

Stellungnahme

**zur gebirgsmechanischen Beanspruchung des
Abschlussbauwerkes der Einlagerungskammer 4
auf der 750-m-Sohle bei einer dynamischen
Luftdruckbelastung infolge eines Firstfalls**



Institut
für
Gebirgsmechanik
GmbH

Stellungnahme

zur gebirgsmechanischen Beanspruchung des Abschlussbauwerkes der Einlagerungskammer 4 auf der 750-m-Sohle bei einer dynamischen Luftdruckbelastung infolge eines Firstfalls

Auftraggeber: Bundesamt für Strahlenschutz, Salzgitter

Auftrag-Nr. (AN): 04/2009

Bearbeiter: Dr. - Ing. Peter Kamlot

Leipzig, den 22.01.2009

Dr. - Ing. habil. Wolfgang Minkley

Geschäftsführer

Dr. - Ing. Peter Kamlot

Projektleiter

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | VERANLASSUNG..... | 4 |
| 2 | LÖSUNGSWEG | 5 |
| 3 | STANDORTSITUATION UND BESCHREIBUNG ALLER ZUGÄNGE ZUR ELK 4 6 | |
| 4 | ABSCHÄTZENDE BERECHNUNGEN ZUR LAGESTABILITÄT DES SALZVERSATZPFROPFENS IM ZUGANG ZUR ELK 4..... | 10 |
| 4.1 | KONSERVATIVE SCHÄTZUNG DES MAXIMALEN LUFTDRUCKS BEI EINEM FIRSTFALL NACH [2] | 10 |
| 4.2 | BEGRÜNDUNG DER VERWENDETEN MATERIALPARAMETER FÜR DEN SALZVERSATZ | 11 |
| 4.3 | BERECHNUNG DER NOTWENDIGEN KOHÄSION AN DER MANTELFLÄCHE DES PFROPFENS | 12 |
| 4.4 | BERECHNUNG DER NOTWENDIGEN NORMALSPANNUNG ZUR MANTELFLÄCHE..... | 13 |
| 5 | ZUSAMMENFASSUNG UND BEWERTUNG | 14 |
| | LITERATUR..... | 16 |
| | ANLAGENVERZEICHNIS..... | 17 |

1 Veranlassung

Mit Schreiben vom 12.01.2009 wurde das IfG Leipzig beauftragt, die mechanischen Reaktionen des Abschlussbauwerkes zwischen der Einlagerungskammer (ELK) 4 und der 2. südlichen Richtstrecke nach Westen auf der 750-m-Sohle im Bergwerk Asse II bei einer plötzlichen Luftdruckbelastung infolge eines Firstfalls in der Einlagerungskammer 4 überschlägig, aber möglichst abdeckend, zu ermitteln und eine Aussage zu treffen, inwieweit sich die Gas- bzw. Salzlösungsdichtheit verändert. Die Besorgnis eines nicht auszuschließenden Firstfalls leitet sich aus den im Jahr 2008 in diesem Bereich registrierten und als gebirgsmechanisch relevant eingestuften mikroseismischen Ereignissen ab, die im Jahr 2007 in dieser Häufigkeit noch nicht auftraten. In der Bewertung durch das Helmholtz Zentrum München, Schachtanlage Asse wurde in [1] ausgeführt, dass, verursacht durch Auflockerung und Entfestigung (lokale Bruchprozesse mit Mikrorissbildung), die Schweben zwischen ELK 4 und dem darüber auf der 725-m-Sohle aufgefahrenen Abbau 4 als stark geschädigt eingeschätzt werden muss und in der Einlagerungskammer ein hohes Firstfallrisiko gegeben ist. Aufgrund der Schwebenmächtigkeit von etwa 15 m ist entsprechend der Erfahrungen im Bergwerk Asse II von einem scheibenweisen Hereinbrechen auszugehen, wobei bei einer freien Fallhöhe von ca. 3 m in der unversetzten Kammer mit einer Zerstörung eines nicht unerheblichen Teils der Einlagerungsfässer und einer Verteilung des Fassinhaltes in Form von Aerosolen gerechnet werden muss. Um die Fässer vor solchen Firstfällen zu schützen und einem vollständigen Schwebendurchbruch vorzubeugen, wird in [1] empfohlen, den freien Hohlraum über den Fässern bis zur Firste mit Sorelbeton oder einem ähnlichen Material zu verfüllen.

Die Besorgnis und die vorgeschlagenen Maßnahmen wurden anlässlich eines Fachgespräches am 07.01.2009 beim BfS in Salzgitter diskutiert. In [2] wird dazu ausgeführt, dass alle am Gespräch beteiligten Institutionen die Bewertung der Asse GmbH mittragen. Danach befindet sich die Schweben zwischen ELK 4 und Abbau 4 der darüber liegenden Sohle im Stadium des Kriechbruches, wobei sich in der Schweben vermutlich mehrere Scherbänder gebildet haben. Langfristig ist die Bildung von Makrorissen zu erwarten und damit ein Firstfall in der Kammer als sicheres Ereignis anzunehmen.

Es wurde festgelegt, dass vor einer Entscheidung zu Präventivmaßnahmen (unter Berücksichtigung der radiologischen Konsequenzen) vom IfG Leipzig die Auswirkungen eines Luftdruckstoßes auf den bergmännischen Verschluss der Einlagerungskammer zur 2. südlichen Richtstrecke nach Westen abgeschätzt werden sollen. Die Beauftragung erfolgte am 12.01.2008 per Mail, wobei infolge der kurzfristigen Bearbeitungszeit von etwa 1 Woche keine dynamische Modellrechnung (hiefür wäre auch die Bereitstellung von Prüfkörpermaterial

aus dem Verschlussbauwerk zur Bestimmung von Stoffkennwerten notwendig gewesen), sondern ein Expert Judgement auf Basis der vorhandenen Erfahrungen zur Standortsituation erwartet wurde. Die anzusetzenden Lastannahmen wurden in [3] vom Auftraggeber zur Verfügung gestellt. Die Lasten sind gleichmäßig auf eine senkrechte und als eben unterstellte kammerseitige Bauwerksbegrenzung zu verteilen.

Die Auftragsbearbeitung erfolgte innerhalb des ursprünglich mit dem Helmholtz Zentrum München abgeschlossenen und vom BfS / Asse GmbH übernommenen Rahmenvertrages „Gebirgsmechanische Modellierung“, 1. Nachtrag vom 18.07.2006. Alle Details der Bearbeitung wurden am 15.01.2009 anlässlich einer Befahrung der 725- und 750-m-Sohle abgestimmt.

2 Lösungsweg

Die Bearbeitung erfolgte in den Schritten

- Beschreibung der Standortsituation im Bereich der ELK 4 und Zusammenfassung aller Befunde aus Bohrlochkamerabefahrungen und vorliegender Messresultate zur minimalen Druckeinspannung und Permeabilität in den Pfeilern, im Firstbereich der Kammer sowie in den Durchhieben zu den benachbarten Abbauen
- Abschätzung des Überdruckes der Luft beim Firstfall mit der konservativen Annahme, dass sich der Bruchkörper als reibungsfrei gleitender, seitlich abgedichteter Kolben in einem luffterfüllten, abgeschlossenen Kammervolumen über einen Weg von 3 m in Richtung der Abfallfässer bewegt
- Begründung der verwendeten Materialparameter des Altversatzes aus dem Carnallitbaufeld, der unter vergleichbaren Standortbedingungen wie der Salzversatzpfropfen im Zugang zur ELK 4 feucht eingebaut wurde und einer jahrzehntelangen Verdichtung unterlag
- Berechnung der erforderlichen Kohäsion bzw. Normalspannung an der Kontaktfläche des Ppropfens zur Steinsalzkontur, um beim Luftdruckstoß an der Stirnfläche die Lagestabilität des Salzversatzpfropfens zu gewährleisten
- Bewertung der gegenwärtigen Dichtheit gegenüber Gas und Salzlösungen

3 Standortsituation und Beschreibung aller Zugänge zur ELK 4

Die folgenden Ausführungen zur Standortsituation nehmen im Wesentlichen Bezug auf den Sachstandsbericht [4] der Asse GmbH. In Anlage 1 ist die Lage der Einlagerungskammer 4 auf der 750-m-Sohle im Grundriss dargestellt. In der Anlage sind weiterhin alle Bohrungen eingezeichnet, die im Projekt „Bau von Strömungsbarrieren (BSB)“ zur Standorterkundung gestoßen wurden und deren Befunde zur Rissbildung im Salzgestein, zu anstehenden Lösungen sowie zur minimalen Druckeinspannung und Dichtheit (Permeabilität) jetzt bei der Einschätzung der Integrität der ELK 4 genutzt werden können. Die Kammer wurde in den Jahren 1918 und 1919 zur Salzgewinnung aufgefahren. Von April 1967 bis März 1971 erfolgte die Einlagerung von 6.340 Gebinden mit schwachradioaktivem Abfall (siehe Anlage 2) unterschiedlicher Größe (überwiegend 200-l-Fässer). Vor der Einlagerung wurde die Kammer zur Gewährleistung der Arbeitssicherheit beraubt und die Firste zur Gewährleistung einer besseren Standsicherheit leicht gewölbt. Auf der Sohle befindet sich eine ca. 3 m hohe Ausgleichsschicht aus Salzhaufwerk. In der Regel wurden jeweils vier Fässer senkrecht übereinander gestapelt. Es sind zum Teil Durchgänge zwischen den einzelnen Fassreihen vorhanden.

Die ELK 4 weist eine mittlere Geometrie von $L = 51$ m, $B = 16$ m und $H = 9,5$ m auf. Das Gebindebruttovolumen beträgt 1.488 m³. Der unverfüllte Hohlraum oberhalb der 3 m hohen Ausgleichsschicht abzüglich des Gebindebruttovolumens wird mit ca. 2.900 m³ ± 18 % abgeschätzt. Der freie Abstand zwischen der Firste und den Fässern beträgt nach [1] etwa 3 m. Wie Anlage 3 des Zugangs zur ELK 4 zeigt, musste für den Transport in die Kammer eine nach Süden ansteigende Rampe gebaut werden, die von der 2. südlichen Richtstrecke nach Westen einen Höhenunterschied von etwa 3 m überwindet. Der Betonsockel wurde aus statischen Gründen errichtet, um das aufgeschüttete und verfestigte Salzhaufwerk an der Seite zur Rampe abzufangen. Er besitzt keine Funktion bzgl. des Kammerverschlusses. Die Rampe selbst wurde auch aus Salzhaufwerk gebaut, welches zur besseren Verdichtbarkeit angefeuchtet wurde.

Der in den Anlagen 3 und 4 (Ziffer II in Anlage 1) dargestellte und für die Einlagerung verwendete Zugang zur ELK 4 befindet sich in der nordwestlichen Kammerecke und weist lt. Grubenbild bzw. aktuellerer Messungen eine Geometrie von $L = 7,0$ m, $B = 4,7$ m und $H = 3,0$ m auf. Beim Verschließen der Kammer im Jahr 1971 wurde gemäß Anlage 3 abschnittsweise Salzhaufwerk aufgeschüttet und unter Zugabe von Wasser verfestigt. Der Bau eines Salzbetonpfropfens, wie man aus dem Risswerk der Schachanlage Asse II irrtümlich ablei-

ten könnte (und was bei einer Einlagerungskammer auch vorausgesetzt wurde), erfolgte nicht. Etwa 3 m vom Kammereingang entfernt erfolgte der Bau einer Ytong-Mauer. In dieser Entfernung ist die Firste des Zugangs mit einer maximalen Tiefe von 1,5 m keilförmig herausgeschossen, um den Zugang besser (Verdichtung des Salzversatzes von oben) verfüllen zu können. Die Mauer ragt bis in diesen Firstkeil herein. Zur Entnahme von Wetterproben aus der ELK 4 ist außerdem ein Rohr eingebaut, welches vor etwa 20 Jahren infolge der Konvergenz zerschert wurde. Gemäß Monatsbericht vom September 1977 an das damalige Bergamt Goslar wurde die Ytong-Mauer abschließend mit einer ca. 5 cm Spritzbetonschicht (Sand, Zement, Wasser) überdeckt.

