



Stilllegung des ERA Morsleben

9. Bericht zur Prüfung des Sicherheitskonzepts (geotechnische Aspekte) – PK8

Prüfung der Abgeschlossenheit der Einlagerungsbereiche Ostfeld und Südfeld

BS-Projekt-Nr. 0108-03

erstellt im Auftrag des

Ministerium für Landwirtschaft und Umwelt
des Landes Sachsen-Anhalt
Leipziger Straße 58
39112 Magdeburg

durch die

Brenk Systemplanung GmbH
Heider-Hof-Weg 23
52080 Aachen

Aachen, 24.04.2014

Anmerkung:

Dieser Bericht gibt die Auffassung und Meinung des Auftragnehmers (BS) wieder und muss nicht mit der Meinung des Auftraggebers übereinstimmen.



AUTOREN

Dieser Bericht wurde von folgenden Bearbeitern erstellt:

- Dipl.-Phys. S. Kistingner
- Dipl. Geol. R. H. Stollenwerk

Es wird versichert, dass dieser Bericht nach bestem Wissen und Gewissen, unparteiisch und ohne Ergebnisweisung angefertigt worden ist.

| | |
|----------------------------|-------------------------------|
| Unterschrift Projektleiter | Unterschrift Geschäftsleitung |
|----------------------------|-------------------------------|

ZUSAMMENFASSUNG

Der Stilllegung des ERAM liegt ein Sicherheitskonzept zugrunde, das im Plan zur Stilllegung des ERAM [A 281] in Verbindung mit weiteren Verfahrensunterlagen dargelegt wird. Die Prüfung der geotechnischen Teile des Sicherheitskonzepts beinhaltet u. a. den Prüfpunkt „Abgeschlossenheit der Einlagerungsbereiche“. Gegenstand des vorliegenden Berichts ist die Prüfung, ob mit dem vorgesehenen Stilllegungskonzept eine Abgeschlossenheit der Einlagerungsbereiche (ELB) Ostfeld und Südfeld von der Restgrube mit ausreichender Gewissheit erreicht werden kann.

In den Langzeitsicherheitsanalysen (LSA) des BfS wird grundsätzlich unterstellt, dass ein Lösungszufluss in und ein Lösungsabfluss aus den ELB nur über die Streckenabdichtungen erfolgen können. Von diesem Grundsatz wird jedoch an zwei Stellen abgewichen:

- Da nach Auffassung des BfS nicht vollständig ausgeschlossen werden kann, dass zwischen der Restgrube und dem Ostfeld eine Wasserwegsamkeit über Klüfte im Hauptanhydrit bestehen kann, wird in einem Szenario („Variante“ [P 278]) eine solche Wasserwegsamkeit unterstellt.
- Nach Auffassung des BfS kann nicht vollständig ausgeschlossen werden, dass zur Zeit der Salzgewinnung Bohrungen erstellt wurden, die nicht im Risswerk verzeichnet sind und die nicht langzeitstabil verfüllt wurden. Um dieser Ungewissheit im Rahmen der Langzeitsicherheitsanalyse Rechnung zu tragen, wird die obere Schranke für die (anfängliche) Permeabilität der Abdichtungen im Rahmen einer probabilistischen Modellierung zur Ungewissheitsanalyse erhöht. Hierdurch soll der erhöhte Lösungsfluss über eine nicht oder nicht langzeitstabile verfüllte Bohrung im Modell effektiv berücksichtigt werden.

Gegenstand des vorliegenden Gutachtens ist die Prüfung der grundsätzlichen Annahme, dass es zwischen den ELB und der Restgrube (außer den in den LSA berücksichtigten Auffahrungen) keine hydraulischen Verbindungen gibt bzw. unter Berücksichtigung der grubenbedingten Gebirgsbewegungen künftig geben wird. Die Bereiche des Salzstocks, die die ELB umgeben und die hydraulische Barriere gegen das grundwasserführende Gebirge bzw. die Restgrube bilden, bezeichnen wir in diesem Bericht als *barrierewirksame Gebirgsbereiche*. Diese Bezeichnungsweise bedeutet nicht, dass wir von vorne herein unterstellen, dass hier die Barrierenintegrität im geotechnischen Sinne (d. h. als Einhalten des Dilatanz- und des Fluidkriteriums) gegeben ist, sondern dass diese Gebirgsbereiche die (ggf. unvollkommene) hydraulische Barriere gegenüber dem grundwasserführenden Gebirge bzw. der Restgrube bilden.

Im Rahmen des PK 7 (Verfüllen und Verschließen von Strecken) erstellten wir den 3. Zwischenbericht vom 28.02.2012 [BS 12] zu Anforderungen aus der Langzeitsicherheitsanalyse (LSA) an den Verschluss von untertägigen Bohrungen. Die dort untersuchten Bohrungen befinden sich in den hier zu bewertenden Abschnitten des barrierewirksamen Gebirgsbereichs. Neben untertägigen Bohrungen können sich allerdings auch folgende mögliche Wasserwegsamkeiten als nachteilig hinsichtlich der Erzielung einer (hydraulischen) Abgeschlossenheit der ELB auswirken:

- Durch die Gebirgsspannung oder den hydrostatischen Druck anstehender Lösungen verursachte Risse im Salzgestein,
- Hohlräume, die sich durch die Auf- oder Umlösung von Kalisalzen bilden,

- offene Klüfte im Hauptanhydrit,
- Inhomogenitäten im Salzgestein (ohne Hauptanhydrit), wie z. B. Klüfte in Anhydriteinschaltungen, Einschaltungen von Karbonaten und Tonen (DGL) oder Einschlüsse von Gasen oder Flüssigkeiten sowie
- übertägige Bohrungen.

Für die hier vorliegende Prüfaufgabe werden die Ergebnisse aus [BS 12] aufgegriffen und um die folgenden Punkte ergänzt:

- Berücksichtigung des fortgeschrittenen Kenntnisstands zu den untertägigen Bohrungen im Bereich der Abdichtungen insbesondere unter Auswertung der mittlerweile vorliegenden Lokationsberichte.
- Berücksichtigung auch abdichtungsferner Bohrungen im barrierewirksamen Gebirgsbereich.
- Berücksichtigung der o. g. zusätzlichen Wasserwegsamkeiten.

In Kapitel 3 werden die o. g. Elemente und Prozesse, die sich nachteilig auf den barrierewirksamen Gebirgsbereich auswirken, dargestellt und es werden die in diesem Gutachten getroffenen Annahmen und Vorgehensweisen zu ihrer Berücksichtigung angegeben:

- Hinsichtlich einer Schwächung der Barrierenintegrität durch eine spannungsbedingte Ausbildung von Wegsamkeiten wird geprüft, ob der rechnerische Nachweis erbracht ist, dass das Dilatanz- und das Fluidkriterium in einem ausreichend mächtigen Bereich um die ELB eingehalten werden. Sofern der rechnerische Nachweis für eines dieser beiden Kriterien nicht geführt werden kann („das Kriterium ist verletzt“), kann der Nachweis, dass die Barrierenintegrität gegeben ist, nicht geführt werden. Dies bedeutet allerdings nicht, dass die Barrierenintegrität nicht vorhanden ist bzw. verletzt ist, sondern es ist lediglich kein rechnerischer Nachweis dieser Integrität möglich.
- Vorbehaltlich der späteren Prüfung und Bewertung dieser Annahme wird im vorliegenden Bericht hinsichtlich der Auswirkungen einer Auf-/Umlösung der Kalilager in Übereinstimmung mit dem Stilllegungskonzept und den Langzeitsicherheitsanalysen davon ausgegangen, dass die Auf-/Umlösung nicht nach unten fortschreiten kann. Es wird unterstellt, dass lösungszugängliche Kalilager seitlich und aufwärts gerichtet unbegrenzt (um)lösbar sind. Eine Berücksichtigung limitierender Prozesse (Hemmung des Lösungsaustauschs, vorzugsweises Lösen nach oben, Ausfällung von Salzen) wird in diesem Schritt der Bewertung nicht berücksichtigt.
- Hinsichtlich der Wegsamkeiten im Hauptanhydrit legen wir die in den Unterlagen [P 71], [P72] und [P 98] dokumentierten Ergebnisse und Einschätzungen zugrunde. Die maßgebliche Schlussfolgerung ist, dass unterstellt werden muss, dass kluftgebundene Wegsamkeiten im Hauptanhydrit großräumig vernetzt sein können. Es wird (nicht als wahrscheinliches Szenario) unterstellt, dass im Anhydrit Kluftsysteme existieren, die großräumig vernetzt sind. Räumliche Beschränkungen werden in diesem Schritt der Bewertung nicht berücksichtigt.

- Infolge lokaler Inhomogenitäten (z. B. Tone, Karbonate, Anhydrit und Fluideinschlüsse) bestehen Ungewissheiten zur Permeabilität der Salzgesteine. Um dem Rechnung zu tragen sollte die intakte geologische Barriere eine (nachgewiesene) Mindestmächtigkeit aufweisen, die deutlich größer als die Ausdehnung der lokal möglichen Inhomogenitäten ist. Diese Mindestmächtigkeit ist vom Kenntnisstand zu den lokalen geologischen Verhältnissen und damit vom Ort abhängig (Empfehlung **E 01**).
- Für die Ermittlung potenziell langzeitsicherheitsrelevanter untertägiger Bohrungen verwenden wir die – im vorliegenden Bericht z. T. ergänzten – Kriterien K 1 bis K 6 aus [BS 12]. Die dort ausgesprochenen Empfehlungen gelten unverändert. Das Ergebnis der Betrachtungen des vorliegenden Gutachtens sollte in den Entscheidungsprozess zur Notwendigkeit der Verfüllung untertägiger Bohrungen einbezogen werden.
- Im Bereich des Ostfelds ist keine übertägige Bohrung in den Salzstock eingedrungen. Im Bereich des West-Südfelds erschließen 4 Bohrungen den Salzstock, enden jedoch maximal 12 m unter dem Salzspiegel und erreichen das Grubengebäude nicht. Hinsichtlich der hydraulischen Trennung von ELB und Restgrube sind sie nicht von Relevanz. Zum Schutz der geologischen Barriere zwischen Salzspiegel und ELB empfehlen wir eine abdichtende Verfüllung dieser Bohrungen (Empfehlung **E 02**).

Kapitel 4 enthält das Ergebnis der Prüfungen und Bewertungen zur Abgeschlossenheit des ELB Ostfeld von der Restgrube. Hierzu wird zunächst analysiert, welche potentiellen Wasserwege aufgrund der in Kapitel 3 charakterisierten Phänomene entstehen können bzw. ob die Integrität der Gebirgsbarriere für diesen Gebirgsbereich nachgewiesen werden kann. Anschließend wird analysiert, welchen Einfluss die bekannten untertägigen Bohrungen auf diese potentiellen Wasserwege haben.

Unter den Annahmen in Kapitel 3 (u. a. vollständige horizontale und aufwärtsgerichtete Lösung von Kalilagern sowie großräumig vernetzte Wegsamkeiten im Anhydrit) kommen wir zu dem Ergebnis, dass die vollständige Abgeschlossenheit des ELB Ostfeld von der Restgrube nicht sicher nachgewiesen werden kann. Die Betrachtung auch weniger wahrscheinlicher Ereignisse im Rahmen der Langzeitsicherheitsanalysen erfordert daher – wie z. T. bereits erfolgt – die Berücksichtigung von Wegsamkeiten zwischen Restgrube und Ostfeld. Um den Umfang und die Auswirkungen dieser Wegsamkeiten auf das i. W. geologisch begründete Maß zu beschränken, ist eine qualifizierte Abdichtung von Auffahrungen und untertägigen Bohrungen erforderlich (neben Verfüllmaßnahmen, die eine Auf- und Umlösung von Kaliflözen hemmen). Im Rahmen des Stilllegungskonzepts ist im betrachteten Bereich die qualifizierte Verfüllung von sechs Bohrungen vorgesehen. In Kapitel 4.4 identifizieren wir weitere Bohrungen, die qualifiziert verfüllt werden sollten. Des Weiteren identifizieren wir diverse potentiell langzeitsicherheitsrelevante Bohrungen, zu denen vom BfS im Einzelfall begründet werden sollte, aus welchen Gründen keine qualifizierte Verfüllung erfolgen muss. Wir geben verschiedene Empfehlungen (**E 03** bis **E 14**) und Hinweise (**H 01** bis **H 03**).

In Kapitel 5 erfolgt eine analoge Analyse des zu untersuchenden barrierewirksamen Gebirgsbereichs zwischen West-Südfeld und Restgrube. Für den Nachweis der Integrität der geologischen Barriere in diesem Bereich ist das Einhalten von Dilatanz- und Fluidkriterium zu zeigen. Entsprechende Rechnungen liegen nur für ein Stoffmodell mit einem Parametersatz und für einen zeitlichen Verlauf des Volllaufens der Restgrube vor. Zudem fehlt eine Diskussion der lokalen

geologischen Unwägbarkeiten und hieraus abgeleitet der erforderlichen Mächtigkeit der ungestörten Gebirgsbarriere. Wir empfehlen eine Analyse der Ungewissheiten (Empfehlung **E 15**).

Von Vorteil ist, dass der barrierewirksame Gebirgsbereich zwischen Südfeld und Restgrube keinen Hauptanhydrit (mit der Möglichkeit von Wegsamkeiten) enthält. Allerdings wird dieser Gebirgsbereich von einem Kalilager („Südmulde II“) durchzogen, das bei einem Auflösen zu einer Verbindung zwischen Südfeld und Restgrube führen würde. Uns liegen keine Belege zur mineralogisch-geochemischen Ausbildung des Kalilagers Südmulde II vor, so dass wir nicht einschätzen können, ob das Lager carnallitisch ausgeprägt und damit umlösegefährdet ist oder ob es als Hartsalz vorliegt und nicht umlösegefährdet ist. Wir empfehlen deshalb die Vorlage einer Unterlage zur mineralogisch-geochemischen Charakterisierung des Kalilagers Südmulde II mit den entsprechenden Belegen (Empfehlung **E 16**).

Im Hinblick auf den Umgang mit den Unterwerksgrubenbauen zwischen den Kalilagern B und C im Südfeld, die plangemäß nicht verfüllt/abgedichtet werden sollen, sollte aus unserer Sicht eine Beurteilung durch geologische Sachverständige erfolgen, ob es über Wegsamkeiten im (östlich des barrierewirksamen Gebirgsbereichs vorhandenen) Hauptanhydrit zu hydraulischen Verbindungen zwischen der Restgrube und den Unterwerksgrubenbauen des Südfeldes kommen könnte (Empfehlung **E 17**).

Im Rahmen des Stilllegungskonzepts ist im betrachteten Bereich die qualifizierte Verfüllung von zehn Bohrungen vorgesehen. In Kapitel 5.4 identifizieren wir weitere Bohrungen, die qualifiziert verfüllt werden sollten. Weiterhin identifizieren wir diverse potentiell langzeitsicherheitsrelevante Bohrungen, zu denen vom BfS im Einzelfall begründet werden sollte, aus welchen Gründen keine qualifizierte Verfüllung erfolgen muss. Wir geben verschiedene Empfehlungen (**E 18** bis **E 21**) und Hinweise (**H 04** bis **H 05**).

In Kapitel 6 stellen wir die Empfehlungen und Hinweise zusammen.

INHALTSVERZEICHNIS

Seite:

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 1. EINLEITUNG | 1 |
| 2. AUFGABENSTELLUNG UND BERICHTSAUFBAU..... | 3 |
| 3. POTENTIELLE BEEINTRÄCHTIGUNG DER ABGESCHLOSSENHEIT DER EINLAGERUNGSBEREICHE..... | 7 |
| 3.1. Schwächung der Barrierenintegrität infolge Bergbautätigkeit..... | 7 |
| 3.2. Auf- und Umlösen von Kalisalzen | 8 |
| 3.3. Wegsamkeiten im Hauptanhydrit | 9 |
| 3.4. Inhomogenitäten im Salzgestein | 11 |
| 3.5. Untertägige Bohrungen | 11 |
| 3.6. Übertägige Bohrungen | 15 |
| 4. ABGESCHLOSSENHEIT DES OSTFELDS VON DER RESTGRUBE..... | 18 |
| 4.1. Übersicht..... | 18 |
| 4.2. Barrierenintegrität..... | 22 |
| 4.3. Analyse der Abgeschlossenheit | 24 |
| 4.4. Potentielle Wegsamkeiten über Bohrungen | 25 |
| 4.4.1. Grubenbaue und Bohrungen zwischen der Restgrube und dem Ostfeld..... | 25 |
| 4.4.1.1. Übersicht..... | 25 |
| 4.4.1.2. 1. Sohle (-253 mNN) | 30 |
| 4.4.1.3. 2. Sohle (-291 mNN) | 32 |
| 4.4.1.4. 3. Sohle (-332 mNN) | 36 |
| 4.4.1.5. 4. Sohle (-372 mNN) | 39 |
| 4.4.1.6. Darstellung in Profilschnitten | 44 |
| 4.4.2. Bohrungen zwischen dem Ostfeld und der östlichen Flanke der Salzstruktur | 48 |
| 5. ABGESCHLOSSENHEIT DES SÜDFELDS VON DER RESTGRUBE | 53 |
| 5.1. Übersicht..... | 53 |
| 5.2. Barrierenintegrität..... | 56 |
| 5.3. Analyse der Abgeschlossenheit | 60 |
| 5.4. Potentielle Wegsamkeiten über Bohrungen zwischen Kalilager B und C..... | 68 |
| 5.4.1. 1. Sohle (-253 mNN)..... | 71 |
| 5.4.2. 2. Sohle (-291 mNN)..... | 73 |
| 5.4.3. 3. Sohle (-332 mNN)..... | 77 |
| 5.4.4. 4. Sohle (-372 mNN)..... | 79 |
| 5.4.5. 5. Sohle (-420 mNN) bis 7. Sohle (-500 mNN) | 82 |



| | |
|---------------------------------------------------------|----|
| 5.4.6. Darstellung in Profilschnitten | 82 |
| 6. ZUSAMMENSTELLUNG DER EMPFEHLUNGEN UND HINWEISE | 91 |
| 7. LITERATUR..... | 94 |

Anhang A: Untersuchungen zur Permeabilität des Hauptanhydrits

1. **EINLEITUNG**

Das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) hat beim zuständigen Ministerium für Landwirtschaft und Umwelt des Landes Sachsen-Anhalt (MLU) die Durchführung eines Planfeststellungsverfahrens nach § 9 b Atomgesetz (AtG) zur Stilllegung des Endlagers für radioaktive Abfälle Morsleben (ERAM) beantragt. Ferner hat das BfS die Möglichkeit, Anträge zur Änderung der Dauerbetriebsgenehmigung zum ERAM (DBG) zu stellen.

Zur Planfeststellung des Stilllegungsbetriebes bzw. zur Änderung der DBG legt der Antragsteller Unterlagen vor, die den Gegenstand der Planfeststellung bzw. Plangenehmigung beschreiben und die Voraussetzungen für die Planfeststellung bzw. für die Plangenehmigung nachweisen sollen.

Zur Prüfung der Genehmigungsfähigkeit der in den o. g. Unterlagen beschriebenen Vorgehensweisen hat das MLU am 18.04.2002 mit dem Unternehmen Brenk Systemplanung GmbH (BS) einen

Vertrag über Sachverständigentätigkeit nach § 20 AtG im Rahmen des beantragten Planfeststellungsverfahrens zur Stilllegung des Endlagers für radioaktive Abfälle Morsleben (ERAM) sowie im Rahmen von atomrechtlichen Änderungsverfahren hinsichtlich der Dauerbetriebsgenehmigung für das ERAM (DGB)

geschlossen. Dieser Vertrag dient der Rahmenregelung zwischen dem MLU und BS zur Erbringung von Sachverständigenleistungen. Einzelheiten der zu erbringenden Leistungen werden in separaten Werkverträgen geregelt.

Der Stilllegung des ERAM liegt ein Sicherheitskonzept zugrunde, das im Plan zur Stilllegung des ERAM [A 281] in Verbindung mit weiteren Verfahrensunterlagen dargelegt wird. Das MLU beauftragte BS und die TU Clausthal (TUC) als deren Unterauftragnehmer im Rahmen des Prüfkomples 8 (PK 8) mit der Prüfung der geotechnischen Teile dieses Sicherheitskonzepts auf Plausibilität und Vollständigkeit.

Die Prüfung der geotechnischen Teile des Sicherheitskonzepts beinhaltet die Aspekte

- Standsicherheit und stabiler Endzustand der Gruben Bartensleben und Marie,
- Beherrschung von Lösungszutritten während der Stilllegung,
- Standsicherheit der Schächte Bartensleben und Marie bei Erdbeben,
- Abgeschlossenheit der Einlagerungsbereiche,
- Beschreibung der Konvergenz im Rahmen der Langzeitsicherheitsanalyse (LSA) und
- Eignung des Verfüllkonzepts zur Erfüllung der Anforderungen aus den Sicherheitsnachweisen.

Dazu wurden bislang 8 Berichte vorgelegt:

- 1. Bericht: Kurzstellungnahme „Standsicherheit und stabiler Endzustand - Lager H“; TU Clausthal (TUC), 04.09.2009;
- 2. Bericht: Darstellung des geotechnischen Teils des Sicherheitsnachweiskonzepts des BfS, seiner rechtlichen Bewertung und einer Zusammenstellung von Prüffragen für seine Prüfung auf Plausibilität und Vollständigkeit; BS, 11.10.2010;

- 3. Bericht: Bewertung der Unterlage [P 218]; BS / TUC, 05.05.2011;
- 4. Bericht: Bewertung der Unterlage [G 216]; BS / TUC, 20.06.2011;
- 5. Bericht: Bewertung der Unterlage [P 212]; BS / TUC, 26.09.2011;
- 6. Bericht: Konsistenz- und Plausibilitätsprüfung von Einzelunterlagen zum Standsicherheits- und Integritätsnachweis des ERA Morsleben – Unterlagen [P 214]/[P 215]/[P 224]/[P 234]/[P 243]/[P 245]/[P 267]; TUC, 04.05.2012;
- 7. Bericht: Plausibilität und Vollständigkeitsprüfung in Bezug auf die Beherrschung von Lösungszutritten für den Zeitraum der Stilllegung; BS, 21.08.2012;
- 8. Bericht: Prüfung des Verfüllkonzepts – Verfüllplan zur Stilllegung des ERAM nach Durchführung der bGZ [P 220]; BS, 14.10.2013.

Gegenstand des vorliegenden Berichts ist die Prüfung, ob mit dem vorgesehenen Stilllegungskonzept eine Abgeschlossenheit der Einlagerungsbereiche Ostfeld und Südfeld von der Restgrube mit ausreichender Gewissheit erreicht werden kann.

2. AUFGABENSTELLUNG UND BERICHTSAUFBAU

Das Stilllegungskonzept des BfS sieht die trockene Verwahrung des ERAM und damit der Grubengebäude der Schachtanlagen Bartensleben und Marie vor. Das Konzept beinhaltet u. A. die weitgehende Verfüllung der Gruben und die Abdichtung der Schächte mit den Zielen, dass

- die Wasserzuflüsse über die Schächte (nahezu) vollständig unterbunden werden,
- sich keine neuen Wasserwegsamkeiten zwischen wasserführendem Gebirge und der Grube bilden und
- sich die bestehenden Lösungszutritte (i. W. der Zutritt in Lager H der Grube Marie) zurückbilden.

Nach heutigem Kenntnistand kann nicht durch technische Maßnahmen gewährleistet werden bzw. es kann nicht der Nachweis erbracht werden, dass sich der Lösungszutritt an Lager H zurückbilden wird. Im langjährigen Trend hat sich der Zulauf zwar verringert, in Unkenntnis der genauen geologischen und hydrogeologischen Gegebenheiten im Umfeld des Lagers H kann jedoch nicht ausgeschlossen werden, dass sich dieser Trend nicht weiter fortsetzt und sich ggf. – z. B. aufgrund von Lösungsprozessen am Salzspiegel – sogar umkehrt. Weiterhin kann nach gegenwärtigem Stand von Wissenschaft und Technik nicht nachgewiesen werden, dass in allen übrigen Teilen der Grube die hydraulische Barrierewirkung des Salzgesteins erhalten bleibt und damit die Ausbildung eines neuen Lösungszutritts ausgeschlossen ist.

Die mit Abstand meisten radioaktiven Abfälle lagern in Westfeld, Südfeld und Ostfeld der Grube Bartensleben. Diese Feldesteile – im Folgenden Einlagerungsbereiche (ELB) genannt – weisen abgesehen von den Schachtwasserzutritten in der Schachtröhre Bartensleben keine Lösungszutritte auf. Das BfS ist der Auffassung, dass das Salzgestein, das diese ELB umgibt, eine intakte und dauerhafte hydraulische Barriere darstellt, lediglich gestört durch einige Auffahrungen und Bohrungen zu den übrigen Grubenteilen („Restgrube“). Um dem Fall eines nicht ausschließbaren Volllaufens der Gruben über Lager H oder über eine neue Wasserwegsamkeit zwischen wasserführendem Gebirge und Restgrube Rechnung zu tragen, sieht das Stilllegungskonzept des BfS die Abdichtung der verbindenden Streckenauffahrungen und Bohrungen vor. Die hierzu vorgesehenen Abdichtungen sollen so errichtet werden, dass sie den Lösungsübertritt von der Restgrube zu den ELB minimieren, d. h. so weit wie möglich zeitlich verzögern. Zusätzlich sollen sie eine Rückhaltung der Radionuklide bei einem späteren Auspressen der Lösungen aus den ELB bewirken.

Entsprechend diesen Vorstellungen wird in den Langzeitsicherheitsanalysen (LSA) des BfS grundsätzlich unterstellt, dass ein Lösungszufluss in und ein Lösungsabfluss aus den ELB nur über die Streckenabdichtungen erfolgen kann. Von diesem Grundsatz wird jedoch an zwei Stellen abgewichen:

- Da nach Auffassung des BfS nicht vollständig ausgeschlossen werden kann, dass zwischen der Restgrube und dem Ostfeld eine Wasserwegsamkeit über Klüfte im Hauptanhydrit bestehen kann, wird in einem Szenario („Variante“ [P 278]) eine solche Wasserwegsamkeit unterstellt.
- Nach Auffassung des BfS kann nicht vollständig ausgeschlossen werden, dass zur Zeit der Salzgewinnung Bohrungen erstellt wurden, die nicht im Risswerk verzeichnet sind und die nicht langzeitstabil verfüllt wurden. Um dieser Ungewissheit im Rahmen der Langzeit-

sicherheitsanalyse Rechnung zu tragen, wird die obere Schranke für die (anfängliche) Permeabilität der Abdichtungen im Rahmen einer probabilistischen Modellierung zur Ungewissheitsanalyse erhöht. Hierdurch soll der erhöhte Lösungsfluss über eine nicht oder nicht langzeitstabile verfüllte Bohrung im Modell effektiv berücksichtigt werden.

Gegenstand des vorliegenden Gutachtens ist die Prüfung der grundsätzlichen Annahme, dass es zwischen den ELB und der Restgrube (außer den in den LSA berücksichtigten Auffahrungen) keine hydraulischen Verbindungen gibt bzw. unter Berücksichtigung der grubenbedingten Gebirgsbewegungen künftig geben wird.

Die Bereiche des Salzstocks, die die ELB umgeben und die hydraulische Barriere gegen das grundwasserführende Gebirge bzw. die Restgrube bilden, bezeichnen wir in diesem Bericht als *barriere-wirksame Gebirgsbereiche*. Diese Bezeichnungsweise bedeutet nicht, dass wir von vorne herein unterstellen, dass hier die Barrierenintegrität im geotechnischen Sinne (d. h. als Einhalten des Dilatanz- und des Fluidkriteriums) gegeben ist, sondern dass diese Gebirgsbereiche die (ggf. unvollkommene) hydraulische Barriere gegenüber dem grundwasserführenden Gebirge bzw. der Restgrube bilden. Der so definierte Bereich des Salzstocks erstreckt sich insbesondere in nördlicher und südlicher Richtung entlang des Salzstocks über größere Entfernungen. Gegenstand der Langzeitsicherheitsanalyse ist jedoch nur ein (grubennaher) Teil des gesamten barrierewirksamen Gebirgsbereichs, und zwar der Teil, für den im Sicherheitsnachweis eine Barrierefunktion in Anspruch genommen wird. Wenn für diesen Gebirgsbereich die Barrierenintegrität gezeigt werden kann, dann ist es nicht erforderlich, das jenseits dieser Barriere liegende Gebirge weiter zu analysieren.

Im vorliegenden Bericht bewerten wir die Abgeschlossenheit der Einlagerungsbereiche West-Südfeld bzw. Ostfeld gegenüber der Restgrube, d. h. wir beschränken uns auf die Teile des barriere-wirksamen Gebirgsbereichs, die die ELB von der Restgrube trennen.

Im Rahmen des PK 7 (Verfüllen und Verschließen von Strecken) erstellten wir den 3. Zwischenbericht vom 28.02.2012 [BS 12] zu Anforderungen aus der Langzeitsicherheitsanalyse (LSA) an den Verschluss von untertägigen Bohrungen. Die dort untersuchten Bohrungen befinden sich in den hier zu bewertenden Abschnitten des barriere-wirksamen Gebirgsbereichs, jeweils im Bereich bzw. im näheren Umfeld der dort vorgesehenen Streckenabdichtungen. Es können sich allerdings nicht nur untertägige Bohrungen als nachteilig hinsichtlich der Erzielung einer (hydraulischen) Abgeschlossenheit der ELB auswirken. Mögliche Wasserwegsamkeiten können auch

- durch die Gebirgsspannung oder den hydrostatischen Druck anstehender Lösungen verursachte Risse im Salzgestein,
- Hohlräume, die sich durch die Auf- oder Umlösung von Kalisalzen bilden,
- offene Klüfte im Hauptanhydrit,
- Inhomogenitäten im Salzgestein (ohne Hauptanhydrit), wie z. B. Klüfte in Anhydriteinschaltungen, Einschaltungen von Karbonaten und Tonen (DGL) oder Einschlüsse von Gasen oder Flüssigkeiten sowie
- übertägige Bohrungen,

sein.

Für die hier vorliegende Prüfaufgabe werden die Ergebnisse aus [BS 12] aufgegriffen, gemäß dem insbesondere mit den Lokationsberichten zu den Abdichtungsstandorten fortgeschrittenen Kenntnisstand zu den untertägigen Bohrungen im Bereich der Abdichtungen ergänzt und es werden die o. g. zusätzlichen Wasserwegsamkeiten in die Betrachtung einbezogen.

Für das Ostfeld führt diese kombinierte Betrachtung zu der Besonderheit, dass der Gebirgsbereich, dem im Hinblick auf die Abgeschlossenheit dieses Einlagerungsbereichs eine Barrierefunktion zugewiesen wird, nicht nur zwischen Ostfeld und Restgrube positioniert ist. Infolge der unterstellten Möglichkeit einer weitreichenden Vernetzung von Wegsamkeiten im Hauptanhydrit in Verbindung mit der Möglichkeit einer weitreichenden Auf-/Umlösung der Kalisalzlager ist für die Abgeschlossenheit des Ostfeldes auch die Unversehrtheit der übrigen das Ostfeld umschließenden Gebirgsbereiche potentiell von Bedeutung und zu prüfen.

