



Bundesamt für Strahlenschutz

Deckblatt

GZ: SE 4.2.2-9A 64331000

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd.Nr.	Rev.	Seite: I
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	64331000	GC	BV	0054	00	Stand: 31.01.2014

Titel der Unterlage:

IFG: GEBIRGSMECHANISCHE STELLUNGNAHME ZUM MONITORINGBERICHT DER ASSE-GMBH FÜR DEN WENDELSTRECKENBEREICH VON DER 725-M-SOHL E BIS ZUR 775-M-SOHL E (TVF V)

Ersteller:

IFG

Stempelfeld:

Freigabe durch bergrechtlich verantwortliche Person: *[Signature]*

Freigabe durch atomrechtlich verantwortliche Person: *[Signature]*

Freigabe im Projekt/Betrieb: *[Signature]*

Diese Unterlage unterliegt samt Inhalt dem Schutz des Urheberrechts sowie der Pflicht zur vertraulichen Behandlung auch bei Beförderung und Vernichtung und darf vom Empfänger nur auftragsbezogen genutzt, vervielfältigt und Dritten zugänglich gemacht werden. Eine andere Verwendung und Weitergabe bedarf der ausdrücklichen Zustimmung des BfS.



Bundesamt für Strahlenschutz

Revisionsblatt

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: II
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	64331000	GC	BV	0054	00	Stand: 31.01.2014

Titel der Unterlage:
IFG: GEBIRGSMECHANISCHE STELLUNGNAHME ZUM MONITORINGBERICHT DER ASSE-GMBH FÜR DEN WENDELSTRECKENBEREICH VON DER 725-M-SOHL E BIS ZUR 775-M-SOHL E (TVF V)

Rev.	Rev.-Stand Datum	UVST	Prüfer (Zeichn.)	Rev. Seite	Kat. *)	Erläuterung der Revision

*) Kategorie R = redaktionelle Korrektur
Kategorie V = verdeutlichende Verbesserung
Kategorie S = substantielle Revision
mindestens bei der Kategorie S müssen Erläuterungen angegeben werden

**Gebirgsmechanische Stellungnahme
zum Monitoringbericht der Asse-GmbH
für den Wendelstreckenbereich von der
725-m-Sohle bis zur 775-m-Sohle (TVF V)**



Institut
für
Gebirgsmechanik
GmbH

Gebirgsmechanische Stellungnahme zum Monitoringbericht der Asse-GmbH für den Wendelstreckenbereich von der 725-m-Sohle bis zur 775-m-Sohle (TVF V)

Auftraggeber: Bundesamt für Strahlenschutz
Willy-Brandt-Str. 5, 38226 Salzgitter
Telefon: 030 18333-0, Telefax: 030 18333-1885
E-Mail: epost@bfs.de, Internet: www.bfs.de

Auftragnehmer: Institut für Gebirgsmechanik GmbH
Friederikenstraße 60, 04279 Leipzig
E-Mail: kontakt@ifg-leipzig.de, Internet: www.ifg-leipzig.de

Bestell - Nr. (AG): 8681-9
PSP - Nr. (AG): 9A/643 310 00
Auftrag - Nr. (AN): 49/2009

Bearbeiter:

Leipzig, den 31.01.2014

Der Bericht wurde im Auftrag des Bundesamtes für Strahlenschutz (BfS) erstellt. Das BfS behält sich alle Rechte vor. Insbesondere darf dieser Bericht nur mit Zustimmung des BfS zitiert, ganz oder teilweise vervielfältigt bzw. Dritten zugänglich gemacht werden.

INHALTSVERZEICHNIS

ANHANGVERZEICHNIS.....	4
1. ANLASS UND AUFGABENSTELLUNG	7
2. BEWERTUNG DER GEGENWÄRTIGEN BEANSPRUCHUNGSSITUATION	8
2.1 RESULTATE DES MONITORINGS	8
2.2 MODELLIERUNG DER GEBIRGSMECHANISCHEN BEANSPRUCHUNG IM BEREICH DER WENDEL 750-M-SOHLÉ	13
2.2.1 <i>Vorbemerkungen</i>	13
2.2.2 <i>Rechencode</i>	14
2.2.3 <i>Modellgeometrie, Randbedingungen und Zeitablauf</i>	15
2.2.4 <i>Ergebnisdiskussion und Bewertung</i>	17
2.3 GESAMTBEWERTUNG	19
3. BEWERTUNG DER IN [1] AUFGEFÜHRTEN SANIERUNGS- UND STABILISIERUNGSMAßNAHMEN	20
3.1 WENDELABSCHNITT 750- BIS ZUR 775-M-SOHLÉ.....	20
3.2 WENDELABSCHNITT 725- BIS ZUR 750-M-SOHLÉ.....	22
3.3 HAUPTQUERSCHLAG NACH SÜDEN UND STRECKENKREUZ MIT DER 2. SÜDLICHEN RICHTSTRECKE NACH WESTEN	23
LITERATURVERZEICHNIS	24

Gesamtseitenanzahl inkl. Anhänge: 58

Anhangverzeichnis

- Anhang 1: Mit den Fissurometern 023F und 024F überwachte Risse in der Wendelfirste unterhalb des Verschluss-bauwerkes im Zugang zur Diagonalstrecke zum Abbau 1/750 (Na2), Seite 25*
- Anhang 2: Ausgeprägte Abschalungen am Nordstoß der Wendelstrecke 725-m-Sohle mit Blick zur 750-m-Sohle, Seite 26*
- Anhang 3: Verstärkte Abschalungen im Dezimeterbereich am Nordstoß der Wendelstrecke auf Höhe des Querschlags zum Abbau 3/750 (Na2), Seite 27*
- Anhang 4: Scherrisse am Übergang Nordstoß zur Firste, Wendelabschnitt im Bereich der Firstrisse 725- bis 750-m-Sohle, Seite 28*
- Anhang 5: Mikroseismische Ereignisse in den Betriebsruhephasen in der Umgebung der Wendelkehre 725-m-Sohle, Seite 29*
- Anhang 6: Kumulative Energie in den Betriebsruhephasen von 10/2010 bis 09/2013 im Bereich der Wendelkehre auf der 725-m-Sohle, Seite 30*
- Anhang 7: Wendelstrecke mit Abschalungen an den Stößen und Firstsicherung unterhalb der querenden Zugangsstrecke zum Abbau 3/750 (Na2), Seite 31*
- Anhang 8: Wendel 750- bis zur 775-m-Sohle: Firstbereich mit detektiertem Reflektor, der gemäß [1] auf horizontale Rissstruktur hindeutet, Seite 32*
- Anhang 9: Wendel 750 mS mit Riss am nördlichen Übergang Stoß/geankerte Firste auf Höhe des Durchhiebs zur 1. südlichen Richtstrecke nach Westen, Seite 33*
- Anhang 10: Lang aushaltende Trennfläche im Übergang Nordstoß/Firste im Wendelabschnitt von der 750- bis zur 775-m-Sohle, Seite 34*
- Anhang 11: Wendel 750 mS auf Höhe des Durchhiebs zur 1. südlichen Richtstrecke nach Westen: Östlicher (links) und westlicher Stoß (rechts), Seite 35*
- Anhang 12: Scherbeanspruchung des Pfeilers zwischen der Wendel und der 1. südlichen Richtstrecke nach Westen auf der 750-m-Sohle, Seite 36*
- Anhang 13: Grundrissliche Lage der Erkundungsbohrungen HY1 bis HY3 in der Wendel auf Höhe des Abbaus 3/750 (Na2), Seite 37*
- Anhang 14: Minimalspannungssondierung in den Bohrlöchern HY1 bis HY 3: Gesamtdarstellung der Ergebnisse aus [2], Seite 38*

- Anhang 15: *Deformierte Stahlträger zwischen beanspruchten Pfeilern vor dem östlichen Zugang zum Abbau 3/750 (Na2) am Hauptquerschlag nach Süden, 750 mS, Seite 39*
- Anhang 16: *Hauptquerschlag nach Süden (750 mS): Scherung und Relativverschiebung an der Schichtgrenze zwischen Steinsalz und Carnallit, Seite 40*
- Anhang 17: *Streckenkreuz zwischen Hauptquerschlag nach Süden (750 mS) und 2. südlicher Richtstrecke nach Westen: Streichende Vertikalrisse in der Firste, Seite 41*
- Anhang 18: *Wendel vom Hauptquerschlag nach Süden (750 mS) in Richtung Westen zum TVF V (775 mS), nördlicher Abriss der Firste, Seite 42*
- Anhang 19: *Ebenes Rechenmodell als querschlägiger Vertikalschnitt, Seite 43*
- Anhang 20: *Aus dem Risswerk übertragene Geologie und als Rechenergebnis gegenwärtige Gesamtscherdeformation im Bereich der Wendel, Seite 44*
- Anhang 21: *Rechenergebnis: Akkumulierte Verschiebungen ab Anfang 1918 bis zur Gegenwart, Seite 45*
- Anhang 22: *Darstellung der akkumulierten Horizontalverschiebungen ab 1972 bis zur Gegenwart, Seite 46*
- Anhang 23: *Rechenergebnis: Gegenwärtige Minimalspannung in MPa, Seite 47*
- Anhang 24: *Rechenergebnis: Gegenwärtige Hauptspannungsdifferenzen in MPa, Seite 48*
- Anhang 25: *Rechenergebnis zur gegenwärtigen Situation: Entfestigung in der Wendelfirste bis zum Carnallit und Ausbildung des Vertikalrisses am Nordstoß, Seite 49*
- Anhang 26: *Rechenergebnis: Gegenwärtige dilatante Entfestigungsbereiche, Seite 50*
- Anhang 27: *Auszug aus [4]: Zuordnung der Radarreflektoren zur Risserkundung mittels Bohrungen, Seite 51*
- Anhang 28: *Auszug aus [4]: Zuordnung der Radarreflektoren zur Risserkundung mittels Bohrungen, Seite 52*
- Anhang 29: *Auszug aus [4]: Zuordnung der Radarreflektoren zur Risserkundung mittels Bohrungen, Seite 53*
- Anhang 30: *Auszug aus [4]: Zuordnung der Radarreflektoren zur Risserkundung mittels Bohrungen, Seite 54*
- Anhang 31: *Grundriss und Vertikalschnitt der geplanten Wendelumfahrung (Unterlage Asse-GmbH), Seite 55*

*Anhang 32: 3D-Darstellung der geplanten Wendelumfahrung (Unterlage Asse-GmbH),
Seite 56*

Anhang 33: Markscheiderische 3D-Darstellung der 700- bis 775-m-Sohle, Seite 57

Anhang 34: Markscheiderische 3D-Darstellung der 700- bis 775-m-Sohle, Seite 58

1. Anlass und Aufgabenstellung

Das IfG Leipzig wurde mit Schreiben vom 18.12.2013 vom BfS beauftragt, eine Stellungnahme zu den Ergebnissen der Wendelstreckenerkundung von der 725-m-Sohle bis zur 775-m-Sohle und zu den geplanten Sanierungsmaßnahmen abzugeben. Die Übergabe dieses Berichtes [1] erfolgte mit dem Auftragschreiben. Beinhaltet soll die Stellungnahme

- Überprüfung und Bewertung der diskutierten Sanierungs- und Stabilisierungsmaßnahmen in den Bereichen Wendelstrecke (725- bis 775-m-Sohle), Hauptquerschlag nach Süden sowie Streckenkreuz im Bereich der 2. südlichen Richtstrecke nach Westen hinsichtlich der Auswirkungen auf die numerisch (vom IfG) und in situ ermittelten Beanspruchungszustände und Schädigungssituationen.
- Überprüfung und Bewertung der im Bericht aufgeführten Bewertungsmatrix, die zur Empfehlung der Sanierungsvariante 3 (Teilerneuerung der Wendel im Bereich 750- bis 775-m-Sohle) durch die Asse-GmbH geführt hat.
- Einschätzung, welche Variante aus Sicht des IfG als geeignet erachtet wird. Für diese Variante sollen alle gebirgsmechanisch relevanten Randbedingungen (Reihenfolge der Verfüllungs-, Neuauffahrungs- und sonstigen Sanierungsmaßnahmen, Sorelbetongüte, Mindestabmessungen der Pfeiler und Schweben, Monitoring) benannt werden, damit bei der betrieblichen Umsetzung die gebirgsmechanischen Auswirkungen möglichst gering sind und danach einer weiteren Entfestigung des Tragsystems entgegen gewirkt wird.

Als Grundlagen sollen der Bericht [1], der IfG-Bericht zu den Spannungssondierungen im Wendelbereich zwischen dem Abbau 3/750 (Na2) und der Querschnittserweiterung der 1. südlichen Richtstrecke nach Westen [2] sowie eine am 02.09.2013 anlässlich des Projektgespräches „Monitoring der Wendel im Bereich der 725- bis zur 775-m-Sohle und Erkundungsbohrungen im Südwesten der 725-m-Sohle“ gegebene Präsentation verwendet werden.

Im Verlauf der Bearbeitung wurden markscheiderische Unterlagen zur Höhe des Abbaus 3a der 775-m-Sohle neu erstellt, erfolgte die Übergabe der Georadarberichte [3] und [4] und fanden eine Beratung inkl. Befahrung der zu bewertenden Wendelbereiche am 24.01.2014 (Protokoll [5]) statt.

Im Folgenden werden zunächst in einem ersten Kapitel die wichtigsten Ergebnisse des Monitoringprogrammes zusammengefasst und bzgl. ihrer Relevanz für die vorliegende Aufgaben-

stellung bewertet. Diese Zustandsanalyse der gegenwärtigen Situation wird danach unter Nutzung von numerischen Modellresultaten mit dem Ziel analysiert, die zugrunde liegenden Schädigungsprozesse und ihre Bedeutung für die First- und Stoßsicherheit zu identifizieren. Im zweiten Abschnitt erfolgt eine Bewertung der aufgeführten Sanierungs- und Stabilisierungsmaßnahmen, wobei auch die Sinnfälligkeit der Bewertungsmatrix zu diskutieren ist. Im Ergebnis wird die aus Sicht des IfG zu favorisierende Variante begründet und werden die bei ihrer Umsetzung zu beachtenden gebirgsmechanisch relevanten Randbedingungen empfohlen.

2. Bewertung der gegenwärtigen Beanspruchungssituation

2.1 Resultate des Monitorings

Die folgenden Ausführungen repräsentieren eine Zusammenfassung der Befunde aus Kapitel 4 des Monitoringberichtes [1]. Die Gliederung ist auf die in [1] genannten Untersuchungsabschnitte bzw. Problembereiche bezogen.

Wendelabschnitt 725- bis 750-m-Sohle

In diesem Wendelabschnitt wurden auf einem Längsprofil entlang der Firste und mehreren Querprofilen im Bereich der parallel zur Wendel verlaufenden vertikalen Firstrisse auf Höhe der ELK 2/750 (Na2) Georadarmessungen durchgeführt. In [1] wird aufgrund der nur lokal detektierten Reflektoren festgestellt, dass größere, horizontale Trennflächen bzw. Ablösungen im gesamten Firstbereich aus den Radargrammen nicht abgeleitet werden können und deshalb unwahrscheinlich sind. Geometrisch begrenzte Ablösungen können damit aber nicht ausgeschlossen werden.

Die vertikalen Firstrisse sind bis in eine Firsttiefe von 1,5 bis 2,0 m nachweisbar, was den Vorstellungen des IfG bzgl. der sich im zeitlichen Entfestigungsprozess an der Schichtgrenze Steinsalz/Carnallitit ausbildenden Schichtablösungen entspricht¹. Die langjährige Rissüberwachung mit Fissurometern (Anhang 1) zeigt im Betrag sehr geringe Raten in der Rissöffnung bis zu maximal 0,5 mm/a. Der Rückgang der Rate an der Messstelle 024F deutet auf Spannungsumlagerungen von der unmittelbaren entfestigten Firste in tiefere Hangendbereiche hin. Von den beiden Konvergenzmessstellen K24 und K31 weist die obere Messstelle K24 die größeren Konvergenzraten aus. In vertikaler Richtung wird eine relativ konstant bleibende Rate von 2,5 bis 3,0 ‰/a gemessen. In der horizontalen Richtung werden 0,4 bis 0,8

¹ Die Schichtgrenzen stehen in den meisten Bereichen vertikal.

‰/a ausgewiesen, seit Mai 2012 zeichnet sich jedoch ein Trend zu ansteigenden Verformungsraten in horizontaler Richtung von 1,0 bis 1,7 ‰/a ab.

Im Vergleich mit den langjährigen Mittelwerten gemäß Jahresbericht 2012 der Standortüberwachung in der Wendel im Carnallitit (1,7 bis 1,9 ‰/a vertikal und 1,5 bis 1,6 ‰/a horizontal) sind die vertikalen Raten eindeutig erhöht. Die Ursache für diese im Vergleich großen Konvergenzraten (und auch die Zunahme der horizontalen Raten) wird in den Stoßausbrüchen und Abschalungen (Anhänge 2 und 3) gesehen. Infolge der langen Standzeit (die Wendel wurde in dieser Teufe etwa 1972 aufgefahren) entfestigen sich die Widerlager zum Erhalt der Firststabilität bzw. unterliegen sogar Scherbrüchen, wie im Anhang 4 gezeigt. Die Anker und der Maschendrahtverzug gewährleisten zwar die Arbeitssicherheit, können aber den Bruchprozessen in den statischen Auflagerbereichen der Firsten nicht entgegenwirken.

Bei der Befahrung am 10.12.2012 wurde festgestellt, dass bei Hammerschlägen die meisten Stöße hohl klingen. Dieser Befund bestätigt sich mit den umfangreichen Stoßkontrollbohrungen, zu denen in [1] ausgeführt ist, dass an den meisten Lokationen konturnahe Auflockerungen bis ca. 2,5 m Stoßtiefe festgestellt wurden. Im unteren Wendelabschnitt existieren am Nordstoß in zwei Messquerschnitten auch Ablösungen bzw. Risse bis in 4,3 m Tiefe und im oberen westlichen Abschnitt wurden am südlichen Übergang vom Stoß zur Firste (MQ2) Ablösungen bis in eine Tiefe von 4 m detektiert. Die zahlreichen festgestellten Feuchtigkeits Hinweise in den Bohrungen in Form von Kristallisationsbildung verschlechtern die Konturstabilität zusätzlich.

Die Firstnivelementmessungen ab der Erstmessung am 29.05.2013 zeigen im Maximum (am Beginn und Ende des Wendelabschnittes 725- bis 750-m-Sohle) Senkungen bis 9 mm und in der Mitte von ca. 5 mm. Die Beträge haben zwischen den beiden Folgemessungen am 19.09.2013 und dem 18.10.2013 nicht signifikant zugenommen. Für die Bewertung der Firststabilität sollten diese Messungen unbedingt weitergeführt und in den zeitlichen Messintervallen verkürzt werden. Der weitere Trend bleibt abzuwarten.

Bei den mikroseismischen Messungen fallen die Ereignisse an der oberen Wendelkehre (Anhang 5) auf. Hier hat nach [1] die mikroseismische Aktivität leicht zugenommen, während die anderen Abschnitte ruhig waren bzw. nur vereinzelte Ereignisse aufwiesen. An der Wendelkehre ist eine Zunahme der mikroseismischen Aktivität ab Herbst 2012 zu erkennen. Trotz der bereits realisierten Sicherung mit Ankern und Maschendraht schreiten hier offensichtlich infolge der langen Standzeit und großen Firstspannweite die Schädigungsprozesse weiter voran, was zu einer Zunahme der kumulativen Energie führt (Anhang 6).

