

Stellungnahme zur Beantwortung der Fragen des BMU bzgl.

Dr. habil. R. E. Krupp

**Strömungs- und Transportmodell, Langzeit-
sicherheit Asse II [Stand: 29. Dezember 2009]**

Arbeitsgruppe Optionenvergleich

Projektträger Karlsruhe – Wassertechnologie und Entsorgung (PTKA-WTE)

(Bühler, M., Pitterich, H., Stumpf, S.)

Sachverständige der Begleitgruppe Asse II des Landkreises Wolfenbüttel

Bertram, R.

Kreusch, J.

Krupp, R. (bei Beratung anwesend, an der Verfassung der Stellungnahme nicht beteiligt)

Neumann, W.

06.07.2010

STELLUNGNAHME DER AGO

1 Veranlassung und Vorgehensweise

Die Arbeitsgruppe Optionenvergleich (AGO) wurde mit E-Mail vom 17. März 2010 von BMU um die Befassung mit der Stellungnahme von Herrn Dr. Krupp "Strömungs- und Transportmodell, Langzeitsicherheit Asse II" (KRUPP (2009)) gebeten. Zu diesem Papier hat das BfS die Colenco zusammen mit GRS sowie das BMU das Öko-Institut um eine Stellungnahme gebeten. Diese beiden Stellungnahmen (COLENCO/GRS (2010) und ÖKO-INSTITUT (2010)) wurden der AGO am 15.03.2010 übersandt. Das BMU bat die AGO im Rahmen des Auftrags UM09A03201 zwischen dem KIT und dem BMU um Beratung in Form einer Stellungnahme zu folgenden Fragen:

Sind die fachlichen Kritikpunkte der Stellungnahmen von GRS/Colenco sowie Öko-Institut an der Studie von Dr. Krupp gerechtfertigt?

und vor diesem Hintergrund:

Ist das von Dr. Krupp vorgestellte Modell in der Lage, die Transport- und Strömungssituation in der Asse im Fall einer Vollverfüllung realistisch und belastbar zu beschreiben?

BMU regte ursprünglich eine Bearbeitung vor der nächsten Sitzung der AGO am 19.04.2010 an.

Die AGO befasste sich mit dem von Herrn Dr. Krupp an die AGO, die Begleitgruppe Asse II und das Bundesamt für Strahlenschutz verteilten Papier, den oben erwähnten dazu eingeholten Stellungnahmen und der Replik von Herrn Dr. Krupp auf die beiden Stellungnahmen auf ihren Sitzungen 04/2010 (19.04.2010) und 05/2010 (18. und 19.05.2010). Des Weiteren wurde von der AGO am 17.06.2010 von 9:00 bis 16:00 Uhr in Karlsruhe ein Fachgespräch „Strömungs- und Transportmodellierung“ unter Beteiligung unabhängiger Berater, der Autoren der Stellungnahmen und Mitgliedern der Begleitgruppe Asse-II durchgeführt.

Die vorliegende Stellungnahme wurde von der AGO auf ihrer Sitzung 06/2010 am 18.06.2010 erarbeitet. Herr Dr. Krupp war bei der Beratung anwesend, jedoch an der Verfassung der Stellungnahme nicht beteiligt. Die Schlussabstimmung der Stellungnahme fand auf dem Wege des E-Mail-Austauschs statt. Die nach Erarbeitung der Stellungnahme der AGO über das BMU in Abstimmung mit dem NMU der AGO als Beratungsunterlage übergebene vorläufige kritische Stellungnahme des LBEG zum Colenco-Bericht 4956/07 Hydrogeologische Modellvorstellungen (Der Colenco-Bericht wurde in den Stellungnahmen COLENCO/GRS (2010) und ÖKO-INSTITUT (2010) herangezogen) konnte hier keine Berücksichtigung finden.

2 Beantwortung der Fragen des BMU durch die AGO

An die AGO wurden seitens des BMU folgende Fragen gestellt:

Sind die fachlichen Kritikpunkte der Stellungnahmen von GRS/Colenco sowie Öko-Institut an der Studie von Dr. Krupp gerechtfertigt?

und vor diesem Hintergrund:

Ist das von Dr. Krupp vorgestellte Modell in der Lage, die Transport- und Strömungssituation in der Asse im Fall einer Vollverfüllung realistisch und belastbar zu beschreiben?

Im Ergebnis werden die beiden o. g. Fragen wie folgt beantwortet:

Das in KRUPP (2009) vorgestellte Modell ist nach Auffassung der AGO nicht in der Lage, die Strömungs- und Transportprozesse am Asse-Sattel realistisch und belastbar zu beschreiben. Die von Herrn Dr. Krupp vorgenommene Modellierung der Strömungs- und Transportvorgänge im Deckgebirge ist als Entscheidungshilfe akzeptabel, aber nicht als Entscheidungsgrundlage geeignet. Dies gilt auch für die Modellierung von Colenco (COLENCO (2006)). Beide Modelle beruhen auf einer nicht ausreichenden Datengrundlage. Sie leisten zum Systemverständnis einen Beitrag, sind jedoch nicht in der Lage, die realen Verhältnisse am Standort Asse abzubilden.

Bei beiden Modellierungen wird der Einfluss von Wechselwirkungen zwischen Radionukliden, chemotoxischen Schadstoffen und der geochemischen Umgebung auf die Transportvorgänge nicht erfasst. Hierauf wurde in KRUPP (2009) auch hingewiesen. Eine realitätsnahe und belastbare Modellierung des Radionuklidtransports müsste nach Ansicht der AGO u. a. auch die geochemischen Wechselwirkungen berücksichtigen.

Dieser Stellungnahme der AGO ist ein Sondervotum von Herrn Prof. Bertram (Anlage 5) beigefügt.

QUELLEN

KRUPP (2009): Strömungs- und Transportmodell, Langzeitsicherheit Asse II. Burgdorf, Krupp, R. E., 29.12.2009

COLENCO/GRS (2010): Stellungnahme zur Modellierungsstudie „Strömungs- und Transportmodell, Langzeitsicherheit Asse II“ von Dr. habil. R. E. Krupp vom 29.12.2009. Resele, G. & Poppei, J., AF-Colenco, Baden (Schweiz) und Mönig, J., Buhmann, D. & Förster, B., GRS, Braunschweig, 18.02.2010

ÖKO-INSTITUT (2010): Kurzstellungnahme zur Ausarbeitung von Herrn Dr. Krupp: „Strömungs- und Transportmodell, Langzeitsicherheit Asse II,“ vom 29.12.2009. Alt, S. & Ustohalova, V., Öko-Institut e. V., Darmstadt, 25.02.2010

KRUPP (2010): Modellierungsstudie, Strömungs- und Transport-Modell. Langzeitsicherheit Asse vom 29.12.2009 - Replik zu den Stellungnahmen von Colenco/GRS vom 18.02.2010 und vom Öko-Institut vom 25.02.2010. Krupp, R. E., Burgdorf, 23.03.2010

COLENCO (2006): Deckgebirgsmodellierung Phase IV, Grundwasserbewegung im Deckgebirge des Standortes Asse GSF - Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit - Forschungsbergwerk Asse. Schlussbericht 3331/71. Poller, A, Resele, G. & Poppei, J., Colenco Power Engineering AG, Baden (Schweiz), September 2006

Die Quellen KRUPP (2009), COLENCO/GRS (2010), ÖKO-INSTITUT (2010) und KRUPP (2010) sind mit Zustimmung der Autoren dieser Stellungnahme als Anlagen 1 bis 4 beigelegt.

Anlage 1

KRUPP (2009): Strömungs- und Transportmodell, Langzeitsicherheit Asse II. Krupp, R. E., Burgdorf, 29.12.2009

An: Arbeitsgruppe Optionenvergleich (AGO)

CC: Stimmberechtigte Mitglieder, Begleitgruppe Asse II (A2B)

CC: Bundesamt für Strahlenschutz (BfS)

29.12.2009

Strömungs- und Transportmodell, Langzeitsicherheit Asse II

Sehr geehrte Kollegen,

Für den Optionenvergleich ist die Langzeitsicherheit ein entscheidendes Kriterium. Für die Option Vollverfüllung, die in jedem Fall eine Flutung und einen Kontakt des Grundwassers mit den Abfällen impliziert, sind daher Betrachtungen zur Ausbreitung der radioaktiven und toxischen Bestandteile in die Biosphäre von zentraler Bedeutung. Aus diesem Grund habe ich ein einfaches vertikales, 2-dimensionales Strömungs- und Transportmodell entlang des Schnittes S2 (markscheiderisches Risswerk) erstellt und teile Ihnen hier die vorläufigen Ergebnisse mit. Ich bin mir bewusst, dass dieses Modell in Details noch verbesserungsfähig ist, jedoch sind die Ergebnisse hinsichtlich der Langzeitsicherheit auch jetzt schon eindeutig. Angesichts des erforderlichen Zeitaufwandes für solche Modellrechnungen werde ich weitergehende Verfeinerungen und Ergänzungen nur im Bedarfsfall vornehmen.

Das Modell:

In meinem Sondervotum vom 26.11.2009 zur AGO-Stellungnahme zu den drei Machbarkeitsstudien (hier als Anhang 1 nochmals beigelegt) habe ich die Randbedingungen für ein hydrogeologisches Strömungs- und Transportmodell bereits erörtert. Zur Herleitung und Begründung der angesetzten Zahlenwerte wird daher auf das Sondervotum verwiesen.

Die Lage des vertikalen zweidimensionalen Modellschnitts entspricht dem Schnitt 2 des markscheiderischen Risswerks der Schachanlage Asse II. Der Modellbereich ist in Abbildung 1 eingetragen. Der im Rechenmodell zugrunde gelegte geologische Aufbau (Abbildung 2) folgt im Wesentlichen diesem Schnitt S2. Die jeweiligen Gebirgsdurchlässigkeiten (kf-Werte) wurden aus COLENCO (2006) übernommen. Für die Gesteins-Porositäten wurden in allen Fällen Werte von 7,5 Prozent angesetzt.

Das Modell wurde mit der Berechnungssoftware ASM6 (Kinzelbach und Rausch, 1995; Chiang, Kinzelbach und Rausch, 1998) durchgeführt.

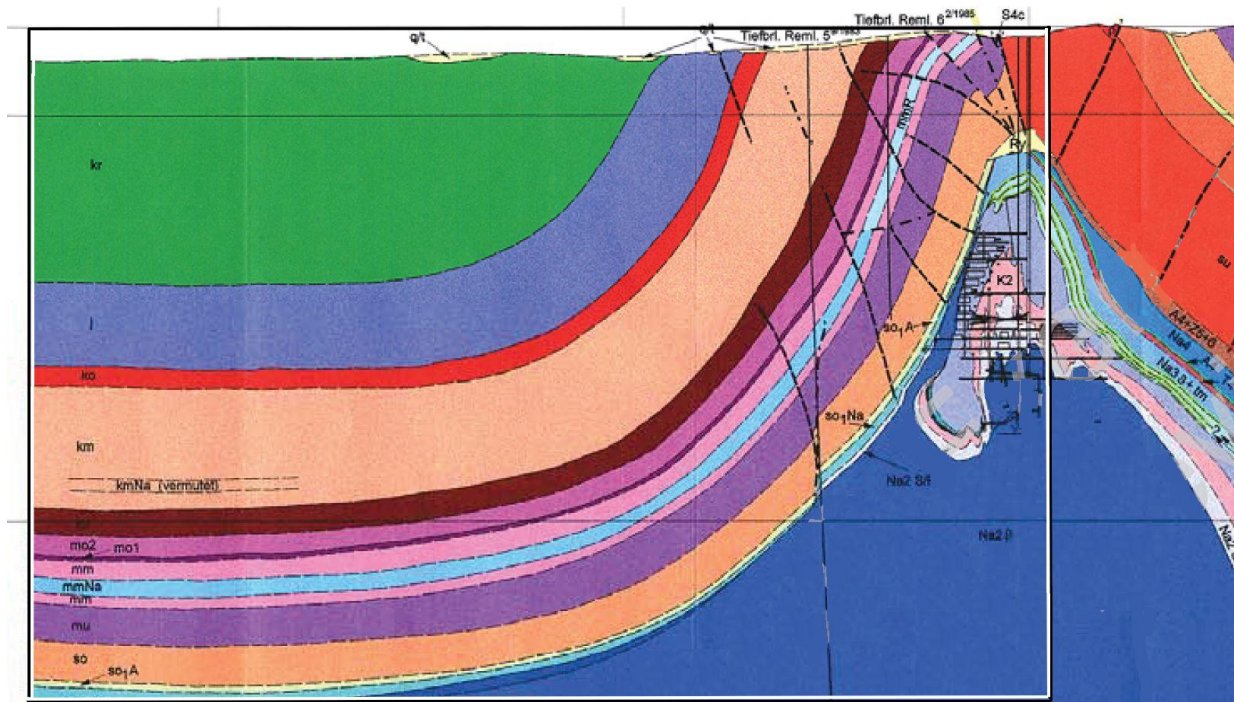


Abbildung 1 – Schnitt S2 des Risswerkes Asse II mit eingetragenem Modell-Bereich.

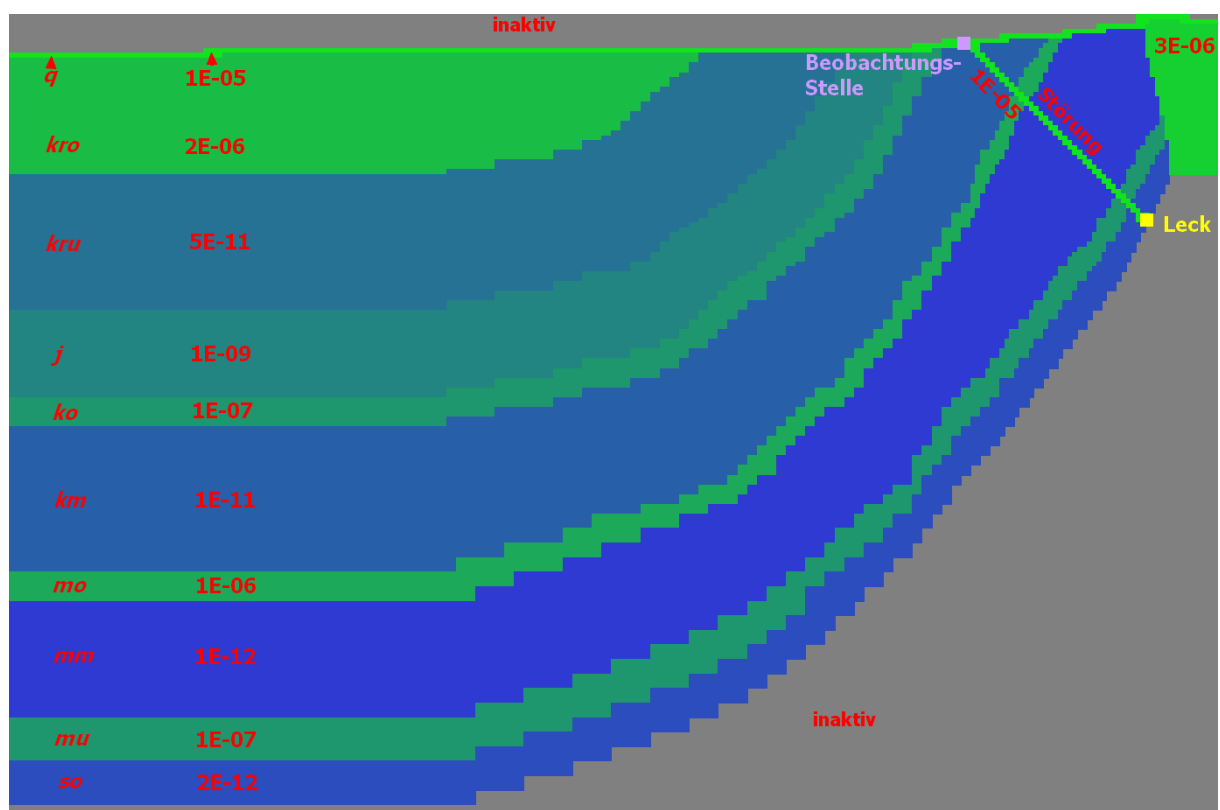


Abbildung 2 – Digitales geologisches Modell mit den jeweiligen k_f -Werten. Graue Bereiche (Salzstock, Luft) sind inaktive Zellen.

Zur Modellierung wurde ein Finite Differenzen Modell mit 150 Spalten in x-Richtung und 100 Reihen in z-Richtung, somit 15000 Zellen, erstellt, das im Bereich der Störungszone (Asse-Bezeichnung: S3D9) verdichtet wurde (Abbildung 3). Das Modell entspricht einer vertikalen, in y-Richtung 10 m dicken und nach beiden Seiten undurchlässigen Scheibe. Die Modellierung erfolgt für den stationären Fall.

Der Salzstock und die nach links (Süden) sich fortsetzenden Röt-Salze wurden als undurchlässiger Rand modelliert (inaktive Zellen). Der linke Modellrand entspricht einer Randstromlinie (Grundwasser-Konvergenz) unterhalb eines Vorfluters, z.B. Rothenbach; ebenso der rechte (nördliche) Modellrand oberhalb des Salzstockes, der einer Wasserscheide im Bereich des Asse-Höhenzuges entspricht. Der obere Modellrand wurde an die Topographie des Geländes angepasst und wird durch inaktive Zellen begrenzt. Entlang dieses Randes findet Grundwasserneubildung statt (100 mm/a/m^2). Die oberste geologische Deckschicht wurde relativ durchlässig modelliert. Die linke (südliche) obere Modellecke wird von einer Festpotentialzelle gebildet, die dem Vorfluter entspricht.

Zwei Rechenfälle wurden betrachtet:

- **Fall A:** Derzeitiger Zustand – Die Zuflüsse beschränken sich auf die Grundwasserneubildung am oberen Modellrand, die Abflüsse auf den Vorfluter (Festpotentialzelle).
- **Fall B:** Phase der Lösungsauspressung aus dem Grubengebäude – Zusätzlich wurde an der derzeitigen Zutrittsstelle des Grundwassers ins Grubengebäude ein Schluckbrunnen mit einer jährlichen Einspeisung (Auspressung aus dem Grubengebäude) von $10\,000 \text{ m}^3/\text{a}$ modelliert. Für die Transportmodellierung wurde an der Ausbiss-Stelle der Störung (S3D9) an der Erdoberfläche eine Beobachtungszelle implementiert, die den zeitlichen Verlauf der Schadstoff-Konzentration registriert.

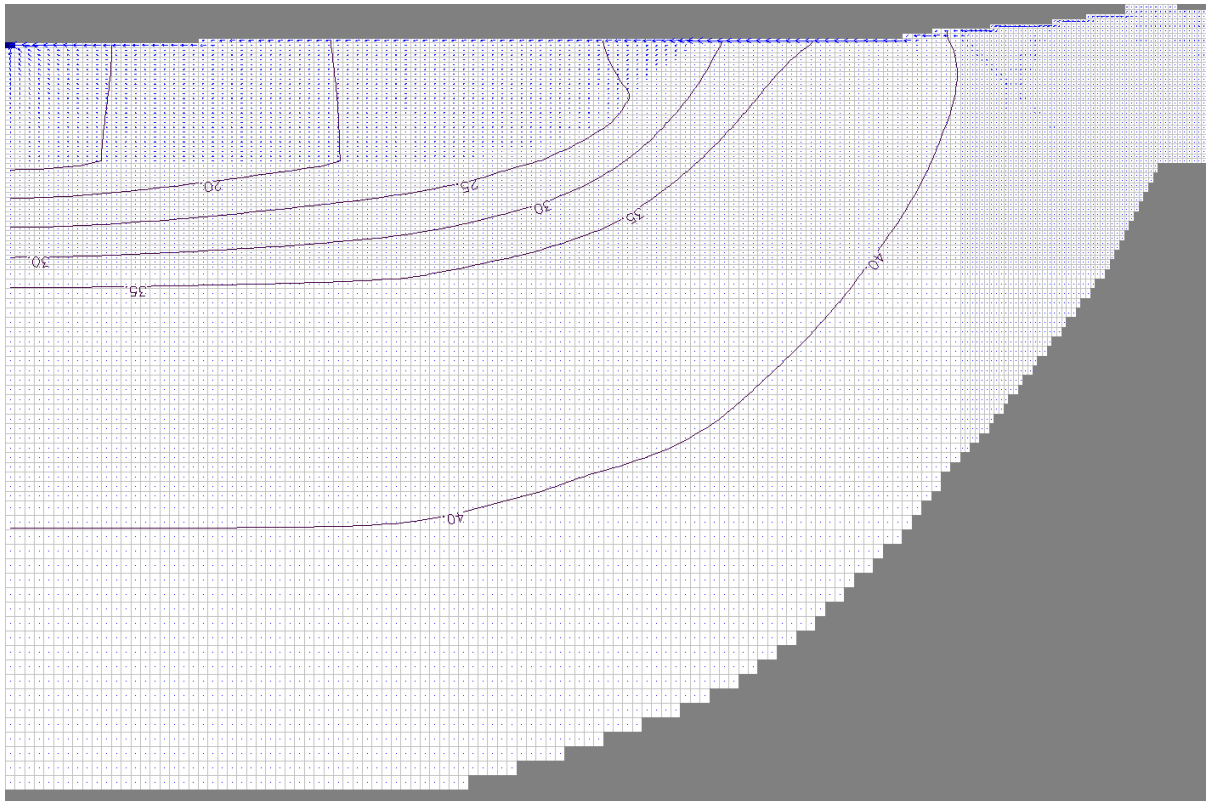


Abbildung 3 – Finite Differenzen-Netz mit berechneten Piezometerhöhen (**Fall A**). Die berechneten Werte bis über 40 m ergeben sich aus der topographischen Hochlage des Speisungsgebietes Asse. Blau (kaum erkennbar): Strömungsvektoren.

