lösungstypen (die im Übrigen ursprünglich auf Schwandt (1978) zurückgehen) und der Konzentrationseinheiten sind fehlerhaft. Die korrekten Konzentrationsangaben sind in g/L, nicht in mg/L. In der zitierten Quelle GRS (2007) ist auf S. 47 folgende Übersicht zu finden:

Haupttyp A:	MgCl ₂ -reiche Salzlösungsaustritte
A1:	maximale MgCl ₂ -Gehalte über 400 g/l, enthalten CaCl ₂ oder MgSO ₄ , NaCl bis 50 g/l
A2:	MgCl ₂ -Gehalte unter 390 g/l, minimal 140 g/l
Haupttyp B:	NaCl-angereicherte Zuflüsse, Gehalte 320 bis 100 g/l, MgCl ₂ und KCl vorhanden
Haupttyp C:	Zeitweise MgCl ₂ -/NaCl-angereicherte Salzlösungen

Aus der Fachliteratur sind weitere Klassifikationen bekannt (z. B. von Borstel (1993) oder Herrmann et al. (1978)), die nicht erwähnt werden. Hier wäre eine ausführlichere Betrachtung der geochemischen Kriterien angebracht, auch beispielsweise im Hinblick auf mögliche sekundäre Veränderungen innerhalb der Schachanlage und unter Bezugnahme auf die umfangreichen Messreihen.

Sachverhalt BGE:

Für die Schachtanlage Asse II wird dargelegt, dass sich das Zutrittsverhalten an der Größe des angeschlossenen Reservoirs und der Dimensionierung des Zutrittspfads orientiert. Für diese Ausgangssituation wird auch der Begriff „Drossel“ verwendet. Bei einem Versagen der Drossel käme es zu einem erheblichen Anstieg der Zuflussmengen. Die Auswirkungen bei diesem Szenario würden erheblich verschärft, wenn NaCl-untersättigte Grundwässer in das Salinar eindringen.

Kommentar AGO:

Diese bekannten Zusammenhänge werden auch von der AGO so gesehen. Eine Erörterung der möglichen Orte und Ausprägungen dieser Drossel wäre wünschenswert. Es wäre in diesem Zusammenhang auch ein Vergleich der kumulativ bisher in die Schachtanlage eingedrungenen Lösungsvolumina mit den möglichen Volumina des zugehörigen Speichergesteins von Interesse gewesen.

Sachverhalt BGE:

Mit Bezugnahme auf Schwandt (1991), der Subrosionsvorgänge in drei Haupttypen eingeteilt hat, wird vorgeschlagen: *„Die Asse lässt sich nicht mit letzter Gewissheit einem Typ zuordnen. Der Typ C ist am wahrscheinlichsten, da in der Asse subrosionsfähige Gesteine an der Oberfläche austreichen (Röt, Zechsteinresidualien) und großräumige Bruchstrukturen (Störungen) vorhanden sind.“*

Kommentar AGO:

Die AGO stimmt der Grundaussage zu, dass eine eindeutige Zuordnung zu den Subrosionsvorgängen (Typ A-C) nicht möglich ist. Sie würde jedoch den Versuch einer Darstellung der Subrosionsprozesse am Asse-Sattel aufgrund der vorhandenen Kenntnisse zu Chemismus, Zuflussraten und Isotopenverhältnissen der Lösungen begrüßen, bevor eine Zuordnung zu einem abstrakten Schema unternommen wird. Die im Zitat vertretene Begründung ist nicht überzeugend, weil ausweislich der Abbildung aus Schwandt (1991), beim „Typ C“ an der Oberfläche keine subrosionsfähigen Gesteine austreichen und weil sich „Typ C“ (wie auch „Typ A“) auf Salzhänge in der „flachen Lagerung“ beziehen, während „Typ B“ Salzstock-Situationen wie jene der Asse beschreibt, die in der Regel ebenfalls Störungen (Randstörungen, Scheitelstörungen, Gräben) aufweisen und regionalgeologisch an tektonische Lineamente (Sockelstörungen) gebunden sind.

Sachverhalt BGE:

Die Risiken durch Gasakkumulationen werden hier auf gewölbeartige strukturelle Fallen („Gas-Kappen“) über Salzstrukturen bezogen, wie sie von vielen Erdgaslagerstätten bekannt sind. Hierdurch können die Gaskonzentrationen (im Salzbergwerk) erheblich ansteigen, so dass bei Methan die untere Explosionsgrenze überschritten werden kann oder es beim Anbohren zu einem Blow-Out oder bei der Auffahrung zur bruchartigen Freisetzung des Gases unter Bildung von Racheln kommen kann oder die maximalen Arbeitsplatzkonzentrationen (MAK) überschritten werden. Im Kali- und Steinsalzbergbau seien die meisten durch im Gestein gebundene Gase verursachten Grubenunfälle auf Schlagwetterexplosionen oder auf Ersticken durch Einatmen von Kohlendioxid (CO₂) und Schwefelwasserstoffgas (H₂S) zurückzuführen.

Kommentar AGO:

Über dem Asse-Salzsattel sind Erdgasvorkommen nicht bekannt und aufgrund der steilstehenden Deckschichten auch nicht zu erwarten. Gasakkumulationen und Ausbrüche innerhalb des Asse-Salinars sind nur in vernetzten Klufträumen, insbesondere im Anhydrit, oder als Bestandteil von „fluid inclusions“ (Flüssigkeitseinschlüsse) bekannt (z. B. Roedder & Belkin 1981), bzw. können Freisetzungen daraus erwartet werden. Größere CO₂-Vorkommen und Freisetzungen wie im Kalibergbau der Rhön-Region (insbesondere Unterbreizbach) sind vulkanischen Ursprungs und in der Asse auszuschließen. Größere H₂S-Vorkommen (wie in Sigmundshall) sind von der Asse nicht bekannt.

Insgesamt kann für das stark durchbaute und seit Jahrzehnten offenstehende und konvergierende Grubengebäude der Schachanlage Asse II erwartet werden, dass größere und unter hohem Druck stehende Gasakkumulationen unwahrscheinlich sind. Jedoch ist es trotzdem notwendig solchen Risiken durch Sicherheitsvorkehrungen wie Blow-Out-Preventer und durch Erkundungsbohrungen vorzubeugen. Der Arbeitsunfall im Juni 2014, bei dem zwei Arbeiter durch das Anbohren eines Bereiches mit hohem Gasdruck verletzt wurden (Reimar 2014), hatte nach Informationen der AGO keine natürliche Ursache. Dieser wurde, soweit bekannt, durch eingepresste Druckluft verursacht, die dann plötzlich freigesetzt wurde.

Die AGO vermisst jedoch im Bericht eine Zusammenstellung von Daten bekannter Gasvorkommen in der Schachanlage Asse II und eine darauf beruhende Analyse und Bewertung.

4. Geologische und hydrogeologische Randbedingungen

4.1 Stratigraphische Einordnung der Gesteinspakete

Sachverhalt BGE:

Im Bericht wird die Bedeutung gesicherter stratigraphischer Kenntnisse betont, um das Risiko einer Fluidführung der Gesteine einordnen zu können.

Kommentar AGO:

Die getroffenen Aussagen sollen sich wohl hauptsächlich auf das Salinar beziehen und werden von der AGO so verstanden. Grundsätzlich ist für alle geologischen und bergbaulichen Fragestellungen eine zuverlässige stratigraphische Einstufung verschiedener Horizonte (Salinargesteine), insbesondere auch unter Heranziehung eindeutiger Markerhorizonte, von großer Bedeutung. Allerdings weist die AGO darauf hin, dass für intrasalinare Fluid-Vorkommen zunächst andere Faktoren wie Petrophysik, metamorphe Überprägung und tektonische Gefügeveränderungen wichtiger sind und deren Kontext zur Stratigraphie sekundär ist. Eine schematische Bewertung von Risiken durch Fluid-Vorkommen allein auf stratigraphischer Grundlage ist daher nicht möglich und nicht zu empfehlen.

4.2 Mächtigkeit von Gesteinspaketen

Sachverhalt BGE:

Die ursprüngliche Mächtigkeit eines Gesteinspakets bei horizontaler Lagerung wird in einem Standardprofil für den zu betrachtenden Standort zusammengefasst. Bei Salzstrukturen wie der Asse können aufgrund halotektonischer Prozesse starke Abweichungen von der ursprünglichen Mächtigkeit auftreten. In Tabelle 1 aus (BGE 2018) werden verschiedene Beispiele und vermutete Ursachen, auch aus dem Deckgebirge, genannt.

Kommentar AGO:

Bei den Abweichungen vom Standardprofil hätte die AGO insbesondere eine Diskussion des Verhaltens des Hauptanhydrits und Grauen Salztons während der Halokinese und in Bezug zur Asse erwartet.

Sachverhalt BGE:

Es wird dargestellt, dass großräumige Störungssysteme aufgrund gesteinsmechanischer Unterschiede weitestgehend auf das Deckgebirge beschränkt sind. Salinarschichten mit gleichen mechanischen Eigenschaften wie Deckgebirgsschichten könnten jedoch durchaus in Störungssysteme des Deckgebirges mit eingebunden werden. Daher sei es nicht unwahrscheinlich, dass das Störungssystem der Nordflanken-Basis-Störung (NBS) über die Grenze Salinar-Deckgebirge hinaus auch grenznahe Schichten des Salinars erfasst.