Wendelabschnitt 750- bis 775-m-Sohle

Auch in diesem Bereich erfolgten Georadarmessungen in einem Längsprofil und insgesamt 5 Querprofilen. Das Längsprofil zeigte Reflektoren hauptsächlich im Tiefenbereich zwischen 0,3 und 1,5 m. Die Ursache dieser Anomalien kann gemäß [1] durch Auflockerungen im Übergangsbereich zwischen Stoß und Firste begründet sein. Die Wendel zwischen der 750- und 775-m-Sohle wies im Vergleich zum Wendelabschnitt von der 725- bis zur 750-m-Sohle mehrere solcher Reflektoren aus. Gleichfalls wurden mittels Querprofilmessungen Reflexionen an den Stößen bis hin zum Übergang zur Firste detektiert, die auf Auflockerungszonen schließen lassen.

Da sich bei den Georadaruntersuchungen der Firste unter dem quer zur Wendelstrecke verlaufenden südlichen Zugang zum Abbau 3 auf der 750-m-Sohle deutliche Reflektoren darstellten, musste deren Ursache mit zusätzlichen Querprofilen sowie mit Firstkontrollbohrungen abgeklärt werden. Es zeigten sich Auflockerungen bei 0,2 m und 0,6 m Abstand von der Firstkontur und die Schweben besaß nur eine Mächtigkeit von etwa 1 m. Der Bereich wurde daraufhin mit an der Firste befestigten Stahlträgern, Maschendrahtverzug und Ankerung (Anhang 7) gesichert. Aber auch etwa 1 m weiter westlich des bereits gesicherten Schwebenbereiches wurde ein flach aushaltender Reflektor in der Firste in ca. 2 m Tiefe festgestellt, der gemäß [1] auf eine horizontale Rissstruktur hindeutet, die mit Firstkontrollmessungen überwacht wird (Anhang 8).

Neben den Reflektoren, die den stark aufgelockerten Zustand der Wendelstöße dokumentieren, kamen mittels der Stoßprofilmessungen auch zahlreiche Reflexionshorizonte im streichend verlaufenden Pfeiler zwischen der Wendelstrecke und der 1. südlichen Richtstrecke nach Westen zum Vorschein. Diese wurden in [1] der steil stehenden Lagerung von Kaliflöz, Steinsalz und Polyhalitbänkchensalz (Na₂P) zugeordnet. Hier sollte aus Sicht des IfG aber zumindest im geplanten Auffahrungsbereich der neuen Wendel mittels Bohrungen überprüft werden, ob an den Schichtgrenzen noch ein fester Gebirgsverbund vorliegt oder ob sich nicht schon Ablösungen gebildet haben. Auf die Bildung von Löserflächen in dem Pfeiler deutet zumindest auch der aus der 1. südlichen Richtstrecke nach Westen lokalisierte Reflektor hin, der eine vertikal stehende Trennfläche in der unmittelbaren Nähe der Wendelstrecke repräsentieren könnte.

Die beiden Konvergenzmessstellen K32 und K33 sind auf Höhe des Abbaus 3/750 (Na₂) positioniert. Die obere Messstelle unmittelbar am Durchhieb zur 1. südlichen Richtstrecke weist eine vertikale Rate von 3,5 ‰/a und eine horizontale Rate von 0,7 ‰/a aus. Die untere Messlokation zeigt vertikal etwa 3,8 ‰/a und horizontal eine Divergenz mit -0,5 ‰/a. Die Vertikalraten liegen wieder über dem Durchschnitt der Wendelmessungen im Carnallit und

noch höher als im oberen Wendelabschnitt 725- bis 750-m-Sohle. Die Divergenz deutet auf eine gebirgsmechanisch exponierte Situation² hin.

Das Firstnivellement wurde, wie im oberen Abschnitt, nach dem 29.05.2013 noch einmal am 19.09. und 18.10.2013 durchgeführt. Zwischen den beiden letzten Messungen ist aber im Unterschied zu oben eine deutlich Zunahme der Firstsenkung zu erkennen und weiterhin senkte sich die Firste im Abschnitt ab dem Durchhieb zur 1. südlichen Richtstrecke nach Westen bis zum westlichen Ende des Abbau 3/750 (Na2) sehr inhomogen. Die größte Absenkung bis zu 9 mm ist im gleichen Bereich zu verzeichnen, in dem die Konvergenzmessstelle K33 die Divergenz auswies und in dem in der Firsttiefe von ca. 2 m ein flach aushaltender Reflektor des Georadars liegt. In der Bewertung ist deshalb insbesondere in diesem Abschnitt, abgesehen von den weiter abzuwartenden Befunden, von einer Verschlechterung der Firststabilität im Berichtszeitraum auszugehen. Diese Einschätzung wird mit der großen Firstspannweite am Durchhieb (Anhang 9), dem hohen Durchbauungsgrad, der langen Standzeit sowie insbesondere mit dem lang aushaltenden Löser am Nordstoß (Anhang 10) begründet. Neben den bereits diskutierten und auch hier anstehenden steilen Schichtgrenzen, die bei der langen Standzeit zu Ablösungen neigen, schwächt der nördliche Firstriss das Auflager für die Firste und auch am Südstoß sind steil stehende Risse zu sehen (Anhang 11). In der Folge ist von Rissbildungen in der Firste auszugehen, die die messtechnischen Befunde erklären.

Bei den Inspektionen der Stoßkontrollbohrungen kamen in den meisten Messquerschnitten konturnahe (bis ca. 1 m Bohrlochtiefe) Auflockerungen und beanspruchte Bereiche, aber auch Risse bis in Bohrlochtiefen von 5 m zum Vorschein. Besonders stark aufgelockert sind der nördliche Stoß des MQ13, dieser Abschnitt wurde bereits als gebirgsmechanisch exponiert identifiziert, und der südliche Stoß der Messquerschnitte 09 und 11. Im oberen östlichen Bereich der Wendelstrecke unterhalb der 750-m-Sohle wurden im nördlichen Stoß erhebliche Ablösungen bzw. Risse in dem offensichtlich stark geschädigten und zum Teil nur 4,5 m mächtigen Pfeiler zum Abbau 3/750 (Na2) festgestellt. Im Vergleich zur vorherigen Inspektion bildete sich am Nordstoß in Richtung dieses Abbaus (Messquerschnitt 10) ein mit 2 mm offener Riss neu.

² Die Horizontalkonvergenz in diesem Wendelbereich wird durch die Verschiebungsvektoren in Richtung Abbau 3/750 (Na2) dominiert und gemäß der Modellrechnungen verschieben sich beide Stöße in diese Richtung nach Norden. Trotzdem sollte aber die Südstoßverschiebung nach Norden überwiegen und damit in der Summe eine Horizontalkonvergenz, und keine Divergenz, der Wendel vorliegen.

Neben dem deutlich sichtbaren Firstabriss am nördlichen Stoß sind also offensichtlich noch zahlreiche weitere stoßparallele Risse in den nördlichen und südlichen Konturbereichen und auch im Pfeiler zur 1. südlichen Richtstrecke nach Westen vorhanden. Der obere Wendelbereich entlang des Abbaus 3/750 (Na2) ist davon besonders betroffen.

Wie schon oben ausgeführt, werden die zahlreichen festgestellten Feuchtigkeitsspuren die Konturstabilität im weiteren Konvergenzverlauf zusätzlich verschlechtern. Auch dieser Wendelabschnitt wurde Ende 1971 bzw. Anfang 1972 aufgefahren.

Im Ergebnis der Befahrung vom 10.12.2012 wurde festgelegt, im Wendelbereich zwischen der 750- und der 775-m-Sohle hydraulische Spannungssondierungen durchzuführen. Damit sollte überprüft werden, ob der visuell stark beanspruchte Pfeiler zwischen der Wendel und der 1. südlichen Richtstrecke nach Westen (Anhang 12) noch in der Lage ist, in dem relativ großflächig durchbauten Bereich die Gebirgslasten abzutragen. Weiterhin sollte der Spannungszustand im schmalen Pfeiler zum Abbau 3/750 (Na2) und in der Schwebelast zur 775-m-Sohle untersucht werden. Der Grundriss im Anhang 13 zeigt die Lage der 3 Bohrungen HY-1 bis HY-3 und der Anhang 14 präsentiert die Messergebnisse.

Im Rechteckpfeiler Anhang 10 wurden in der Bohrung HY-1 im Pfeilerkern minimale Druckeinspannungen von 13,6 MPa festgestellt und die Stöße waren stark entlastet. Im Pfeiler zum Abbau 3/750 (Na2) war die minimale Druckeinspannung mit etwa 7 MPa nur halb so hoch und die Stöße gleichfalls deutlich entlastet. Die Entlastungen in den Konturen korrelieren mit den festgestellten Riss- und Schädigungszonen und auch im nördlichen Pfeilerkern zum Abbau 3 ist in der langen Standzeit seit der Auffahrung von Entfestigungsprozessen auszugehen. Die Auswirkungen des oben erwähnten Verschiebungsfeldes in Richtung des Abbaus 3 sind an der Horizontalstauchung der Stahlträger im Anhang 15 zu sehen. Ohne den Versatz im Abbau 3/750 (Na2) wäre vermutlich auch der Pfeilerkern gebrochen und könnte keine Lasten mehr abtragen. Für den Kern des Rechteckpfeilers im Anhang 10 ist trotz der außen sichtbaren Scherbänder bei einer ca. 40%igen Ausnutzung der Pfeilergrenzspannung zwar keine langzeitige Standsicherheit abzuleiten, wird aber auch kein kurzfristiges Versagen gesehen.

In der Bohrung HY-3 wurde in der Schwebelast eine Permeabilität in der Größenordnung von 10^{-18} m^2 bei einer Porosität von 4 % abgeleitet. Dies deutet auf eine beanspruchte, jedoch noch nicht entfestigte Schwebelast mit einer noch vorhandenen Restfestigkeit hin.

Hauptquerschlag nach Süden (750-m-Sohle) zwischen der 1. und 2. südlichen Richtstrecke nach Westen

Der mittels drei Firstkontrollbohrungen sondierte und überwiegend im Kalisalz gelegene Bereich weist im Süden den Übergang vom K2C Kalisalz in das Na3 Steinsalz auf. Der Auffahrungsabschnitt ist gemäß [1] durch diverse Risse und Feuchtzonen in der Firste gekennzeichnet und an den Stößen geschädigt. Die Inspektion der Firstkontrollbohrungen belegte anhand der festgestellten geöffneten Risse eine konturnahe Schädigung im Firstbereich bis in ca. 1,3 m Konturtiefe. Der Übergang Steinsalz / Kalisalz zeigte in der Firste keine gebirgsmechanisch beanspruchten Trennflächen, solche Trennflächen sind aber an den freigelegten Schichtgrenzen am Hauptquerschlag (Anhang 16) zu sehen.

Da sich gemäß der Kamerabefahrungen im unmittelbaren Firstbereich neben den sondierten offenen Rissen auch noch weitere, bislang geschlossene Scherflächen andeuten und im Carnallitit Lösungserscheinungen (kavernöse Zersetzungsgebiete) existieren, sollten aus Sicht des IfG auch Planungen für eine Sorelbetonverfüllung dieses Abschnittes, ggf. eingebettet in eine größere Verfüllungsmaßnahme, aufgenommen werden.

Streckenkreuz Hauptquerschlag nach Süden (750-m-Sohle) mit der 2. südlichen Richtstrecke nach Westen

Im Bereich des Streckenkreuzes zwischen dem Hauptquerschlag nach Süden und der 2. südlichen Richtstrecke nach Westen auf der 750-m-Sohle ("Alter Bahnhof") befinden sich zwei etwa E-W streichende Risse in der Firste (Anhang 17), von denen der nördliche eine Länge von ca. 7 m und der südliche von etwa 3,5 m aufweist. Zur Untersuchung des Verlaufs der Risse in der Firste wurden gleichfalls drei in Richtung der Risse geneigte Firstkontrollbohrungen erstellt und befahren. Im Ergebnis existieren Öffnungsweiten der Risse bis maximal 4 mm bis in eine Firsttiefe von 1,7 m. Zusätzlich durchgeführte Georadarmessungen belegten ein ungefähres Einfallen der Risse mit 25° und 39° nach Norden.

Nach Kenntnis des IfG ist im Streckenkreuz zusammen mit der Sorelbetonverfüllung des noch offenen Abschnittes der südlichen Richtstrecke nach Osten unmittelbar nördlich des zur Verfüllung vorbereiteten Abbaus 3/750 eine Teilverfüllung geplant.

2.2 Modellierung der gebirgsmechanischen Beanspruchung im Bereich der Wendel 750-m-Sohle

2.2.1 Vorbemerkungen

Zur Nachbildung der standzeitbedingten Entfestigung und Rissbildung im Wendelbereich der 750-m-Sohle als Bewertungsschwerpunkt wurde ein numerisches Modell mit dem Ziel auf-

gebaut, die sich aus der langen Standzeit und den Überzugswirkungen aus den intensiv gebauten Abbaufeldern ergebenden Spannungsumlagerungs-, Deformations- und Schädigungsprozesse zu berechnen. Dazu war es notwendig, in der Umgebung der Wendel die steil stehenden Schichtgrenzen zwischen Steinsalz und Carnallit (Anhang 16), die geometrischen Abmessungen und Abstände der Abbaue sowie die Auffahrungs- und Versatztätigkeit in ihrer zeitlichen Abfolge nachzuvollziehen. Als Stoffgesetz kam der in [6] ausführlich erläuterte visko-elasto-plastische Ansatz in Frage, mit dem in der etwa 17jährigen Sachverständigentätigkeit des IfG eine Vielzahl von Hohlraumproblemen in Übereinstimmung mit den In-situ-Befunden berechnet wurden. Der Ansatz ist in der Lage, neben den rheonomen Kriechprozessen auch Entfestigungen (Schädigungen) und Dilatanzen zu simulieren. Bezüglich der Stoffgesetzbeschreibung und der verwendeten Parameter wird auf [6] verwiesen.

Im Interesse einer zügigen Problembearbeitung wurde ein relativ einfaches Submodell als querschlägiger Vertikalschnitt durch den Problembereich unter Nutzung der sich anbietenden Symmetriebedingungen aufgebaut. Zur Überprüfung der gebirgsmechanischen Zustände und der anzusetzenden Randbedingungen erfolgte ein Vergleich mit den 3D-Rechenergebnissen aus [7].

Die Aufgabe der Modellrechnungen sollte nicht in einer Bewertung der Spannungs- und Deformationszustände in den Tragelementen der Abbaufelder bestehen. Die Modellierung dieser Auffahrungen diene lediglich zur Simulation der Überzugswirkungen auf den Wendelbereich. Das Hauptziel bestand vielmehr darin, die zugrundeliegenden mechanisch/physikalischen Ursachen der nachgewiesenen Entfestigungen und Rissbildungen besser zu verstehen, um auf dieser Basis die bergbausicherheitliche Relevanz zu erkennen sowie die am besten geeigneten Sanierungsmaßnahmen empfehlen zu können.

2.2.2 Rechencode

Das für die gebirgsmechanische Modellierung verwendete Rechenprogramm *FLAC* (Fast Lagrangian Analysis of Continua, Itasca Consulting Group) wurde speziell für geotechnische Fragestellungen entwickelt. Es bestehen über mehrere Jahrzehnte praktische Anwendungserfahrungen bei der Modellierung gebirgsmechanischer Problemstellungen, wobei das Rechenprogramm durch Einbau spezieller Stoffansätze kontinuierlich weiterentwickelt und den praktischen Anforderungen angepasst wurde. So wurde z. B. zur Berücksichtigung der spezifischen Eigenschaften der Salzgesteine das am IfG entwickelte, in [6] und [7] für die Asse angewendete, visko-elasto-plastische Stoffmodell zur Beschreibung von Entfestigung und Dilatanz als „user defined model“ (DLL-Modul) in das Programmsystem eingebunden.

Der Rechencode *FLAC* nutzt die Methode finiter Differenzen. Wie bei der Methode finiter Elemente (*FEM*) wird die zu untersuchende Struktur als Modellkörper in eine Vielzahl von Elementen mit zugehörigen Knotenpunkten unterteilt. Jedes einzelne dieser Elemente reagiert entsprechend seines diskret vorgegebenen Stoffverhaltens und der Randbedingungen auf die angreifenden Kräfte. Bei einer Anregung infolge von Änderungen in der Geometrie, physikalischer Zustände oder von Randbedingungen gerät das System aus dem Gleichgewicht und steuert entsprechend der gegebenen physikalischen Möglichkeiten einem neuen Gleichgewichtszustand zu, der durch die Lösung der vollständigen dynamischen Bewegungsgleichungen mit Hilfe des expliziten LAGRANGE'schen Lösungsalgorithmus für jedes Element im Einklang mit den Nachbarelementen berechnet wird. Die Wirkung großer Deformationen, die insbesondere im Zusammenhang mit dem Kriechverhalten von Steinsalz eine entscheidende Rolle spielen, wird im Code berücksichtigt.

Im Programmcode ist eine eigene Programmiersprache (FISH) implementiert, mit deren Hilfe sowohl notwendige Modifikationen programmierter Stoffansätze und Programmabläufe, als auch eine spezielle Auswertung berechneter gebirgsmechanischer Größen (Zustandsbewertung) realisiert werden können.

2.2.3 Modellgeometrie, Randbedingungen und Zeitablauf

Das in Anhang 19 dargestellte Berechnungsmodell repräsentiert einen querschlägigen Vertikalschnitt parallel zum Hauptquerschlag nach Süden 750 mS. Damit liegt der Vertikalschnitt auch parallel und in einer streichenden Entfernung (Richtung WNW) von etwa 40 m zum geologischen Schnitt 2 im Erweiterungsbereich der 1. südlichen Richtstrecke nach Westen. Das Modell ist 110 m breit und erfasst den Teufenbereich von 540 m bis 820 m (Vertikalerstreckung 280 m).

Die südliche Symmetrieachse (rechter Modellrand) wurde in die querschlägige Abbaumitte der Südflanke gelegt und die halbe Abbaubreite auf allen berücksichtigten Sohlen mit 20 m angenommen. Die Auffahrungen der Südflanke mit den Höhen und Schwebenabständen konnten aus dem Risswerk entnommen werden:

750-m-Sohle	näherungsweise ELK 4	Auffahrung 1918 bis 1919
725-m-Sohle	näherungsweise Abbau 4	Auffahrung 1925 bis 1926
700-m-Sohle	näherungsweise Abbau 8	Auffahrung 1926 bis 1927
679-m-Sohle	näherungsweise Abbau 4	Auffahrung 1930 bis 1932
658-m-Sohle	näherungsweise Abbau 4	Auffahrung 1934 bis 1937

Die 637-m-Sohle wurde aufgrund des großen Abstandes nicht mehr berücksichtigt. Die beiden Abbaue 4 der 679- und 658-m-Sohle sind zu einem Doppelabbau verbunden.