In Abbildung 2-1 ist der in diesem Bericht untersuchte Teil des barrierewirksamen Gebirgsbereichs beispielhaft für das Niveau der 4. Sohle (-372 mNN-Sohle) als schraffierte Fläche dargestellt.

In diesem Gutachten erfolgt keine Überprüfung und Bewertung des geologischen Lagerstättenmodells für die Salzstruktur. Im Rahmen der Bearbeitung trafen wir auf keine für die Abgeschlossenheit der ELB wesentlichen Inkonsistenzen in den ausgewerteten geologischen Unterlagen. Die Prüfung erfolgt deshalb unter der Annahme, dass das in der Unterlage [P 44] nebst Anhängen dargestellte Lagerstättenmodell des BfS für die Salzstruktur zutreffend ist.

Die durchgeführten Arbeiten sind im vorliegenden Bericht wie folgt dokumentiert:

- In Kapitel 3 wird dargestellt, welche potentiellen Beeinträchtigungen der Abgeschlossenheit von Einlagerungsbereichen zu betrachten sind und welcher Kenntnisstand dbzgl. im vorliegenden Bericht zugrunde gelegt wird.
- Kapitel 4 enthält das Ergebnis der Prüfungen und Bewertungen zur Abgeschlossenheit des ELB Ostfeld von der Restgrube. Hierzu wird zunächst für den betroffenen Abschnitt des barrierewirksamen Gebirgsbereichs analysiert, welche potentiellen Wasserwege aufgrund der in Kapitel 3 charakterisierten Phänomene entstehen können bzw. ob die Integrität der Gebirgsbarriere für diesen Gebirgsbereich nachgewiesen werden kann. Anschließend wird analysiert, welchen Einfluss die bekannten untertägigen Bohrungen auf diese potentiellen Wasserwege haben.
- In Kapitel 5 erfolgt eine analoge Analyse des barrierewirksamen Gebirgsbereichs zwischen Restgrube und Südfeld.
- In Kapitel 6 werden die in den Kapiteln 3 bis 5 abgeleiteten Empfehlungen und Hinweise zusammengestellt.
- In Kapitel 7 ist das Literaturverzeichnis enthalten.

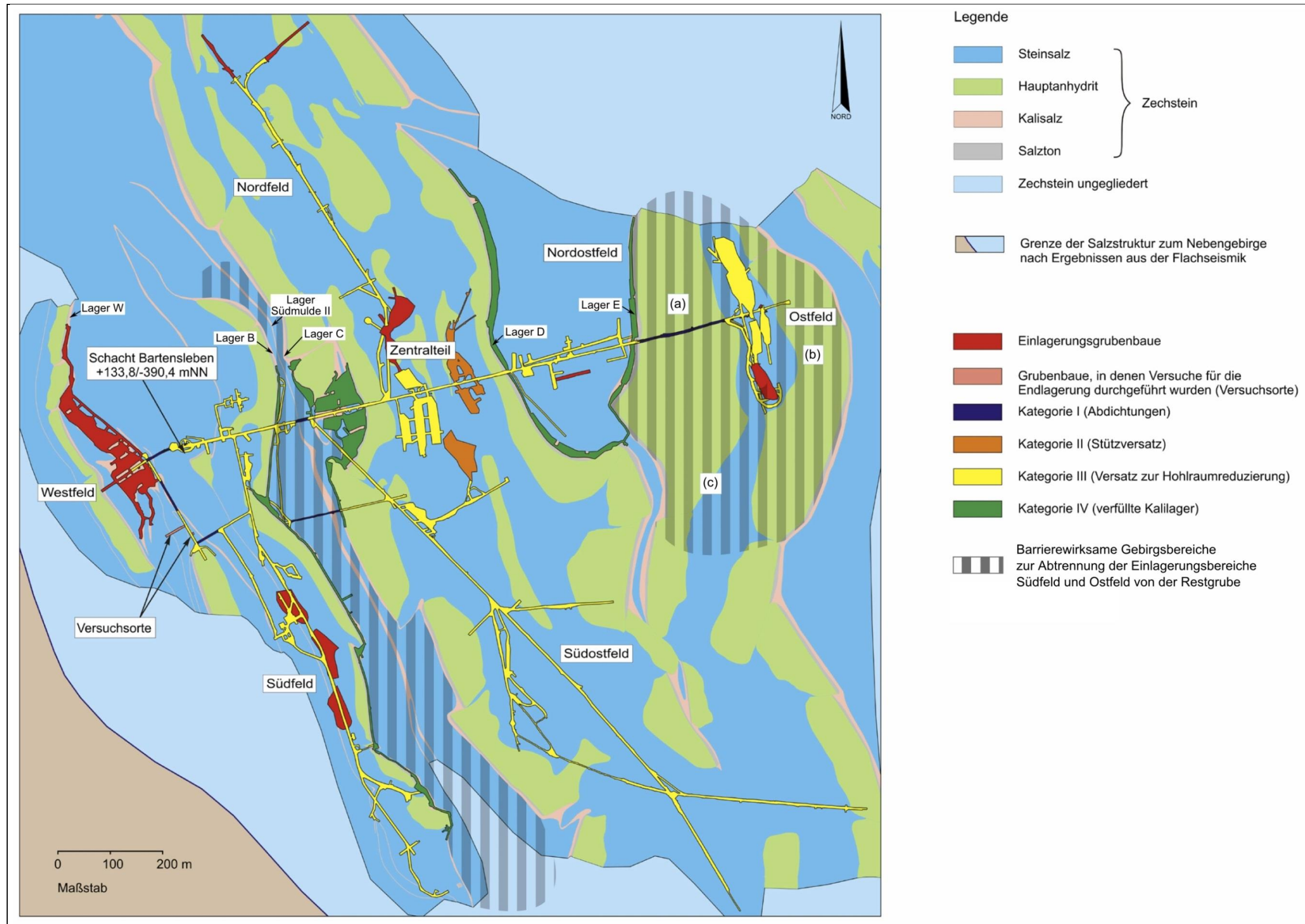


Abbildung 2-1: Verfülltes und verschlossenes Grubengebäude Bartensleben; schematisierter Sohlenriss der 4. Sohle mit Einlagerungsgrubenbauen der 4a-, 4. und 5a-Sohle und den Barrieren zur Abtrennung der ELB Südfeld und Ostfeld von der Restgrube (aus [A281], Abbildung 2.6-3, geändert)

3. POTENTIELLE BEEINTRÄCHTIGUNG DER ABGESCHLOSSENHEIT DER EINLAGERUNGSBEREICHE

In diesem Kapitel werden die Elemente und Prozesse dargestellt, die zu einer Schwächung des barrierewirksamen Gebirgsbereichs führen und damit der Abgeschlossenheit der ELB Ostfeld und West-Südfeld entgegenstehen können. Dies sind

- Ausbildung von Wegsamkeiten in der geologischen Barriere durch Spannungsumlagerungen im Gebirge bzw. bei anstehendem Lösungsdruck (bei Verletzung des Dilatanz- oder des Fluidkriteriums).
- Auf- und Umlösung von Kalisalzen im barrierewirksamen Gebirgsbereich,
- Wegsamkeiten im Hauptanhydrit im barrierewirksamen Gebirgsbereich infolge Klüftung,
- Wegsamkeiten aufgrund von Inhomogenitäten im Salzgestein (ohne Hauptanhydrit),
- untertägige Bohrungen im barrierewirksamen Gebirgsbereich und
- Bohrungen von über Tage in den barrierewirksamen Gebirgsbereich.

3.1. Schwächung der Barrierenintegrität infolge Bergbautätigkeit

Infolge der Bergbautätigkeit und der dabei entstandenen Hohlräume wird das Gebirge im Umfeld der Hohlräume mechanisch beansprucht. Überschreiten die hierbei auftretenden Scherspannungen ein gewisses Maß, kommt es zu einer Entfestigung. Mit Hilfe des Dilatanzkriteriums wird bewertet, ob diese Entfestigung mit ausreichender Sicherheit ausgeschlossen werden kann. Bei diesem Kriterium wird der (i. A. richtungsabhängige) Gebirgsdruck mit den im Gebirge auftretenden Scherspannungen in Verhältnis gesetzt. Sofern die Scherspannungen ein vom mittleren Gebirgsdruck abhängiges Maß nicht übersteigen, wird das Dilatanzkriterium eingehalten. Dies bedeutet, dass die Integrität des die Gruben Hohlräume umgebenden Gebirges gegeben ist und keine Entfestigung zu besorgen ist. Überschreiten die Scherspannungen dieses Maß, wird das Dilatanzkriterium nicht eingehalten und die Integrität der Gebirgsbarriere ist in diesem Fall rechnerisch nicht nachweisbar. Es ist zu besorgen, dass es zu einem dilatanten Kriechen des Gebirges kommt mit den Folgen einer Volumenzunahme und der Bildung von Mikro- und Makrorissen.

Wenn ein unter hohem Druck stehendes Fluidreservoir in Kontakt mit Salzgestein steht, kann es zur Ausbildung von Rissen im Salzgestein kommen, in die das Fluid eindringt. Dies setzt allerdings voraus, dass der Fluiddruck den in dem Gestein herrschenden Druck (in situ ist dies der Gebirgsdruck) in einem für diesen Prozess ausreichenden Maß übersteigt. Wenn der minimale¹ Gebirgsdruck in dem Gestein über dem Fluiddruck liegt, kann eine Rissbildung sicher ausgeschlossen werden. Diese Bedingung wird als Fluiddruck-Kriterium bezeichnet. Übersteigt der Fluiddruck den minimalen Gebirgsdruck, so kann diese Rissbildung nicht ausgeschlossen werden, sie tritt allerdings nicht zwangsläufig ein. Bei den geomechanischen Sicherheitsnachweisen zur Integrität der Salzbarriere wird in der Regel unterstellt, dass das Fluid einen Druck aufweist, der seinem hydrostatischen Druck bei hydraulischem Kontakt mit dem oberflächennahen Grundwasser

¹ Hier ist das Minimum des lokalen Gebirgsdrucks in Abhängigkeit von der Richtung zu wählen.

entspricht. Eine Verletzung des Fluidkriteriums kann nur dann zur Rissbildung führen, wenn auch tatsächlich ein Fluid vorhanden ist.

Im vorliegenden Bericht gehen wir von dem Ansatz aus, dass die Barrierenintegrität der Salzgesteine dann (lokal) nachgewiesen ist, wenn das Dilatanz- und das Fluidkriterium gleichzeitig erfüllt sind. Die Integrität der Salzbarriere zwischen einem ELB und der Restgrube ist dann nachgewiesen, wenn beide Grubenteile dauerhaft und (räumlich) durchgängig durch eine Schicht aus Salzgestein voneinander getrennt sind, in der die (lokale) Barrierenintegrität eingehalten ist. Diese Schicht muss eine Mindestmächtigkeit aufweisen, die den bestehenden geologischen Ungewissheiten Rechnung trägt (siehe Kapitel 3.4).

Ist (mindestens) eines der Kriterien verletzt, bedeutet dies nicht zwingend, dass die Barrierenintegrität nicht vorhanden ist, sondern dass kein rechnerischer Nachweis möglich ist.

3.2. Auf- und Umlösen von Kalisalzen

Im Hinblick auf die Langzeitsicherheit kommt dem in der Allertalstruktur eingefalteten Kalisalzflöz Staßfurt besondere Bedeutung zu, da die Kalisalze im Falle eines Volllaufens der Restgrube bei Kontakt mit gesättigter NaCl-Lösung auf- und umgelöst werden können². Das Auf- und Umlösen ist mit einer Hohlraumneubildung verbunden, so dass lösungsgefährdete Kalilager als potentielle Wegsamkeiten anzusehen sind.

Das Stilllegungskonzept und die Langzeitsicherheitsanalysen des BfS gehen von den Annahmen aus, dass nur carnallitische Kalilager umlösungsgefährdet sind und dass ein Auf- und Umlösen der Kalilager vom Angriffspunkt der NaCl-Lösung aus nur zur Seite und aufwärts gerichtet abläuft. Diese Annahmen wurden von uns noch nicht abschließend bewertet. Sie sind allerdings plausibel. Infolge des Lösungsprozesses steigt die Dichte der das Kaliflöz angreifenden Lösung und die Lösung sinkt nach unten ab. Damit das Lösen fortschreiten kann, ist ein Abtransport der gesättigten Lauge notwendig. Aufgrund der erhöhten Dichte der gesättigten Lauge kann dieser Abtransport unterhalb des Niveaus der Wasserwegsamkeit, über die das Kalilager aufgeschlossen wird, vermutlich nicht erfolgen. Daher ist nicht zu erwarten, dass die Umlösung nach unten fortschreiten kann.

Vorbehaltlich der späteren Prüfung und Bewertung dieser Annahme wird im vorliegenden Bericht hinsichtlich der Auswirkungen eines Auf- und Umlösens der Kalilager in Übereinstimmung mit dem Stilllegungskonzept und den Langzeitsicherheitsanalysen davon ausgegangen, dass das Lösen nicht nach unten, sondern nur seitlich und nach oben fortschreiten kann. Ob bzw. mit welcher Geschwindigkeit im konkreten Fall ein Lösen in horizontaler Richtung erfolgen kann, haben wir in diesem Gutachten nicht bewertet. Dies hängt von den geometrischen Verhältnissen, der Möglichkeit des Lösungsaustauschs (und damit von den hydraulischen Verhältnissen) und dem Chemismus der Lösung sowie der anstehenden Salze und Verfüllstoffe ab. In diesem Gutachten wird untersucht, ob sich zwischen ELB und Restgrube Wegsamkeiten ausbilden können unter der Annahme eines nicht limitierten horizontalen und aufwärtsgerichteten Lösens von Kalisalzen. Sollte dies der Fall sein, ist in einem späteren Schritt zu prüfen, ob und in welchem Umfang bzw. in welchem Zeitraum ein solches Lösen tatsächlich erfolgen kann.

² Beim Auflösen gehen Salzphasen in Lösung, beim Umlösen fallen zusätzlich andere Salzphasen aus.

3.3. Wegsamkeiten im Hauptanhydrit

Gemäß Plan Stilllegung [A 281] und der Planunterlage [P 71] ist der Hauptanhydrit heterogen und weist wechselnde Permeabilitäten von kleiner 10^{-20} m² bis in den Bereich größer 10^{-15} m² auf. Diese Permeabilitätsvariation tritt im Meterbereich auf. Kompakter Hauptanhydrit besitzt für Gas und Salzlösung keine Permeabilität größer als 10^{-20} m². Gemäß [A 281] liegen höhere Permeabilitäten nur in geklüfteten Bereichen vor. In den von der BGR erstellten Planunterlagen [P 71], [P 72] und [P 98] sind Ergebnisse und Einschätzungen hinsichtlich der hydraulischen Eigenschaften des Hauptanhydrits dargestellt.

In der Unterlage [P 71] werden die Ergebnisse der von der BGR durchgeführten hydraulischen Untersuchungen im Grubengebäude Morsleben dokumentiert. Die Zielsetzung dieser Maßnahmen bestand in der Identifizierung undurchlässiger und durchlässiger Gebirgsbereiche in ihrer räumlichen Verteilung. Die auftretenden hydraulischen Leitfähigkeiten waren zu quantifizieren. Die Permeabilitätsmessungen wurden als hydraulische Bohrlochtests unter Verwendung von Pressluft oder Salzlösung als Testfluid durchgeführt. Gemäß [P 71] „muss unterstellt werden, dass Wegsamkeiten im Anhydrit großräumig vernetzt sind“³. Die Klüfte im Anhydrit sind am Übergang Steinsalz/Anhydrit durch Hineinkriechen von Salz verschlossen.

In den von der BGR erstellten Unterlagen [P 72] und [P 98] wird näher auf die Erkenntnisse über die hydraulischen Eigenschaften des Hauptanhydrits, die im Rahmen hydraulischer Untersuchungen im Grubengebäude des ERAM gewonnen wurden, eingegangen. Es wird der Heterogenität des Hauptanhydrits Rechnung getragen, um zu korrekten Einschätzungen bezüglich seiner hydraulischen Eigenschaften zu gelangen. Diese beiden Unterlagen sind in Teilen identisch. Die (jüngere) Unterlage [P 98] stellt u. E. insbesondere aufgrund des größeren berücksichtigten Ergebnismumfangs aus hydraulischen Tests und der umfangreicheren Auswertungen die aktuellere der beiden Unterlagen dar.

Die im Labor bestimmte Permeabilität des Gesteins liegt gemäß [P 72] bei $k \leq 10^{-20}$ m². Diese Laboruntersuchungen liefern allerdings keine Aussagen zur Gebirgsdurchlässigkeit in-situ. Der Hauptanhydrit im Ostfeld des ERAM ist gemäß [P 98] hydraulisch heterogen, da in dem sehr gering permeablen Gestein Klüfte mit vergleichsweise hoher Permeabilität auftreten. Diese Klüfte können in Kluftzonen angeordnet sein, was zu großräumig deutlich erhöhten Permeabilitäten im Hauptanhydrit führen kann. Die innerhalb einer Kluftzone hydraulisch miteinander verbundenen Kluftscharen (Anhäufung unmittelbar benachbarter Klüfte in einem wenige Zentimeter mächtigen und einige Quadratmeter ausgedehnten Bereich) und/oder Einzelklüfte können ein Wegsamkeitsnetz ergeben.

Klüfte und Kluftscharen sind im Hauptanhydrit gemäß [P 98] nicht gleichmäßig verteilt, sondern es kommen neben weniger geklüfteten Bereichen auch stärker geklüftete Bereiche vor. Zudem treten Verschneidungen verschiedener Klüfte/Kluftscharen mit entsprechender Ausdehnung des miteinander verbundenen Wegsamkeitsnetzes auf.

An Bohrkernen aus dem Hauptanhydrit sind gemäß [P 72] und [P 98] unterschiedliche Kluftausbildungen festzustellen. Bereichsweise sind die Bohrkern über mehrere Meter Länge kompakt und

³ Damit soll u. E. nicht ausgesagt werden, dass grundsätzlich eine großräumige Vernetzung der Wegsamkeiten im Anhydrit besteht oder zu erwarten ist, sondern dass Wegsamkeiten im Anhydrit großräumig vernetzt sein können.

ohne Anzeichen von Wegsamkeiten. Sofern Klüfte vorhanden sind, sind diese offen, teilweise mit Mineralneubildungen belegt oder vollständig verschlossen. Es wird in [P 98] angegeben, dass die Erstreckung einer Kluftschar im Hauptanhydrit aufgrund von Beobachtungen und Befunden, die im Zusammenhang mit den Kernbohrungen im Hauptanhydrit erfolgten, mit < 20 m abschätzt werde. Fließbewegungen über eine größere Distanz können gemäß [P 98] nur dann möglich sein, wenn mehrere Klüfte und/oder Kluftscharen miteinander vernetzt sind.

Gemäß [P 98] erfolgte eine ingenieurgeologische Kluftanalyse von über 20.000 Klüften, die von der DBE in Hauptanhydritaufschlüssen im ERAM kartiert wurden, sowie von den an Bohrkernen festgestellten Klüften. Die meisten Klüfte weisen gemäß [P 98] kein makroskopisch erkennbares Kluft Hohlräumvolumen auf, sondern sind geschlossen oder mit Sekundärmineralien gefüllt. Allerdings können vergleichsweise große Permeabilitäten auch in solchen Bereichen vorkommen, in denen keine offenen Klüfte kartiert wurden. Gemäß [P 98] lassen sich daher aus den Kluftanalysen keine hydraulischen Kennwerte ableiten.

Im Ergebnis der zusammengetragenen Informationen wird in [P 98] geschlussfolgert, dass

- der Hauptanhydrit im ERAM hydraulisch heterogen ist,
- im Ostfeld überwiegend sehr gering permeable Gebirgsbereiche festgestellt wurden, neben denen aber auch geklüftete Bereiche mit größeren Permeabilitäten auftreten,
- die Reichweite der Kluftzonen infolge Vernetzung von Klüften bzw. Kluftscharen mit mehreren zehn Metern beobachtet wurde,
- das Hohlräumvolumen in einer Kluftzone mehrere 100 m^3 betragen kann,
- lokal Transmissibilitäten von $\geq 10^{-13} \text{ m}^3$ für Kluftzonen gemessen wurden und
- mittels einer numerischen Simulation für eine Kluftzone mit einer Erstreckung von mehreren zehn Metern eine Transmissibilität von 10^{-13} bis 10^{-14} m^3 ermittelt wurde.

Die Untersuchungsergebnisse, die diesen Schlussfolgerungen zugrunde liegen, sind in Anhang A des vorliegenden Berichts dargestellt. Dort wird auch ein Überblick gegeben über die Bohrungen, in denen Untersuchungen zur Permeabilität des Hauptanhydrits erfolgten.

Die in [P 98] gezogenen Schlussfolgerungen werden von uns geteilt. Für die folgenden Analyse der Abgeschlossenheit gehen wir von folgendem Ansatz aus: Wir erwarten im Hauptanhydrit zwischen Restgrube und Ostfeld keine großräumig vernetzten Kluftzonen, die als durchgängiger Wasserweg wirken (im Sinne einer wahrscheinlichen Entwicklung). Wir schließen sie jedoch nicht vollständig aus und prüfen in den Kapitel 4 und 5, welche Konsequenzen eine solche durchgängige Wegsamkeit hätte.

Wie aus Anhang A, Abbildung A-4 zu entnehmen ist, wurden im Hauptanhydrit des Ostfeldes zahlreiche Gasaustritte beobachtet, die auf Wegsamkeiten schließen lassen. Da die Gase erst mit dem Anbohren der Hohlräume austraten, waren die Wegsamkeiten zum Austrittszeitpunkt allerdings isoliert.

3.4. Inhomogenitäten im Salzgestein

Die Salzgesteine der Allertal-Struktur werden als hydraulisch undurchlässig eingestuft. Das Salzgestein ist allerdings nicht homogen. Die Undurchlässigkeit gilt im kleinen Maßstab nur für die unverritzten Steinsalzanteile, die gemäß [P 71] im Ergebnis hydraulischer Untersuchungen keine Durchlässigkeit größer als 10^{-20} m² besitzen. Inhomogenitäten infolge Einschaltungen von Tonen, Karbonaten und Anhydrit (bei Wegsamkeiten infolge Klüftung) sowie der Ausbildung von Störungszonen können lokal mit Erhöhungen dieser Durchlässigkeiten verbunden sein.

In den hier betrachteten barrierewirksamen Gebirgsbereichen zwischen der Restgrube und den ELB sind insbesondere die Schichtenfolge Deckanhydrit/Grauer Salzton/Leine-Karbonat (DGL), die i. d. R. zwischen dem Kaliflöz Staßfurt und dem Hauptanhydrit ausgebildet ist, und die Anhydritmittel des Anhydritmittelsalzes, die in der Ostmulde Mächtigkeiten von mehreren Metern erreichen können, solche Inhomogenitäten.

Störungszonen, in denen Zerrüttungen, Einschleppungen o. ä. zu einer signifikanten Erhöhung der Durchlässigkeit beitragen könnten, sind uns für die hier betrachteten barrierewirksamen Gebirgsbereiche nicht bekannt.

Gas- und Lösungsvorkommen, die auf das Vorliegen von Hohlräumen und damit von Wegsamkeiten hinweisen, sind gemäß [P 44] meist an Anhydritmittel im Anhydritmittelsalz, Hauptanhydrit, DGL und den Grenzbereich der Staßfurt- zur Leinefolge gebunden, wobei insbesondere der Hauptanhydrit als Hauptspeichergestein fungiert. Diese Vorkommen weisen zudem meist nur auf relativ geringe Hohlraumvolumina hin.

Um den Ungewissheiten zur Permeabilität der Salzgesteine infolge lokaler Inhomogenitäten Rechnung zu tragen sollte eine gewisse Mindestmächtigkeit der intakten geologischen Barriere (deren theoretisch ausreichende Mächtigkeit bei nachgewiesener Homogenität nur sehr gering sein müsste) gefordert werden. Die geforderte Mindestmächtigkeit sollte deutlich größer als die Ausdehnung lokal möglicher wasserwegsamere Inhomogenitäten sein. Die geforderte Mindestmächtigkeit ist deshalb vom Kenntnisstand zu den lokalen geologischen Verhältnissen und ist damit vom Ort abhängig.

E 01: Um den Ungewissheiten zur Permeabilität der Salzgesteine infolge lokaler wasserwegsamere Inhomogenitäten Rechnung zu tragen, empfehlen wir, eine gewisse Mindestmächtigkeit der intakten geologischen Barriere zu fordern. Die geforderte Mindestmächtigkeit sollte deutlich größer als die Ausdehnung lokal möglicher wasserwegsamere Inhomogenitäten sein und ist damit vom Ort abhängig.

3.5. Untertägige Bohrungen

In den barrierewirksamen Gebirgsbereichen zwischen den ELB und der Restgrube befindet sich eine Reihe von untertägigen Bohrungen (siehe Kapitel 4.4 und 5.4). Gemäß Plan Stilllegung [A 281] ist die Abdichtung von die Langzeitsicherheit des ERAM möglicherweise beeinträchtigenden untertägigen Bohrungen vorgesehen. In Kapitel 3.1.4 des Plan Stilllegung wird dazu ausgeführt, dass die Prüfung der markscheiderischen Unterlagen und Erkundungen vor Ort ergeben haben, dass 16 Bohrungen qualifiziert zu verfüllen sind. Diese Verfüllung soll mit einem quellfähigen Magnesiabinder erfolgen.

Kriterien zur Bestimmung von Bohrungen, die auf Grundlage des Stilllegungskonzepts mit einem gering permeablen und abbindenden Material zu verfüllen sind, werden in der Unterlage [P 145] festgelegt. Nach diesen Kriterien werden in [P 145] 16 Bohrungen identifiziert, die verfüllt werden sollen. Von diesen Bohrungen befinden sich folgende 6 Bohrungen im barrierewirksamen Gebirgsbereich zwischen der Restgrube und dem Ostfeld:

- Bohrung I bis IV (entsprechen den Bohrungen RB001 bis RB004, vgl. Abb. 4-1),
- Kernbohrung 1951 und
- RB606.

Die übrigen 10 Bohrungen, die verfüllt werden sollen, befinden sich im barrierewirksamen Gebirgsbereich zwischen dem Südfeld und der Restgrube. Es handelt sich hierbei um die Bohrungen

- RB323,
- RB427 - RB429,
- RB434 - RB437,
- RB619 und
- UT 1/83.

Die anderen untätigen Bohrungen in den barrierewirksamen Gebirgsbereichen zwischen den ELB und der Restgrube sollen nicht verfüllt werden.

Zu den vorgesehenen Verfüllmaßnahmen wird in [P 145] ausgeführt:

- Die Bohrlochverfüllung soll mit Magnesiabinder erfolgen (Ausgangsporeabilität von ca. 10^{-17} m^2).
- „Die in Betracht kommenden Bohrungen haben unterschiedliche Durchmesser und Längen. Sowohl ansteigende wie auch einfallende Bohrungen sollen verfüllt werden. Einige der betrachteten Bohrungen sind schon vor 90 Jahren und mehr gestoßen worden. Über ihren Zustand liegen teilweise nur begrenzte Informationen vor, so dass davon ausgegangen werden muss, dass sich nicht alle Bohrungen auf ihrer gesamten Länge verfüllen lassen werden. Die Bohrungen können teilweise verbrochen sein oder Gesteinesteile enthalten. [...] Da der probabilistische Langzeitsicherheitsnachweis den Fall des frühzeitigen Versagens der Abdichtungen einschließt, muss im Einzelfall entschieden werden, ob bei derartigen Bohrungen nach Feststellung eines solchen Sachverhalts das Erfordernis einer gezielten Verfüllung in Teilbereichen oder einer Aufwältigung besteht.“
- Zur Bohrung RB606 wird angegeben, dass diese Bohrung verfüllt werden soll, da sie gasführend ist. Zudem wird die Verfüllung als aus langzeitsicherheitlichen Gesichtspunkten erforderlich bezeichnet, da die Möglichkeit besteht, dass durch die Bohrung ein Kluftsystem im Bereich der Abdichtungen des Einlagerungsbereichs Ostfeld aufgeschlossen wird.

Hinsichtlich der Umsetzung der Verfüllmaßnahmen wird auf die Unterlage ‚Systembeschreibung und Qualitätssicherungskonzept – Bohrlochverfüllung mit Magnesiabinder‘ [G 148] verwiesen. In [G 148] werden die Qualitätsanforderungen an das Verfüllmaterial und an die Verfüllung quanti-

fiziert. Konkrete bohrlochspezifische Angaben zur geplanten Verfüllung der Bohrungen, die gemäß [P 145] verfüllt werden sollen, sind weder in [P 145] noch in [G 148] enthalten.

Die vorgesehene Verfüllung von Bohrungen wurde in unserem 3. Zwischenbericht vom 28.02.2012 [BS 12] zum Prüfkomples 7 (Verfüllen und Verschließen von Strecken) bewertet. Dort identifizierten wir „potentiell langzeitsicherheitsrelevante Bohrungen“, die unter Langzeitsicherheitsaspekten von Bedeutung sein könnten. Diese Bohrungen sind dadurch charakterisiert, dass sie Anschluss an eine andere potentielle Wegsamkeit haben können, unabhängig davon, ob sie hierdurch Teil eines durchgängigen Fließpfads sind. Für eine Entscheidung über die Notwendigkeit einer Verfüllung ist in einem späteren Schritt zu prüfen, ob die in [BS 12] identifizierten potenziell relevanten Bohrungen Teil eines (heutigen oder künftigen) durchgängigen Fließpfads sein können.

Für die Ermittlung potenziell langzeitsicherheitsrelevanter Bohrungen verwenden wir die folgenden Kriterien K1 bis K6 aus [BS 12], wobei wir die Kriterien K4 und K5 gegenüber [BS 12] etwas einschränken:

(K1) Eine Bohrung ist potentiell langzeitsicherheitsrelevant, wenn

- sie eine Hauptanhydritscholle aufschließt und
- diese mit einer Abdichtung oder mit einem Grubenbau jenseits vorgesehener Abdichtungen (d. h. in einem durch Abdichtungen abzutrennenden Grubenteil) in Kontakt stehen könnte.

Durch dieses Kriterium soll die abschnittsweise oder vollständige Umströmung von Abdichtungen über die Bohrung und potentielle Wegsamkeiten in der aufgeschlossenen Hauptanhydritscholle ausgeschlossen werden.

(K2) Eine Bohrung ist potentiell langzeitsicherheitsrelevant, wenn

- ihr Bohransatzpunkt in einem ELB (Süd-, West- oder Ostfeld) liegt,
- sie ein Kalilager aufschließt und
- der durch die Bohrung aufgeschlossene Bereich des Kalilagers für Umlöseprozesse von der Restgrube aus zugänglich ist.