In Richtung der 2. südlichen Richtstrecke nach Westen erfolgte im Anschluss an diese Mauer ein weiterer Einbau von Salzversatz, der im Bereich des Streckenstoßes mit einer 2. Ytong-Mauer verschlossen wurde. Diese wurde, vermutlich wegen Zerstörung infolge Konvergenz, im Jahr 2001 abgerissen und seitdem ist der Salzversatz am Streckenstoß nur noch mit dem in Anlage 5 sichtbaren Wetterverschlag, bestehend aus Holzstützen, Verlattung und Teichfolie, abgedeckt. Der Versatzpfropfen besitzt damit eine Gesamtlänge von mindestens 4 m. In den Anlagen 6 bis 10 ist der gegenwärtige Zustand dokumentiert. Am Stoß des Salzversatzes sind Holzbalken und ein Stahlträger zu erkennen, die vermutlich zum Abstützen verwendet wurden. Weiterhin sind Mörtelreste der ehemaligen Vermauerung zu sehen. Die horizontalen Holzbalken sind infolge von Gebirgsdruckerscheinungen an den Enden aufgespalten. Unter dem Wetterverschlag hat sich eine Böschung aus Salzversatz gebildet. Der oberhalb der Böschung sichtbare Stoß des Versatzpfropfens steht etwa senkrecht und es waren keine Abrisspalten zwischen Versatz und dem Zugang oder Öffnungen im Salzversatz zu erkennen.

Der Zustand der Durchhiebe zur ELK 8 (Ziffer I in Anlage 1) sowie zum Abbau 3 (nördlich Ziffer III und südlich Ziffer IV in Anlage 1) kann in der Zusammenfassung aus [4] wie folgt beschrieben werden:

Durchhieb zur ELK 8

- Abmessungen vor 90 Jahren etwa $L = 22$ m, $B = 4$ m und $H = 2$ m, in älteren Darstellungen des Grubenbildes nur in den Übergangsbereichen zu den Einlagerungskammern mit Salzhauwerk versetzt.
- Standort des Durchhiebes im Projekt BSB mit den Erkundungsbohrungen SV-750-17.1 und SV-750-17.2 (Lage siehe Anlage 11) angebohrt.

- Bohrlochinspektion mit einer Videokamera in SV-750-17.1 (mit SV-750-17.2 wurde der Durchhieb nicht gefunden) zeigte, dass der Durchhieb trocken ist, im Bereich des Durchhiebes mit der Bohrung Hohlräume mit Öffnungsweiten von wenigen Zentimetern aufgeschlossen wurden und sich vermutlich auch in der Durchhiebsmitte Salzversatz befindet, der aufgrund der jahrzehntelangen Konvergenz stark kompaktiert wurde, oder der offene Querschnitt durch Konvergenz zugedrückt ist.

Im Anschluss an die Erkundungsarbeiten wurden die Bohrungen mit dem Injektionsmörtel IM3 verpresst. Die mit Drücken von bis zu 5 MPa bzw. 6,3 MPa durchgeführte Verpressung war mit einem Injektionsvolumen von ca. 31 Liter über das Bohrungsnettovolumen hinaus verbunden. Damit wurden erreichbare Restvolumina im ehemaligen Durchhieb gefüllt.

Nördlicher Durchhieb zum Abbau 3

- Abmessungen vor 90 Jahren etwa $L = 18$ m, $B = 4,5$ m und $H = 2$ m, laut Grubenbild nur in den Übergangsbereichen zur Einlagerungskammer bzw. zum Abbau mit Salzhaufwerk versetzt.
- Durchhieb zur 2. südlichen Richtstrecke nach Westen hatte Abmessung von $L = 5$ m, $B = 4,1$ m und $H = 2$ m auf. Zugang aus der Richtstrecke ist verbrochen.
- Standort des Durchhiebes im Projekt BSB mit den Erkundungsbohrungen R4-2, R4-9 und SB-750-5.1 (Lage siehe Anlagen 12 und 13) angebohrt.
- Mit den Bohrungen R4-2 und R4-9 aus der Richtstrecke wurde der Durchhieb nicht gefunden. Die Permeabilität im Bereich des Durchhiebes in R4-9 lag bei 10^{-17} m². In der Bohrung SB-750-5.1 aus dem Abbau 3 deutete sich im Niveau des Durchhiebes kompaktierter Versatz an. Die integrale Permeabilität in der Bohrung SB-750-5.1 lag bei 10^{-23} m². Alle Bohrungen waren trocken. Der Versatz im Durchhieb ist kompaktiert bzw. der Querschnitt zusammengedrückt.

Die Bohrungen wurden im Anschluss an die Messungen mit Injektionsmörtel mit unterschiedlichen Druckstufen zwischen 2 und 7 MPa verfüllt. Es wurden dabei nur geringfügig über das Bohrungsnettovolumen hinausgehende Injektionsmengen registriert.

Südlicher Durchhieb zum Abbau 3

- Abmessungen vor 90 Jahren etwa $L = 21$ m, $B = 3,5$ m und $H = 2$ m, laut Grubenbild nur in den Übergangsbereichen zur Einlagerungskammer bzw. zum Abbau mit Salzhautwerk versetzt.
- Standort des Durchhiebes im Projekt BSB mit den Erkundungsbohrungen R4-3 und SB-750-6.1 (Lage siehe Anlagen 12 und 14) angebohrt.
- Mit der Bohrung R4-3 über der gesamten Länge rissartige Strukturen aufgeschlossen. Die Bohrung war trocken. Die Permeabilität im Bereich des Durchhiebes in R4-3 lag bei 10^{-17} m². Mit der Bohrung SB-750-6.1 wurde im Niveau des Durchhiebes kompaktierter Versatz erbohrt. Im Bohrlochtiefsten bis in ein Teufenniveau 1,5 m unterhalb der 750-m-Sohle stand Salzlösung an. Die gammaspektrometrische Ausmessung erbrachte eine Cs-137-Aktivitätskonzentration von 105 Bq/l. Es wurden keine Permeabilitätsmessungen durchgeführt. Der Versatz im Durchhieb ist kompaktiert bzw. der Querschnitt zusammengedrückt.

Die Verpressung der Bohrung R4-3 erfolgte mit Drücken bis zu 3 MPa. Das Injektionsvolumen (IM3) lag nur geringfügig über dem Bohrlochnetvolumen. Bei der Verpressung der Bohrung SB-750-6.1 mit IM3 und IM-Asse-1 wurden rd. 76 Liter Injektionsmörtel über das Bohrungsnettovolumen hinaus in den Durchhieb bzw. in dessen Auflockerungszone verpresst.

Aus den Ausführungen ist die Schlussfolgerung zu ziehen, dass alle Durchhiebe bzw. der Versatz in den Durchhieben infolge der jahrzehntelangen Konvergenz so zusammengedrückt wurden, dass, soweit die Erkundungsbohrungen die Hohlräume tatsächlich getroffen haben, keine offenen Zugänge mehr existieren. Die gemessenen Permeabilitäten waren mit maximal 10^{-17} m² begrenzt und nach den Messungen wurden die Bohrungen mit relativ hohen Injektionsdrücken, die eine Reichweite des Injektionsmörtels bis in den Meterbereich gewährleisten, verpresst.

Für den Pfeiler zwischen ELK 4 und Abbau 3 gilt prinzipiell die gleiche Aussage: Es sind potentielle Transportpfade in Form von aufgeschlossenen Rissen zu erkennen. Die Durchlässigkeit im Pfeilerkern bis zur Größenordnung von maximal 10^{-17} m² ist jedoch begrenzt und die minimalen Druckeinspannungen bis etwa 15 MPa drücken die Rissstrukturen zusammen. Im Pfeiler zwischen ELK 4 und der 2. südlichen Richtstrecke nach Westen (Bohrungen R4-7, R4-11 und R4-12 in Anlage 15) wurden maximale Permeabilitäten bis 10^{-20} m² sowie minima-

le Druckeinspannungen von etwa 4 MPa gefunden. Alle Untersuchungsbohrungen wurden nach den Messungen wieder dicht verschlossen.

4 Abschätzende Berechnungen zur Lagestabilität des Salzversatzpfropfens im Zugang zur ELK 4

4.1 Konservative Schätzung des maximalen Luftdrucks bei einem Firstfall nach [2]

Entsprechend des Grubenrisswerkes beträgt die Länge der in Rechnung zu stellenden Firstfläche etwa 50 m und die Breite wird in [2] mit 10 m abgeschätzt (Überschneidung der Vertikalprojektion der Firste ELK 4/750 mS mit der Sohle Abbau 4/725 mS). Verkleinerungen bei der Abmessungen durch jahrzehntelange Konvergenz bleiben unberücksichtigt. Damit besitzt die Unterseite des Bruchkörpers den Flächeninhalt

$$A = 50 \text{ m} \times 10 \text{ m} = 500 \text{ m}^2 .$$

Das Bruchkörpervolumen wird unter Berücksichtigung der Befunde in den Firstbohrungen in die Schwebe R4-7, R4-11 und R4-12 (kein Nachweis von Scherbändern) unter der Annahme festgelegt, dass die Scherbänder die nördliche Firstbegrenzung der ELK 4/750 mS mit dem südlichen Ende der Abbausohle 4/725 mS verbinden. Diese Festlegung stimmt sehr gut mit den numerischen Rechenergebnissen der 3D-Modellierung in [7] überein. Der durch plastische Scherdeformationen bis zu Maximalbeträgen von 2 % geschädigte Schwebenbereich beginnt tatsächlich am nördlichen Ende der ELK 4 auf der 750-m-Sohle und breitet sich nach oben in Richtung der 725-m-Sohle nach Süden aus. Die südliche Begrenzung des Bruchkörpers soll vertikal sein. Es entsteht ein Bruchkeil, der bei einer 14 m mächtigen Schwebe einen hypothetischen maximalen Rauminhalt von

$$V_{\text{max}} = \frac{1}{2} \times 50 \text{ m} \times 10 \text{ m} \times 14 \text{ m} = 3500 \text{ m}^3$$

besitzt. Dieses Bruchvolumen ist überschätzt, die tatsächliche Seitenbegrenzung der an der Südflanke bereits gefallenen Bruchkörper wird anhand stehengebliebener Schwebenringe deutlich. Ohne Einschränkung der weiteren Betrachtung wird jedoch das Volumen dieses Bruchkörpers durch eine volumengleiche, rechteckige und somit 7 m dicke Salzplatte ersetzt.

Die modellhafte Beschreibung des Fallvorgangs nimmt insoweit von der Kammerbefüllung Kredit, als die seitlich und unterhalb der vom Firstfall überdeckten Kammerfläche stehenden Fassstapel als undurchlässige Wand angesehen werden. Andererseits soll durch die Deformation getroffener Fässer unter dem Körper kein Bremswiderstand auf denselben ausgeübt werden. All diese Annahmen führen zu einer Überschätzung des Luftdruckaufbaus. Der

denkbar größte, durch Firstfall erzeugbare Luftdruck entsteht mit folgender Überlegung: Der Bruchkörper wird als reibungsfrei gleitender, seitlich abgedichteter Kolben angesehen, welcher unter seinem Eigengewicht in ein luftgefülltes, verschlossenes Kammervolumen von derselben konstanten Querschnittsfläche über einen Weg von 3 m fällt. Auf die Oberkante des Kolbens wirke nur der atmosphärische Luftdruck von 1 bar. Es soll keine Abströmmöglichkeit für die Luft geben. Der Absenkweg ist vertikal. Wellenvorgänge in der Luft werden nicht betrachtet. Unterhalb des fallenden Körpers wird die Luft adiabatisch verdichtet.