750-m-Sohle	Abbauhöhe 10 m	Schwebe zur 725-m-Sohle 14 m
725-m-Sohle	Abbauhöhe 15 m	Schwebe zur 700-m-Sohle 8,5 m
700-m-Sohle	Abbauhöhe 15 m	Schwebe zur 679-m-Sohle 6 m
Doppelabbau		
679/658 mS	Abbauhöhe 36 m	

Die nördliche Symmetrieachse (linker Modellrand) liegt gleichfalls in der querschlägigen Abbaumitte. Die halbe Abbaubreite wurde hier auf allen berücksichtigten Sohlen mit 10 m festgelegt. Als Auffahrungszeiten, Abbauhöhen und Schwebenmächtigkeiten im Staßfurtstein-salz kamen zur Anwendung:

775-m-Sohle	Abbau 3	Auffahrung 1955 bis 1962
750-m-Sohle	Abbau 3	Auffahrung 1927 bis 1928
725-m-Sohle	Abbau 6	Auffahrung 1932 bis 1936
775-m-Sohle	Abbauhöhe 15 m	Schwebe zur 750-m-Sohle 8 m
750-m-Sohle	Abbauhöhe 17 m	Schwebe zur 725-m-Sohle 6 m
725-m-Sohle	Abbauhöhe 17 m	

Der Abbau 3a auf der 775-m-Sohle wurde im Modell von 1936 bis 1939 aufgefahren und besitzt bei einer Breite von 10 m eine Höhe von 15 m. Die Schwebe zur Streckenerweiterung (Breite 10 m und Höhe 3,5 m) der 1. südlichen Richtstrecke nach Westen beträgt 8 m. Für die 1. südliche Richtstrecke nach Westen wurde eine Auffahrungszeit von 1926 bis 1927 aus dem Risswerk entnommen und für die Wendel in der Teufe von 750 m als Zeitpunkt Anfang 1972. Die Breite der Wendel beträgt 5 m und die Höhe 3,5 m.

Alle Abbaue wurden im Rechenmodell mit Eigenversatz entsprechend der betrieblichen Zeitangaben gefüllt und dabei an der Oberkante Firstspalte mit Höhen von 0,5 m bis etwa 2 m (orientiert an den Aufschlussinformationen und unter Nutzung der verfügbaren Elementhöhe im Modellnetz) frei gelassen.

1922	Abbau 3/750 versetzt
1962	Abbau 3/775 (Na2) und Abbau 3a/775 (Na2) versetzt
1975 bis 1976	Abbau 6/725 (Na2) versetzt
1977 bis 1978	Abbau 3/750 (Na2) versetzt
1985 bis 1987	Doppelabbau 3 auf 679 mS und 658 mS versetzt
1988	Abbau 4/725 versetzt
1990 bis 1993	Abbau 8/700 versetzt

Die untere Modellkante ist in vertikaler Richtung fixiert und für die Festlegung der Auflast an der Modelloberkante in einer Teufe von 540 m wurde nach umfangreichen Fallstudien ein Betrag von 9 MPa festgelegt. Diese Spannungsrandbedingung orientiert sich an den berechneten Vertikalspannungen in den 3D-Modellen in [7], die auch die großräumigen Lastumlagerungen infolge der Entfestigungsprozesse berücksichtigen. In den Fallstudien erfolgte eine Variation der Auflast bis zur ungefähren Übereinstimmung der Wendelkonvergenz mit den Messwerten der Standortüberwachung.

Die Übertragung der geologischen Situation ist im Anhang 20 zu sehen. Die Übereinstimmung mit dem Risswerk kann im Vergleich mit Anhang 18 (gültig für den geologischen Schnitt 2) überprüft werden.

Die simulierte Modellzeit des zeitabhängigen Kriechens beginnt Anfang 1918. Die Auffahrung der Wendel erfolgt Anfang 1972. Die Position der Wendel liegt im betrachteten Rechenfall, der eine gebirgsmechanische Extremsituation repräsentiert, auf Höhe der Streckenerweiterung 1. südliche Richtstrecke nach Westen 750 mS. Im Modellnetz ist aber auch eine Berechnung der nach Westen abtauchenden Wendel vorgesehen und könnte in weiteren Rechenfällen untersucht werden. Alle Hohlräume werden in einzelnen Schritten gemäß den oben aufgeführten Zeitständen mit einer Elementumwidmung in einen elastischen Ersatzkörper mit sehr geringer Steifigkeit geschaffen. Da die Vernetzung dabei nicht gelöscht wird, ist es später relativ einfach möglich, diese Elemente, die einen luftgefüllten Hohlraum simulieren, mit einem Versatzmodell zu belegen, d. h. den modellierten Hohlraum wieder zu versetzen.

2.2.4 Ergebnisdiskussion und Bewertung

Im Anhang 21 ist das Verschiebungsfeld nach 95 Jahren (Anfang 1918 bis Ende 2012) dar-

gestellt. Die Verschiebungsvektoren zeigen in Richtung des Abbaus 3/750 (Na2). Die Punktverschiebungen steigen mit der Ausbildung der Streckenkontur (Auffahrung der Wendel) Anfang 1972 sprunghaft an, werden aber in ihrer Richtung weiterhin vom Abbau 3/750 (Na2) beeinflusst. Somit bestätigt das Rechenmodell überzeugend den im Anhang 15 präsentierten Befund der horizontal gestauchten Stahlträger. Die Stauchung ist das Ergebnis der Horizontaltaalkonvergenz im Abbau 3/750 (Na2) und die unmittelbar benachbarte Wendel liegt in diesem Verschiebungsfeld. Im Anhang 22 ist zu sehen, dass sich sowohl der Nordstoß, als auch der Südstoß nach Norden bewegen. Da die Südstoßverschiebung aber größer ist, kommt es zu einer horizontalen Streckenkonvergenz. Die gegenwärtige vertikale Konvergenzrate, bezogen auf die Streckenhöhe von 3,5 m, berechnet sich zu 2,8 ‰ /a und die gegenwärtige horizontale Konvergenzrate ergibt sich mit 0,5 ‰ /a (Streckenbreite 5 m). Diese Beträge stimmen sehr gut mit den Befunden in der Wendel überein, die hohen Beträge im Bereich des Durchhiebes zur 1. südlichen Richtstrecke nach Westen werden aber nicht erreicht³.

Im Anhang 23 sind die gegenwärtigen minimalen Druckeinspannungen dargestellt. Da im oberen Wendelabschnitt auch die hydraulischen Minimalspannungssondierungen (siehe [2]) durchgeführt wurden, können auch diese Befunde zur Modellüberprüfung verwendet werden. Die Spannungsbeträge und Verläufe im Anhang 14 stimmen, insbesondere für die beiden Horizontalbohrungen, sehr gut mit den Rechenergebnissen überein. Das Rechenmodell kann somit als validiert angesehen werden.

Anhang 24 präsentiert die Hauptspannungsdifferenzen als Maß für die gebirgsmechanische Beanspruchung. Die relativ großen Beträge in den beiden Pfeilern weisen auf noch tragfähige Bereiche hin, während der Firstbereich über der Wendel kaum noch Hauptspannungsdifferenzen ertragen kann. Die Entspannungszone der unmittelbaren Firste hat sich mit dem kriechfreudigen Carnallitit im tieferen Hangenden verbunden. Wie die beiden folgenden Anhänge zeigen, liegt die Ursache in einer vorangeschrittenen Entfestigung (Anhang 25), die auch mittels der dilatanten Bereiche im Anhang 26 bestätigt wird.

Insgesamt erklären die modellmechanischen Befunde die in situ ermittelten Schädigungen. In der langen Standzeit und infolge des intensiven Durchbauungsgrades werden im Modell insbesondere im stratigrafisch inhomogenen Firstbereich der Wendel entfestigte und dilatante Strukturen berechnet, die sehr gut mit den Reflektoren der Georadarmessungen bzw. den erbohrten Rissen übereinstimmen. Besonders deutlich ist die Übereinstimmung mit dem nördlich Firstabriss, der sich auch im Anhang 25 zeigt. Infolge des anstehenden Carnallitits ist aber auch im tieferen Firstbereich mit Ablösungen an den Schichtgrenzen zu rechnen.

³ Der hohe Durchbauungsgrad am Durchhieb wurde nicht modelliert.

2.3 Gesamtbewertung

Aus dem Monitoringbericht [1] kann abgeleitet werden, dass in beiden Wendelbereichen von der 725- bis zur 750-m-Sohle und von der 750- bis zur 775-m-Sohle erhebliche Schädigungen in den Stößen bis in Konturtiefen von einigen Metern und in den Übergangsbereichen zur Firste existieren. Auch in den Firsten ist von vertikalen Rissstrukturen an den Schichtgrenzen auszugehen. Die vertikalen Löser bzw. Risse sind z.B. im unteren Abschnitt deutlich erkennbar (nahezu gesamter Nordstoß, Südstoß im Durchhieb zur 1. südl. Richtstrecke nach Westen) bzw. mittels Radarreflexionen (verifiziert mittels Bohrungen) detektiert. Die Stöße klingen von der 725- bis zur 775-m-Sohle überwiegend hohl und in einer Vielzahl von Kontrollbohrungen wurde auch Kristallinat nachgewiesen, was auf Lösungsspuren hinweist.

Die Vertikalkonvergenzen sind vergleichsweise zum Durchschnittswert für Wendelabschnitte im Carnallit hoch und auf Höhe des Durchhiebes zur 1. südl. Richtstrecke nach Westen (750- bis 775-m-Sohle) zeigen Divergenz und sehr inhomogene Firstsenkungen eine gebirgsmechanisch exponierte Situation an. Dort ist auch von einer horizontalen Rissstruktur in der Wendelfirste auszugehen, so dass zumindest lokal in den zu bewertenden Wendelabschnitten die Voraussetzungen für Firstfälle⁴ gegeben sind. Der untere Wendelabschnitt ist dabei stärker gefährdet als der obere. Jedoch ist in beiden Abschnitten⁵ aufgrund der langen Standzeit (die Wendel wurde in dieser Teufe etwa 1972 aufgefahren), des starken Durchbauungsgrades, der steil stehenden Schichtgrenzen mit partieller Feuchtigkeit eine für die Wendel im Vergleich große Schädigung festzustellen und eine zeitlich voranschreitende Entfestigung der für die Firststabilität entscheidenden Übergangsbereiche Stoß/Firste zu besorgen.

Als positive Gesichtspunkte sind zu nennen, dass die Konvergenzen zwar vergleichsweise hoch sind, in der letzten Zeit aber keine Beschleunigung eingetreten ist. Bei der letzten Befahrung am 24.01.2014 waren an den Firsten und Kehlbereichen keine frischen Abschaltungen zu sehen, so dass gegenwärtig keine Anzeichen für eine Eskalation der gebirgsmechanischen Schädigungsprozesse zu erkennen sind (siehe auch Formulierungen im Protokoll [5]).

⁴ Von vertikalen Ablösungen ist in der Firste an den Schichtgrenzen unzweifelhaft auszugehen. Bei zusätzlichen horizontalen Rissen entstehen durch die Verschneidung freie Bruchkörper. Weiterhin könnten die in den Anhängen 27 bis 30 (aus [4]) dargestellten Radarreflektoren (z.T. in den Bohrungen als Risse identifiziert) in ihrer Verlängerung und Verschneidung auf solche sich bildende Bruchkörper hinweisen. Im Anhang 30 wurde exemplarisch eine solche denkbare Verschneidung am Messquerschnitt 12 mit gestrichelten Linien skizziert.

⁵ In [1] ist auch bzgl. des oberen Abschnittes von einer visuell feststellbaren zeitlichen Entwicklung der Stoßabschaltungen die Rede.

Aus der schlechten gebirgsmechanischen Situation in beiden Wendelbereichen ergibt sich aus Sicht des IfG die Notwendigkeit einer intensiveren Kontrolle der First- und Stoßsicherheit in engeren Messabständen mit einer kurzfristigen Neubewertung der Gefährdungssituation, falls sich akute Veränderungen ergeben.

3. Bewertung der in [1] aufgeführten Sanierungs- und Stabilisierungsmaßnahmen

3.1 Wendelabschnitt 750- bis zur 775-m-Sohle

In [1] werden mittels einer Bewertungsmatrix drei Sanierungsvarianten auf der Basis von gebirgsmechanischen und betrieblichen Kriterien miteinander verglichen und die Verlegung des Wendelabschnittes in das Anstehende unmittelbar südlich der Wendel (Verfüllung der alten Wendel und Neuauffahrung einer neuen) favorisiert. Wie schon zur Beratung am 24.01.14 ausgeführt ([5]), stimmt das IfG dieser Entscheidung zu, weist aber darauf hin, dass der verfüllte alte Wendelabschnitt aufgrund der existierenden aufgelockerten und gebrächen Konturen sowie der Porosität und geringeren Steifigkeit des Sorelbetons im Vergleich zum Steinsalz nicht als unverritztes Salzgebirge angesehen werden kann. Eine Stützwirkung der gebrächen Konturen und eine Erhöhung der Gebirgsspannungen wird sich erst allmählich mit der Gebirgskonvergenz aufbauen. Als Sorelbeton kommt wegen des nicht durchgeführten Konturnachschnittes auch eine Charge mit Mischsalz in Betracht, dessen anzustrebende Materialeigenschaften im Rahmen der konkreten Planung abgestimmt werden sollten. Die Existenz der aufgelockerten und entspannten Konturbereiche ist bei der Positionierung der neuen Wendel, auch bzgl. des Abbaus 3a/775 (Na₂), zu berücksichtigen. Auf die Notwendigkeit der Verifizierung der im Auffahrungsbereich detektierten Reflektoren vor der Auffahrung wurde bereits hingewiesen und ist auch so im Protokoll [5] genannt.

Die verwendete Bewertungsmatrix ist umfassend und nachvollziehbar. Hier könnte diskutiert werden, welche Bedeutung z.B. das Attribut „akzeptabel“ bei der Geotechnischen Gesamtbeurteilung besitzt und das IfG ist bzgl. der Variante 3 der Meinung, dass die „Dauerhaftigkeit“ der Auffahrung in dem geologisch strukturierten und intensiv durchbauten Bereich zeitlich begrenzt ist und auch die neue Wendel Gebirgsdruckerscheinungen unterliegen wird. Zur Erhöhung der Firststabilität wird eine Wölbung von 1/3 der Streckenbreite empfohlen und die Abmessungen sollten so klein wie unbedingt notwendig sein. Gegen einzelne Nischen zum Ausweichen im Gegenverkehr ist nichts einzuwenden.

Die Favorisierung der Umfahrung im Relativvergleich ist eindeutig mitzutragen. Die betrieblichen Entscheidungsgrundlagen können vom IfG nicht bewertet werden, sind aber gleichfalls plausibel. Da in [5] die Entscheidung bereits benannt ist, müssen die Varianten 1 und 2 nicht mehr analysiert werden.

Die neue Wendel könnte aus der Querschnittserweiterung der 1. südlichen Richtstrecke nach Westen unmittelbar westlich der Nische in Richtung Wendel abgehen (Anhang 31), nahezu parallel zur alten Wendel nach Westen fallend verlaufen und kurz vor dem 1. westlichen Querschlag (westlicher Stoß der ELK 2/750 (Na2)) wieder in die alte Wendel einbinden. Die Minimalabstände zum Abbau 3a/775 (Na2) liegen in Abhängigkeit von der Position zwischen 6,9 m und 9,9 m. In der 3D-Darstellung im Anhang 32 sind diese Abstände noch einmal zu sehen. Angesichts der Tatsache, dass die Neuauffahrung nicht in der Firste des Abbaus 3a, sondern nördlich versetzt verläuft, sind die Abstände ausreichend. Es sollte aber trotzdem noch einmal der Versatzzustand des Abbaus 3a überprüft werden. Im Vergleich mit dem Rechenmodell im Anhang 19 muss darauf hingewiesen werden, dass ursprünglich im bergmännischen Risswerk der Asse-GmbH für den Abbau 3a/775 (Na2) eine Höhe von 15 m angegeben war, diese aber nach Überprüfung der Position der Befüllbohrungen auf etwa 10 m reduziert wurde.

Gemäß einer Auswertung des großräumigen 3D-Rechenmodells am IfG sind im Auffahrungsbereich keine signifikanten Scherzonen oder dilatante Bereiche erkennbar. Die minimale Druckeinspannung liegt zwischen 4 und 5 MPa, was auch mit der Minimalspannungssondierung in der Bohrung HY3 aus der Wendel gegenüber (Anhänge 13 und 14) bestätigt wird.

Im Grundriss im Anhang 31 scheint die Neuauffahrung im oberen Bereich die alte Wendel zu berühren. Tatsächlich liegt die neue Strecke 3 bis 4 m höher, dessen nördlicher Übergang vom Stoß zur Sohle kommt dem südlichen Übergang vom Stoß zur Firste der existierenden Wendel aber sehr nahe. Daraus, und aus dem Schädigungszustand in der jetzigen Wendel auf Höhe des Abbaus 3/750 (Na2), ergibt sich, dass vor der Neuauffahrung die alte Wendel verfüllt werden muss. Zur Erhöhung der Stabilität sollten vor der Neuauffahrung auch die Y-Strecke und der Durchhieb zum Abbau 3/750 (Na2) mit Sorelbeton verfüllt werden.

Ob vor der Komplettverfüllung schon ein unterer Ansatz für die Umfahrung geschnitten werden kann, sollte im Ergebnis der Bohrlocherkundung des zukünftigen Auffahrungsbereiches entschieden werden. Aus dem Grundriss im Anhang 31 lässt sich für den unteren Einbindungsbereich eine Pfeilerstärke von etwa 5 m ableiten⁶. Bei einer Konturauflockerung von 1 bis 2 m (siehe Spannungssondierungen Anhang 14) wird der tragfähige Pfeiler sehr schmal und kleiner als die Streckenbreite. Die Auffahrung des etwa 10 m langen Ansatzes schräg zur alten Wendel, ohne das zunächst ein Pfeiler entsteht, erscheint aber möglich.

Alle weiteren in [1] genannte Überwachungs- und Verfüllarbeiten sollten von der Asse-GmbH wie geplant umgesetzt werden. Das IfG schließt sich den Schlussfolgerungen der Asse-

⁶ Im unteren Einbindungsbereich liegen beide Strecken auf gleiche Höhe.

GmbH, den unteren Wendelbereich schnellstmöglich zu sanieren oder abzuwerfen (siehe auch Formulierungen im Protokoll [5]), unbedingt an.

Angesichts der schlechten gebirgsmechanischen Situation sollten bis zur Verfüllung des Wendelabschnittes die Messabstände für die Konvergenzen und Firstnivelements unbedingt verkürzt und die Riss- bzw. Löserbildung an den Stößen und Firsten überwacht werden. Die konkrete Umsetzung dieser Überwachungsmaßnahmen und die notwendigen Reaktionen bei einer akuten Veränderung der bergbausicherheitlichen Situation (Einschränkungen im Fahrverkehr und zum Aufenthalt in Gefahrenbereichen) müssen von den verantwortlichen Personen festgelegt werden.

Weiterhin wird empfohlen, die Firste in der Erweiterung der 1. südlichen Richtstrecke gleichmäßig zu wölben und die gefundene Rissfläche in der Firste wegzuschneiden.

3.2 Wendelabschnitt 725- bis zur 750-m-Sohle

Alle in [1] genannten Beraube-, Stabilisierungs- und Sicherungsmaßnahmen sind aus Sicht des IfG dringend notwendig und sollten kurzfristig realisiert werden. Es wird aber noch einmal darauf hingewiesen, dass infolge der langen Standzeit vor allem die Widerlager (zum Erhalt der Firststabilität notwendig) ausgebrochen sind (Anhänge 2 und 3) bzw. Scherbrüchen (Anhang 4) unterliegen. Die Anker und der Maschendrahtverzug werden zwar die Arbeitssicherheit gewährleisten, können aber den Bruchprozessen in den statischen Auflagerbereichen der Firsten nicht entgegenwirken. In [1] wird auf eine visuell fortschreitende Entwicklung der Stoßabschalungen im Vergleich zum letzten Monitoringbericht im Mai 2013 hingewiesen.

Trotz gleicher maximaler Firstabsenkungen⁷ wie in der Wendel von der 750- bis zur 775-m-Sohle und gleichfalls erhöhter Vertikalkonvergenzraten über dem Mittelwert der Wendel im Carnallitit bestätigt das IfG die Einschätzung, dass der untere Wendelabschnitt stärker gefährdet ist als der obere Bereich und deshalb zuerst saniert werden muss. Dies wird insbesondere mit dem geringeren Durchbauungsgrad (Vergleich der Anhänge 33 und 34) und dem geringeren Anteil an aufgeschlossenem Carnallitit in der oberen Wendel begründet. Vom IfG wird aber zumindest die Anregung gegeben, auch eine Verlegung des oberen Abschnittes zu planen und dabei aufgrund der großen Firstspannweite und insbesondere wegen der mikroseismischen Auffälligkeit auch die obere Wendelkehre abzuwerfen.