Durch dieses Kriterium soll die Umströmung von Abdichtungen über die Bohrung und Wegsamkeiten in einem nach dem Volllaufen der Restgrube durch Umlöseprozesse angegriffenen Kalilager ausgeschlossen werden.

(K3) Eine Bohrung ist potentiell langzeitsicherheitsrelevant, wenn

- ihr Bohransatzpunkt im Bereich eines vorgesehenen Abdichtungssegments liegt und
- ihr Winkel zur Strecke kleiner oder gleich einem Grenzwinkel α ist.

Nach [P 195] ist bei den meisten Abdichtungen vorgesehen, diese aus mehreren Abdichtungssegmenten zu errichten⁴. Die Abdichtungssegmente sollen Längen zwischen 15 m und

⁴ Lediglich die Streckenabdichtungen A08 und A11 sollen – aus Platzgründen – jeweils aus einem Abdichtelement mit einer Länge von 26 m bestehen.

30 m aufweisen. Zwischen den Abdichtsegmenten soll die Strecke „nicht qualifiziert“ verfüllt werden. Der Streckenabschnitt, in dem die verschiedenen Abdichtungssegmente und Verfüllsegmente errichtet werden sollen, wird von uns als Abdichtungsstandort bezeichnet.

Durch das Kriterium (K3) soll die Ausbildung einer Auflockerungszone im Nahfeld eines Abdichtungssegmentes verhindert werden. Jede Bohrung, deren Bohransatzpunkt im Bereich eines Abdichtungssegmentes liegt, kann hier zu einer lokalen Auflockerung des Gebirges führen. Das höchst mögliche Maß an Vorsorge würde bedeuten, alle Bohrungen im Bereich der Abdichtungssegmente zu verfüllen, was einem Grenzwinkel von 90° entspricht.

Die auflockernde Wirkung einer unverfüllten Bohrung auf das Gebirge in unmittelbarer Streckennähe ist umso größer, je geringer der Winkel zwischen der Bohrung und der Strecke ist. Sofern das vorsorgliche Verfüllen aller Bohrungen im Bereich der Abdichtungssegmente als unverhältnismäßig angesehen wird, sollte ein Grenzwinkel $\alpha < 90^\circ$ abgeleitet werden, für den die Ausbildung einer lokalen Auflockerungszone im streckennahen Gebirge ausgeschlossen werden kann, und es sollten alle Bohrungen verfüllt werden, deren Winkel zur Strecke kleiner als dieser Grenzwinkel α sind.

Die Verfüllung dieser Bohrungen erfolgt nicht zur hydraulischen Abdichtung einer bestehenden Wegsamkeit, sondern zur Beseitigung von Hohlraum in dem die Strecke unmittelbar umgebenden Gebirge zur Vermeidung der Ausbildung einer künftigen Wegsamkeit. An die Verfüllung der Bohrlöcher, die ausschließlich aufgrund des Kriteriums (K3) verfüllt werden, bestehen deshalb keine besonderen hydraulischen Anforderungen.

(K4) Eine Bohrung ist potentiell langzeitsicherheitsrelevant, wenn

- ihr Bohransatzpunkt im Bereich eines vorgesehenen Abdichtungsstandorts liegt,
- sie sich einer anderen Auffahrung (einschließlich den von dieser Auffahrung ausgehenden Bohrungen) auf weniger als 26 m nähert und
- beide Auffahrungen durch Abdichtungssegmente oder den barrierewirksamen Gebirgsbereich hydraulisch voneinander getrennt sein sollen⁵.

Durch dieses Kriterium soll eine abschnittsweise Umströmung einer Abdichtung über die Bohrung und die andere Auffahrung bzw. deren Auflockerungszone ausgeschlossen werden. Bei der Wahl des Abstandskriteriums orientieren wir uns an der Länge der kürzesten Abdichtung zwischen Südfeld und Restgrube, d. h. an der geringsten Mächtigkeit der geologischen Barriere zwischen diesen Grubenteilen.

Dem Kriterium liegt die Annahme zugrunde, dass eine geologische Barriere aus Salzgestein von 26 m ausreichend ist, um geologischen Unwägbarkeiten (z. B. Wegsamkeiten aufgrund alter Lösungs- und Gaseinschlüsse) sowie bergbaulich bedingten Veränderungen des Spannungszustands (die zu einer Verletzung des Dilatanzkriteriums oder des Fluidruckkriteriums führen können) ausreichend Rechnung zu tragen. Diese Annahme ist in einem späteren Schritt auf der Basis geomechanischer Modellrechnungen zu überprüfen.

⁵ Dieser Punkt wurde gegenüber [BS 12] ergänzt.

(K5) Eine Bohrung ist potentiell langzeitsicherheitsrelevant, wenn

- ihr Bohransatzpunkt im Bereich eines vorgesehenen Abdichtungsstandorts liegt,
- sie sich einer anderen Bohrung, die von dem gleichen vorgesehenen Abdichtungsstandort ausgeht, nähert, so dass ihr minimaler Abstand (signifikant) kürzer als der ihrer Bohransatzpunkte ist,
- dieser minimale Abstand weniger als 26 m beträgt und
- die Bohransatzpunkte durch ein Abdichtungssegment voneinander getrennt werden sollen⁵.

Durch dieses Kriterium soll eine abschnittsweise Umströmung der Abdichtung über die Bohrungen ausgeschlossen werden. Als Abstandskriterium wählen wir das gleiche wie bei Kriterium (K4).

(K6) Eine Bohrung ist potentiell langzeitsicherheitsrelevant, wenn

- ihr Bohransatzpunkt nicht im Bereich eines vorgesehenen Abdichtungsstandorts liegt und
- sie sich einer anderen Auffahrung (inkl. Bohrung), die in einem durch Abdichtungen abzutrennenden Grubenteil liegt, auf weniger als 26 m nähert.

Hierdurch soll die Ausbildung eines zu den Abdichtungen parallelen Fließwegs über die Bohrung und die andere Auffahrung bzw. deren Auflockerungszone ausgeschlossen werden. Bei der Wahl des Abstandskriteriums orientieren wir uns an der Länge der kürzesten Abdichtung zwischen Südfeld und Restgrube, d. h. an der geringsten Mächtigkeit der geologischen Barriere zwischen diesen Grubenteilen.

Wir kommen in [BS 12] zu 9 Empfehlungen und zu 11 Hinweisen, da die uns vorliegenden Informationen hinsichtlich der Identifizierung potentiell relevanter und damit zu verfüllender Bohrungen sowie hinsichtlich der Anforderungen an die Abdichtung der untertägigen Bohrungen zum Zeitpunkt der Berichterstellung von [BS 12] nicht ausreichen. Diesbezüglich sind unser Informationsstand und damit auch der Bewertungsstand unverändert. Die in [BS 12] ausgesprochenen Empfehlungen zu diesem Entscheidungsprozess gelten unverändert.

Im vorliegenden Bericht prüfen wir, ob die vorhandenen Bohrungen Teil einer potentiell langzeitsicherheitsrelevanten Wegsamkeit zwischen der Restgrube und den Einlagerungsbereichen Südfeld und Ostfeld sein könnten. Das Ergebnis dieser Betrachtungen sollte in den Entscheidungsprozess zur Notwendigkeit der Verfüllung untertägiger Bohrungen einbezogen werden.

3.6. Übertägige Bohrungen

In der Abbildung 3-1 sind alle uns bekannten übertägigen Bohrungen verzeichnet, die eine Endteufe von -140 mNN (d. h. dem generellen Niveau des Salzspiegels entsprechend) oder tiefer aufweisen. In den rot gekennzeichneten Bohrungen wurde Zechstein angetroffen, d. h. dass sie bis in den Salzstock reichen. In der Abbildung ist die Kontur des Grubengebäudes Bartensleben und Marie grau dargestellt. Es ist ersichtlich, dass im Bereich des Ostfelds keine Bohrung in den Salzstock eingedrungen ist.

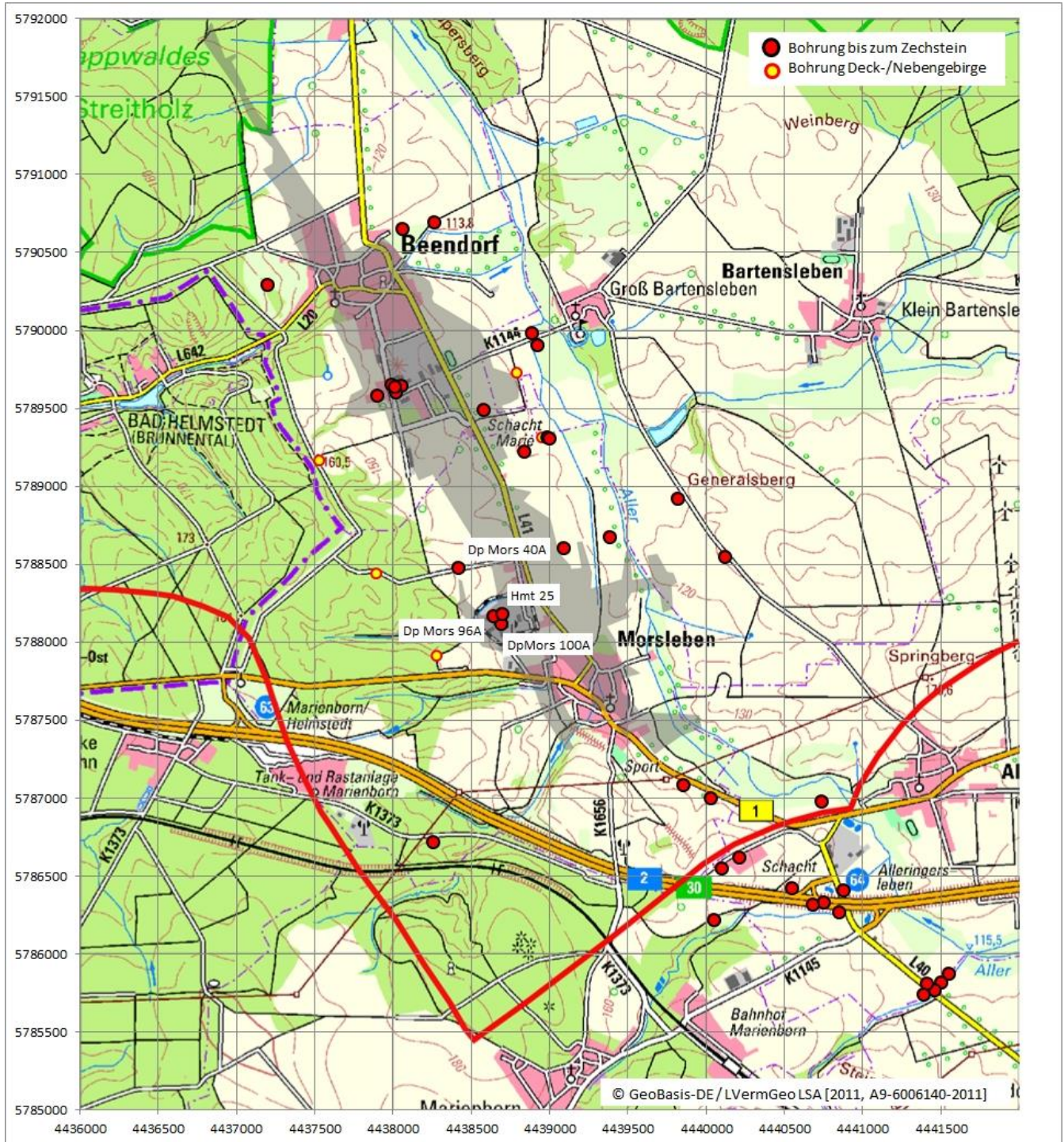


Abbildung 3-1: Übertägige Bohrungen mit Endteufen unterhalb -140 mNN

Im Bereich des West-Südfelds erschließen die 4 Bohrungen Dp Mors 40A, Dp Mors 96A, Dp Mors 100A und Hmt 25 den Salzstock. In Tabelle 3-1 sind die Endteufen dieser Bohrungen dargestellt. Die Bohrungen enden maximal 12 m unter dem Salzspiegel und damit weit über den Grubenbauen. Hinsichtlich der in diesem Gutachten untersuchten Trennung von Restgrube und ELB sind sie deshalb nicht von Relevanz. Bei der Analyse der Intaktheit der geologischen Barriere zwischen Südfeld und Salzspiegel (hinsichtlich des Fluidkriteriums) sind die Bohrungen jedoch zu beachten. Wir geben den Hinweis:

E 02: Zum Schutz des barrierewirksamen Gebirgsbereichs gegen Lösungseintritte und Auf-/Umlösevorgänge bzw. Hohlraumbildung sollten die im Bereich des ERAM in den Salzstock reichenden übertägigen Bohrungen abdichtend verfüllt werden, sofern sie noch nicht verfüllt wurden.

Tabelle 3-1: Bohrungen von über Tage in den barrierewirksamen Gebirgsbereich des Westfelds und des Südfelds.

| Bohrung | Endteufe | Zustand |
|--------------|-----------|-------------------------------------------|
| Dp Mors 40A | - 153 mNN | verfüllt; im Hutgestein Karst angetroffen |
| Dp Mors 96A | - 151 mNN | verfüllt; im Hutgestein Karst angetroffen |
| Dp Mors 100A | - 150 mNN | verfüllt; im Hutgestein Karst angetroffen |
| Hmt 25 | - 153 mNN | Zustand ist uns nicht bekannt |

4. ABGESCHLOSSENHEIT DES OSTFELDS VON DER RESTGRUBE

4.1. Übersicht

Die Gruben Hohlräume des Ostfeldes (Steinsalzabbau) befinden sich im Muldenkern der Ostmulde der Allertalstruktur (siehe Abbildungen 4-1 und 4-2). Das Ostfeld wurde über die Ostquerschläge der 2. und 4. Sohle erschlossen, die mit den Streckenabdichtungen der Abdichtungsstandorte A20 und A21 qualifiziert abgedichtet werden sollen. Die Abdichtungen sollen im Salzgestein (Standort A20) bzw. im Hauptanhydrit (Standort A21) der Ostmulde liegen (siehe Abbildung 4-1). In der Abbildung 4-3 sind die Gruben Hohlräume dieses Bereichs einschließlich der relevantesten Bohrungen (hervorgehoben) und der Abdichtungsstandorte A20 und A21 dargestellt. Im unteren Teil der Abbildung 4-3 ist die Verbreitung des Hauptanhydrits entlang von drei Profilschnitten eingeblendet um die räumliche Lage des Einlagerungsbereiches Ostfeld innerhalb des Hauptanhydrits zu verdeutlichen.

Mit den Streckenabdichtungen sollen die zwischen diesen Bereichen infolge Auffahrungen bestehenden Wegsamkeiten beseitigt werden. Die Wirksamkeit der Streckenabdichtungen ist Gegenstand des Prüfkomplexes 7. Im Rahmen des vorliegenden Berichts wird von einer ausreichenden Wirksamkeit der Streckenabdichtungen A20 und A21 ausgegangen, d. h. es erfolgen keine Betrachtungen zu potentiellen Wegsamkeiten durch diese Abdichtungen und über den Kontaktbereich der Abdichtungen mit dem umgebenden Gebirge.

In Kapitel 4.2 untersuchen wir, in welchem Umfang die Integrität des barrierewirksamen Gebirgsbereichs um das Ostfeld durch die bergbaulichen Tätigkeiten gestört ist. Hierbei legen wir das Dilatanz- und das Fluidkriterium zugrunde. In Kapitel 4.3 untersuchen wir, ob – unter Ausklammerung der Streckenauffahrungen – für das Ostfeld die Abgeschlossenheit gegenüber der Restgrube und der östlichen Flanke des Salzstocks nachgewiesen werden kann bzw. welche potentiellen durchgängigen Wasserwegsamkeiten nicht ausgeschlossen werden können. In Kapitel 4.4 untersuchen wir, ob die untertägigen Bohrungen im barrierewirksamen Gebirgsbereich Teil einer potentiellen durchgängigen Wasserwegsamkeit sein können.

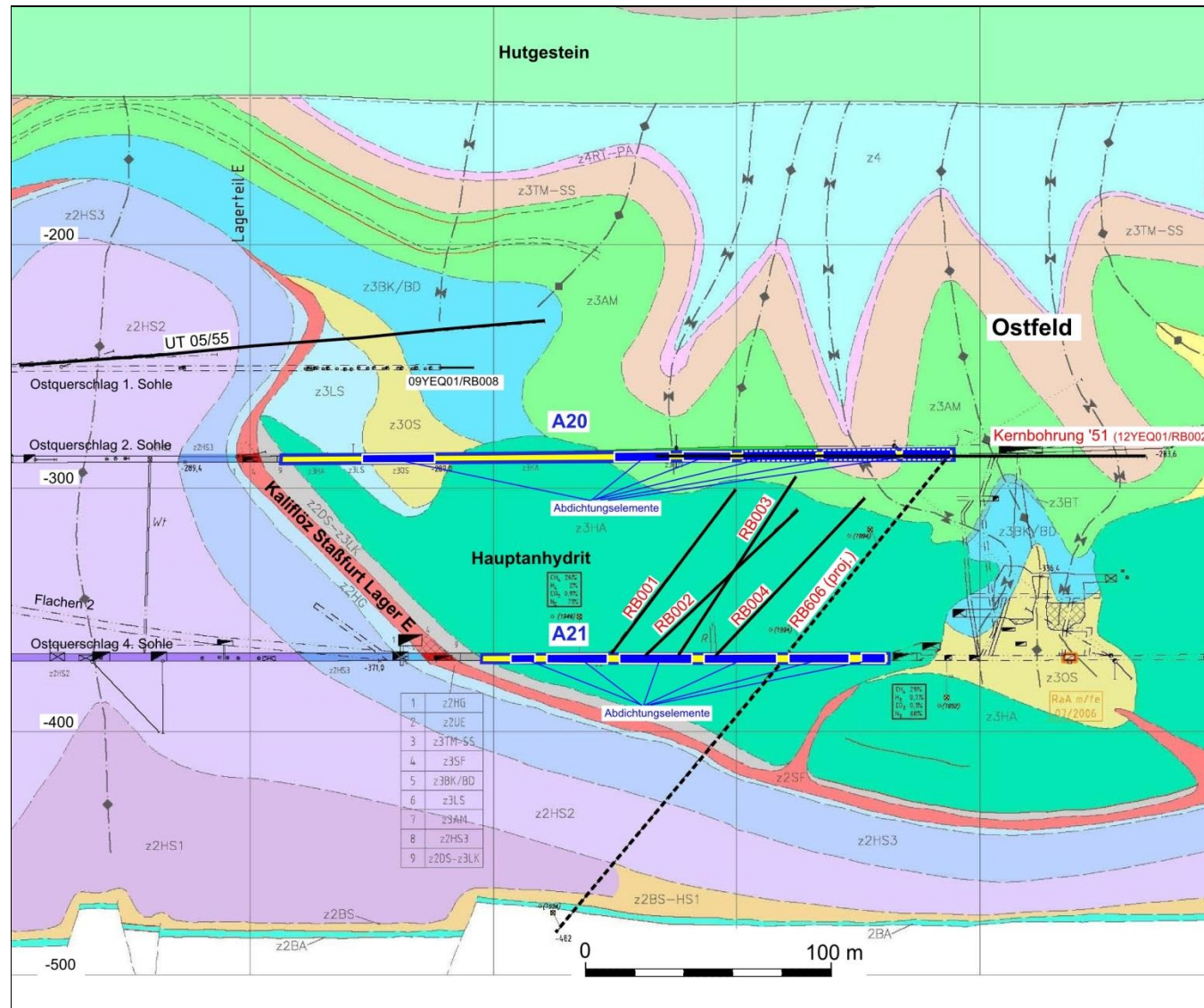


Abbildung 4-1: Bereich Kalilager E und Ostfeld, Geologischer Schnitt entlang der Ostquerschläge
(Ausschnitt aus dem Risswerk des ERAM, Geologischer Profilschnitt 3.1, ergänzt)

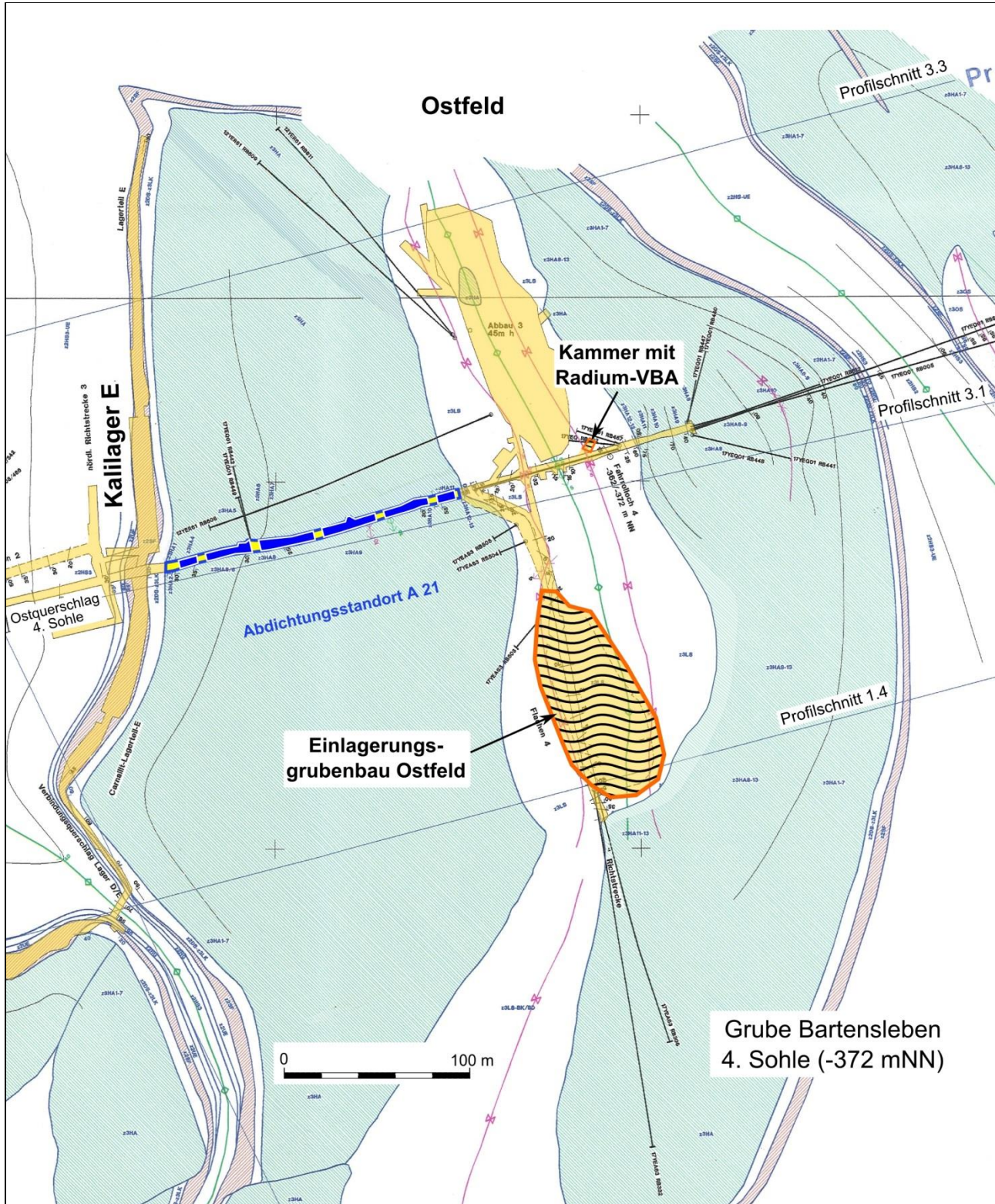


Abbildung 4-2: Geologische Verhältnisse in der Ostmulde; weiß: Steinsalz, blau schraffiert: Hauptanhydrit, rot schraffiert: Kalisalz (aus [P 44] und [P 61], ergänzt)

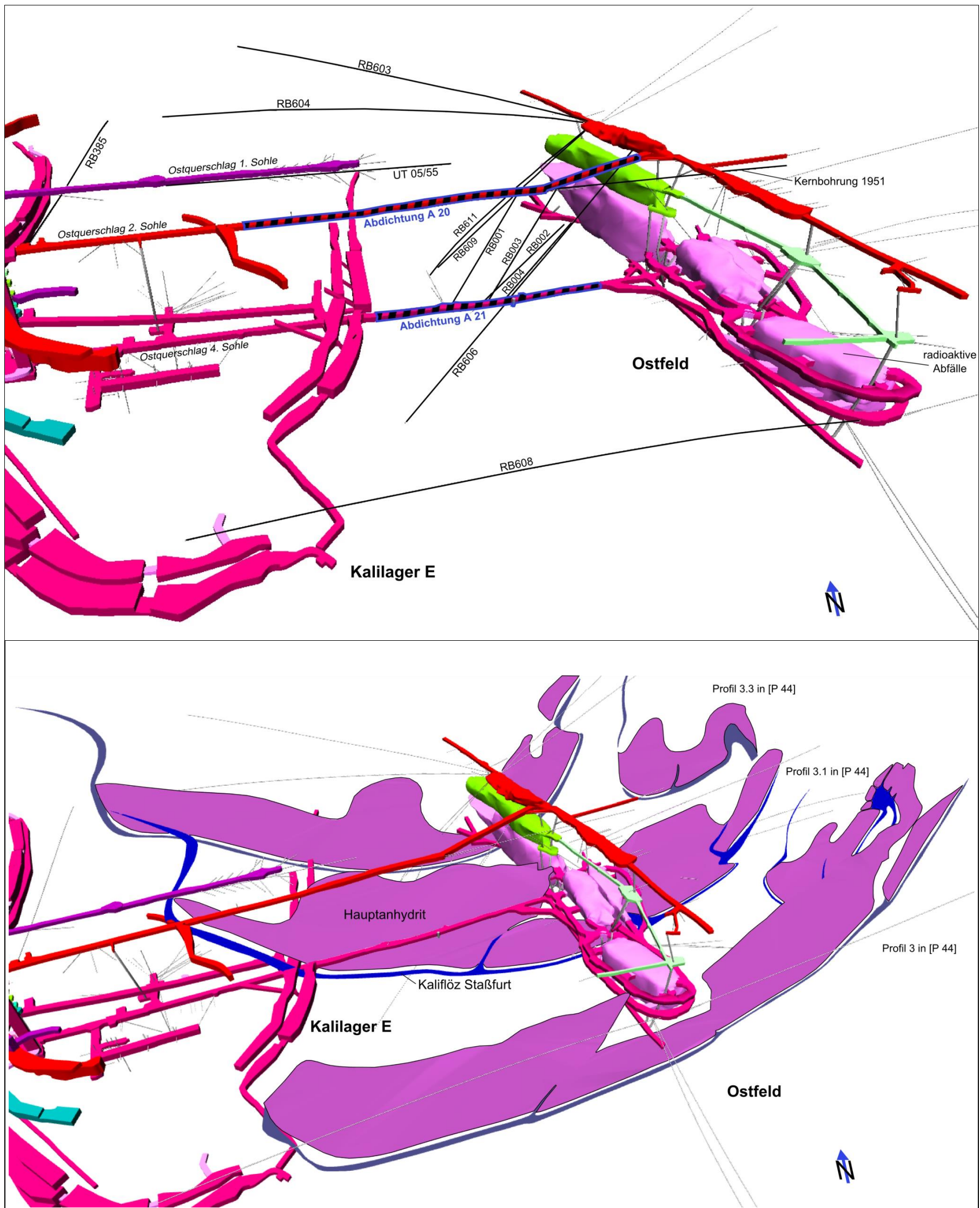


Abbildung 4-3: Räumliche Ansicht der Gruben Hohlräume und Bohrungen im Bereich Ostfeld (oben; Bohrungen in der Barriere zwischen Kalilager E und Ostfeld hervorgehoben) einschließlich schematischer Darstellung der Hauptanhydritschollen und Kalilager der Ostmulde (unten) (Ausschnitte aus [EramSIS], ergänzt)

4.2. Barrierenintegrität

In [P 99] werden die Ergebnisse 2-dimensionaler gebirgsmechanischer Berechnungen zu den Spannungsverhältnissen im Ostfeld (etwa) für die Jahre 2000 („nach 45 Jahren“) und 2055 („nach 100 Jahren“) angegeben. Hierbei wurde die beantragte Verfüllung des Ostfelds mit Salzbeton nicht berücksichtigt. In Abbildung 4-4 (oben) sind die Bereiche, in denen das Dilatanzkriterium im Jahr 2000 verletzt war, rot markiert. In Abbildung 4-4 (unten) sind die Bereiche, in denen das Fluidkriterium im Jahr 2000 verletzt war, gelb bis rot markiert. Es ist deutlich erkennbar, dass entsprechend dieser Berechnungen die schon heute aufgrund der Gebirgsspannungen potentiell geschädigte Zone nicht bis an den Hauptanhydrit heranreicht. Das Fluidkriterium ist jedoch schon heute praktisch im gesamten Salzgestein innerhalb der Hauptanhydritmulde verletzt.