Kommentar AGO:

Nach Ansicht der AGO muss hier zunächst differenziert werden zwischen prä-, syn- und post-halokinetischen Störungen. Der Salzaufstieg ist häufig an bereits existierenden Störungen erfolgt. Auch der Übergang vom Salzkissen zum Salzstock ist an Scheitelstörungen gebunden. Das Salz nimmt also auf ehemaligen Störungsflächen Platz und wird während dieses Vorgangs duktil verformt. Dies gilt auch für die Asse. Post-halokinetische Störungen können innerhalb des Salinars als duktile Scherzonen ausgebildet sein, und/oder durch Rekristallisationsprozesse mit oder ohne Stoffaustausch verschlossen werden. Hierbei spielt auch das Zusammenwirken mit Fluiddrücken (Minimalspannungskriterium) eine wesentliche Rolle. Solche verheilte Störungen können mitunter schwer erkennbar und zu deuten sein. Für die Nordflanken-Basis-Störung wäre die Frage des relativen Alters von Interesse.

4.3 Raumlage der Gesteine

Sachverhalt BGE:

Die Salzstruktur Asse hat die Form eines südvergenten Schmalsattels, dessen Achse flach nach Südosten einfällt. Dies wird als Grund gesehen, dass der Salzspiegel im Bereich der Erkundungsbohrung Remlingen 15 (ca. -228 mNN) tiefer liegt als im Bereich von Schacht 2 (ca. -92 mNN).

Kommentar AGO:

Als „Salzspiegel“ wird gemeinhin die Subrosionsfläche am Top einer Salzstruktur bezeichnet und impliziert somit eine Entstehung durch Lösungsprozesse. Insofern wäre die Bezeichnung „Salinarobergrenze“ hier besser. Weder für Schacht 2 noch für die Bohrung Remlingen 15 ist anzunehmen, dass sie den Sattel exakt auf seiner Firste durchstoßen und es ist außerdem unbekannt, wie der Salzkontakt lokal quer zum Sattelstreichen verläuft. Aus der genannten Höhendifferenz kann daher nur bedingt das Abtauchen der Sattelachse ermittelt werden. Genauere Aussagen sind aus der 3D-Seismik zu erwarten.

Sachverhalt BGE:

Durch die Nordflanken-Basis-Störung (NBS) und die Groß-Vahlberg-Störung (GVS) wird die Sattelstruktur weiter unterteilt. Östlich der GVS sind zwei Scheitelstörungen festzustellen. Auch wurden Rutschmassen mit erheblichen Mächtigkeiten festgestellt, welche zusätzlich Einfluss auf die Raumlage der Deckgebirgsformationen genommen haben (ERCOSPLAN 2018a). Das Risiko von Grundwasserzutritten wird bei steiler Lagerung, wegen der bruchtektonischen Beanspruchung als Folge des Salinar-Aufstiegs, bei der Asse als deutlich höher angesehen als bei flach lagernden Salinargesteinen.

Kommentar AGO:

Die im Bericht unter Verweis auf ERCOSPLAN (2018a) genannten „*Rutschmassen mit erheblichen Mächtigkeiten*“ werden dort nicht erwähnt. Wahrscheinlich sind Bruchmassen des Einsturzgebirges gemeint. Es bleibt unklar, ob bei den Grundwasserzutritten solche zum Salzkontakt oder ins Grubengebäude gemeint sind.

4.4 Mineralogische Zusammensetzung, Spurenelemente und Isotopie der Gesteine

Sachverhalt BGE:

Es wird dargestellt, dass es bei Kontakt von untersättigten Lösungen mit Salinargesteinen zur Lösung bestimmter Mineralphasen und damit einhergehend zur Hohlräumbildung kommt. Bei Übersättigung kommt es zur Ausfällung und damit zur Schließung von Hohlräumen, solange ausreichend Lösung vorhanden ist bzw. nachgeliefert wird. Durch Wechselwirkungen zwischen Fluiden und der Gesteinsmatrix werden Spurenelemente bzw. Isotope gelöst, die wiederum Hinweise auf die Herkunft von Lösungen geben können, zum Beispiel das Strontium-Isotopenverhältnis $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$.

Kommentar AGO:

Diese stark vereinfacht dargestellten Grundlagen sind bekannt. Die AGO vermisst vor dem Hintergrund der vorhandenen, sehr umfangreichen Analysedaten eine inhaltliche Diskussion und die Ableitung relevanter Schlussfolgerungen für die Schachanlage Asse II.

4.5 Primäre und sekundäre Hohlräume**Sachverhalt BGE:**

Im Bericht wird dargelegt, dass im Deckgebirge primäre Hohlräume (z. B. die Poren eines Sandsteins) generell mit der Tiefe abnehmen. Dasselbe gilt auch für sekundäre Hohlraumbildungen wie beispielsweise Klüfte.

Kommentar AGO:

Diese Zusammenhänge sind bekannt und spielen beispielsweise in der Erdöl- bzw. Erdgasförderung eine zentrale Rolle.

Sachverhalt BGE:

Eine Teufe, ab der im Deckgebirge kein Grundwasserfließen mehr möglich ist, kann nicht angegeben werden. Andererseits sollen nach Schwandt (2008) im Saale-Unstrut- und Nordharz-Kalirevier ab einer Tiefe von etwa 500 m primäre und sekundäre Hohlräume weitestgehend geschlossen sein und Salzlösungszutritte deutlich seltener vorkommen.

Kommentar AGO:

Die Verweise auf Untersuchungen in anderen Gebieten mit anderen geologischen Verhältnissen führen nicht sehr viel weiter. Für das Asse-Gebiet wäre eine standortspezifische Betrachtung der hydrogeologischen Verhältnisse und der tiefen Grundwasserströmungen erforderlich, beispielsweise auch unter Berücksichtigung von Altersdatierungen von Grundwasserproben. Zur Hydrogeologie existieren auch verschiedene ältere einschlägige Berichte, die nicht berücksichtigt und nicht zitiert worden sind, z. B. COLENCO (2016).

Sachverhalt BGE:

Durch die lange Standzeit der Schachanlage Asse II haben sich Rissysteme auch im Salzgestein gebildet. Die Rissysteme bzw. Kluftsysteme sind sowohl als Lösungsreservoir als auch als Transportpfad geeignet. Primäre Hohlräume sind bezüglich der Transportwirksamkeit im Salzgestein von untergeordneter Bedeutung. An Grenzen zwischen rheologisch unterschiedlichen Gesteinen können induzierte Spannungen zur Entstehung hydraulisch wirksamer Risse führen. Ein Beispiel hierfür ist die Grenze des Kaliflöz Staßfurt zum Leine-Steinsalz. Durch Sulfatkarst können im Salinar ebenfalls größere Hohlraumssysteme entstehen. Die in Abbau 3/658 (Hauptaustrittsstelle) gefassten Lösungen seien an Sulfat gesättigt und könnten daher kein Sulfatgestein mehr an- bzw. auflösen.

Kommentar AGO:

Die AGO weist darauf hin, dass der relevante Stand von Wissenschaft und Technik bezüglich der gebirgsmechanischen Voraussetzungen zur Entstehung von Migrationswegen im Steinsalz, auch mit Bezug zur Asse, von IfG (2017) aufgearbeitet und beschrieben worden ist.

Der als Beispiel angeführte Kontakt zwischen dem Staßfurt-Carnallit und dem Leine-Steinsalz ist ein besonderer Fall, weil dort der Schichtkomplex aus Grauem Salzton und Hauptanhydrit während der Halokinese ausgequetscht wurde, sodass der Kontakt eigentlich tektonischer Natur ist, über dessen Charakter außerhalb der Grubenaufschlüsse nichts bekannt ist. Der Bereich zwischen der ersoffenen Schachanlage Asse I und der Schachanlage Asse II ist hier von besonderem Interesse, insbesondere hinsichtlich der Zuflüsse in die alten Kaliabbau der Nordflanke und der Lösungsstellen, z.B. an den „Reichert-Sümpfen“.

Die Aussage zur „Sulfatsättigung“ ist sehr unpräzise. Die Lösung kann allenfalls bezüglich einer oder mehrerer Phasen (z. B. Anhydrit, Polyhalit) gesättigt sein. Bei migrierenden Lösungen kann sich die Paragenese des Nebengesteins auch ändern und dann können u. U.

auch neue Lösungs-Ungleichgewichte entstehen, welche dann zu Umlösungsprozessen führen. Wenn migrierende Salzlösungen den „Gipshut“ passieren, sollte eine Anhydritsättigung oder sogar eine metastabile Übersättigung gegenüber Gips vorliegen. Signifikante Sulfat-Verkarstungen innerhalb des Salzstocks sind daher unwahrscheinlich. Im Gipshut-Bereich sind sie hingegen sehr relevant.

4.6 Füllung der Hohlräume mit Lösungen und Gasen

Sachverhalt BGE:

Lösungen im Salinar können unter hydrostatischem oder lithostatischem Druck stehen. Wird eine sehr mächtige Wassersäule mit einem hohen hydrostatischen Druck angebohrt oder angefahren, ist mit einem Zuflusstyp II oder ggf. Ia [Tippfehler?: gemeint ist wohl Zuflusstyp IIa; Vergleiche Abb. 1 in BGE (2018)] nach Schwandt (2007) (zitiert in Schwandt 2008) zu rechnen. Bei einem eingeschlossenen Fluidreservoir ist je nach Größe und Druck ein Zufluss vom Typ I bzw. Ia wahrscheinlich.