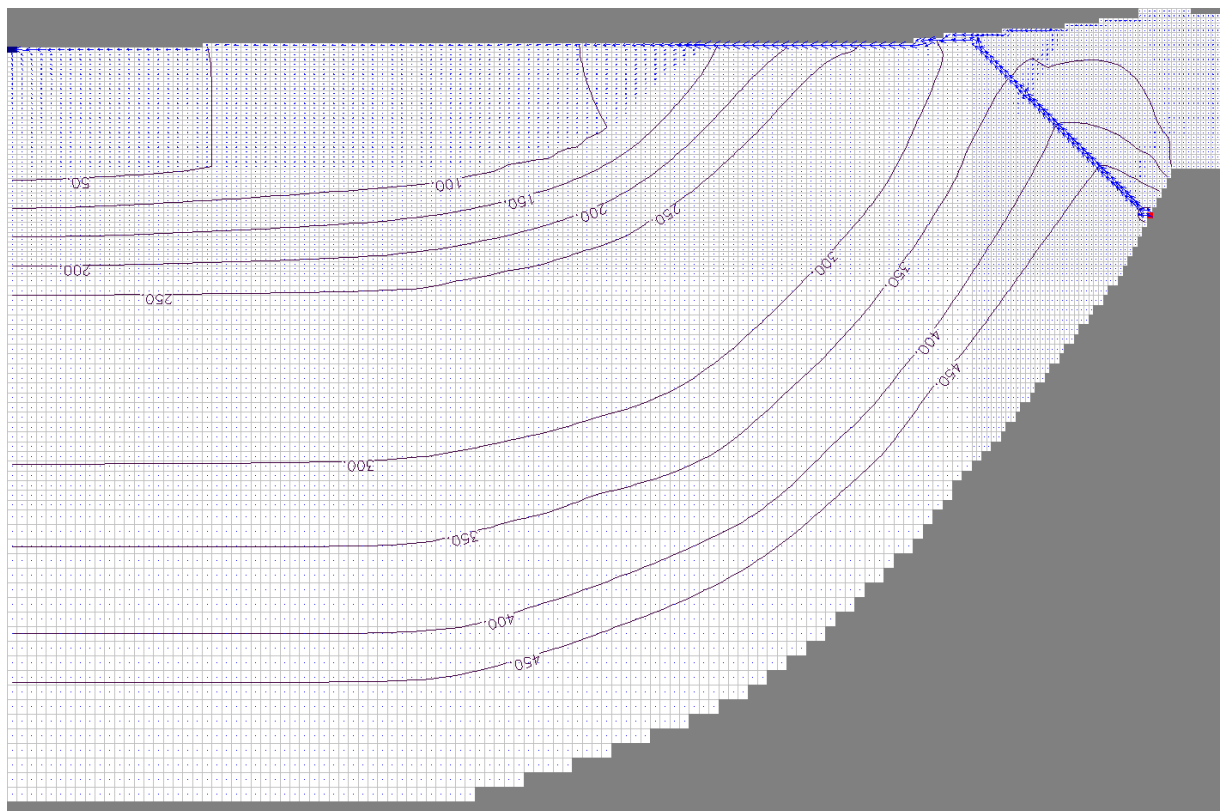


Abbildung 4 – Finite Differenzen-Netz mit berechneten Piezometerhöhen (**Fall B**). Der Druckaufbau mit berechneten Werten bis 505 m ist eine Folge der Auspressung von Lösung (Schluckbrunnen) mit definierter Rate bei geringen Gebirgsdurchlässigkeiten. Blau Strömungsvektoren. Rot: „Brunnenzelle“.

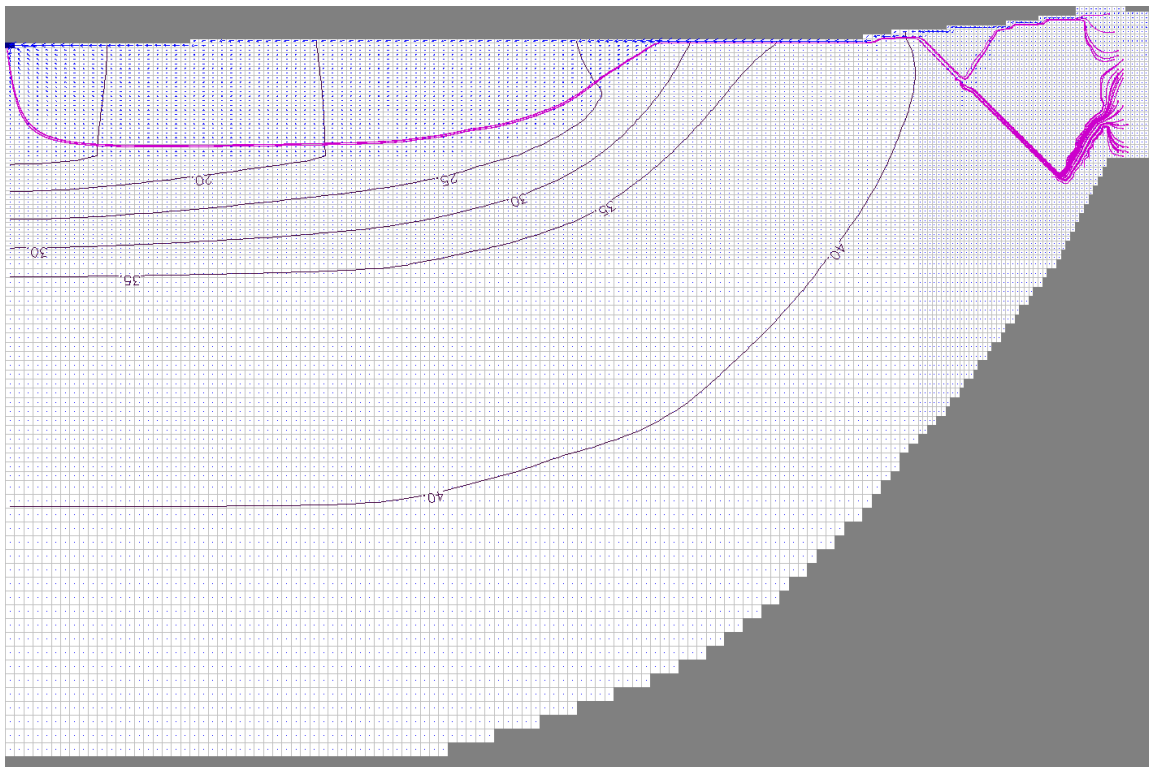


Abbildung 5 – Wie Abbildung 3 (**Fall A**). In violett sind einige Bahnlinien dargestellt, die im rechten Modellbereich (Einsturzgebirge) starten und im Vorfluter (links) enden. Man erkennt die konzentrierende Wirkung von Zonen und Schichten mit erhöhten Durchlässigkeiten.

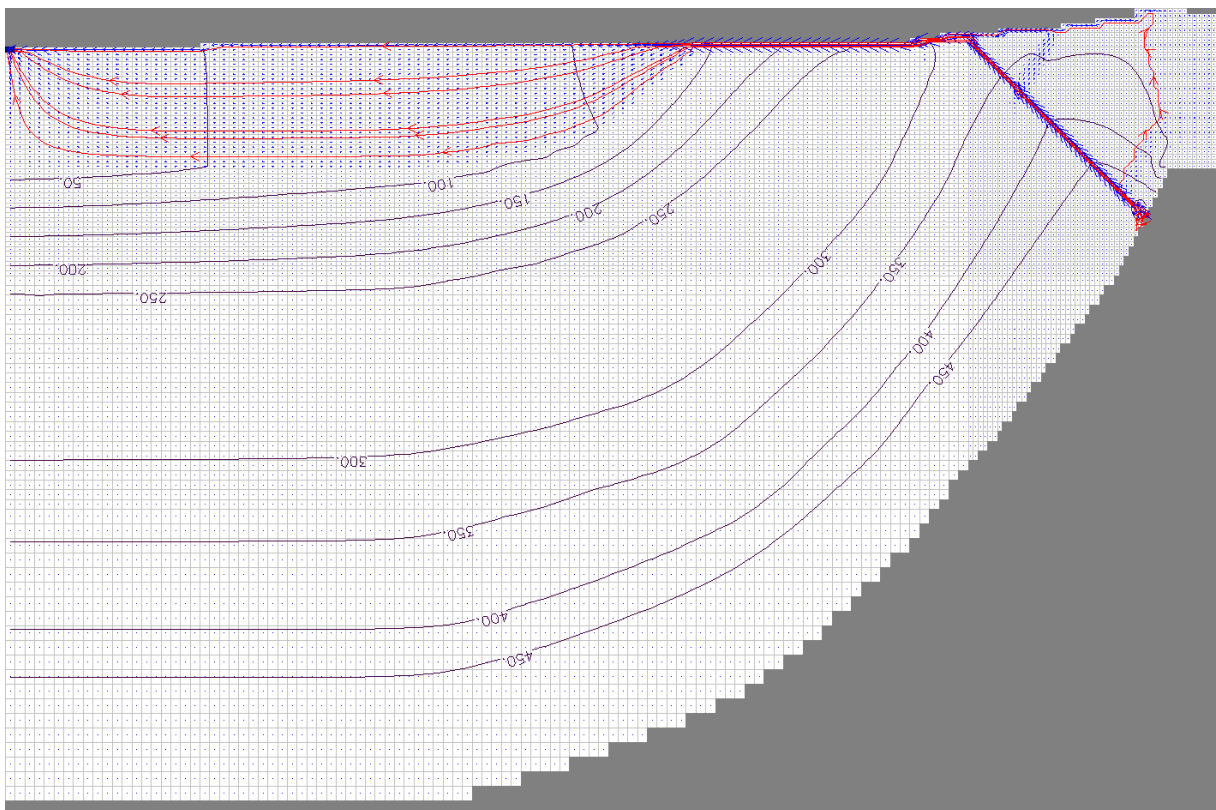


Abbildung 6 – Wie Abbildung 4 (**Fall B**). In rot sind einige Bahnlinien dargestellt, die an der Leckstelle beginnen und im Vorfluter (links) enden. Interessant ist der Seitenpfad über das Einsturzgebirge, neben dem Hauptpfad über die Störung.

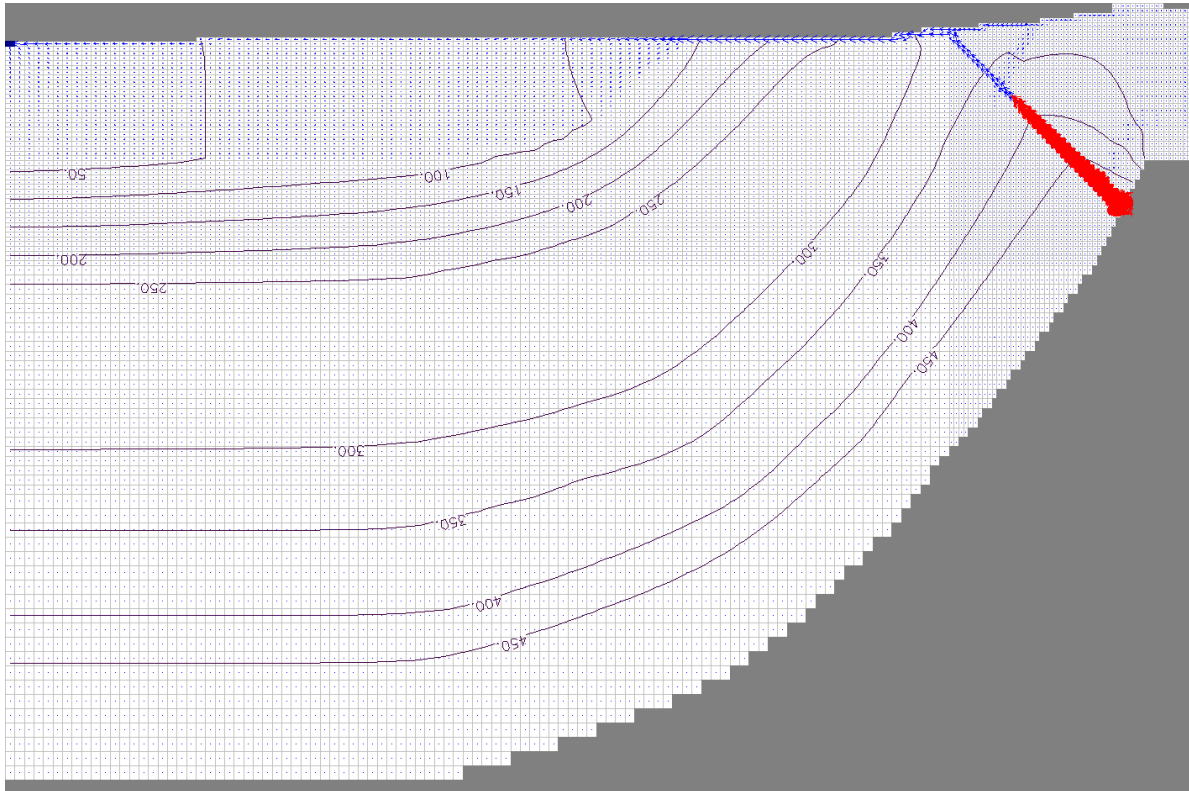


Abbildung 7 – Wie Abbildung 6 (**Fall B**). 100-Tage-Isochrone (Einhüllende der roten Bahnlinien)

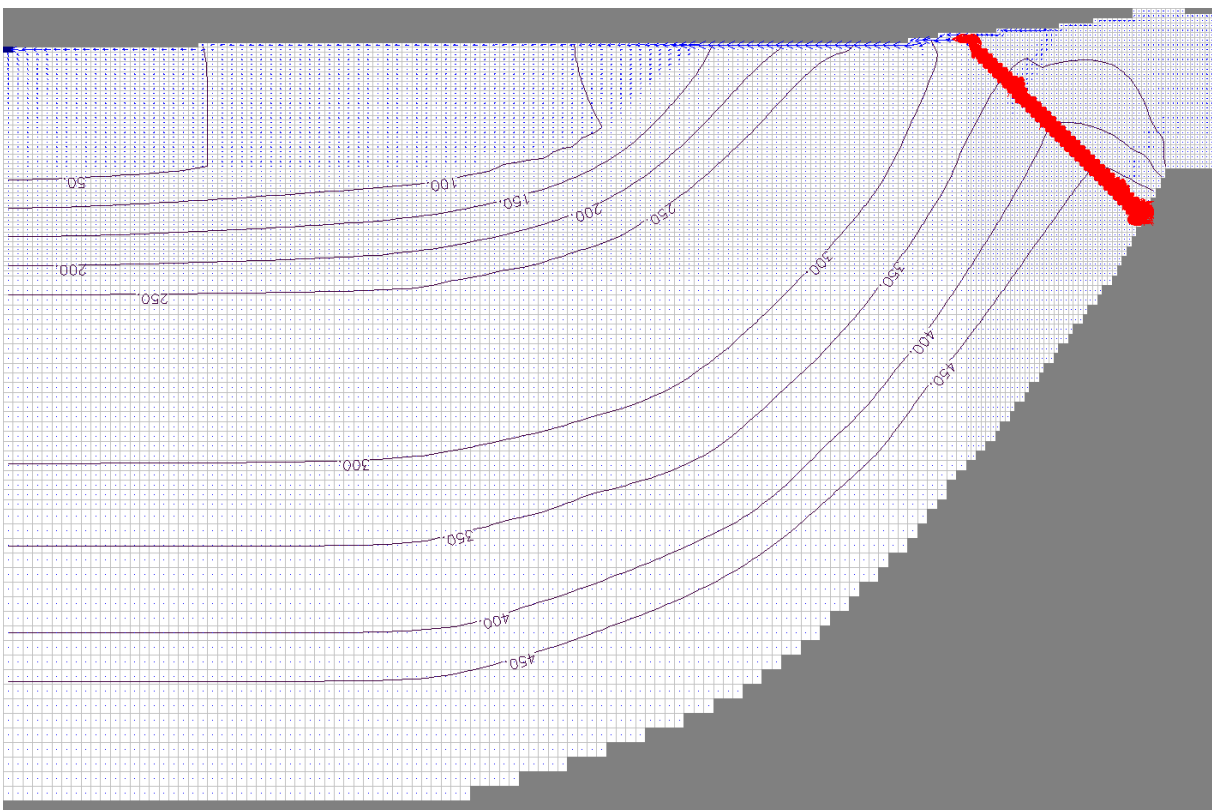


Abbildung 8 – Wie Abbildung 6 (**Fall B**). 200-Tage-Isochrone (Einhüllende der roten Bahnlinien). Die ausgepresste Lösung erreicht die Erdoberfläche.

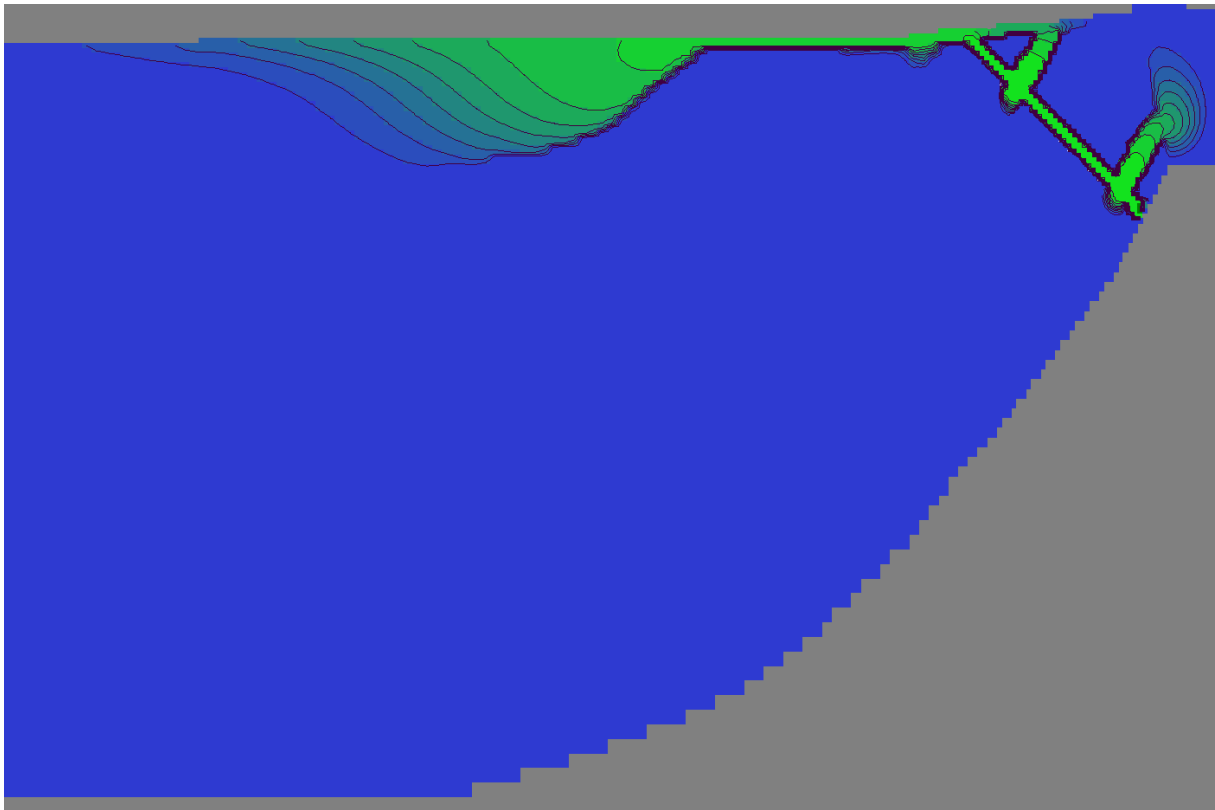


Abbildung 9 – (Fall B). Schadstoff-Verteilung nach 10 Jahren, in 10-er Prozentschritten der Ausgangskonzentration (an der Leckstelle). Man beachte die beiden von der Störung abzweigenden Seitenäste entlang relativ durchlässiger Schichten, sowie die Ausbreitung entlang oberflächennaher Schichten und in der Oberkreide-Mulde, mit jeweils ebenfalls relativ durchlässigen Gesteinen.

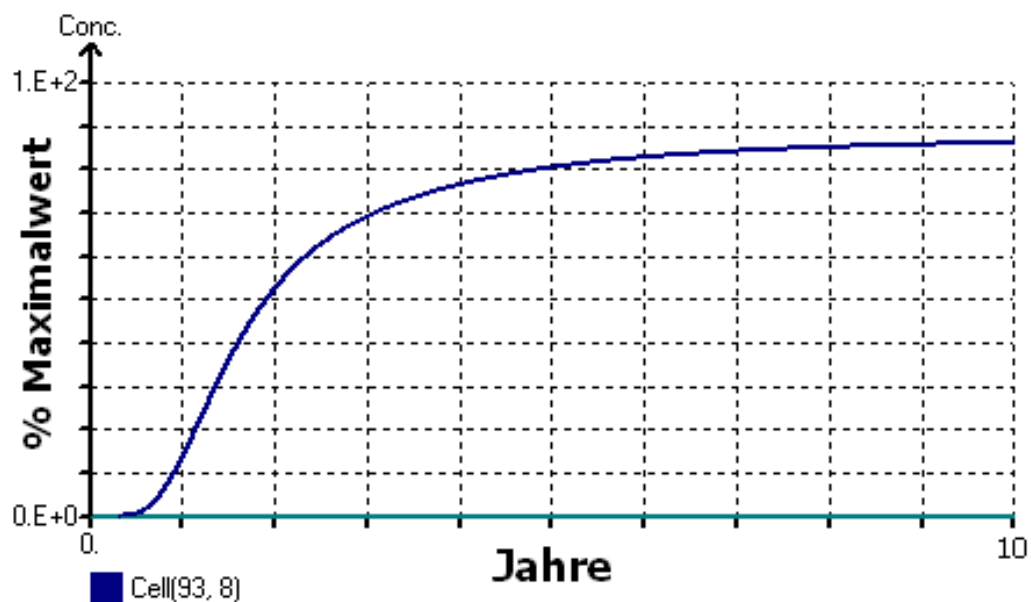


Abbildung 10 – (Fall B). Verlauf der Schadstoffkonzentration in der Beobachtungszelle (Vgl. Abbildung 2), ausgedrückt als Prozentanteil der Maximalkonzentration an der Leckstelle.

Diskussion:

Die Geometrie des 2-dimensionalen Modells bildet im Prinzip die Schnittpur der Modellebene mit der streichenden Störung (S3D9) nach, die im Modell eine Breite (in y-Richtung) von 10 m hat und in der Modellebene (x-z) durch zickzackartig aneinander grenzende 10 mal 10 Meter große Zellen dargestellt ist. Insofern wird die Strömung entlang eines linear ausgedehnten Korridors mit erhöhten kf-Werten modelliert und die laterale Ausbreitung der Grundwasserströmung (in y-Richtung) verhindert. Diese Situation würde in der Natur einer Kreuzungslinie von zwei Störungen entsprechen, beispielsweise der streichenden Störung S3D9 mit einer der zahlreichen Querstörungen. Insofern ist die Modellgeometrie berechtigt.

Der Rechenfall A ergibt eine plausible Druckverteilung im Untergrund, die im Wesentlichen von topographischen Höhenunterschieden der jeweiligen Speisungsgebiete geprägt ist.

Im Rechenfall B wird, bei ansonsten identischen Bedingungen, mit konstanter Rate ein Volumen von 10.000 m³ Lösung in das Nebengebirge gepresst. Aufgrund der generell niedrigen Gebirgsdurchlässigkeiten baut sich von der Leckstelle aus ein hoher hydrostatischer Überdruck auf. Die Wasserbilanz des Systems bleibt dabei ausgeglichen, das heißt, die über die Festpotentialzelle (Vorfluter) abfließende Wassermenge ist gleich der Grundwasserneubildung plus der Injektionsrate an der Leckstelle (Schluckbrunnen). Bei den hohen Überdrücken und den niedrigen Gebirgsdurchlässigkeiten spielen Dichteunterschiede verschieden hoch mineralisierter Wässer keine Rolle. Die hohen Überdrücke würden in der Natur durch hydraulische Rissbildung dazu führen, dass ggf. neue Wegsamkeiten aufreißen oder bestehende aufgeweitet werden.