⁷ In beiden Bereichen sind lt. [1] vom 29.05.2013 bis zum 18.10.2013 maximale Senkungen von 9 mm gemessen worden.

3.3 Hauptquerschlag nach Süden und Streckenkreuz mit der 2. südlichen Richtstrecke nach Westen

Die geplante Systemankerung (Ankerlänge größer als die Risstiefe)⁸ und der Maschendrahtverzug im Hauptquerschlag mit diversen Rissen und Feuchtzonen in der Firste (aus [1]) sind hier sinnvoll und gewährleisten einen temporären Firstfallschutz. Die Maßnahmen können aber die weiteren Schädigungen nicht aufhalten. Die Teilsperren liegen im Verantwortungsbereich des Grubenbetriebes.

Die nach Kenntnis des IfG im Streckenkreuz mit der 2. südl. Richtstrecke sowie im noch offenen Abschnitt der südlichen Richtstrecke nach Osten geplante Sorelbetonverfüllung wird vom IfG unterstützt und auch hier die Anregung gegeben, weitere Planungen für eine Sorelbetonverfüllung noch offener Bereiche zum Aufbau einer Stützwirkung aufzunehmen, vorher aber die jetzt anstehenden und genehmigten Verfüllungen (vor allem Abbau 3/750) zügig umzusetzen.

⁸ Falls mit einem Nachschnitt eine Entfernung der Risse und dabei eine deutliche Firstwölbung möglich ist, kann der Grubenbetrieb auch diese Variante in Erwägung ziehen.

Literaturverzeichnis

- [1] Asse-GmbH - Monitoring im Bereich Wendelstrecke von der 725- bis zur 775-m-Sohle (TVF V), Entwurf, 07.11.2013
- [2] IfG Leipzig - Ergebnisse der Hydrofracturspannungssondierungen in den Erkundungsbohrungen HY1 bis HY3 in der Wendel auf Höhe des Abbaus 3/750 (Na2), Leipzig, 30.04.2013
- [3] K-UTEC AG Salt Technologies - Abschlussbericht zu den Firstradarmessungen der Wendelstrecke zwischen der 725- bis 775-m-Sohle (TVF V), Sondershausen, 05. 02. 2013
- [4] Bo-Ra-tec GmbH - Ergebnisbericht geophysikalischer Geo-Radar-Messungen zur Ortung von Inhomogenitäten im Salinargesteinsverband der Wendelstrecke (Firste, Pfeiler) im Bereich der 750-775-m-Sohle im Salzbergwerk Asse II, Weimar, Entwurf vom 22. 11. 2013
- [5] BfS – Protokoll zum Projektgespräch Monitoring der Wendel im Bereich der 725- bis zur 775-m-Sohle sowie der geeigneten Sanierungsmaßnahmen am 24.01.2014, Salzgitter, 31.01.2014
- [6] IfG Leipzig - Tragfähigkeitsanalyse des Gesamtsystems der Schachanlage Asse in der Betriebsphase, Revision 02, Leipzig, 06. 10. 2006
- [7] IfG Leipzig - Gebirgsmechanische Zustandsanalyse und Prognose auf der Basis von Standortdaten sowie 3D-Modellrechnungen, Bericht an das Bundesamt für Strahlenschutz, Leipzig, 11.03.2009



Mit den Fissurometern 023F und 024F überwachte Risse in der Wendelfirste unterhalb des Verschlussbauwerkes im Zugang zur Diagonalstrecke zum Abbau 1/750 (Na2) (Foto IfG vom 10.12.2012)

Anhang

1



Ausgeprägte Abschalungen am Nordstoß der Wendelstrecke 725-m-Sohle mit Blick zur 750-m-Sohle (Foto aus [1] vom 23.04.2013)

Anhang
2



Verstärkte Abschalungen im Dezimeterbereich am Nordstoß der Wendelstrecke auf Höhe des Querschlags zum Abbau 3/750 (Na2) (Foto aus [1] vom 23.04.2013)

Anhang

3

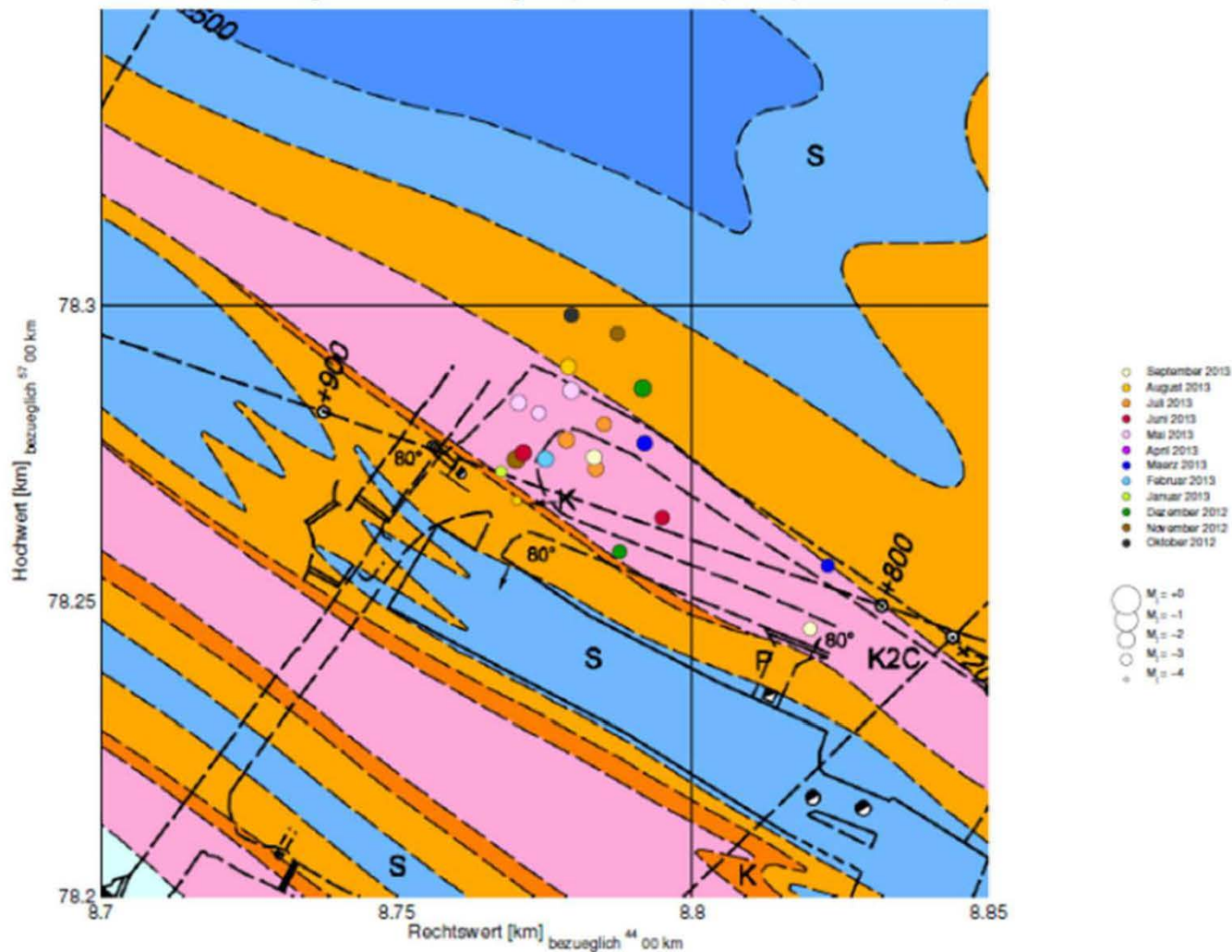


Scherrisse am Übergang Nordstoß zur Firste, Wendelabschnitt im Bereich der
Firstrisse 725- bis 750-m-Sohle (Foto IfG vom 10.12.2012)

Anhang

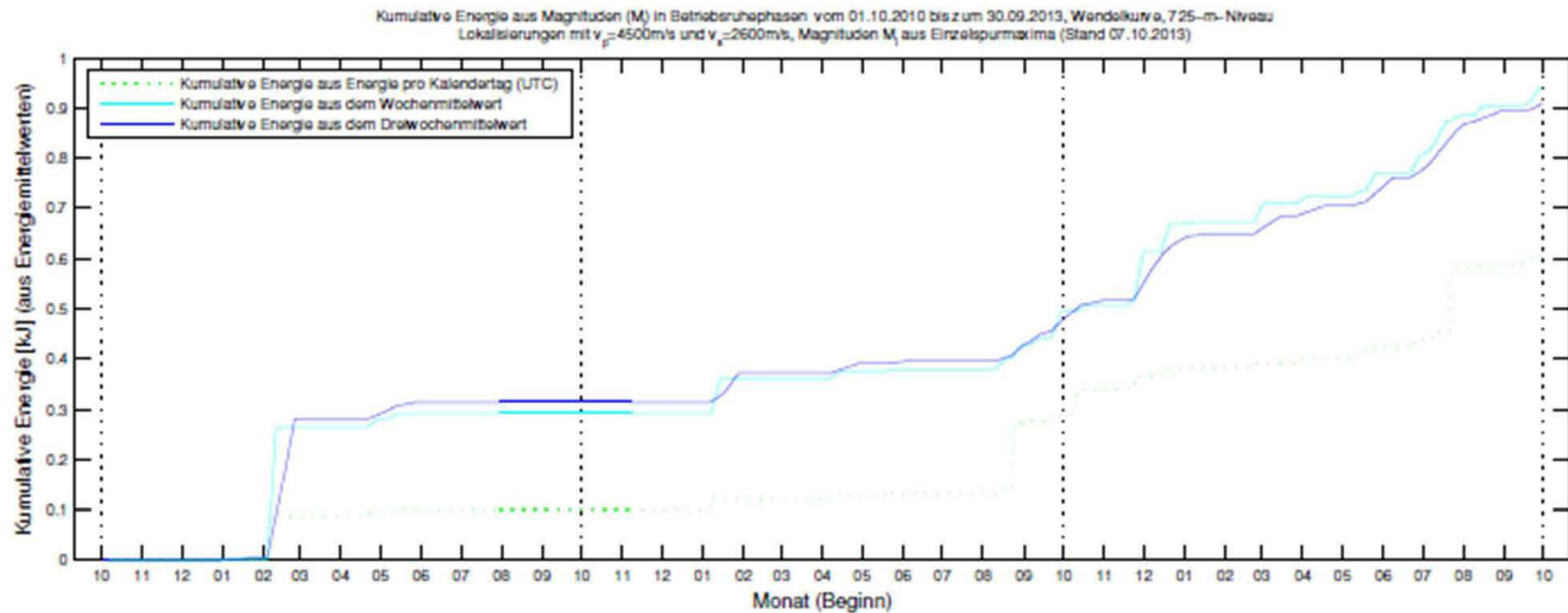
4

Mikroseismizität bei Wendelkurve, 725-m-Niveau vom 01.10.2012 bis 30.09.2013
 manuelle Auswertung mit festen Geschwindigkeiten, nur Betriebsruhephasen (Stand 07.10.2013)



Mikroseismische Ereignisse in den Betriebsruhephasen in der Umgebung der
 Wendelkehre 725-m-Sohle (Abbildung aus [1])

Anhang
 5



Kumulative Energie in den Betriebsruhephasen von 10/2010 bis 09/2013 im Bereich der Wendelkehre auf der 725-m-Sohle (Abbildung aus [1])

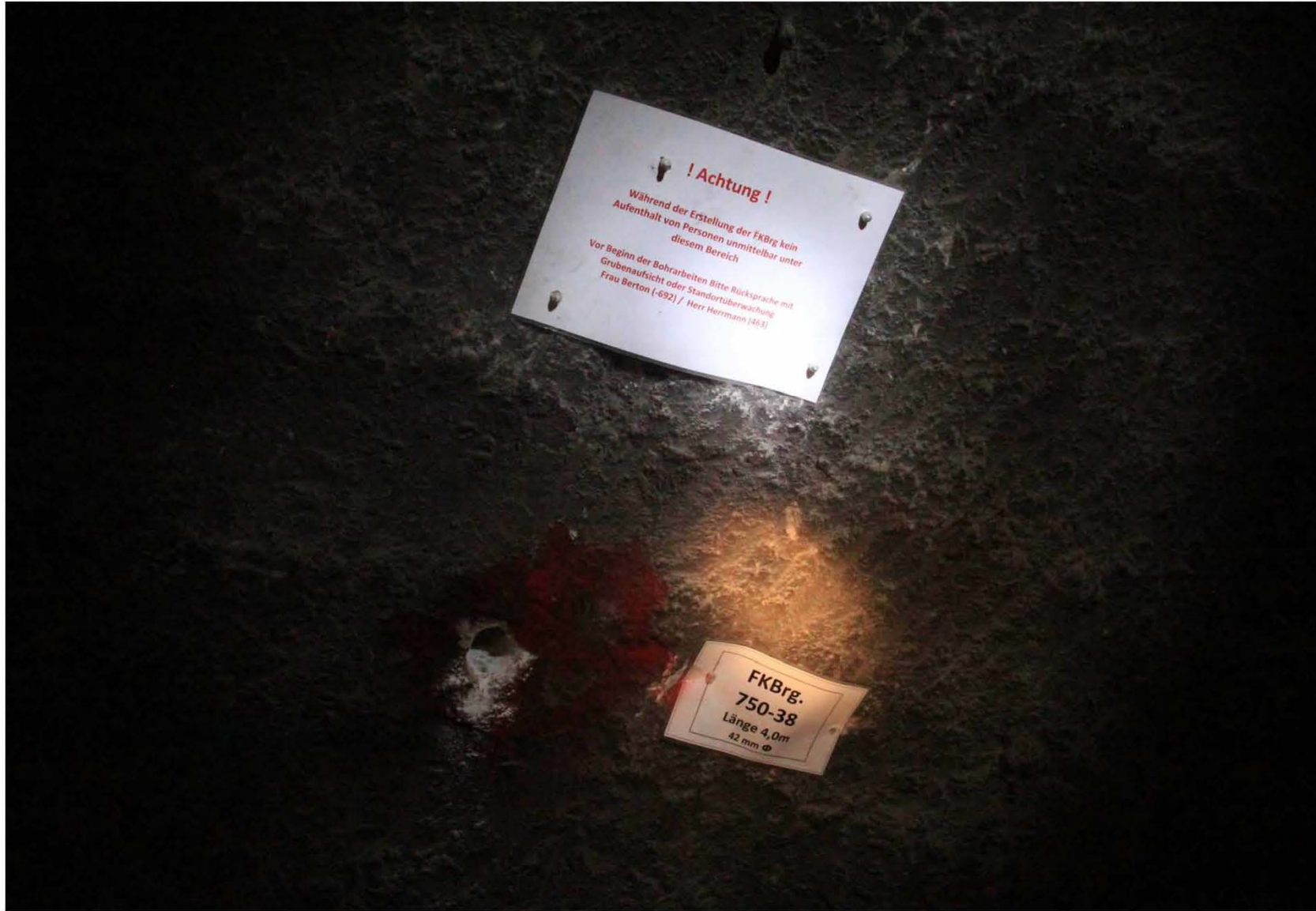
**Anhang
6**



Wendelstrecke mit Abschaltungen an den Stößen und Firstsicherung unterhalb der querenden Zugangsstrecke zum Abbau 3/750 (Na2) (Foto aus [1], 23.04.2013)

Anhang

7



Wendel 750- bis zur 775-m-Sohle: Firstbereich mit detektiertem Reflektor, der gemäß [1] auf horizontale Rissstruktur hindeutet (Foto IfG, 24.01.2014)

Anhang
8



Wendel 750 mS mit Riss am nördlichen Übergang Stoß/geankerte Firste auf Höhe des Durchhiebs zur 1. südlichen Richtstrecke nach Westen (Foto aus [1], 23.04.2013)

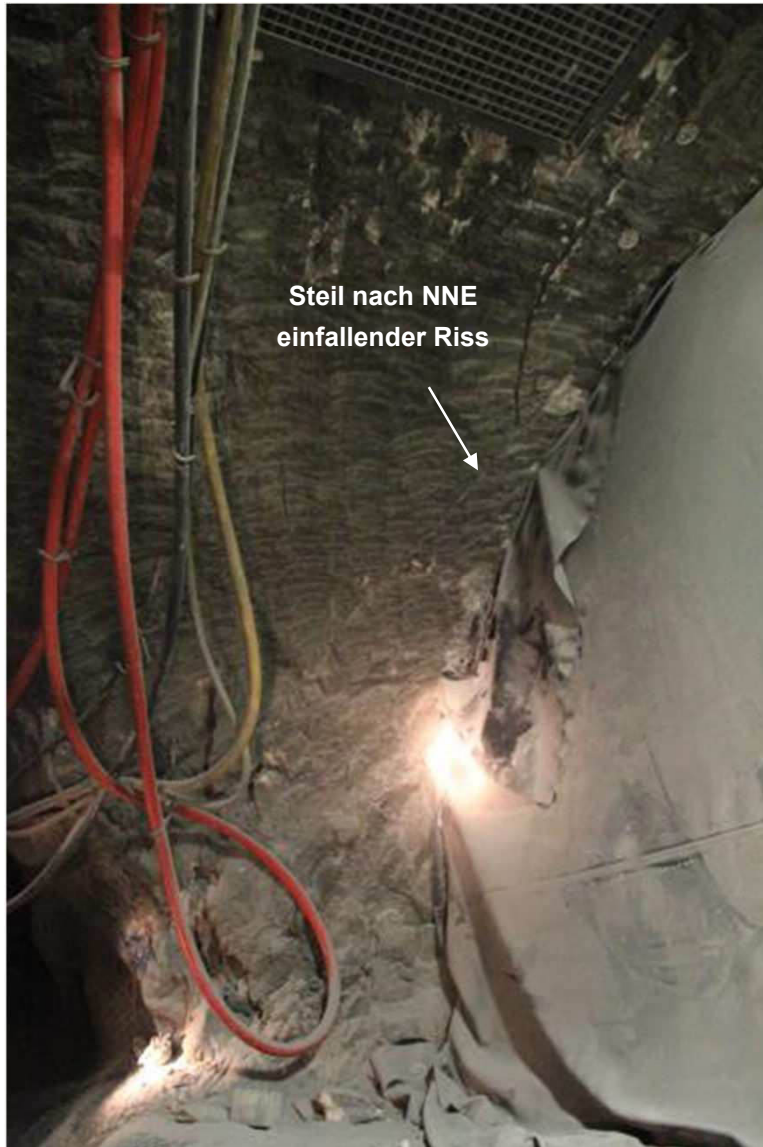
Anhang

9



Lang aushaltende Trennfläche im Übergang Nordstoß/Firste im Wendelabschnitt von der 750- bis zur 775-m-Sohle (Foto aus [1] vom 23.04.2013)