Kommentar AGO:

Die Kurvenverläufe in Abbildung 1 des Berichts (aus Schwandt 2007, zitiert in Schwandt 2008) sind allgemeine Typenmuster auf der Grundlage empirischer Beobachtungen, die bereits 1978 von Schwandt publiziert wurden (s. Schwandt 1992) und die im Übrigen nach Meinung der AGO zur Lösung der spezifischen Fragestellung bei der Asse keinen verwertbaren Beitrag liefern können.

Sachverhalt BGE:

In mitteldeutschen Salzbergbaurevieren erhöhen sich mit zunehmender Tiefe die Dichte und der $MgCl_2$ -Gehalt von zutretenden Lösungen, die Zutrittsraten verringern sich erheblich (GRS 2007). Größere Mengen werden durch so genannte Metamorphoselösungen gebildet, Urlösungen sind nach GRS (2007) eher selten. Vor allem Metamorphoselösungen, die in die nicht-chloridischen Gesteine des Salinars migriert sind, sind für den Bergbau kritisch.

Kommentar AGO:

Die genetischen Lösungsbezeichnungen sollten vor Gebrauch definiert werden. Es ist unklar, ob in dem Bericht von außen ins Salinar eindringende Lösungen zu dem „Metamorphoselösungen“ hinzugerechnet werden. Nach Auffassung der AGO handelt es sich um grundverschiedene Lösungsgenesen. Mit Blick auf die Hauptzutrittslösungen in der Schachanlage Asse II handelt es sich um externe Lösungen aus dem Deckgebirge, die im Bericht nicht explizit als chemischer Typ betrachtet werden.

Inwieweit Metamorphoselösungen, die in die nicht-chloridischen Gesteine des Salinars migriert sind, für den Bergbau kritisch sind, kommt auf den Einzelfall an. Solange kein hydraulischer Kontakt zu Deckgebirgsaquiferen besteht, sind die begrenzten Lösungsmengen eigentlich beherrschbar.

Nicht diskutiert wurden zeitliche Veränderungen im Chemismus von Lösungsstellen. Hier verweist die AGO beispielhaft auf das Ersaufen des Bergwerks Ronnenberg (Büchner 1983).

Sachverhalt BGE:

Mineralgebundene Gase sind in der Asse vor allem Methan und weitere Kohlenwasserstoffe sowie Wasserstoff, Kohlendioxid und Schwefelwasserstoff. Edelgase finden sich in Spuren.

Gaskonzentrationen können in Fallenstrukturen auf kritische Konzentrationen ansteigen, welche Gefahren von Blowouts, ggf. von Explosionen oder von Erstickung zur Folge haben.

Kommentar AGO:

An dieser Stelle wäre eine tabellarische Übersicht über bekannte Gasvorkommen im Salinar der Asse mit Angaben zu den Speichergesteinen, Mengen, Drücken und Zusammensetzungen wünschenswert gewesen. Dokumente und Berichte hierüber, wie z. B.

das Risswerk, das Verzeichnis über Austrittsstellen von Laugen, die Jahresberichte des Salzlösungsmonitorings sowie ASSE-GmbH (2009) sind dazu nutzbar.

Die Begriffe „Gaskonzentration“ und „Fallenstrukturen“ sind hier verwirrend und müssten in einen verständlichen Kontext gebracht werden. Fallen im Sinne von Gas-Lagerstätten sind in der Asse wohl auszuschließen. Außerdem wäre eine Betrachtung der Löslichkeit verschiedener gasförmiger Stoffe in Salzlösungen sinnvoll, ebenso Aussagen über mögliche Aggregatzustände (beispielsweise flüssiges CO₂). Für CO₂-Blowouts wie in den Kalisalzbergwerken in der Rhön fehlen in der Asse die geologischen Voraussetzungen (siehe auch AGO-Kommentar zu Kap. 3).

4.7 Komplexität der geologischen Verhältnisse östlich der Schachanlage Asse II

Sachverhalt BGE:

Zur Verbesserung der geologischen Datenlage zwischen den Schachanlagen Asse II und III wurden in jüngerer Vergangenheit mehrere Erkundungsmaßnahmen durchgeführt und die Befunde geologisch interpretiert.

Die geringe Datenlage und die erkannten Abweichungen von der bisherigen geologischen Modellvorstellung erschweren die Interpretation der Geologie östlich der Schachanlage Asse II. Die markanteste Änderung ist die Verschmälerung der Asse-Struktur östlich der „Großvahlberg-Störung“ (GVS). Die GVS wurde von den Bohrungen Remlingen 9 und Remlingen 15 nicht erfasst und muss somit nach Norden einfallen. Des Weiteren fehlen östlich der GVS an der Oberfläche der Untere und Mittlere Buntsandstein im Bereich der Nordflanke. Der Salzspiegel taucht von -92 m NN bei Schacht 2 auf -228 mNN in der Remlingen 15 ab. Im Bereich der Schachanlage Asse III wird dieses Tiefenniveau des Salzspiegels beibehalten.

Kommentar AGO:

Ob der Bereich östlich des Grubengebäudes geologisch besonders komplex ist (oder in der Vergangenheit nur falsch extrapoliert worden war), muss sich noch erweisen. Die im Kapitel zitierten Berichte BGR (2016b) und BGR (2018) liegen der AGO bisher nicht vor.

Die „Verschmälerung“ der Asse-Struktur im Kartenbild ist eine Konsequenz des höheren Anschnittniveaus des Sattels östlich der Störung (GVS) gegenüber der aufgeschobenen Scholle westlich davon. Das „Fehlen“ des Unteren und Mittleren Buntsandsteins in der Nordflanke der östlichen Scholle ist ebenfalls eine Folge des Anschnittniveaus, weshalb diese Schichten an der Oberfläche nicht ausbeißern. Für ein echtes, tektonisch bedingtes Fehlen des Unteren und Mittleren Buntsandsteins sind der AGO bisher keine Tatsachen bekannt.

Ob die GVS von den Bohrungen Remlingen 9 und Remlingen 15 nicht erfasst wurde, sollte (falls noch nicht geschehen) anhand der Bohrkerns überprüft werden. Gleichermäßen sollten die Kerne der Bohrungen Remlingen 1, 3, 5, 6, 7 und 8 hinsichtlich ihres tektonischen Zustands und stratigraphischer Auffälligkeiten (Lücken, Wiederholungen) nochmals einer Revision unterzogen werden.

Weder für Schacht 2 noch für die Bohrung Remlingen 15 ist anzunehmen, dass sie den Sattel exakt auf seiner Firste durchstoßen haben. Aus der genannten Höhendifferenz kann daher nur bedingt das Abtauchen der Sattelachse ermittelt werden. (Siehe Kapitel 4.3 oben).

Die AGO weist an dieser Stelle auf die große Bedeutung der 3D-seismischen Erkundung des Deckgebirges hin.

Sachverhalt BGE:

Die Bohrung Remlingen 15 sowie die untertägigen Erkundungsbohrungen von der 574-m-Sohle und der 700-m-Sohle haben neue und von den Erwartungen abweichende Erkenntnisse über den geologischen Aufbau östlich des Grubengebäudes erbracht.

Weiter heißt es: „*Ein umlaufendes Streichen kann nicht ausgeschlossen werden. Dies ist... zum jetzigen Zeitpunkt nicht die bevorzugte Interpretation der bisherigen Erkundungsergebnisse*“

Kommentar AGO:

Die Bohrung Remlingen 15 erfasste ausschließlich steilstehendes Deckgebirge des Unteren Muschelkalks und Röts, sowie Salzgesteine der Leine-Serie. Eine belastbare Interpretation der bisherigen untertägigen Erkundungsergebnisse von der 574-m-Sohle und der 700-m-Sohle liegt der AGO noch nicht vor und sie stellt sich daher die Frage, welche Interpretation die heute bevorzugte in BGE (2018) ist, wenn eine abschließende Interpretation noch aussteht.

Sachverhalt BGE:

Bei der Erkundungsbohrung 574-3 wurden geringe und bei der 700-2 größere Lösungsvolumina angetroffen. Die Zutrittsraten, der Druckverlauf und die chemische Zusammensetzung sprechen in beiden Fällen für die kontinuierliche Entleerung eines räumlich begrenzten, anhydritischen Kluftspeichers (BGR 2016b).

Als risikoerhöhend wird gewertet, dass sich in Fallenstrukturen unter Druck stehende Gas- oder Lösungsreservoirs gebildet haben könnten.

Kommentar AGO:

Es ist nicht ersichtlich, weshalb ein erhöhtes Risiko gesehen wird und gegenüber welchem Referenzpunkt. Auch die Frage, welchen Bezug dies zur Rückholung hat, bleibt offen.

4.8 Potentiell grundwasserführende Schichten im Deckgebirge

4.8.1 Kluft- und Porengrundwasserleiter

Sachverhalt BGE:

Das Deckgebirge kann nach AF-CONSULT (2014), wie in Tabelle 2 in BGE (2018) dargestellt, in Grundwasser und Grundwassergeringleiter unterteilt werden. Kluftgrundwasserleiter des Unteren Muschelkalks wurden weitestgehend trocken angetroffen, jedoch sind Erhöhungen der Gebirgsdurchlässigkeit durch Störungen äußerst bedeutsam. Neben geklüfteten und durch Störungen durchsetzten Gesteinspaketen können subrosionsanfällige Gesteine erhebliche Durchlässigkeiten aufweisen.