Im Gegensatz zum Modell würden in der Natur die hohen, weit über den Ortshöhen liegenden Piezometerhöhen (Fall B) abgebaut, indem es an der Oberfläche zu kontaminierten Salzwasser-Austritten kommt, und zwar primär entlang des Störungsausbisses (S3D9), aber auch entlang der Ausbisse von durchlässigen Schichten, die von der Störung geschnitten werden (Unterer Muschelkalk, Einsturzgebirge).

In den Abbildungen 7 und 8 sind für den Fall B die für 100 bzw. 200 Tage berechneten Isochronen dargestellt, die entlang der Störung stark in die Länge verzerrt sind. Man erkennt jedoch, dass nach ca. 200 Tagen das erste aus der Schachanlage Asse II ausgepresste Salzwasser die Oberfläche erreicht. Die Zeit läuft etwa ab dem Moment, an dem an der Leckstelle (Südflanke der Schachanlage Asse II) die Strömungsrichtung sich umkehrt, von Zuflüssen zu Abflüssen, wobei die maximale Auspress-Rate (hier im stationären Modell 10 000 m³/a) nicht instantan erreicht werden wird.

Neben diesen Strömungs-Berechnungen wurden auch Transport-Berechnungen durchgeführt, mit dem Modul ASMPATH. Die Abbildung 9 zeigt die räumliche Verteilung der Schadstoffe nach 10 Jahren. Man erkennt, dass neben dem Hauptausbreitungspfad entlang der Störung auch die von der Störung angeschnittenen, höher durchlässigen Gesteine (Oberer und Unterer Muschelkalk, Einsturzgebirge) kontaminiert werden. Wo die Störung ausbeißt, würden in der Natur die durchlässigen Decksedimente vermutlich durchdrungen und es würde zu Quellaustritten kommen. Die Schadstoff-Konzentrationen sind relativ zur Maximal-Konzentration an der Leckstelle (also in Prozentwerten) angegeben. Dadurch ist das Modell unabhängig von den Absolut-Konzentrationen der Schadstoffe.

Der zeitliche Verlauf der Schadstoff-Konzentrationen wurde durch eine registrierende Zelle im Abstrombereich des Störungsaustritts ermittelt (Abbildung 10). Man erkennt, dass nach

etwa 5 Jahren ein Plateau beginnt, bei dem die Schadstoff-Konzentrationen bereits ca. 80 Prozent des Maximalwertes betragen. Bei den Transport-Berechnungen wurden keine Retardierung und kein Schadstoff-Abbau, z.B. durch radioaktiven Zerfall, berücksichtigt.

Fazit:

Diese vorläufigen Berechnungen zeigen, dass bei der „Option Vollverfüllung“ der Schachtanlage Asse II bereits nach wenigen Jahrzehnten mit Kontaminationen im Bereich der Biosphäre gerechnet werden müsste. Sobald infolge Gasbildung und Konvergenz radioaktive Lösungen ins Nebengebirge ausgepresst würden, würden diese innerhalb eines oder weniger Jahre auch in hoher Konzentration die Oberfläche erreichen. – Von einer Vollverfüllung der Schachtanlage Asse II muss daher dringend abgeraten werden.

Quellenangaben:

Chiang, Kinzelbach und Rausch (1998) <http://www.ihw.ethz.ch/soft/asm12.pdf>

COLENCO (2006) Hydrogeologische Modellvorstellungen. Bericht 4956/07 Revision 3. GSF, Forschungsbergwerk Asse, (Tabelle 18).

Kinzelbach und Rausch (1995) Grundwassermodellierung. 283p. Borntraeger, Stuttgart

Mit freundlichen Grüßen,

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Ralf Krupp', with a stylized, cursive script.

Ralf Krupp

Arbeitsgruppe Optionenvergleich (AGO)

26.11.2009

Sondervotum zur Langzeitsicherheit der Stilllegungsoption „Vollverfüllung“

Auf der gestrigen Sitzung der Arbeitsgruppe Optionenvergleich (AGO) wurde unter großem Zeitdruck die Stellungnahme zu den drei Machbarkeitsstudien zur Stilllegung der Schachtanlage Asse II verabschiedet. Die Diskussion der Langzeitsicherheit konnte daher nicht in ausreichender Tiefe geführt werden.

Aus Sicht des Verfassers ist der Aspekt der Langzeitsicherheit ein unabdingbares Entscheidungskriterium im Optionenvergleich und bedarf daher einer weitergehenden Betrachtung, auch wenn aus Zeitgründen umfassende Sicherheitsstudien vor dem anstehenden Optionenvergleich nicht mehr möglich sind. Leider sind in den Machbarkeitsstudien entweder keine Aussagen zur Langzeitsicherheit enthalten, oder es gibt, wie im Fall der Vollverfüllungsstudie, sogar quantitative Aussagen, die jedoch einer seriösen Grundlage entbehren. Diese quantitativen Aussagen sollten daher nicht berücksichtigt werden!

Bei der Option Vollverfüllung wären aus Sicht des Verfassers mindestens zwei kritische Szenarien zur Kontamination der Biosphäre zu betrachten, die sich in ihrer Wirkung zeitlich überlappen und partiell summieren:

Szenario 1 (Gasantrieb)

Mit einsetzender Flutung werden die radioaktiven und toxischen Abfälle einem wässrigen Reaktionsmedium ausgesetzt, wodurch sich nach Aufzehrung des verbliebenen Luftsauerstoffs rasch anoxische Bedingungen einstellen. Die Korrosion der eingelagerten Metalle und der mikrobielle Abbau der organischen Substanzen werden zur Bildung größerer Gasmengen, zur Entstehung einer Gasphase und zum Aufbau eines Gasdrucks führen. Sobald der Gasdruck im Grubengebäude den hydrostatischen Druck des Deckgebirgs-Grundwassers in der Tiefe der Zutrittsstelle an der Südflanke übersteigt, wird kontaminiertes Grubenwasser und Gas ins Nebengebirge ausgepresst. Beim Aufstieg dieser unter Druck gasgesättigten Lösungen kommt es mit abnehmendem hydrostatischen Grundwasserdruck zur Bildung von

Gasblasen, so dass ein zweiphasiges, flüssig – gasförmiges Fluid mit abnehmender Gesamtdichte und zunehmendem Auftrieb entsteht. Es ist sowohl eine stationäre (konstante Austrittsrate) wie auch eine eskalierende (eruptives Entweichen des Grubengases bei abgemindertem hydrostatischem Grundwasserdruck) Ausbreitung zur Biosphäre denkbar. Als möglicher Aufstiegs Pfad wird z.B. die Störungszone S3/D9 (Schnitt 2 im Risswerk) angesehen.

Gasbildung:

Aus den ca. 19 000 Tonnen Eisenmetalle/Stahl (340×10^6 mol Fe) entstehen nach der Reaktion



Insgesamt ca. 340×10^6 mol Wasserstoff.

Wenn man annimmt, dass der Stahl in der Asse überwiegend in Form von 1mm-Blech vorliegt, welches unter anaeroben Bedingungen beidseitig mit ca. 10 µm/a korrodiert, bildet sich diese Gasmenge über einen Zeitraum von ca. 50 Jahren ($1000 \text{ µm} / 20 \text{ µm/a} = 50 \text{ a}$).

Aus den ca. 5000 Tonnen organischen Stoffen (Cellulose $\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5$; ca. 2222 Tonnen C; ca. 185×10^6 mol C) entstehen ca. 185×10^6 mol Methan. In Analogie zu Hausmüll-Deponien, wo die methanogene Phase einige Jahrzehnte dauert, kann abgeschätzt werden, dass sich das Methan in der Asse ebenfalls über einen Zeitraum von ca. 50 Jahren bildet.

Sonstige Gase können für die Abschätzung des Gasvolumens vernachlässigt werden. In Summe wird mit der Bildung von rund 525×10^6 Mol Gas über 50 Jahre gerechnet. Bei 25 °C und 50 bar Druck (etwa der hydrostatische Druck des Grundwassers über dem Leck) nimmt diese Gasmenge ein Volumen von rund 260 000 m³ ein und füllt somit einen erheblichen Anteil des Resthohlraumes aus. Die Löslichkeit von Wasserstoff und Methan in wässrigen Lösungen kann bei der Gasvolumen-Abschätzung vernachlässigt werden.

Stationäre Freisetzung:

Dividiert man die 260 000 m³ entstehende Gasphase (25 °C; 50 bar) durch den Zeitraum von 50 Jahren, so ergibt sich eine zeitlich gemittelte, stationäre Leakage-Rate für kontaminierte Grubenlösungen von 5200 m³/a. Die Bildung von Gas ist also in den ersten fünfzig Jahren nach Flutung ein wichtiger Antriebsmechanismus zur Auspressung von kontaminierten Lösungen ins Deckgebirge und in die Biosphäre. Hinzugerechnet werden muss die konvergenzbedingte Auspressungs-Rate. Außerdem muss auch mit dem direkten Entweichen von radioaktiver Gasphase gerechnet werden.

Eruptive Freisetzung:

Nach Verlassen des Grubengebäudes geraten die kontaminierten und gasgesättigten Grubenwässer in Bereiche mit geringerem hydrostatischem Grundwasserdruck. Dies führt zur Entmischung gelöster Gase und zur Bildung eines 2-Phasen-Fluids mit geringer Dichte. Bis zur Erreichung der Erdoberfläche dehnt sich das Volumen des 2-Phasengemisches aus; seine Gesamtdichte fällt ab. Dieses 2-Phasen-Fluid verdrängt entlang des Aufstiegs Pfades das Grundwasser, so dass lokal geringere hydrostatische Drücke herrschen. Dies führen wieder zur weiteren Entmischung gelöster Gase, zur Zunahme des Gasvolumens und zur Abnahme der Gesamtdichte des Fluids, wodurch der hydrostatische Druck weiter abfällt, usw. Solche Prozesse sind aus Geothermalgebieten oder von gasreichen Quellen bekannt. Auf diesem Wege könnten innerhalb kurzer Zeit (Tage) erhebliche Gasmengen in die Biosphäre

freigesetzt werden. Gleichzeitig würden nicht quantifizierbare Mengen kontaminierter Lösungen mitgerissen.

Szenario 2 (Konvergenz-Antrieb)

Mit auflaufender Konvergenz gerät das kontaminierte Grubenwasser unter Druck und wird an der früheren Zutrittsstelle ins Nebengebirge ausgepresst. Die Auspressraten entsprechen der Volumenkonvergenz. Der Austrittspfad der Lösungen ist eine streichende Störung, die eine Wegsamkeit zur Oberfläche bildet. Diese Störungszone hat hohe k_f -Werte, so dass nur eine geringe Durchmischung der kontaminierten Lösungen mit dem Grundwasser erfolgt.

Modellierungs-Ansatz (nur Konvergenz)

Numerisches zweidimensionales vertikales Strömungs- und Ausbreitungsmodell, z.B. entsprechend dem markscheiderischen Schnitt 2, mit folgenden Randbedingungen: Unterer Modellrand und Salzkontakt undurchlässig; linker und rechter Modellrand als Wasserscheide (Randstromlinie); oberer Modellrand als aktive Zellen mit Grundwasserneubildung. Zutrittsstelle am Salzkontakt wird zur Brunnenzelle mit Zuflussrate entsprechend Konvergenzrate. Abbildung des Nebengebirges und der streichenden Störung durch realistische k_f -Werte.

Fazit:

Im Falle einer Weiterverfolgung des Konzeptes „Vollverfüllung“ müssen als unverzichtbare Entscheidungsgrundlage Abschätzungen zu den radiologischen Konsequenzen der oben skizzierten Prozesse vorgelegt werden.



Burgdorf, 26.11.2009

Dr. Ralf Krupp

Anlage 2

COLENCO/GRS (2010): Stellungnahme zur Modellierungsstudie „Strömungs- und Transportmodell, Langzeitsicherheit Asse II“ von Dr. habil. R. E. Krupp vom 29.12.2009. Resele, G. & Poppei, J., AF-Colenco, Baden (Schweiz) und Mönig, J., Buhmann, D. & Förster, B., GRS, Braunschweig, 18.02.2010

An: BfS – Frau Dr. I. Kistner

Von: AF-Colenco – Dr. G. Resele, Dr. J. Poppei
GRS-BS – Dr. J. Mönig, Dr. D. Buhmann, Dr. B. Förster

zur Kenntnis: --

P:\1764_ge\Technische Unterlagen\ME1764_04_Stell_Modell_Krupp_R1a.doc

**Stellungnahme zur Modellierungsstudie
„Strömungs- und Transportmodell, Langzeitsicherheit Asse II“
von Dr. habil. R.E. Krupp vom 29.12.2009**

1 Einführung

Zu Recht weist Dr. Krupp in der Einleitung zur o.g. Modellierungsstudie und auch in dem dieser Modellierungsstudie zugrunde liegenden Sondervotum vom 26.11.2009 auf die Bedeutung hin, die die Lösungsauspressrate nach Stilllegung der Schachanlage und die Ausbreitung der ausgepressten Grubenlösung im Deckgebirge im Hinblick auf die Langzeitsicherheit besitzen. Ebenfalls zu Recht nennt Dr. Krupp im *Sondervotum* die Gasbildung und die Konvergenz als ursächliche Prozesse für das Auspressen von Lösung aus der Grube in das Deckgebirge nach der Stilllegung.

Leider hat Dr. Krupp offensichtlich keine Kenntnisse davon, dass diese Sachverhalte dominierender Gegenstand sowohl der qualitativen Szenarienanalyse als auch der quantitativen Modellrechnungen waren, welche im Rahmen der Arbeiten zum Langzeitsicherheitsnachweis durchgeführt und in den von HMGU eingereichten Genehmigungsunterlagen dargelegt wurden. Eine relativ konzentrierte Zusammenfassung der Analysen und ihrer Ergebnisse vermittelt [GRS&COL 2006b], eine ausführliche Darstellung der Schadstoffausbreitung im Deckgebirge [COL 2006] und [GRS&COL 2006a].

Dr. Krupp bringt weder mit dem *Sondervotum* noch mit der *Modellierungsstudie* neue Aspekte in die Diskussion um die Langzeitsicherheit. Er behandelt die genannten Prozesse und Sachverhalte jedoch anders, als sie in den Analysen im Auftrag von HMGU berücksichtigt wurden. Im Interesse einer möglichst sachgerechten Auseinandersetzung mit der Frage der Langzeitsicherheit der Schachanlage Asse II nach einer Stilllegung gemäß dem Konzept Vollverfüllung werden hier die konzeptuellen und quantitativen Annahmen und Methoden, die Dr. Krupp verwendet, jenen gegenüber gestellt, die in den Analysen im Auftrag von HMGU Eingang fanden. Die Unterschiede sind dann zu bewerten. Im Endergebnis lassen sich dann die Belastbarkeit der Schlussfolgerungen von Dr. Krupp und in den Analysen im Auftrag von HMGU einschätzen sowie Aussagen zur eventuellen Notwendigkeit von ergänzenden Analysen formulieren.

Nachfolgend werden die Annahmen und Modellkonzepte von Dr. Krupp, die von jenen in den Analysen im Auftrag von HMGU wesentlich abweichen und nach Einschätzung der Autoren dieser Stellungnahme auch für das Stilllegungskonzept Vollverfüllung diskussionswürdig sind, der Reihe nach genannt und – ohne Anspruch auf Vollständigkeit – diskutiert. Dazu müssen der angestrebten Kürze halber die teilweise komplexen Zusammenhänge vereinfacht dargestellt werden. Für ausführlichere Darlegungen wird auf Quellen verwiesen.

Die Ausführungen sind in drei Teile gegliedert: (i) Lösungsauspressung aus der Grube, (ii) Konzept Deckgebirgsmodell und (iii) Modellergebnisse Deckgebirgsmodell.

2 Diskussion von Annahmen und Modellkonzepten

2.1 Lösungsauspressung aus der Grube

Im Sondervotum schätzt Dr. Krupp die Gasbildung auf insgesamt 260 000 m³ bei 5 MPa Druck, entsprechend¹ 13 Mio. m³_{STP}, und die Dauer der Gasbildung auf lediglich 50 Jahre. Dies ergibt eine Gasbildungsrate von 260 000 m³_{STP}/a entsprechend 5200 m³/a bei 5 MPa Druck.

Im Rahmen der von HMGU beauftragten Analysen wurde die Gasbildung in der Schachtanlage von ISTec (Köln) untersucht. Das Vorgehen und die Ergebnisse sind in [GRS&COL 2006b] (Kapitel 6.3) zusammengefasst, der entsprechende Literaturverweis auf den ISTec-Bericht ist angeführt. Aufgrund ihrer Analyse kommt ISTec zum Schluss, dass die Gasbildung langsam verläuft und auch nach 200 000 Jahren noch nicht vollständig abgeschlossen ist. Nach ISTec beträgt die nach 200 000 Jahren kumuliert gebildete Gasmenge rund 9 Mio. m³_{STP}; dies ist um etwa 30% weniger als von Dr. Krupp ermittelt. Diesbezüglich besteht somit kein signifikanter Unterschied zwischen den Grundlagen der Analysen. Ein wesentlicher Unterschied besteht jedoch in der Gasbildungsrate. Nach ISTec wird während der ersten 100 Jahre, wenn die Gasbildungsrate am größten ist, rund 1 Mio. m³_{STP} Gas gebildet. Dies entspricht einer mittleren Gasbildungsrate während der ersten 100 Jahre von rund 10 000 m³_{STP}/a, d.h. weniger als 4 % des Wertes nach Dr. Krupp. Die Autoren dieser Stellungnahme sind der Ansicht, dass die Gasbildung bei einer Stilllegung der Schachtanlage nach dem Konzept Vollverfüllung ähnlich den Ergebnissen von ISTec wäre, da die Anfangsbedingungen – vor allem durch das Einleiten von technischer MgCl₂-Lösung in die LAW-Bereiche – gleich sind ([COL&GRS&IfG 2009], Kapitel 6.1.4).

¹ „STP“ steht hier und im Folgenden für 25°C und 0,1 MPa.

Dr. Krupp unterstellt im Sondervotum, dass die Gasbildung im Verhältnis 1:1 die Auspressung von Lösung bewirkt, d.h. dass die von ihm berechnete Gasbildung von $5200 \text{ m}^3/\text{a}$ bei 5 MPa zu einer volumenmäßig gleichen Lösungsauspressung während der gesamten Dauer der Gasbildung führt.

Der von Dr. Krupp genannte Prozess der gasgetriebenen Lösungsauspressung wurde in den Modellrechnungen im Auftrag von HMGU berücksichtigt. Er wirkt allerdings nur bis zum Beginn des Gasaustritts aus der Grube in das Deckgebirge. Dies und die maßgebenden Ursachen dafür sind in [GRS&COL 2006b] genannt. Sobald der Gasaustritt aus der Grube einsetzt, endet das Anwachsen der gespeicherten Gasvolumina in der Grube und damit das Verdrängen von Lösung. Damit endet auch das gasgetriebene Auspressen von Lösung aus der Grube. Je größer die Rate der Gasbildung, desto früher setzt die Gasfreisetzung aus der Grube ein und endet die gasgetriebene Lösungsauspressung aus der Grube. Nach den Modellrechnungen im Auftrag von HMGU setzt die Gasfreisetzung in das Deckgebirge je nach Szenario für die Gasbildung und das Gasspeichervolumen in der Grube nach einigen bis mehreren Hundert Jahren ein. Nach dem Ende der gasgetriebenen Lösungsauspressung bewirkt nur noch die Konvergenz der Grubenbaue eine Lösungsauspressung.

In der Modellierungsstudie setzt Dr. Krupp ohne weitere Begründung eine zeitlich anhaltende Lösungsauspressrate von $10\,000 \text{ m}^3/\text{a}$ an.

Es ist zu vermuten, dass dieser Ansatz durch Verdoppelung der von Dr. Krupp berechneten Lösungsverdrängung durch Gasbildung/-speicherung entstanden ist. Die Analysen im Auftrag von HMGU beinhalteten neben detaillierten Abklärungen zur Gasbildung durch ISTec auch umfangreiche Untersuchungen zur Konvergenz der Grubenbaue in der Phase nach Stilllegung der Grube. Diese wurden von IfG (Leipzig) durchgeführt, stützen sich auf die in der Schachanlage vorgenommenen gebirgsmechanischen Messungen und umfassen sowohl numerische 2D- als auch 3D-Modellrechnungen. Eine zusammenfassende Darlegung dieser Modellrechnungen enthält Kapitel 6.5 von [GRS&COL 2006b]. Die Modellrechnungen berücksichtigen unter anderem, dass ein hoher hydraulischer Widerstand des Deckgebirges bei Lösungsauspressung zu einem hohen Lösungsdruck im Grubengebäude führt, der mäßigend auf die Konvergenz der Grubenbaue wirkt (negative Rückkopplung). Dies ist ein Effekt, der im Modell von Dr. Krupp nicht berücksichtigt wird (siehe Anmerkung in Kapitel 2.3).

Nach den Modellrechnungen im Auftrag von HMGU bewirken die Lösungsverdrängung durch Gasspeicherung und jene durch Konvergenz der Grubenbaue zusammen eine Lösungsauspressrate aus der Grube in das Deckgebirge von

- o rund $1000 \text{ m}^3/\text{a}$ während einigen Jahrzehnten,
- o rund $400 \text{ m}^3/\text{a}$ während einigen Jahrhunderten und
- o rund $100 \text{ m}^3/\text{a}$ während einigen Jahrtausend.

Der mögliche Unterschied in der Lösungsauspressrate aus der Grube nach einer Stilllegung gemäß dem HMGU-Konzept und einer Stilllegung nach dem Konzept Vollverfüllung wurde in

[COL&GRS&IfG 2009], Kapitel 6.1.6, diskutiert. Die Autoren kamen zum Schluss, dass die Auspressrate je nach Zusammensetzung der zuvor aus dem Deckgebirge zugetretenen Lösung sowohl etwas kleiner als auch etwas größer sein kann. Der von Dr. Krupp angesetzte Wert von $10\,000\text{ m}^3/\text{a}$ erscheint den Autoren dieser Stellungnahme als unrealistisch groß².

2.2 Konzept Deckgebirgsmodell

Dr. Krupp begründet seinen Modellansatz mit der Abbildung einer Störung, die streichend verläuft und bis an die Flanke der Salzstruktur reicht. Diese Störung bildet er dann in einem vertikalen 2D-Modell ab. Die für die Grube abgeschätzte Lösungsauspressrate von $10\,000\text{ m}^3/\text{a}$ lässt er dann in dieses 2D-Modell einpressen, indem er dem Modell eine Mächtigkeit von 10 m zuweist. Erst in der abschließenden Diskussion der Ergebnisse wird die abgebildete Wegsamkeit nicht mehr als Störung sondern als Schnittlinie zweier Störungen neu interpretiert.