Aus dem Volumen des Bruchkörpers ergibt sich mit einer Dichte des Steinsalzes von 2100 kg/m^3 eine Masse von 7350 Tonnen. Bei adiabatischer Luftverdichtung unter dem fallenden Körper wird in [2] ein maximaler Überdruck von 5 bar abgeschätzt. Die Falldauer wird mit etwa 1 Sekunde berechnet, damit baut sich der Überdruck in etwa 1 Sekunde auf und klingt danach in wenigen Sekunden wieder ab. Die senkrecht zur Stirnfläche des Salzpfropfens anzusetzende quasistatische Druckbelastung beträgt damit 0,5 MPa.

4.2 Begründung der verwendeten Materialparameter für den Salzversatz

Wie bereits im Kapitel 1 ausgeführt, bestand infolge der Bearbeitungszeit für die vorliegende Stellungnahme von etwa 1 Woche keine Gelegenheit, aus dem Salzversatz im Zugang zur ELK 4 Kerne zu erbohren und an den Prüfkörpern Laborversuche zur Ermittlung von Materialparametern für gebirgsmechanische Modellrechnungen durchzuführen. Aus diesem Grund wurde auf Festigkeitsversuche an einem vergleichbaren Versatzmaterial zurückgegriffen, welches im Rahmen von [6] untersucht wurde. Die Kerne für die Prüfkörperherstellung (siehe Anlage 17) mit einem Durchmesser von 100 mm stammten aus Bohrungen, die von der E-Sohle aus unter einem Einfallwinkel von 45° in die Kammer 4 West bzw. von der A-Sohle aus in die Kammer 5 Ost des Carnallititbaufeldes gestoßen wurden. Entsprechend der Kernbemusterungen besteht der vor etwa 80 Jahren eingebrachte Fabrikrückstand der Kalisalzauflbereitung (Altversatz) zum größten Teil aus einem hellgrauen bis rötlichen Steinsalz und ist damit visuell und bzgl. der Zusammensetzung dem Salzversatz im Zugang zur ELK 4 sehr ähnlich. In beiden Fällen war das Material beim Einbau feucht und unterlag einer jahrzehntelangen Konvergenz.

Die Kerne aus dem Carnallititbaufeld waren vorwiegend kompakt und homogen. Der Transport an das IfG, eingeschweißt in Folie und verpackt in Kernkisten, führte zu keiner sichtbaren Materialschädigung. Die mittlere Dichte der Proben lag bei $1,84 \text{ g/cm}^3$ mit einer Standardabweichung von $0,07 \text{ g/cm}^3$.

Die Festigkeitsversuche unter einer Stauchungsrate der Prüfmaschine von $2,5 \cdot 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ und Manteldrücken bis 7 MPa führten zu den in Anlage 18 dargestellten Resultaten. Die Ausgleichsgerade liefert die Festigkeitsparameter

Winkel der inneren Reibung $\phi = 34,8$ Grad

Kohäsion $c = 3,2$ MPa

für die Festigkeitsbeziehung

$$\tau_{scher} = \tan \phi \cdot \sigma_{normal} + c$$

4.3 Berechnung der notwendigen Kohäsion an der Mantelfläche des Pfropfens

Bei den im Kapitel 3 genannten Abmessungen der Stirnfläche des Pfropfens Breite = 4,7 m und Höhe = 3,0 m sowie einer Mindestlänge von 4,0 m ergibt sich unter Berücksichtigung einer senkrecht zur Stirnfläche wirkenden Spannung von 0,5 MPa folgendes Kräftegleichgewicht:

$$A_{Stirn} \cdot \sigma_{Überdruck} = A_{Mantel} \cdot c_{Mantel}$$

$$A_{Stirn} = 14,1 \text{ m}^2$$

$$\sigma_{Überdruck} = 0,5 \text{ MPa}$$

$$A_{Mantel} = 61,6 \text{ m}^2$$

$$c_{Mantel} = \text{erforderliche Kohäsion an der Mantelfläche}$$

Nach Umstellung der Beziehung nach c_{Mantel} kann für den Fall des Kräftegleichgewichtes eine erforderliche Kohäsion entlang der Mantelfläche von 0,1 MPa berechnet werden. Eine zusätzlich zur Mantelfläche wirkende Normalspannung bleibt dabei unberücksichtigt. Der Vergleich mit der im Laborversuch ermittelten Kohäsion des Salzversatzes von 3,2 MPa in Anlage 18 verdeutlicht die bestehenden Reserven beim Lastabtrag des Pfropfens entlang der Mantelfläche.

4.4 Berechnung der notwendigen Normalspannung zur Mantelfläche

Wie im Kapitel 3 ausgeführt, wurde im Pfeiler zwischen ELK 4 und der 2. südlichen Richtstrecke nach Westen eine minimale Druckeinspannung von 4 MPa sondiert. Es wird vorausgesetzt, dass sich nach einer Kompaktionszeit des mit Wasser verdichteten Salzversatzes von 38 Jahren im Kontaktbereich des Pfpfens zum Steinsalzpfiler eine Normalspannung von mindestens 1 MPa aufgebaut hat (solche Druckwerte sind in den mit Eigenversatz gefüllten Abbauen nachweisbar). Darauf deutet der steile Stoß des Pfpfens über der Böschung (Anlage 9) hin und die Wirkung der Konvergenz im Zugang ist an den aufgespalteten Holzbalken zu sehen bzw. aus dem Zerscheren des im Versatz eingebauten Schnüffelrohres abzuleiten. Die Wirksamkeit der Konvergenz bis zur Gegenwart ist weiterhin an der gerissenen Ytong-Mauer vor dem östlichen Zugang zur ELK 8 (Anlage 19) zu sehen, die 1993 gesetzt wurde.

Vergleichbar zum Kapitel 4.3 wird folgendes Kräftegleichgewicht aufgestellt:

$$A_{Stirn} \cdot \sigma_{Überdruck} = A_{Mantel} \cdot \tan \phi_{Mantel} \cdot \sigma_{normal}$$

$$A_{Stirn} = 14,1 \text{ m}^2$$

$$\sigma_{Überdruck} = 0,5 \text{ MPa}$$

$$A_{Mantel} = 61,6 \text{ m}^2$$

$$\tan \phi_{Mantel} = 0,7$$

$$\sigma_{normal} = \text{erforderliche Normalspannung}$$

Nach Umstellung der Beziehung nach σ_{normal} kann für den Fall des Kräftegleichgewichtes eine erforderliche Normalspannung entlang der Mantelfläche von 0,16 MPa berechnet werden. Der Reibungswinkel ϕ_{Mantel} entspricht dem Winkel der inneren Reibung von 34,8 Grad in Anlage 18. Eine zusätzlich wirkende Kohäsion entlang der Mantelfläche bleibt dabei unberücksichtigt. Die vorausgesetzte Normalspannung von 1 MPa wäre damit bei weitem ausreichend, die Lagestabilität des Pfpfens zu gewährleisten.

Beide Rechnungen unterstellen, dass der Salzpfropfen aus einem kompakten Körper mit innerem Zusammenhalt besteht, für den eine Festkörperverschiebung betrachtet werden kann. Sie würden nicht für eine Salzschtüttung gelten. Die in Anlage 17 gezeigten kompakten

Proben belegen aber, dass sich unter den geschilderten Einbau- und langjährigen Kompaktionsbedingungen, die auch auf den Verschluss der ELK 4 übertragen werden können, tatsächlich kompakte Körper ausbilden.

5 Zusammenfassung und Bewertung

In der Stellungnahme wurde auftragsgemäß eine Luftdruckbelastung von 0,5 MPa normal zur kammerseitigen Stirnfläche eines Salzpfropfens als Folge eines Firstfalls betrachtet und in abschätzenden Rechnungen nachgewiesen, dass mit ausreichender Sicherheit eine Verschiebung des Pfropfens in Richtung der 2. südlichen Richtstrecke nach Westen ausgeschlossen werden kann. Der Pfropfen wird dabei als kompakter Körper mit innerem Zusammenhalt vorausgesetzt. Die als repräsentativ für den Salzversatz im Zugang zur ELK 4 unterstellten Altversatzproben aus dem Carnallitbaufeld belegen, dass unter vergleichbaren Einbau- und langjährigen Kompaktionsbedingungen eine solche Voraussetzung gerechtfertigt ist.

Die vom IfG 2006 vorgelegten Resultate von dreidimensionalen Modellrechnungen (Scherbänder in Anlage 16) bestätigen, dass die Besorgnis einer latenten Bruchgefahr in der Schwebe zwischen ELK 4/750 mS und Abbau 4/725 mS gerechtfertigt ist. Der Zeitpunkt eines Firstfalls lässt sich nicht prognostizieren.

Wenn der Pfropfen durch den Luftdruckimpuls nicht verschoben oder zerstört wird, kann man davon ausgehen, dass die gegenwärtige Abdichtungsfunktion erhalten bleibt. Die Permeabilität des verdichteten Salzversatzes kann aus vorhandenen Erfahrungen zu vergleichbaren Versatzarten mit $10^{-13} \text{ m}^2 \pm 1$ Größenordnung abgeschätzt werden. Die Permeabilitäten in den Pfeilern (z.T. wurden die Sondierungen in der Verlängerung der am Stoß ausstreichenden Risse durchgeführt) und in den z.T. nur teilweise versetzten, aber inzwischen kompaktierten Durchhieben wurden mit maximal 10^{-17} m^2 gemessen. In den Pfeilern ist davon auszugehen, dass die gleichfalls gemessenen relativ hohen minimalen Druckeinspannungen die Rissstrukturen zusammen drücken. In den Durchhieben ist jedoch nicht sicher, ob auch Bereiche höherer Durchlässigkeiten existieren, die mit den Erkundungsbohrungen nicht getroffen und deshalb auch nicht injiziert werden konnten. Andererseits binden die Durchhiebe in der ELK 4 nicht in den offenen Hohlraum, sondern in der Ausgleichsschicht ein.

Zur Bewertung der Dichtheit in den Pfeilern bei einer Luftdruckbeanspruchung kann die Versuchskurve eines Permeabilitätstests in Anlage 20 herangezogen werden, der gezielt in der Verlängerung von am Stoß sichtbaren Rissen im Kern des Pfeilers zwischen ELK 4 und dem Abbau 3 angesetzt wurde. Der Versuch mit einer Druckluftbeaufschlagung von 5 MPa in einem 3 m langen Bohrlochabschnitt in der Pfeilermitte zeigt, dass der zehnfache Betrag des durch den Firstfall verursachten Überdruckes erst nach einem Zeitraum von 200 Sekunden zu einem Abströmen in den Bohrlochkonturbereich führt. Der Austrag von kontaminierten Aerosolen aus der Einlagerungskammer durch einen kurzzeitigen Druckimpuls von 0,5 MPa über wenige Sekunden wäre damit wenig wahrscheinlich.