Kommentar AGO:

Die Bezeichnung „weitestgehend trocken angetroffen“ ist erläuterungsbedürftig, da Gesteinsporen in der Regel mit Fluiden (Flüssigkeiten und/oder Gasen) gefüllt sind. Außerdem sind im Festgestein sehr lokale Gesteinsproben, wie sie in Bohrkernen angetroffen werden, nicht repräsentativ für die Wasserdurchlässigkeit von Gesteinspaketen, die vor allem an Störungen oder Klüfte gebunden ist.

4.8.2 Subrosion

Sachverhalt BGE:

Verkarstungsfähige und hohlraumführende Gipse und Anhydrite des Hutgesteins wurden am Salzspiegel zwischen der Schachtanlage Asse I bis zum nordwestlichen Strukturschluss in Groß Denkte nachgewiesen und als Subrosionsgerinne bezeichnet.

Kommentar AGO:

Die Existenz solcher Gerinne ist zu erwarten, da bei Subrosionsprozessen, wie sie bei der Entstehung eines Salzspiegels (oder Salzhangs) ablaufen, eine Zufuhr von lösefähigen Wässern und eine Abfuhr gesättigter Salzlösungen erforderlich ist. Zurück bleiben unlösliche Residualgesteine, insbesondere Tone und Anhydrit bzw. Gips. Aus thermodynamischen Gründen kann Gips nur in mäßig mineralisierten Wässern stabil existieren.

Sachverhalt BGE:

In der geologischen Oberflächenkarte werden ausstreichende Sulfate teilweise als Zechsteinresidualgesteine datiert. Sie sind an den Verlauf der „Nordflanken-Basis-Störung“

(NBS) gekoppelt. Unklar ist, ob diese Zechsteinschuppen direkten Kontakt zum Salinar in der Tiefe haben. In diesem Fall könnte durch Lösung ein tiefreichender Auslaugungskörper entstehen, der einen Grundwasserfluss bis zum Kontaktbereich zwischen Deckgebirge und Salinar ermöglichen kann.

Kommentar AGO:

Auch diese Frage lässt sich eventuell nach Vorliegen der 3D-Seismik beantworten. Unabhängig davon ist aus genetischen Gründen ein Zutritt von Grundwasser zum Salzspiegel in jedem Fall anzunehmen (siehe vorausgehender Kommentar). Die palynologische Datierung der Sulfatgesteine hat im Übrigen nicht nur Zechstein-, sondern auch häufig Röt-Alter ergeben (ERCOSPLAN 2018, S. 37).

4.8.3 Störungen

Sachverhalt BGE:

Die Bohrungen PN 1 und PN 2 (ERCOSPLAN 2009), die beide östlich der GVS positioniert sind, wurden nur bis in den oberen Bereich des Röt (so) abgeteuft. An den Schichtgrenzen zwischen Mittleren und Unterem Muschelkalk (mm/mu) und zwischen Unterem Muschelkalk und dem Röt (mu/so) wurden grundwasserführende Störungen festgestellt.

Kommentar AGO:

Die Lage der bereits zuvor erwähnten Bohrungen PN 1 und PN 2 (und weiterer Bohrungen) lässt sich in dem Bericht BGE (2018) nicht feststellen. Der Bericht ERCOSPLAN (2009) liegt der AGO nicht vor. Der 2. Satz im Sachverhalt ist widersprüchlich, da Schichtgrenzen in aller Regel keine Störungen sind. Der Verlauf der sog. „Scheitelstörungen“ in der Tiefe ist unklar. Hier fehlen der AGO nachvollziehbare Aussagen.

Sachverhalt BGE:

Auch die Großstörungen NBS und GVS sowie die Scheitelstörungen zwischen mu/so östlich der GVS werden im Bericht als potentiell grundwasserführend betrachtet und mit einer Verbindung zum Salzspiegel wird gerechnet. Der vermutete Verlauf der Störungssysteme in der Tiefe sei den Abbildungen 6 und 7 des Berichts (BGE 2018) zu entnehmen.

Kommentar AGO:

Der in den Abbildungen 6 und 7 annähernd schichtparallele Verlauf der NBS in der Tiefe steht dem vermuteten Kontakt mit dem Salzspiegel entgegen. Nach ERCOSPLAN (2018) soll die Ausbiss-Linie der NBS quer durch das Werksgelände der Schachanlage Asse II verlaufen, hart südlich der beiden Schächte Asse 2 und Asse 4, und nur wenig (50 m bzw. 200 m) südlich der Bohrungen Remlingen 2 und Remlingen 3. Die NBS sollte daher in den Schachtprofilen bzw. Bohrprofilen durchstoßen werden, aber entsprechende Beobachtungen oder Verifizierungen sind der AGO nicht bekannt. Eine Revision und ggf. Neuinterpretation der Bohrkerne und Schachtkartierungen wird empfohlen.

Die „Südflanken-Scher-Fläche“ (SSF) entspricht dem tektonischen Kontakt des Salinars mit dem aufgestemmt Deckgebirge. Dieser Kontakt ist im bisherigen Schnitt S2 nicht als Störung dargestellt (vgl. Krupp 2008). Für die Verlängerung der SSF in Gestalt der „Südlichen Scheitelstörung“ (SSS) fehlt die Evidenz.

Das gesamte Kap. 4.8.3 ist maßgeblich gekennzeichnet durch Ungewissheiten, was Verlauf und Tiefenlage der Störungen sowie ihre Lösungs-/Wasserführung betrifft. Daher kann die Belastbarkeit der Aussagen im Bericht nur sehr vage bleiben.

4.9 Potenziell lösungs- und gasführende Schichten im Salinar

Sachverhalt BGE:

Geringe Lösungsmengen können in allen stratigraphischen Horizonten vorkommen. Bezüglich der Auffahrung von Strecken und Infrastrukturräumen im Salinar der Asse können wegen des

Fehlens anderer Kluft- und Karstgrundwasserleiter nur die Sulfatgesteine der Anhydritmittel sowie der Hauptanhydrit potentiell größere Reservoirs bilden.

Der Hauptanhydrit (A3) wurde bisher in der Schachanlage Asse II nur reliktsch angetroffen, sodass er keine zusammenhängenden Schichtenpakete ausbildet. Die bisherigen Erkundungsergebnisse geben keine Hinweise, dass im Bereich des Rückholungsbergwerks eine andere Situation vorherrscht.

Größere, zusammenhängende Lösungsreservoirs in den Anhydritmitteln des Na3 sind aufgrund der vorgefundenen girlandenartigen Struktur unwahrscheinlich, aber nicht auszuschließen.

Kommentar AGO:

Für das Grubengebäude mit Ausnahme des Schachtes des eingangs definierten Rückholbergwerks östlich der Schachanlage Asse II werden die Ausführungen soweit von der AGO geteilt. Dies setzt voraus, dass ausreichende Sicherheitsabstände zu anderen geklüfteten und/oder verkarsteten Horizonten (z. B. Grauer Salzton, Pegmatitanhydrit, Roter Salzton, Röt-Anhydrit), die hydraulisch mit dem Deckgebirge in Verbindung stehen könnten, eingehalten werden. Sollte dies nicht der Fall sein, so können daraus hydrogeologische Risiken entstehen, die im Bericht nicht betrachtet worden sind.

Sachverhalt BGE:

Des Weiteren wird die Schichtgrenze Kaliflöz-Staßfurt (K2C)/Leine-Steinsalz (Na3) als potentiell lösungsführend betrachtet, und auch der Graue Salzton und einzelne Lagen der Tonliniensalze kommen hier in Frage.

Im Bereich des Rückholungsbergwerks ist zu beachten, dass über bergbauinduzierte Risse lösungsführende Schichten an das Bergwerk angeschlossen werden könnten.

Kommentar AGO:

Die Grenze zwischen dem Kaliflöz-Staßfurt (K2C) und dem Leine-Steinsalz (Na3) ist keine gewöhnliche Schichtgrenze. Dazwischen fehlt das gebirgsmechanisch spröde Doublet aus Hauptanhydrit und Grauem Salzton, das während der Halokinese durch Boudinage zerlegt und weitestgehend in der Tiefe zurückgelassen wurde. Es wird daher zurecht nicht grundsätzlich ausgeschlossen, dass entlang dieser Naht im Einzelfall Migrationswege für Lösungen vorhanden sein können.

Die AGO geht davon aus, dass durch die Planung und beim Bau des Rückholungsbergwerks der bergbauinduzierten Rissbildung Rechnung getragen wird.

4.10 Potentielle Fließpfade vom Deckgebirge in das Salinar

Sachverhalt BGE:

Im Fall des Lösungsaustritts auf der 658-m-Sohle der Schachanlage Asse II wird mit Verweis auf die Dauer des Lösungszutritts (30 Jahre), die gering variierende chemische Zusammensetzung und die relativ konstante Zutrittsrate ein größeres Reservoir außerhalb des Grubengebäudes angenommen. Abgesichert wird diese Annahme durch die $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ - Verhältnisse, welche eine Röt-Signatur aufzeigen (Schmidt 2006).

Kommentar AGO:

Die chemische Zusammensetzung und die Zutrittsrate haben sich im Laufe der Zeit deutlich und systematisch verändert (vgl. Krupp 2019). Die AGO bewertet die Veränderung der chemischen Zusammensetzung nicht als „*gering variierend*“, sieht aber, dass trotz steigender Zuflussraten (im Unterschied zu den Typenkurven nach Schwandt, s. Kapitel 3) ein sich beschleunigender Anstieg der Zutrittsrate bisher nicht vorliegt.