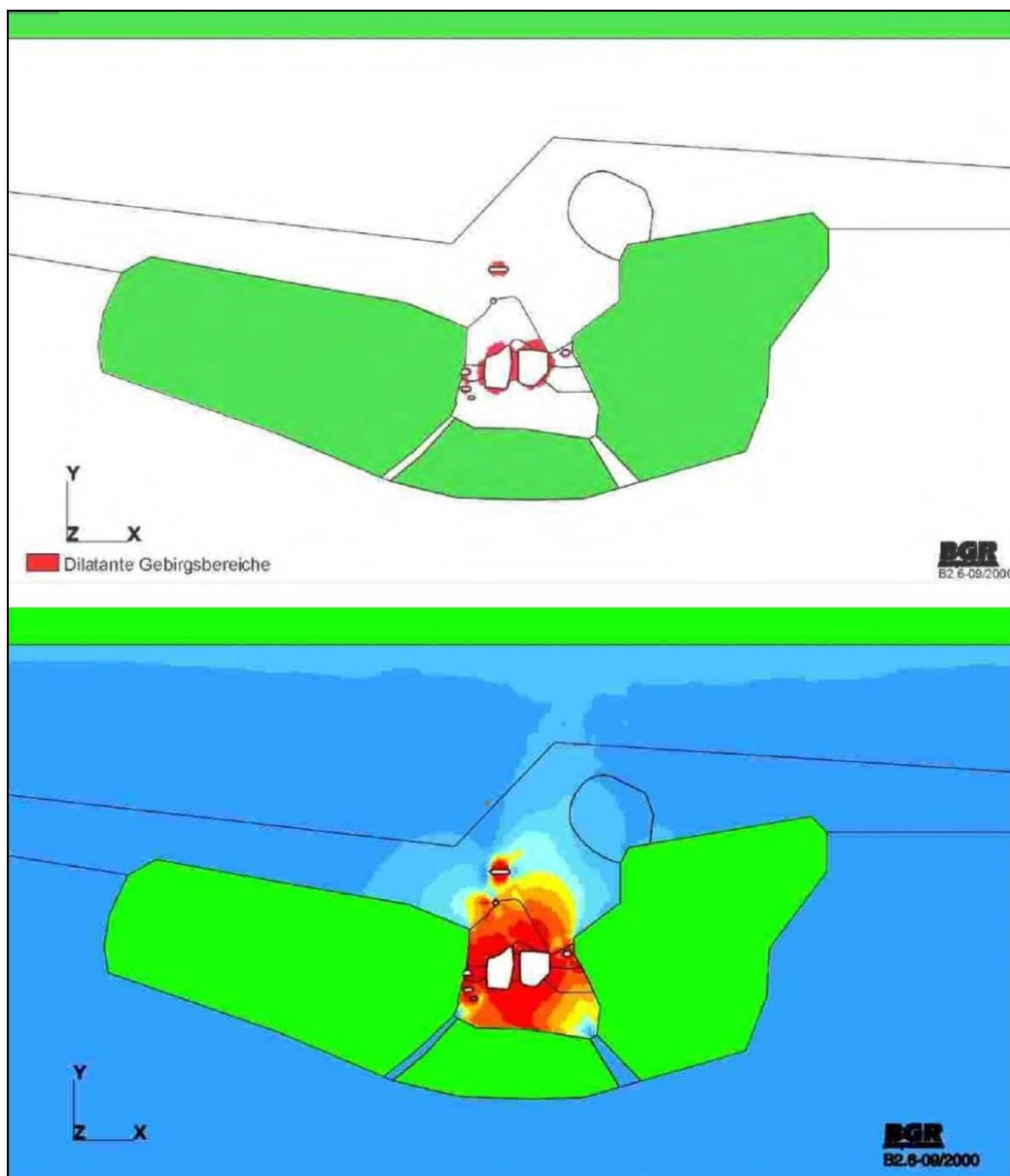


Abbildung 4-4: Spannungsverhältnisse im Ostfeld im Jahr 2000 (aus [P 99])

Zur Beurteilung der Barrierenintegrität im Bereich des Ostfeldes haben wir die Gutachter der TU Clausthal (TUC) hinzugezogen. Von diesen werden die vorgenannten Einschätzungen bestätigt und ergänzende Anmerkungen zu den Spannungsverhältnissen im Hauptanhydrit gegeben. Die Gutachter kommen in [TUC 12] zu folgenden Einschätzungen:

Auf Grundlage der Ausführungen im Bericht „Gebirgsmechanische Beurteilung der Integrität der Salzbarriere im Ostfeld der Grube Bartensleben“ [BGR 99] sowie eigener, im Rahmen des bergrechtlichen Verfahrens durchgeführter Berechnungen zur Standsicherheit der Abbaue des Ostfeldes (dokumentiert in [TUC 97]) kann eingeschätzt werden, dass nicht zu besorgen ist, dass das Dilatanz- und das Fluidkriterium für die hangende Salzbarriere im Bereich der Abbaue des Ostfeldes nicht eingehalten werden und dass die Integrität dieser Barriere nicht gegeben ist. Es wird eingeschätzt, dass sich die abbaunahen Steinsalzgebirgsbereiche, in denen die Integrität nicht rechnerisch nachgewiesen werden kann, sich nicht signifikant in lateraler Richtung über die abbauf flankierenden Anhydritschollen ausdehnen.

Gemäß der exemplarisch in Abbildung 4-5 dargestellten Auswertung zum Fluidkriterium in [BGR 99] reicht der Gebirgsbereich, für den die Einhaltung des Fluidkriterium nicht nachgewiesen werden kann (positiver Wert der Differenz zwischen Laugendruck und kleinster Hauptdruckspannung), bis an das Kalilager E heran.

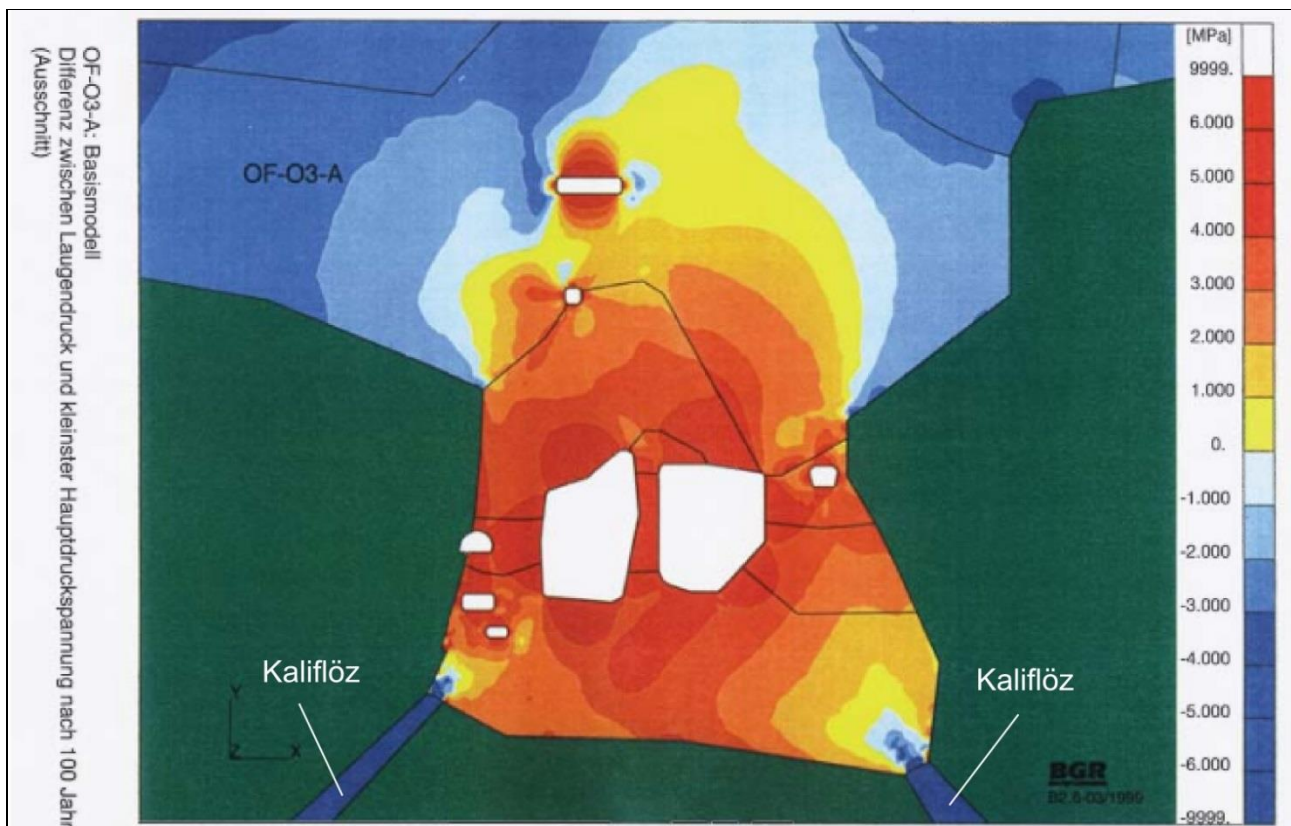


Abbildung 4-5: Auswertung Fluiddruckkriterium Ostfeld (aus [BGR 99])

Bezüglich der Einhaltung des Dilatanz- und/oder des Fluidkriteriums innerhalb der Anhydritschollen geben die beiden vorstehend genannten Berichte angesichts der ihnen zugrunde liegenden Fragestellungen keine explizite Aussage. Dessen ungeachtet kann aus dem Bericht [TUC 97] entnommen werden, dass bei sehr konservativem Ansatz der Kurzzeitbruchfestigkeit von Steinsalz für den Anhydrit ein maximaler Ausnutzungsgrad von ca. 60 % in den Anhydritschollen ausgewiesen wird. In Verbindung mit der allgemeinen Erfahrung, dass die Dilatanzfestigkeit elastischer Gesteine minimal etwa 80 - 90 % der Bruchfestigkeit beträgt, kann geschlossen werden, dass die Dilatanzfestigkeit in den Anhydritschollen nicht überschritten wird.

Bezüglich des Fluidkriteriums kann schließlich auf Grundlage der in den o. a. Berichten ausgewiesenen Minimalspannungen zumindest überschlägig eingeschätzt werden, dass die Einhaltung des Fluidkriteriums lediglich innerhalb einer lateral zu den Abbaustößen gemessenen Anhydritmächtigkeit von ca. 25 m nicht nachgewiesen werden kann. Damit wäre bei Ansatz eines in Analogie zum Salzgebirge als primär dicht unterstelltem Anhydrit auch das Fluidkriterium der lateralen Salinarbarriere eingehalten. Da jedoch unterstellt werden muss, dass der Anhydrit geklüftet ist und Wegsamkeiten im Anhydrit großräumig vernetzt sind, ist die vorstehende Anwendung des Fluidkriteriums auf die Anhydritschollen ausdrücklich nicht zulässig.

4.3. Analyse der Abgeschlossenheit

Aus den Abbildungen 4-1 und 4-2 geht unmittelbar hervor, dass das Kalilager E von Grubenbauen der Restgrube aufgeschlossen ist. Im Fall eines Volllaufens der Restgrube kann es deshalb zu einem Auf- und Umlösen dieses Kalilagers kommen. Entsprechend den Abbildungen liegt zwar zwischen dem Kalilager E und dem östlich davon gelagerten Hauptanhydrit in weiten Teilen eine Einschaltung der Schichtenfolge DGL; diese ist aber zum einen nicht durchgängig, zum anderen kann sie nicht als hydraulisch undurchlässig angesehen werden. Es ist deshalb im ungünstigen Fall zu unterstellen, dass die in der Restgrube anstehende Lösung großflächigen Kontakt mit dem Hauptanhydrit in der Ostmulde hat.

Für diesen unterstellen wir bei der Analyse entsprechend Kapitel 3.3 als ungünstiges Szenario, dass er ein durchgängiges Netzwerk an wasserwegsamem Klüften aufweisen kann, so dass ein Anstehen von Lösung am Kontaktbereich Hauptanhydrit-Steinsalz innerhalb der Mulde nicht ausgeschlossen werden kann. Als zusätzliche Wegsamkeiten innerhalb des Hauptanhydrits wirken die verschiedenen untertägigen Bohrungen, auf die wir in Kapitel 4.4.1 eingehen.

Aufgrund der schüsselartigen Lagerung des Hauptanhydrits und der carnallitischen Ausbildung des Kalisalzflözes Staßfurt kann nicht ausgeschlossen werden, dass letzteres nördlich des Ostfelds einen Ringschluss bildet (siehe Abbildung 4-2). Weiterhin ist offen, in welchem Umfang der Hauptanhydrit unterhalb der Abbaue des Ostfelds verbunden ist. Es ist deshalb nicht auszuschließen, dass es bei einer weitreichenden Vernetzung der Wegsamkeiten im Hauptanhydrit in Verbindung mit einer weitreichenden Auf-/Umlösung des Kalisalzflözes nicht nur zu einem Lösungszutritt aus westlicher Richtung, sondern auch aus anderen Richtungen in das Ostfeld kommen könnte, sofern dort wegsame Verbindungen zwischen Hauptanhydrit/Kaliflöz und den Grubenbauen des Ostfeldes bestehen. In diesem Fall wäre als barrierewirksamer Gebirgsbereich des Ostfeldes nicht nur der direkte Gebirgsbereich zwischen Ostfeld und Restgrube, sondern auch der

übrige das Ostfeld umgebende Gebirgsbereich anzusehen. Ob und mit welcher Wahrscheinlichkeit ein solcher Fall eintreten kann können wir derzeit nicht beurteilen:

- Es liegen uns keine ausreichenden Informationen über die geologischen Verhältnisse nördlich der Abbaue des Ostfeldes vor.
- Eine Analyse zur Reichweite von Auf- und Umlösungsprozessen im Kalisalz wird erst im Rahmen der weiteren Bewertungen erfolgen, so dass hier diesbezüglich von der extremen Annahme unbegrenzter Reichweite ausgegangen wird.

Wir halten die Wahrscheinlichkeit der Ausbildung eines Wasserwegs Restgrube – (umgelöstes) Kalilager – Hauptanhydrit bis in den Bereich östlich des Ostfelds für wesentlich geringer als bis in den Bereich westlich des Ostfelds. Aus diesem Grund differenzieren wir in Kapitel 4.4 bei der Analyse der untertägigen Bohrungen zwischen diesen Gebirgsbereichen.

Durch die beantragte Verfüllung des Grubenhohlräume des Ostfelds mit Salzbeton und das hier unterstellte Volllaufen der Restgrube verändern sich die Gebirgsspannungen in dem in den Hauptanhydrit eingebetteten Steinsalzvorkommen des Ostfelds, so dass die tatsächlichen Gebirgsspannungsverhältnisse von den in [P 99] unterstellten abweichen werden. Für diese Spannungsverhältnisse liegen uns jedoch keine Berechnungen hinsichtlich einer Verletzung von Dilatanz- und Fluidkriterium vor. Geht man hilfsweise von den in [P 99] dargestellten Verhältnissen aus, dann muss die Möglichkeit der Ausbildung von Wegsamkeiten innerhalb der Salzgesteine der Ostmulde aufgrund einer Verletzung des Fluidkriteriums unterstellt werden.

Im Ergebnis wäre die Abgeschlossenheit des Ostfelds nicht gegeben. Das BfS trägt diesem Sachverhalt in der LSA Rechnung, indem es eine entsprechende „Variante“ berücksichtigt (s. Kapitel 2).

4.4. Potentielle Wegsamkeiten über Bohrungen

4.4.1. Grubenbaue und Bohrungen zwischen der Restgrube und dem Ostfeld

4.4.1.1. Übersicht

Im Rahmen der Bewertung der vorgesehenen Verfüllung von Bohrungen identifizierten wir in [BS 12] im Bereich der Abdichtungen und ihrem näheren Umfeld diverse Bohrungen im barrierewirksamen Gebirgsbereich zwischen dem Zentralteil und dem Ostfeld. Im vorliegenden Gutachten gehen wir über diesen „Nahbereich“ der Abdichtungen hinaus und berücksichtigen alle Bohrungen, die im barrierewirksamen Gebirgsbereich liegen.

Bei der Analyse stellten wir fest, dass vom Südostfeld aus lange Bohrungen in östlicher Richtung und vom Ostfeld aus lange Bohrungen in südlicher Richtung bestehen, die im gleichen Hauptanhydritstrang enden (vgl. Abbildung 4-12). Die uns vorliegenden Informationen hinsichtlich der räumlichen Erstreckung dieses Hauptanhydritstrangs und der Fragestellungen, ob er zerblockt ist und ob hydraulische Verbindungen zwischen zerblockten Schollen bestehen, reichen nicht aus, um die Langzeitsicherheitsrelevanz dieser Bohrungen sicher ausschließen zu können. Damit besteht die Notwendigkeit, die Abgeschlossenheit des Ostfelds auch nach Süden hin zu überprüfen (vgl. Kapitel 4.4.1.4).

Zur Strukturierung der Prüfung unterteilen wir den barrierewirksamen Gebirgsbereich zwischen Ostfeld und Restgrube in drei Bereiche:

- Bereich (a)** Gebirgsbereich westlich des Ostfelds zwischen Kalilager E und dem Ostfeld,
- Bereich (b)** Gebirgsbereich östlich des Ostfelds, für den eine hydraulische Verbindung zur Restgrube zu prüfen ist, und
- Bereich (c)** Gebirgsbereich südlich des Ostfelds zwischen Ostfeld und Südostfeld.

Die Bereiche (a) bis (c) sind in der Abbildung 2-1 gekennzeichnet.

Da wir die Wahrscheinlichkeit der Ausbildung eines Wasserwegs Restgrube – (umgelöstes) Kalilager – Hauptanhydrit bis in den Bereich östlich des Ostfelds für wesentlich geringer halten als bis in den Bereich westlich des Ostfelds, untersuchen und bewerten wir die Bohrungen in den verschiedenen Bereichen separat.

Im Rahmen der Bewertung der vorgesehenen Verfüllung von Bohrungen identifizierten wir in [BS 12] diverse Bohrungen im barrierewirksamen Gebirgsbereich zwischen dem Zentralteil und dem Ostfeld (Gebirgsbereich (a)). In Abschnitt 3.1 des vorliegenden Berichts werden die Kriterien K1 bis K6 aufgeführt, mit denen wir potentiell langzeitsicherheitsrelevante Bohrungen identifizieren. Von den Bohrungen, die aus unserer Sicht mindestens eines dieser Kriterien erfüllen, sollen gemäß [P 145] nur die Bohrungen ‚Kernbohrung 1951‘ und RB606 im Bereich der Abdichtung A20 sowie die Bohrungen I bis IV im Bereich der Abdichtung A21 abgedichtet werden. Wir kommen in [BS 12] u. a. zu der Empfehlung, dass vom BfS für jeden Einzelfall begründet werden sollte, warum eine Bohrung, die eines der Kriterien K1 bis K6 erfüllt, nicht qualifiziert verfüllt werden muss. Diese Begründung liegt uns bislang nicht vor.

Im Folgenden werden die in [BS 12] dokumentierten Arbeiten fortgeführt, indem der insbesondere gemäß den Lokationsberichten zu den Abdichtungsstandorten fortgeschrittene Kenntnisstand zu den untätigen Bohrungen im Bereich der Abdichtungen berücksichtigt wird. Zu diesem Zweck wurden die untätigen Bohrungen im barrierewirksamen Gebirgsbereich zwischen dem Kalilager E und dem Ostfeld (Bereich (a), vgl. Abschnitt 4.3) systematisch zusammengestellt und unter Berücksichtigung der geologischen Verhältnisse untersucht, ob die Bohrungen Ursache oder Teil eines potentiellen Fließweges sind bzw. sein können. Das Ergebnis ist vorab in der Tabelle 4-1 zusammengestellt, in der Bohrungen in diesem Gebirgsbereich angegeben sind, die mindestens eines der Kriterien K1 bis K6, mit denen wir potentiell langzeitsicherheitsrelevante Bohrungen identifizieren, erfüllen. Die Angaben hinsichtlich des Kriteriums 3 sind dabei als beispielhaft zu verstehen, es wird hier ein Grenzwinkel α von 45° unterstellt. Das Einklammern der Kriterien K3 bis K5 bei den Bohrungen 17YEQ01/RB009 bis RB012 bedeutet, dass diese – derzeit noch nicht aufgefundenen – Bohrungen ggf. auch diesen Kriterien genügen werden. Wir geben in diesem Zusammenhang die Empfehlung:

E 03: Zur Minimierung des Hohlraums im Umfeld der Abdichtungen empfehlen wir, für das Kriterium K3 einen Grenzwinkel von 90° zu wählen und alle Bohrungen (auch z. B. Ankerbohrungen), deren Ansatzpunkte sich im Bereich eines Abdichtungssegmentes befinden, zu verfüllen.

Sofern wir die Wahrscheinlichkeit, dass mit einer Bohrung eine zusätzliche langzeitsicherheitsrelevante Wegsamkeit verbunden sein könnte, als vergleichsweise hoch einschätzen, weisen wir in den nachfolgenden Abschnitten auf diesen Sachverhalt hin und empfehlen in diesen Fällen den qualifizierten Verschluss der Bohrung. Für alle anderen potentiell relevanten Bohrungen, die mindestens eines der Kriterien K1 bis K6 erfüllen, gilt unsere Empfehlung aus [BS 12] fort, dass vom BfS begründet werden sollte, weshalb für jeden Einzelfall eine qualifizierte Verfüllung nicht erforderlich ist.

H 01: Es gilt weiterhin die von uns in [BS 12] ausgesprochene Empfehlung, dass für jede Bohrung, die nach den Kriterien K1 bis K6 als potentiell langzeitsicherheitsrelevant einzustufen ist und nicht qualifiziert verfüllt werden soll, vom BfS begründet werden sollte, weshalb für den jeweiligen Einzelfall eine qualifizierte Verfüllung als nicht erforderlich angesehen wird.

Sofern es entsprechend Kapitel 4.3 zu einem Lösen des Kalilagers bis in den Bereich östlich des Ostfelds kommt oder sofern der östlich des Ostfelds gelegene Hauptanhydrit in Kontakt mit dem Hauptanhydrit zwischen der Restgrube und dem Ostfeld steht, müssten auch das Kalilager und der Hauptanhydrit östlich des Ostfelds als potentielle Lösungswege angesehen werden (Gebirgsbereich (b) in Abbildung 2-1). In diesem Fall wären die Bohrungen vom Ostfeld aus in östliche und südliche Richtung ebenfalls potentiell langzeitsicherheitsrelevant, sofern sie in das Kalilager bzw. den Hauptanhydrit reichen und damit die Bedingungen K2 bzw. K 1 erfüllen. Die uns vorliegenden Informationen reichen nicht aus, die Möglichkeit und Wahrscheinlichkeit solcher Verhältnisse zu beurteilen. Der Vollständigkeit halber beziehen wir auch die vom Ostfeld aus in östliche und südliche Richtungen gestoßenen Bohrungen in die Betrachtungen ein und betrachten diese Bohrungen unter der Annahme, dass das o. g. Szenario im Rahmen der weiteren Bewertungen im Planfeststellungsverfahren nicht begründet ausgeschlossen werden kann. Die unter diesem Vorbehalt als potentiell langzeitsicherheitsrelevant identifizierten Bohrungen sind in der Tabelle 4-2 zusammengestellt.

Weitere Ungewissheiten bestehen hinsichtlich der räumlichen Erstreckung von Kalisalzflözen und Hauptanhydritsträngen südlich des Ostfeldes (Bereich (c)) sowie der hydraulischen Verhältnisse in und zwischen den Strängen. Die im Lagerstättenmodell [P 44] dargestellten geologischen Verhältnisse dieses Bereichs lassen sich aus den uns zur Verfügung stehenden Informationen – wie z. B. aus den Schichtenverzeichnissen der dort gestoßenen Bohrungen – nur zum Teil nachvollziehen. In diesen Bereich wurden vom Südostfeld aus und vom Südbereich des Ostfeldes aus lange Bohrungen gestoßen. Mit der uns zur Verfügung stehenden Informationsbasis ist nicht einschätzbar, ob es über diese Bohrungen sowie über Wegsamkeiten im Hauptanhydrit zu einem vom Südostfeld ausgehenden Lösungszutritt zu den Grubenbauen des Ostfeldes kommen könnte. Wir beziehen auch diese Bohrungen der Vollständigkeit halber in unsere Betrachtungen ein. Sie sind in der Tabelle 4-3 aufgeführt.

Wir geben folgende Empfehlung:

E 04: Durch geologische Sachverständige (IHU Stendal und/oder LAGB) sollte beurteilt werden, ob mittels Bohrungen, die vom Südostfeld und vom Ostfeld aus in die Bereiche (b) und (c) gestoßen wurden, hydraulische Verbindungen zwischen der Restgrube und den Grubenhohlräumen des Ostfeldes zustande kommen könnten. Erst im Ergebnis dieser Beurteilung kann u. E. eine Entscheidung erfolgen, wie mit den in den Tabellen 4-2 und 4-3 aufgeführten Bohrungen im Rahmen der Stilllegung umzugehen ist.

Tabelle 4-1: Potentiell langzeitsicherheitsrelevante Bohrungen im barrierewirksamen Gebirgsbereich zwischen Restgrube und Ostfeld (Bereich (a)).

| Niveau | Bohrung | Verfüllung gem. [P 145] | erfüllte Kriterien | Bemerkungen |
|-------------|---------------------------------------------|----------------------------|-----------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. Sohle | 12YER61/RB603 | -- | K1, K2 | Hauptanhydrit und Kalilager E erbohrt |
| 2. Sohle | 12YEQ01/RA519 bis RA522 | -- | K4 | Abstand < 26 m zu Auffahrungen im Ostfeld oder zu RB606 (Bohrlänge allerdings nur $\leq 2,1$ m) |
| | 12YEQ01/RB002 ,Kernbohrgr. 1951‘ | ja | K3, K4 | Winkel < 45° und Abstand < 26 m zu Auffahrungen im Ostfeld |
| | 12YER61/RB606 | ja | K1, K2 | erschließt Hauptanhydrit und Kaliflöz Staßfurt |
| | 12YER61/RB604 | -- | K1 | Hauptanhydrit erbohrt, endet in DGL nahe Lager E |
| | 12YEQ01/RB385 | -- | K1 | Hauptanhydrit und Kalilager E erbohrt |
| | 12YER61/RB609 | -- | K1 | Hauptanhydrit erbohrt |
| | 12YER61/RB611 | -- | K1 | vmtl. Hauptanhydrit erbohrt |
| 3. Sohle | 12YEA61/RB608 | -- | K1 | Hauptanhydrit erbohrt |
| | 17YEQ01/RB006 = UT 1/55 | -- | K1 | Hauptanhydrit erbohrt |
| 4. Sohle | Bohrung I = 17YEQ01/RB001 | ja | K1 | Hauptanhydrit erbohrt; nähert sich zudem dem Abdichtungsstandort A20 an |
| | Bohrung II = 17YEQ01/RB002 | ja | K1 | Hauptanhydrit erbohrt; nähert sich zudem dem Abdichtungsstandort A20 an |
| | Bohrung III = 17YEQ01/RB003 | ja | K1 | Hauptanhydrit erbohrt; nähert sich zudem dem Abdichtungsstandort A20 an |
| | Bohrung IV = 17YEQ01/RB004 | ja | K1 | Hauptanhydrit erbohrt; nähert sich zudem dem Abdichtungsstandort A20 an |
| | 17YEQ01/RB041 | -- | K1, K3 | Winkel < 45° und Hauptanhydrit erbohrt |
| | 17YEQ01/RB442 | -- | K1 | Hauptanhydrit erbohrt |
| | 17YEQ01/RB449 | -- | K1 | Hauptanhydrit erbohrt |
| | 17YEQ01/RB520 und RB521 | -- | K1 | Hauptanhydrit erbohrt (Bohrlänge allerdings nur 0,5 m) |
| | 17YEQ01/RA426 bis RA429 | -- | K1 | Hauptanhydrit erbohrt (Bohrlänge allerdings nur 0,5 m) |
| | 17YEQ01/RB009 bis RB012 | -- | K1 (ggf. K3 - K5) | (noch nicht aufgefunden, weitere Untersuchungen folgen) |
| | 17YEA63/RB502 | -- | K1 | Hauptanhydrit erbohrt |
| | 17YEA63/RB504 | -- | K1 | Hauptanhydrit erbohrt |
| | 17YEA63/RB505 | -- | K1 | Hauptanhydrit erbohrt |

Tabelle 4-2: Vom Ostfeld aus in östliche und südliche Richtung gestoßene Bohrungen, die Hauptanhydrit oder/und Kalisalz aufschließen (Bereich (b))

| Niveau | Bohrung | Verfüllung gem. [P 145] | erfüllte Kriterien | Bemerkungen |
|----------|---------------------------------------|----------------------------|-----------------------|------------------------------------|
| 1. Sohle | 12YER61/RB601 | -- | K1, K2 | Hauptanhydrit und Kaliflöz erbohrt |
| | 12YER61/RB602 | -- | K1, K2 | Hauptanhydrit und Kaliflöz erbohrt |
| 2. Sohle | 12YER62/RB626 | -- | K1, K2 | Hauptanhydrit und Kaliflöz erbohrt |
| 3. Sohle | 17YEA63/RB607 | -- | K1, K2 | Hauptanhydrit und Kaliflöz erbohrt |
| | 17YEA63/RB010 | -- | K1 | Hauptanhydrit erbohrt |
| | 17YEA63/RB011 | -- | K1 | Hauptanhydrit erbohrt |
| | 17YEA63/RB506 | -- | K1 | Hauptanhydrit erbohrt |
| | 17YEA63/RB507 | -- | K1 | Hauptanhydrit erbohrt |
| | 17YEA63/RB508 | -- | K1 | Hauptanhydrit erbohrt |
| | 16YEA62/RB753 | -- | K1 | Hauptanhydrit erbohrt |
| 4. Sohle | 17YEA62/RB001 | -- | K1 | Hauptanhydrit erbohrt |
| | 17YEA63/RB306 | -- | K1 | Hauptanhydrit erbohrt |
| | 17YEA63/RB332 | -- | K1 | Hauptanhydrit erbohrt |
| | 17YEQ01/RB440 | -- | K1 | Hauptanhydrit erbohrt |
| | 17YEQ01/RB441 | -- | K1 | Hauptanhydrit erbohrt |
| | 17YEQ01/RB447 | -- | K1 | Hauptanhydrit erbohrt |
| | 17YEQ01/RB448 | -- | K1 | Hauptanhydrit erbohrt |
| | 17YEQ01/RB612 | -- | K1 | Hauptanhydrit erbohrt |
| | 17YEQ01/RB005 = „Kernbohrung 1949“ | -- | K1, K2 | Hauptanhydrit und Kaliflöz erbohrt |
| | 17YEQ01/RB613 | -- | K1, K2 | Hauptanhydrit und Kaliflöz erbohrt |

Tabelle 4-3: Vom Südostfeld aus gestoßene Bohrungen im Fernbereich südlich des Ostfelds, die Hauptanhydrit aufschließen (Bereich (c))

| Niveau | Bohrung | Verfüllung gem. [P 145] | erfüllte Kriterien | Bemerkungen |
|----------|--------------------------------|----------------------------|-----------------------|-----------------------|
| 2. Sohle | 12YER52/RB001 = UT III/55 | -- | K1 | Hauptanhydrit erbohrt |
| 3. Sohle | 12YER52/RB002 = UT 4/55 | -- | K1 | Hauptanhydrit erbohrt |
| | 15YER51/RB004 = UT II/59 | -- | K1 | Hauptanhydrit erbohrt |
| | 15YER51/RB001 = UT V/60 | -- | K1 | Hauptanhydrit erbohrt |
| | 15YER51/RB002 = UT VI A/60 | -- | K1 | Hauptanhydrit erbohrt |
| 4. Sohle | 17YEA52/RB001 = UT I/58-59 | -- | K1 | Hauptanhydrit erbohrt |
| | 17YEA52/RB002 = UT I/51 | | K1 | Hauptanhydrit erbohrt |
| | 17YER51/RB001 = UT VII A/60 | | K1 | Hauptanhydrit erbohrt |

Da aufgrund der o. g. Sachverhalte ohnehin eine Betrachtung der gesamten Umgebung des Ostfelds notwendig ist, erfolgt in Abschnitt 4.4.2 für das Ostfeld – über die Aufgabenstellung dieses Berichtes hinaus – auch eine Betrachtung hinsichtlich eventueller Wegsamkeiten über Bohrungen zwischen dem Ostfeld und der östlichen Flanke der Salzstruktur.