Anhang
10



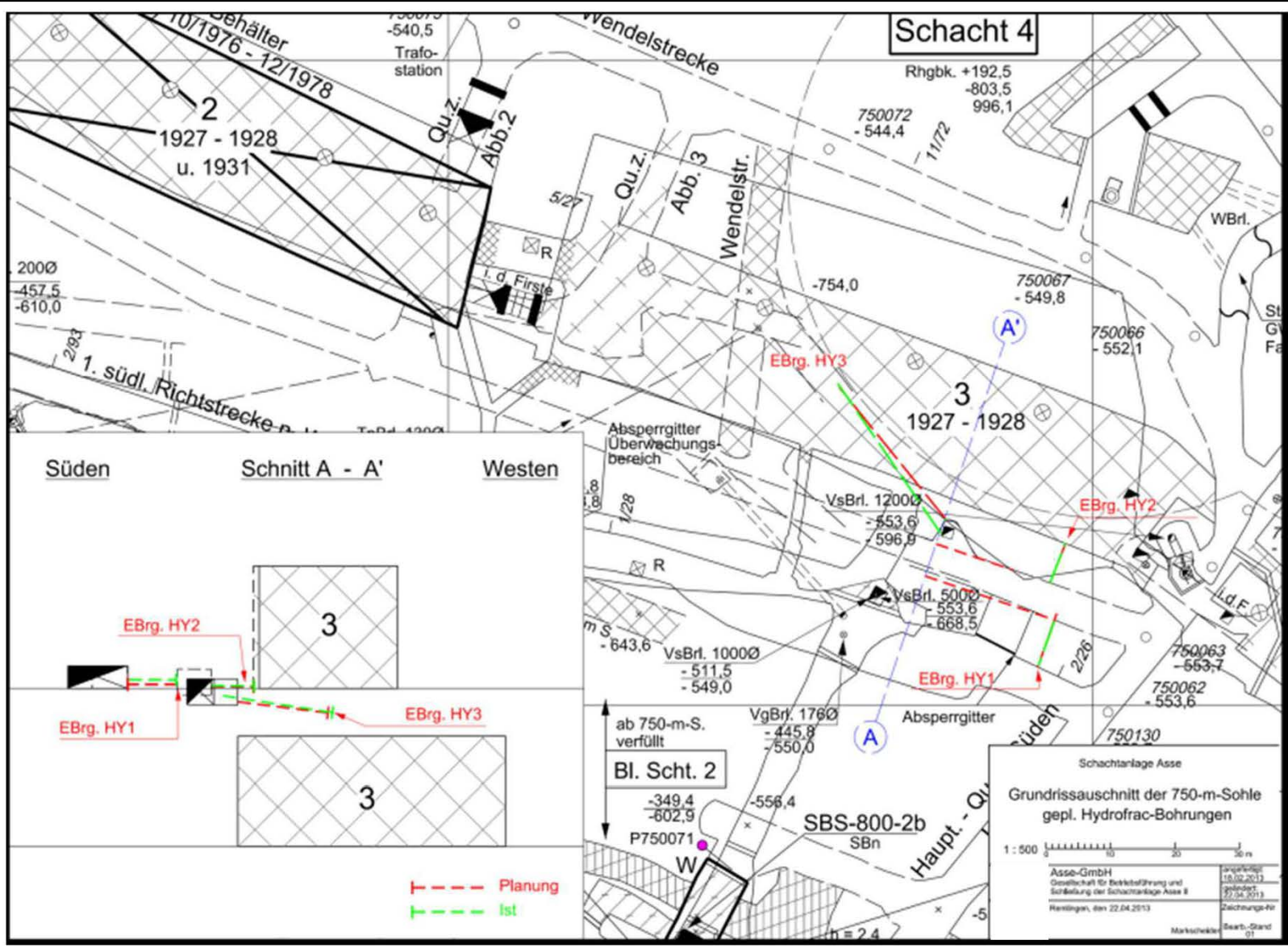
Wendel 750 mS auf Höhe des Durchhiebs zur 1. südlichen Richtstrecke nach Westen: Östlicher (links) und westlicher Stoß (rechts), (Foto IfG, 24.01.2014)

Anhang
11

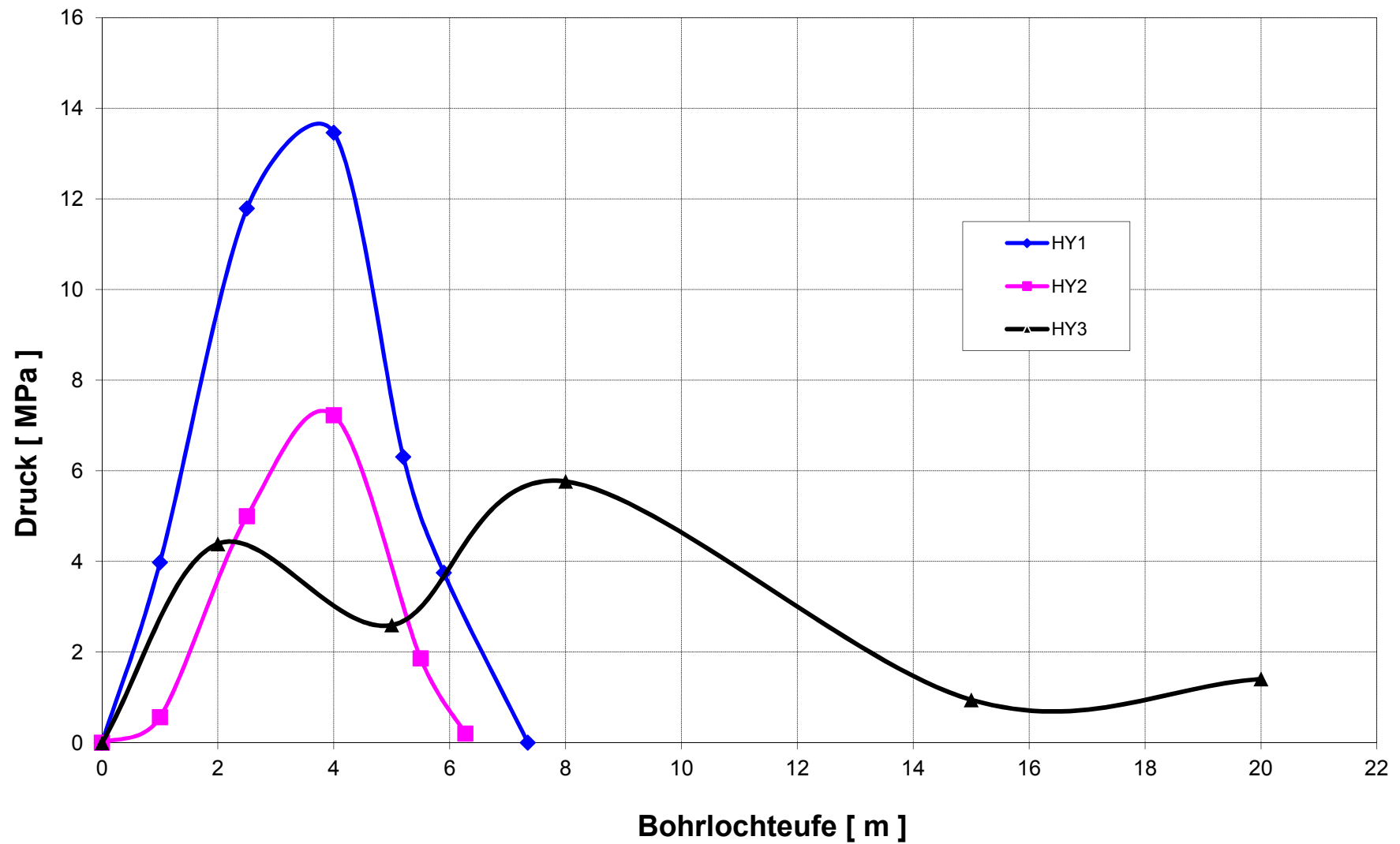


Scherbeanspruchung des Pfeilers zwischen der Wendel und der 1. südlichen
Richtstrecke nach Westen auf der 750-m-Sohle (Foto aus [1], 23.04.2013)

Anhang
12



Grundrissliche Lage der Erkundungsbohrungen HY1 bis HY3 in der Wendel auf Höhe des Abbaus 3/750 (Na2), Riss aus [2]



Minimalspannungssondierung in den Bohrlöchern HY1 bis HY 3:
Gesamtdarstellung der Ergebnisse aus [2]

Anhang
14



Deformierte Stahlträger zwischen beanspruchten Pfeilern vor dem östlichen Zugang zum Abbau 3/750 (Na2) am Hauptquerschlag nach Süden, 750 mS (Foto IfG, 10.12.2012)

**Anhang
15**



Hauptquerschlag nach Süden (750 mS): Scherung und Relativverschiebung an der Schichtgrenze zwischen Steinsalz und Carnallit (Foto IfG, 25.06.2013)

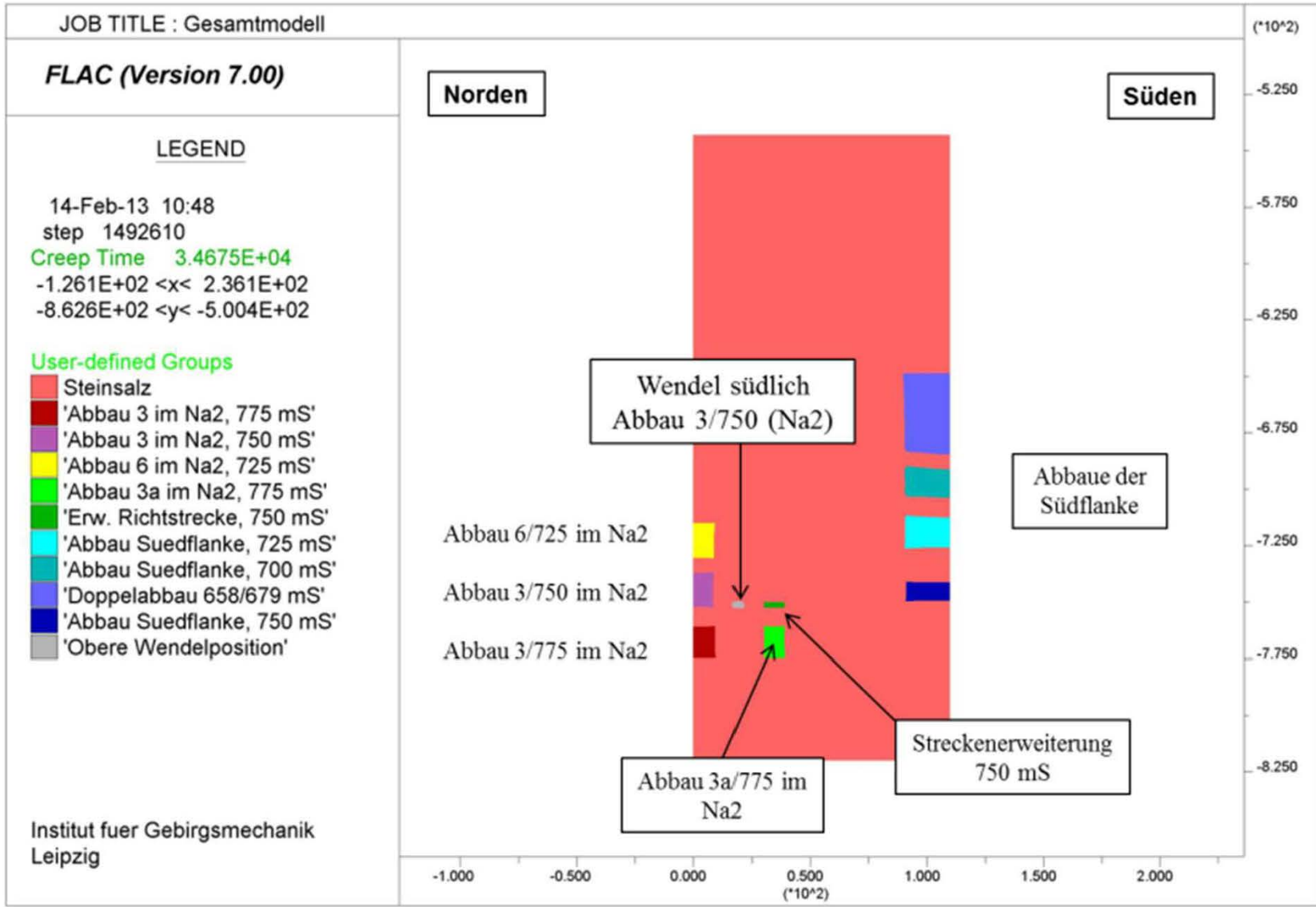
Anhang
16

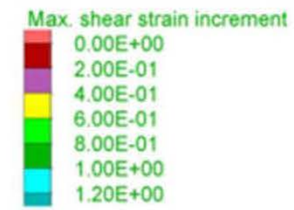
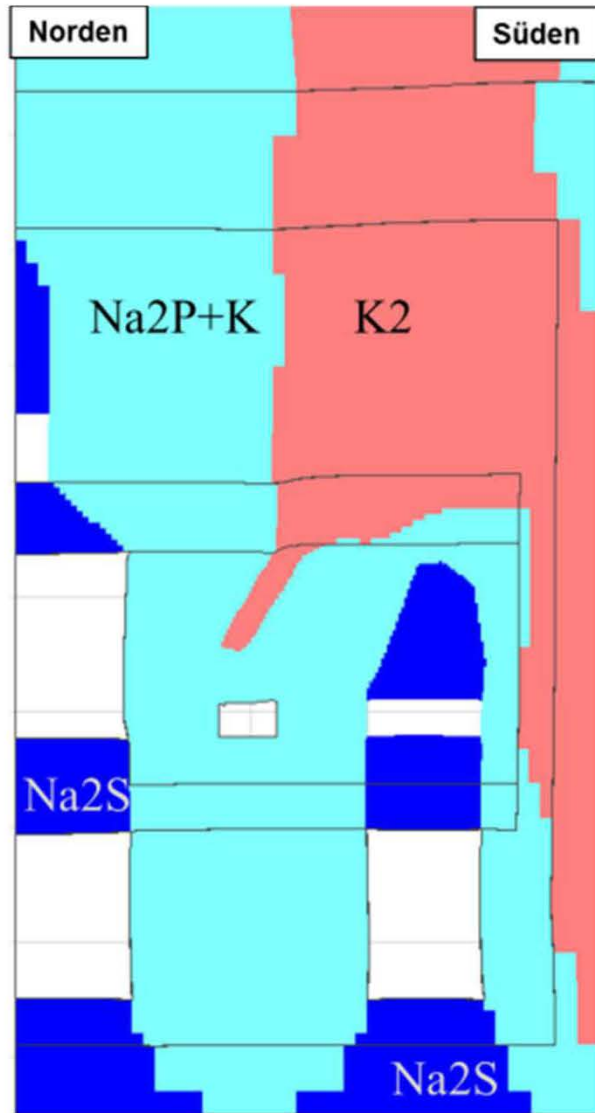


Streckenkreuz zwischen Hauptquerschlag nach Süden (750 mS) und 2. südlicher
Richtstrecke nach Westen: Streichende Vertikalrisse in der Firste (Foto IfG, 25.06.2013)

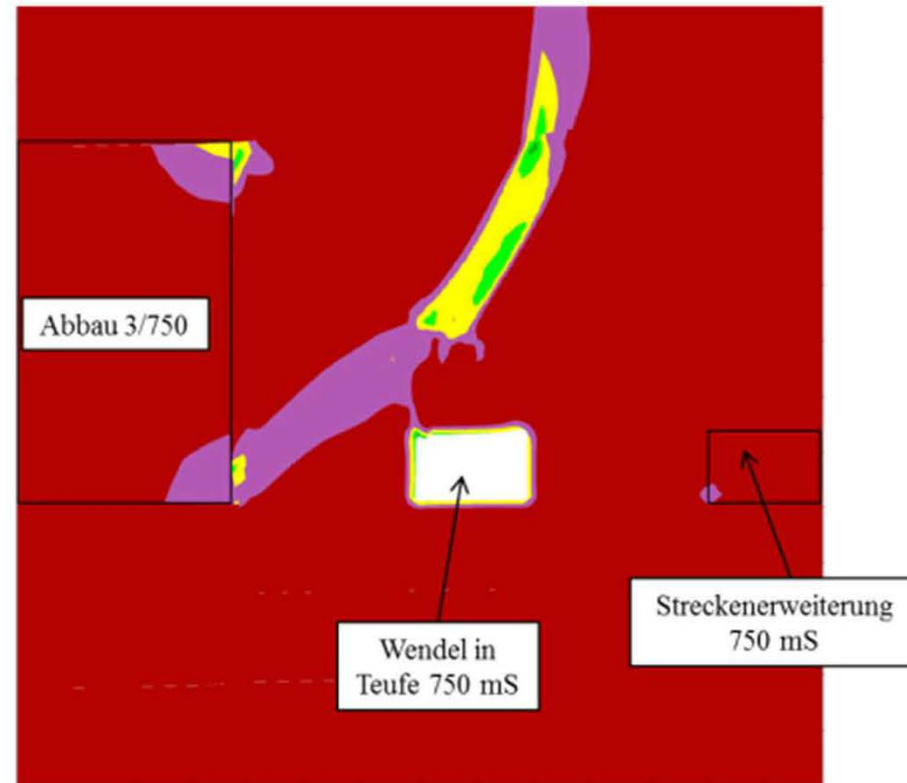
Anhang

17





Contour interval= 2.00E-01
Extrap. by averaging



Aus dem Risswerk übertragene Geologie und als Rechenergebnis gegenwärtige
Gesamtscherdeformation im Bereich der Wendel

Anhang
20

JOB TITLE : Wendel im Bereich 750 mS, Verschiebungspfeile Gegenwart

FLAC (Version 7.00)

LEGEND

14-Feb-13 10:42
step 1492610
Creep Time 3.4675E+04
1.511E+01 <x< 2.382E+01
-7.551E+02 <y< -7.464E+02

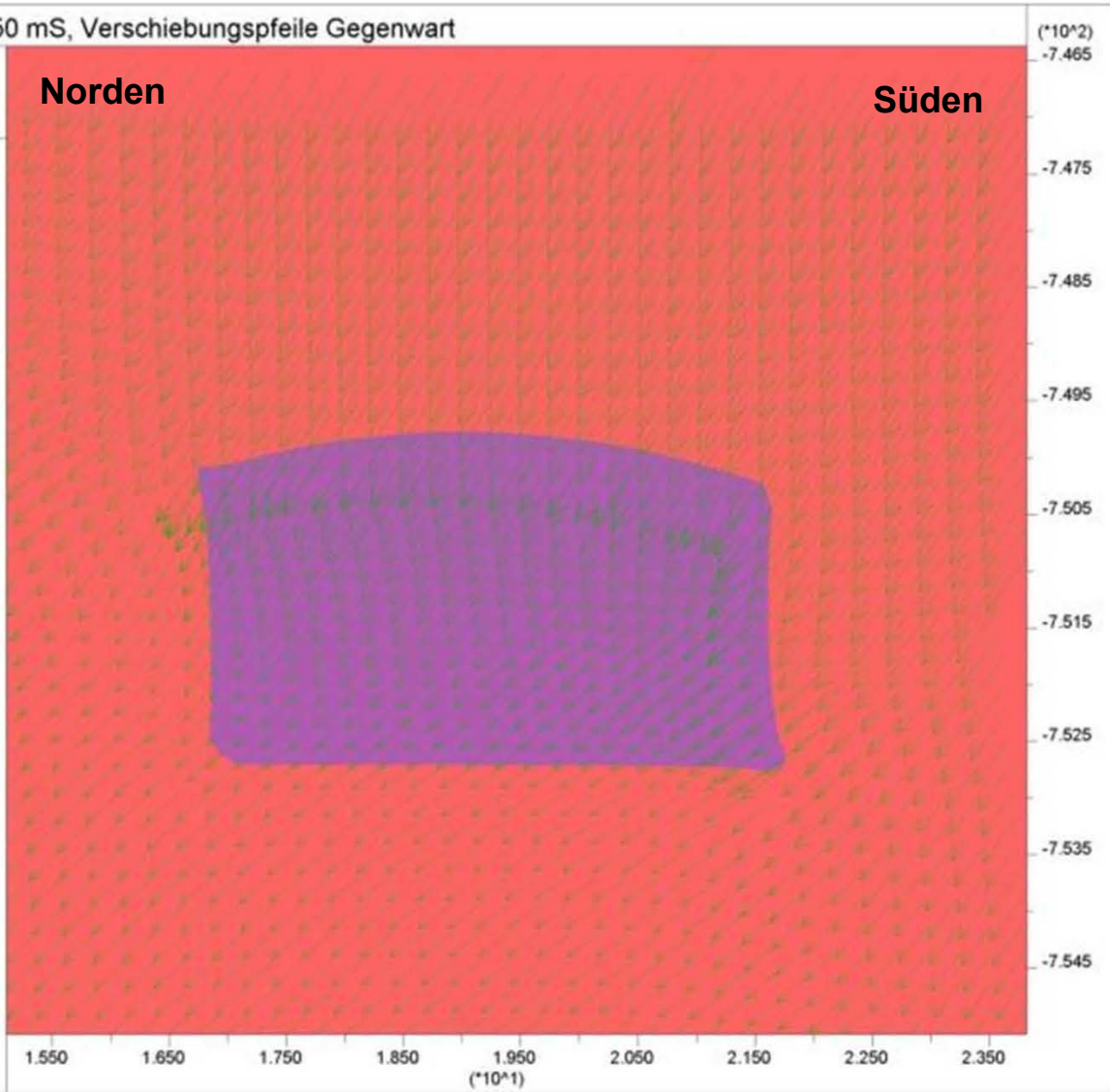
Material model

- minkley
- dy
- elastic

Displacement vectors
max vector = 8.322E-01



Institut fuer Gebirgsmechanik
Leipzig



Rechenergebnis: Akkumulierte Verschiebungen ab Anfang 1918 bis zur Gegenwart

Anhang
21

JOB TITLE : Horizontalverschiebungen in Wendel ab 1972

FLAC (Version 7.00)