Aufgrund der $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Verhältnisse der zutretenden Lösungen wird eine Herkunft des Strontiums aus dem Oberen Buntsandstein für möglich gehalten (Stockmann et al. 2003 und 2006). Der Obere Buntsandstein besteht lithologisch aus Mergel- und Tonsteinen (Röt 2 bis

4), die im Wesentlichen auch das Einsturzgebirge aufbauen, sowie aus Anhydrit und Steinsalz des Röt1. Als „*abgesichert*“ wird die Lösungsherkunft dadurch von der AGO nicht bewertet, jedoch als plausibel. Es wird empfohlen, die $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Verhältnisse der möglichen Reservoir-Gesteine und ihrer Fluide systematisch zu untersuchen und durch weitere (isotopen-) geochemische Indikatoren zu ergänzen, um die Herkunfts-Hypothese abzusichern.

Sachverhalt BGE:

Der Fließpfad setzt sich mutmaßlich aus der Verbindung mehrerer transportwirksamer Schichten und Strukturen zusammen. Verschiedene denkbare Szenarien werden genannt.

Kommentar AGO:

Ohne weitere Hinweise bleiben alle im Bericht genannten Szenarien spekulativ.

Im Bericht wird nicht erörtert, dass die an der Fassungsstelle vor Abbau 3/658m gesammelten Lösungen von der (den) weit höher (553m-Niveau?) befindlichen Zutrittsstelle(n) durch mehrere, mit Blasversatz verfüllte Kammern (3/574m, 3/595m, 3/616m, 3/637m, 3/658m) und durchbohrte Schweben bis nach unten bis in den Abbau 3/658m durchsickern. Die Lösungen haben daher intensiven Kontakt mit dem Na3 und dem Blasversatz von der Kalihalde Ronnenberg, wodurch Veränderungen im Chemismus stattfinden, beispielsweise die Aufnahme von Hexacyanoferrat, welches dem „Ronnenberg-Versatz“ als Trennmittel zugegeben worden ist. Auch die zeitlichen Trends in der chemischen Zusammensetzung in der Frühphase (Krupp 2019) des Hauptlösungszutritts werden auf solche Lösevorgänge zurückgeführt. Viele der (nicht mehr zugänglichen) Lösungsstellen auf den höheren Sohlen befinden sich am oder nahe dem Südstoß der Abbaukammern und unterhalb des Salinarkontakts, mit geringmächtigem Rotem Salztou, Pegmatitanhydrit und Rötanhydrit. Diese Gesteine wurden nahe der Zutrittsstelle(n) durch das Bohrloch 61/490 (4/62) und durch den Blindschacht 2 teilweise auch aufgeschlossen. Die AGO empfiehlt eine Revision und ggf. Neubewertung dieser geologischen Befunde.

Bei der Befahrung der Schachanlage Asse II durch die AGO am 26.09.2019 konnte eine Tropfstelle auf der 553-m-Sohle besucht werden, die sich allerdings diesseits der versetzten Abbaue in der Begleitstrecke befindet und in einem fraglichen Zusammenhang mit den Hauptzutritten steht. Erst nach der Befahrung ist der AGO ein BGE-Bericht (BGE 2016) über Streckenradar-Messungen auch in diesem Bereich der Grube bekannt geworden. Wegen schlechter Bildqualität konnte der Bericht jedoch nicht hinreichend ausgewertet werden.

Sachverhalt BGE:

Unklar ist bisher, inwiefern das Subrosionsgerinne tatsächlich eine grundwasserleitende Struktur am Übergang Salinar/Hutgestein darstellt, oder ob es sich nicht um eine Subrosionserscheinung im Röt handelt, was ebenfalls denkbar ist. Möglich wäre auch eine gekoppelte Struktur mit der NBS, bei der untersättigte Wässer über die Störung in tiefere Bereiche vorgedrungen und dort den angrenzenden Röt subrodiert haben. Im Bereich der Schachanlage Asse II lenkt die GVS aus der NBS aus, so dass es hier zu einer Störungsschnittstelle kommt. Zudem wird das Störungsmuster im Bereich der Schachanlage Asse II an der Oberfläche deutlich komplexer.

Kommentar AGO:

Die Herausbildung eines Hutgesteins und Salzspiegels erfordern die An- und Abfuhr lösefähiger Grundwässer am Salinarkontakt. Die Störungen GVS und NBS haben ausweislich der Abbildungen 6 und 7 im Bericht keinen direkten Kontakt zum Salzspiegel. Ob das reale Störungsmuster an der Oberfläche komplexer wird, ist nicht belegbar. Die AGO erwartet von den Ergebnissen der 3D-Seismik wesentliche Erkenntnisse hierzu.

Sachverhalt BGE:

In den lösungsführenden Anhydritmitteln wurden in verschiedenen Bereichen der Schachanlage Asse II unterschiedliche Druckpotentiale angetroffen. Eine zusammenhängende Wassersäule mit Verbindung zu einem Reservoir im Deckgebirge wird für

unwahrscheinlich gehalten, weil oberhalb der Zutrittsstelle kein Absenktrichter in den Grundwasserleitern nachgewiesen werden kann.

Kommentar AGO:

Eine tiefenabhängige Darstellung der Fluiddrücke fehlt im Bericht, sodass eine Beurteilung nicht möglich ist. Das Fehlen eines nachweisbaren Absenktrichters im Grundwasser wäre nur dann ein Indiz, wenn die Abflüsse über die Anhydritmittel nicht durch nachströmendes Grundwasser ausgeglichen werden könnten. Davon kann nicht ausgegangen werden. Aufgrund der geringen „Förderrate“ von lokal maximal 10 m³/d ist ein Absenktrichter in angrenzenden Grundwasserleitern bereits aus hydraulischen Gründen nicht zu erwarten.

Sachverhalt BGE:

Der Bericht stellt infrage, ob sich im Deckgebirge ein Reservoir befinden kann, welches über eine Spanne von nunmehr 30 Jahren gesättigte NaCl-Wässer mit den dokumentierten Zutrittsraten und nahezu gleichbleibender chemischer Zusammensetzung in das Grubengebäude liefern konnte. Für die stetige Auffüllung des Reservoirs müssten durch neugebildetes Grundwasser erhebliche Mengen Salzgestein gelöst werden, um die NaCl-Sättigung aufrecht zu erhalten. Es wird für wahrscheinlicher gehalten, dass ein anderes Reservoir außerhalb des Grubengebäudes angeschlossen wurde. Das größte, mit Salzlösungen gefüllte Speichervolumen im Höhenzug Asse ist mutmaßlich das ersoffene Grubengebäude der Schachtanlage Asse I. Hinzu kommt die räumliche Nähe zur Schachtanlage Asse II. In den Kapiteln 5.1 und 5.2 wird diese Hypothese weiter erläutert.

Kommentar AGO:

Auch diese Aussagen sind ohne Bezug zu bekannten Fakten und einschlägigen Berichten. Die Salzwasserführung im Asse-Gebiet wurde beispielsweise in COLENCO (2006) ausführlich auf Grundlage bekannter Fakten betrachtet (siehe Abbildung 1).

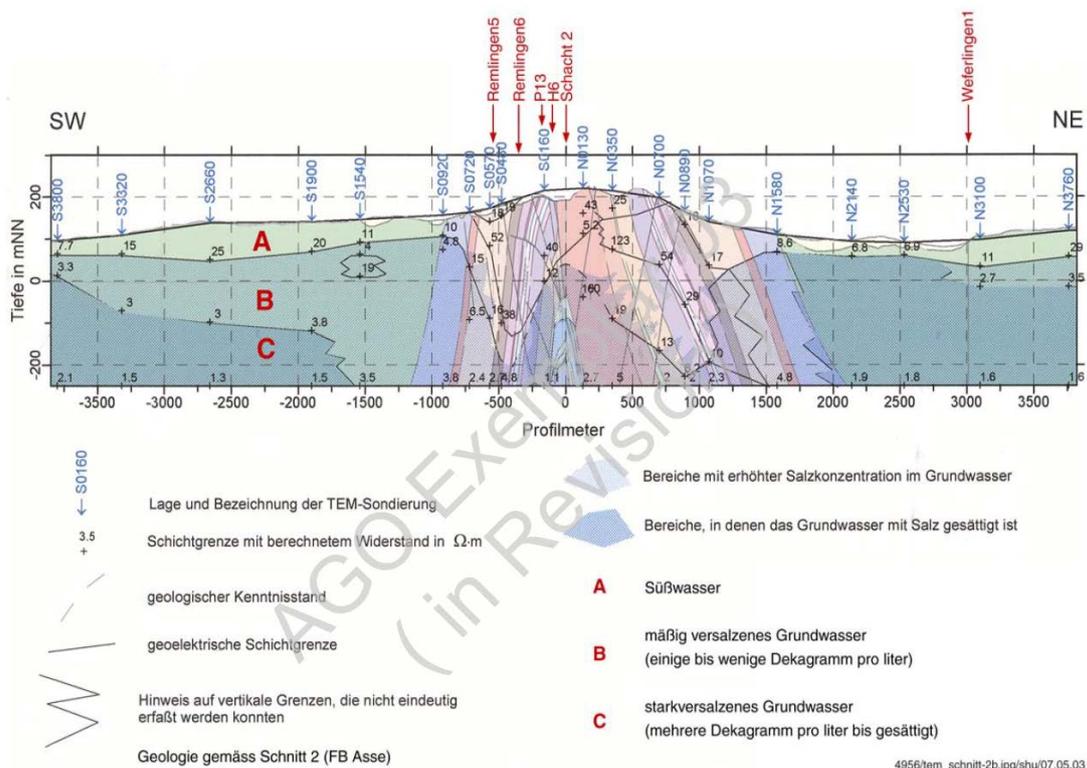


Abbildung 1 – Ergebnisse der TEM-Sondierungen. Aus COLENCO (2006).