Die Diskussion in der vorliegenden Stellungnahme geht nur von der letzten Interpretation von Dr. Krupp aus³: Modelliert wird der Einfluss einer hochdurchlässigen eindimensionalen Wegsamkeit, die durch die Schnittlinie von zwei Störungen gebildet wird und vom Ort des Lösungsübertritts aus der Grube schräg nach oben in die Biosphäre reicht. Durch die Beschränkung auf eine 2D-Modellierung dieser angenommenen hydrogeologischen Situation werden Abflüsse aus der Wegsamkeit im Streichen vernachlässigt. Wenn jedoch die Schnittlinie der beiden Störungen die von Dr. Krupp angesetzte hohe hydraulische Durchlässigkeit aufweist, dann stellt sich die Frage, weshalb nicht wenigstens eine der beiden Störungen ebenfalls deutlich erhöhte k_f -Werte aufweist und Abflüsse aus der eindimensionalen Wegsamkeit erlaubt. Die Annahme von Dr. Krupp, dass eine hochdurchlässige 1D-Wegsamkeit existiert, welche das Deckgebirge der Salzstruktur Asse durchschlägt und aus der ein merklicher seitlicher Abfluss von Lösung durch geringe hydraulische Leitfähigkeiten behindert ist, wird durch die Autoren dieser Stellungnahme als nicht plausibel eingestuft.

Die in Abbildung 2 der Modellierungsstudie dargestellte Modellgeometrie zeigt auf-fallend geringmächtige Grundwasserleiter des Oberen und Unteren Muschelkalk (μ und μ_o) und einen relativ mächtigen geringleitenden Mittleren Muschelkalk (mm).

Die unrealistischen Mächtigkeitsverhältnisse im Rechenmodell von Dr. Krupp zeigen sich direkt im Vergleich zwischen den beiden Abbildungen 1 und 2 auf der gleichen Seite in der *Modellie-*

² Der Ansatz für die Lösungsauspressrate nach einer Stilllegung gemäß dem Konzept Vollverfüllung darf nicht mit Annahmen vermischt werden, die für die Abschätzung von potenziellen Auswirkungen bei einem unkontrollierten Absaufen der Schachanlage getroffen werden.

³ Die Auswirkungen einer Störung mit beschränkter Ausdehnung im Streichen könnte höchstens beschränkt durch ein vertikales 2D-Modell ermittelt werden. Voraussetzung wäre jedoch eine Skalierung der Lösungsauspressrate im Modell entsprechend dem Verhältnis von Modelldicke (hier 10 m) und Ausdehnung der Störung im Streichen.

rungsstudie. Dr. Krupp unterstellt zudem, dass der Mittlere Muschelkalk *mm* bis in Oberflächen-nähe gering durchlässig ist und vernachlässigt damit den Einfluss der Subrosion des Muschelkalksalinars *mmNa*. Nach den Hydrogeologischen Modellvorstellungen reicht die Subrosion des *mmNa* bis in etwa 500 m Teufe. Durch diese Annahmen von Dr. Krupp werden die seitlichen Abflüsse aus der hoch durchlässigen 1D-Wegsamkeit im Modell von Dr. Krupp zusätzlich unterschätzt.

In der Modellierungsstudie wird nicht differenziert zwischen dem eher spröde reagierenden Rötanhydrit (so1A) und dem tonig-mergeligen Röt 2 bis Röt 4 (so2-so4).

Dr. Krupp unterscheidet nicht zwischen dem anhydritischen (und damit geklüfteten und vermutlich hydraulisch relativ gut durchlässigen) Rötanhydrit *so1A* und dem tonig-mergeligen, und damit gering durchlässigen Rötquitard *so2-so4*. Im Modell von Dr. Krupp liegt gering durchlässiger Oberer Buntsandstein (Röt) direkt auf der Salzstruktur auf.

Nach dem Modellkonzept von Dr. Krupp ohne Differenzierung von Rötanhydrit *so1A* und Rötquitard *so2-so4* erfolgt der heutige Lösungszutritt in die Grube ausschließlich entlang „seiner“ Störung S3D9, praktisch ohne Wechselwirkung mit dem angrenzenden Gestein. Dies widerspricht den Schlussfolgerungen aus den geochemischen Analysen und deren Interpretation [GRS&COL 2006b] (Kapitel 2.6). Eine weitere Folge der Modellannahme von Dr. Krupp wäre, dass sich der heutige Lösungszutritt sehr lokal in der Salzstrukturflanke an NaCl aufkonzentrierte, was zu beobachtbaren Auswirkungen führen würde. Solche werden aber nicht festgestellt.

Im *Sondervotum* stellt Dr. Krupp ein Szenario 2 zur Diskussion, in dem eine Störungszone von der Übertrittsstelle in der Flanke zur Geländeoberfläche führt. Dieses Szenario wird in den Modellrechnungen im Auftrag von HMGU sinngemäß betrachtet, indem im Rechenfall R12 dem Rötanhydrit *so1A* eine hohe und dem angrenzenden Rötquitard *so2-so4* eine geringe Durchlässigkeit zugewiesen wird [COL 2006].

Die in Abbildung 2 der Modellierungsstudie dargestellte Modellgeometrie zeigt einen zu hoch angesetzten Ort des Übertritts von Lösung zwischen Deckgebirge und Grube (Ansatzpunkt der Störung).

Die im Schnitt S2 des Risswerkes Asse II dargestellte Trennfläche S3/D9 grenzt in etwa 500 m Teufe an die Salzstrukturflanke. Die Grenze zwischen Salzstruktur und Hutgestein liegt in rund 300 m Teufe. Das Modell von Dr. Krupp zeigt ein abweichendes Verhältnis der Teufenlage von Obergrenze der Salzstruktur und Übertrittsort von Lösung zwischen Grube und Deckgebirge.

Dr. Krupp weist „seiner“ Störung S3D9 einen k_f -Wert von $1 \cdot 10^{-5}$ m/s zu.

Der von Dr. Krupp angesetzte Wert für den k_f -Wert „seiner“ Störung S3D9 (d.h. der angenommenen 1D-Wegsamkeit, welche durch die Schnittlinie von zwei Störungen gebildet wird) übersteigt mit $1 \cdot 10^{-5}$ m/s z.B. den k_f -Wert des gering durchlässigen Rötquitard *so2-so4*, den diese

Störung durchschlägt, um den Faktor 5 000 000. Dies ist für tonig-mergeliges Gestein unrealistisch hoch. In einem der Rechenfälle in [COL 2006] wurde ein Verhältnis der Permeabilität von einem Faktor 100 zwischen bergbaubedingt gestörtem und bergbaubedingt ungestörtem Röt-aquitard *so2-so4* angesetzt, was von den Gutachtern der Behörde als sehr hoch eingestuft wurde. Ein Faktor von 5 000 000 – und damit ein unrealistischer Unterschied – zwischen dem k_f -Wert der Wegsamkeit S3D9 und jenem des umgebenden Gesteins wird von Dr. Krupp auch für den Mittleren Muschelkalk *mm* angenommen. Beim Unteren und Mittleren Keuper (*ku* und *km*) beträgt der Faktor im Modell von Dr. Krupp 500 000, was durch die Autoren dieser Stellungnahme ebenfalls als unrealistisch hoch eingestuft wird.

Sofern Dr. Krupp für die angenommene 1D-Wegsamkeit S3D9 einen signifikant niedrigeren, plausiblen k_f -Wert ansetzen würde, könnte das Modell den heutigen Lösungszutritt von rund 12 m³/Tag nicht erklären. Mit plausiblen Annahmen für die maßgebenden Parameter kann daher das Modell von Dr. Krupp die heutigen Verhältnisse nicht wiedergeben.

Dr. Krupp vernachlässigt Dichte- und Viskositätseffekte.

Sofern die übrigen Annahmen von Dr. Krupp zutreffen und die Lösungsauspressung mit hoher Rate stark kanalisiert entlang der postulierten 1D-Wegsamkeit erfolgen würden, dann wäre die Vernachlässigung von Dichte- und Viskositätseffekte mit der von Dr. Krupp angeführten Begründung berechtigt. Wie oben dargestellt wurde, treffen jedoch verschiedene Annahmen von Dr. Krupp nach Ansicht der Autoren dieser Stellungnahme nicht zu. Sofern die Lösungsauspressrate geringer und zudem mit der Zeit abnehmend ist und alternative Ausbreitungspfade im Deckgebirge ab dem Übertrittsort bestehen, kommt diesen Prozessen eine erhebliche Bedeutung zu. Dies zeigt sich u.a. in den in [COL 2006] dargelegten Modellergebnissen. Die Bedeutung von Viskositätseffekten beruht auf dem Umstand, dass das Verhältnis der dynamischen Viskositäten von Süßwasser, von an NaCl gesättigter Lösung (gesättigter Deckgebirgslösung) und von technischer MgCl₂-Lösung (Grubenlösung) 1:2:8 beträgt. Da Dr. Krupp vermutlich mit der Viskosität von Süßwasser gerechnet hat, bedeutet dies, dass der Druckanstieg in der Grube als Folge der Lösungsauspressung gemäß Modell Krupp bei korrekter Berücksichtigung der Viskosität 8mal größer wäre (d.h. 40 MPa anstelle von 5 MPa) oder dass der 1D-Wegsamkeit ein 8fach höherer k_f -Wert zugewiesen werden müsste.

2.3 Modellergebnisse Deckgebirgsmodell

Mit dem Modell von Dr. Krupp ergibt sich ein Anstieg des Lösungsdrucks an der Übertrittsstelle und damit in der Grube von 500 m Wassersäule = 5 MPa.

Die Konvergenz eines Grubenbaus in der Schachtanlage wird vom Fluiddruck, der im Grubenbau herrscht, gebremst. Bei einem Druckanstieg um 5 MPa über den hydrostatischen Druck beträgt der Fluiddruck rund 10 MPa und liegt nur noch wenig unter dem Gebirgsdruck. Unter diesen Umständen würde die Konvergenz der Grube praktisch zum Erliegen kommen und damit der

konvergenzbedingte Anteil der Lösungsauspressung wegfallen. Dies ist ein weiterer Grund, weshalb die von Dr. Krupp angesetzte Auspressrate unrealistisch hoch ist (insbesondere wenn noch der in Kapitel 2.2 erwähnte Viskositätseffekt berücksichtigt wird).

Dr. Krupp zeigt nicht, dass die seinem Modell zugrunde liegende hydrogeologische Modellvorstellung mit den heutigen Beobachtungen, speziell dem heutigen Lösungszutritt und dessen hydrochemischer Zusammensetzung, kompatibel ist.

Gemäß dem Modellkonzept von Dr. Krupp erfolgt der heutige Lösungszutritt zu praktisch 100% entlang der postulierten 1D-Wegsamkeit S3D9, ohne signifikante Wechselwirkung mit dem Gestein. Die Lösungszutrittrate kann durch Anpassen des k_f -Wertes von S3D9 im Bereich der Annahme von Dr. Krupp ($1 \cdot 10^{-5}$ m/s) wiedergegeben werden. Im Widerspruch mit den Beobachtungen sind jedoch – wie bereits oben erwähnt – der sich daraus ergebende heutige Zutritt von Süßwasser an die Salzstrukturflanke, die sehr lokale Aufsättigung des Lösungszutritts an der Salzstrukturflanke und die resultierende geochemische Zusammensetzung der in der Grube aufgefangenen Lösung.

Bei der Interpretation der Resultate unterstellt Dr. Krupp stillschweigend und ohne Begründung, dass die Schadstoffkonzentration in der aus der Grube ausgepressten Lösung von Anfang an einen Maximalwert aufweist.

Im Zusammenhang mit einer Schachthanlage mit eingelagerten radioaktiven Abfällen versteht ein Leser unter „Schadstoffen“ Radionuklide. Die Bedeutung des Begriffs „Schadstoffe“ sollte klar gestellt werden. Wenn der Begriff „Schadstoffe“ in der *Modellierungsstudie* für Radionuklide steht, dann ist die Annahme von Dr. Krupp falsch. Die Radionuklidmobilisierung aus den Abfällen und der Radionuklidtransport in der Grube von den Abfällen bis zur Übertrittsstelle in das Deckgebirge erfordern Zeit. Aus diesem Grund würde nach einer Stilllegung der Schachthanlage gemäß Konzept Vollverfüllung zunächst zwar eine relativ hohe Lösungsauspressrate auftreten; die Lösung würde aber noch keine Radionuklide enthalten, oder die Radionuklidkonzentration wäre noch gering. Erst mit der Zeit würden die Konzentrationen der radiologisch relevanten Radionuklide in der ausgepressten Lösung zunehmen, jedoch bei gleichzeitig abnehmender Rate der Lösungsauspressung. Diese Sachverhalte wurden sowohl in den Analysen für HMGU als auch in [COL&GRS&IfG 2009] (Kapitel 6.1.8) diskutiert.

3 Schlussfolgerung

Nach den Ausführungen in Kapitel 2 werden weder die Randbedingungen an der Übertrittsstelle Grube-Deckgebirge (Lösungsauspressrate, Schadstoffkonzentration in der ausgepressten Lösung) noch das hydrogeologische Modell von Dr. Krupp von den Autoren dieser Stellungnahme als plausibel bewertet. Es wird dringend davon abgeraten, Schlussfolgerungen aus den Ergebnissen eines nicht plausiblen Modells für Entscheidungsfindungen abzuleiten. Numerische Modelle und die ihnen zugrunde liegenden konzeptuellen Modelle müssen auf plausiblen Annahmen be-

ruhen und Ergebnisse liefern, die mit den Beobachtungen konsistent sind. Nur wenn diese beiden Kriterien erfüllt sind, sind die Ergebnisse eines Modells – nach Ansicht der Autoren dieser Stellungnahme – eine hilfreiche Grundlage für Entscheidungen. Es ist mit Nachdruck darauf hinzuweisen, dass den Aussagen der Autoren dieser Stellungnahme zum Stilllegungskonzept der Vollverfüllung und zur Modellstudie Dr. Krupp umfangreiche technisch-wissenschaftliche Arbeiten als Grundlage dienen.

Die Forderung von Dr. Krupp, die möglichen Auswirkungen von 1D-Wegsamkeiten durch das Deckgebirge zu prüfen, halten wir für berechtigt. Dies sollte jedoch mit einem plausiblen Modell und auf der Basis von plausiblen Annahmen für die postulierte 1D-Wegsamkeit erfolgen. Solche Wegsamkeiten können – wie von Dr. Krupp genannt – als Schnittlinie von zwei Störungen auftreten. Alternativ können sie durch gebirgsmechanische Prozesse oder durch Lösungsprozesse im Rötanhydrit entstanden sein. Die in [COL 2006] beschriebenen Modellrechnungen enthalten solche Wegsamkeiten. Der sachgerechten Bewertung des Stilllegungskonzeptes Vollverfüllung am besten dienen würde deshalb zunächst eine konstruktiv-kritische Diskussion der Annahmen und Ergebnisse der durchgeführten hydrogeologischen Modellrechnungen [COL 2006].

Referenzen

- [COL 2006] Deckgebirgsmodellierung Phase IV – Grundwasserbewegung im Deckgebirge des Standortes Asse (Schlussbericht). Bericht 3331/71, Colenco Power Engineering AG, September 2006
- [COL&GRS&IfG 2009] Schachtanlage Asse II – Beschreibung und Bewertung der Stilllegungsoption Vollverfüllung. AF-Colenco AG, Baden (Schweiz), Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Braunschweig, IfG Institut für Gebirgsmechanik GmbH, Leipzig. Bericht Colenco 1764/01 /GRS-A-3494 / IfG 8681-9, 01.10.2009
- [GRS&COL 2006a] Berechnung der Radionuklidenausbreitung im Deckgebirge mittels Transferfunktionen. Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Braunschweig / Colenco Power Engineering AG, Baden (Schweiz), GRS-A-3329 / Colenco-Bericht 3331/94, November 2006
- [GRS&COL 2006b] Gesamtbewertung der Langzeitsicherheit für den Standort Asse (Konsequenzenanalyse). Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Braunschweig / Colenco Power Engineering AG, Baden (Schweiz), GRS-A-3350 / Colenco-Bericht 3762/01, Dezember 2006

Anlage 3

ÖKO-INSTITUT (2010): Kurzstellungnahme zur Ausarbeitung von Herrn Dr. Krupp: „Strömungs- und Transportmodell, Langzeitsicherheit Asse II,“ vom 29.12.2009. Alt, S. & Ustohalova, V., Öko-Institut e. V., Darmstadt, 25.02.2010

**Kurzstellungnahme zur Ausarbeitung von Herrn Dr. Krupp:
„Strömungs- und Transportmodell,
Langzeitsicherheit Asse II,“ vom
29.12.2009 (AP-A13)**

Darmstadt, 25.02.2010

Im Auftrag des BMU

Vorhaben UM09A03205

**Unterstützung des BMU bei der Aufsicht über Betrieb
und Stilllegung der Asse**

**Öko-Institut e.V.
Büro Darmstadt**

Rheinstraße 95
D-64295 Darmstadt

Telefon +49 (0) 6151 - 8191 - 0

Fax +49 (0) 6151 - 8191 - 33

Geschäftsstelle Freiburg

Postfach 50 02 40
D-79028 Freiburg

Hausadresse

Merzhauser Straße 173
D-79100 Freiburg

Telefon +49 (0) 7 61 - 4 52 95-0

Fax +49 (0) 7 61 - 452 95-88

Büro Berlin

Novalisstraße 10
D-10115 Berlin

Telefon +49 (0) 30 - 28 04 86-80

Fax +49 (0) 30 - 28 04 86-88

**Kurzstellungnahme zur Ausarbeitung von Herrn Dr. Krupp:
„Strömungs- und Transportmodell,
Langzeitsicherheit Asse II,“ vom
29.12.2009 (AP-A13)**

Autoren:

Dipl.-Geol. Stefan Alt

Dr. Ing. Veronika Ustohalova

Der Bericht gibt die Auffassung und Meinung des Auftragnehmers wieder und muss nicht mit der Meinung des Auftraggebers (Bundesminister für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit) übereinstimmen.

Inhaltsverzeichnis

1	Veranlassung	1
2	Stellungnahme	1
2.1	2D-Modellgeometrie in ASM:.....	2
2.2	Hydrogeologische Struktur und Durchlässigkeitsbeiwerte	3
2.3	Störung als präferenzieller Fließweg	4
2.4	Auspressrate	5
2.5	Druckaufbau und kontaminierte Salzwasseraustritte.....	7
2.6	Fazit:	8
	Literaturverzeichnis	10

Anlagen:

Anlage 1: Meldung des NDR vom 15.02.2010

Anlage 2: Meldung von NewsAdHoc vom 20.02.2010

1 Veranlassung

Im Rahmen des Vorhabens UM09A03205 unterstützt das Öko-Institut das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) bei der Aufsicht über Betrieb und Stilllegung der Schachtanlage Asse II.

Der NDR hat am 15.01.2010 mit dem Titel „Gutachten: Asse-Verfüllung würde Oberfläche verseuchen“ (Anlage 1) eine Meldung publiziert, die sich auf eine Ausarbeitung von Herrn Dr. Krupp beruft /Krupp 2009/. Tenor der Meldung ist die Aussage, dass es bereits wenige Jahre nach einer Vollverfüllung der Schachtanlage Asse II zu einer „radioaktive Verseuchung der Oberfläche“ käme.

Eine ähnlich lautende Meldung wurde am 20.02.2010 über NewsAdHoc (Anlage 2) verbreitet: Unter dem Titel „Experte warnt vor Verfüllung der Asse“ wurden Herr Prof. Bertram und Herr Dr. Krupp entsprechend zitiert und die zentralen Aussagen gegen eine Vollverfüllung dabei auch in den Zusammenhang mit der Notfallplanung für ein Absaufen des Grubengebäudes während des Betriebs gestellt.

Die öffentliche Rezeption der von Herrn Dr. Krupp durchgeführten hydrogeologischen Berechnungen macht es nun erforderlich, die zugrunde liegende Ausarbeitung einer kritischen Kommentierung zu unterziehen, wozu das Öko-Institut mit Schreiben vom 18.02.2010 aufgefordert wurde.

2 Stellungnahme

Die in den Meldungen als „Gutachten“ bezeichnete Ausarbeitung von Herrn Dr. Krupp wurde mit Datum 29.12.2009 in den laufenden Diskussionsprozess der Arbeitsgruppe Optionenvergleich (AGO) um die anstehende Entscheidung des BfS für eine bevorzugte Stilllegungsoption eingebracht.

Darin hat Herr Dr. Krupp unter Verwendung der Modellsoftware „ASM“ ein stark vereinfachtes 2D-Grundwassermodell des Deckgebirges erstellt und beschrieben, mit dem er offenbar demonstrieren wollte, wie sich eine aus dem Salzstock Asse ausgepresste Flüssigkeit in Abhängigkeit der geologischen Gegebenheiten, des angesetzten Drucks und der angesetzten Durchlässigkeiten im Untergrund verteilen und - insbesondere entlang von bevorzugten Fließwegen - auch die Oberfläche erreichen kann.

Soweit dies als prinzipielle Veranschaulichung der beschriebenen Prozesse im Rahmen des Diskussionsprozesses der AGO gesehen wird, ist dem nicht grundsätzlich zu widersprechen.

Im Fazit der Ausarbeitung von Herrn Dr. Krupp (s. d. S 9) wird aber auf Basis seiner Berechnungen die Aussage formuliert: *„Sobald infolge Gasbildung und Konvergenz radioaktive Lösungen ins Nebengebirge ausgepresst würden, würden diese inner-*

halb eines oder weniger Jahre auch in hoher Konzentration die Oberfläche erreichen.“ /Krupp 2009/.

Diese Aussage ist u. E. eine nicht zulässige Überinterpretation der Modellergebnisse. Die von Herrn Krupp versuchte schematisierte Berechnung mit ASM 6.0 ist nur in sofern verwertbar, als sie den Teilprozess des Auspressens von Flüssigkeit aus dem Grubengebäude und die Bewegung der ausgepressten Lösung im Deckgebirge entsprechend der jeweils anzutreffenden Permeabilität in einer ebenen Darstellung unter stark vereinfachenden Bedingungen veranschaulicht.