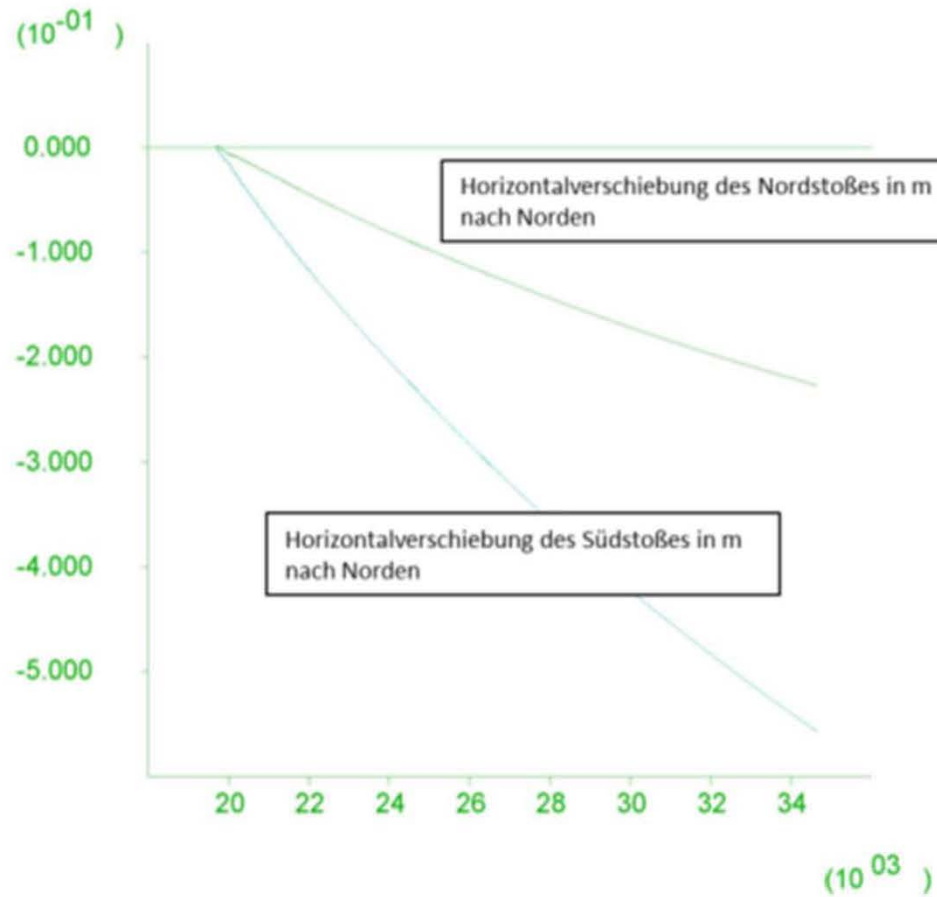
LEGEND

14-Feb-13 10:52
step 1492610
Creep Time 3.4675E+04

HISTORY PLOT

Y-axis :
31 X displacement(51, 124)
32 X displacement(71, 124)
X-axis :
2 Creep-flow mech. time

Institut fuer Gebirgsmechanik
Leipzig



Darstellung der akkumulierten Horizontalverschiebungen ab 1972 bis zur Gegenwart

Anhang
22

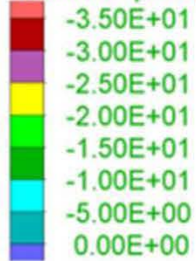
JOB TITLE : Minimalspannung in MPa

FLAC (Version 7.00)

LEGEND

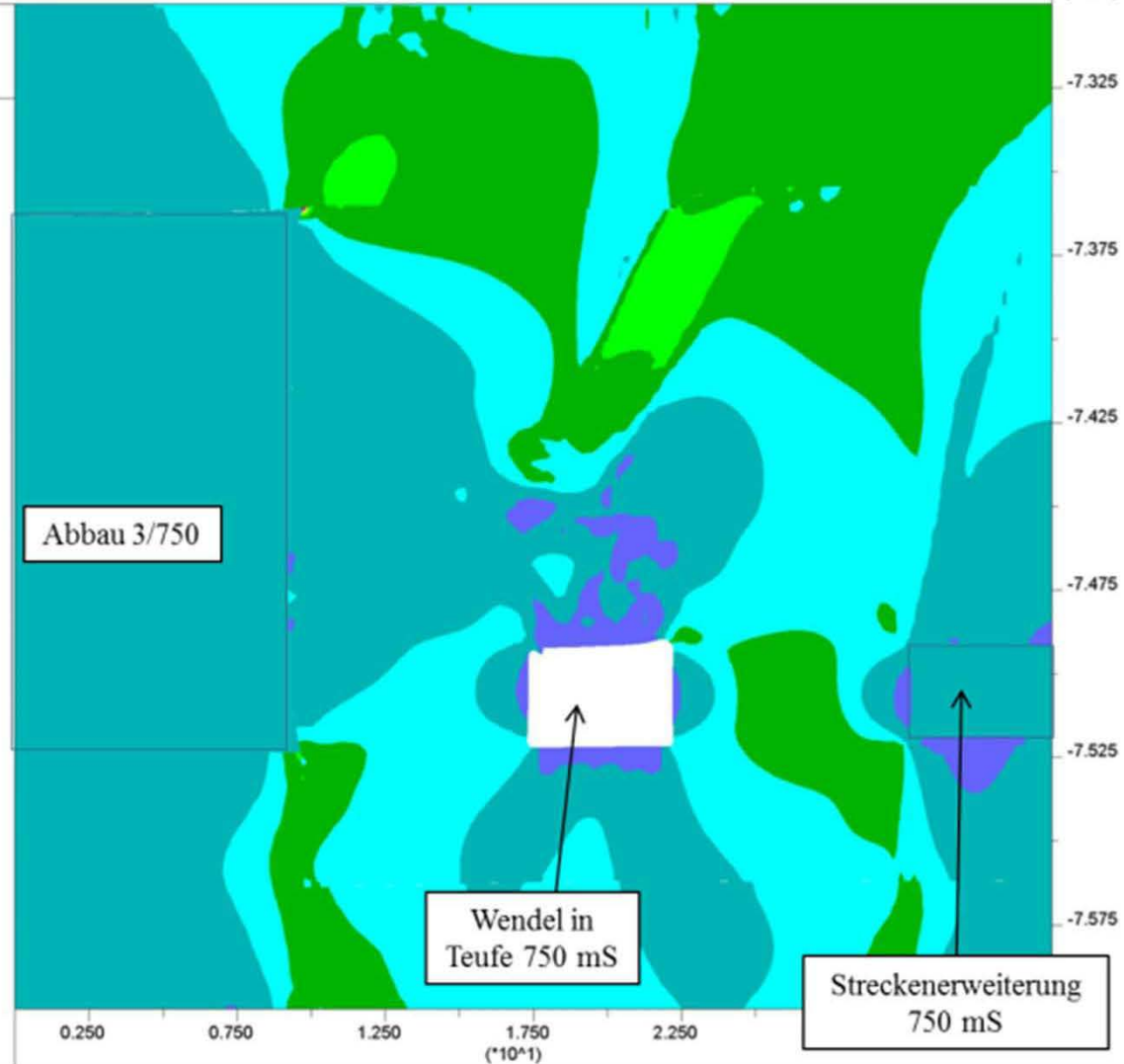
22-Mar-13 13:57
step 512558
Creep Time 3.4675E+04
0.000E+00 <x< 3.500E+01
-7.600E+02 <y< -7.300E+02

Minimum principal stress



Contour interval= 5.00E+00
Extrap. by averaging

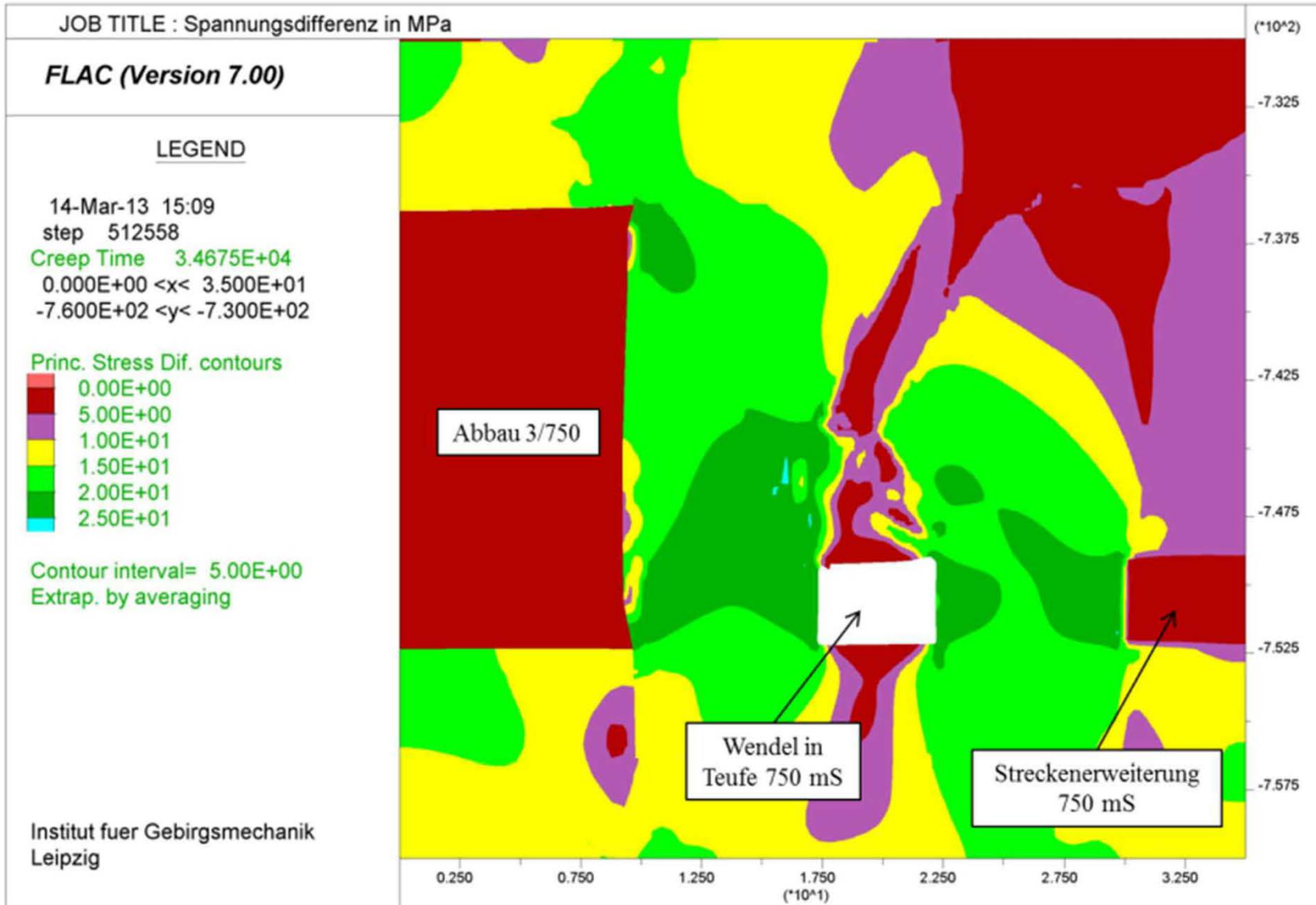
Institut fuer Gebirgsmechanik
Leipzig



Rechenergebnis: Gegenwärtige Minimalspannung in MPa

Anhang

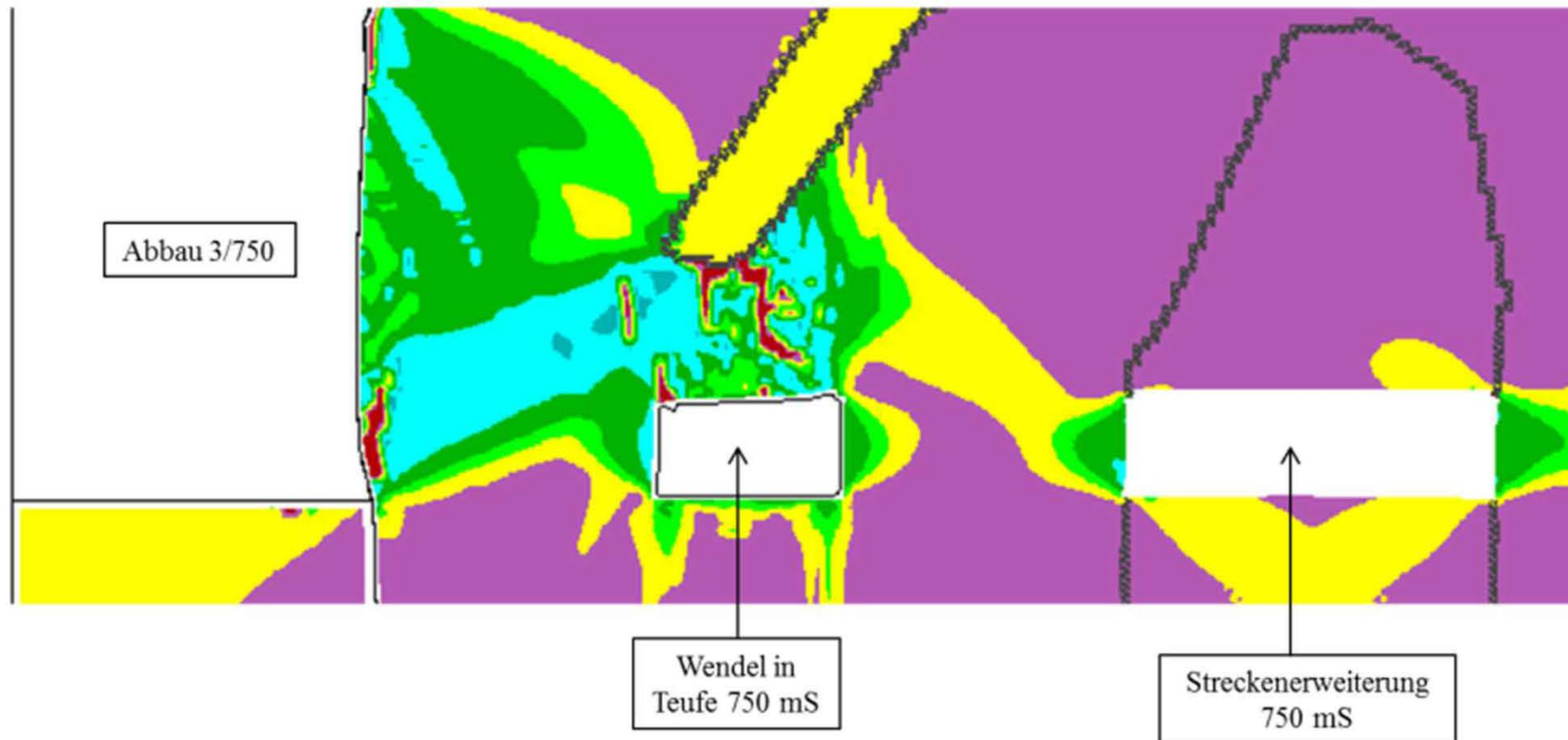
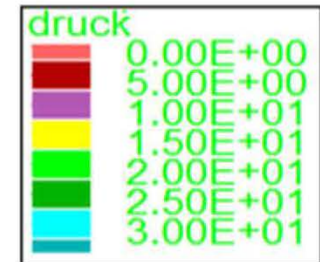
23



Rechenergebnis: Gegenwärtige Hauptspannungsdifferenzen in MPa

Norden

Süden



Rechenergebnis zur gegenwärtigen Situation: Entfestigung in der Wendelfirste bis zum Carnallit und Ausbildung des Vertikalrisses am Nordstoß

Anhang
25

JOB TITLE : Plastische Volumetrische Auflockerung

FLAC (Version 7.00)