In den Abbildungen 4-6 bis 4-15 sind geologische Sohlenrisse der 1. bis 4. Sohle Bartensleben sowie geologische Profilschnitte für den Bereich der geologischen Barriere zwischen der Restgrube und dem Ostfeld dargestellt. Die Darstellung der geologischen Verhältnisse basiert auf dem geologischen Lagerstättenmodell in [P 44] unter Berücksichtigung der Anhänge 1 [P 47] und 3 [P 61] zum Lagerstättenmodell. Mit diesen Anhängen erfolgten Neubewertungen zu den geologischen Verhältnissen im Bereich des Ostfeldes, die infolge der Ergebnisse der Bohrungen RB385 und RB606 sowie aufgrund von neuen Streckenaufschlüssen (Flachen 4a, 4b und 4c, Abbau 1 der 2. Sohle) und Neukartierungen erforderlich waren.

In den Abbildungen sind

- die Verbreitung von Hauptanhydrit (grün bzw. grün schraffiert) und Kalisalzlagern (rot),
- die dort vorhandenen Bohrungen (potentiell relevante Bohrungen gemäß Tabellen 4-1 bis 4-3 sind mit roter Schrift bezeichnet),
- die Grubenbaue der jeweiligen Sohle (gelb hinterlegt) sowie
- die vorgesehenen Abdichtungsstandorte A20 und A21 (gelb, blau umrandet) einschließlich der gemäß den Lokationsberichten vorgesehenen Abdichtungssegmente (blau, weiß umrandet) verzeichnet.

Die Sohlenrisse beziehen sich jeweils auf das Niveau der dargestellten Hauptsohle, d. h. dass die in hangenden und liegenden Zwischensohlen existierenden Bohrungen auf die Hauptsohlen projiziert wurden. Soweit sich Schrägbohrungen außerhalb des Niveaus der jeweiligen Sohle bzw. außerhalb der Darstellungsfläche befinden, ist ihre Spur gestrichelt dargestellt.

4.4.1.2. 1. Sohle (-253 mNN)

Bereich (a)

Auf der 1. Sohle befinden sich Grubenbaue weder im Kalilager E noch im Bereich des Ostfelds. Allerdings stellt die Bohrung **RB603** eine Wegsamkeit zwischen dem Kalilager E und den Grubenhöhlräumen der 2. Sohle des Ostfeldes dar (vgl. Abbildung 4-6). Unter Berücksichtigung der Möglichkeit einer Auf-/Umlösung des Kalilagers E sehen wir diese Bohrung als langzeitsicherheitsrelevant an und kommen zu der Empfehlung:

E 05: Wir empfehlen, die Bohrung 12YER61/RB603 als langzeitsicherheitsrelevant einzustufen und qualifiziert zu verfüllen.

Mit der in der Achse des Ostquerschlag 1. Sohle verlaufenden Bohrung **UT V/55** wurde kein Hauptanhydrit erbohrt. Der Abstand zwischen dem Endpunkt der Bohrung und den Grubenbauen des Ostfelds beträgt mehr als 160 m. Der vertikale Abstand zwischen dem Endpunkt und der Oberkante des Hauptanhydrits zwischen Restgrube und Ostfeld beträgt ca. 30 m (vgl. Profildarstellung in Abbildung 4-14). Die Bohrung ist u. E. nicht langzeitsicherheitsrelevant.

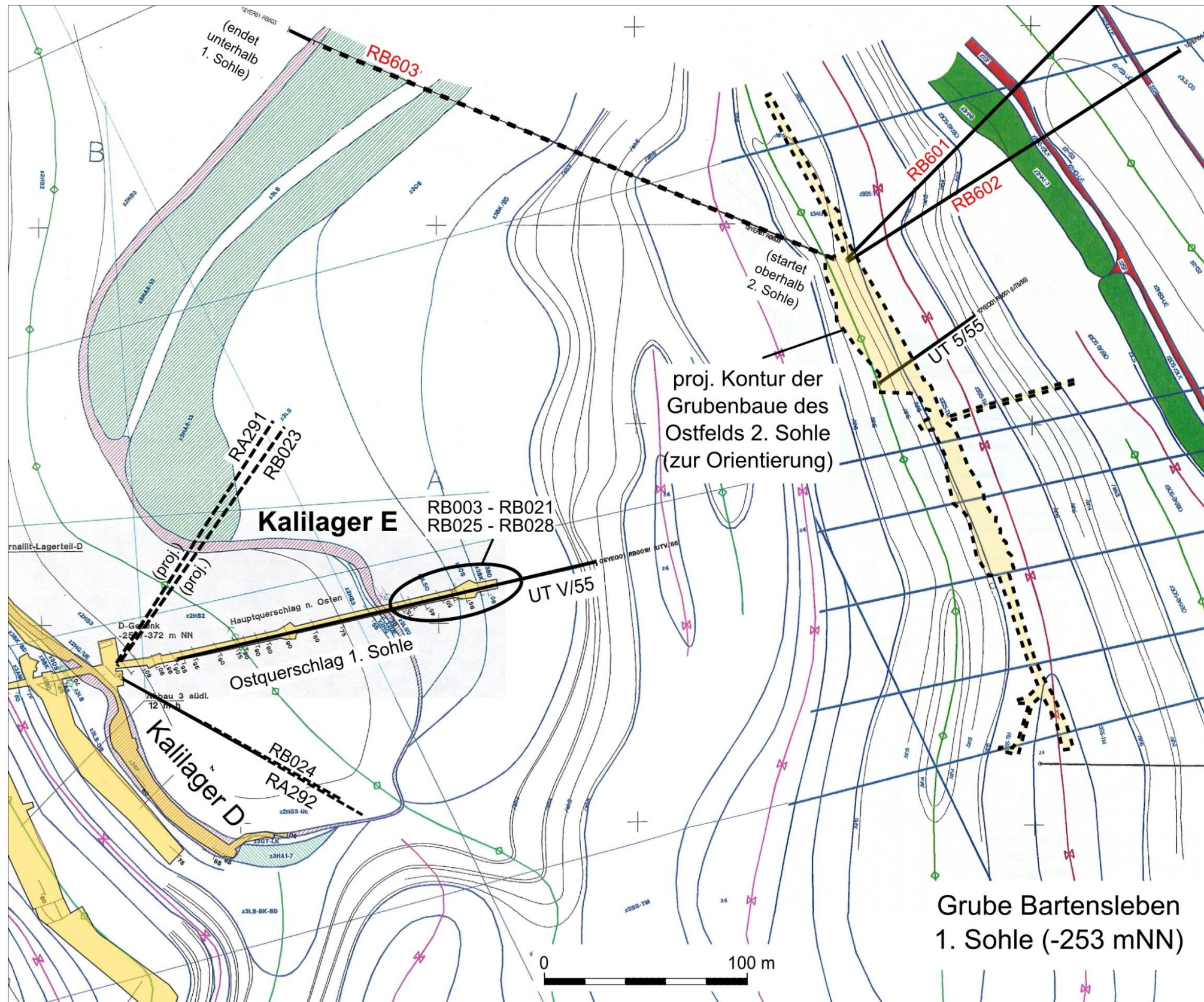


Abbildung 4-6: Geologischer Sohlenriss im Niveau der 1. Sohle Bartensleben, Kalilager E/Ostfeld (aus [P 44], [P 47] und [P 61], ergänzt)

Die etwa parallel und leicht ansteigend verlaufenden Bohrungen **RA291** und **RB023** wurden oberhalb des Niveaus der 1. Sohle gestoßen und sind daher in der Abbildung 4-6 projiziert dargestellt. Anders als aus der Abbildung zu erwarten wäre wurde mit diesen Bohrungen in diesem Niveau kein Hauptanhydrit mehr angetroffen. Letzteres gilt auch für die Bohrungen **RA292** und **RB024**⁶. Diese Bohrungen sind u. E. nicht langzeitsicherheitsrelevant.

Im Ostquerschlag 1. Sohle wurden im östlichsten Abschnitt zwischen Kalilager E und dem Streckenende zahlreiche kurze Bohrungen im Salzgestein gestoßen (**09YEQ01/RB003 - RB021** und **RB025 - RB028**), die in der Abbildung 4-6 nur als Bereich dargestellt sind. Diese Bohrungen sind u. E. nicht langzeitsicherheitsrelevant.

Bereich (b)

Im Bereich des Ostfeldes wurden die langen Bohrungen **RB601** und **RB602** in Richtung Nordost gestoßen, die den Hauptanhydrit und das Kaliflöz Staßfurt antrafen. Da im Fall eines Volllaufens der Restgrube eine weitreichende Aufsättigung des Hauptanhydrits und eine weitreichende Auf-/Umlösung des Kaliflözes u. E. nicht ausgeschlossen werden können, stellen diese Bohrungen potentielle langzeitsicherheitsrelevante Wegsamkeiten zwischen Hauptanhydrit/Kalisalzflöz und den Grubenbauen des Ostfeldes dar.

Mit der Bohrung **UT 5/55** im Ostfeld wurden weder Hauptanhydrit noch Kalisalz erbohrt. Diese Bohrung ist u. E. nicht langzeitsicherheitsrelevant.

4.4.1.3. 2. Sohle (-291 mNN)

Bereich (a)

Auf der zweiten Sohle befinden sich Gruben Hohlräume sowohl im Bereich Lager E als auch im Ostfeld. Der geringste horizontale Abstand zwischen den Grubenbauen im Kalilager E und im Ostfeld beträgt nach den uns vorliegenden Informationen ca. 282 m. Dieser Wert gilt auch für den geringsten horizontalen Abstand zwischen dem Kalilager E und den Grubenbauen des Ostfeldes (nördlich und südlich des Ostquerschlags 2. Sohle, vgl. Abbildung 4-7).

Der barrierewirksame Gebirgsbereich zwischen Restgrube und Ostfeld wurde im Niveau der zweiten Sohle mit diversen Bohrungen durchstoßen. Die Verbindung von Ostfeld und Lager E über die Bohrung **RB603** wurde bereits in Abschnitt 4.4.1.1 genannt. Zudem durchdringt die vom Ostfeld aus gestoßene Bohrung **RB604** den nördlich des Ostquerschlags vorhandenen Hauptanhydrit und endet in der dem Kalilager E benachbarten Schichtenfolge DGL (vgl. Abbildung 4-7). In diesem Niveau wurde vom Ostquerschlag aus die Bohrung **RB385** gestoßen, die den Hauptanhydrit und das Kalilager E ebenfalls durchdringt. Über diese potentiellen Wegsamkeiten besteht nördlich des Ostquerschlags die Möglichkeit einer wegsamen Verbindung zwischen dem Ostquerschlag und den Grubenbauen des Ostfeldes 2. Sohle. Aus unserer Sicht sind die Bohrungen **RB604** und **RB385** langzeitsicherheitsrelevant, so dass wir zu folgender Empfehlung kommen:

E 06: Wir empfehlen, die Bohrungen 12YER61/RB604 und 12YEQ01/RB385 als langzeitsicherheitsrelevant einzustufen und qualifiziert zu verfüllen.

⁶ Schichtenverzeichnisse liegen uns nur zur Bohrung **RA291** und **RA292** vor. Da die Bohrungspare jeweils nahezu parallel verlaufen, gehen wir für die Bohrungen **RB023** und **RB024** von der gleichen Schichtenfolge wie für **RA291** bzw. **RA292** aus.

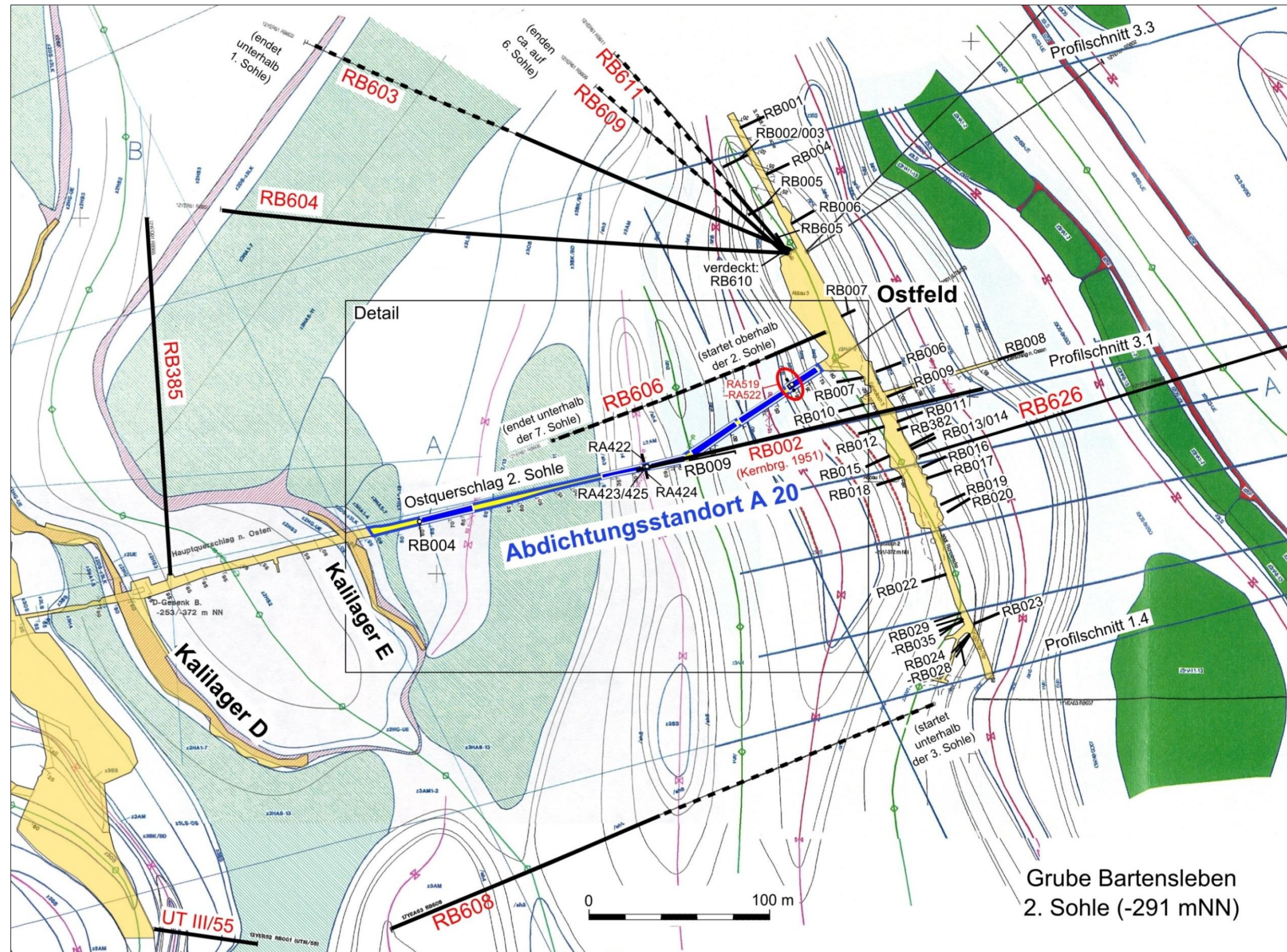


Abbildung 4-7: Geologischer Sohlenriss im Niveau der 2. Sohle Bartensleben, Kalilager E/Ostfeld (aus [P 44], [P 47] und [P 61], ergänzt; Detaildarstellung in Abbildung. 4-8)

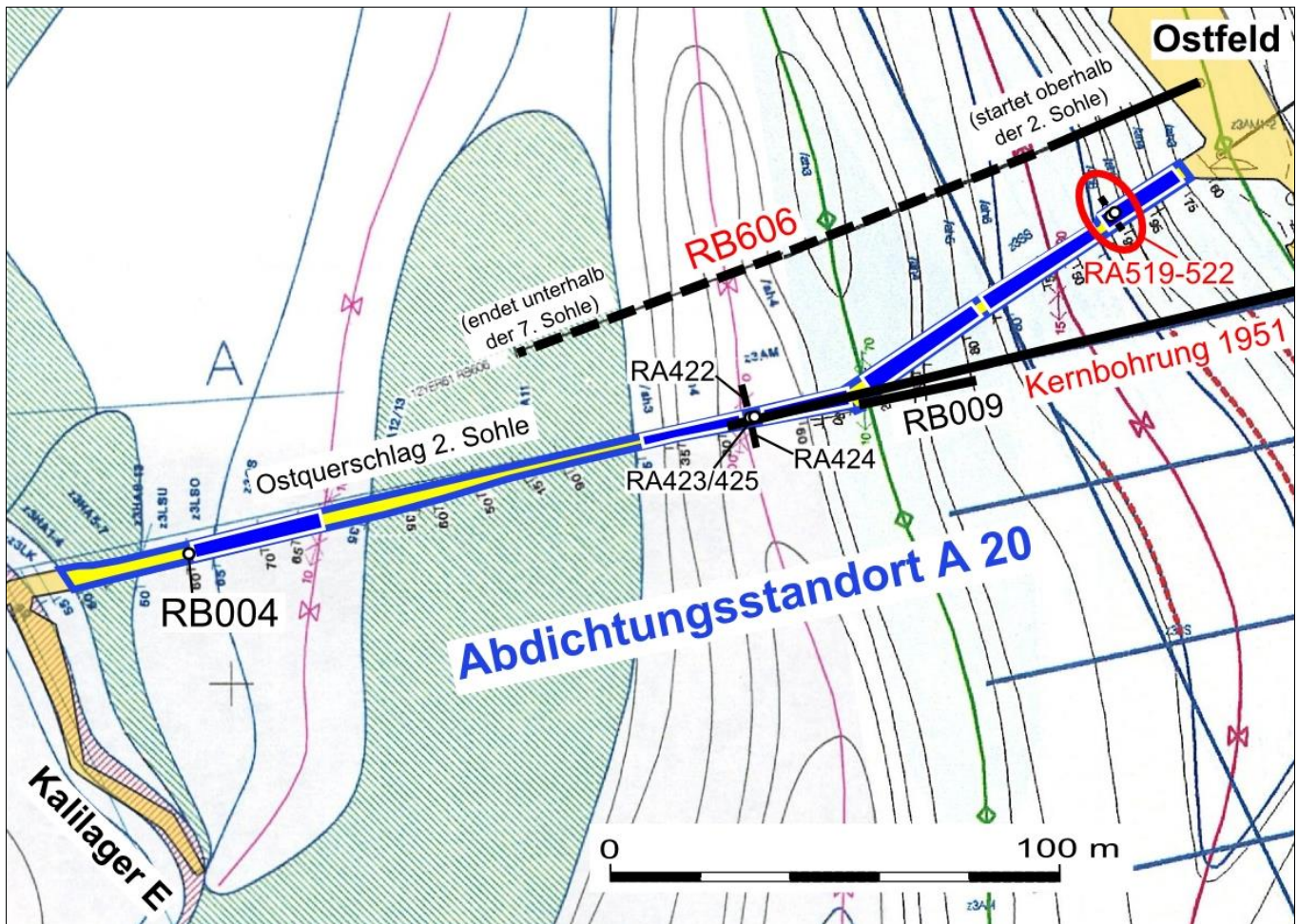


Abbildung 4-8: Abdichtungsstandort A20, 2. Sohle Bartsleben

Nördlich des Ostquerschlags 2. Sohle befinden sich auch die abwärts gerichteten Schrägbohrungen **RB609** und **RB611**, die von der 2. Sohle ausgehend bis in das Niveau der 6. Sohle (-475 mNN) herabreichen (siehe Abbildung 4-13). Gemäß Bohrlochbild zur Bohrung RB609 wurden u. a. Hauptanhydrit, Kaliflöz Staßfurt (im Niveau von ca. -405 mNN, d. h. zwischen der 5a-Sohle und der 5. Sohle) und die Schichtenfolge DGL durchörtert. Es ist anzunehmen, dass mit der nahe der Bohrung RB609 verlaufenden Bohrung RB611, zu der uns kein Schichtenverzeichnis vorliegt, eine vergleichbare Schichtenfolge angetroffen wurde. In diesem Fall ist von zwei direkten Verbindungen zwischen dem Hauptanhydrit und den Grubenbauen Ostfeld 2. Sohle über diese Bohrungen, die gemäß [P 145] nicht verfüllt werden sollen, auszugehen. Wir sehen diese beiden Bohrungen als langzeitsicherheitsrelevant an und empfehlen ihre qualifizierte Verfüllung:

E 07: Wir empfehlen, die Bohrungen 12YER61/RB609 und 12YER61/RB611 als langzeitsicherheitsrelevant einzustufen und qualifiziert zu verfüllen.

Des Weiteren existiert nördlich des Ostquerschlags die Schrägbohrung **RB606**, in der an 3 Stellen Gasaustritte verzeichnet wurden. Sie wurde von der 2. Sohle des Ostfelds aus (-287 mNN) als abwärts gerichtete Schrägbohrung ausgeführt und endet im Niveau -482 mNN (vgl. Abbildung 4-14). Die Bohrung RB606 verläuft in einer Entfernung von wenigen Zehnermetern nahezu parallel zu den Ostquerschlägen der 2. und 4. Sohle und durchörtert u. a. den Hauptanhydrit und das

Kaliflöz Staßfurt. Wie auch die Bohrungen RB609 und RB611 stellt RB606 eine direkte Verbindung zwischen dem Kaliflöz Staßfurt und den Grubenbauen des Ostfeldes dar.

Gemäß [P 145] soll die Bohrung RB606 aus langzeitsicherheitlichen Gesichtspunkten verfüllt werden, da die Möglichkeit besteht, dass durch diese Bohrung ein Kluftsystem im Bereich der Abdichtungen des Einlagerungsbereichs Ostfeld aufgeschlossen wird. Sie wurde nach den Angaben im Bohrkataster des ERAM [NN 337] allerdings bereits zementiert. Im Lokationsbericht zum Abdichtungsstandort A20 [P 505] wird dazu angegeben, dass die Bohrung RB606 im Jahr 2001 mit Stöcker-Beton verfüllt wurde und mit einem Standrohr versehen ist. Über die Vollständigkeit und die Qualität dieser Verfüllung liegen uns keine weiteren Informationen vor. Da diese Bohrung sowohl gemäß [P 145] als auch aus unserer Sicht als langzeitsicherheitsrelevant gilt, kommen wir zu folgender Empfehlung:

E 08: Es sollte vom BfS gegenüber MLU schriftlich begründet dargelegt werden, ob (und wenn ja aufgrund welcher Nachweise) die vorhandene Verfüllung der Bohrung 12YER61/RB606 die Anforderungen einer qualifizierten Verfüllung untertägiger langzeitsicherheitsrelevanter Bohrungen erfüllt bzw. welche Maßnahmen umgesetzt werden sollen, um diese qualifizierte Verfüllung zu erreichen.

Auf die vom Ostquerschlag 4. Sohle aus gestoßenen aufwärts gerichteten Schrägbohrungen RB001 bis RB004, die wenige Zehnermeter unterhalb des Ostquerschlags 2. Sohle enden (vgl. Abbildung 4-14), wird im Zusammenhang mit den Bohrungen der 4. Sohle eingegangen (s. u.).

Die ‘**Kernbohrung 1951**‘ (12YEQ01/RB002), die gemäß [P 145] qualifiziert verfüllt werden soll, wurde aus dem für den Abdichtungsstandort A20 vorgesehenen Bereich des Ostquerschlags 2. Sohle in Richtung ENE gestoßen (siehe Abbildungen 4-7, 4-8 und 4-14). Nach den uns vorliegenden Informationen stellt die horizontal verlaufende Kernbohrung 1951 eine direkte Verbindung zwischen dem Ostquerschlag 2. Sohle und den Grubenbauen des Ostfelds 2. Sohle dar.

E 09: Die ‘Kernbohrung 1951‘ (12YEQ01/RB002) ist auch aus unserer Sicht langzeitsicherheitsrelevant. Wir empfehlen, dass – wie gemäß [P 145] vorgesehen – eine qualifizierte Verfüllung dieser Bohrung erfolgt.

Die in der Nähe der Kernbohrung 1951 liegende kurze Bohrung **RB009** (vgl. Abbildungen 4-7 und 4-8), deren Bohransatzpunkt gemäß [P 505] zwischen der vorgesehenen Position von zwei Abdichtungssegmenten des Standortes A20 liegt, wurde gemäß [P 505] bislang nicht aufgefunden. Würde sich die Bohrung an der im Risswerk eingetragenen Stelle befinden, so würde sie keines der Kriterien erfüllen. Eine abschließende Bewertung kann jedoch erst bei Kenntnis ihres tatsächlichen Bohransatzpunkts und Verlaufs, d. h. nach Auffinden der Bohrung, erfolgen. Wir geben den Hinweis:

H 02: Über die Verfüllung der Bohrung RB009 sollte nach ihrem Auffinden entschieden werden.

Im westlichen Abschnitt des Abdichtungsstandortes A20 existiert gemäß [P 505] die Firstbohrung **RB004**. Gemäß [P 505] wurden die Bohrungen **RA422 bis RA425** im Rahmen der geotechnischen Standorterkundung für die Durchführung von Hydrofrac-Messungen und die Bohrungen **RA519 bis RA522** für Permeabilitätsmessungen gestoßen. Die Bohrungen RA519 bis RA522 liegen gemäß [P 505] im Bereich eines Abdichtungssegments und erfüllen Kriterium K3.

Im Niveau der 2. Sohle wurde vom Ostfeld aus zudem eine Vielzahl kurzer Bohrungen in Richtung Nordwest bis West gestoßen (**12YER62/RB002, RB003, RB005, RB007, RB010, RB012, RB015, RB018, RB022, RB024-RB035, RB605 und RB610**; vgl. Abbildung 4-7). Diese Bohrungen genügen keinem der Kriterien K1 bis K6.

Der Bohransatzpunkt der Bohrung **RB608** liegt auf der 3. Sohle. Diese Bohrung wird deshalb im folgenden Abschnitt behandelt.

Bereich (b)

Die vom Ostfeld aus in Richtung Osten gestoßene Bohrung **RB626** hat den Hauptanhydrit und das Kaliflöz Staßfurt aufgeschlossen (Kriterien K1 und K2).

Im Niveau der 2. Sohle wurde vom Ostfeld aus zudem eine Vielzahl kurzer Bohrungen in Richtung Ost gestoßen (**12YER62/RB001, RB004, RB006, RB007, RB008, RB009, RB011, RB013, RB014, RB016, RB017, RB019, RB020, RB023 und RB382**; vgl. Abbildung 4-7). Diese Bohrungen genügen keinem der Kriterien K1 bis K6.

Auf die Bohrungen RB601, RB602 und UT 5/55 wurde bereits in Abschnitt 4.4.1.1 eingegangen.

Bereich (c)

Die Bohrung **UT III/55** wurde von den Steinsalzabbauen des Südostfeldes aus gestoßen und endet im Hauptanhydrit (siehe auch Abbildung 4-15). Über diese Bohrung könnte es zu einer Einspeisung von Lösungen aus dem Südostfeld in einen Hauptanhydritstrang kommen. Mit den uns vorliegenden Informationen ist nicht sicher auszuschließen, dass zwischen diesem Hauptanhydritstrang und dem das Ostfeld umgebenden Hauptanhydrit eine hydraulische Verbindung besteht. In diesem Fall würde die Bohrung UT III/55 dem Kriterium K1 genügen.

4.4.1.4. 3. Sohle (-332 mNN)

Bereich (a)

Im Niveau der 3. Sohle wurden weder ein Ostquerschlag im Bereich zwischen Restgrube und Ostfeld noch Kaliabbau im Kalilager E aufgefahren. Der horizontale Abstand zwischen dem Kalilager E und den Grubenbauen des Ostfeldes beträgt ca. 160 m (im Bereich RB609, vgl. Abbildung 4-9).

Auf die in der Abbildung 4-9 verzeichneten Bohrungen RB606, RB609 und RB611 wurde bereits im Rahmen der Betrachtungen zur 2. Sohle eingegangen (s. o.).

Die Bohrung **UT 1/55** (RB006) hat gemäß Bohrkataster des ERAM [NN 337] vermutlich Hauptanhydrit westlich des Ostfeldes aufgeschlossen und genügt daher Kriterium K1.

Südlich des Ostquerschlags existiert die unterhalb der 3. Sohle des Ostfeldes beginnende und in einer Entfernung von ca. 190 m nahezu parallel zum Ostquerschlag verlaufende Bohrung **RB608** (vgl. Abbildungen 4-7 und 4-9).

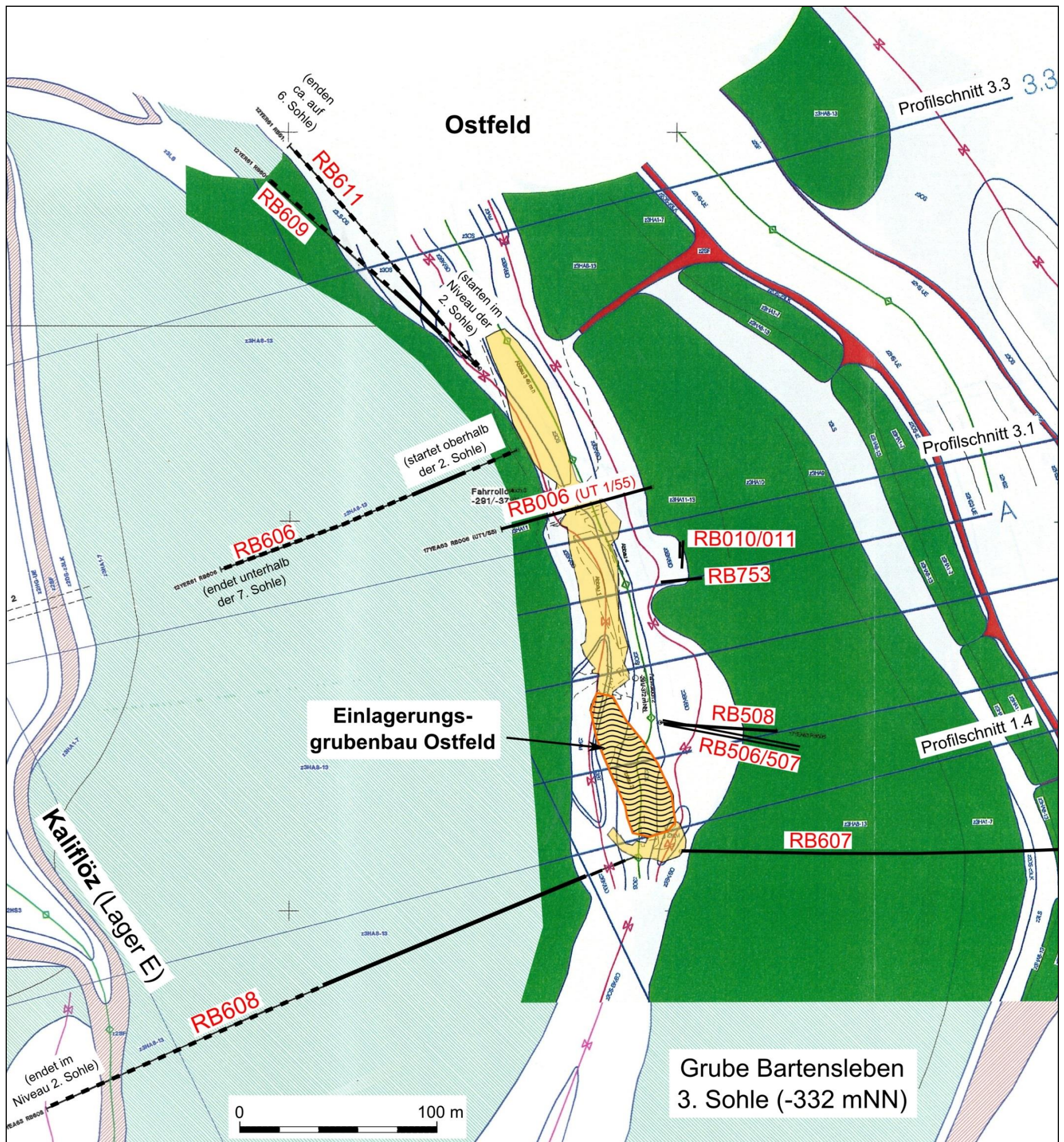


Abbildung 4-9: Geologischer Sohlenriss im Niveau der 3. Sohle Bartensleben, Kalilager E/Ostfeld (aus [P 44] und [P 61], ergänzt)



Die geologischen Verhältnisse im Bereich dieser Bohrung, die südlich von Profilschnitt 1.4 verläuft, sind in der Abbildung 4-15 dargestellt. Die RB608 ist hier projiziert dargestellt. Sie durchörtert den Hauptanhydrit und endet im Niveau der 2. Sohle ca. 100 m südlich des Kalilager D/E, ohne dieses zu berühren. Gemäß dem Bohrlochbild zur RB608 im Risswerk des ERAM erfolgte in der Bohrung ein Gasaustritt aus dem Hauptanhydrit. Der vertikale Abstand zwischen der Bohrung RB608 und dem Kalilager D/E, das auf der 4. Sohle durch Kaliabbau erschlossen ist, beträgt nach den uns vorliegenden Informationen nur einige Meter, maximal wenige Zehnermeter. Der Abstand zwischen der Bohrung RB608 und diesen Kaliabbauen, die in südliche Richtung nur bis etwa zum Profilschnitt 1.4 und nicht bis unter die Bohrung RB608 reichen, beträgt ca. 80 m.