Das 2-dimensionale Modell verwendet nur wenige Parameter (Durchlässigkeiten, Grundwasserneubildung, konstante Auspressrate). Weitere, das numerische Rechenergebnis systematisch beeinflussende Effekte, wie Auswirkungen einer dreidimensionalen Betrachtung, Dichte- und Viskositätsunterschiede, zeitlich (z.B. Auspressrate, radioaktiver Zerfall) und räumlich (z.B. Sorption) variable Parameter oder der Eintrittszeitpunkt der Auspressung können in dem vorgestellten Modell nicht berücksichtigt werden. Eine Verwendung und Interpretation der vom Modell errechneten Werte selbst verbietet sich daher vor dem Hintergrund der zu stark vereinfachenden Annahmen und der die örtlichen Verhältnisse nicht ausreichend korrekt wiedergebenden Modellstruktur.

Hinzuweisen ist auch darauf, dass zum Thema Deckgebirgshydrogeologie und Grundwassermodellierung bereits umfangreiche Arbeiten von Colenco (s. /COL 2006 a und b/) vorliegen, die im Zusammenhang mit Untersuchung der Langzeitsicherheit des ursprünglichen Schließungskonzepts des HMGU erarbeitet wurden, und die in ihrem Detaillierungsgrad weit über die Ausarbeitung von Herrn Dr. Krupp hinausgehen. Bis zu ihrer (nach unserem Kenntnisstand derzeit in Arbeit befindlichen) Aktualisierung markieren diese Arbeiten den Stand des Wissens zur Deckgebirgshydrogeologie im Umfeld der Asse unter Anwendung eines robusten 3-dimensionalen Modells.

Im Folgenden wird auf einige kommentierungsbedürftige Aspekte in der Ausarbeitung von Herrn Dr. Krupp näher eingegangen.

2.1 2D-Modellgeometrie in ASM:

Die verwendete Modellsoftware ASM ist auf eine zweidimensionale Betrachtung beschränkt und eignet sich schon aufgrund der auf maximal 150 Spalten und 150 Zeilen beschränkten Modellgröße nicht für Modellierungen komplexer und im Detail heterogener dreidimensionaler Strukturen. Ursprünglich als Lehr-Software für die universitäre Lehre entwickelt, kann ASM die Anwendung professioneller Methoden der seit Längerem mit Erfolg eingesetzten dreidimensionalen Grundwassermodellierung bei einem so komplexen System wie der Asse-Struktur nicht ersetzen.

Das in /COL 2006b/ beschriebene 3D-Modell auf Basis der Modellsoftware NAMMU /Serco 2005/ bietet hier ungleich detailliertere Möglichkeiten der räumlichen Diskretisierung unter Berücksichtigung eines erweiterten Parametersatzes (z.B. Berücksichtigung von Anisotropien, Viskositäts- und Dichteunterschieden sowie von zeitlich variablen Parametern).

Die Hauptströmungsrichtungen in den verschiedenen Grundwasserleitern folgen in der Asse-Struktur dem Streichen der jeweiligen grundwasserführenden Schicht /COL 2006a/. Diese Strömungskomponente, die senkrecht zu der von Herrn Dr. Krupp abgebildeten Modellebene verläuft, kann in dem 2D-Modell mit den getroffenen Annahmen nicht abgebildet werden, stattdessen entspricht das Modell einer „vertikalen, in y-Richtung 10 m dicken und nach beiden Seiten undurchlässigen Scheibe.“ /Krupp 2009/. Diese strenge zweidimensionale Modellgeometrie trägt mit dazu bei, dass sich rechnerisch bei der angenommenen Auspressrate hohe hydraulische Drücke aufbauen, die bei Berücksichtigung einer dreidimensionalen Druckverteilung so nicht auftreten könnten. Im Zusammenhang mit der modellierten Störung führt die Zweidimensionalität außerdem zur Beschreibung der an sich zweidimensional wirksamen Störungsfläche als eindimensionaler, also kanalisierter Fließweg, bei dem die seitliche Ausbreitung der hier strömenden Flüssigkeit nicht berücksichtigt werden kann und der, zusammen mit dem zu hohen Druck, schon aus modellgeometrischen Gründen zu nicht realitätsnahen Fließgeschwindigkeiten führt.

2.2 Hydrogeologische Struktur und Durchlässigkeitsbeiwerte

/Krupp 2009/ beruft sich bei der Parametrisierung der Durchlässigkeitsbeiwerte für die in seinem Modell ausgewiesenen hydrogeologischen Einheiten auf die in /COL 2006a/¹ zusammengestellten Werte, vereinfacht diese aber, indem er beispielsweise vertikale Veränderungen der gesättigten² Durchlässigkeit innerhalb einer Schicht nicht berücksichtigt. Der der Südwestflanke der Asse direkt aufliegende Rötanhydrit, dem zumindest abschnittsweise, insbesondere im oberen Bereich, eine vergleichsweise erhöhte Kluftdurchlässigkeit zugesprochen werden muss, wird im Modell nicht als eigene Schicht ausgewiesen. Ebenso unberücksichtigt bleibt das Salinar im mittleren Muschelkalk (mm), dessen aufgelockertes Residualgebirge ebenfalls eine deutlich höhere Durchlässigkeit aufweist, die aber im Modell bei einer zusammengefassten Darstellung des mittleren Muschelkalks mit einem niedrigen Durchlässigkeitsbeiwert von $1\text{E-}12$ m/s nicht enthalten ist.

Die als eigentlich präferenzierter Weg wirkende Strömung im Kluftsystemen der hydrogeologischen Einheiten, die für die Asse-Struktur typisch ist, kann aufgrund des unterschiedlichen Strömungsverhaltens mit einem Grundwassermodell für ein porö-

¹ s. .d. Tabelle 18

² Weiter im Text wird für die gesättigte Durchlässigkeit der kurze Begriff „Durchlässigkeit“ genommen

ses Kontinuum nicht entsprechend nachgebildet werden. Colenco hat daher in /COL 2006b/ zusätzlich zu einer äquivalent-porösen Näherung der hydraulischen Parameter für die Ausbreitungsrechnung das für diese spezielle Fragenstellung entwickelte Programm RANCHMD /NAGRA 1985/ eingesetzt.

Eine vereinfachende Anwendung der grundsätzlich für die Kluftströmung ungeeigneten Modellierungssoftware ASM führt stattdessen zu einer starken qualitativen Beeinträchtigung des numerischen Ergebnisses im Modell von Herrn Dr. Krupp.

2.3 Störung als präferenzieller Fließweg

Die Modellierung der an der Leckagestelle ansetzenden Störung in /Krupp 2009/ entspricht einer etwa 500 m langen eindimensionalen Struktur erhöhter Durchlässigkeit ($k_f=1\text{E-}5$ m/s) mit einer Querschnittsfläche von 100 m². Ihre Durchlässigkeit ist gegenüber dem von der Leckagestelle aus nächsten Grundwasserleiter (μ) um zwei Größenordnungen erhöht modelliert. Gegenüber dem zweiten von der Störung geschnittenen Grundwasserleiter (μ_o) ist die Störung um das 10-fache besser durchlässig dargestellt. Über diese Struktur wird das Auspressen der Grubenlösung als konstante Zugabe von 10.000 m³/a am Eintrittspunkt modelliert.

Die in /COL 2006b/ vorgenommene Parametrisierung der Störungsdurchlässigkeit als eine durch Auflockerung bedingte Erhöhung der Durchlässigkeit der jeweils anstehenden Schicht führt gegenüber /Krupp 2009/ zu einer auch innerhalb der Störung differenzierten Verteilung der Durchlässigkeiten, die den realen Bedingungen einer geologischen Störung besser entsprechen dürfte als die Zuweisung eines Pauschalwertes. So ist es beispielsweise geologisch nicht plausibel, einem Störungsverlauf innerhalb einer an sich schlecht durchlässigen Schicht (in /Krupp 2009/ beispielsweise der als Grundwassernichtleiter dargestellte mittlere Muschelkalk (mm) mit $k_f=1\text{E-}12$ m/s) eine um 7 Größenordnungen höhere Durchlässigkeit zuzuweisen, die allein durch störungsbedingte Auflockerung des Gesteins selbst nicht zu erklären ist. Auch unter dem Aspekt der gebotenen Konservativität, bei einem Kenntnisdefizit hinsichtlich der tatsächlichen Störungsdurchlässigkeit, ist eine solche Überschätzung (hier immerhin mit Faktor 10^7) nicht gerechtfertigt.

Die Fokussierung der gesamten Auspressrate auf die als gut durchlässiges Linear dargestellte Störung führt unter dem sich im Modell aufbauenden Überdruck automatisch zu einem rechnerisch sehr schnellen und nahezu vollständigen Transport an die Oberfläche. Dies wird maßgeblich durch die modellspezifische Überschätzung des Drucks (s. a. Kap. 2.1), die Nichtberücksichtigung der dritten Dimension und die hohe Störungsdurchlässigkeit beeinflusst. Hier wirken drei maßgebliche, bereits deutlich überschätzte Konservativitäten kumulativ. Das numerische Ergebnis der Transportrechnung ist daher gegenüber den wahren Verhältnissen eine sehr hohe Überschätzung.

Stattdessen würde eine realitätsnähere Abschätzung allein der Störungsdurchlässigkeiten im Modell wahrscheinlich bereits dazu führen, dass die ausgepressten Lösungen ganz anderen Fließwegen folgen würden. Würde beispielsweise die störungsbedingte Auflockerung des Grundwassernichtleiters um mit einer Erhöhung der Durchlässigkeit um den Faktor 1.000 dargestellt, läge die Störungsdurchlässigkeit in diesem Bereich bei $k_f=1\text{E-}9$ m/s (gegenüber der Schichtdurchlässigkeit von $k_f=1\text{E-}12$ m/s). In diesem Fall wäre der Grundwasserleiter des unteren Muschelkalks (μ) mit einer Durchlässigkeit $k_f=1\text{E-}7$ der bevorzugte, weil 100-fach besser durchlässige Fließweg, wobei sich aufgrund der insgesamt geringeren Durchlässigkeiten auch geringere Transportraten und eine andere Druckverteilung ergeben würden. Dies wäre selbst noch bei einer Auflockerung um Faktor 10.000 der Fall, und erst bei einer Auflockerung um Faktor 100.000 wäre die modellierte Störung im Bereich des mittleren Muschelkalks genauso durchlässig wie der untere Muschelkalk.

Dieses Gedankenexperiment zeigt bereits, dass vergleichsweise einfache Änderungen innerhalb einer Plausibilitätsbetrachtung und unter Berücksichtigung der gebotenen Konservativität zu stark abweichenden Ergebnissen im Modell von Herrn Dr. Krupp führen müssen. Weiterhin sei darauf hingewiesen, dass – wie bereits anfangs des Kapitels erwähnt – eine realitätsnahe Modellerberechnung der Kluftströmung nur unter dem Einsatz des für diese spezielle Fragenstellung geeigneten Modells durchgeführt werden kann. Damit wird die Robustheit der von Herrn Dr. Krupp in seinem Modell abgeleiteten quantitativen Aussagen deutlich in Frage gestellt.

2.4 Auspressrate

Die Auspressrate wird im Modell ohne weitere Herleitung mit konstant 10.000 m³/a angenommen. Einziger Hinweis auf eine zeitliche Variabilität, die im Modell aber keinen Niederschlag findet, ist die in der Diskussion der Modellergebnisse enthaltene Aussage, dass die „maximale Auspressrate nicht instantan erreicht werden wird.“

Allerdings wird die Auspressrate in der Realität variabel sein und dabei, im Gegensatz zu den Annahmen des Modells von Herrn Dr. Krupp, mit einer durch den Druckaufbau und den Fortgang der Hohlraumkonvergenz nachlassenden Konvergenzrate und zurückgehender Gasbildung, mit der Zeit systematisch abnehmen. Es ist darauf hinzuweisen, dass die Auspressrate daher bereits in /COL 2006b/ richtiger als Funktion der Zeit dargestellt wurde:

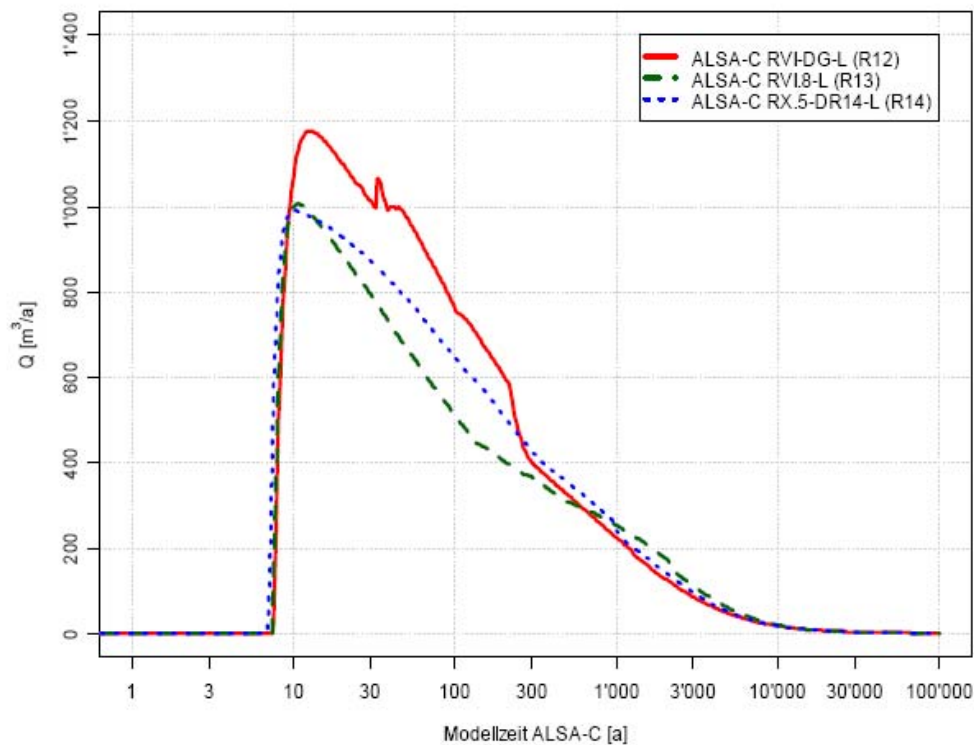


Abb. 1: Auspressraten als Funktion der Zeit, aus /COL 2006b/

Die Abbildung zeigt darüber hinaus auch, dass der Wert der Auspressrate mit maximal ca. 1.200 m³/a in /COL 2006b/ nur etwa ein Zehntel der von Herrn Dr. Krupp angesetzten Auspressrate beträgt. Dieser Abschätzung liegt zwar das ehemalige HMGU-Flutungskonzept zu Grunde, in der Machbarkeitsstudie zur Vollverfüllung /COL 2009/ wird aber durchaus plausibel darauf hingewiesen, dass die Vollverfüllung nach dem modifizierten Konzept zu einer ähnlichen Auspressrate führen wird, wobei die Tendenz (höher oder niedriger) aufgrund der unterschiedlichen Einflussfaktoren nicht eindeutig angegeben wird. Für die Annahme einer um Faktor 10 höheren Auspressrate mangelt es in /Krupp 2009/ aber an einer nachvollziehbaren Begründung. Eine „mittlere Auspressrate“ von 10.000 m³/a findet sich in der Asse-spezifischen Literatur zwar in /GRS 2009/. Hierbei handelt es sich aber um eine konservative Annahme für den Fall des Absaufens der Schachtanlage während des Betriebs, die für die von Herrn Krupp bezweckte Aussage zur Langzeitsicherheit der Vollverfüllung sicher nicht herangezogen werden kann.

2.5 Druckaufbau und kontaminierte Salzwasseraustritte

In der Ausarbeitung von Herrn Dr. Krupp führt die konstante Auspressung von 10.000 m³ Lösung pro Jahr unter den Modellbedingungen zum Aufbau eines sehr hohen hydraulischen Drucks im Untergrund, der an der Leckagestelle mit etwa 500 m Wassersäule auf mehr als das zehnfache des Ausgangswerts ansteigt und (entsprechend der Abb. 4 der Ausarbeitung) oberflächennah Werte annimmt, die über der Geländehöhe liegen. Dies wird auch von Herrn Dr. Krupp so beschrieben. Die Druckverteilung wird in der Ausarbeitung dann wie folgt interpretiert:

- *„Aufgrund der generell niedrigen Gebirgsdurchlässigkeiten baut sich von der Leckstelle aus ein hoher hydrostatischer Überdruck auf.“*
- *„Die hohen Überdrücke würden in der Natur durch hydraulische Rissbildung dazu führen, dass ggf. neue Wegsamkeiten aufreißen oder bestehende aufgeweitet werden.“*
- *„Im Gegensatz zum Modell würden in der Natur die hohen, weit über den Ortshöhen liegenden Piezometerhöhen abgebaut, indem es an der Oberfläche zu kontaminierten Salzwasser-Austritten kommt.“*

Eine Plausibilitätsbetrachtung der im Modell errechneten Drücke wird hingegen nicht vorgenommen, dabei ist es nahezu ausgeschlossen, dass sich in der Realität solche Drücke im Untergrund aufbauen können. Allein die Vernachlässigung der dritten Dimension (senkrecht zum dargestellten Profil) führt modellrechnerisch bereits zu einer deutlichen Überschätzung des Druckaufbaus. Ein Druckaufbau selbst würde außerdem als Stützdruck die Konvergenz des Grubengebäudes verlangsamen und damit die Auspressrate reduzieren, so dass sich hier ein Gleichgewicht einstellen muss, dass nicht dem von Herrn Krupp angesetzten Extremwert der Auspressung entsprechen kann.

Die Auspressrate selbst ist mit 10.000 m³/a (das entspricht einer virtuellen Schüttung von etwa 1,1 m³/h oder 0,3 l/s) für das tatsächlich hiervon beeinflusste Gebiet nicht einmal besonders hoch. Bereits die für die Südwestflanke der Asse in /COL 2006a/ recherchierten Quellaustritte weisen im Mittel ähnliche bis mehrfache Schüttungen aus den betroffenen Grundwasserleitern auf, die im Übrigen im Modell ebenfalls nicht berücksichtigt sind. Es ist daher - unabhängig von den ansonsten dem Modell innewohnenden Ungenauigkeiten - nicht zu erwarten, dass eine zusätzliche Auspressung in dem von Herrn Krupp betrachteten Zeitraum (200 Tage bis zum Erreichen der Oberfläche, wenige Jahre bis zur Kontamination des oberflächennahen Grundwassers) und in der von ihm geschilderten Weise zum Aufreißen zusätzlicher Wegsamkeiten oder zur Bildung neuer Quellaustritte führen wird, zumal die Auspressrate selbst offenbar deutlich überschätzt und in ihrer zeitlichen Variabilität nicht plausibel dargestellt wird.

In diesem Zusammenhang ist auch darauf hinzuweisen, dass sich aus der Ausarbeitung von Herrn Dr. Krupp, insbesondere auch aus der Transportrechnung eines

idealen Tracers (hier allerdings als „Schadstoffkonzentration“ bezeichnet) im Gegensatz zur anders lautenden Feststellung im Fazit und den öffentlich hierzu kommunizierten Inhalten, eben NICHT ableiten lässt, dass aus der Asse ausgepresste Radionuklide in kurzer Zeit und in hoher Konzentration die Oberfläche erreichen. Für eine solche Schlussfolgerung sind schon die Modellannahmen mit ihren unbegründeten Überschätzungen der wesentlicher Parameter (Auspressrate, Druck und Störungsdurchlässigkeit) und der Nichtberücksichtigung der Fließgeometrie senkrecht zur dargestellten Profilebene ungeeignet. Auch die zeitliche Verzögerung bis zur tatsächlichen Freisetzung von Radionukliden aus den Abfällen, bis zu ihrer Migration im Grubengebäude, sowie bis zu ihrer tatsächlichen Auspressung in das Deckgebirge wird in der Ausarbeitung nicht erwähnt.

2.6 Fazit:

Im Hinblick auf die Veröffentlichung der Ausarbeitung von Herrn Dr. Krupp als „Expertengutachten“ ist darauf hinzuweisen, dass ihr Stellenwert ausschließlich in der vereinfachten Veranschaulichung einiger ausgewählter Prozesse liegt. Quantitative Aussagen jeglicher Art sind daraus nicht ableitbar. Die in der Ausarbeitung dennoch getroffenen Quantifizierungen, die auch zentraler Gegenstand der öffentlichen Zitierung der Ausarbeitung sind, sind mit hoher Wahrscheinlichkeit falsch.

Die von Herrn Dr. Krupp skizzierten Prozesse selbst sind andererseits seit längerem bekannt und z.B. in /COL 2006a/ und /COL 2006b/ deutlich umfassender und mit einer realitätsnäheren Parametrisierung beschrieben als es die Ausarbeitung von Herrn Krupp leisten kann. Zwar weisen auch die Studien von Colenco Defizite auf, die, neben den immer für ein Modell zu konstatierenden Unterschieden zwischen Realität und modellrechnerischer Umsetzung, im Wesentlichen in einer eingeschränkten Datengrundlage zu suchen sind (s. a. /BfS 2007/). Dennoch stellen sie den derzeitigen Stand des Wissens und das daraus ableitbare Verständnis der Deckgebirgshydrogeologie dar, hinter den bei der Interpretation der Deckgebirgshydrogeologie der Asse nicht zurückgegangen werden sollte.

Es sei darauf hingewiesen, dass auch ein Grundwassermodell immer eine vereinfachende, sich bereichsweise auf Analogien stützende Darstellung der tatsächlichen Verhältnisse ist, die regelmäßig an den fortschreitenden Erkenntnisgewinn anpassen ist. Mit dem Gewinn zusätzlicher Informationen über das Deckgebirge kann daher auch die Deckgebirgsmodellierung von Colenco sicher noch deutlich verbessert oder belastbarer werden. Die Ausarbeitung von Herrn Dr. Krupp kann allerdings zur Erweiterung des bisherigen Kenntnisstands hier nichts beitragen. Eine „Rückvereinfachung“ wie im Modell von Herrn Krupp kann lediglich zu Veranschaulichung von Einzeleffekten dienen, werden hieraus quantitative Behauptungen abgeleitet, stellen sie einen unzulässigen Rückschritt gegenüber einem fortgeschrittenen Stand

von Wissenschaft und Technik dar, der für eine qualifizierte Fachdiskussion dann nicht mehr hilfreich ist.

Die von Herrn Dr. Krupp geforderte Abkehr vom Konzept der Vollverfüllung ist nach derzeitigem Diskussionsstand durch die Entscheidung des BfS für eine Präferenz der Abfallrückholung bereits aus anderen Gründen vollzogen worden.

Dennoch werden auch zukünftig Maßnahmen zur Verfüllung und Flutung im Zusammenhang mit den notwendigen Vorbereitungen auf einen auslegungüberschreitenden Notfall (Absaufen der Grube während des Betriebs) geplant und vorbereitet. Leider wird die Ausarbeitung von Herrn Krupp, zusammen mit einer aktuellen Veröffentlichung von Herrn Prof. Bertram /Bertram 2009/ auch in diesem Zusammenhang zitiert (s. Anlage 2). Derartige Maßnahmen und ihre Umsetzung im Notfall sind nach heutigem Kenntnisstand aber alternativlos.