LEGEND

14-Mar-13 15:23

step 512558

Creep Time 3.4675E+04

0.000E+00 <x< 3.500E+01

-7.600E+02 <y< -7.300E+02

dvol

0.00E+00

2.00E-02

4.00E-02

6.00E-02

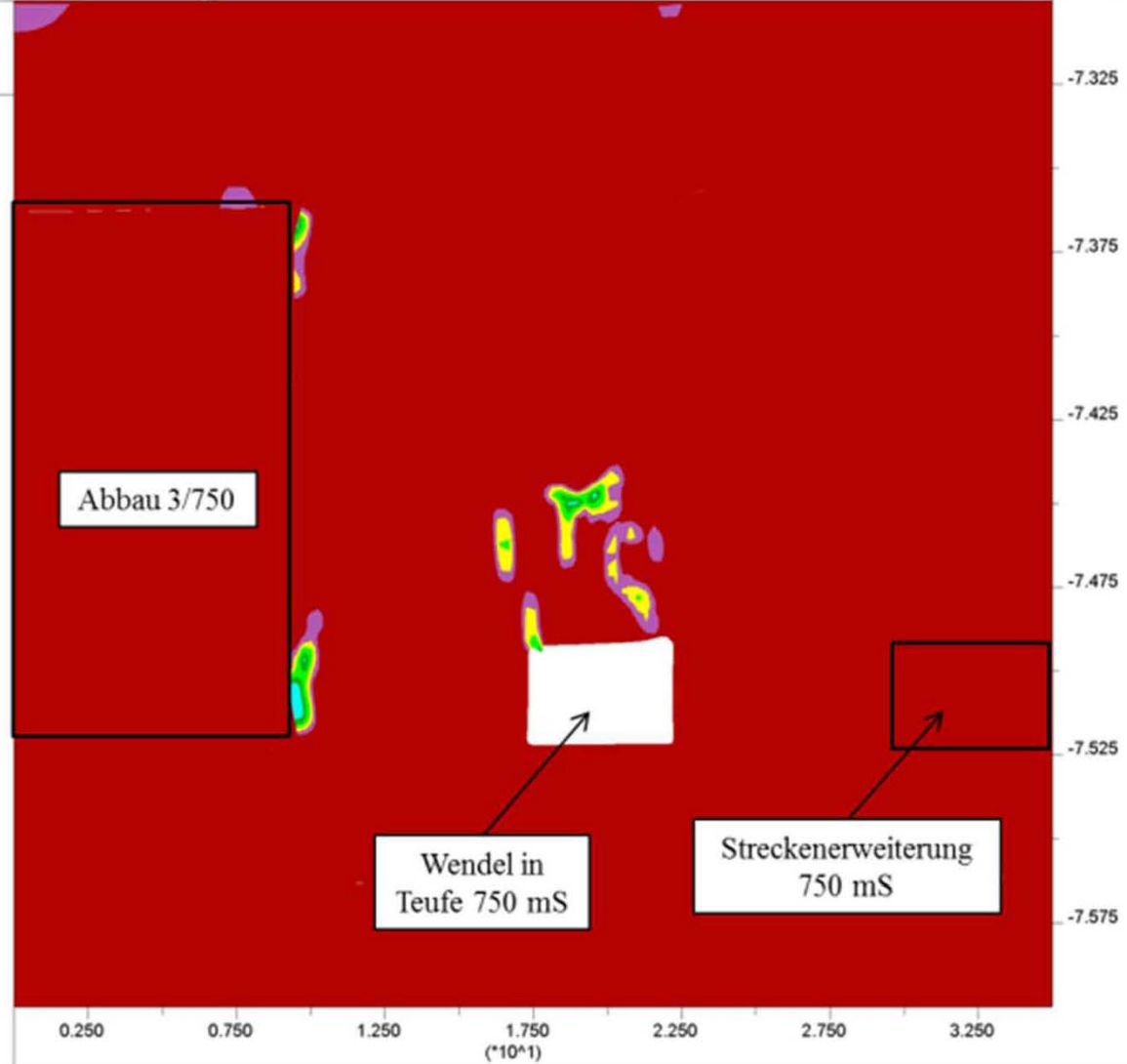
8.00E-02

1.00E-01

Contour interval= 2.00E-02

Extrap. by averaging

Institut fuer Gebirgsmechanik
Leipzig



Rechenergebnis: Gegenwärtige dilatante Entfestigungsbereiche

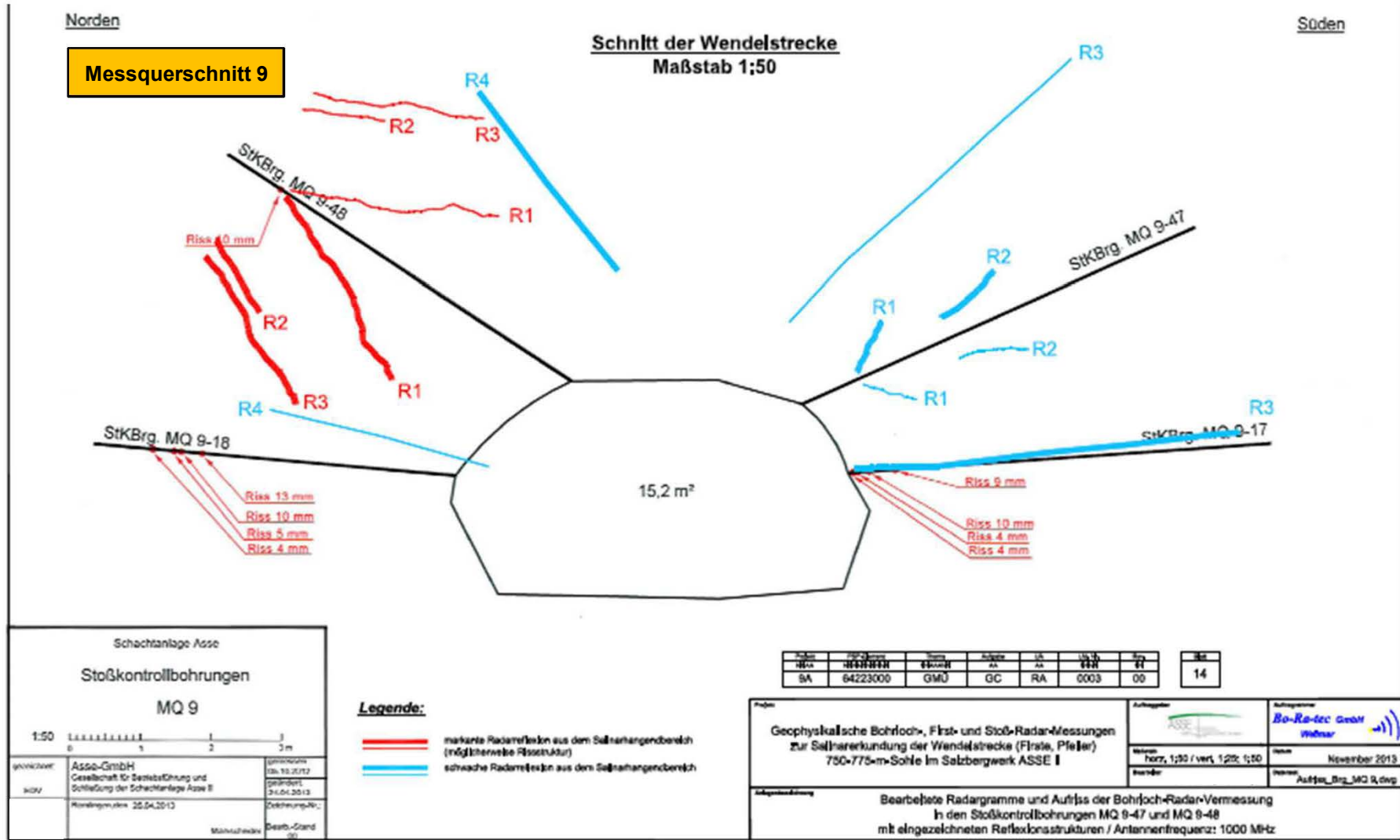
Anhang
26

Norden

Süden

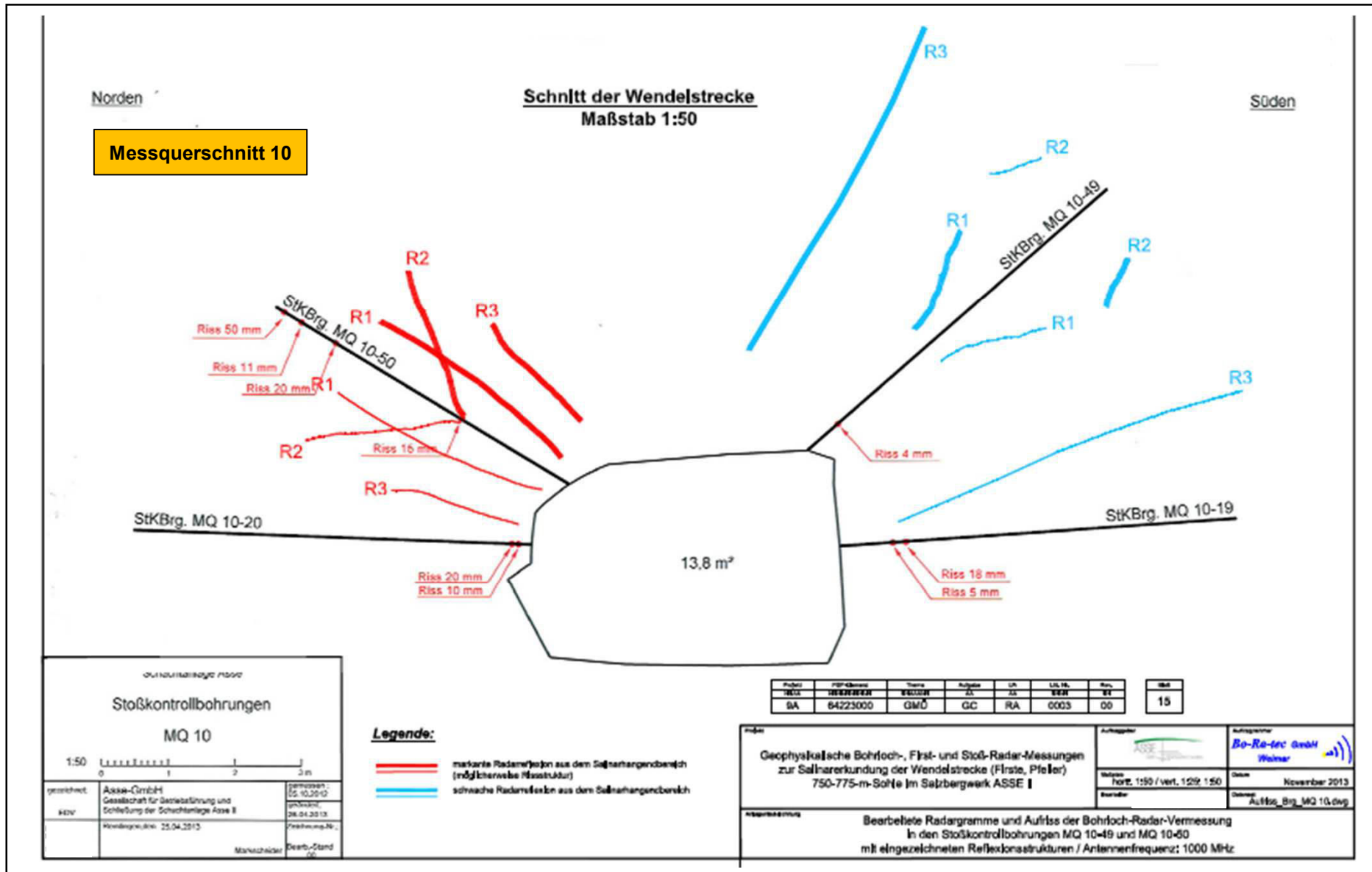
Messquerschnitt 9

Schnitt der Wendelstrecke
Maßstab 1:50



Auszug aus [4]: Zuordnung der Radarreflektoren zur Risserkundung mittels Bohrungen
(Die Raumlage der Reflektoren ist nicht sicher, die Wahrscheinlichkeit steigt von blau nach rot und von dünn nach dick)

Anhang
27



Auszug aus [4]: Zuordnung der Radarreflektoren zur Risserkundung mittels Bohrungen
(Die Raumlage der Reflektoren ist nicht sicher, die Wahrscheinlichkeit steigt von blau nach rot und von dünn nach dick)

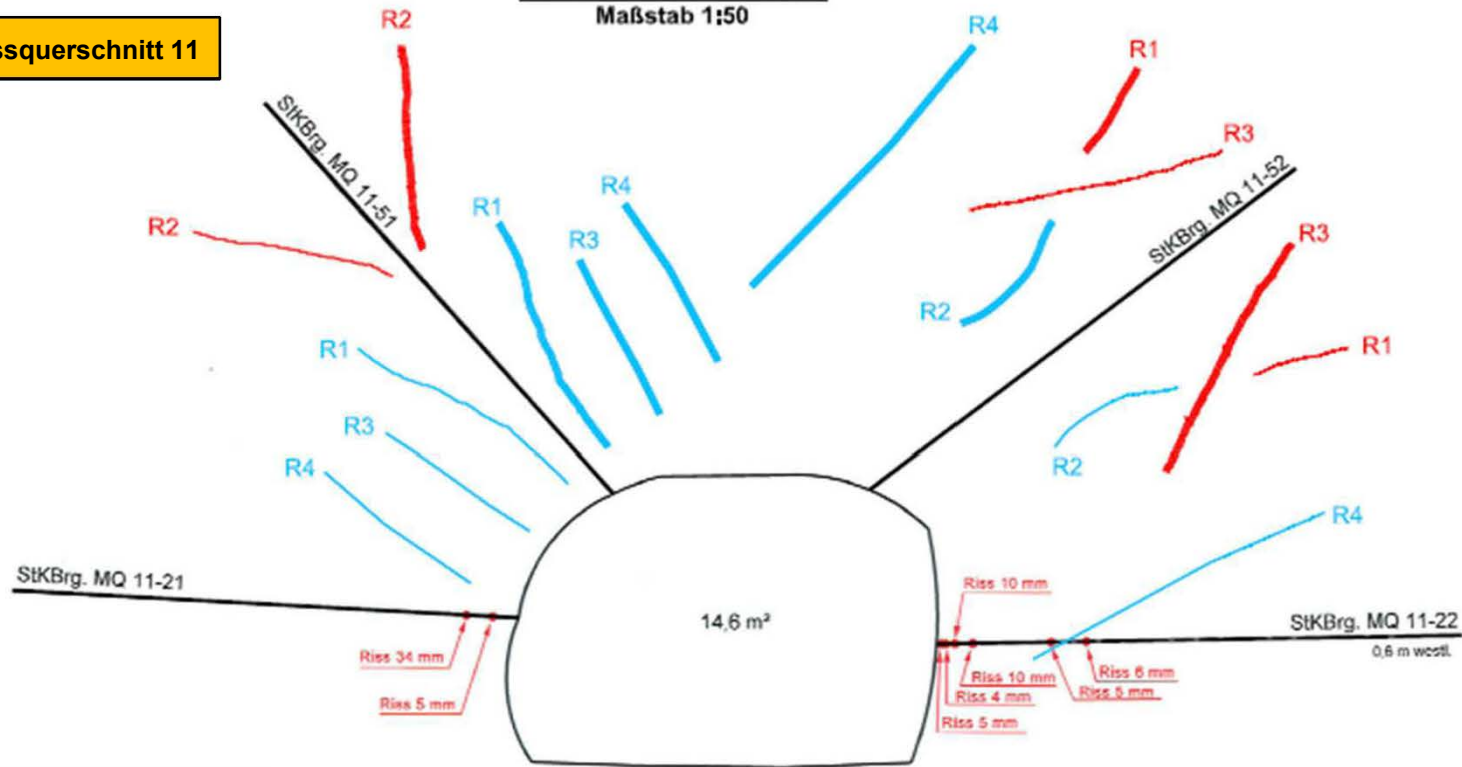
Anhang
28

Norden

Süden

Messquerschnitt 11

Schnitt der Wendelstrecke
Maßstab 1:50



SchichtenlageASSE	
Stoßkontrollbohrungen	
MQ 11	
1:50	
0 1 2 3m	
gezeichnet: Asse-GmbH	gemessen: 04.10.2012
ebv	Gesellschaft für Bohrbohrung und Schließung der SchichtenlageASSE II
	04.04.2013
Planungsdatum: 25.04.2013	Zeichnung-Nr.:
München	Skala-Stand:

Legende:

- markierte Radarefexion aus dem Salzhängenbereich (möglichweise Rissstruktur)
- schwache Radarefexion aus dem Salzhängenbereich

Index	10000000	10000000	10000000	10000000	10000000	10000000	10000000	10000000	10000000
WA	64223000	GMU	GC	RA	0003	00			16

Auftraggeber: Bo-Re-tec GmbH Walsert	
Geophysikalische Bohrloch-, First- und Stoß-Radar-Messungen zur Salzhängenkartierung der Wendelstrecke (Firste, Pfeiler) 750-775-m-Sohle im Salzbergwerk ASSE I	
Messdatum: 04.10.2012 / vert. 1209, 150	Datum: November 2013
Skizzenautor: ebv	Skizzen-Nr.: Auftrags_Brg_MQ 11.dwg
Bearbeitete Radargramme und Auftriss der Bohrloch-Radar-Vermessung in den Stoßkontrollbohrungen MQ 11-51 und MQ 11-52 mit einzelnotierten Reflexionsstrukturen / Antennenfrequenz: 1000 MHz	



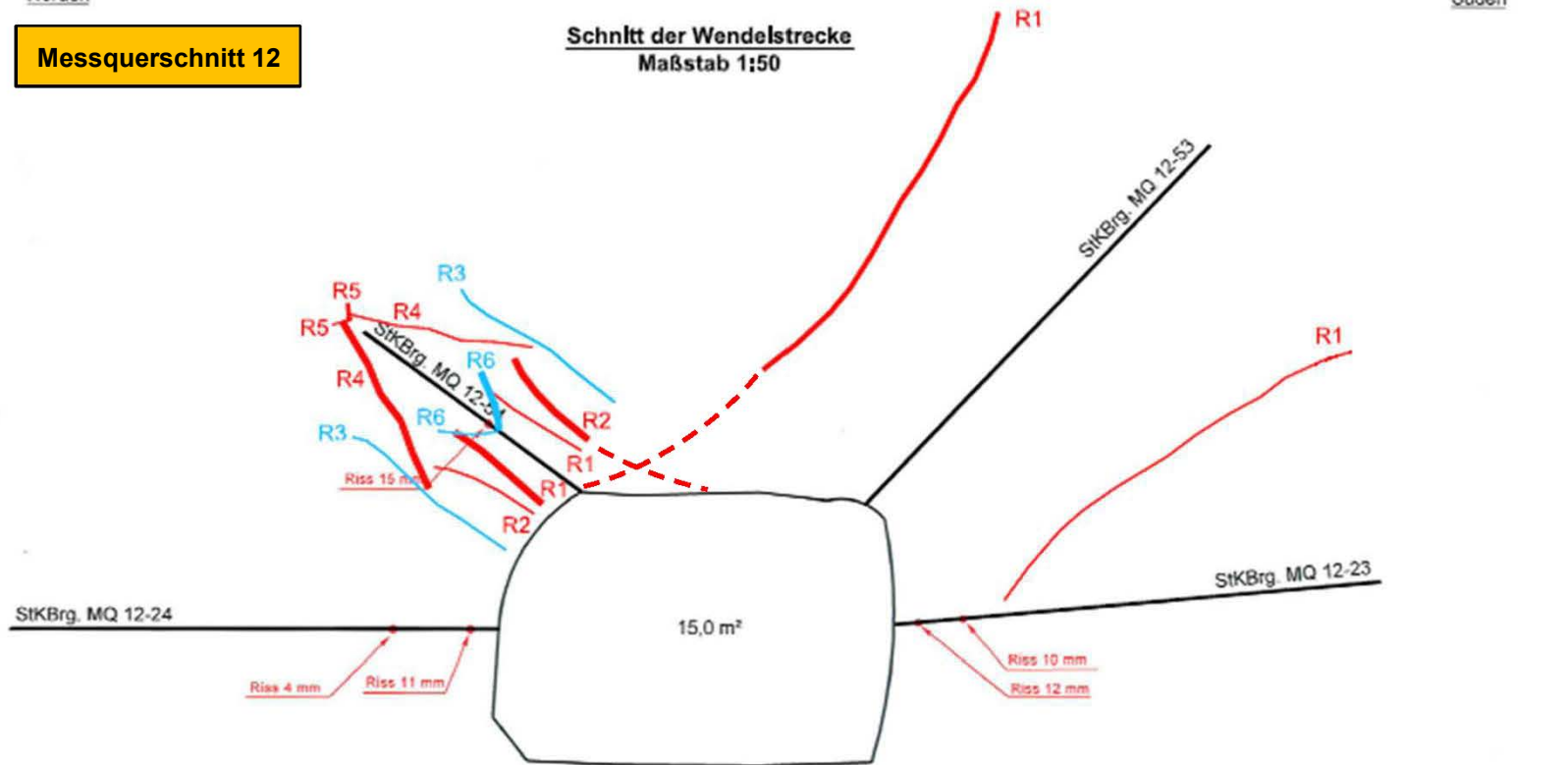
Auszug aus [4]: Zuordnung der Radarreflektoren zur Risserkundung mittels Bohrungen
(Die Raumlage der Reflektoren ist nicht sicher, die Wahrscheinlichkeit steigt von blau nach rot und von dünn nach dick)