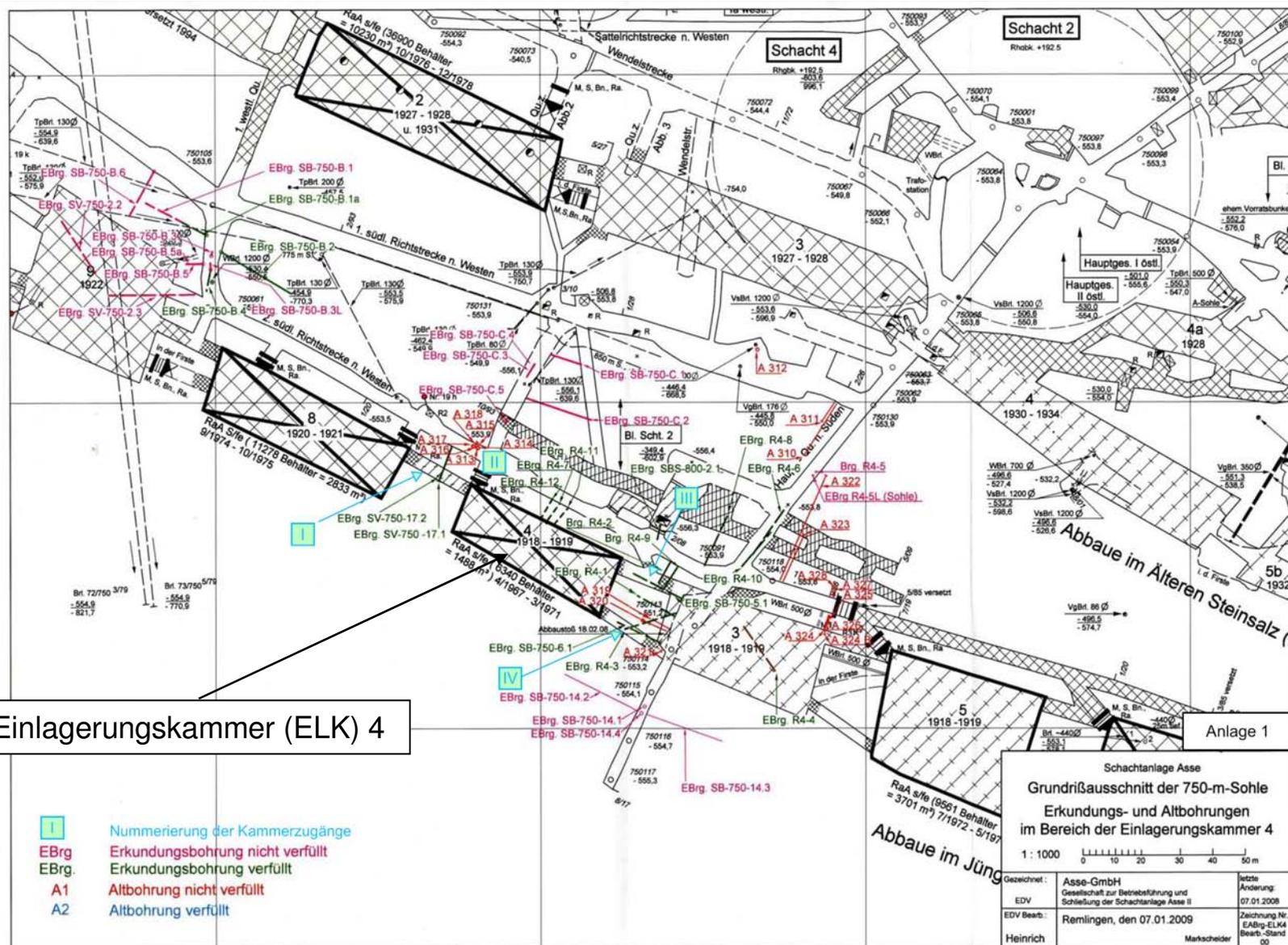
Hinsichtlich der potentiellen Kontaminationsgefahr aus der ELK 4 ist jedoch festzustellen, dass das Isolationspotential des gesamten Einschlussbereiches gegenüber einem kurzzeitigen Luftdruckimpuls bei der Zerstörung der Fässer und erstmaligen Freisetzung von Aerosolen in der Kammer nicht auf eine langsame Permeation übertragen werden kann. Wie die Druckkurve in Anlage 20 zeigt, ist die Permeation als zeitabhängiger Prozess aufzufassen. Es ist nicht auszuschließen, dass z.B. mit Luftdruckschwankungen nach der Freisetzung von Aerosolen kontaminierte Luft langsam und bevorzugt über die durchlässigsten Bereiche (Steinsalzpfpfen, Risse, noch offene und nicht injizierte Durchhiebsbereiche) freigesetzt wird. Die im Sohlenbereich des südlichen Durchhiebes zwischen ELK 4 und Abbau 3 festgestellte Salzlösung liefert einen Beleg für das nicht vorhandene Isolationsvermögen gegenüber langsamen Permeationsvorgängen von Fluiden. Deshalb wird vom IfG Leipzig die Kontaminationsgefahr auch mehr bei diesen Prozessen als beim Luftdruckimpuls infolge eines Firstfalls gesehen.

Literatur

- [1] GSF, Forschungsbergwerk Asse: Gebirgsmechanische Stellungnahme zum messtechnischen Befund in der Schwebelücke zwischen Abbau 4/725-m-Sohle und Einlagerungskammer 4/750-m-Sohle, Arbeitsbericht des Teilbereiches Standortüberwachung Nr. 7/2008, 17.12.2008, Autor Dr. Stockmann
- [2] Protokoll des Fachgespräches am 07.01.2009 zur Situation der Schwebelücke ELK 4 auf der 750-m-Sohle, BfS Salzgitter
- [3] Eilers, G.: Verschlussbauwerk ELK 4 / 750-m-Sohle: Ableitung konservativer Lastannahmen, Bundesamt für Strahlenschutz, Salzgitter, 18.01.2009
- [4] Asse GmbH: Sachstandsbericht über die Einlagerungskammer (ELK) 4/750, deren Zugänge und die Situation im Umfeld der ELK, Stand 21.01.2009
- [5] IBeWa: Ergebnisse der Permeabilitätsmessungen an dem Referenzstandort R4, Prüfbericht im Auftrag des IfG Leipzig, Freiberg, April 2006
- [6] IfG Leipzig: Tragfähigkeitsbewertung des Carnallititbaufeldes der Schachanlage Asse, Bericht im Rahmen der LVB II des Rahmenvertrages „Gebirgsmechanische Modellierung“, Revision 01 vom 26.07.2005
- [7] IfG Leipzig: Dreidimensionale gebirgsmechanische Modellrechnungen zur Standsicherheitsanalyse des Bergwerkes Asse, Bericht im Rahmen der LVB VIII des Rahmenvertrages „Gebirgsmechanische Modellierung“ vom 03.11.2006

Anlagenverzeichnis

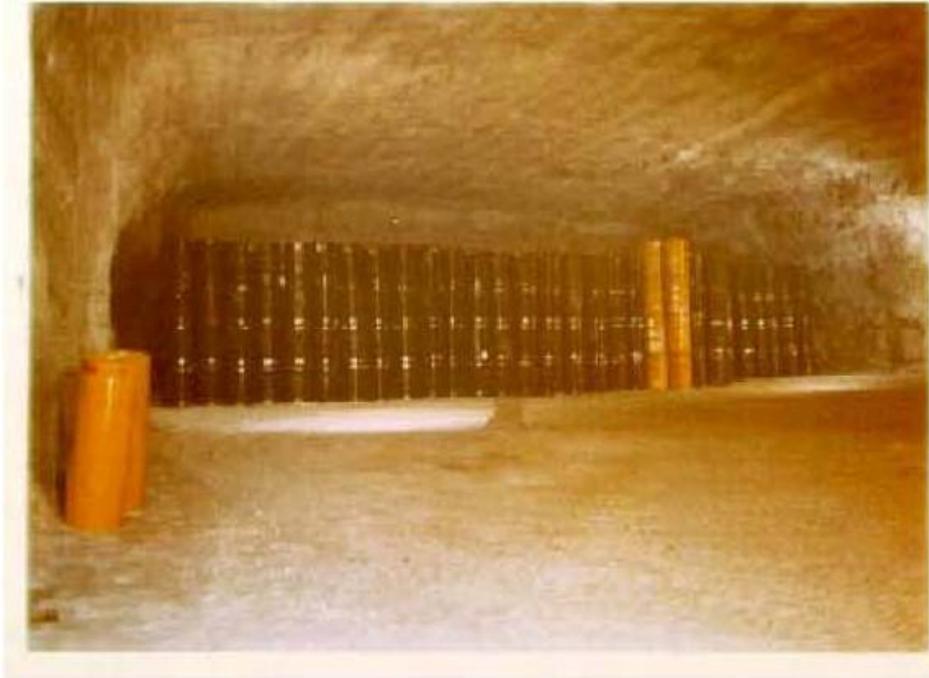
- Anlage 1 Grundriss der 750-m-Sohle mit Darstellung der Erkundungsbohrungen
- Anlage 2 Situation in der Einlagerungskammer 4 zur Einlagerungszeit
- Anlage 3 Vertikalschnitt durch den Zugang zur ELK 4
- Anlage 4 Grundriss durch den Zugang zur ELK 4
- Anlage 5 Blick auf den Wetterverschlag vor dem Verschluss zur ELK 4 aus der 2. südlichen Richtstrecke nach Westen
- Anlage 6 Blick auf den Verschluss zur ELK 4: Bereich zwischen Wetterverschlag und Firste
- Anlage 7 Blick auf den Verschluss zur ELK 4: linke Seite des Bereiches zwischen Wetterverschlag und Firste
- Anlage 8 Blick auf den Verschluss zur ELK 4: rechte Seite des Bereiches zwischen Wetterverschlag und Firste
- Anlage 9 Böschung des Salzversatzes (linke Seite) unter dem Wetterverschlag
- Anlage 10 Böschung des Salzversatzes (rechte) unter dem Wetterverschlag
- Anlage 11 Grundriss der 750-m-Sohle mit Darstellung der Erkundungsbohrungen, Anlage 8 aus [4]
- Anlage 12 Grundriss der 750-m-Sohle mit Darstellung der Erkundungsbohrungen, Anlage 3 aus [4]
- Anlage 13 Nördlicher Durchhieb zwischen ELK 4 und Abbau 3
- Anlage 14 Südlicher Durchhieb zwischen ELK 4 und Abbau 3
- Anlage 15 Schwebe zwischen ELK 4/750 mS und Abbau 4/725 mS
- Anlage 16 Im 3D-Modell berechnete gegenwärtige plastische Scherdeformation (Vertikalschnitt durch die Abbaumitte, Situation in streichender Baufeldmitte)
- Anlage 17 Prüfkörper aus ursprünglich feucht eingebrachten Fabrikrückständen aus der Kalisalzaufbereitung (Inhalt vorwiegend Steinsalz) nach den Festigkeitsversuchen
- Anlage 18 Ergebnisse der Festigkeitsversuche am Altversatz aus dem Carnallitbaufeld
- Anlage 19 Beschädigung der Ytong-Mauer vor der ELK 8, Bauzeit der Mauer 1993
- Anlage 20 Testkurve und Modellfit für einen Impulstest mit Druckluft in Pfeilermitte ELK 4/Abbau 3



**Institut für Gebirgsmechanik
 Leipzig GmbH**
 Untersuchung · Prüfung · Beratung · Begutachtung

Grundriß der 750-m-Sohle mit Darstellung der
 Erkundungsbohrungen, Quelle [4]

**Anlage
 1**



Aufgestapelte Abfallfässer in der ELK 4,
Blickrichtung vom Kammereingang nach
Osten, Foto vom 29.06.1967



Fassstapel mit jeweils 4 Fässern,
Durchgänge zwischen den Fassreihen,
Blickrichtung in der Kammer von Süden
nach Norden, Foto vom 29.06.1967