Das durch die Notfallmaßnahmen kein langzeitsicherer Zustand herbeigeführt werden kann, liegt in der Natur des zugrunde liegenden Notfalls und in der dadurch bedingten Unvollständigkeit der noch durchführbaren Maßnahmen. Die Asse wird im Falle eines Absaufens während des Betriebs eine Altlast bleiben, aus der „früher oder später“ (Zitat aus Anlage 2) auch Radionuklide ausgetragen werden. Die sich aus den Konzentrationen der ausgetragenen Radionuklide ableitende Tragweite der radiologisch bedingten Beeinträchtigung ist aktuell Gegenstand radioökologischer Berechnungen und Diskussionen in entsprechenden Gremien. Mit den sich aus seinem Absaufen ergebenden Konsequenzen (dauerhafte Überwachung, im Falle der tatsächlichen Kontamination auch Nutzungseinschränkungen des oberflächennahen Grundwassers) wird man zum Zeitpunkt des Eintretens umgehen müssen. Die Diskussion um die oben genannte mögliche Entwicklung und um die Maßnahmen zur Minimierung ihrer Konsequenzen darf aber nicht mit der Langzeitsicherheit einer Vollverfüllung verknüpft werden, wie dies in der Veröffentlichung in NewsAdHoc (Anlage 2) Herrn Prof. Bertram offenbar zugeschrieben wird.

Literaturverzeichnis

- Bertram 2009 „Risiken und Nebenwirkungen“ bei einer Flutung des Atommülllagers Asse II mittels Schutzfluid; erschienen im Strahlentelex, Nr. 556-557 / 2010
- BfS 2007 Bundesamt für Strahlenschutz Fachbereich Sicherheit nuklearer Entsorgung: Prüfung von Unterlagen der Schachtanlage Asse II im Hinblick auf die Anforderungen eines atomrechtlichen Planfeststellungsverfahrens; September 2007
- COL 2006a Colenco Power Engineering AG: Forschungsbergwerk Asse, Hydrogeologische Modellvorstellungen. Bericht 4956/07, Revision 3; November 2006
- COL 2006b Colenco Power Engineering AG: Deckgebirgsmodellierung Phase IV - Grundwasserbewegung im Deckgebirge des Standortes Asse. Schlussbericht; September 2006
- COL 2009 AF-Colenco AG, Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, IfG Institut für Gebirgsmechanik GmbH, Schachtanlage Asse II, Beschreibung und Bewertung der Stilllegungsoption Vollverfüllung; 01.10.2009
- GRS Gesellschaft für Anlagen und Reaktorsicherheit (GRS) mbH: Abschätzung potenzieller Strahlenexpositionen in der Umgebung der Schachtanlage Asse II infolge auslegungsüberschreitender Zutrittsraten der Deckgebirgslösung während der Betriebsphase; April 2009
- Krupp 2009 Dr. habil. Ralf E. Krupp: Strömungs- und Transportmodell, Langzeitsicherheit Asse II; Ausarbeitung für die Arbeitsgruppe Optionenvergleich (AGO); 29.12.2009
- NAGRA 1985 Radionuclide Chain Transport in Inhomogeneous Crystalline Rocks: Limited Matrix Diffusion and Effective Surface Sorption. J. Hadermann und F. Roesel, Nagra Technical Report NTB 85-40, Nagra, Wettingen (CH), 1985
- Serco 2005 NAMMU (Version 9.1) User Guide, Serco Assurance, Harwell/ United Kingdom, SA/ENV-0627, 2005

Anlage 1: Meldung des NDR vom 15.02.2010:

„Gutachten: Asse-Verfüllung würde Oberfläche verseuchen“

Atomkraft

Gutachten: Asse-Verfüllung würde Oberfläche verseuchen



Etwa 126.000 Fässer mit radioaktivem Müll lagern in der Asse. (Archivfoto)

Die Probleme mit dem Atommülllager Asse in Wolfenbüttel sind offenbar nicht durch eine erwogene Verfüllung mit Beton und einer Speziallösung zu beheben: **Schon nach relativ kurzer Zeit käme es bei dieser Methode zu einer radioaktiven Verseuchung der Oberfläche, wie NDR 1 Niedersachsen unter Berufung auf ein vorliegendes Gutachten berichtete.**

Salzwasser bringt Radioaktivität an die Oberfläche

Dem zufolge würden sich nach der Verfüllung im Grubengebäude Gase bilden. Der dadurch entstehende Druck wäre so stark, dass er radioaktiv belastetes Salzwasser an die Oberfläche pressen würde. Bereits nach 50 bis 60 Jahren könnte dieses Salzwasser an der Oberfläche austreten oder das Grundwasser in der Region

Verfasser des Gutachtens ist der Hydrogeologe Ralf Krupp, der im Auftrag der Asse-Begleitgruppe alle drei Optionen für die Schließung des Atommülllagers geprüft hat. Dies sind im Wesentlichen die Verfüllung des Bergwerks, die Bergung der radioaktiven Abfälle oder ihre Umlagerung in tiefere Bereiche.

Experte: Vollverfüllung muss vom Tisch

Krupp verlangt nun angesichts seiner Ergebnisse, dass das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) sich von der Schließungsoption "Vollverfüllung" verabschieden müsse. In der Asse lagern rund 126.000 Fässer mit schwach- und mittelradioaktivem Atommüll.

Das Bundesamt hatte sich Mitte Januar für [eine Rückholung der Fässer](#) ausgesprochen. Das Amt machte jedoch klar, dass es große Unsicherheiten über Inhalt und Zustand der Fässer gebe. Das Bundesumweltministerium schätzt die Kosten für die Rückholung auf 3,7 Milliarden Euro.

Stand: 15.02.2010 18:55



Atomkraft

Meiler, Lager und Proteste

Störfälle, Pannen, Demonstrationen - im Norden sorgt die Nutzung der Kernenergie seit mehr als 30 Jahren für Schlagzeilen. NDR Online informiert über eine umstrittene Technologie.

[mehr](#)

[Home](#) | [Hilfe](#) | [Impressum](#) | [Kontakt](#) | [Seitenanfang](#) | [Seite empfehlen](#) | [Lesezeichen setzen](#)

© 2010 Norddeutscher Rundfunk

**Anlage 2: Meldung von NewsAdHoc vom 20.02.2010:
„Experte warnt vor Verfüllung der Asse“**

Experte warnt vor Verfüllung der Asse

20. Februar 2010



Der Göttinger Chemie-Professor Rolf Bertram warnt vor einer Verfüllung des maroden Atommülllagers Asse mit Beton und einer Salzlösung. In diesem Fall kämen sämtliche in dem Bergwerk lagernden radioaktiven Abfälle «früher oder später» mit der Lösung in Kontakt, heißt es in einer am Wochenende veröffentlichten Stellungnahme des Wissenschaftlers.

Zu Wochenbeginn hatte bereits der Geologe Ralf Krupp gewarnt, bei einer Flutung der Asse könne es schon nach wenigen Jahrzehnten zu einer radioaktiven Verseuchung der Umwelt kommen. Krupp und Bertram sind Mitglieder der «Arbeitsgruppe Optionenvergleich», die das Schließungsverfahren für das Atommülllager Asse seit Jahren wissenschaftlich begleitet.

Umweltschützer fordern den endgültigen Verzicht auf eine Verfüllung der Asse. Das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) hatte diese Variante als eine von drei Möglichkeiten der Stilllegung geprüft. «Der Optionenvergleich hatte das Ergebnis, dass die Rückholung der Abfälle nach derzeitigem Wissensstand die beste Stilllegungsoption darstellt», sagte Behördensprecher Werner Nording. «Insofern müssen wir uns nicht von der Vollverfüllung verabschieden, weil wir uns gar nicht dafür entschieden haben.»

Bertram sagte, eine Flutung des Bergwerks sei aber weiter vorgesehen, wenn es zu einem Notfall in der Asse komme. Auch dann würde das eingelagerte Material der Einwirkung der Salzlösung ausgesetzt. Ein Notfall könnte eintreten, wenn sich die Menge des seit Jahren von außen in das Bergwerk sickern den Wassers stark erhöht und nicht mehr abgepumpt werden kann.

na/ddp

Weitere Artikel die Sie auch interessieren könnten:

[Warnungen vor Verfüllung der Asse mit Beton](#)

[Umweltministerium genehmigt Verfüllung von Hohlräumen in der Asse](#)

[Wissenschaftler warnt vor Explosionsgefahr in der Asse](#)

[Asse-II-Begleitgruppe informiert im Netz über Asse-Schließung](#)

[Experte: Stabilisierung der Schachanlage Asse unsicher](#)



Kombi-Invest.

Sparbrief mit 4 % Zinsen und Fonds mit 50% Discount auf den Ausgabeaufschlag.

[Mehr Informationen »](#)



PLATOW Börse

Wieder Nr.1! Testen Sie den 2fachen Gewinner des Deutschen Börsenbrief Award 4 Wo. gratis!

[Mehr Informationen »](#)

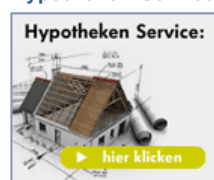


Time for Change

Internet-Telefonie fürs Handy – Investieren Sie in den Wachstumsmarkt der Telekommunikation!

[Mehr Informationen »](#)

Hypotheken-Service.



Immobilienkredit zu Top-Konditionen.
www.volkswagenbank.de

[Mehr Informationen »](#)



Eine Antwort hinterlassen (Bitte beachten Sie unsere [Netiquette](#))

Anlage 4

KRUPP (2010): Modellierungsstudie, Strömungs- und Transport-Modell. Langzeitsicherheit Asse vom 29.12.2009 - Replik zu den Stellungnahmen von Colenco/GRS vom 18.02.2010 und vom Öko-Institut vom 25.02.2010. Krupp, R. E., Burgdorf, 23.03.2010

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

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

An: Arbeitsgruppe Optionenvergleich (AGO)
CC: Stimmberechtigte Mitglieder, Begleitgruppe Asse II (A2B)
CC: Bundesamt für Strahlenschutz

23.03.2010

**Modellierungsstudie, Strömungs- und Transport-Modell. Langzeitsicherheit Asse
vom 29.12.2009**

- **Stellungnahme von Colenco/GRS vom 18.02.2010**
- **Stellungnahme vom Öko-Institut vom 25.02.2010**

Sehr geehrte Kollegen, sehr geehrte Damen und Herren,

für ein bestimmtes sicherheitsrelevantes Szenario für die Schachtanlage Asse II hatte ich ein hydrogeologisches Rechenmodells erstellt. In der Folge wurden vom Bundesumweltministerium zu diesem Modell zwei Stellungnahmen angefordert. Mit den nachfolgenden Ausführungen nehme ich selbst Stellung zu der von den beauftragten Instituten vorgebrachten Kritik.

Mit freundlichen Grüßen,



R. Krupp

A: Allgemeines

Vom Verfasser wurde im Rahmen seiner Tätigkeit in der Arbeitsgruppe Optionenvergleich ein bestimmtes sicherheitsrelevantes Szenario für die Schachanlage Asse II mittels eines hydrogeologischen Rechenmodells untersucht (Krupp, 29.12.2009). In der Folge wurden zu diesem Modell vom Bundesumweltministerium zwei Stellungnahmen angefordert:

- Öko-Institut (2010) (Dipl.-Geologe Stefan Alt, Dr. Ing. Veronika Ustohalova): Kurzstellungnahme zur Ausarbeitung von Herrn Dr. Krupp: „Strömungs- und Transportmodell. Langzeitsicherheit Asse II“, vom 29.12.2009. - Bericht AP-A13, Darmstadt, 25.02.2010
- AF-Colenco/GRS (2010) (Dr.J. Mönig, Dr. D. Buhmann, Dr. B. Förster, Dr. G. Resele und Dr. J. Poppei): Stellungnahme zur Modellierungsstudie „Strömungs- und Transportmodell. Langzeitsicherheit Asse II“, von Dr.habil. R.E. Krupp vom 29.12.2009. – Bericht: Memo Colenco-1764/04 / GRS-Notiz 550800-02, 18.02.2010

Der Verfasser begrüßt ausdrücklich die ausgelöste fachliche Auseinandersetzung mit seinem Strömungs- und Transport-Modell und dessen Implikationen für die Langzeitsicherheit eines gefluteten Endlagers, weil damit eine längst überfällige Betrachtung der Langzeitsicherheit nasser Verwahrungsoptionen begonnen hat. Auf die beiden oben genannten Stellungnahmen des Öko-Instituts und GRS/Colenco wird hier nachfolgend Replik genommen.

Ein Langzeitsicherheitsnachweis für ein nukleares Endlager muss alle denkbaren Szenarien berücksichtigen. Solange Szenarien existieren, die bei konservativer Betrachtung zu nicht akzeptablen radiologischen oder chemotoxischen Auswirkungen für den Menschen oder die Umwelt führen, ist eine Langzeit-Sicherheit nicht nachgewiesen und eine Langzeit-Unsicherheit zu unterstellen.

Das Strömungs- und Transport-Modell von Krupp (29.12.2009) betrachtet ein bestimmtes, als kritisch angesehenes Szenario, bei dem entlang der Schnittlinie zweier Störungen erhöhte Wegsamkeiten zwischen dem Endlager und der Biosphäre vorliegen. Der im Modell zugrunde gelegte geologische Schnitt S2 des Gruben-Risswerks der Schachanlage Asse II wird als geeignet angesehen, die charakteristischen geologischen Grundzüge des Asse-Sattels zu beschreiben. Es ist aber darauf hinzuweisen, dass auch dieser Schnitt S2 bereits eine geologische Interpretation darstellt. Das darauf aufgesetzte numerische Modell kann innerhalb gewisser Grenzen als „generisches Modell“ verstanden werden, dessen qualitative Aussagen nicht streng auf diese exakte Schnittebene S2 beschränkt sind. Das Modell soll vielmehr dem Grundverständnis des betrachteten Szenarios dienen. Quantitative Aussagen des Modells treffen hingegen nur auf den speziellen Fall des Schnittes S2 zu.

Das numerische Strömungs- und Transport-Modell beschreibt naturgemäß ausschließlich Strömungs- und Transport-Prozesse im Neben- und Deckgebirge, muss aber im Zusammenhang mit dem Gesamtsystem des konvergierenden, volllaufenden und/oder flutenden, und von Gasbildung betroffenen Bergwerks gesehen werden und setzt somit ein umfassendes Systemverständnis voraus.

Soweit in den Stellungnahmen Kritik an der von Krupp (29.12.2009) verwendeten Software (ASM 6.0) geübt worden ist, wird darauf hingewiesen, dass die in den Programmen implementierten physikalischen Gleichungen (Darcy-Gesetz, Kontinuitätsgleichung) bei allen Software-Produkten die gleichen sind! Unterschiede bestehen in den verwendeten

mathematischen Gleichungslösungs-Algorithmen und dem Pre- und Post-Processing, die aber auf das Ergebnis keinen Einfluss haben (dürfen).

Soweit in den Stellungnahmen Kritik an der softwarebedingten Beschränkung des Finite-Differenzen-Netzes auf 150 x 150 Zellen geübt wird, fehlt eine sachliche Begründung. Tatsächlich reicht die Anzahl Zellen für das betrachtete Modell völlig aus. Das Modell von Colenco (2006; Abb. 3-1; S. 71f.) beispielsweise hat in der x-z-Ebene deutlich weniger Zellen. Auch die 2-dimensionale Modell-Geometrie ist für das betrachtete Problem grundsätzlich ausreichend, worauf noch im Einzelfall eingegangen werden soll.

Dass ein stationärer Modellansatz gewählt worden ist hat seinen Grund darin, dass die (tatsächlich instationären) Auspressraten vom komplizierten zeitlichen Zusammenspiel von Gasbildung, Flutung und Konvergenz, sowie den Rückkoppelungseffekten zwischen diesen Teilprozessen abhängen. Anstatt eine im Einzelnen kaum begründbare Zeitreihe zu verwenden, wurde daher mit einer als realistisch angesehenen, konstanten mittleren Auspressrate gerechnet, die sich an der Menge und dem erwarteten Zeitraum der Gasbildung orientiert. Für die radiologischen und chemotoxischen Konsequenzen in der Biosphäre sind die exakten Details der zeitlichen Entwicklung der Auspressraten weniger wichtig als die in naher Zukunft ausgepresste Gesamtmenge an Lösungen und Gasen.

B: Zur Stellungnahme von Colenco/GRS vom 18.02.2010

Die Verfasser der Stellungnahme waren für die *Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH* die Herren Dr. J. Mönig, Dr. D. Buhmann und Dr. B. Förster. Für *AF-Colenco* zeichnen die Herren Dr. G. Resele und Dr. J. Poppei verantwortlich.

Zu Kapitel 1 – Einführung:

Der Verfasser hatte durchaus Kenntnis von den quantitativen Modellrechnungen von Colenco (2006). Gerade aus diesem Grund wurde eine unabhängige Betrachtung der wesentlichen Gesichtspunkte für dringend notwendig erachtet und vorgenommen. Auf Colenco (2006) wird weiter unten noch eingegangen.

Zu Kapitel 2.1 – Lösungsauspressung aus der Grube:

Seite 2/1 und 2/2:

Die Lösungsauspressung aus der Grube wird im Wesentlichen durch das Volllaufen/ die Flutung der Grubenhöhlräume, die Gasbildung und die Konvergenz bestimmt:

Konvergenz: Die durch den Gebirgsdruck bedingte Konvergenz (derzeit im Mittel über die Tiefe ca. 0,4 Vol.-% pro Jahr) verringert das Volumen des Resthohlraums (inkl. Porenraum insgesamt ca. 1 400 000 m³) mit einer degressiven Rate, derzeit mit ca. 5600 m³/a. Nach Volllaufen/Flutung wird die Konvergenz möglicherweise mit verminderter Rate fortschreiten, aufgrund des induzierten Feuchtekriechens vielleicht aber auch schneller ablaufen.

Volllaufen/Flutung: Das passive Volllaufen (Rate ca. 4500 m³/a) und die aktive Einleitung von Schutzfluid (Rate zwischen 0 bis 500 000 m³/a) bewirken eine Verkleinerung des für die entstehenden Gase verfügbaren Volumenanteils.

Gasbildung: Die Gasmenge und Gasbildungsrate wurden vom Verfasser (Sondervotum) für Wasserstoff und Methan bereits hergeleitet. Der Zeitraum von 50 Jahren für die Gasbildung ergab sich einerseits aus der Korrosionsrate für Eisenblech von 1 mm Dicke (Blechfässer), andererseits in Anlehnung an die Dauer der methanogenen Phase in Hausmülldeponien. Die vom Verfasser zugrunde gelegte vereinfachende Annahme, dass innerhalb 50 Jahren die Gasbildung großenteils erfolgt ist, erscheint daher begründet. Die zeitlich gemittelte Rate der Volumeninanspruchnahme bei 50 bar Druck beträgt demnach 5200 m³/a. Aufgrund neuer Erkenntnisse (konventionelle und Bergbau-Abfälle, „Freitagshaufen“) ist jedoch das tatsächlich in der Schachtanlage Asse II lagernde, gasbildende Abfallinventar vermutlich deutlich höher als von Krupp in seinem Sondervotum zugrunde gelegt wurde. Somit wäre die Gasbildungsrate eher nach oben zu korrigieren. – Nicht plausibel erscheinen hingegen die vergleichsweise langen, sogenannten „realistischen Zeiträume der Gasbildung“ in Istec (2005), auf die sich Colenco, GRS und Ökoinstitut berufen. Diese sind vor dem Hintergrund wesentlich schnellerer empirischer Gasbildungsdaten jedoch selbst erklärungsbedürftig.

Die Lösungsauspressung ins Nebengebirge beginnt, sobald der Innendruck im Endlager den Wert von ca. 50 bar (entsprechend dem hydrostatischen Außendruck an der Übertrittsstelle) übersteigt. Dies ist spätestens nach 92 Jahren der Fall [$1\,400\,000\text{ m}^3 / (5\,600\text{ m}^3/\text{a} + 4\,500\text{ m}^3/\text{a} + 5\,200\text{ m}^3/\text{a}) = 92\text{ a}$]. Durch eine Flutung des Restvolumens würde dieser Zeitpunkt jedoch

wesentlich früher erreicht, z.B. bereits nach ca. 3 Jahren, bei maximaler Flutungsrate und vollständiger Flutung.

Es trifft zu, dass der Verfasser von einer zur Gasbildung volumenmäßig äquivalenten Lösungsauspressung ausgeht. Die Diskussion auf Seite 3 Absatz 2 in der Stellungnahme von GRS/Colenco ist hingegen fehlerhaft, denn sie unterstellt, dass sich die gebildeten Gase vollständig im oberen Teil des Grubengebäudes (also auch vor der Austrittsstelle) sammeln. Davon kann jedoch nicht grundsätzlich ausgegangen werden, weil aufgrund der vielfältigen Fangstrukturen im verfüllten Grubengebäude sich eine Vielzahl räumlich verteilter Gaskissen bilden würde.

Nach Erreichen von ca. 50 bar Innendruck werden keine Gebirgslösungen mehr ins Grubengebäude zufließen, sondern eine Auspressung von Grubenlösung ins Nebengebirge einsetzen. Die Auspressrate setzt sich aus der Konvergenzrate und der Gasbildungsrate zusammen, also rund 10 000 m³/a. Dieser Wert mag wegen verminderter Konvergenzraten etwas überschätzt erscheinen, ist aber wegen der Gasbildung aus bisher nicht berücksichtigten Abfällen und wegen des Feuchteukriechens eher noch unterschätzt.

Der Sinn der Fußnote 2 in der Stellungnahme von GRS/Colenco erschließt sich nicht, denn die Prozesse nach einem unkontrollierten Absaufen des Bergwerks wären ähnlich denen bei einer gezielten Flutung.

Zu Kapitel 2.2 – Konzept Deckgebirgsmodell:

Seite 4/1:

In dem 2-dimensionalen hydrogeologischen Modell wurden tatsächlich in der dritten Dimension dichte Nebengesteine impliziert und nur dem „linearen Störungs-Korridor“ erhöhte Durchlässigkeiten zugeordnet. Diese Festlegungen sind eine Abstraktion von einer komplizierten Realität. Der modellierte Störungskorridor ist daher als Äquivalent dieses geologisch komplexen Schnittbereichs zweier Störungen zu verstehen. (Weiter Ausführungen in C: zu Kapitel 2.5).

Seite 4/2:

Die als unrealistisch kritisierten Mächtigkeitsverhältnisse im Rechenmodell beruhen vermutlich auf einem Missverständnis, denn Schichten, die in Krupp (29.12.2009) in Abbildung 1 (Schnitt S2) gesondert dargestellt sind, konnten teilweise aufgrund ähnlicher kf-Werte in Abbildung 2 zusammengefasst werden. Das als Residualgestein vorliegende subrodierte Muschelkalk-Salinar wurde nicht eigens dargestellt, weil die Residualgesteine nur eine begrenzte Tiefenerstreckung haben und vermutlich ebenfalls tonig und damit wenig durchlässig sind.