Eine wegsame Verbindung zwischen dem (auf- bzw. umgelösten) Kalilager E über DGL, Hauptanhydrit und die Bohrung RB608 zu den Grubenbauen des Ostfeldes ist nicht auszuschließen. Zudem ist nicht auszuschließen, dass der Bohrung RB608 Lösungen aus dem Bereich (c) zugeführt werden könnten (vgl. Abbildung 4-12). Wir sehen die Bohrung RB608 als langzeitsicherheitsrelevant an und empfehlen ihre qualifizierte Verfüllung:

E 10: Wir empfehlen, die Bohrung 12YER61/RB608 als langzeitsicherheitsrelevant einzustufen und qualifiziert zu verfüllen.

Bereich (b)

Vom Ostfeld aus wurden (von Norden nach Süden betrachtet) die Bohrungen **RB010, RB011, RB753, RB508, RB506** und **RB507** in östliche Richtung bis in den Hauptanhydrit gestoßen. Sollte dieser Bereich hydraulisch mit der Restgrube verbunden sein, so würden sie dem Kriterium K1 genügen.

Mit der in Richtung Osten ansteigenden Bohrung **RB607** wurden Hauptanhydritschollen und das Kaliflöz Staßfurt aufgeschlossen. Diese Bohrung würde den Kriterien K1 und K2 genügen.

Bereich (c)

Gemäß [P 44] Anlage 6 reichen im Niveau der 3. Sohle die langen Bohrungen **UT 4/55, UT II/59, UT V/60** und **UT VI A/60** (vgl. Abbildung 4-12) vom Südostfeld aus bis in die Hauptanhydritstränge südlich des Ostfeldes. Gemäß Bohrkataster des ERAM [NN 337] sind diese Bohrungen zementiert. Es liegen uns keine Informationen vor, ob und in welchem Ausmaß die über die Bohrungen und die umgebenden Auflockerungszonen gegebenen Wegsamkeiten reduziert wurden.

Gemäß [P 44] Anlagen 6 und 15 beträgt der horizontale Abstand der nördlichsten dieser Bohrungen (UT 4/55) zum nächstgelegenen Abbau des Ostfeldes zwar über 400 m, allerdings wurden vom Ostfeld aus die Bohrungen RB306 (ca. 157 m lang) und RB332 (ca. 197 m lang) in Richtung Süden in den Hauptanhydrit gestoßen (vgl. Abschnitt 4.4.1.4). Für den Fall, dass die Bohrungen UT 4/55, UT II/59, UT V/60 und UT VI A/60 im Bereich südlich des Ostfeldes Teil von Wegsamkeiten sein könnten, über die Lösungen vom Südostfeld zu den Grubenbauen des Ostfeldes gelangen könnten, würden sie das Kriterium K1 erfüllen.



4.4.1.5. 4. Sohle (-372 mNN)

Bereich (a)

Auf der vierten Sohle befinden sich Grubenhöhlräume im Bereich Kalilager E und im Ostfeld. In diesem Niveau beträgt der geringste horizontale Abstand zwischen den Abbauen im Kalilager E und dem Ostfeld ca. 144 m. Unter Berücksichtigung der zeichnerischen Darstellung der geologischen Verhältnisse in [P 44] Anlage 16, beträgt der geringste horizontale Abstand zwischen Kalilager E und den Abbauen des Ostfeldes ca. 80 m (im Bereich der Bohrung RB611, vgl. Abbildung 4-10). Allerdings liegen uns zur Fortsetzung des Kalilager E in östliche Richtung, d. h. für den Bereich nördlich des Ostfeldes, keine Informationen vor. Es ist nicht auszuschließen, dass der Abstand zwischen Kalilager E und Grubenbauen des Ostfeldes dort ggf. kleiner ist.

In den barrierewirksamen Gebirgsbereich zwischen der Restgrube und dem Ostfeld wurden auch im Niveau der 4. Sohle diverse Bohrungen gestoßen. Auf die Bohrungen RB606, RB609 und RB611 wurde bereits bei den Betrachtungen zum Niveau der 2. Sohle eingegangen.

Die Bohrungen **RB001 bis RB004** wurden vom Bereich des Abdichtungsstandortes A21 im Ostquerschlag 4. Sohle aus als aufwärts gerichtete Schrägbohrungen (Firstbohrungen) ausgeführt (vgl. Abbildungen 4-11 und 4-13). Die Bohrungen RB001, RB003 und RB004 enden ca. 6 bis 18 m unterhalb des Ostquerschlags 2. Sohle im Steinsalz. Die Bohrung RB002 endet ca. 25 m unterhalb des Ostquerschlags 2. Sohle im Hauptanhydrit. Diese Bohrungen sollen gemäß [P 145] verfüllt werden. Gemäß dem Lokationsbericht zum Abdichtungsstandort A21 [P 510] handelt es sich bei diesen Bohrungen um Altbohrungen, die nicht vollständig mit Gestänge befahrbar sind.

E 11: Die Bohrungen 17YEQ01/RB001 bis RB004 sind auch aus unserer Sicht langzeitsicherheitsrelevant. Wir empfehlen, dass – wie gemäß [P 145] vorgesehen – eine qualifizierte Verfüllung dieser Bohrungen erfolgt.

Die Bohrungen **RB442** und **RB449** (vgl. Abbildungen 4-10 und 4-12) wurden vom Ostquerschlag 4. Sohle aus im Hauptanhydrit in Richtung NNW gestoßen. Die minimale Entfernung dieser Bohrungen zu den Abbauen im Kalilager E beträgt ca. 45 m. Sie sollen gemäß [P 145] nicht verfüllt werden und könnten zu einer Umläufigkeit der westlichsten Abdichtungsabschnitte von A21 führen, falls sie eine Wegsamkeit im Hauptanhydrit aufschließen. Gemäß [P 510] wurden die Bohrung RB442 im Jahr 1994 zur Durchführung von Hydrofrac-Messungen und die Bohrung RB449 für geologische Untersuchungen und Spannungsmessungen gestoßen. Die Bohrungen erfüllen das Kriterium K1 und könnten Teil von Wegsamkeiten zwischen dem Kalilager E und dem Abdichtungsstandort A21 sein bzw. werden.

Die ca. 5 m langen Bohrungen **RA426 bis RA429** sowie **RB520** und **RB521** wurden gemäß [P 510] für die Durchführung von Hydrofrac-Messungen gestoßen. Die Bohrungen erfüllen Kriterium K1.

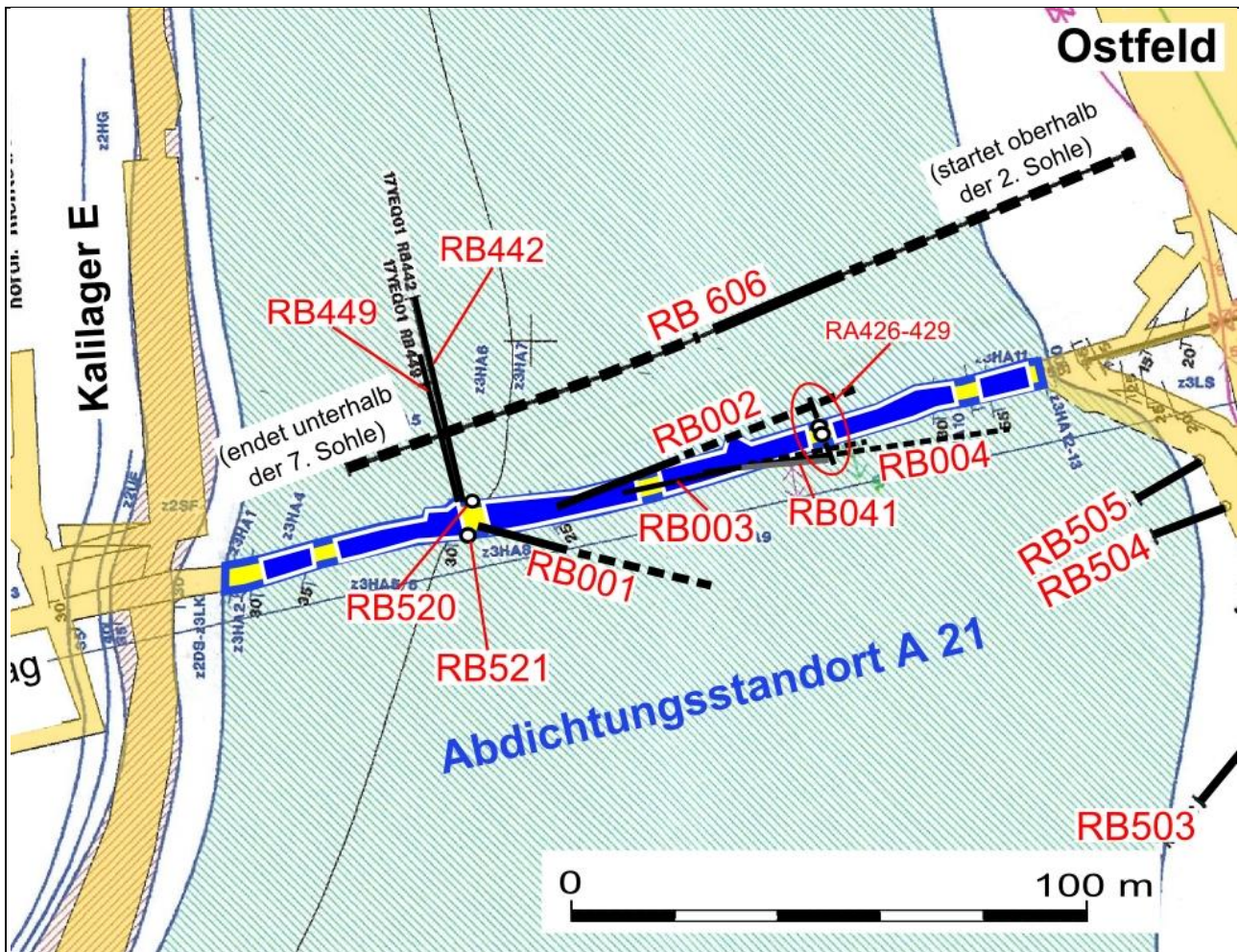


Abbildung 4-11: Abdichtungsstandort A21, 4. Sohle Bartensleben

Die ca. 5 m langen Bohrungen **RA426 bis RA429** sowie **RB520** und **RB521** wurden gemäß [P 510] für die Durchführung von Hydrofrac-Messungen gestochen. Die Bohrungen erfüllen Kriterium K1.

Hinsichtlich der Bohrung **RB041** ist [P 510] lediglich zu entnehmen, dass diese Bohrung aufgefunden wurde und unverfüllt ist. Gemäß [P 510] werden im Bereich des Abdichtbauwerks die vier Altbohrungen **17YEQ01/RB009 bis RB012** vermutet. Diese Bohrungen sind in ihrer Lage nicht dokumentiert, da sie mindestens teilweise durch den Ostquerschlag überfahren wurden. Sie sind in den Abbildungen 4-10, 4-11 und 4-14 daher nicht dargestellt. Gemäß [P 510] wurde der Ansatzpunkt einer Bohrung in der Firste angetroffen. Um festzustellen, welcher Bohrung dieser Ansatzpunkt zugeordnet werden muss, werden laut [P 510] weitere Untersuchungen folgen. Gemäß [P 510] weisen die zwischen 1949 und 1952 gestochenen Bohrungen Längen von 278,50 m (RB009) und 278,60 m (RB011) auf, entsprechende Angaben zu den Bohrungen RB010 und RB012 liegen nicht vor. In jeder dieser Bohrungen wurde Gas angetroffen.

Mit den Bohrungen RB009 bis RB012 wurde Hauptanhydrit erbohrt (Kriterium K1). Zudem ist nicht auszuschließen, dass sie in einem Winkel $\leq 45^\circ$ zum Ostquerschlag gestochen wurden, so dass das Kriterium K3 erfüllt wäre. In Verbindung mit der großen Länge ist nicht ausgeschlossen, dass auch die Kriterien K4 und K5 erfüllt sind. Da zudem eine Gasführung bestand, die auf angetroffene

Wegsamkeiten/Hohlraumvolumina hinweist, schätzen wir die noch nicht aufgefundenen Bohrungen 17YEQ01/RB009 bis RB012 vorläufig als potentiell langzeitsicherheitsrelevant ein und kommen zu folgender Empfehlung:

E 12: Wir empfehlen, die Bohrungen 17YEQ01/RB009 bis RB012, soweit sie aufgefunden werden, als langzeitsicherheitsrelevant einzustufen und für eine qualifizierte Verfüllung vorzusehen.

Hiervon sollte nur abgewichen werden, wenn die Verzichtbarkeit der Verfüllung auf der Grundlage der Ergebnisse der weiteren Untersuchungen zum Auffindung und zur Erkundung der Bohrungen vom BfS gegenüber MLU schriftlich begründet wird und dieser Begründung gefolgt werden kann.

Vom Ostfeld aus wurden die Bohrungen **RB502**, **RB504** und **RB505** in südwestliche Richtung bis in den Hauptanhydrit gestoßen (Kriterium K1). Sie überbrücken die Steinsalzbarriere. Die Bohrung **RB503** erreicht gemäß [P 44] den Hauptanhydrit nicht und ist damit nicht potentiell langzeitsicherheitsrelevant.

Bereiche (b) und (c)

Vom Ostfeld aus wurden in östliche Richtung Bohrungen **RB440**, **RB441**, **RB447**, **RB448** und **RB612** bis in den Hauptanhydrit gestoßen. Sie würden Kriterium K1 genügen, wenn es über diesen Gebirgsbereich zu einer hydraulischen Verbindung zur Restgrube kommen könnte.

Die langen Bohrungen **RB005** (auch als ‚**Kernbohrung 1949**‘ bezeichnet) und **RB613** wurden vom östlichen Ende des Ostquerschlags aus in Richtung Nordosten durch Hauptanhydritstränge und das Kalisalzflöz Staßfurt gestoßen. Sie würden den Kriterien K1 und K2 genügen.

In südliche Richtung wurden die langen Bohrungen **RB306** und **RB332** sowie die Bohrung **RB001** bis in den Hauptanhydrit gestoßen. Sie würden Kriterium K1 genügen, wenn es über diesen Gebirgsbereich zu einer hydraulischen Verbindung zur Restgrube kommen könnte.

Die Hauptanhydritstränge südlich des Ostfeldes wurden im Niveau der 4. Sohle über zwei Strecken und die Bohrungen **UT I/58/59**, **UT V/60** und **UT VII A/60** auch vom Südostfeld her erschlossen (vgl. Abbildung 4-12). Nach den Angaben im Bohrkataster des ERAM [NN 337] sind diese Bohrungen noch offen. In Verbindung mit eventuellen Kluftwegsamkeiten in Hauptanhydrit sind hydraulische Verbindungen zwischen dem Südostfeld und dem Ostfeld nicht auszuschließen (siehe dazu auch Abschnitt 4.4.1.3). Gemäß den Darstellungen in [P 44] beträgt der horizontale Abstand der nördlichsten dieser Bohrungen (UT I/58/59) zum nächstgelegenen Abbau des Ostfeldes zwar über 400 m, allerdings wurden vom Ostfeld aus die Bohrungen **RB306** (ca. 157 m lang) und **RB332** (ca. 197 m lang) in Richtung Süden in den Hauptanhydrit gestoßen. Für den Fall, dass die Bohrungen **UT I/58/59**, **UT V/60** und **UT VII A/60** im Bereich südlich des Ostfeldes Teil von Wegsamkeiten sein könnten, über die Lösungen vom Südostfeld zu den Grubenbauen des Ostfeldes gelangen könnten, würden sie das Kriterium K1 erfüllen.

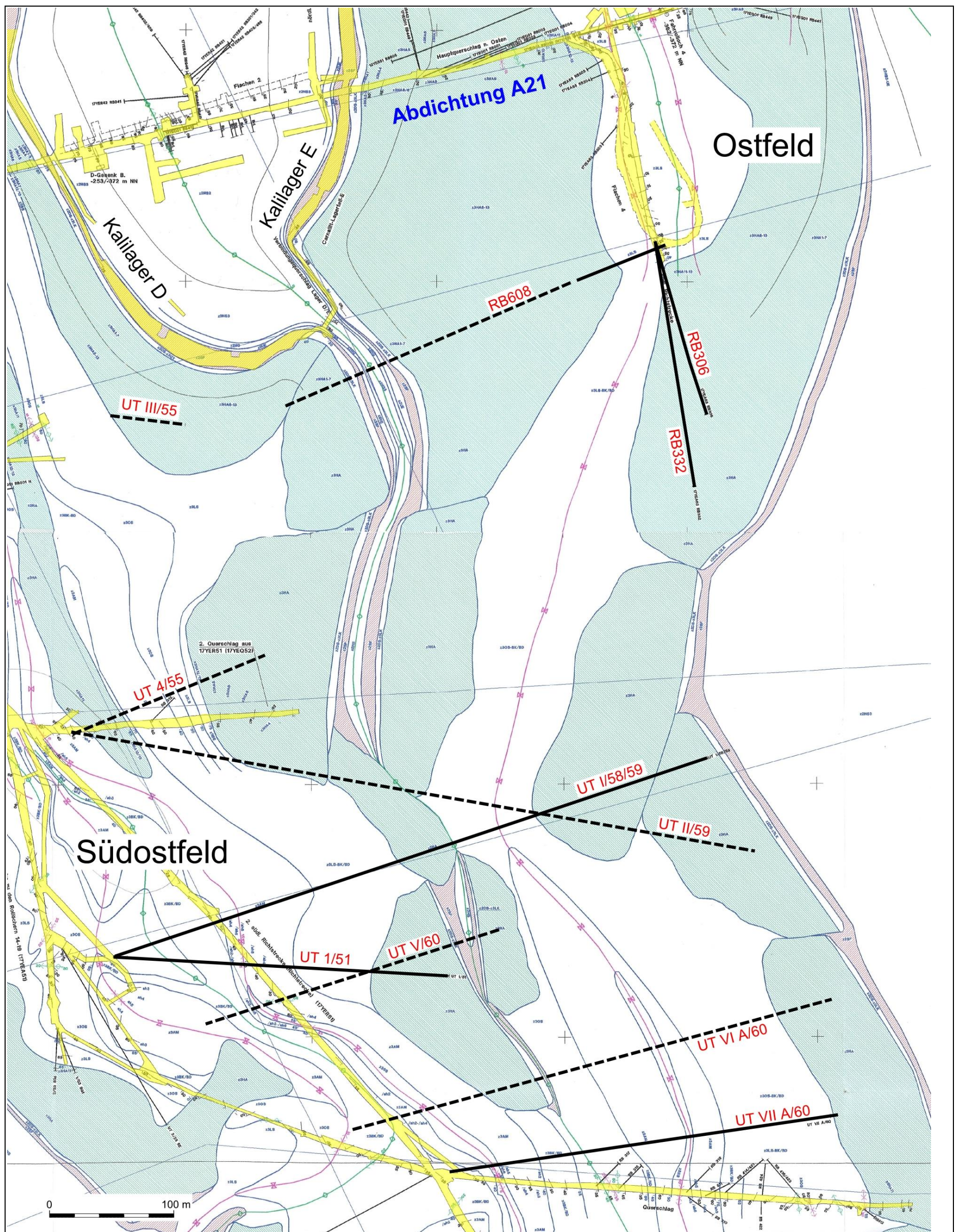


Abbildung 4-12: Sohlenriss der 4. Sohle mit Bohrungen im Gebirgsbereich (c) südlich des Ostfeldes, die in Hauptanhydritstränge und z. T. in das Kalisalzflöz eindringen; projizierte Bohrungen der 2. und 3. Sohle sind gestrichelt dargestellt (aus [P 44], ergänzt)

Aus den uns vorliegenden Informationen geht die in [P 44] dargestellte Erstreckung der Kalilager D und E in Richtung Süden für den Bereich etwa südlich der Bohrung RB608 nicht hervor. Es sollte vom BfS erläutert werden, auf welcher Datengrundlage die Darstellung der geologischen Verhältnisse im Bereich südlich des Ostfeldes, in dem sich keine Grubenbaue befinden, erfolgte. Wir kommen zu folgender Empfehlung:

E 13: Das BfS sollte gegenüber MLU erläutern, auf welcher Datengrundlage die im Lagerstättenmodell [P 44] enthaltene Darstellung der geologischen Verhältnisse im Bereich südlich des Ostfeldes erfolgte, insbesondere in Bezug auf das dort verzeichnete Kalisalzflöz.

Im Nahbereich der Kammer, in der die Radium-VBA zwischengelagert ist und plangemäß endgelagert werden soll, wurden die Bohrungen **RB302** und **RB467** gestoßen. Nach den uns vorliegenden Informationen verläuft die Bohrung RB467 in geringen Abstand nordöstlich der Kammer, die Bohrung RB302 verläuft in vermutlich geringem Abstand ansteigend über der Kammer. Gemäß Bohrkataster des ERAM [NN 337] sind beide Bohrungen, die 1995 mit einem Durchmesser von 132 mm im Linien- und Orangesalz gestoßen wurden, noch offen. Es liegen uns keine Informationen vor, ob bzw. auf welche Weise diese Bohrungen im Rahmen der Stilllegung verfüllt werden sollen.

In den Langzeitsicherheitsanalysen wird unterstellt, dass der für die Radium-VBA neu aufgefahrene Streckenstummel vollständig mit Salzbeton verfüllt wird und dass das Radium im Fall seiner Freisetzung an diesem Salzbeton sorbiert. Dies setzt voraus, dass kein hydraulischer Kontakt der Kammer mit Bohrungen besteht, über die der Salzbeton im Streckenstummel umgangen werden könnte. Um dies zu gewährleisten, muss entweder sichergestellt sein, dass die Bohrungen RB302 und RB467 keinen Kontakt mit der Auflockerungszone um den Streckenstummel haben oder dass die Bohrungen verfüllt werden.

Im Verfüllplan [P 220] wird dagegen angegeben, dass der Streckenstummel mit der Radium-VBA unverfüllt bleibt und der Ostquerschlag östlich des Zugangs zu Abbau 3 verfüllt werden soll, wobei dieser Bereich jedoch der Verfüllkategorie III zugeordnet ist, d. h. der Verfüllgrad ist nicht eindeutig festgelegt.

Um die Bedeutung der Bohrungen RB302 und RB467 als potentielle Wasserwege bewerten zu können, bedarf es einer detaillierten Darstellung des angestrebten Verwahrungszustands des Streckenstummels und seines näheren Umfelds.

Wir kommen daher zu folgender Empfehlung:

E 14: Vom BfS sollte der angestrebte Verwahrungszustand des Streckenstummels mit der Radium-VBA und seines näheren Umfelds einschließlich der Bohrungen 17YEQ01/ RB302 und RB467 im Detail angegeben werden.

4.4.1.6. Darstellung in Profilschnitten

In den nachfolgenden Abbildungen 4-13 bis 4-15 werden die geologischen Verhältnisse im Bereich der Ostfeldes zusätzlich in geologischen Profilschnitten dargestellt.

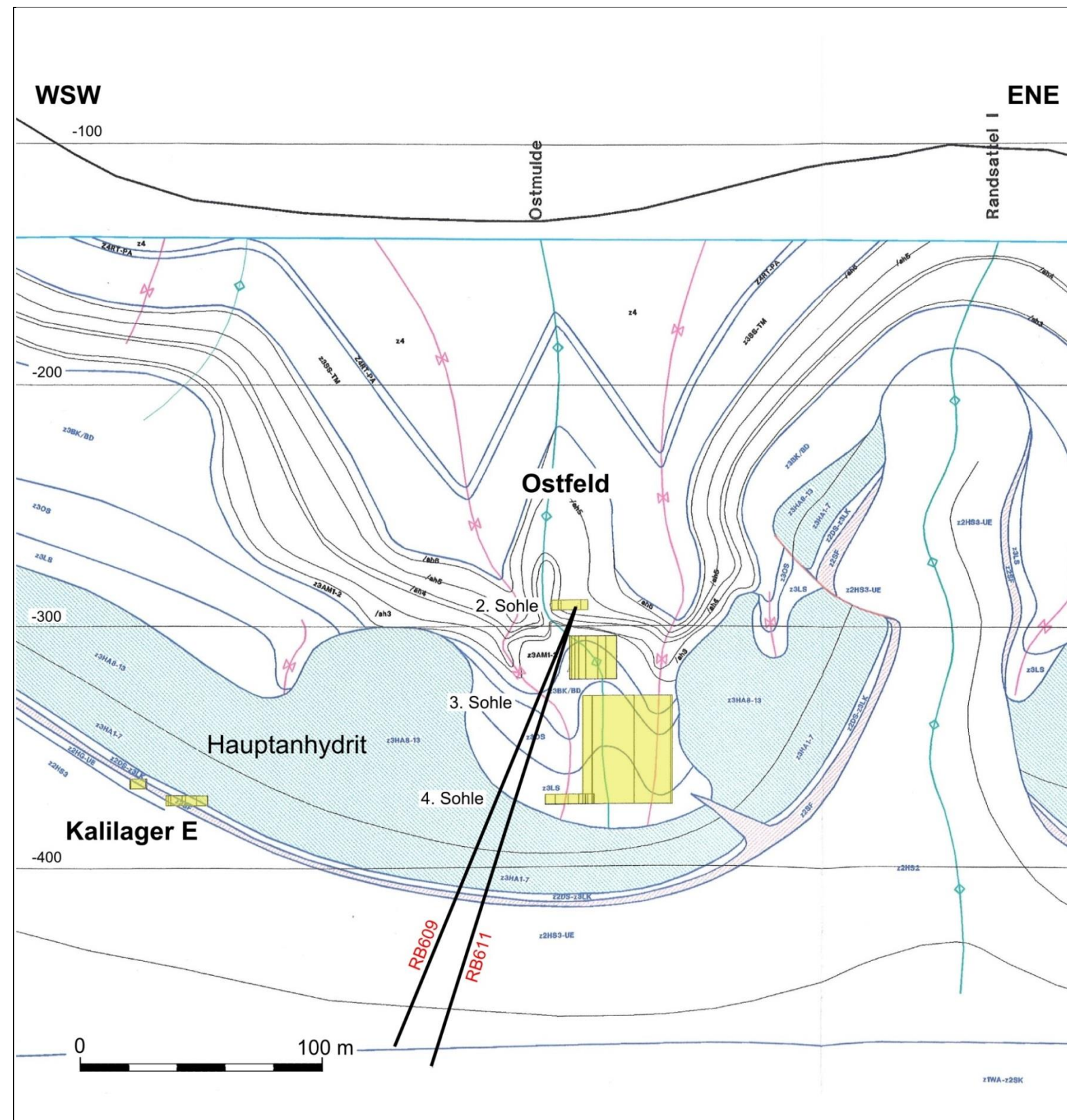


Abbildung 4-13: Profilschnitt 3.3 im Nordbereich des Ostfelds (Ausschnitt aus [P 44] Anlage 46 sowie [P 47] Anlage 9, ergänzt)