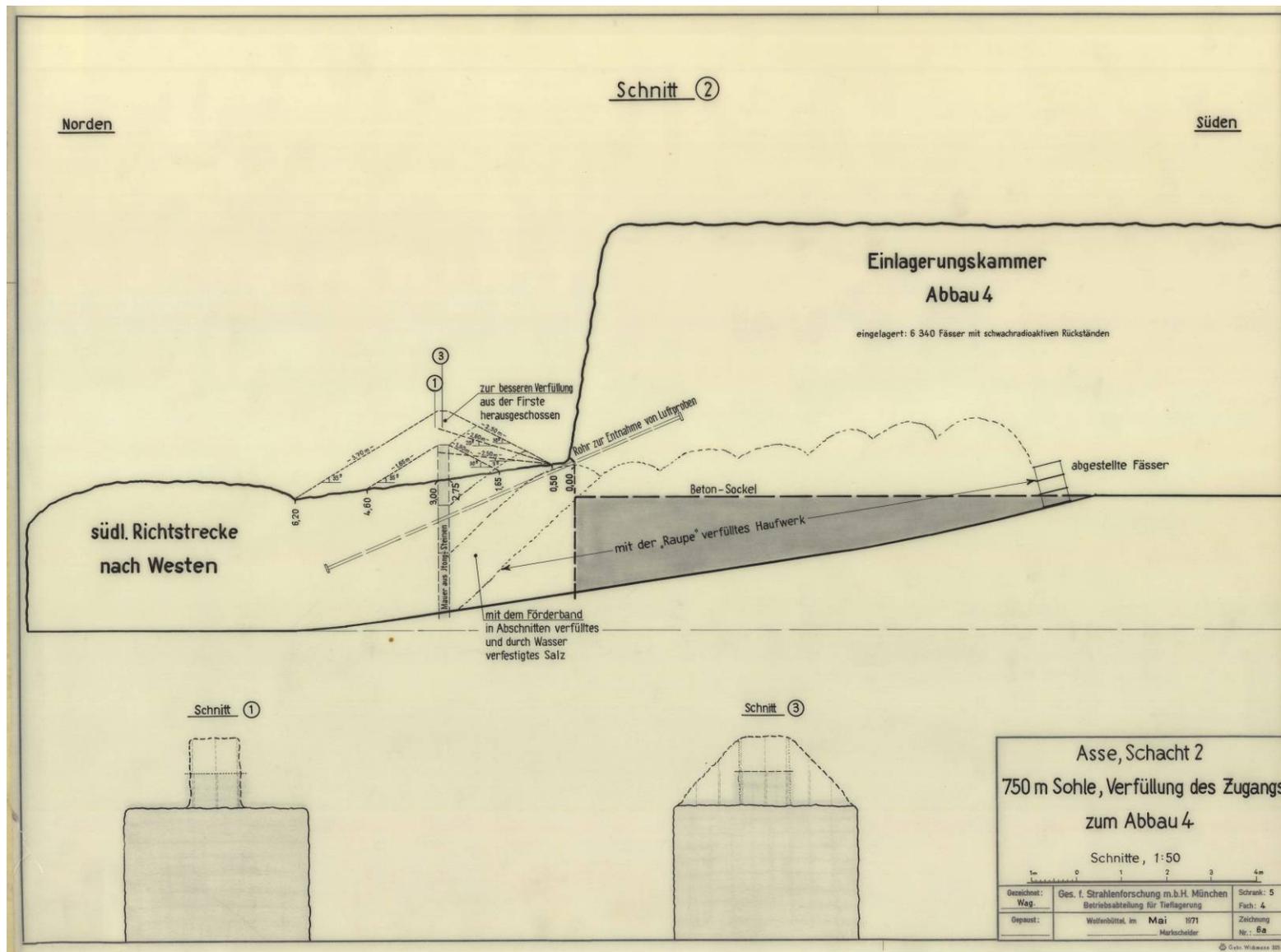


Institut für Gebirgsmechanik
Leipzig GmbH

Untersuchung · Prüfung · Beratung · Begutachtung

Situation in der Einlagerungskammer 4 zur
Einlagerungszeit, Quelle [4]

Anlage
2

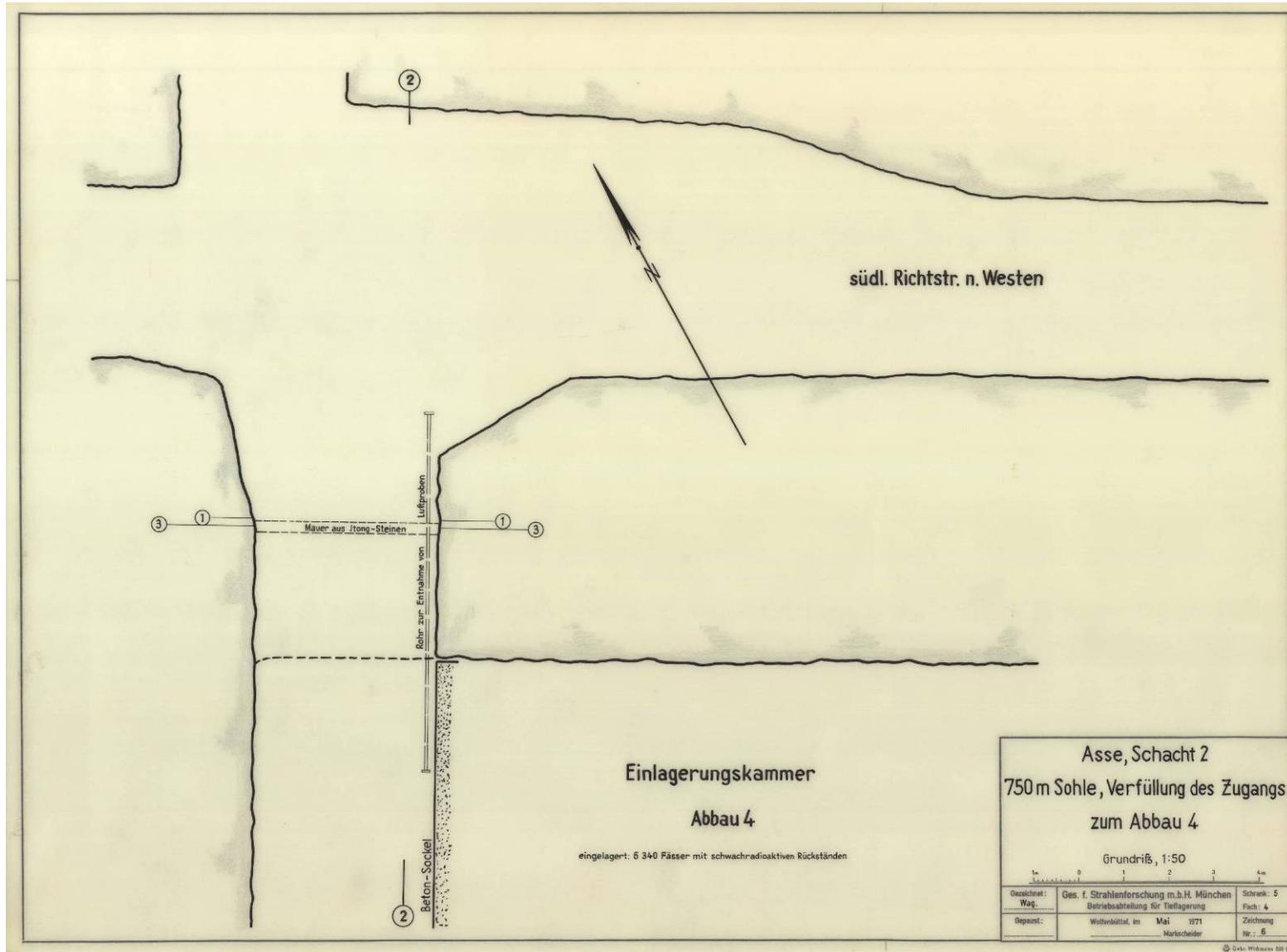


**Institut für Gebirgsmechanik
Leipzig GmbH**

Untersuchung · Prüfung · Beratung · Begutachtung

Vertikalschnitt durch den Zugang zur ELK 4, Unterlage
der GSF vom Mai 1971, Quelle [4]

**Anlage
3**



**Institut für Gebirgsmechanik
Leipzig GmbH**

Untersuchung · Prüfung · Beratung · Begutachtung

Grundriß durch den Zugang zur ELK 4, Unterlage der
GSF vom Mai 1971, Quelle [4]

**Anlage
4**



Foto vom
26.11.2008



**Institut für Gebirgsmechanik
Leipzig GmbH**

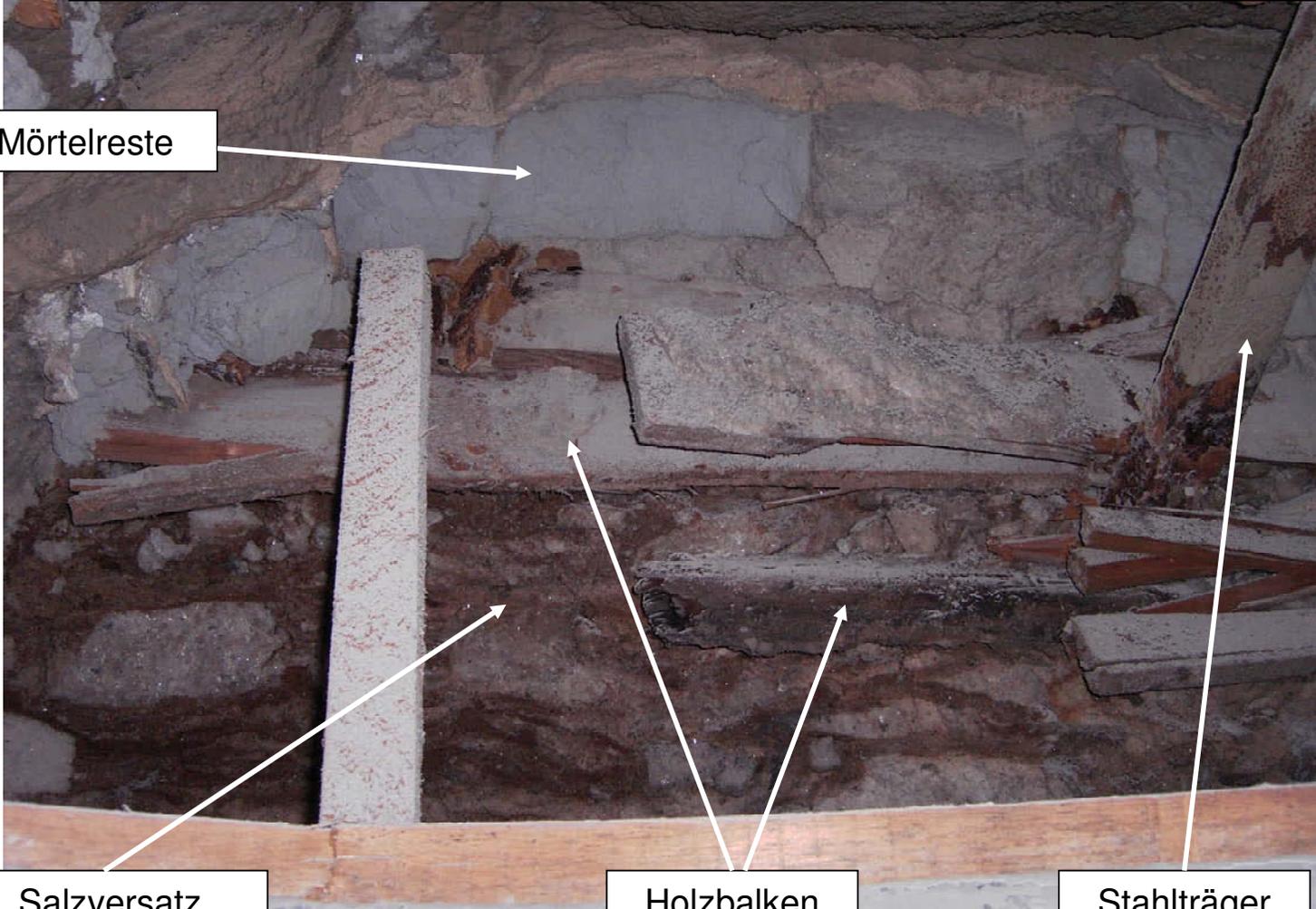
Untersuchung · Prüfung · Beratung · Begutachtung

Blick auf den Wetterverschlag vor dem Verschluss zur ELK 4
aus der 2. südlichen Richtstrecke nach Westen

**Anlage
5**

Der Verschluss besteht aus verdichtetem (beim Einbau befeuchteten) Salzversatz. Die Holzbalken und der Stahlträger wurden vermutlich zum Abfangen verwendet. Vor dem Salzversatz stand eine Ytong-Mauer, die 2001 abgerissen wurde. Im Salzversatz war ein Schnüffelrohr aus Plastik eingebaut, welches vor etwa 20 Jahren zerschert ist.