Norden

Süden

Messquerschnitt 12

Schnitt der Wendelstrecke
Maßstab 1:50



Schachtanlage Asse		
Stoßkontrollbohrungen		
MQ 12		
1:50		
0 1 2 3		
gezeichnet:	Acker-Greif	gezeichnet:
skizziert:	Gesellschaft für Betriebsführung und	SK 13.2012
	Schließung der Schachtanlage Asse II	gk030202
	Montagungsdatum: 25.04.2013	26.04.2013
		Zeichnung/Nr.:
		Best.-Gang:
		201

Legende:

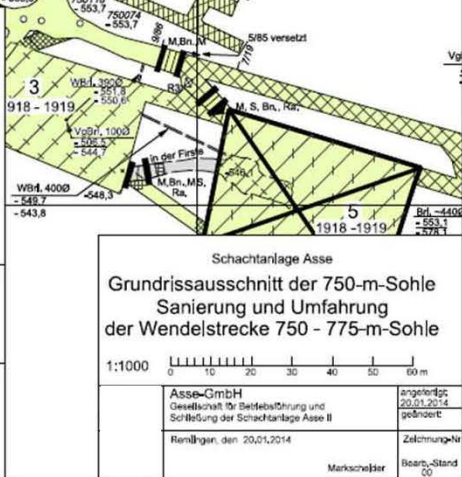
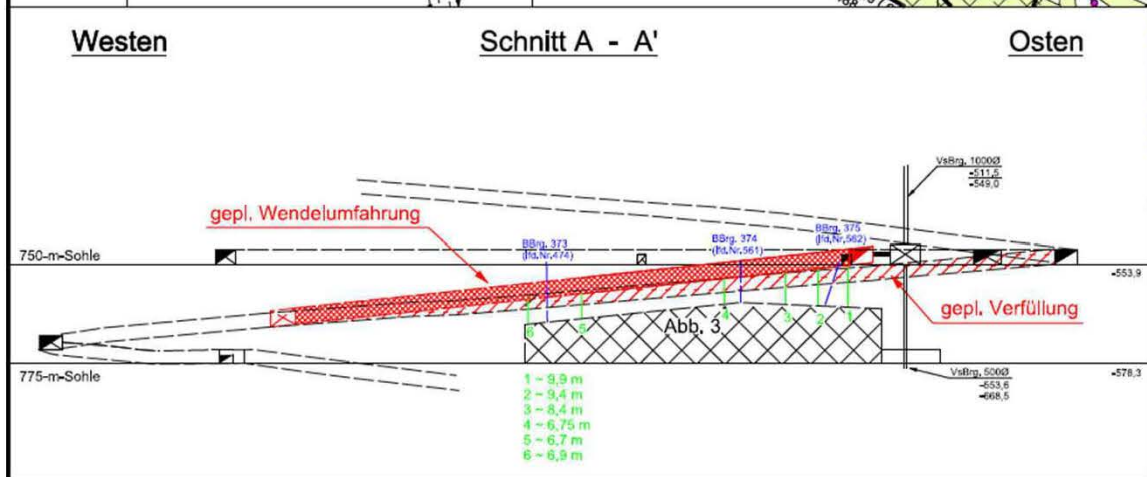
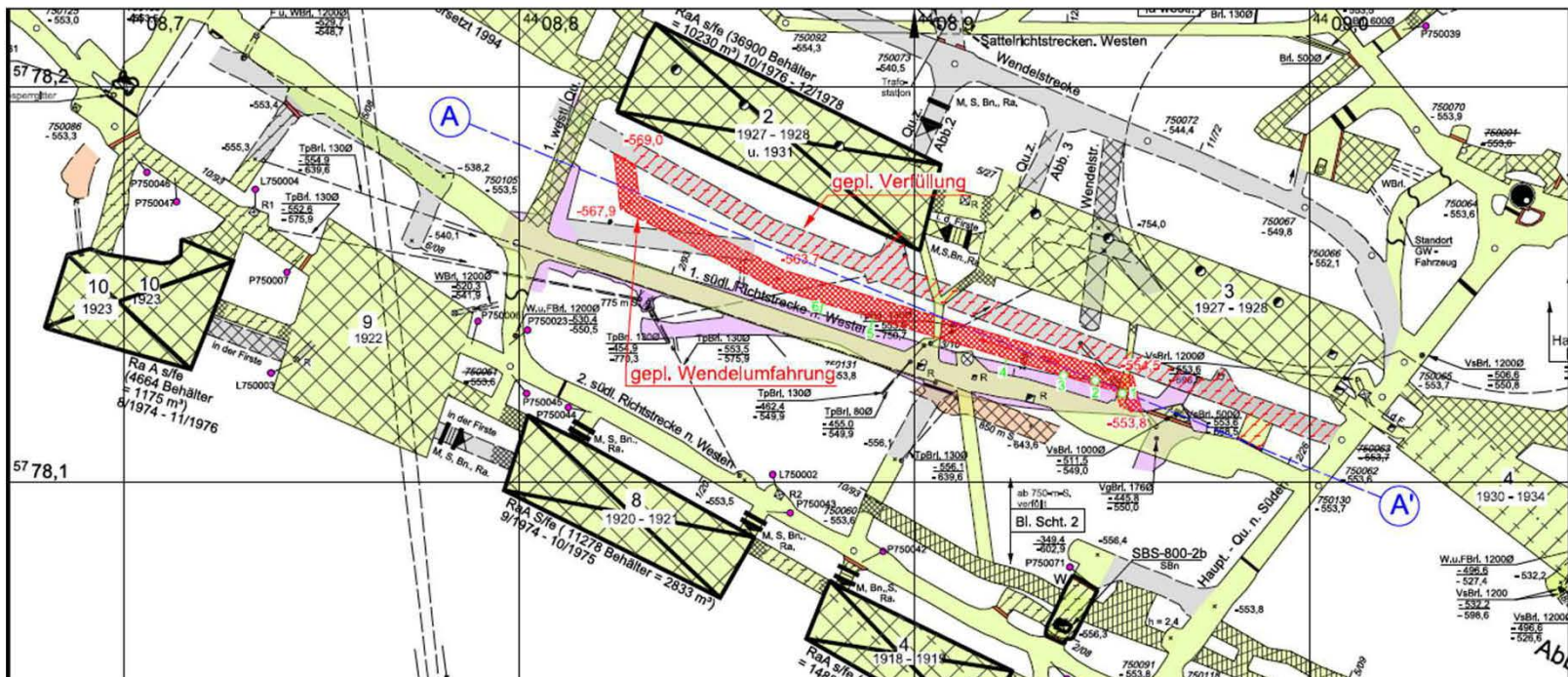
- merkante Radarreflexen aus dem Salzhängerebereich (mögliche Rissstruktur)
- schwache Radarreflexen aus dem Salzhängerebereich

Projekt	Objekt	Standort	Antenne	SA	UW	St	Bl
SA	64223000	GMD	GC	RA	0003	00	17

Projekt		Auftraggeber
Geophysikalische Bohrloch-, First- und Stoß-Radar-Messungen zur Salzhängerkundung der Wendelstrecke (Fliese, Pfeiler) 750-775-m-Sohle im Salzbergwerk ASSE I		Bo-Ra-tec GmbH Wolfratshausen
Messen		Messung
horz. 1:50 / vert. 1:20; 1:50		November 2013
Bearbeiter		Auftrag_Brg_MQ 12.dwg
Aufgabenstellung		
Bearbeitete Radargramme und Aufriss der Bohrloch-Radar-Vermessung in den Stoßkontrollbohrungen MQ 12-53 und MQ 12-54 mit einzeln gezeichneten Reflexionsstrukturen / Antennenfrequenz: 1000 MHz		

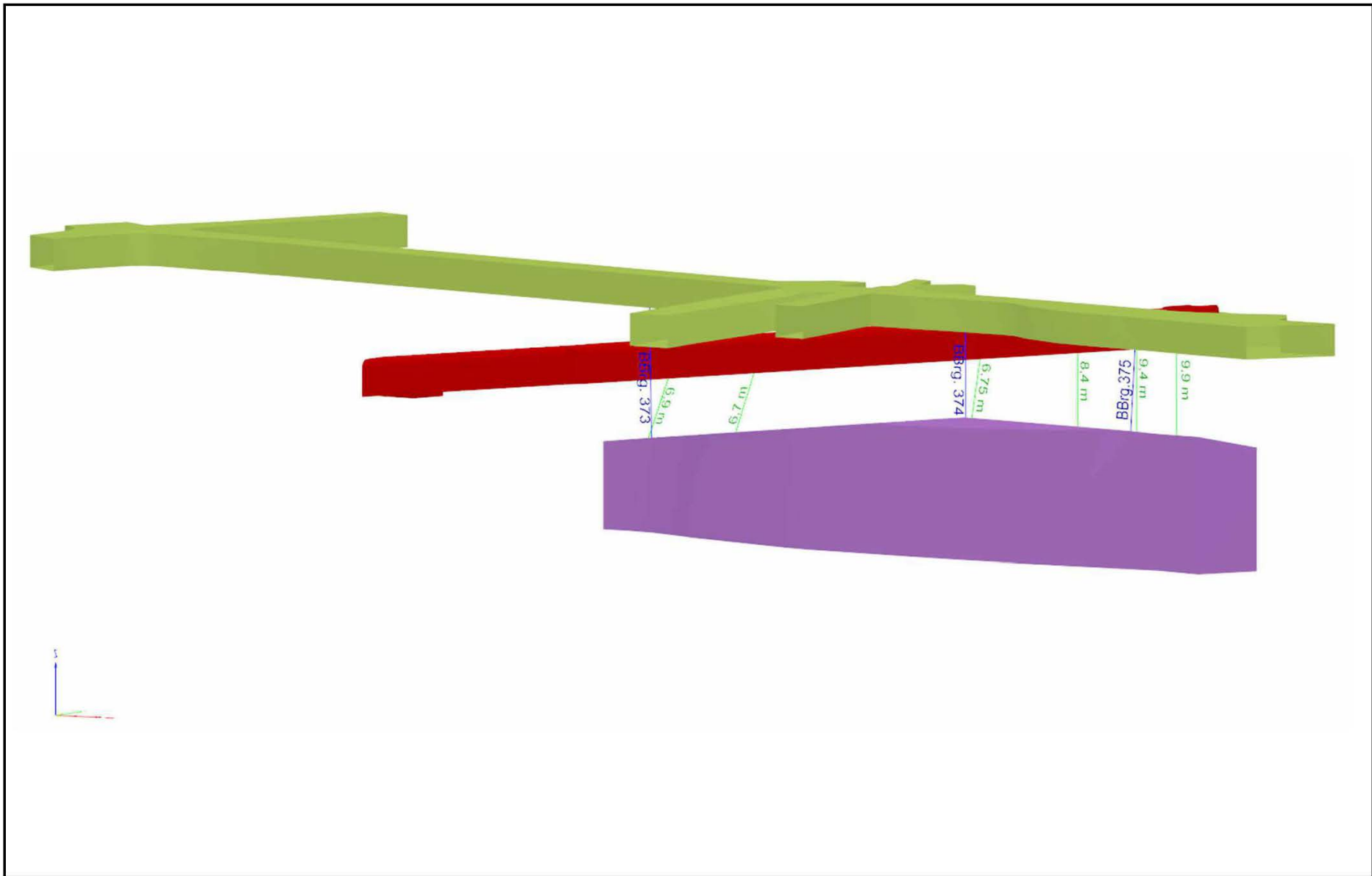


Auszug aus [4]: Zuordnung der Radarreflektoren zur Risserkundung mittels Bohrungen
(Die Raumlage der Reflektoren ist nicht sicher, die Wahrscheinlichkeit steigt von blau nach rot und von dünn nach dick)



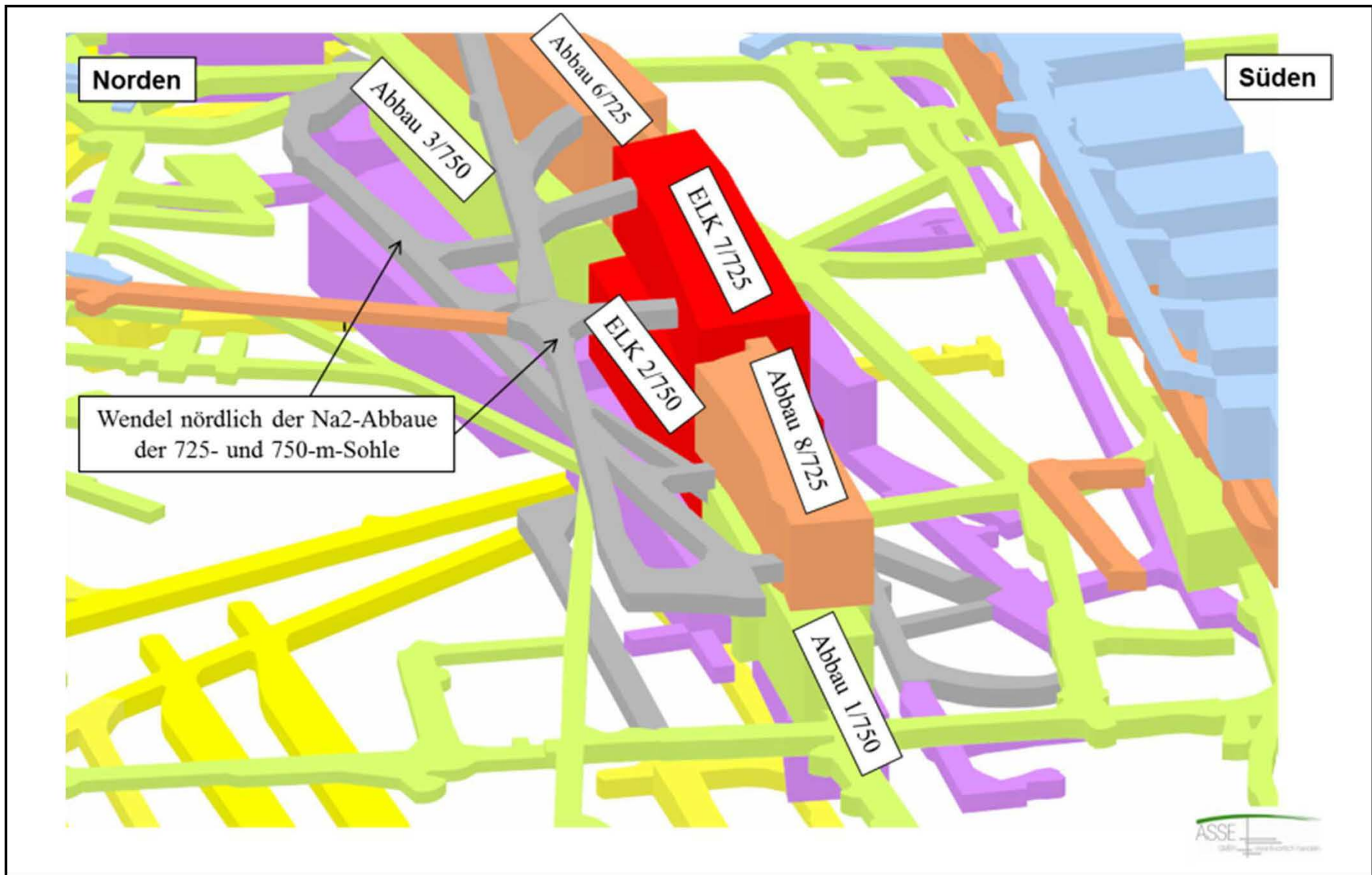
Grundriss und Vertikalschnitt der geplanten Wendelumfahrung (Unterlage Asse-GmbH)

Anhang
31

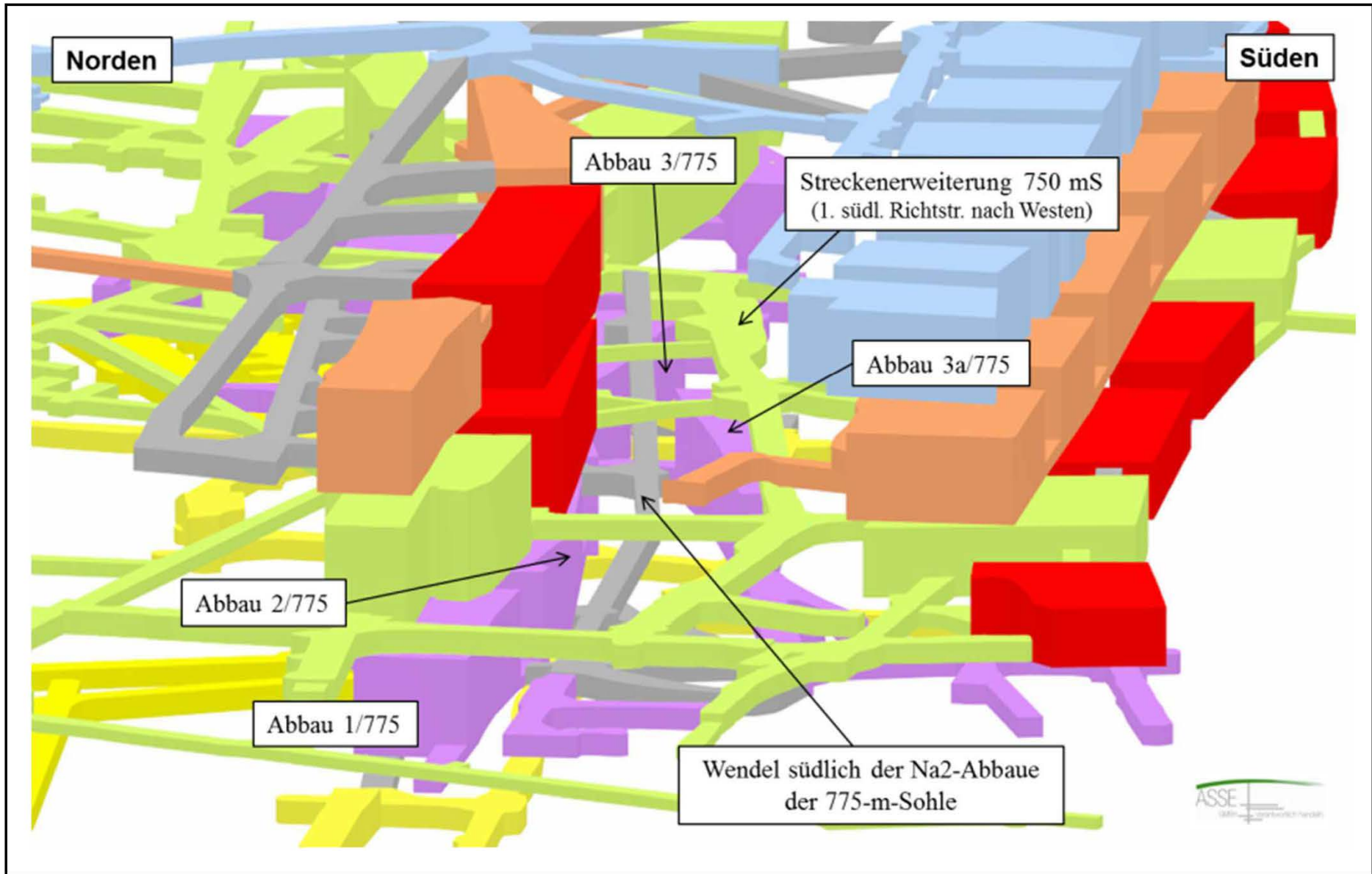


3D-Darstellung der geplanten Wendelumfahrung (Unterlage Asse-GmbH)

Anhang
32



Markscheiderische 3D-Darstellung der 700- bis 775-m-Sohle



Markscheiderische 3D-Darstellung der 700- bis 775-m-Sohle