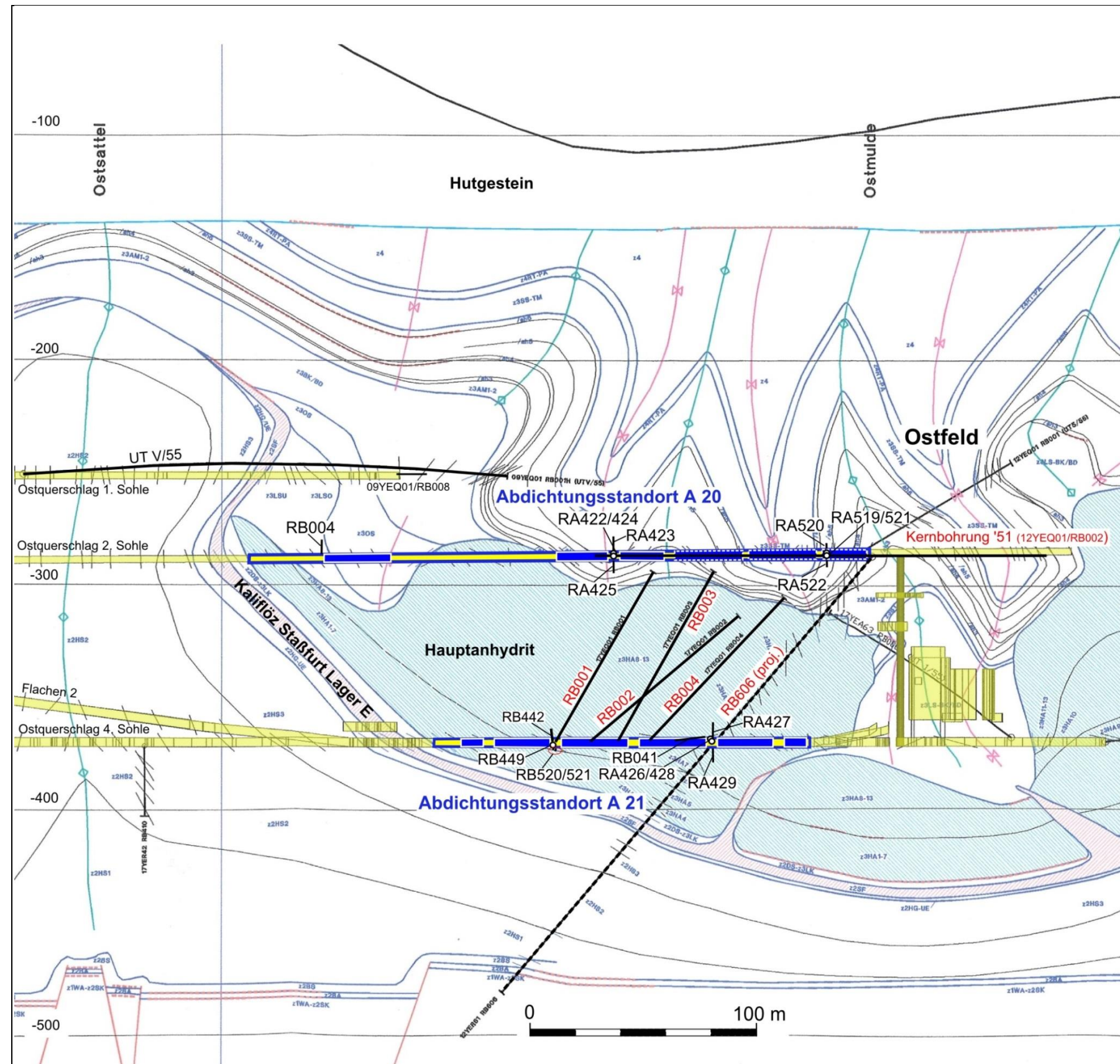


Abbildung 4-14: Profilschnitt 3.1 im Bereich der Ostquerschläge/Zentralbereich Ostfeld (Ausschnitt aus [P 44] Anlage 45, ergänzt)

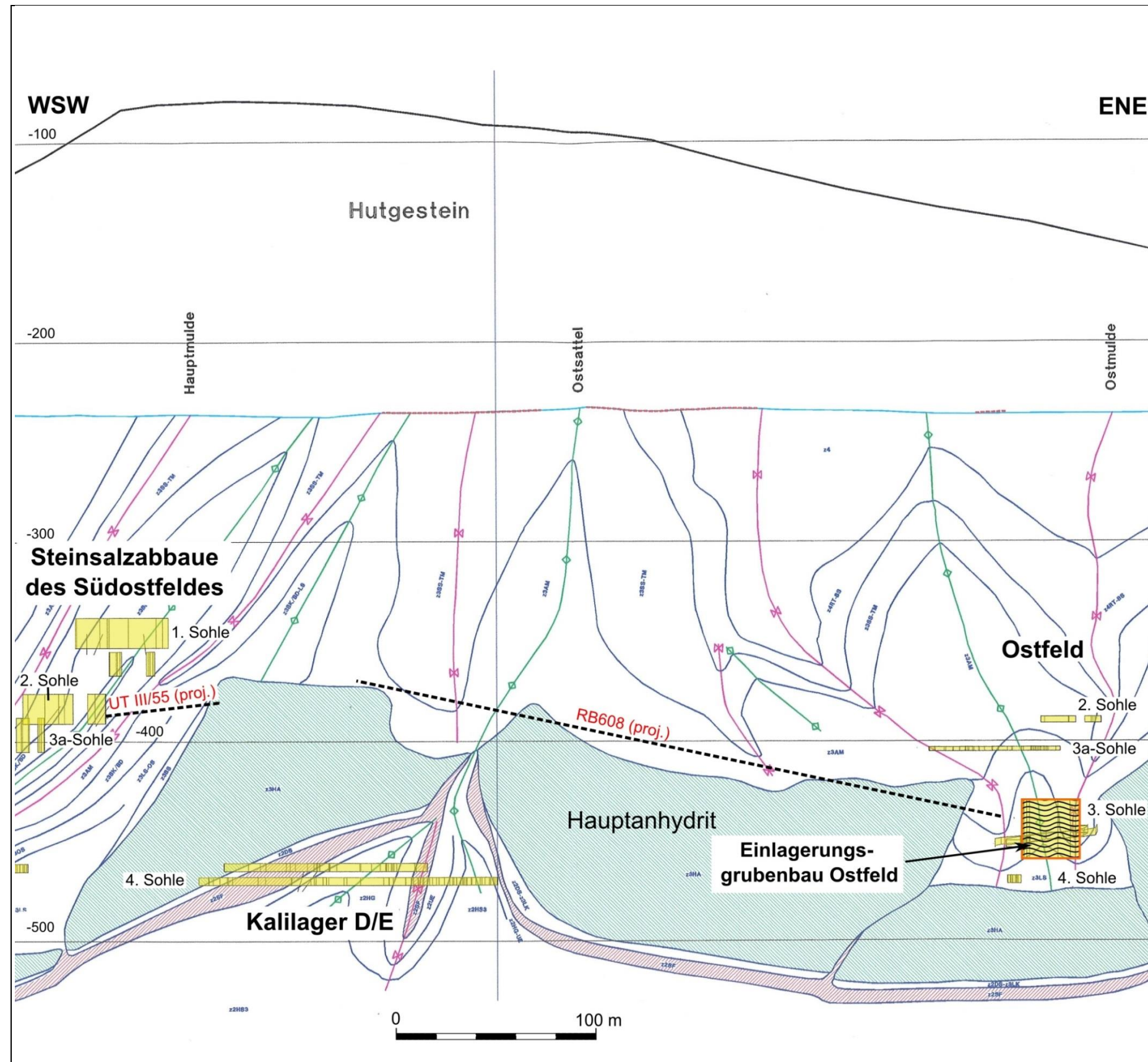


Abbildung 4-15: Profilschnitt 1.4 im Südbereich des Ostfelds (Ausschnitt aus [P 44] Anlage 44, ergänzt)

4.4.2. Bohrungen zwischen dem Ostfeld und der östlichen Flanke der Salzstruktur

Die Analysen in Abschnitt 4.4.1 sind auf Bohrungen fokussiert, die Wegsamkeiten zwischen dem ELB Ostfeld und der Restgrube darstellen können. Einige der vom Ostfeld aus in östliche Richtungen gestoßenen Bohrungen sind jedoch so lang, dass sie über den grubennahen Gebirgsbereich hinausgehend in Richtung der Flanke der Salzstruktur verlaufen (vgl. Abbildung 4-16). Diese Bohrungen sind potentiell langzeitsicherheitsrelevant, sofern sie eine Flanke der Salzstruktur durchstoßen oder in nur geringem Abstand von der Flanke der Salzstruktur enden und der Abgeschlossenheit des ELB Ostfeld entgegenstehen. Keine dieser Bohrungen soll gemäß [P 145] qualifiziert verfüllt werden.

In der Abbildung 4-17 sind – basierend auf den Sohlenrissen aus dem Risswerk des ERAM – neben der Kontur der Abbau im Ostfeld (gelb) die Spuren der in Abbildung 4-16 abgebildeten Bohrungen dargestellt.

Zudem sind die aus [I 46] Anlage 1 entnommenen Isohypsen der Salzstrukuroberfläche für die östliche Flanke der Salzstruktur verzeichnet. Es ist ersichtlich, dass diese Bohrungen mit Ausnahme der Bohrungen RB601 und RB602 im Niveau der jeweiligen Endteufe einen horizontalen Abstand von mehreren 100 m zur östlichen Flanke der Salzstruktur aufweisen. Bei der Bohrung **RB601** (Endteufe ca. -239 mNN) beträgt dieser Abstand ca. 65 m, bei der Bohrung **RB602** ca. 140 m (siehe Abbildung 4-17; Isohypse der Flanke der Salzstruktur für -240 mNN ist hervorgehoben).

In den Abbildungen 4-18 und 4-19 ist zu erkennen, dass die von der am weitesten nach Osten reichenden Bohrung **RB613** durchstoßenen Hauptanhydritschollen im Niveau der Bohrung mindestens mehrere 10er Meter von der östlichen Flanke der Salzstruktur entfernt sein dürften. Die Bohrungen **RB306** und **RB332**, die vom Südbereich des Ostfeldes aus in südliche Richtung verlaufen, bedürfen keiner näheren Betrachtung, da sie in Richtung der Längserstreckung der Salzstruktur, d. h. näherungsweise parallel zur östlichen Salzstrukturflanke, verlaufen.

Die Bohrungen **RB626** und **RB607** enden in großem Abstand von der östlichen Strukturflanke.

In der Abbildung 4-19 sind Ausschnitte aus den geologischen Profilschnitten 3.1 und 1.4 für die Ostflanke der Ostmulde enthalten, in denen die geologischen Verhältnisse im Bereich der Bohrungen RB613, RB626 und RB607 dargestellt sind. Die geologische Position der Bohrungen RB601 und RB602 entspricht in etwa derjenigen der Bohrung RB626.

Mit beiden ansteigenden Schrägbohrungen RB601 und RB602, die vom Niveau -282 mNN aus gestoßen wurden, wurde gemäß [P 61] nur eine geringmächtige Hauptanhydritscholle durchörtert. Die letzten 150 Bohrmeter der Bohrung RB601 verlaufen – mit Ausnahme einer 70 cm mächtigen Kalisalzlage – in Steinsalz. Der weitere Verlauf der mit den Bohrungen RB601, RB602 und RB613 durchörterten Hauptanhydritschollen in nördliche Richtung ist den Unterlagen [P 44] und [P 61] nicht zu entnehmen. In diesem Bereich der Salzstruktur wurden keine Grubenbaue angelegt und er ist nicht entsprechend erkundet. Nach unserer Kenntnis erfolgten in den Bohrungen weder Gas- noch Lösungszutritte. Es liegen uns keine Hinweise vor, nach denen zu erwarten wäre, dass sich diese Schollen der Flanke der Salzstruktur annähern bzw. diese sogar durchbrechen und damit zu einer relevanten Wegsamkeit zwischen den beiden Bohrungen und der Flanke der Salzstruktur führen könnte.

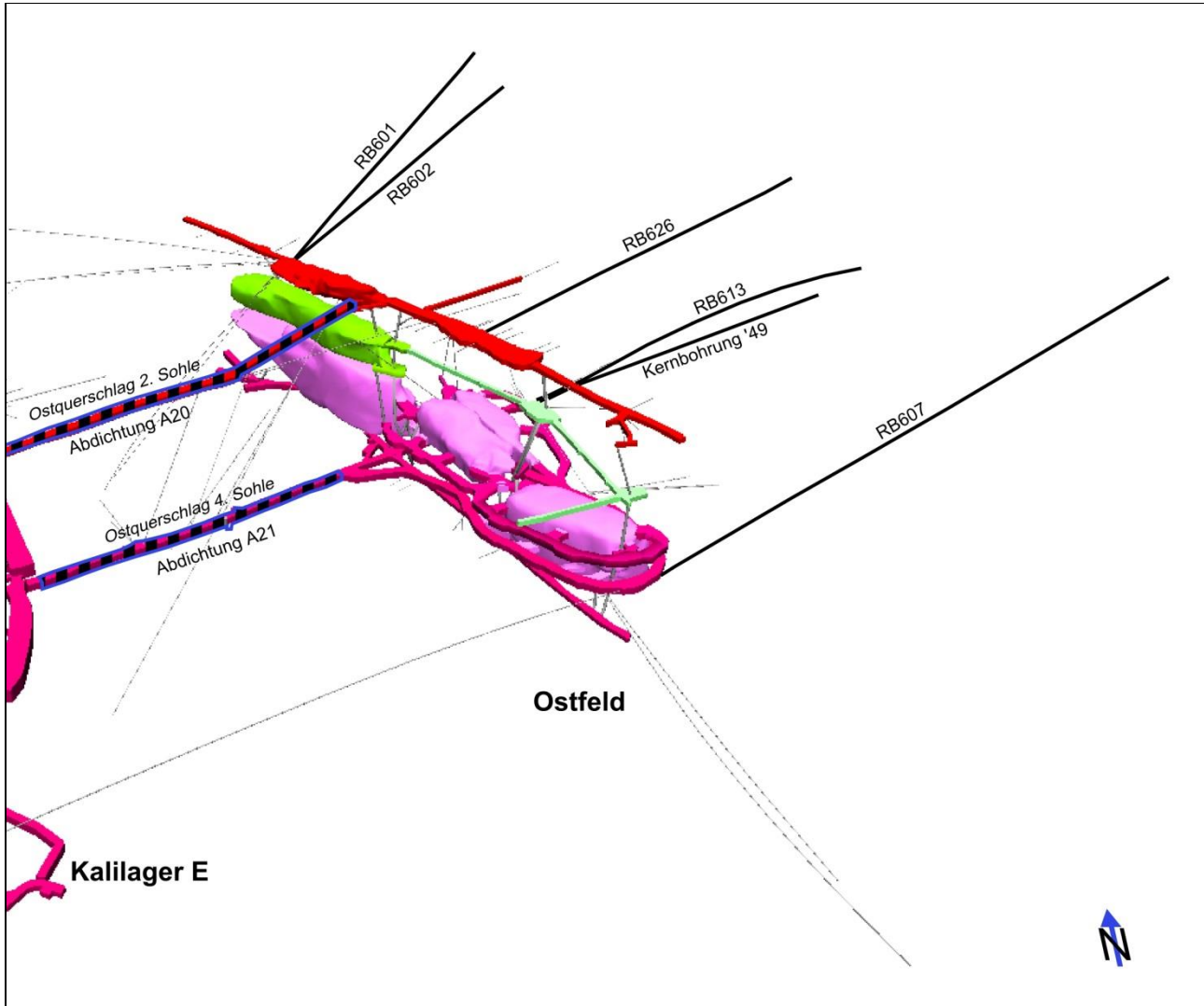


Abbildung 4-16: Räumliche Ansicht der Gruben Hohlräume und Bohrungen im Bereich Ostfeld; lange Bohrungen zwischen Ostfeld und der östlichen Flanke der Salzstruktur hervorgehoben (Ausschnitt aus [EramSIS], ergänzt)

Wir kommen jedoch zu folgendem Hinweis:

H 03: Durch eine qualifizierte Verfüllung der vom Ostfeld aus in östliche Richtungen gestoßenen langen Bohrungen – insbesondere der Bohrungen RB601, RB602, RB613 und der Kernbohrung '49 – würde die wirksame Mächtigkeit des barrierewirksamen Gebirgsbereichs zur Flanke des Salzstocks hin deutlich vergrößert werden. Uns liegen jedoch keine Hinweise vor, dass die gegenwärtig wirksame Mächtigkeit nicht ausreichend wäre.

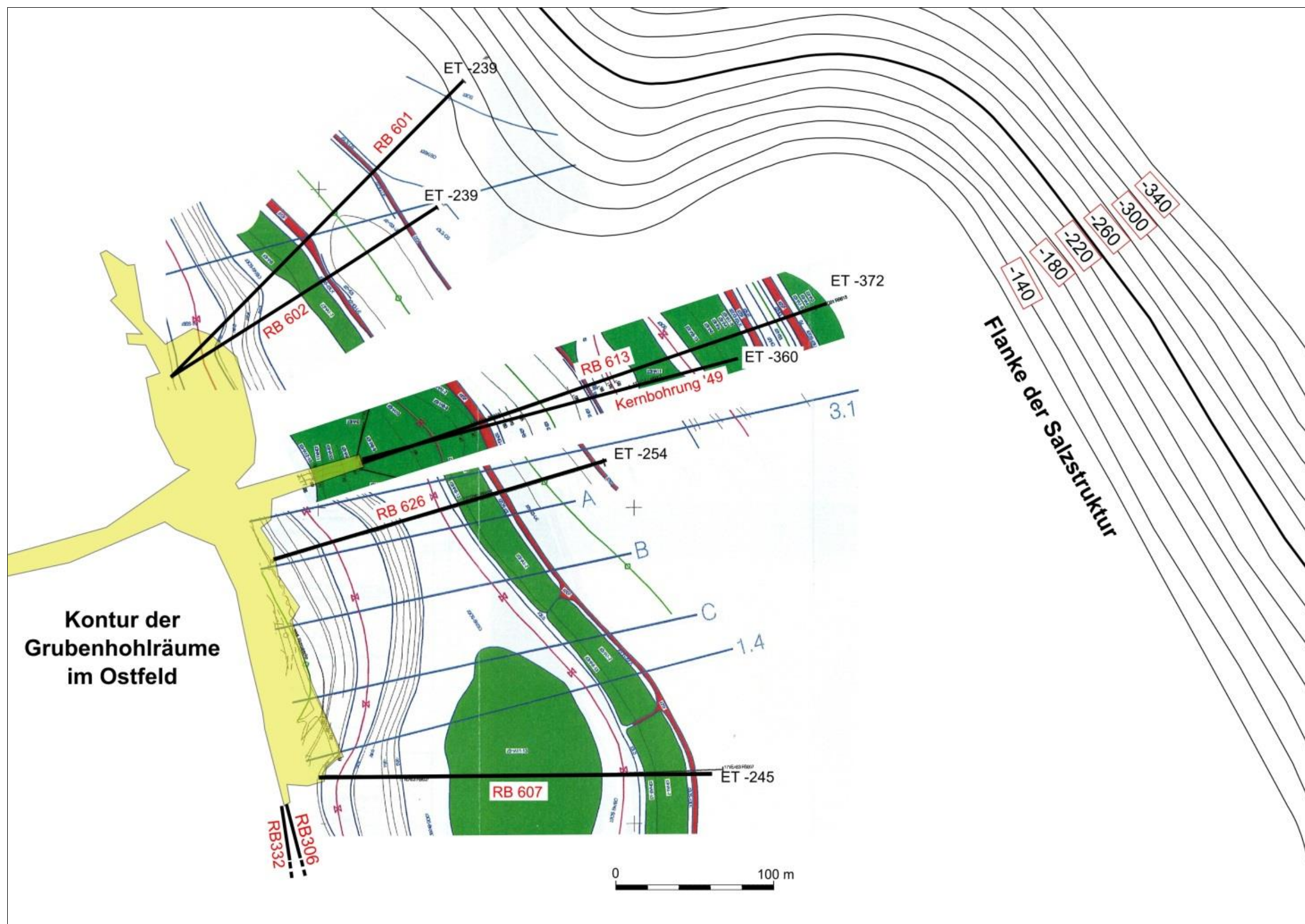


Abbildung 4-17: Bohrungen zwischen Ostfeld und Ostflanke der Salzstruktur zwischen 1. und 4. Sohle
(Geologische Verhältnisse gemäß [P 61]; Höhenangaben für die Endteufen (ET) der Bohrungen und für die Flanke der Salzstruktur in [m NN])

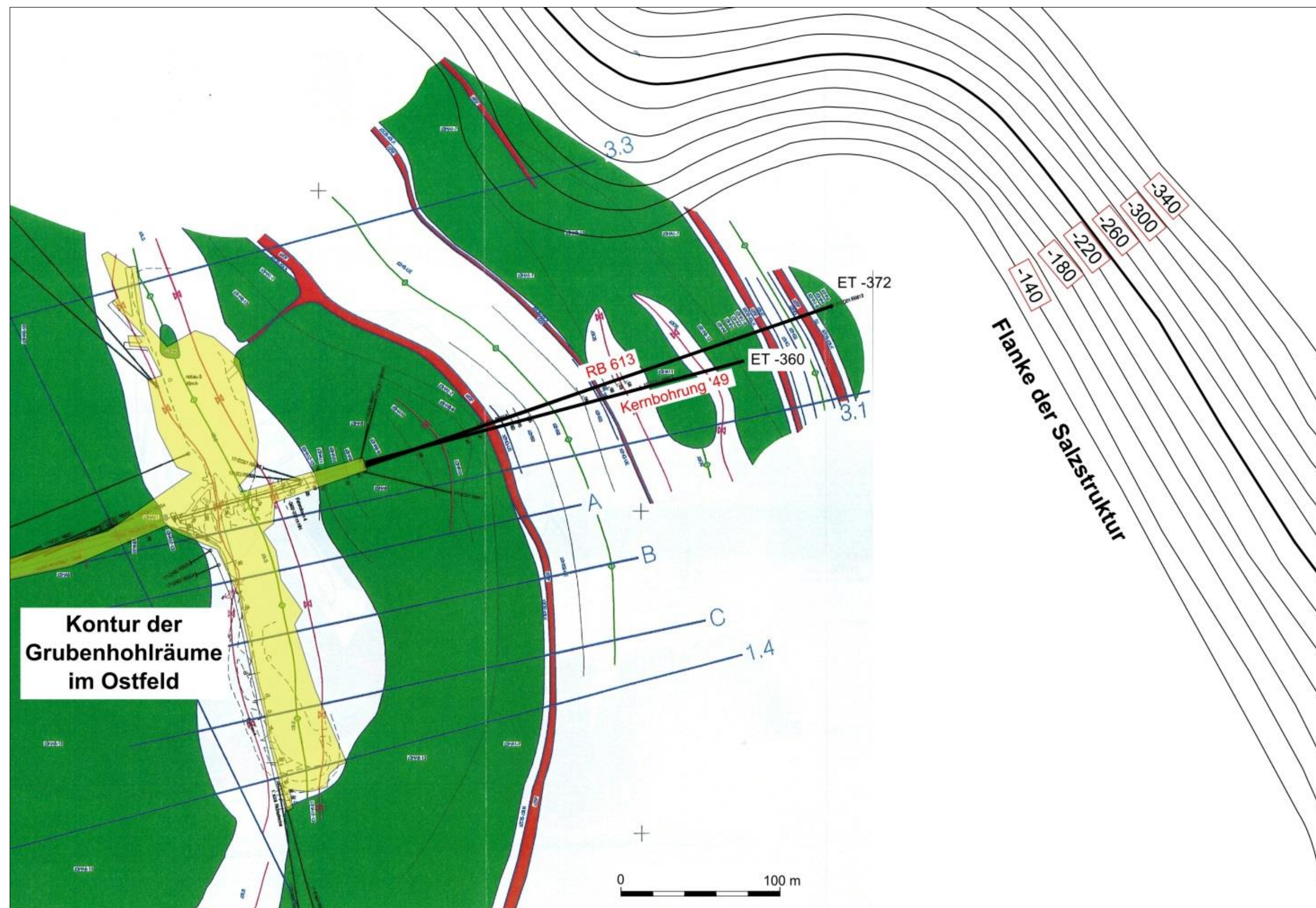


Abbildung 4-18: Geologische Verhältnisse der 4. Sohle Bartensleben im Bereich der Bohrung RB613 (Ausschnitt aus [P 61] Anlage 8, ergänzt)

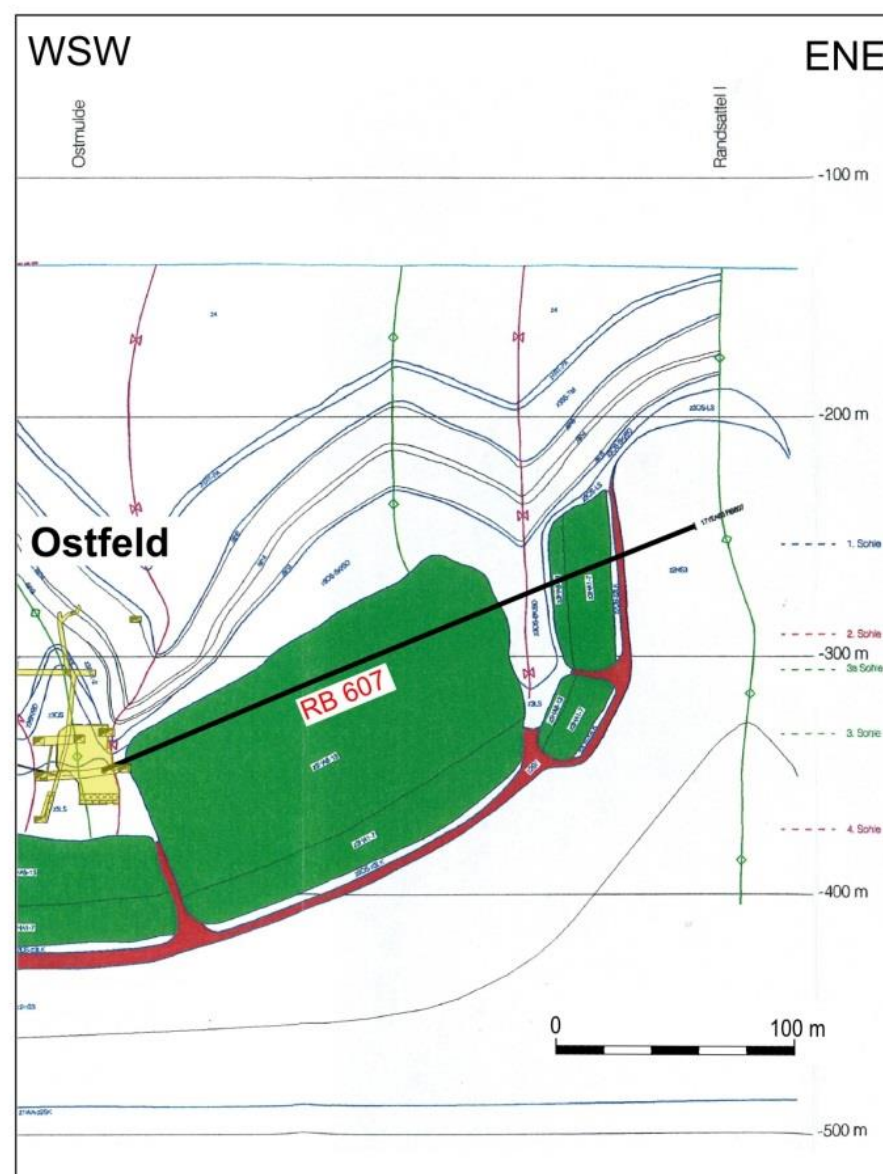
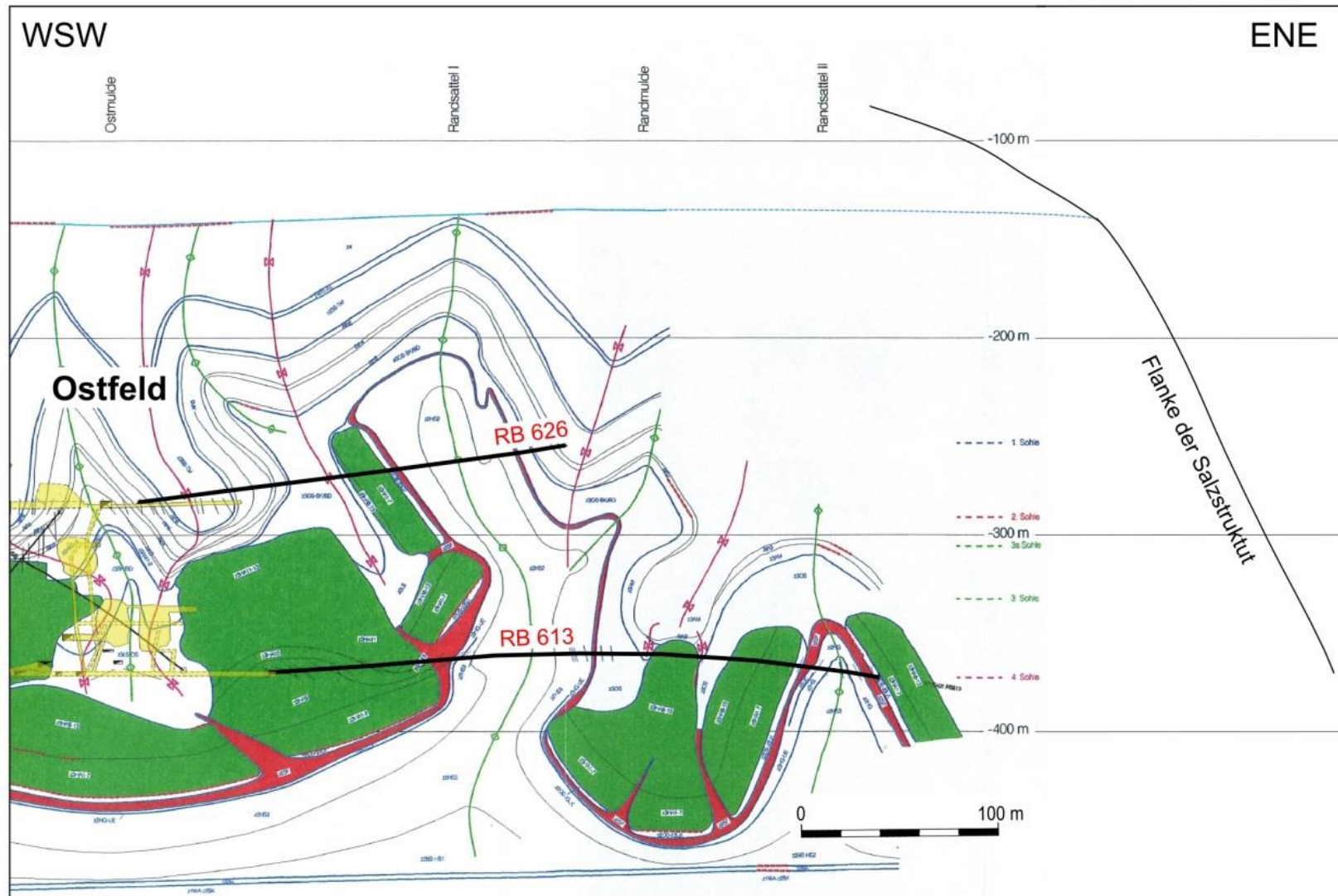


Abbildung 4-19: Geologische Profilschnitte 3.1 (oben) und 1.4 (unten) durch Ostmulde und Randmulde (Ausschnitte aus [P 61] Anlagen 9 und 14, ergänzt)

5. ABGESCHLOSSENHEIT DES SÜDFELDS VON DER RESTGRUBE

5.1. Übersicht

Der Einlagerungsbereich (ELB) Südfeld besteht gemäß [P 278] aus 31 Abbauen und den verbindenden Strecken, Rolllöchern und Gesenken. Er erstreckt sich von der 1. bis zur 7. Sohle der Grube Bartensleben. Die Grubenbaue liegen gemäß [P 278] im Steinsalz der Südmulde oder im Hartsalz-lager B. Die Grubenbaue sind auf der 1. bis 4. Hauptsohle an den Ostquerschlag der jeweiligen Sohle der Grube Bartensleben angebunden. Außerdem bestehen zwei Verbindungsstrecken zur Grube Marie von der 2. und 3. Sohle Bartensleben aus.