Seite 5/1:

Eine Differenzierung zwischen so1A und so2-so4 wurde unterlassen, weil es sich um sehr geringmächtige Horizonte handelt, deren Darstellung im Schnitt S2 stark schematisiert sein dürfte. Die Weglassung solcher Elemente ist bei der vorliegenden sicherheitsgerichteten Fragestellung konservativ. Die von GRS/Colenco angesprochenen hydrochemischen Fragestellungen betreffen den derzeitigen Fließweg der Zutrittslösungen. Der Verfasser hat in seinem Modell nicht impliziert, dass bei einer Umkehr der Fließrichtung exakt die gleiche

Wegsamkeit benutzt würde, obwohl dies durchaus möglich erscheint. Die aktuelle Wegsamkeit ist im Übrigen nicht bekannt und kann daher auch nicht modelliert werden. Sofern es sich um verkarsteten Anhydrit handeln sollte, wären aber ähnlich dramatische radiologische und chemotoxische Konsequenzen zu erwarten, wie in dem Störungsmodell des Verfassers.

Das Szenario 2 des Sondervotums von Krupp ist in das später erfolgte Rechenmodell (Krupp, 29.12.2009) eingeflossen. Der Rechenfall R12 in Colenco (2006) ist mit dem Rechenmodell von Krupp nicht zu vergleichen. Die Colenco-Modelle werden weiter unten noch näher betrachtet.

Seite 5/2:

Der Übertrittsort ist geringfügig zu hoch angesetzt, was auch mit der Notwendigkeit der Diskretisierung für das Rechenmodell zusammenhängt. Die genaue Tiefenlage und Ausdehnung der Übertrittsstelle sind sowieso nicht bekannt. Die Abweichungen haben keinen nennenswerten Einfluss auf das Ergebnis. Das gleiche gilt für die Kritik an der Diskretisierung der Tiefenlage des Salzspiegels. – Dies sind wirklich Marginalien!

Seite 5/3:

Die vom Verfasser angesetzte Durchlässigkeit für den Störungskorridor von $k_f=10^{-5}$ m/s ist keineswegs unrealistisch für den Kreuzungsbereich zweier Störungszonen und stellt im Übrigen einen abstrahierten Äquivalentwert für das Störungskreuz dar. Wie die Störungszone tatsächlich beschaffen ist, entzieht sich unserer Kenntnis, so dass für den Zweck einer Langzeitsicherheits-Betrachtung eine konservative Annahme erforderlich ist. Die von GRS/Colenco behaupteten linearen Zusammenhänge zwischen Durchlässigkeit des Nebengesteins und der Störungszone sind nicht weiter begründet. – Es wurde auch bereits darauf hingewiesen, dass das Modell von Krupp nicht im Entferntesten zum Ziel hatte, den heutigen Lösungszutritt ins Grubengebäude zu untersuchen.

Seite 6/1:

Da die Grubenlösungen entsprechend dem Modell von Krupp mit vorgegebener Rate und stark kanalisiert ausgepresst werden, hat er zu Recht Dichte- und Viskositätseffekte vernachlässigt. Die weiteren Ausführungen von GRS/Colenco bezüglich der Effekte der Viskosität gehen am Problem vorbei: Die Auspressrate wird nicht vom Strömungswiderstand im Nebengebirge kontrolliert, sondern von der Konvergenz und Gasbildung in der Grube. Sich im Nebengebirge ggf. einstellende Blockaden würden durch hydraulische Rissbildung gesprengt. Auch hier liegt der vorgebrachten Kritik ein falsches Systemverständnis zugrunde.

Zu Kapitel 2.3 – Modellergebnisse Deckgebirgsmodell:

Seite 6/2:

Die im Fall B (Krupp, 29.12.2009) errechneten Drücke wurden diskutiert, und es wurde insbesondere erörtert, wie die durch das Rechenprogramm ermittelten Drücke zu verstehen sind.

Aber die hier von GRS/Colenco dargelegten Vorstellungen bezüglich des Verhältnisses zwischen Gebirgsdruck, Fluiddruck, Konvergenz und hydrostatischem Grundwasserdruck zeugen, wie bereits im vorausgegangenen Kommentar (Seite 6/1), von einem falschen und damit gefährlichen Systemverständnis:

In einem „druckfest verschlossenen“ (hoher Strömungswiderstand), fluidgefüllten und vertikal ausgedehnten Grubengebäude wirkt der im Grubentiefsten ($z_{\max}$; Meter unter Gelände) herrschende lithostatische Gebirgsdruck ($p_{\max} = \rho_{\text{Gestein}} \cdot g \cdot z_{\max}$) auf die Fluidfüllung. Das inkompressible Fluid überträgt diesen Maximaldruck, vermindert um den hydrostatischen Druck der Fluidsäule ($p_{\text{fluid}} = \rho_{\text{Fluid}} \cdot g \cdot (z_{\max} - z_{\min})$), hydraulisch auf die gesamte Wandung des Grubengebäudes. $z_{\min}$ ist hierbei die Tiefenlage des Grubenhöchsten, z.B. des Schachtverschlusses, in Meter unter Gelände. Oberhalb einer kritischen Tiefe z_{krit} , in der $(p_{\max} - p_{\text{Fluid}}) > p_{\text{Litho}}(z)$ ist, wird es daher zur hydraulischen Rissbildung kommen. Die vor der Rissbildung noch zu überwindende Zugfestigkeit des Gesteins kann in einem geklüfteten Nebengebirge vernachlässigt werden. Diese kritische Tiefe liegt in der Schachanlage Asse II bei ca. 675 m (unter Gelände), wenn folgende Parameter zugrunde gelegt werden:

Grubentiefstes	$z_{\max}$	1000 m unter GOK
Grubenhöchstes	$z_{\min}$	450 m unter GOK
Gesteins-Dichte	ρ_{Gestein}	2200 kg/m ³
Fluid-Dichte	ρ_{Fluid}	1300 kg/m ³

Bei zusätzlicher Anwesenheit einer kompressiblen Gasphase ist die Gesamtdichte des 2-Phasen-Fluids vermindert, wodurch die kritische Tiefe weiter nach unten verlagert wird. Außerdem wird die Gasphase bis zum Erreichen des Frac-Druckes ($p_{\text{Frac}} \geq \rho_{\text{Gestein}} \cdot g \cdot z_{\text{krit}} = 14,6 \text{ MPa}$) weiter komprimiert und speichert somit Druck-Volumen-Arbeit, die bei Rissbildung spontan freigesetzt wird, im konkreten Fall unter einer Verdreifachung des Gasvolumens.

Da der in der Tiefe auf das Grubengebäude wirkende lithostatische Gebirgsdruck immer größer als der hydrostatische Fluiddruck des Flutungsmediums sein wird, wird die Konvergenz durch ein Flutungsmedium nicht gestoppt, sondern nur verlangsamt. Daher wird auch die konvergenzbedingte Laugenauspressung nicht zum Stillstand kommen, solange das Restvolumen konvergiert.

Seite 7/1:

Zum wiederholten Male wird das numerische Modell des Verfassers mit den derzeitigen Laugenzuflüssen in Verbindung gebracht. Diese Laugenzuflüsse sind nicht Bestandteil des vom Verfasser betrachteten Szenarios! – Die Laugenzuflüsse stellen aber ein eigenes Szenario dar, das einer Untersuchung mittels numerischer Modellierung würdig wäre, sofern die geologischen Grundlagen bekannt wären. Bezüglich der Langzeitsicherheit genügt es aber bereits, wenn die Langzeitsicherheits-Hypothese durch ein einziges Szenario falsifiziert werden kann, beispielsweise durch die von Krupp (29.12.2009) modellierte Störungs-Kreuzung.

Seite 7/2:

Es trifft auch nicht zu, dass Krupp (29.12.2009) irgendeine Schadstoff-Konzentration unterstellt hat. Er hat vielmehr den allgemeinen Ansatz gemacht, dass die Schadstoffkonzentration, wie sie an der Austrittsstelle ansteht, einen unbekannten Wert x hat, dessen durch Verdünnung im Nebengebirge absinkende Konzentration in Prozentanteilen von x ausgedrückt wird. Das hydrogeologische Modell wurde damit von den grubeninternen Prozessen entkoppelt.

Zu Kapitel 3 – Schlussfolgerung:

Aus den dargelegten Gründen werden die Schlussfolgerungen von GRS/Colenco zurückgewiesen.

Andererseits verweisen die hinter Colenco stehenden Personen häufiger auf die von ihnen selbst erstellten hydrogeologischen Modellrechnungen, insbesondere auf Colenco (2006). Daher soll im nächsten Abschnitt eine Einschätzung der Zuverlässigkeit dieser Berechnungen vorgenommen werden.

Bewertung der Studie von Colenco (2006)

Allgemein muss an der Studie von Colenco (2006) kritisiert werden, dass sie an der in der „Endlagerszene“ üblichen Unsitte der exzessiven, häufig im „Nirwana“ endenden Verweis-Ketten leidet, die eine Nachvollziehbarkeit der Grundlagen de facto verhindert, zumal es sich üblicherweise auch noch um öffentlich nicht zugängliche („intransparente“) Dokumente handelt.

Generell sind die Berechnungen von Colenco (2006) auch weder anhand des Textes noch der Abbildungen im Detail nachvollziehbar, weil unpräzise und unvollständig dokumentiert.

Bei Betrachtung der Abbildungen 3-1 und 3-3 von Colenco (2006) muss man sich fragen, wozu das Modell in streichender Richtung so ausgedehnt sein muss, wenn sich die geologischen Verhältnisse in Streichrichtung doch nicht ändern. Die einzigen interessanten Anomalien sind Störungen, die eine nähere Betrachtung erfordert hätten (z.B. wie bei Krupp (29.12.2009)).

Bei Abb. 3-1 stellen sich zusätzlich die Fragen, weshalb beispielsweise die Subrosionsgerinne, die Anhydritmittel und die Verkarstungszone in Streichrichtung nicht durchgängig dargestellt wurden, und welche geologische Signifikanz die „Ausgleichsschicht“ hat?

In Kapitel 2 wird deutlich, dass die Modellgrenzen aus geologischer Sicht ziemlich arbiträr festgelegt worden sind, und ohne große Rücksichtnahme auf hydrogeologische Gegebenheiten. Dies schafft große Probleme bei der Festlegung sinnvoller Randbedingungen. (Ab Seite 57 ff. wird dann auch beschrieben, dass die seitlichen Modellränder allgemein als undurchlässig modelliert, aber an bestimmten Stellen durchlässig gemacht worden sind.) Andererseits wurden an den wenigen Stellen, wo man aus gutem Grund einen undurchlässigen Rand hätte modellieren dürfen, definierte Randzuflüsse vorgegeben, beispielsweise bei der im Asse-Kamm verlaufenden Grundwasserscheide (Vgl. Abb. 2-18). – Derartige Kunstfehler sind nicht akzeptabel, schon gar nicht bei kerntechnischen Anlagen.

Auch die arbiträr gezogene Modellbasis wurde als undurchlässig modelliert, was bei einem generell gering durchlässigen Gebirge zu schwer erkennbaren Rechenartefakten führen kann.

Eine Folge der sachwidrigen Randbedingungen ist beispielhaft in **Abbildung 1** wiedergegeben.

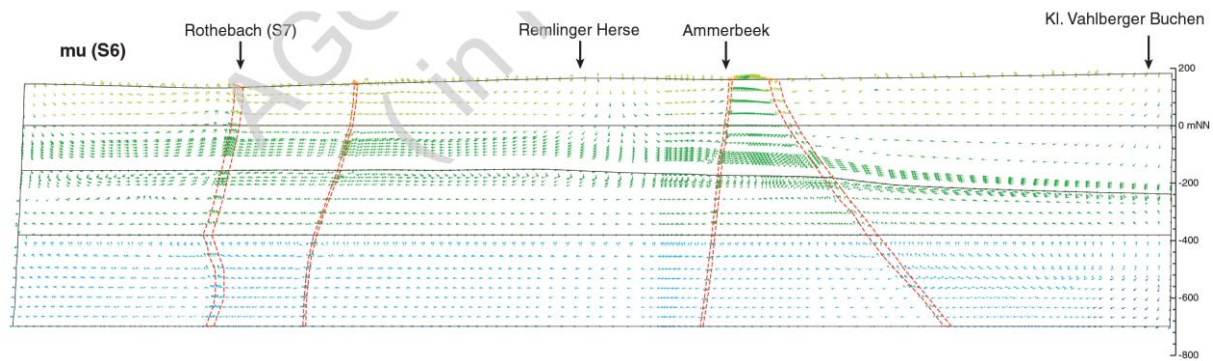


Abbildung 1 – Ausschnitt aus Abbildung 4-2 in Colenco (2006). Der östliche (rechts), untere und westliche (links) Modellrand wurden als undurchlässig festgelegt, ausgenommen am linken Rand unterhalb -200 m NN (Vgl. S. 57 unten). Als Folge verlaufen die Geschwindigkeitsvektoren an allen undurchlässigen Rändern parallel zum Modellrand und an den Ecken um die Ecke, obwohl es dafür absolut keine geologischen Gründe gibt. Nur am Westrand unterhalb -200 m NN kann das Grundwasser die „virtuelle Badewanne“ des Modells verlassen. Solche Modell-Artefakte erzwingen, gewollt oder ungewollt, bestimmte Strömung-Regime, auch im inneren Teil des Modellraums und führen zu völlig realitätsfremden Ergebnissen.

Auf S. 55 wird deutlich, dass bei den Festsetzungen der Randbedingungen mit Festpotentialen gearbeitet werden musste, weil eine Modellierung mit Grundwasserneubildung zu nicht „belastbaren Ergebnissen“ geführt hat.

Die Modellrechnungen wurden instationär durchgeführt, auf Grundlage der bereits oben (Seite 2/1 und 2/2) kritisierten Vorstellungen über die Gasbildung (Modell ALSA-C, Vgl. Abbildung 1 der Stellungnahme des Öko-Instituts vom 25.02.2010).

Die Bedeutung der auf Seite 65 zu findenden Formulierung: *„Die Güte der Anpassung wird durch den Vergleich der Druckverläufe an der Übertrittsstelle zwischen den Modellrechnungen ALSA-C und den Modellrechnungen ... bewertet.“* erschließt sich nicht vollkommen und wirft daher Fragen nach der methodischen Vorgehensweise auf.

Erklärungsbedürftig sind auch die berechneten Grundwassergleichen in Abbildung 2-19, die zahlreiche Diskontinuitäten und Sprünge aufweisen, was physikalisch unmöglich ist.

Weiter findet sich auf Seite 77 folgende Aussage: *„Die Permeabilitäten der Modelleinheiten Scherdeformationsbereich S3/D9, Rötanhydrit so1A_{gh}, und Anhydritmittel am werden so kalibriert, dass 90% des Lösungszutritts über den Scherdeformationsbereich S3/D9 und 10% ungefähr zu gleichen Anteilen entlang der Pfade Rötanhydrit und Anhydritmittel zutreten.“* Diese beispielhafte Aussage scheint symptomatisch für die Vorgehensweise von Colenco (2006): Es wird an zahlreichen Stellen vorgegeben, wie das Ergebnis aussehen soll. Die Modellierungssoftware wird hier nicht als analytisches Instrument verwendet, sondern eher als „Design-Werkzeug“ zweckentfremdet.

Aus der Beschreibung in Kapitel 2 wird weiter deutlich, dass bei der Diskretisierung der 3-dimensional im Detail weitgehend unbekannten geologischen Verhältnisse zahlreiche unbewiesene, aber das Ergebnis beeinflussende Annahmen getroffen worden sind. Ein Beispiel solcher geologischer „Kuriositäten“ ist in **Abbildung 2** wiedergegeben.

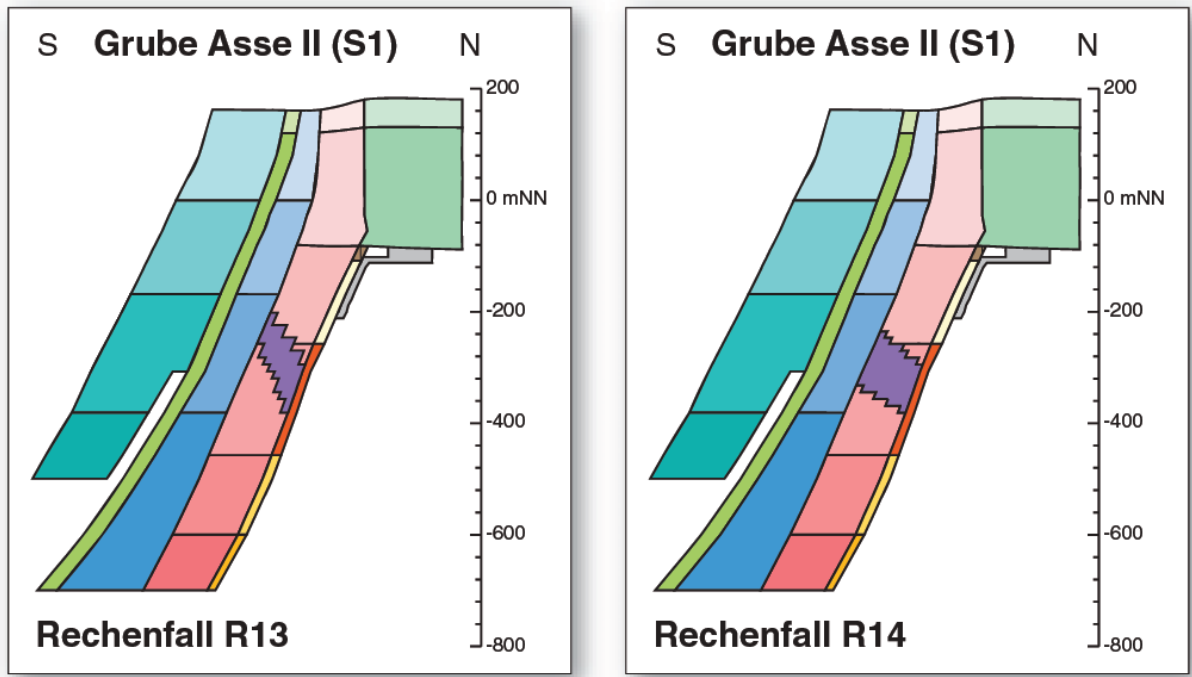


Abbildung 2 – Ausschnitt aus Abbildung 2-4 in Colenco (2006). Die beiden Bilder zeigen einen vertikalen Modellschnitt. Neben den völlig arbiträr festgelegten Modellrändern wird deutlich, dass die Störungszone S3D9 (violett) bei Colenco (2006) nicht bis zur Oberfläche reicht, sondern blind endet. Außerdem ist diese Zone rund 100 m mächtig und in der dritten Dimension (senkrecht zur Bildfläche) ausgedehnt. Dadurch weist sie einen großen Porenraum auf, in dem ausgepresste Lösung Platz nehmen kann. Durch diese völlig realitätsfernen Festlegungen wird verhindert, dass im Modell eine Ausbreitung kontaminierter Lösungen zur Oberfläche erfolgen kann.

Angeichts solcher offensichtlicher und fundamentaler Mängel sind die von Colenco (2006) angestellten Berechnungen und die daraus gezogenen Schlussfolgerungen nicht belastbar. Unter keinen Umständen sollten sie zur Grundlage für sicherheitsrelevante Entscheidungen gemacht werden.

C: Zur Kurzstellungnahme vom Öko-Institut vom 25.02.2010

Für die „Kurzstellungnahme“ des *Öko-Instituts* zeichnen Herr Dipl.-Geologe Stefan Alt und Frau Dr. Ing. Veronika Ustohalova verantwortlich.

Der Aufbau der „Kurzstellungnahme“ ist ungewöhnlich, da ihre Verfasser bereits ganz am Anfang des Kapitels 2, unter Verwendung tendenziöser Formulierungen, ihr „Credo“ darlegen, welches programmatisch für die weitere Auseinandersetzung mit dem Strömungs- und Transport-Modell von Krupp (29.12.2009) ist und die Aussagen ihres Fazits schon vorweg nimmt.

Zu Kapitel 2 – Stellungnahme:

Das Öko-Institut kritisiert, dass das 2D-Modell von Krupp (29.12.2009) nur wenige Parameter verwende und 3-dimensionale Effekte sowie den Einfluss von Dichte- und Viskositätsunterschieden, zeitliche Aspekte (variable Auspressrate, radioaktiver Zerfall) und Sorptionseffekte nicht berücksichtige und die *„örtlichen Verhältnisse nicht ausreichend korrekt“* wiedergebe. Andererseits glaubt das Öko-Institut, dass die „umfangreichen Arbeiten von Colenco“ den *„Stand des Wissens zur Deckgebirgshydrogeologie im Umfeld der Asse unter Verwendung eines robusten 3-dimensionalen Modells“* darstellten.

2D-Modell: Zweidimensionale Modelle sind in der Hydrogeologie eher die Regel als die Ausnahme. Dies liegt unter anderem auch daran, dass die geologischen Untergrundverhältnisse oft aufgrund nadelstichartiger Bohrprofile und lückenhafter Aufschlüsse interpretiert werden müssen. Zuverlässige Informationen für den gesamten 3-dimensionalen Modellkörper liegen also in der Regel nicht vor. Dies führt bei 3D-Modellen dann häufig zu vagen Annahmen, die im Zweifelsfall nicht beweisbar sind und auch zu falschen Ergebnissen führen können. Dies trifft insbesondere bei kompliziert gebauten Gebilden wie dem Asse-Salzrücken mit seinem Nebengebirge zu.

Ziel der Modellierungsstudie von Krupp (29.12.2009) war es gewesen, anhand eines sicherheitskritischen Szenarios die Hypothese zu testen, dass die Laugenauspressung zu keiner Beeinträchtigung der Biosphäre führen kann (Voraussetzung für die Option Vollverfüllung). Krupp (29.12.2009) hat es daher vorgezogen, sein Modell auf einen vergleichsweise verlässlichen, durch Tiefbohrungen und Schächte belegten 2-dimensionalen Profilschnitt zu gründen, der das Nebengebirge der Asse-Struktur beispielhaft darstellt und keine spekulativen Annahmen erfordert. Die 2D-Geometrie des Rechenmodells wurde von Krupp explizit begründet.

Dichteunterschiede im Grundwasser können maximal im Bereich von 1000 bis 1300 kg/m³ variieren und somit im Extremfall einen Einfluss auf Druck-Gradienten von maximal dem 1,3-fachen verursachen.

Bei dem hier zu betrachtenden Modell werden die Druckgradienten von wesentlich stärkeren Einfluss-Faktoren (Gebirgsdruck, Gasdruck) geprägt, so dass Dichteunterschiede vernachlässigbar sind.