Demnach bestehen in der Tiefe ausgedehnte Vorkommen gesättigter Salzwässer, insbesondere in den Randmulden, während im Bereich des Asse-Höhenzugs eine relative Aussüßung durch neugebildetes Grundwasser zu verzeichnen ist. Im Hutbereich und speziell

am Salzkontakt ist jedoch mit der Bildung gesättigter Subrosionslösungen zu rechnen. Aufgrund der „Vorsättigung“ der salinen Grundwässer und dem Überangebot von Steinsalz am Salzspiegel kann die AGO nicht nachvollziehen, weshalb die NaCl-Sättigung in den Zutrittslösungen nicht aufrecht erhaltbar sein sollte.

Eine Betrachtung möglicher hydraulischer Verbindungen zwischen dem luffterfüllten Grubengebäude der Schachanlage Asse II zum lösungserfüllten Grubengebäude der ersoffenen Schachanlage Asse I hält die AGO grundsätzlich für sinnvoll und notwendig, aber weniger im Niveau des Deckgebirges und Salzspiegels als innerhalb des Salinars zwischen den beiden Grubengebäuden.

Auch für das Kap. 4.10 des Berichtes BGE (2018) gilt, dass im Wesentlichen Mutmaßungen, Hypothesen und Unklarheiten vorherrschen. An belastbaren Aussagen besteht eindeutiger Mangel, was zu erheblichen Auswirkungen auf die Aussagen und Schlussfolgerungen der Risikobetrachtungen in Kap. 5 führt.

5. Risiken durch die Altanlagen Asse I, II und III

Sachverhalt BGE:

Das Rückholungsbergwerk wird direkt mit der Schachanlage Asse II verbunden, und über einen Tagesschacht besteht eine Verbindung zur Oberfläche. Den Risiken eines Tagesschachtes kann durch bauliche Maßnahmen begegnet werden. Im Verlauf der Bohrung Remlingen 15 wurden keine signifikanten Strukturen vorgefunden, die auf ein erhöhtes Risiko durch Wassereintrüche oder bergsmechanische Bewegungen schließen lassen.

Kommentar AGO:

Die AGO vermisst hier zunächst eine grundsätzliche Erklärung, was im Bericht (BGE 2018) unter „Risiko“ zu verstehen ist. Die allgemeine Definition, nach der ein Risiko das Produkt von Eintrittswahrscheinlichkeit und Schadenshöhe ist, reicht an dieser Stelle nicht aus. Es gilt zu unterscheiden zwischen Risiken, die den Bergwerksbetrieb und die Sicherheit der Beschäftigten betreffen und denen durch technische Maßnahmen vorgebeugt werden muss oder die im Schadensfall zu Mehraufwendungen führen (finanzieller Schaden) und Risiken, die das Gesamtvorhaben der Rückholung gefährden oder unmöglich machen. Zwischen beiden Risikoarten gilt es zu unterscheiden.

5.1 Schachanlage Asse I

Sachverhalt BGE:

Von der Schachanlage Asse I geht aufgrund der Entfernung kein direktes Risiko für das geplante Rückholungsbergwerk aus.

Kommentar AGO:

Der Begriff „direktes Risiko“, das von einem „indirekten Risiko“ zu unterscheiden wäre, wird von der AGO aus eingangs erwähnten Gründen als nicht sachgerecht angesehen.

Die Breite des „Sicherheitspfeilers“ zwischen den Schachanlagen Asse I und Asse II beträgt ca. 400 m, das hydraulische Gefälle (Laugenpegel in Schacht Asse 1 bis zur 750-m-Sohle in Asse II) ca. 700 m, woraus sich ein enormer Druckgradient ($i = 1,75$) errechnet. Die Laugenzuflüsse im Carnallit-Baufeld bzw. den Reichelt-Sümpfen könnten möglicherweise damit zusammenhängen.

Sachverhalt BGE:

Es kann nicht ausgeschlossen werden, dass unter Beteiligung der NBS eine hydraulische Verbindung zwischen den beiden Schachanlagen Asse I und Asse II besteht, ggf. unter Beteiligung des so genannten Subrosionsgerinnes.

Kommentar AGO:

Die AGO hält eine solche hydraulische Verbindung aus strukturgeologisch-geometrischen Gründen für weniger wahrscheinlich (siehe Kap. 4.8.3).

Sachverhalt BGE:

Bis zum heutigen Tag sind im Verlauf von 30 Jahren ca. 106.000 m³ der Schachanlage Asse II zugeflossen. Das Grubengebäude Asse I weist ein Volumen von 350.000 m³ auf (ERCOSPLAN 2012). Ohne Zuflüsse wären daher knapp 30% des Volumens des Reservoirs Asse I gezehrt worden. Nimmt man den Grundwasserspiegel in Schachanlage Asse I als Grundlage, wird das Reservoir wieder aufgefüllt, da der Wasserspiegel im Schacht¹ Asse 1 bis zu ca. 7 m unter Geländeoberfläche ansteigt. Der Grundwasserspiegelverlauf im Schacht 1 ist stark schwankend. Er steigt über die Jahre kontinuierlich an, bevor er schlagartig um mehrere Meter abfällt. Dieses Ereignis ist nicht streng periodisch, sondern fand die letzten Jahrzehnte ca. alle 7-9 Jahre statt, zuletzt 2011. Die im Subrosionsgerinne verfilterte Grundwassermessstelle GW-010 korrespondiert mit den Absenkungsereignissen in Schacht 1.

Kommentar AGO:

Bei einer kumulierten Lösungsmenge von 106.000 m³ und einer Gesteinsporosität von 10% beträgt das zugehörige (fiktive) poröse Speichergesteinsvolumen ca. 1 Million m³. In Anbetracht der Flächenausdehnung allein des Asse-Höhenzugs von rund 10 Millionen m² ist die Herleitung des Lösungsvolumens aus diesem Reservoir unproblematisch und naheliegend.

Unabhängig davon hält die AGO eine nähere Betrachtung der wechselnden Laugenstände im Schacht Asse 1 für wichtig. Die Überlegungen sollten sich nicht auf das in Abbildung 8 des Berichts implizierte, sehr hypothetische Szenario beschränken. Es sollte insbesondere auch untersucht und dargelegt werden, ob es Korrelationen mit Zuflussraten im Carnallit-Baufeld (Asse II) gibt.

Sachverhalt BGE:

Für die Anbindung der beiden Schachanlagen an einer lösungsleitenden Struktur im Bereich des Salzspiegels werden 4 Szenarien genannt:

- Szenario [1]: Die salinaren Lösungen treten über die ehemalige Zutrittsstelle in die leitende Schicht (NBS/Subrosionsgerinne) über und fließen der Schachanlage Asse II zu. Hierbei könnte über eine Verbindung über ggf. Hutgestein, Rötanhydrit und der aufgelockerten Steinsalzbarriere der bekannte Lösungszutritt hergeleitet werden (Qin1_Asse_II).
- Szenario [2]: Hierbei fließt nur ein Teil der Lösungen in die Schachanlage Asse II und tritt an der Hauptaustrittsstelle der Südflanke aus. Ein mengenmäßig unbekannter Anteil Qx fließt entlang der hydraulisch leitenden Struktur weiter nach Südosten.
- Szenario [3]: Eine Anbindung der Anhydritmittel an leitende Strukturen im Deckgebirge kann - auch wenn kein Druckgradient zur Tiefe hin erkennbar ist - derzeit nicht ausgeschlossen werden (Qin2_Asse_II). Der Austrittspfad entspricht denjenigen wie bei Szenario [1] mit dem Unterschied, dass in der Schachanlage Asse II zwei Pfade aktiv sind. Die unterschiedlichen Zusammensetzungen der Lösungen des Hauptlösungszutritts an der Südflanke und der Zutrittslösungen an der Nordflanke im Carnallitbaufeld könnten durch Verdunstung und Wechselwirkungen mit MgCl₂-haltigen Gesteinen erklärt werden.
- Szenario [4]: Dieses Szenario entspricht dem Szenario [2] mit dem Unterschied, dass aus der hydraulisch leitenden Struktur im Bereich des Salzspiegels der Südflankenaustritt, der Nordflankenaustritt im Carnallitbaufeld und ein unbekannter,

¹ Mit dem Begriff „Schachanlage“ ist jeweils immer das gesamte Grubengebäude gemeint. Der Begriff „Schacht“ hingegen bezeichnet den einzelnen Grubenbau mit dem die Grube von der Oberfläche (über Tage) her erschlossen wird (zum Transport von Personal, Material und für die Bewetterung).

nach Südosten abfließender Anteil Qx gespeist werden. Bei allen Szenarien ist zu beachten, dass nicht zwingend das Druckpotential im Deckgebirge auf den Zutritt übertragen werden muss, sondern dass einzelne Passagen des Fließpfades Sickerpfade durch Grundwassergeringleiter darstellen können (Leakage). Für das Rückholungsbergwerk wäre in diesem Fall der Anteil Qx von Interesse, der theoretisch weiter nach Südosten fließen könnte.

Zudem wird im Kapitel darauf hingewiesen, dass die Erkenntnisse aus den ab 2009 durchgeführten Erkundungsarbeiten und die daraus überarbeitete geologische Modellvorstellung dem Autor noch nicht zur Verfügung standen.