Mörtelreste



Salzversatz

Holzbalken

Stahlträger

Foto vom
15.01.2009



Institut für Gebirgsmechanik
Leipzig GmbH

Untersuchung · Prüfung · Beratung · Begutachtung

Blick auf den Verschluss zur ELK 4: Bereich zwischen
Wetterschlag und Firste

Anlage
6



Aufspaltung des Holzbalkens
infolge horizontaler Konvergenz
im Kammerzugang

Foto vom
15.01.2009



Institut für Gebirgsmechanik
Leipzig GmbH

Untersuchung · Prüfung · Beratung · Begutachtung

Blick auf den Verschluss zur ELK 4: linke Seite des Bereiches
zwischen Wetterverschlag und Firste

Anlage
7



Foto vom
15.01.2009



Institut für Gebirgsmechanik
Leipzig GmbH

Untersuchung · Prüfung · Beratung · Begutachtung

Blick auf den Verschluss zur ELK 4: rechte Seite des
Bereiches zwischen Wetterverschlag und Firste

Anlage

8



Foto vom
15.01.2009



Institut für Gebirgsmechanik
Leipzig GmbH

Untersuchung · Prüfung · Beratung · Begutachtung

Böschung des Salzversatzes (linke Seite) unter dem
Wetterschlag

Anlage

9



Reste eines Holzbalkens

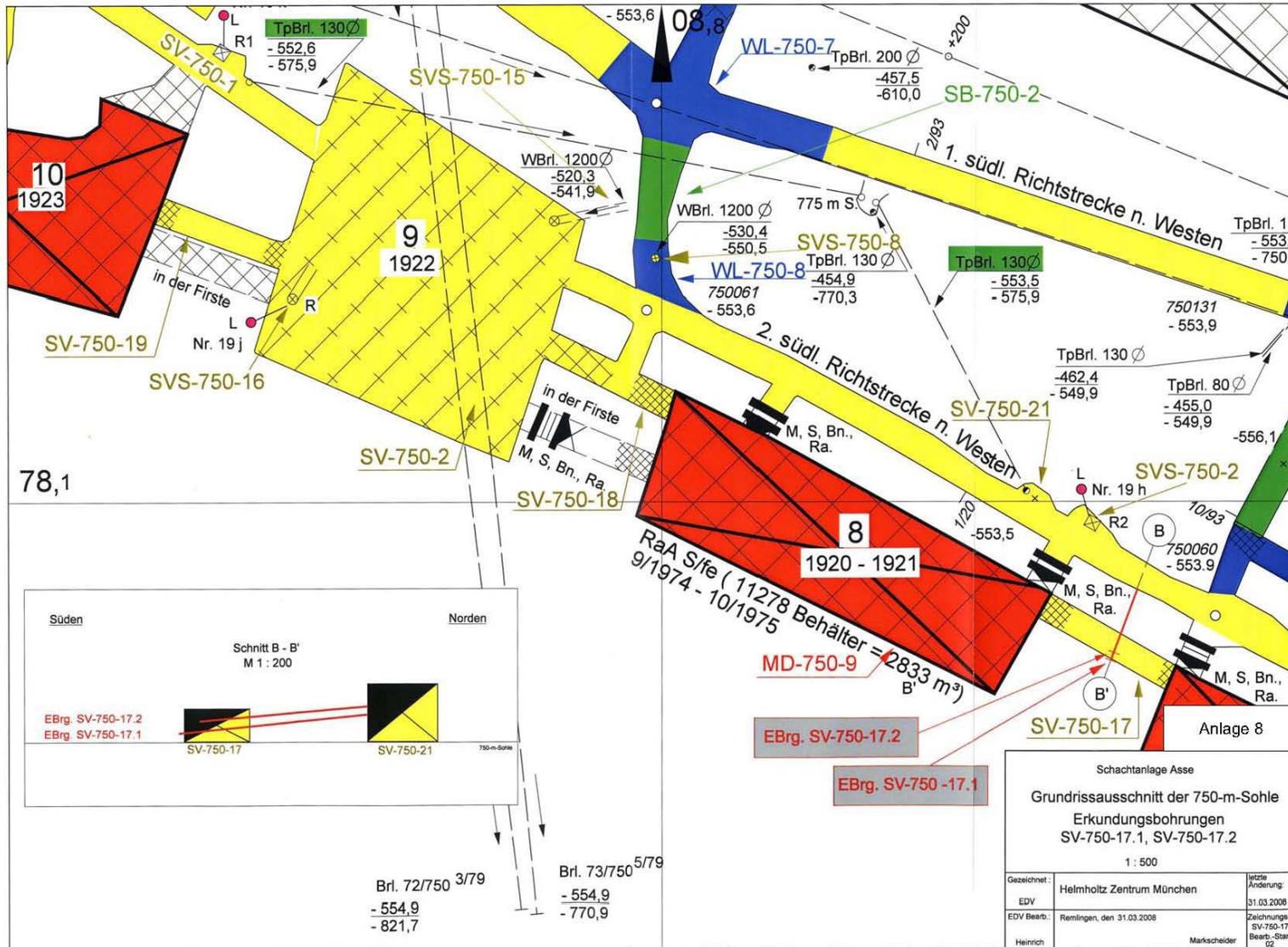
Foto vom
15.01.2009



**Institut für Gebirgsmechanik
Leipzig GmbH**
Untersuchung · Prüfung · Beratung · Begutachtung

Böschung des Salzversatzes (rechte Seite) unter dem
Wetterschlag

**Anlage
10**

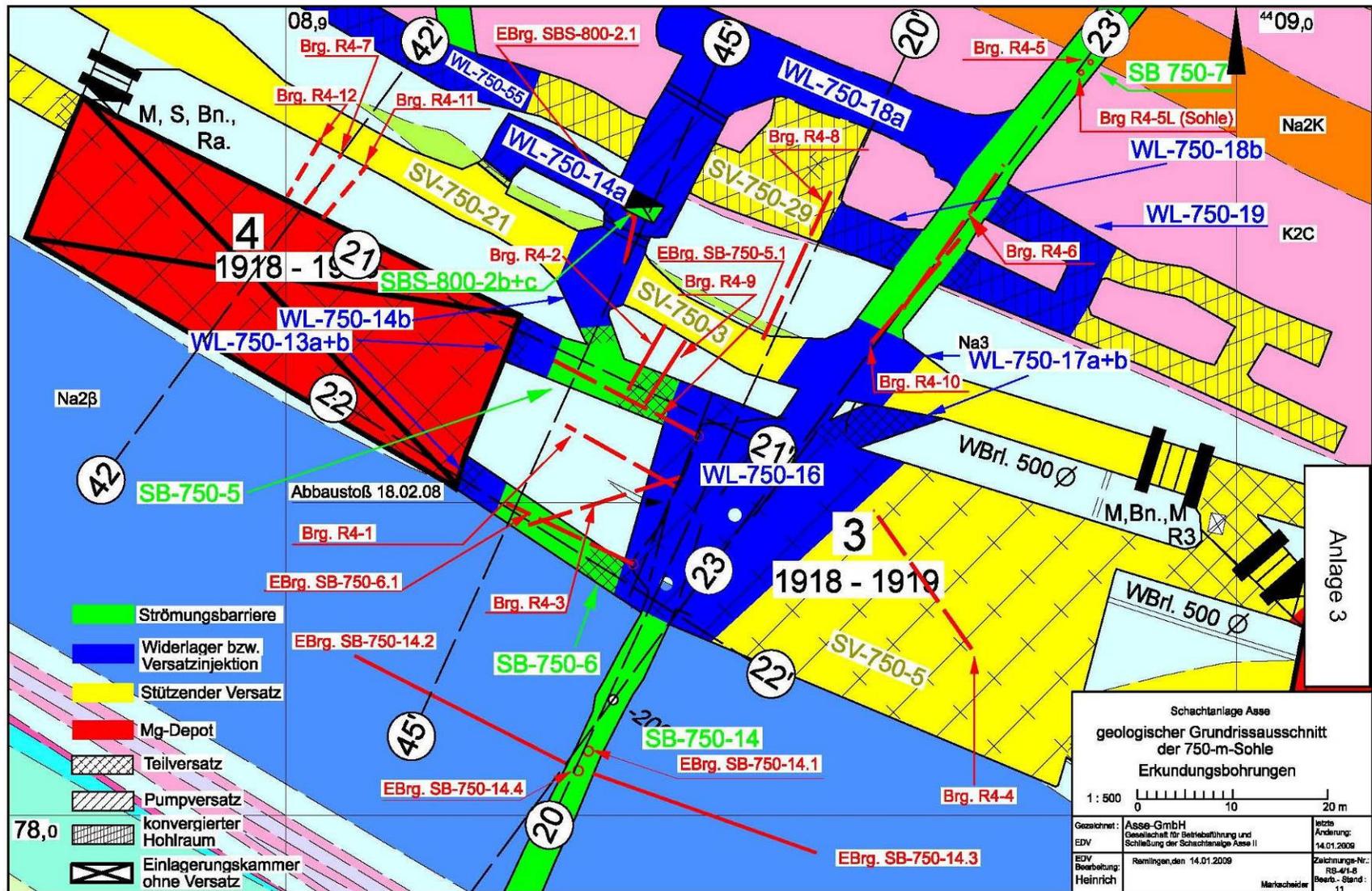


**Institut für Gebirgsmechanik
Leipzig GmbH**

Untersuchung · Prüfung · Beratung · Begutachtung

Grundriss der 750-m-Sohle mit Darstellung der
Erkundungsbohrungen, Anlage 8 aus [4]

**Anlage
11**

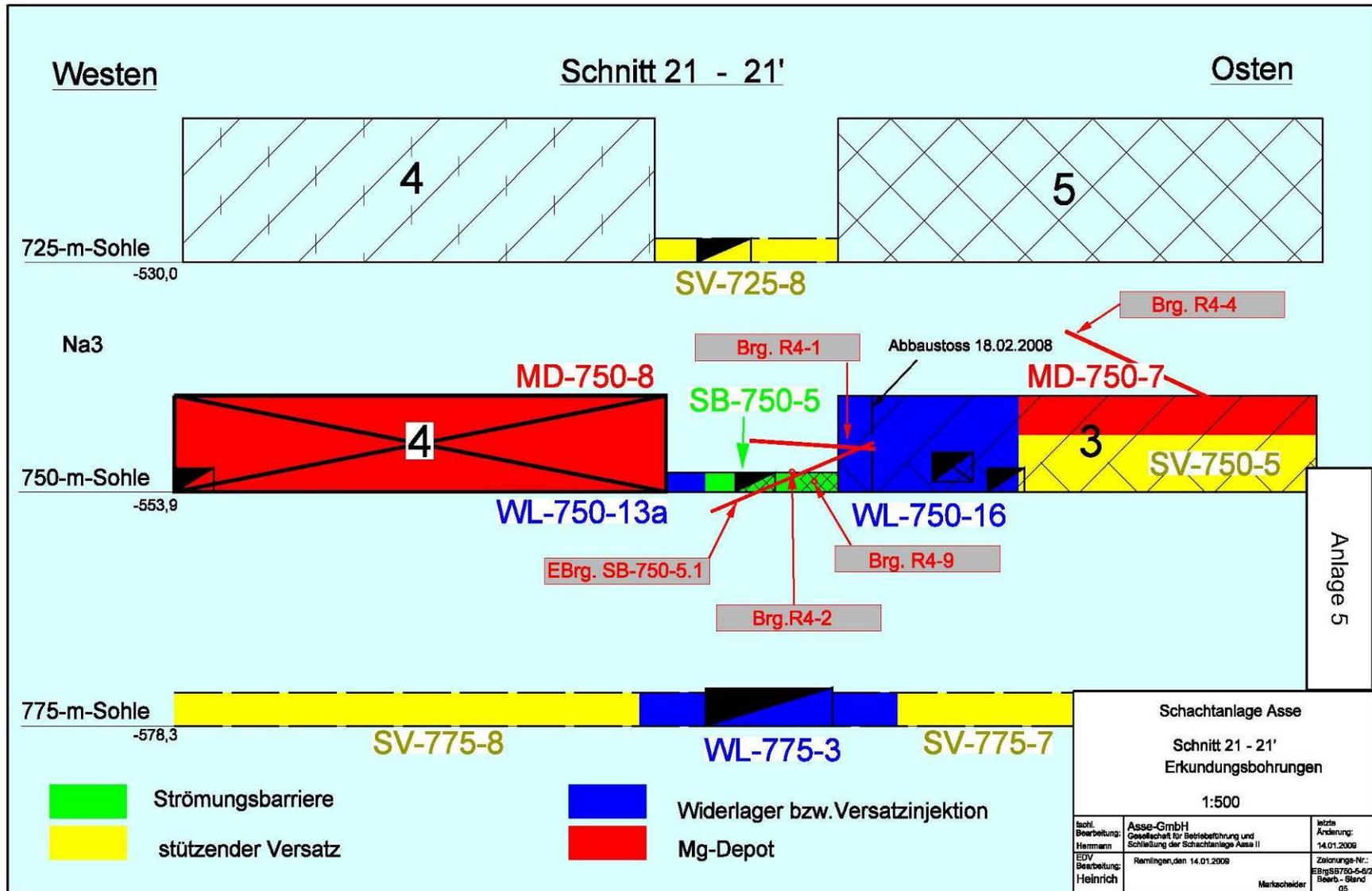


Institut für Gebirgsmechanik
Leipzig GmbH

Untersuchung · Prüfung · Beratung · Begutachtung

Grundriss der 750-m-Sohle mit Darstellung der
Erkundungsbohrungen, Anlage 3 aus [4]