Viskositäten unterschiedlicher Salzlösungen können (nach GRS/Colenco) bis zu 8-fach (Magnesiumchlorid-Lösung) höher liegen als die von Süßwasser. Bei gesättigten NaCl-Lösungen sei die Viskosität 2-fach erhöht. Da das Grundwasser der Asse versalzen ist, ist im Nebengebirge der Asse höchstens mit 4-fachen Unterschieden zu rechnen. Außerdem

haben aber auch gelöste Gase einen Einfluss auf die Viskosität, der z.B. von Colenco nicht berücksichtigt wird. Im Falle der Entmischung einer Gasphase und Bildung eines 2-Phasen-Fluids, sind die Verhältnisse noch weit dramatischer.

Bei dem hier zu betrachtenden Fall spielen Viskositätskontraste dennoch keine Rolle, weil sie sich auf alle durchströmten Gesteinskörper gleichermaßen auswirken.

Zeitlich konstante Auspressrate (stationärer Rechenfall): Krupp (29.12.2009) hat selbst erörtert, dass die Annahme zeitlich konstanter Auspressraten eine Vereinfachung darstellt. Da der zeitliche Verlauf der Lösungsauspressung nicht genau bekannt ist und zudem stark vom Flutungs-Verlauf abhängt, wurde eine zeitlich gemittelte, aber ansonsten realistische Auspressrate gewählt. Demgegenüber wird der von Colenco (2006) angenommene Ansatz (Modell ALSA-C) für nicht belastbar erachtet. (Vgl. B: Seite 2/1 und 2/2).

Radioaktiver Zerfall: Die Umwandlung gelöster Nuklide durch radioaktiven Zerfall wurde im Modell von Krupp (29.12.2009) nicht explizit betrachtet, weil sie angesichts der Kürze der relevanten Zeitspanne bis zum Erreichen der Biosphäre ohnehin nur für sehr kurzlebige Isotope (z.B. $t_{1/2} < 10$ Jahre) eine Bedeutung hätte, die im Asse-Inventar nicht die Hauptrolle spielen.

Sorptionseffekte werden häufig überbewertet. Zunächst ist die Sorptionskapazität von Mineraloberflächen begrenzt, es finden Konkurrenzreaktionen zwischen sorbierfähigen Teilchen statt die vom Massenwirkungsgesetz beherrscht werden, weshalb Spurenstoffe gegenüber Hauptbestandteilen stark benachteiligt sind. Außerdem ist der Sorptionsprozess grundsätzlich auch reversibel und die Rückhaltung damit nur temporär und partiell.

Wichtiger jedoch ist die Tatsache, dass sich in Durchfluss-Systemen Fluide entlang bevorzugter Migrationspfade bewegen und mit den angrenzenden Kontaktflächen des Nebengesteins schnell in einen Gleichgewichtszustand kommen können. Sobald dieser Zustand erreicht ist, wird sich der Chemismus der Lösung nicht mehr verändern. Sorptionseffekte, wie sie im Labor in Batch-Versuchen untersucht worden sind, dürfen daher nicht ohne weiteres übertragen werden. Außerdem dürfen die einer als homogen-porös gedachten Gesteinsmatrix zugeordneten Sorptions-Kapazitäten nicht bei klüftigen Migrationspfaden verwendet werden.

Korrekte Wiedergabe der örtlichen Verhältnisse: Die von Krupp (29.12.2009) wiedergegebenen örtlichen Verhältnisse beruhen auf einer Diskretisierung des geologischen Schnittes S2 zwecks Parameterzuweisung für die Finite-Differenzen-Zellen des Rechenmodells. Wie bei allen numerischen Rechenmodellen sind dabei Vereinfachungen unvermeidbar. Die von Krupp (29.12.2009) vorgenommene Umsetzung des Schnitts S2 ist in völlig transparenter Weise erfolgt und kann jederzeit überprüft werden. Es wurde vermieden, eine Überinterpretation des Schnitts 2 vorzunehmen, da dieser Schnitt selbst bereits eine Interpretation darstellt. Insbesondere wurde es vermieden, arbiträre Annahmen zu machen, die nicht belegbar bzw. plausibel zu begründen sind.

Andererseits scheinen die Sachverständigen vom Öko-Institut das 3D-Modell von Colenco (2006) geprüft zu haben, aber die offensichtlichen und gravierenden Schwächen dieses Modells (Siehe oben) scheinen Ihnen völlig entgangen zu sein. Andernfalls wäre es unverständlich, wie das Öko-Institut zu der Aussage gelangen konnte, dass ausgerechnet das Colenco-Modell (Colenco, 2006) „robust“ sei, und das Krupp-Modell nicht.

Zu Kapitel 2.1 – 2D-Modellgeometrie in ASM:

Das Öko-Institut will hier offenbar den Eindruck vermitteln, dass die Verwendung von 2D-Modellen, insbesondere solche mit der ASM-Software berechnete 2D-Modelle, unprofessionell sei, und professionelle Ergebnisse nur durch Verwendung von 3D-Software wie NAMMU möglich seien. Abgesehen davon, dass zahlreiche Praxis-Beispiele (auch mit ASM) das Gegenteil beweisen, vergessen die Öko-Institut-Mitarbeiter, dass es letztlich auf den Sachverstand und das Können (und manchmal auch auf die Ethik) derjenigen ankommt, die diese Software benutzen.

Die Öko-Institut-Mitarbeiter glauben, dass die Hauptströmungsrichtungen dem Schichtstreichen der verschiedenen Grundwasserleiter der Asse-Struktur folgten. Da jedoch, wie anhand der k_f -Werte leicht erkennbar ist, im Nebengebirge durchweg mehr oder weniger geringe Gebirgsdurchlässigkeiten vorliegen, kommt den Kluftsystemen und Störungen eine überragende Rolle zu. Die schichtparallelen porösen Längsströmungen haben im Asse-Gebiet nur oberflächennah eine Bedeutung.

Die weiteren Ausführungen weisen darauf hin, dass die Öko-Institut-Mitarbeiter die Rechtfertigung der 2D-Modellgeometrie in Krupp (29.12.2009) übersehen oder nicht verstanden haben. Nochmal: Die Modellebene (x-z) selbst stellt eine Querstörung dar, welche die streichende Störung S3D9 schneidet und dadurch einen besonders durchlässigen, linearen Schnittkörper bildet („durchlässiger Korridor“), der einen bevorzugten Fließweg (von im Modell 10 mal 10 m Querschnitt, mit einer Durchlässigkeit $k_f=10^{-5}$ m/s) darstellt. Die Durchlässigkeit dieses Korridors ist größer als die der einfachen Störungszonen und deutlich größer als die der ungestörten Nebengesteine. Auch der Hinweis auf den „zu hohen Druck“ geht fehl, weil dieser insoweit keine Rolle spielt als eine definierte Auspressrate vorgegeben wurde (10 000 m³/a). Diese Vorgehensweise ist begründet, weil der hydraulisch übertragene Druck durch den Gebirgsdruck im Grubentiefsten bestimmt wird und ggf. durch hydraulische Rissbildung ausreichende Durchlässigkeiten schafft (Vgl. B: 6/1 und 8/2). – Auch beim Öko-Institut scheint an dieser Stelle ein ungenügendes Systemverständnis vorzuliegen.

Zu Kapitel 2.2 – Hydrogeologische Struktur und Durchlässigkeitsbeiwerte

Die Berechnungen von Krupp (29.12.2009) beziehen sich ausschließlich auf die gesättigte Zone, und die verwendeten k_f -Werte sind Gebirgsdurchlässigkeiten, die empirisch durch zahlreiche Bohrloch-Untersuchungen in situ gewonnen worden sind (Colenco, 2006a). Von Krupp wurden keine arbiträren Annahmen bezüglich einer fraglichen teufenabhängigen Auflockerung gemacht. Insoweit geht die vorgebrachte Kritik fehl.

Da der Rötanhydrit nur abschnittsweise erhöhte Durchlässigkeiten aufweist, abschnittsweise aber auch nicht, wären ohne detailliertes Wissen alle diesbezüglichen Annahmen willkürlich. Im Übrigen wurde bereits darauf hingewiesen, dass das Modell von Krupp (29.12.2009) einem anderen Szenario gilt. Das Muschelkalk-Salinar per se ist undurchlässig, das von der Oberfläche her daraus entstandene und zur Tiefe blind endigende Residualgebirge ist ein Geringleiter, dem keine größere Bedeutung für die hier interessierende Fragestellung zugerechnet worden ist.

Auch Krupp (29.12.2009) hat, wie auch Colenco (2006) und wie allgemein üblich, für Störungssysteme „äquivalent-poröse“ k_f -Werte benutzt. Dass es andere Berechnungsansätze

für Kluftsysteme gibt, mag zutreffen; inwieweit diese sich durchsetzen werden bleibt weiterhin abzuwarten. Es ist jedoch unzutreffend, dass die Anwendung „äquivalent-poröser“ k_f -Werte zu falschen Ergebnissen führt, und dies gilt selbstverständlich auch für die ASM-Modellsoftware.

Zu Kapitel 2.3 – Störung als präferenzzieller Fließweg

Die Mitarbeiter des Öko-Instituts behaupten hier einen linearen Zusammenhang zwischen der lokalen Durchlässigkeit einer Störung und der Durchlässigkeit des lokalen Nebengebirges. Obwohl gewisse Beziehungen dieser Art im Einzelfall bestehen können, ist es abwegig sie generell anzunehmen oder gar zu fordern. Diese auch von Colenco (2006) gewählte Vorgehensweise ist sowohl qualitativ wie quantitativ reine Mutmaßung. Neben der Lithologie des Nebengesteins sind bei Störungszonen vor allem der tektonische Beanspruchungsplan und seine zeitliche Entwicklung maßgebliche Größen für die hydraulische Durchlässigkeit. Ebenso spielen die aktuellen hydraulischen Druckverhältnisse und der Gebirgsspannungszustand eine Rolle.

Folgt man jedoch der Diskussion halber dieser „linearen Logik“, so kommt man zu folgendem Ergebnis: Bei einer störungsbedingten Auflockerung um den vorgeschlagenen Faktor 1000 gegenüber dem Nebengebirge würde sich bei der geringsten Gebirgsdurchlässigkeit von 10^{-12} m/s für eine einfache Störung ein Wert von 10^{-9} m/s errechnen. Wird diese Störung durch eine zweite Störung geschnitten, ergibt sich für den Schnittbereich (Korridor) ein Wert von 10^{-6} m/s, also nicht sehr viel weniger als der von Krupp verwendete Äquivalent-Wert !

Das Öko-Institut erkennt völlig korrekt, dass die Fokussierung der gesamten Auspressrate auf die als gut durchlässiges Linear dargestellte Störung unter dem sich im Modell aufbauenden Überdruck automatisch zu einem sehr schnellen und nahezu vollständigen Transport an die Oberfläche führt. Genau aus diesem Grund hat Krupp (29.12.2009) dieses unter dem Aspekt der Langzeitsicherheit kritische Szenario betrachtet. Dieses Ergebnis ist jedoch nicht die Folge einer „modellspezifischen“ Überschätzung des Drucks, oder der Nichtberücksichtigung der dritten Dimension, oder zu hoch angesetzter Durchlässigkeiten. Es beruht vielmehr auf einem richtigen Systemverständnis.

Man kommt übrigens aus rein geometrischen Überlegungen zu einem ähnlichen Ergebnis: Bei einem bevorzugt leitfähigen Störungskorridor mit einer Querschnittsfläche von 100 m^2 , einer Länge von ca. 700 m und einer Porosität von 7,5 Prozent ergibt sich ein Porenraum von 5250 m^3 . Bei einer Auspressrate von $10\,000 \text{ m}^3/\text{a}$ ist das Grundwasser in diesem Porenraum rein rechnerisch in ca. einem halben Jahr verdrängt und die Grubenlösung erreicht die Oberfläche. Auch solche Überlegungen bestätigen die Robustheit des Krupp'schen Modells. Durch Dispersionseffekte und der nicht vernachlässigbaren Leitfähigkeit des Nebengebirges außerhalb des Korridors errechnet das numerische Modell etwas abweichende Werte. Das entscheidende Moment ist also der vergleichsweise durchlässige lineare Korridor im Schnittbereich zweier Störungen. Da solche Korridore aufgrund des geologischen Kenntnisstandes anzunehmen sind, hat das Krupp'sche Modell seine Gültigkeit und die Langzeitsicherheit ist in Frage gestellt.

Zu Kapitel 2.4 – Auspressrate

Auch bezüglich der zeitlichen Entwicklung der Auspressrate schließt sich das Öko-Institut offenbar völlig kritiklos dem so genannten ALSA-C Modell an. Zu diesem Modell wurde bereits unter B: Seite 2/1 und 2/2 ausreichend Stellung bezogen.

Zu Kapitel 2.5 – Druckaufbau und kontaminierte Salzwasseraustritte

Krupp (29.12.2009) hatte vorausgesetzt, dass die Adressaten seiner Ausarbeitung grundlegende Kenntnisse über Strömungs- und Transportmodelle haben und somit wissen, dass diese Modelle nicht gleichzeitig die gebirgsmechanischen Auswirkungen hydraulischer Überdrücke beschreiben können. Die Mitarbeiter des Öko-Instituts geben ja auch zunächst die Kernaussagen in Krupp (29.12.2009) korrekt wieder, in denen erörtert wird, wie die im hydrogeologischen Modell, Rechenfall B, errechneten hohen Drücke zu interpretieren sind. Dass dann im nächsten Satz behauptet wird, eine Plausibilitätsbetrachtung der errechneten Drücke habe nicht stattgefunden, ist völlig unverständlich.

Die im Rechenfall B von Krupp errechneten hohen Drücke sind eine Konsequenz der hohen und vorgegebenen Auspressraten in Verbindung mit den geringen Gebirgsdurchlässigkeiten. Insofern ist die Errechnung von Überdrücken völlig plausibel und sogar eine notwendige Konsequenz. Auch in der Realität würde es zu einem Druckaufbau kommen, der dann allerdings die hydraulische Rissbildung zur Folge hätte, wodurch ausreichende Durchlässigkeiten geschaffen würden. Wenn das Öko-Institut bereits den von Krupp (29.12.2009) angenommenen äquivalenten k_f -Wert (10^{-5} m/s) für den Störungs-Korridor für zu hoch (zu durchlässig) ansieht, dann würden sich bei kleineren k_f -Werten sogar noch höhere Überdrücke errechnen.

Sowohl 2D- als auch 3D-Modelle sind Abstraktionen von der Realität. Zum Beispiel hat der im Modell von Krupp (29.12.2009) nachgebildete Störungs-Korridor im Detail tatsächlich eine Geometrie, wie in Abbildung 3 dargestellt.

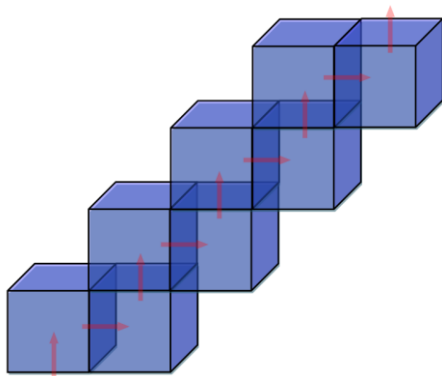


Abbildung 3 – Diskretisierung des Störungskorridors im 2-dimensionalen Modell.

Die zickzack-artige Aneinanderreihung quaderförmiger Zellen bildet einen linearen Korridor mit hohen Durchlässigkeiten nach, als Abstraktion eines im Detail komplex strukturierten, 3-dimensionalen Schnittkörpers zweier Störungszonen. Der so als Finite-Differenzen-Zellen diskretisierte Schnittkörper (Korridor) von 10 mal 10 Meter Querschnitt, einer Durchlässigkeit von 10^{-5} m/s und 7,5 Volumenprozent Porosität ist daher als Äquivalent des realen, im Detail komplex strukturierten, linear ausgedehnten Schnittkörpers zweier

Störungszonen anzusehen. Dieses Äquivalent wird als repräsentativ für das real 3-dimensionale geologische Gebilde betrachtet, zumindest für die von Krupp getroffenen Aussagen.

Würde man den Querschnitt oder die Porosität vergrößern (geologisch wenig plausibel), würden die Grubenlösungen proportional später die Oberfläche erreichen. Würde man die Durchlässigkeit verringern, würde rechnerisch ein höherer Druck aufgebaut, in der Realität jedoch die Durchlässigkeit durch hydraulische Rissbildung vergrößert.

Die weiteren Ausführungen des Öko-Instituts sind abwegig und belegen ein ungenügendes Systemverständnis. Soweit das Öko-Institut von zeitlichen Verzögerungen bei der Nuklid-Mobilisation Kredit nehmen will, sind solche Annahmen lückenlos nachvollziehbar zu begründen und zu quantifizieren.

Zu Kapitel 2.6 – Fazit

Nach detaillierter Erörterung der Stellungnahme des Öko-Instituts hält Krupp in vollem Umfang an seinen Aussagen fest. Die vom Öko-Institut vorgebrachte Kritik wird in allen wesentlichen Punkten zurück gewiesen. Auch in Anbetracht der in den Modellen von Colenco (2006) offenkundigen, aber vom Öko-Institut nicht erkannten Fehler, stellt sich die Frage nach der Urteilsfähigkeit der betreffenden Mitarbeiter.

Aufgrund des nun offensichtlich korrekturbedürftigen Systemverständnisses bei Colenco/GRS als auch beim Öko-Institut, sieht Krupp in seinem Beitrag durchaus eine Erweiterung des bisherigen Kenntnisstandes. Insofern sind die Modellrechnungen von Krupp (29.12.2009) auch keine „Rückvereinfachung“ oder ein „*unzulässiger Rückschritt gegenüber einem fortgeschrittenen Stand von Wissenschaft und Technik, der für eine qualifizierte Fachdiskussion dann nicht mehr hilfreich ist*“, wie das Öko-Institut meinte. Ob Colenco/GRS und das Öko-Institut selbst auf dem Stand von Wissenschaft und Technik sind, erscheint angesichts der vorausgegangenen Ausführungen fraglich.

Quellenangaben

Colenco (2006)

Poller A, Resele G, Poppei J (2006) Deckgebirgsmodellierung Phase IV – Grundwasserbewegung im Deckgebirge des Standortes Asse (Schlussbericht). Bericht 3331/71, Colenco Power Engineering AG. - September 2006

Colenco (2006a)

Klemenz W, Lavanchy J-M, Resele G, Poller A (2006) Hydrogeologische Modellvorstellungen. Bericht 4956/07, Colenco Power Engineering AG. - November, 2006

Colenco, GRS, IfG (2009)

Anonym (2006) Schachtanlage Asse II – Beschreibung und Bewertung der Stilllegungsoption Vollverfüllung. AF-Colenco AG, Baden (Schweiz), Gesellschaft für Anlagen und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Braunschweig, IfG Institut für Gebirgsmechanik GmbH, Leipzig. Bericht Colenco 1764/01 /GRS-A-3494 / IfG 8681-9, 01.10.2009

GRS, Colenco (2006b)

Buhmann D, Förster B, Resele G (2006b) Gesamtbewertung der Langzeitsicherheit für den Standort Asse (Konsequenzenanalyse). Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Braunschweig / Colenco Power Engineering AG, Baden (Schweiz), GRS-A-3350 / Colenco-Bericht 3762/01, Dezember 2006

Istec (2005)

Bracke G, Müller W. (2005) Realistische und maximale Gasbildung in der Schachtanlage Asse. Bericht Istec A-979. - Juli 2005.

Anlage 5

Sondervotum von Herrn Prof. Bertram vom 07.07.2010

**Prof. Dr. Rolf Bertram,
stimmberechtigtes Mitglied der AGO**

SONDERVOTUM ZUR

**Stellungnahme zur
Beantwortung der Fragen des BMU bzgl.
Dr. habil. R. E. Krupp
Strömungs- und Transportmodell,
Langzeitsicherheit
Asse II [Stand: 29. Dezember 2009]**

Arbeitsgruppe Optionenvergleich

Bezug:

- (1) Vorläufige Stellungnahme zum Prüfbericht "Hydrogeologische Modellvorstellungen", Bericht 4956/07 , Revision 3 (November 2006), (Prüfunterlage IV.7
- (2) Prüfunterlage IV.7, GSF/COLENCO, Rev.03, 2006

Nach Mitteilung vom 06. 07. 2010 sieht sich PTKA-WTE nicht in der Lage, meine Vorschläge zur Modifizierung der AGO-Stellungnahme zu berücksichtigen.

Da mir im Verlauf der Abstimmungsphase die LBEG-Stellungnahme (1) durch PTKA-WTE zugeing , war es für mich selbstverständlich, die dort dargelegten Prüfergebnisse in die Bewertung einzubeziehen. Eine Nichtberücksichtigung aus formalen Gründen kann ich daher nicht mittragen.

Da lt. Zitat (Seite 3 aus (1)) **"Auf den Aussagen dieses Berichts** (gemeint ist (2)) **u.a. wesentlich die in der Deckgebirgsmodellierung Phase IV beschriebenen Modellrechnungen, sowie die Szenarienentwicklung Asse und die Transportmodellierungen beruhen"**, ist eine Einbeziehung der LBEG-Stellungnahme (1) bei der AGO-Einschätzung des COLENCO-Modells unverzichtbar.

Die Prüfung durch LBEG (Autoren Dr. K.-H. Krieger, B. Franke) hat erwiesen, dass das COLENCO-Modell nicht tragfähig ist. Als Beleg zitiere ich Bewertungen, die im amtlichen Prüfbericht z.T. wiederholt auftauchen:

"Unvollständig / lückenhaft / Daten unzureichend/ nicht hinreichend nachvollziehbar/ nicht sachgerecht/ nicht widerspruchsfrei/ Sachverhalt qualitativ und quantitativ weder absolut noch in einer Bandbreite abschließend bewertet/ nicht plausibel/ unzutreffend/ ungenau/ nicht ausreichend/ unverständlich/ nicht auf dem neuesten Stand/ mehrdeutig/ nicht sachgemäß und wenig hilfreich für die hydrogeologischen Modellvorstellungen/ schwer verständliche bis unkorrekte Interpretationen/ wenig aussagekräftig und zu lehrbuchhaft/ nicht belegbar/ aus hydrogeologischer Sicht zu stark vereinfacht, sie widersprechen z. B. den hydrochemischen Untersuchungsergebnissen und sind hydraulisch nicht plausibel/ zu unpräzise und z.T. falsch/ nicht zielführend/ falsche Vorstellungen von der Tiefenlage/ hydrogeologische Situation nicht verstanden"

Nach Kenntnis der LBEG-Stellungnahme ist das COLENCO-Modell nach meiner Bewertung weder akzeptabel noch geeignet, einen Beitrag zum Systemverständnis zu leisten.

Rolf Bertram, Göttingen, 07. 07. 2010