Kommentar AGO:

Die AGO hält die vier Szenarien für außerordentlich hypothetisch und in Teilen auch nicht für nachvollziehbar. Dies betrifft insbesondere die Rolle der NBS. Dass die Schachanlage Asse I als Quelle für die Zutrittslösungen in der Schachanlage Asse II bemüht wird, ist insofern nicht plausibel, als der ersoffene Schacht von dem umgebenden Grundwasservorkommen gespeist wurde, mit dem er kommuniziert (Grundwassermessstelle GW-010) und dieses Grundwasservorkommen auch mit Schachanlage Asse II in Verbindung steht.

Es ist auch nicht klar, aufgrund welcher Druckverhältnisse ein mengenmäßig unbekannter Anteil Qx entlang der hydraulisch leitenden Struktur weiter nach Südosten fließt und wo für diesen Fließweg die Entlastungszone anzunehmen ist.

Außerdem stellt die AGO fest, dass hier ein weiteres Szenario, nämlich die direkte Verbindung durch das Salinar zwischen den Schachanlagen Asse I und II, nicht betrachtet wurde (siehe hierzu Anmerkungen in Kap. 4.10).

Schließlich ist für die AGO auch nicht nachvollziehbar, weshalb die seit 2009 durchgeführten Erkundungsarbeiten und deren Erkenntnisse dem Autor des Berichtes (BGE 2018) nicht zur Verfügung standen und somit nicht in die Risikobetrachtungen miteinbezogen wurden.

5.2 Schachanlage Asse II

Sachverhalt BGE:

Der hypothetische „Unbeherrschbare Lösungszutritt“ in der Schachanlage Asse II sowie die diskutierte hypothetische Anbindung des Rückholungsbergwerks an das Störungssystem/Subrosionsgerinne können bisher nicht ausgeschlossen werden. Bei der betrieblichen Verbindung der Bergwerke ist zu klären, ob eine Sperre eingebracht wird, die im Falle eines unbeherrschbaren Lösungszutritts geschlossen werden kann.

Kommentar AGO:

Die AGO geht davon aus, dass mit dem Begriff „Unbeherrschbarer Lösungszutritt“ der „Auslegungsüberschreitende Lösungszutritt“ (AÜL) gemeint ist.

Des Weiteren hält die AGO den Einbau von druckfesten Dammtoren auf allen Verbindungsstrecken für erforderlich, um in Havariefällen insbesondere Wasserübertritte zu verhindern (und auch die Wetterströme unterbrechen zu können). Hierdurch können u. U. Handlungsoptionen erhalten oder verbessert werden.

5.3 Schachanlage Asse III

Sachverhalt BGE:

Das von der Schachanlage Asse III ausgehende Risiko kann als gering angenommen werden. Das Hohlraumvolumen des ersoffenen Schachtes Asse 3 wird auf nicht mehr als 10.000 m³ geschätzt. Eine Anbindung des Schachtes an das Grundwasser ist zwar vorhanden, aber die Entfernung zwischen Schacht 3 und der Bohrung Remlingen 15 beträgt ca. 3 km.

Kommentar AGO:

Die AGO teilt diese Einschätzung. Der rund 30 m tiefer gelegene Schacht 3 würde bei einem Anschluss an das Grundwasser des Asse-Höhenzugs vermutlich einen Überlauf zeigen.

Für das gesamte Kapitel 5 gilt im Übrigen auch das schon vorher (z. B. zu Kap. 4.10) Angemerkte: Praktisch alle Aussagen stehen unter dem Vorbehalt zu geringer standortspezifischer Kenntnisse. Das gilt auch für die NBS und/oder das Subrosionsgerinne im Deckgebirge/Bereich des Salzspiegels. Auch für die vier Szenarien der Anbindung Schachanlage Asse I – Asse II und die daraus abgeleiteten Konzeptmodelle (S. 33) sowie das fehlende Szenario, das eine hydraulische Verbindung zwischen Schachanlage Asse I und Asse II im Bereich des Salinars betrachtet, sind die standortspezifischen Kenntnisse mangelhaft.

6. Zusammenfassung und Bewertung der Risiken

Sachverhalt BGE:

Die hydrogeologischen Risiken für das geplante Rückholungsbergwerk südöstlich der Schachanlage Asse II sind in Tab. 4 zusammengefasst.

Der tiefer liegende Salzspiegel, der fehlende Altbergbau und die bei der bisherigen Erkundung fehlenden oder nur spärlich ergiebigen Lösungsspeicher- bzw. transportpfade senken die hydrogeologische Gefährdung des Rückholungsbergwerks gegenüber der Schachanlage Asse II.

Kommentar AGO:

In Tab. 4 (BGE 2018) werden keine Risiken dargestellt und bewertet, sondern es werden lediglich Faktoren, welche bzgl. des hydrogeologischen Risikos als günstig oder ungünstig bewertet werden, zusammengefasst.

Den angeführten Vorteil des tiefer liegenden Salzspiegels kann die AGO nicht erkennen. Die weiteren Gründe sind jedoch nachvollziehbar.

Sachverhalt BGE:

Die bislang identifizierten Erkenntnisdefizite, die eingeschränkte Verfügbarkeit von Daten und die Verschmälerung der Struktur in Richtung Südosten erhöhen die Risiken.

Kommentar AGO:

Erkenntnisdefizite stellen *per se* keine Erhöhung der Risiken dar. Die AGO versteht in diesem Zusammenhang auch nicht, weshalb das vorhandene und sehr umfangreiche Datenmaterial sowie zahlreiche einschlägige Berichte nicht für die Gefährdungsanalyse herangezogen worden sind. Auch in der vermeintlichen (s.o.) Verschmälerung des Asse-Sattels nach Südosten *per se* kann die AGO kein erhöhtes hydrogeologisches Risiko erkennen. Die AGO weist in diesem Zusammenhang aber auf Planungs- bzw. Genehmigungsrisiken hin, um die es in diesem Bericht aber nicht ging.

Sachverhalt BGE:

Sollte sich die Hypothese bestätigen, dass die NBS die Schachanlagen Asse I und Asse II und ggf. dann im weiteren Verlauf das geplante Rückholungsbergwerk verbindet, könnte dies ein höheres Risiko darstellen.

Kommentar AGO:

Die AGO kann die vielfach vorgetragene Besorgnis aufgrund der NBS nicht nachvollziehen (s.o.). Grundsätzlich können alle Störungen im Asse-Sattel hydraulischen Kontakt mit dem Salzspiegelbereich und der Hutzzone haben. Der postulierte Verlauf der NBS (Abb. 6 und 7 in BGE (2018)) legt einen solchen Kontakt jedoch nicht gerade nahe. Andererseits und unabhängig davon müsste es Zutrittswege vom wasserführenden Deckgebirge bzw. von der Hutzzone durch die Salzbarriere hindurch ins Bergwerk hineingeben, damit ein

hydrogeologisches Risiko daraus erwachsen kann. Die Asse unterscheidet sich in dieser Hinsicht nicht grundsätzlich von anderen Salzstöcken.

Sachverhalt BGE:

Die erforderliche bergbauliche Verbindung zwischen der Schachanlage Asse II zum Rückholungsbergwerk stellt eine Schwachstelle dar.

Kommentar AGO:

Diese Verbindung lässt sich zwar nicht vermeiden, doch kann das Risiko durch den Einbau von Dammtoren begrenzt werden.

Sachverhalt BGE:

Aufgrund des abtauchenden Salzspiegels und der geringeren Breite des Salzsattels in Richtung Südosten steigt das Risiko, dass bei der Auffahrung von Strecken und Infrastrukturräumen für das geplante Rückholungsbergwerk der Abstand zu den Flanken und damit zu grundwasserführenden Schichten zu gering ausfällt.

Kommentar AGO:

Dies ist kein „Risiko“, sondern eine zu beachtende Randbedingung. Der Sicherheitspfeiler muss selbstverständlich ausreichend bemessen werden.

Sachverhalt BGE:

Wenn das Rückholungsbergwerk teilweise unterhalb des Niveaus der Einlagerungskammern der Schachanlage Asse II liegt, könnten im Falle eines AÜL kontaminierte Lösungen relativ schnell übertreten. Ob dies durch geeignete Abdichtbauwerke verhindert werden kann bzw. ob ein solcher Effekt unter bestimmten Umständen sogar wünschenswert wäre, kann an dieser Stelle nicht diskutiert werden.

Kommentar AGO:

Durch Dammtore, die rechtzeitig geschlossen werden, kann ein solcher Übertritt verhindert werden. Die AGO vermag keine Umstände zu erkennen, unter welchen ein solcher Übertritt wünschenswert sein könnte.

Fazit der AGO

Der BGE-Bericht „Hydrogeologische Risiken bei Auffahrung und Betrieb des geplanten Rückholungsbergwerks östlich der Schachanlage Asse II“ mit Stand vom 29.10.2018 wurde der AGO leider erst nach Freigabe im September 2019 vorgelegt.

Obwohl der Titel den Leser zunächst eine faktenbasierte Analyse und Bewertung von Risiken bei Auffahrung und Betrieb des geplanten Rückholungsbergwerkes erwarten lässt, beruht der Bericht aufgrund fehlender Erkenntnisse und Daten größtenteils auf Annahmen, Vermutungen, erdachten Szenarien und Vergleichen mit abstrahierten Modellvorstellungen aus anderen Regionen, die auf die Situation in der Asse übertragen werden.