Anlage
12

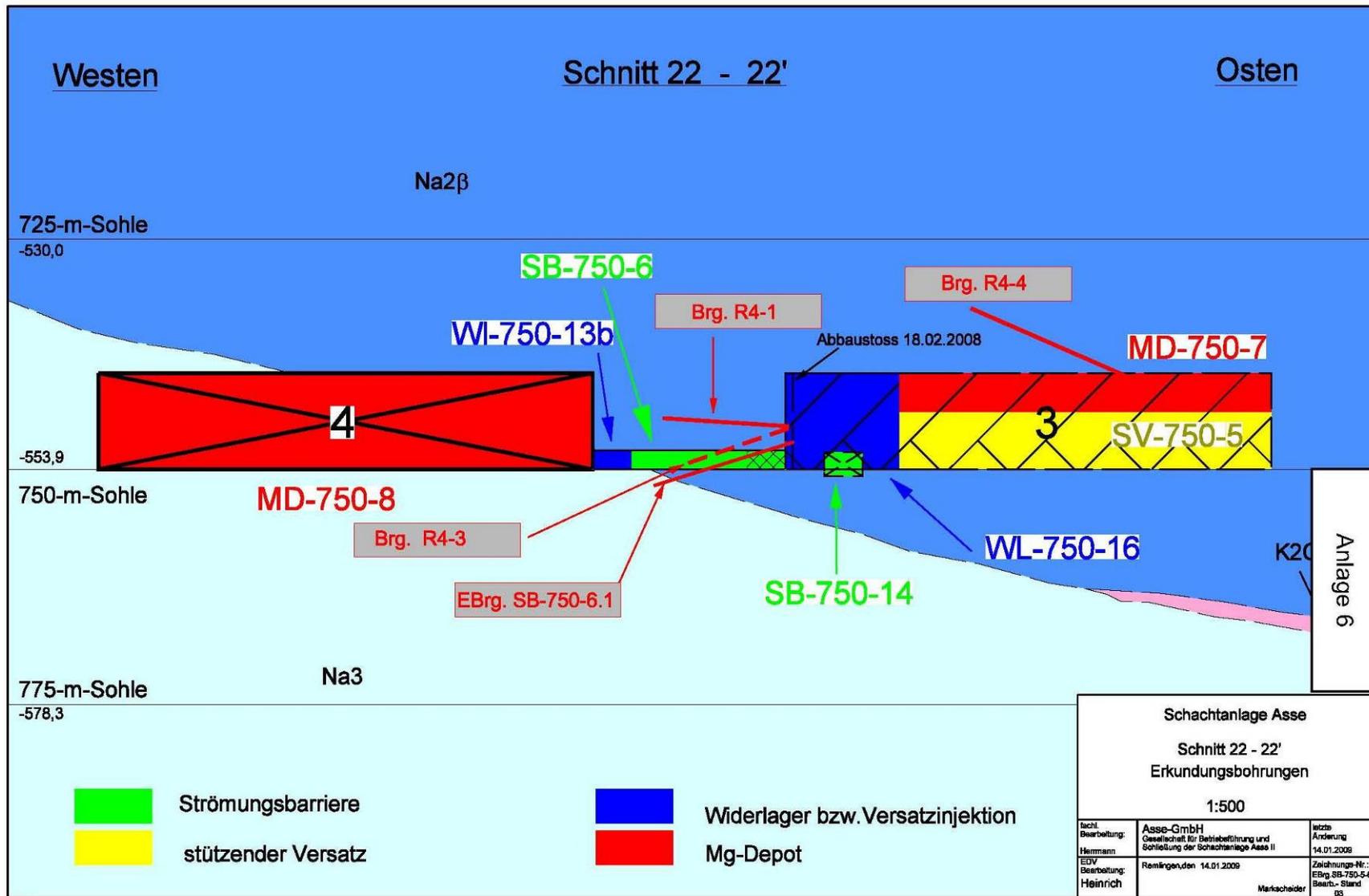


**Institut für Gebirgsmechanik
Leipzig GmbH**

Untersuchung · Prüfung · Beratung · Begutachtung

Nördlicher Durchrieb zwischen ELK 4 und Abbau 3 im
Vertikalschnitt 21-21` zu Anlage 12, Anlage 5 aus[4]

**Anlage
13**

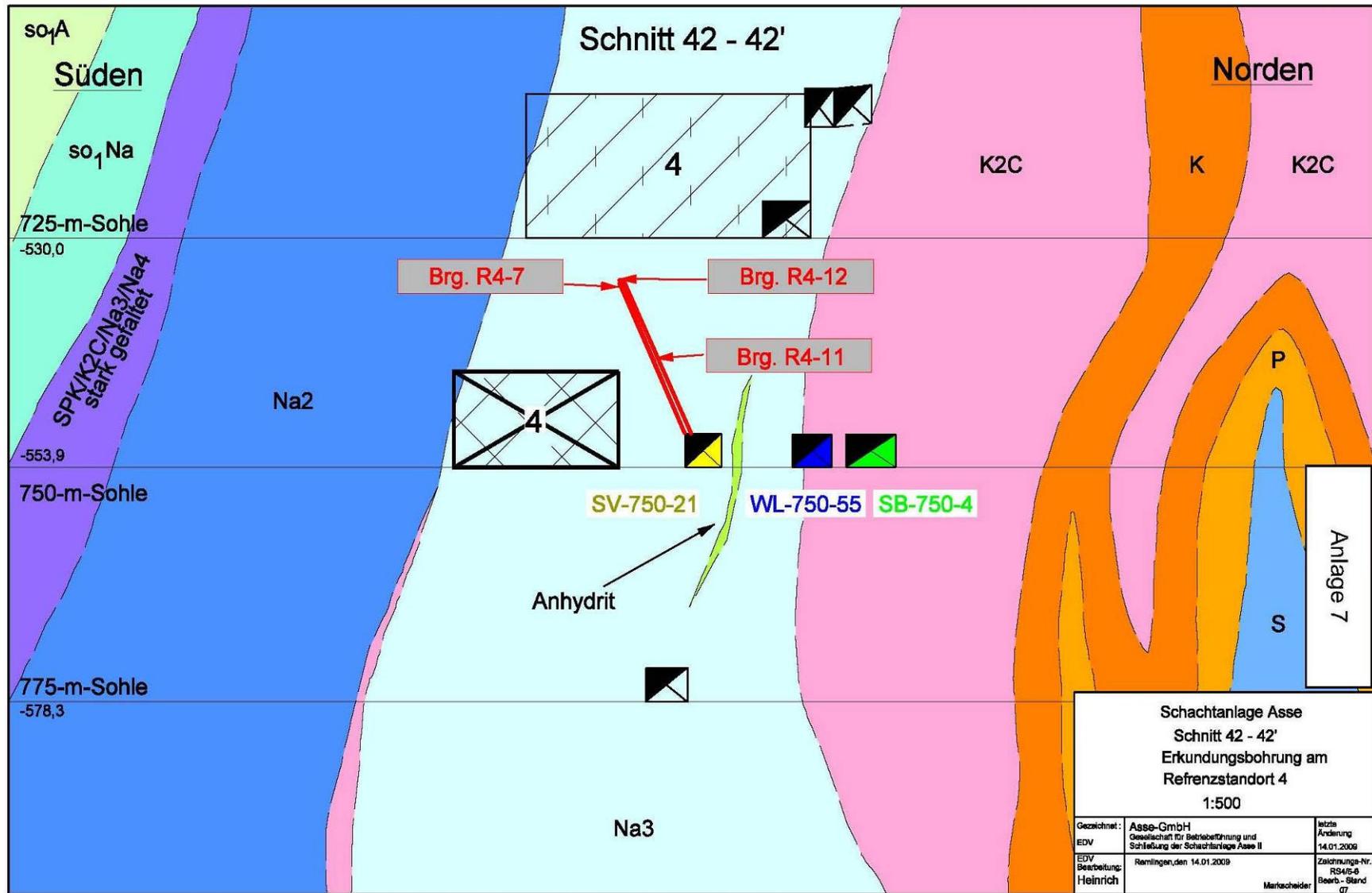


**Institut für Gebirgsmechanik
Leipzig GmbH**

Untersuchung · Prüfung · Beratung · Begutachtung

Südlicher Durchhieb zwischen ELK 4 und Abbau 3 im
Vertikalschnitt 22-22` zu Anlage 12, Anlage 6 aus[4]