Der Begriff „Risiko“ wird an keiner Stelle definiert und daher unspezifisch und inflationär verwendet. Die AGO geht davon aus, dass im Bericht unter „hydrogeologischem Risiko“ vor allem die Gefahr des Absaufens des alten und des neu zu errichtenden Grubengebäudes zu verstehen ist. Dieses umfassende Risiko setzt sich zusammen aus verschiedenen Einzelrisiken, die im Falle ihres Eintretens alleine oder zusammen zum Absaufen führen. Es wäre vorteilhaft gewesen, wenn in BGE (2018) stringent und systematisch diese Einzelrisiken und ihr Zusammenwirken behandelt worden wären. Dies alles ist nicht oder nur ansatzweise geschehen, woraus sich bei zusätzlicher Berücksichtigung der erheblichen Kenntnislücken am Standort ein sehr diffuses und nicht aussagekräftiges Bild des hydrogeologischen Risikos ergibt.

Der Bericht leidet zudem darunter, dass vorhandene umfangreiche Daten und Messreihen, z. B. über Lösungs- und Gasvorkommen in der Asse, nicht hinreichend detailliert untersucht und bewertet werden, um danach auf deduktivem Wege mögliche Risiken bzw. Gefährdungen zu identifizieren. Die Übertragung von verschiedenen, in der Literatur vorhandenen Modellvorstellungen über risikobehaftete Vorkommnisse an anderen Kali- und Salz-Standorten auf die Situation in der Asse reicht nach Auffassung der AGO nicht aus.

Eine zentrale Rolle in den Überlegungen spielt die Nordrandbasisstörung (NBS), deren Verlauf und Relation zum Salzspiegel im Text unklar bleibt und nicht mit den perspektivischen Abbildungen 6 und 7 im Bericht korrespondiert.

Die AGO vermisst außerdem eine detaillierte und ortsbezogene Betrachtung der potentiell lösungsführenden Salinarhorizonte in der Asse, insbesondere des Hauptanhydrits und Grauen Salztons, der Anhydritmittel, des Roten Salztons, des Pegmatitanhydrits, sowie des Röt-Anhydrits. Es fehlt eine kritische Auseinandersetzung mit dem umfangreichen Datenmaterial zu Chemismus und Genese der Zutrittslösungen. Die wenigen Aussagen hierzu stimmen teilweise nicht mit den umfangreichen Messdaten überein. Gleiches gilt für Gasvorkommen.

Es wäre weiterhin vorteilhaft gewesen, wenn wegen der Vielzahl an unklaren Sachverhalten bzw. Kenntnislücken in dem Bericht eine Zusammenstellung dieser standortspezifischen Aspekte vorgenommen worden wäre. Man hätte dann zumindest einen Überblick über die wichtigsten Kenntnisdefizite und könnte sie nach Bedarf gezielt abarbeiten.

Insgesamt ist die Risikoabschätzung wenig faktenbasiert und stark durch fiktive Szenarien und abstrakte Modellvorstellungen geprägt. Die umfangreichen Datenbestände und früheren Berichte haben keinen Eingang in die Untersuchungen gefunden. Die Arbeit ist daher nicht ausreichend, um für die weiteren Planungen konkrete, risikovermeidende oder risikomindernde Maßnahmen benennen zu können. Genau das sollte aber das Ziel der Arbeit sein.

Dem Bericht können keine konkreten Hinweise entnommen werden, auf welche Art hydrogeologischen Risiken begegnet werden kann. Auch eine Benennung der relativ größten hydrogeologischen Risiken für das Rückholungsbergwerk ist dem Bericht wegen des Mangels an dafür notwendigen standortspezifischen Informationen nicht enthalten.

Alles in allem zeigen die Risikobeschreibungen im Bericht nochmals die Notwendigkeit einer Verbesserung des (hydro-)geologischen Kenntnisstandes insbesondere im Bereich des Deckgebirges. Mit der 3D-Seismik und den geplanten Bohrungen R10 und R11 werden neue Befunde zur Verfügung stehen, mit denen hoffentlich einige wesentliche Kenntnislücken geschlossen werden können. Ohne eine deutliche Verbesserung der Kenntnislage ist die Ermittlung belastbarer hydrogeologischer Risiken für das Rückholungsbergwerk nicht möglich.

Literaturverzeichnis

- AF-CONSULT (2014): Sachstandsbericht Hydrogeologie.- Bericht KZL, 9A/22100000/HGG/R/0003/00, Baden (Schweiz), 520 S.
- ASSE-GmbH (2009): Zusammenstellung und Bewertung der Salzlösungs- und Gaszutritte im Grubengebäude der Schachanlage Asse II (11.03.2009).- Bericht 9A//GEH/EB/BW/0001/01, Remlingen, 143 S.
- BGE (2016): Georadarmessungen in Strecken des Grubengebäudes der Schachanlage Asse II in 2016. Zwischenbericht (Stand 19.12.2016), BGR Hannover.
- BGE (2018): Hydrogeologische Risiken bei Auffahrung und Betrieb des geplanten Rückholungsbergwerks östlich der Schachanlage Asse II (Stand: 29.10.2018).
- BRENCK (2008): Gutachten: Standortbezogene Freigabe von Zutrittslösungen aus der Schachanlage Asse II.
- Büchner, K.-H. (1983): Ingenieurgeologische Erfahrungen beim Absaufen des Kali-Bergwerkes Ronnenberg, Juli 1975. Ber. 4. Nat.Ing.-Geol., 29-36, Goslar, 1983.
- COLENCO (2006): Hydrogeologische Modellvorstellungen. Bericht 4956/07.
- ERCOSPLAN (2018a): Bericht zur Revisionskartierung (M 1:5.000) der Salzstruktur Asse im Bereich zwischen Groß Denkte und Klein Vahlberg.- Bericht KZL 9A/56223000/HA/RA/0002/01, Erfurt, 93 S.
- GRS (2007): Salzlösungszuflüsse im Salzbergbau Mitteldeutschlands.- Bericht GRS 226, Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Braunschweig, 197 S.
- Hentschel, D. (1961): Zusammenstellung der Laugenzuflüsse auf den Schachanlagen Asse I, II und III.
- Herrmann, A. G.; Siebrasse, G.; Könnecke, K. (1978): Computerprogramme zur Berechnung von Mineral- und Gesteinsumbildungen bei der Einwirkung von Lösungen aus Kali- und Steinsalzlagerstätten (Lösungsmetamorphose). - Kali Steinsalz 7, 288-299.
- IfG (2017): Überprüfung des perkolationsgetriebenen Transports von Fluiden im Wirtsgestein Steinsalz unter Bedingungen für ein Endlager (PeTroS). Zwischenbericht Aufarbeitung des relevanten Standes von Wissenschaft und Technik, FKZ 4717E03250.
- Klarr, K. (1967): Laugen im Grubengebäude der Schachanlage Asse II. Interner Bericht.
- Krupp, R. (2008; Update 3): Grundzüge eines trockenen Verwahrungskonzeptes für das Atommüll-Endlager Asse II – Eine Diskussionsgrundlage. 31.08.2008
- Krupp, R. (2019): Lösungszusammensetzung L658008 (Hauptsammelstelle), 14.03.2019.
- Kühn, K.; Klarr, K.; Borchert, H. (1967): Studie über die bisherigen Laugenzuflüsse auf den Asse-Schächten und die Gefahr eines Wasser- oder Laugeneinbruchs in das Grubengebäude des Schachtes II. Interner Bericht GSF
- Reimar, P. (2014): Zwei Asse-Arbeiter bei Unfall verletzt. In: Weserkurier (14.06.2014).

- Roedder, E.; Belkin, H. E. (1981): Petrographic study of fluid inclusions in salt core samples from Asse mine, Federal Republic of Germany. U.S. Geological Survey Open File Report n. 81-1128, 32 pp.
- Schwandt, A. (1978): Zusammenhänge zwischen Geologie und Zuflüssen von Salzlösungen und Wässern in Kali- und Steinsalzgrubenfeldern des Saale-Unstrut- und Nordharz Kaligebietes. – Jahrb. Geol. 9/10, 175-260, Berlin.
- Schwandt, A. (1992): Gutachterliche Bewertung des Salzlösungsaustritts an der Südflanke der Schachanlage Asse II in den Abbauen 3 der 574 m Sohle und 5 der 532 m Sohle.- Bericht im Auftrag der GSF, Erfurt, 38 S.
- Schwandt, A. (2008): Ergänzende Beurteilung der Salzlösungszutritte in das Grubengebäude der Schachanlage Asse II unter Berücksichtigung der tektonischen, gebirgsmechanischen und hydrogeologischen Situation.- Bericht Büro Dr. Schwandt, Erfurt, 79 S.
- Stockmann, N.; Heydorn, M.; Marggraf, G.; Hensel G. (2003): Zusammenstellung und Bewertung der vor 1988 im Grubengebäude der Schachanlage Asse II aufgetretenen Salzlösungen und Gase (Stand Mai 2003). Revisionsnummer 02.
- Stockmann, N.; Marggraf, G.; Taylor, T.; Teichmann, N.; Heydorn, M.; Hensel G. (2006): Zusammenstellung und Bewertung der ab 1988 im Grubengebäude der Schachanlage Asse II aufgetretenen Salzlösungen und Gase (Stand Januar 2006). Revisionsnummer 03.
- Von Borstel, L. E. (1993): Lösungen in marinen Evaporiten. – BfS-Schriften 10/93, Bundesamt für Strahlenschutz, Salzgitter, 35S. ISSN 0937-4468.