**Anlage
14**

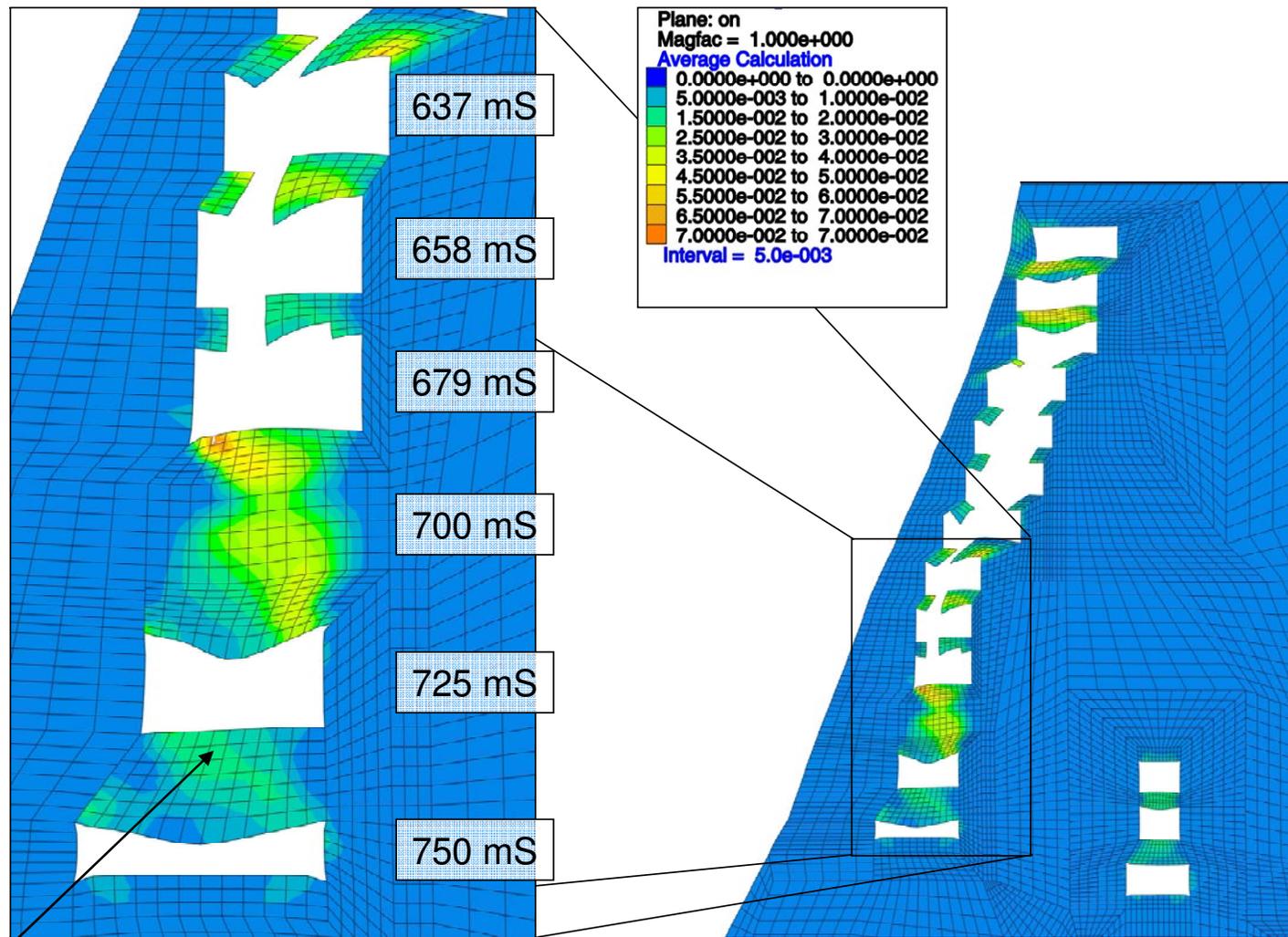


**Institut für Gebirgsmechanik
Leipzig GmbH**

Untersuchung · Prüfung · Beratung · Begutachtung

Schwebe zwischen ELK 4/750 mS und Abbau 4/725 mS
Vertikalschnitt 42-42` zu Anlage 12, Anlage 7 aus[4]

**Anlage
15**



Scherbereiche in Schwebe zwischen ELK 4 / 750 mS und Abbau 4 / 725 mS in streichender Kammermitte mit Maximalbeträgen der plastischen Scherdeformation bis 2 %



Institut für Gebirgsmechanik
Leipzig GmbH

Untersuchung · Prüfung · Beratung · Begutachtung

Im 3D-Modell berechnete gegenwärtige plastische Scherdeformationen im Bergwerk Asse II (Vertikalschnitt durch die Abbaumitte, Situation in streichender Baufeldmitte)

Anlage

16



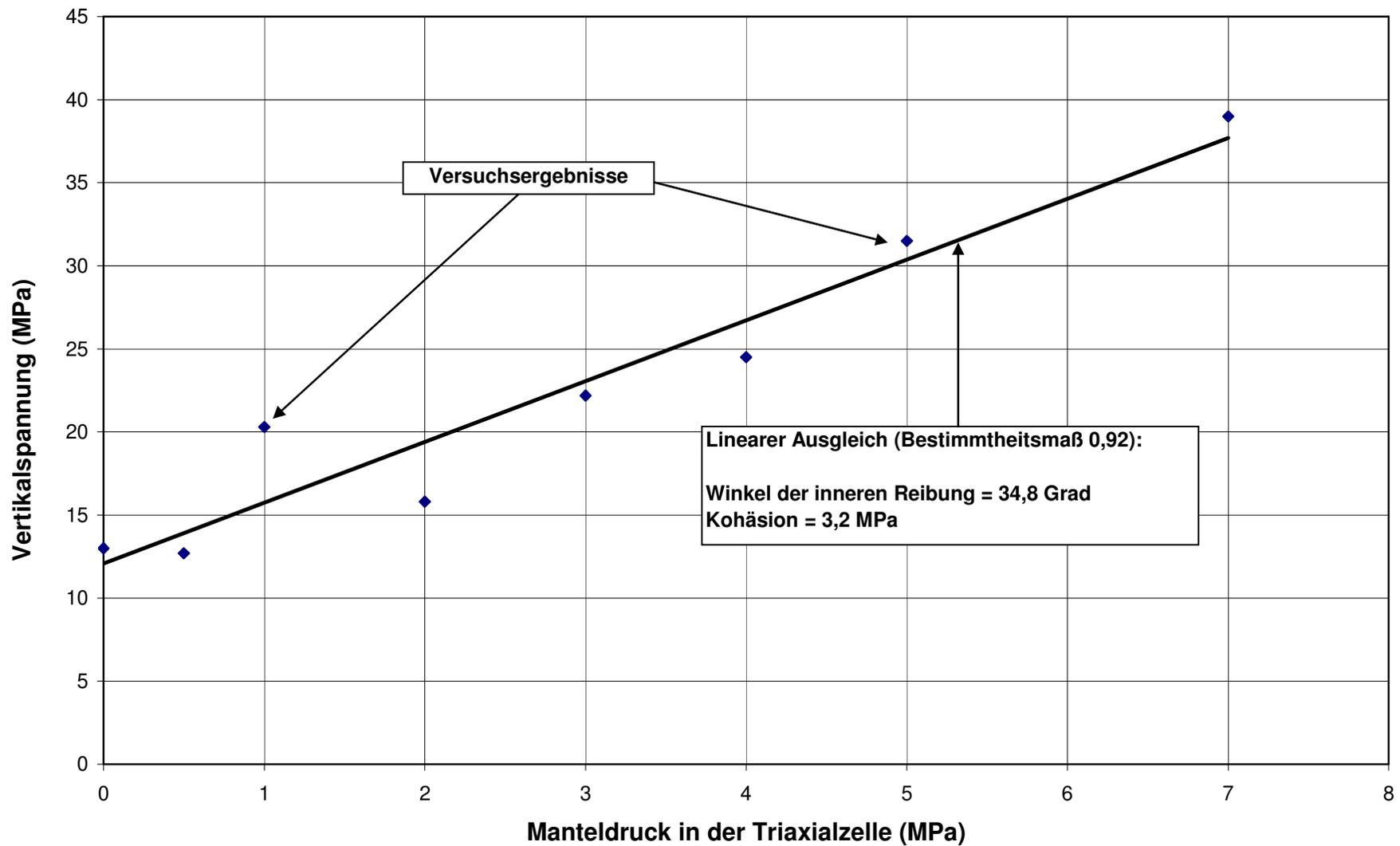
Institut für Gebirgsmechanik
Leipzig GmbH

Untersuchung · Prüfung · Beratung · Begutachtung

Prüfkörper aus ursprünglich feucht eingebrachten
Fabrikrückständen aus der Kalisalzaufbereitung (Inhalt
vorwiegend Steinsalz) nach den Festigkeitsversuchen

Anlage

17



Institut für Gebirgsmechanik
Leipzig GmbH

Untersuchung · Prüfung · Beratung · Begutachtung

Ergebnisse der Festigkeitsversuche am Altversatz aus dem
Carnallitbaufeld (Stauchungsrate $2,5 \cdot 10^{-5} \text{ s}^{-1}$)

Anlage

18



Foto vom
15.01.2009



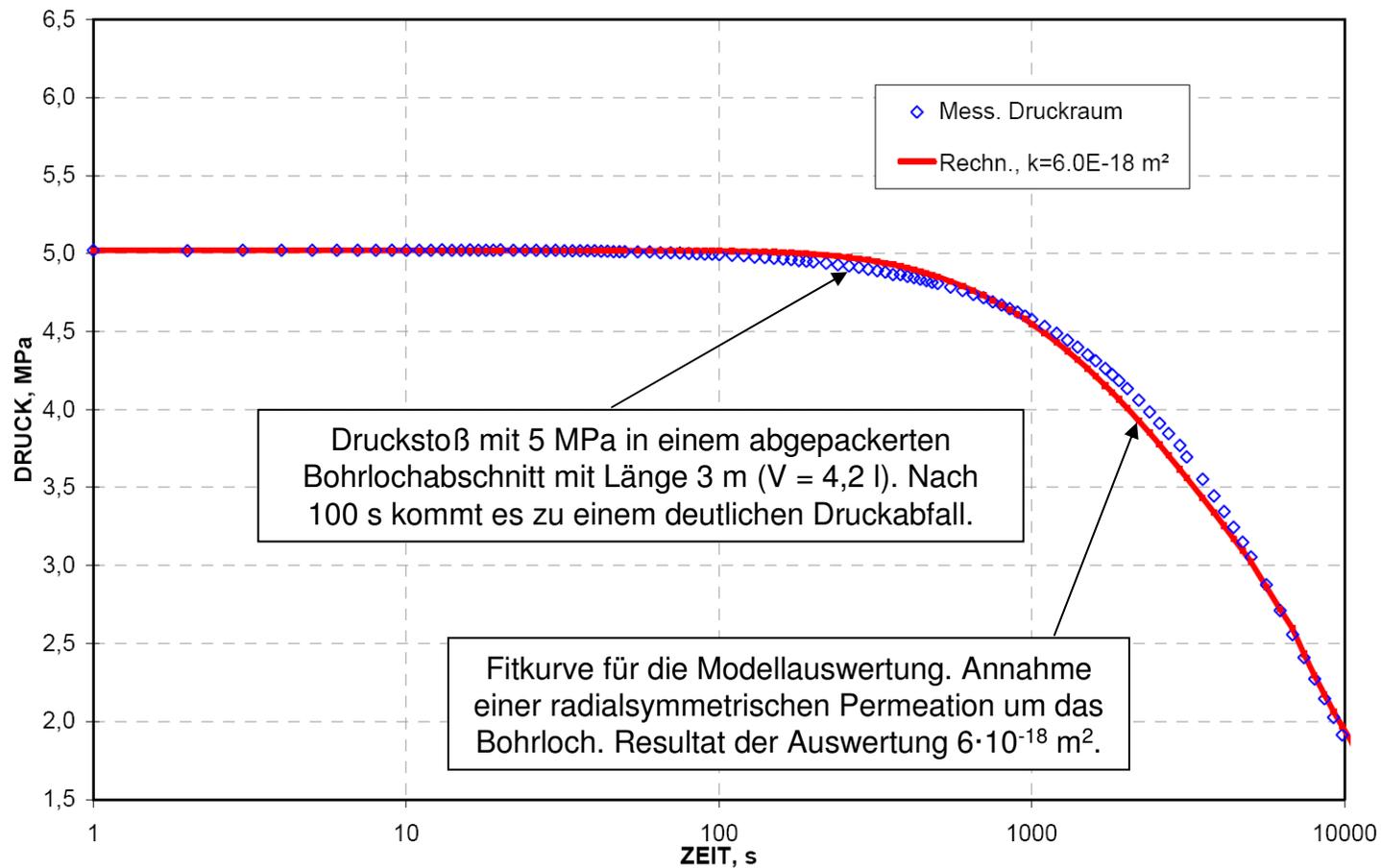
Institut für Gebirgsmechanik
Leipzig GmbH

Untersuchung · Prüfung · Beratung · Begutachtung

Beschädigung der Ytong-Mauer vor der ELK 8 (östlicher
Zugang), Bauzeit der Mauer 1993

Anlage
19

Versuchsauswertung



Durchlässigkeit $6,0E-18 \text{ m}^2$



Institut für Gebirgsmechanik
Leipzig GmbH

Untersuchung · Prüfung · Beratung · Begutachtung

Testkurve und Modellfit für einen Impulstest mit Druckluft in Pfeilermitte ELK 4/Abbau 3 (Bohrung R4-1), Quelle IBeWa [5]

Anlage

20