Die Einlagerung von radioaktiven Abfällen erfolgte in Steinsalzabbauen der 5a-Sohle. Gemäß [P 278] ist das Gebirge im Umfeld der Steinsalzabbau aufgrund des hohen Durchbauungsgrades in der Südmulde aufgelockert. Die Grubenbaue stehen über die Auflockerungszonen hydraulisch miteinander in Verbindung. Gemäß [P 278] ist aufgrund der großräumigen Auflockerung in der Südmulde auch von Verbindungen zwischen den Einlagerungsgrubenbauen und dem Kalilager B auszugehen.

Um das Südfeld von der Restgrube abzutrennen, sollen in den Strecken zwischen dem Südfeld und der Restgrube auf der 1. bis 4. Sohle 12 Abdichtungen zwischen den Kalilagern B und C errichtet werden (Abdichtungsstandorte A01 bis A12, vgl. Abbildung 5-1).

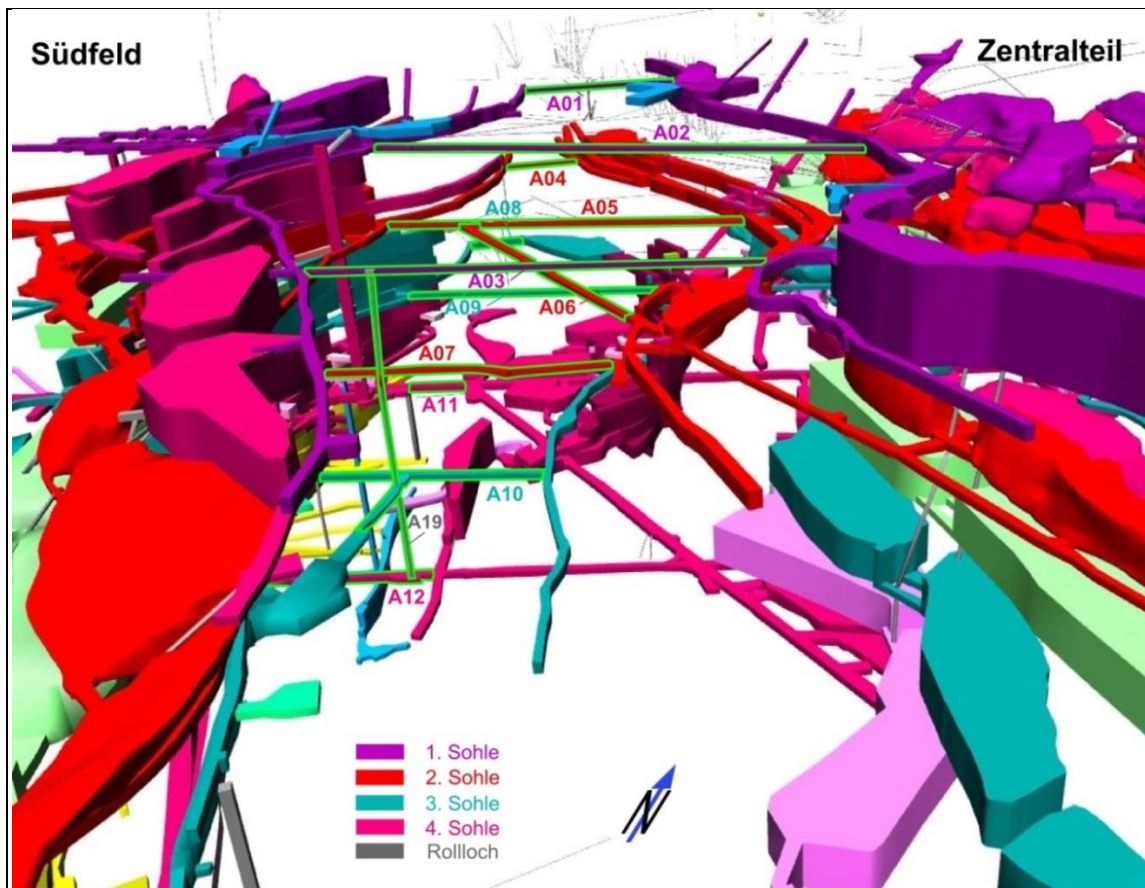


Abbildung 5-1: Abdichtungen zwischen Südfeld und Restgrube/Zentralteil (aus [EramSIS], ergänzt)

Gemäß [P 278] sind diese Bereiche wenig durchörtert worden, so dass nur wenige Verbindungsstrecken und ausreichend große intakte Gesteinsbereiche vorliegen. Die Wahrscheinlichkeit für die Existenz unbekannter Bohrungen wird als gering bezeichnet.

Zusätzlich soll mit der Abdichtung A19 ein Rolloch zwischen der 1. und der 4. Sohle abgedichtet werden, das als vertikale Verbindung der Wetterstrecken zwischen dem Südfeld und dem Südostfeld dient.

Im Bereich des B-Gesenks 2B in den Unterwerksbauen (d. h. in den Grubenbauen unterhalb der 4. Sohle) gibt es einige Strecken, die vom Kalilager B zum Kalilager C führen (vgl. Abbildung 5-2 und 5-19). Gemäß [P 278] ist nicht vorgesehen, diese Verbindungsstrecken abzudichten.

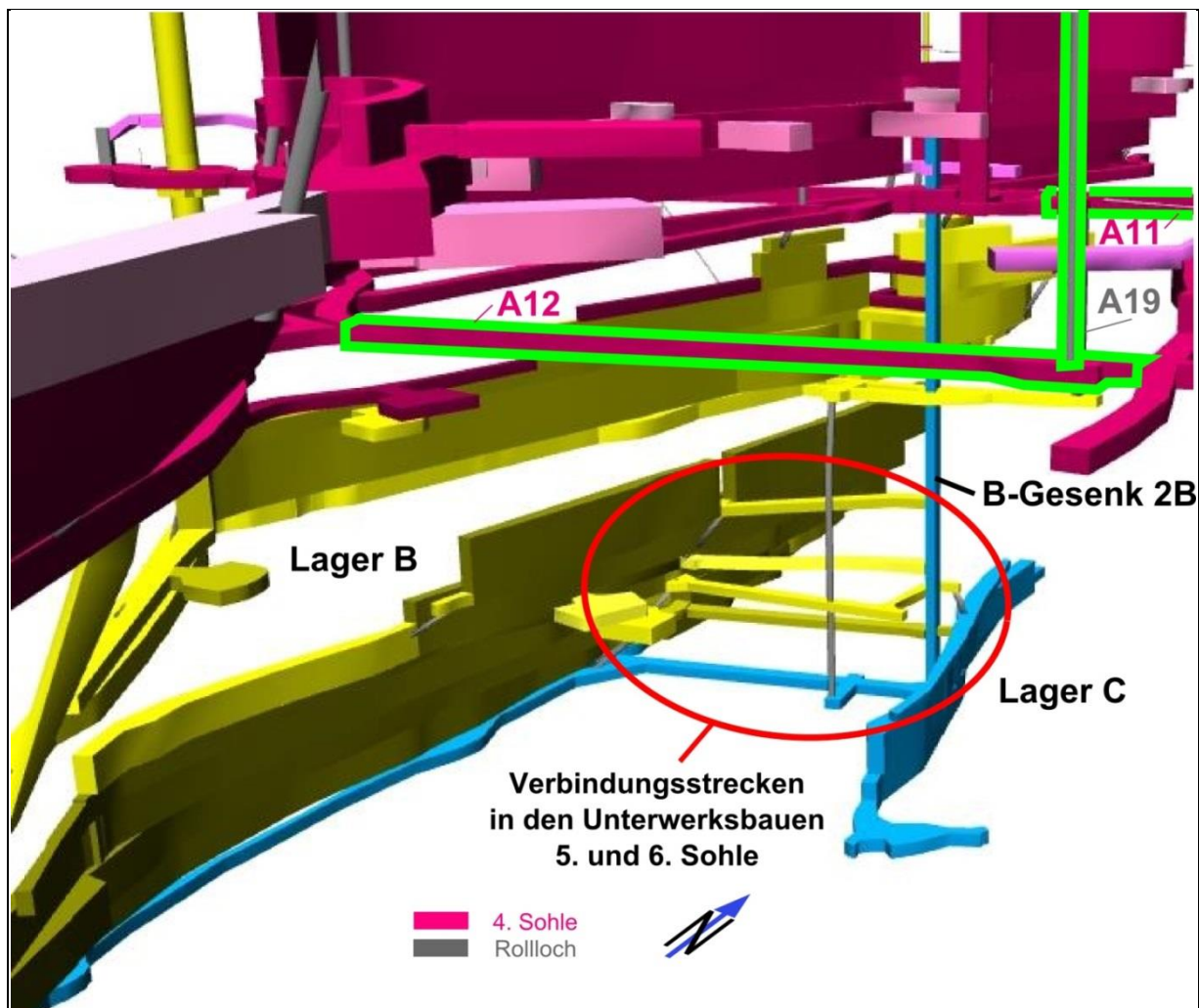


Abbildung 5-2: Verbindungsstrecken zwischen den Kalilagern B und C in den Unterwerksbauen des Südfelds (aus [EramSIS], ergänzt)

In der Abbildung 5-3 sind die Abdichtungsstandorte A01 bis A12 separat für die Sohlen 1 bis 4 dargestellt.

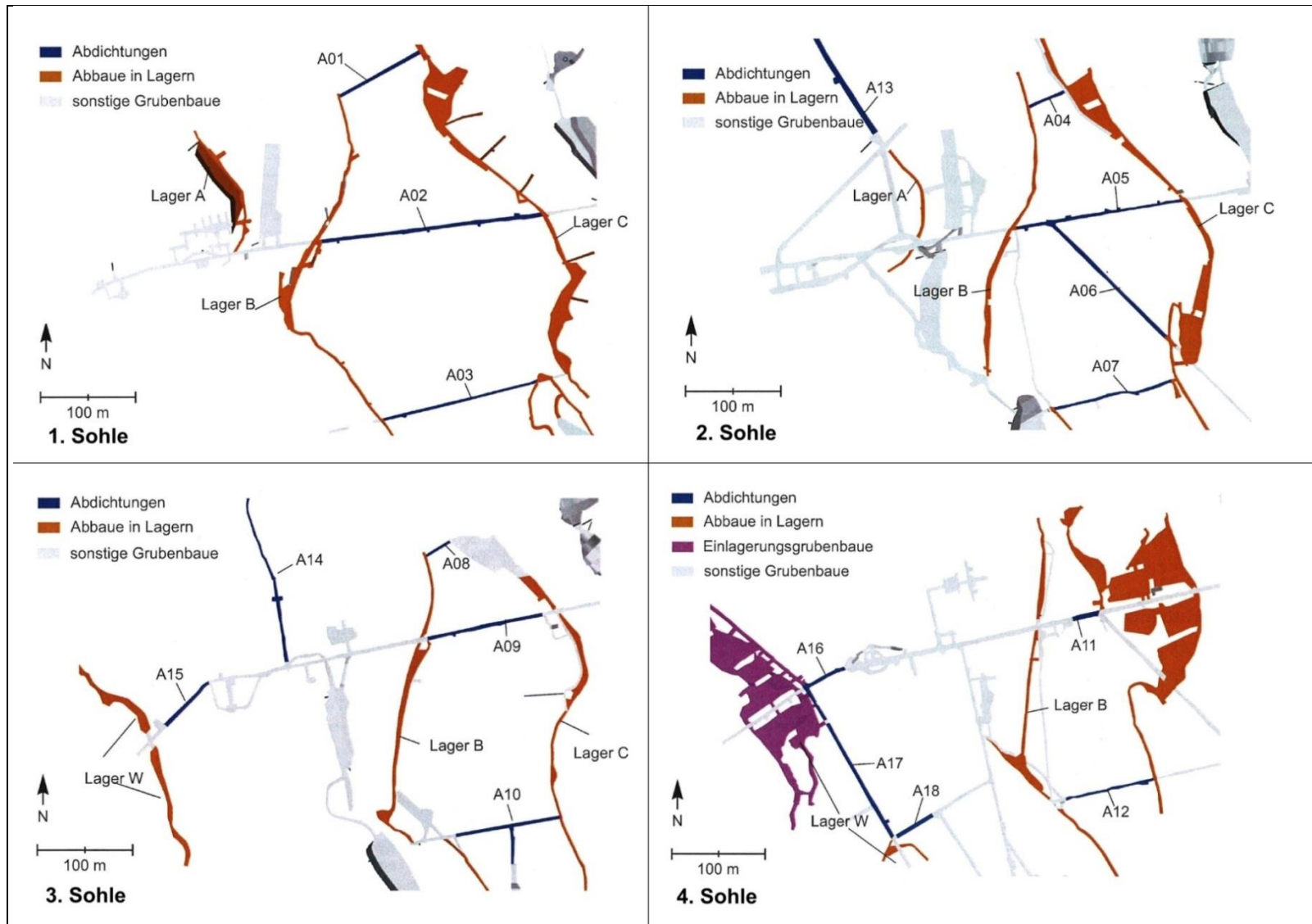


Abbildung 5-3: Abdichtungen zwischen Südfeld und Restgrube (aus [P 278], ergänzt)



In dem barrierewirksamen Gebirgsbereich zwischen den Lagern B und C befindet sich entsprechend [P 44] kein Hauptanhydrit. Damit die Abgeschlossenheit des ELB Südfeld zur Restgrube erreicht werden kann, müssen die folgenden Bedingungen erfüllt sein:

- In dem barrierewirksamen Gebirgsbereich darf es keine durchgängige Verletzung der Barrierenintegrität des Salzgebirges geben. Um dies nachzuweisen, ist die Einhaltung des Dilatanzkriteriums und des Fluidkriteriums (von der Restgrube aus) in einem ausreichend mächtigen Gebirgsbereich, der den bestehenden geologischen Unwägbarkeiten und modelltechnischen Idealisierungen Rechnung trägt, zu zeigen.
- Durch die Auf- und Umlösung von Kalisalzen (von der Restgrube aus) darf es nicht zu Wegsamkeiten zwischen den Kalilagern B und C kommen können. Hierbei sind die nicht verfüllten Verbindungsstrecken zwischen den Kalilagern B und C in den Unterwerksbauen zu berücksichtigen.
- Die im barrierewirksamen Gebirgsbereich liegenden untertägigen Bohrungen dürfen zusammen mit den zuvor genannten potentiellen Wegsamkeiten (gestörter Gebirgsbereich und lösungsgefährdete Kalilager) keine durchgehenden Verbindungen zwischen den Kalilagern B und C bilden.

In den folgenden Abschnitten werden diese Punkte geprüft.

5.2. Barrierenintegrität

In Bezug auf die Beurteilung der Barrierenintegrität im Bereich des Südfeldes bzw. des barrierewirksamen Gebirgsbereichs zwischen Südfeld und Zentralteil haben wir die Gutachter der TU Clausthal (TUC) hinzugezogen. Die Gutachter kommen in [TUC 12] zu folgenden Einschätzungen:

Die Steinsalzbarriere zwischen den Kalilagern B und C ist im Teufenniveau der 4. Sohle durch Streckenauffahrungen in der lateralen Salzbarriere östlich von Kalilager B auf minimal ca. 17 m reduziert. Hinsichtlich der hydraulischen Trennung des Südfeldes gegen die Restgrube ist u. a. der Nachweis zu erbringen, dass die Integrität der lateralen Salzbarriere zwischen den Kalilagern B und C gegeben ist und ein Lösungszutritt unterhalb der 1. Sohle ausgeschlossen werden kann. Zu diesem Zweck ist nachzuweisen, dass das Dilatanzkriterium und das Fluidkriterium im barrierewirksamen Gebirgsbereich eingehalten werden.

Die vorstehend skizzierten Nachweiserfordernisse wurden im Fachgespräch "Bewertung möglicher Migrationswege Westflanke und Südmulde" am 21.04.2009 eingehend durch BfS, LAGB, AG Morsleben, BS und MLU erörtert. Die zum Zeitpunkt des Fachgesprächs geplanten numerischen Modellierungen zur rechnerischen Analyse der Integrität der lateralen Salzbarriere zwischen dem West-/Südfeld und der Restgrube wurden durch BGR anlässlich des Fachgesprächs vorgestellt und abschließend als geeignet für die Beurteilung der Integrität eingeschätzt. Die Ergebnisse der Modellberechnungen sind in der Unterlage [I 399] "Modellberechnungen zur Integrität der lateralen Barriere zwischen den Lagerteilen B und C" (Stand 05.05.2010) dokumentiert. Die hier durchgeführte Plausibilitätsprüfung von [I 399] – soweit ohne eigene Vergleichsberechnungen möglichen – mündet in der Einschätzung, dass die Ausführungen in [I 399] nachvollziehbar, in sich schlüssig und sachlich richtig sind. Eine Prüfung der rechnerischen Richtigkeit erfolgte noch nicht, wird aber angesichts der Bedeutung für den Nachweis der Langzeitsicherheit des ERA Morsleben und der Tatsache, dass die



Berechnungen mit dem Programm JIFE, d.h. einem im Rahmen der rechnerischen Nachweise zum mechanisch-hydraulischen Tragverhalten des ERA Morsleben bisher nicht eingesetzten Programmsystem erfolgten, für notwendig erachtet.

Als Ergebnis wird in [I 399], S.3 ausgeführt:

„Die Integrität der geologischen Barriere zwischen den Lagerteilen B und C wurde für die untersuchte Fragestellung des Lösungszutritts aus dem Deckgebirge und den damit verbundenen Zulauf- und Umlöseprozessen hinsichtlich des Dilatanz- und Laugenkriteriums rechnerisch nachgewiesen.“

In [I 399] S. 35 wird im Detail ausgeführt:

„Für die anstehenden Steinsalzschiechten (Anmerkung Prüfer: gemeint ist die laterale Salzbarriere) werden für beide Modellvarianten Spannungszustände berechnet, die die Dilatanzgrenze überschreiten, so dass in diesen Gebirgsbereichen Schädigung, Auflockerungen und damit Wegsamkeiten auftreten können. Im Bereich des Salzspiegels treten während des gesamten Berechnungszeitraums von 20.000 Jahren keine dilatanten Bereiche auf. In der Engstelle zwischen den Lagerteilen B und C werden für beide Modellvarianten KLBC-06_J2D und KLBC-10_J2D bis zum Berechnungsende keine durchgängig dilatanten Bereiche berechnet, d.h. hinsichtlich des Dilatanzkriteriums ist die Integrität der lateralen Barriere zwischen den Lagerteilen B und C im simulierten Berechnungszeitraum gewährleistet.“

Bei dieser ‚Engstelle‘ handelt es sich um den Bereich der größten Annäherung der Lager B und C auf der 4. Sohle Bartensleben nördlich des Ostquerschlags (Modellschnittlinie siehe Abbildung 5-15).

Dokumentiert wird vorstehende Aussage durch die in [I 399] Anhang 6.2 und Anhang 6.3 gezeigten Auftragungen zur modellbezogenen Verteilung dilatanter Gebirgsbereiche (siehe Abbildung 5-4). Danach kann auch unter dem Hinweis, dass ein Koordinatenmaßstab nicht angegeben wird eingeschätzt werden, dass die Mächtigkeit der lateralen Barriere im Bereich der Engstelle zwischen den Lagerteilen B und C, für die die Einhaltung des Dilatanzkriteriums nachgewiesen werden kann, auch mit Berücksichtigung der abbau- und fluiddruckbedingten Spannungsumlagerungen noch ca. 14 bis 15 m beträgt.

Die Auswertung des Fluiddruckkriteriums führt gemäß [I 399] S.36 zu der Aussage:

„Zudem werden in den anstehenden Steinsalzschiechten für beide Modellvarianten während des Berechnungszeitraums von 20.000 Jahren ausgedehnte laugendruckgefährdete Gebirgsbereiche berechnet. Diese Aussage gilt insbesondere während der Zulauf- und Umlöseprozesse. In der Engstelle zwischen den Lagerteilen B und C werden während des gesamten Berechnungszeitraums rechnerisch keine durchgängig laugendruckgefährdeten Bereiche durch die entsprechend der Simulation aktuell anstehende Lauge ermittelt. Damit ist hinsichtlich des Laugendruckkriteriums die rechnerische Integrität der lateralen geologischen Barriere zwischen den Lagerteilen B und C im simulierten Berechnungszeitraum nachgewiesen.“



Abbildung 5-4: Dilatante Gebirgsbereiche im Bereich der Engstelle zwischen Lager B und Lager C zu den Berechnungszeitpunkten $t = 85$ Jahre (oben) und $t = 20.000$ Jahre (unten) (aus [I 399] Anlagen 6.2 und 6.3)

Die hinsichtlich des Laugendruckkriteriums ungünstigste Situation resultiert entsprechend [I 399] Seite 29 zum Berechnungszeitpunkt $t = 4.952,6$ Jahre, d. h. zum Ende des simulierten hydraulischen Anschlusses (hydraulischer Druck entsprechend Solesäule mit teufenbezogener Salinität bis zur Tagesoberfläche). Abbildung 5-5 zeigt die in [I 399] Anhang 6.14 für diesen Berechnungszeitpunkt dokumentierte Differenz zwischen dem aktuell anstehenden Laugendruck und der kleinsten Hauptdruckspannung. Danach wird die Aussage in [I 399] S. 30

„In der Engstelle zwischen den Lagerteilen B und C werden im Vergleich zu vorhergehenden Zeitpunkten ausgedehnte laugendruckgefährdete Bereiche ermittelt, es treten aber keine durchgängig laugendruckgefährdete Bereiche zwischen den Lagerteilen auf“

bestätigt.

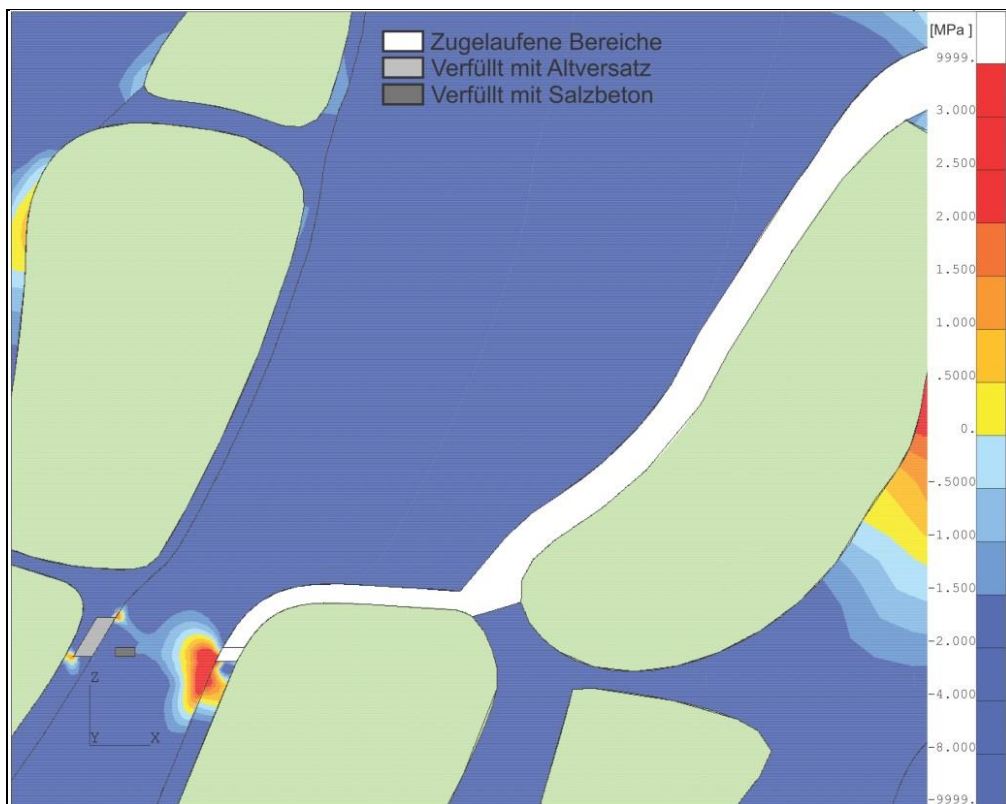


Abbildung 5-5: Laugendruckgefährdete Gebirgsbereiche (gelbe und rote Farbtöne) im Bereich der Engstelle zwischen Lager B und Lager C zum Berechnungszeitpunkt $t = 4.952,6$ Jahre (aus [I 399] Anlage 6.14)

Es ist darauf hinzuweisen, dass von der mit minimal ca. 17 m bezifferten Mächtigkeit der Salzbarriere im Bereich der Engstelle gemäß Abbildung 5-5 zum Berechnungszeitpunkt $t = 4.952,6$ Jahre lediglich etwa 9 m als integer verbleiben. Nach erster Durchsicht von [I 399] ist hierbei noch unberücksichtigt, ob bzw. inwieweit die als integer verbleibende Mächtigkeit der Salzbarriere ggf. reduziert wird, wenn der Zulauf der Lösung nicht wie in [I 399] realisiert 50 Jahre nach Stilllegung rechnerisch aktiviert wird, sondern erst zu einem späteren Zeitpunkt, mit dann durch kriechbedingte Spannungsumlagerungen weiter reduzierten Minimalspannungen in der Salzbarriere.



Schließlich bleibt noch darauf hinzuweisen, dass vom LAGB mit Datum vom 28.11.2012 eine "Bewertung der Unterlage I 399 hinsichtlich der Nachweisführung zur Dichtheit der Einlagebereiche" (AZ: D27-34925-11646/2011) vorgelegt wurde. In der vorstehend genannten Stellungnahme des LAGB wird neben Fragestellungen zur Parameterwahl, zum geänderten Dilatanzansatz und zur Lage des Berechnungsschnittes insbesondere angemerkt, dass die in [I 399] dokumentierten Ausführungen keine Aussagen „zu früheren resp. rascheren Lösungszutritten, wie sie gemäß LSA/LZSN auch zu betrachten sind“ treffen. Nach Einschätzung des LAGB „fehlen insbesondere Angaben zur Dimension der rechnerisch verbleibenden Salzbarriere sowie eine sicherheitliche Bewertung dieser Schutzschichtmächtigkeiten, welche geologischen und bergbaulichen Unsicherheiten sowie modelltechnischen Idealisierungen gleichermaßen Rechnung trägt - insbesondere angesichts des geringen Abstandes der betreffenden Grubenbaue.“

Wir kommen zu folgender Empfehlung und folgendem Hinweis:

E 15: Für den Nachweis der Barrierenintegrität des Gebirgsbereichs zwischen Lager B und Lager C sollte vom BfS eine Analyse der bestehenden Ungewissheiten erfolgen. Hierbei sollten die Ungewissheiten hinsichtlich

- **des verwendeten Stoffgesetzes (zur Beschreibung des Kriechverhaltens des Salzes bei niedrigen Spannungen),**
 - **der verwendeten Materialparameter,**
 - **des unterstellten Zeitpunkts des Volllaufens der Restgrube und**
 - **der geologischer Inhomogenitäten**
- berücksichtigt werden.**

H 04: Der Nachweis der Barrierenintegrität zwischen Lager B und Lager C sollte unabhängig rechnerisch überprüft werden.

5.3. Analyse der Abgeschlossenheit

Der barrierewirksame Gebirgsbereich, der die hydraulische Abtrennung des ELB Südfeld von der Restgrube bewirken soll, wird im vorliegenden Bericht als der Gebirgsbereich definiert, der sich zwischen den Kalilagern B und C des Kalisalzflözes Staßfurt befindet. Er setzt sich vorwiegend aus Steinsalz zusammen.

Verbindung von Lager B und Lager C

Sowohl das Kalilager B als auch das Kalilager C reichen bis zum Salzspiegel. Selbst wenn dieser als Lösungsweg angenommen wird, kann es über das Auf- und Umlösen von Kalisalz nicht zu einem Wasserweg zwischen der Restgrube und dem Südfeld kommen. Zwar muss unterstellt werden, dass das Kalilager C bis zum Salzspiegel weggelöst werden kann und eine Wegsamkeit hinterlässt. Unter der in diesem Bericht getroffenen Annahme, dass es aufgrund von Dichteeffekten nicht zu einem nach unten gerichteten Lösungsvorgang kommen kann, würde das Kalilager B vom Salzspiegel aus nicht angegriffen und bliebe als hydraulische Barriere erhalten. Zudem besteht das Kalilager B entsprechend [I 314] aus Hartsalz.



Kalilager Südmulde II

Innerhalb des barrierewirksamen Gebirgsbereichs ist ein nahezu senkrecht ausgerichtetes Kalisalz-lager eingelagert, das im südlichen Teil des hier betrachteten Gebirgsbereichs in zwei parallel verlaufende Äste aufgespalten ist. Dieses Lager, nachfolgend als ‚Kalilager Südmulde II‘ bezeichnet, ist entsprechend [P 44] im oberen Teil der Salzstruktur – deutlich oberhalb des Niveaus der 1. Sohle – an manchen Stellen mit dem Kalilager B verbunden (vgl. die Profilschnitte in den Abbildungen 5-20 und 5-21 in Abschnitt 5.4). Auch hier kann es unter der Annahme eines nur aufwärts oder seitwärts gerichteten Auf- und Umlösens von Kalisalzen nicht zur Ausbildung einer Wegsamkeit über beide Lager kommen.

Allerdings könnte das Auflösen des Kalilagers Südmulde II in horizontaler (bzw. horizontal-aufsteigender) Richtung zur Ausbildung einer Wegsamkeit zwischen der Restgrube und dem ELB Südfeld führen. In Abbildung 5-6 sind die geologischen Verhältnisse und die geplanten Streckenabdichtungen zwischen Restgrube und ELD Südfeld auf der 1. bis 4. Sohle der Grube Bartensleben dargestellt.

Das in den grau hinterlegten barrierewirksamen Gebirgsbereich eingebettete Kalilager Südmulde II wird von diversen Strecken durchörtert. Es wird bei einem Volllaufen der Restgrube in den meisten Strecken durch qualifizierte Abdichtungen zunächst gegen einen Lösungsangriff durch NaCl-Lösung geschützt. In den südlichen Wetterstrecken der 2. und 4. Sohle liegt das erste Abdichtungssegment jedoch westlich des Verschnittpunktes mit dem Kalilager, so dass das Kalilager Südmulde II der von der Restgrube her zutretenden NaCl-Lösung ausgesetzt wäre.

Käme es von diesen oder anderen Angriffspunkten aus zu einer Auflösung des Kalilagers, so würde eine Wegsamkeit geschaffen, mit der

- das östliche (bzw. südöstliche) Abdichtungssegmente an den Standorten A03, A04, A06 und A10,
- die beiden östlichen Abdichtungssegmente an den Standorten A02, A05 und A09 und
- die Abdichtungen an den Standorten A08 und A11 ggf. vollständig

umgangen würden.

Auf der Grundlage der uns vorliegenden Baubeschreibung zum Abdichtungsstandort A05 [P 526] gehen wir davon aus, dass an den Abdichtungsstandorten jeweils nur das der Restgrube zuwandte erste (östlichste) Abdichtungssegment besonders qualifiziert (d. h. mit einer Injizierung des Kontaktbereichs) hergestellt werden soll. Die vorstehend genannte potentielle auf-/umlösungsbedingte Umgehung von Abdichtungssegmenten würde einen Großteil dieser besonders qualifizierten Segmente betreffen.

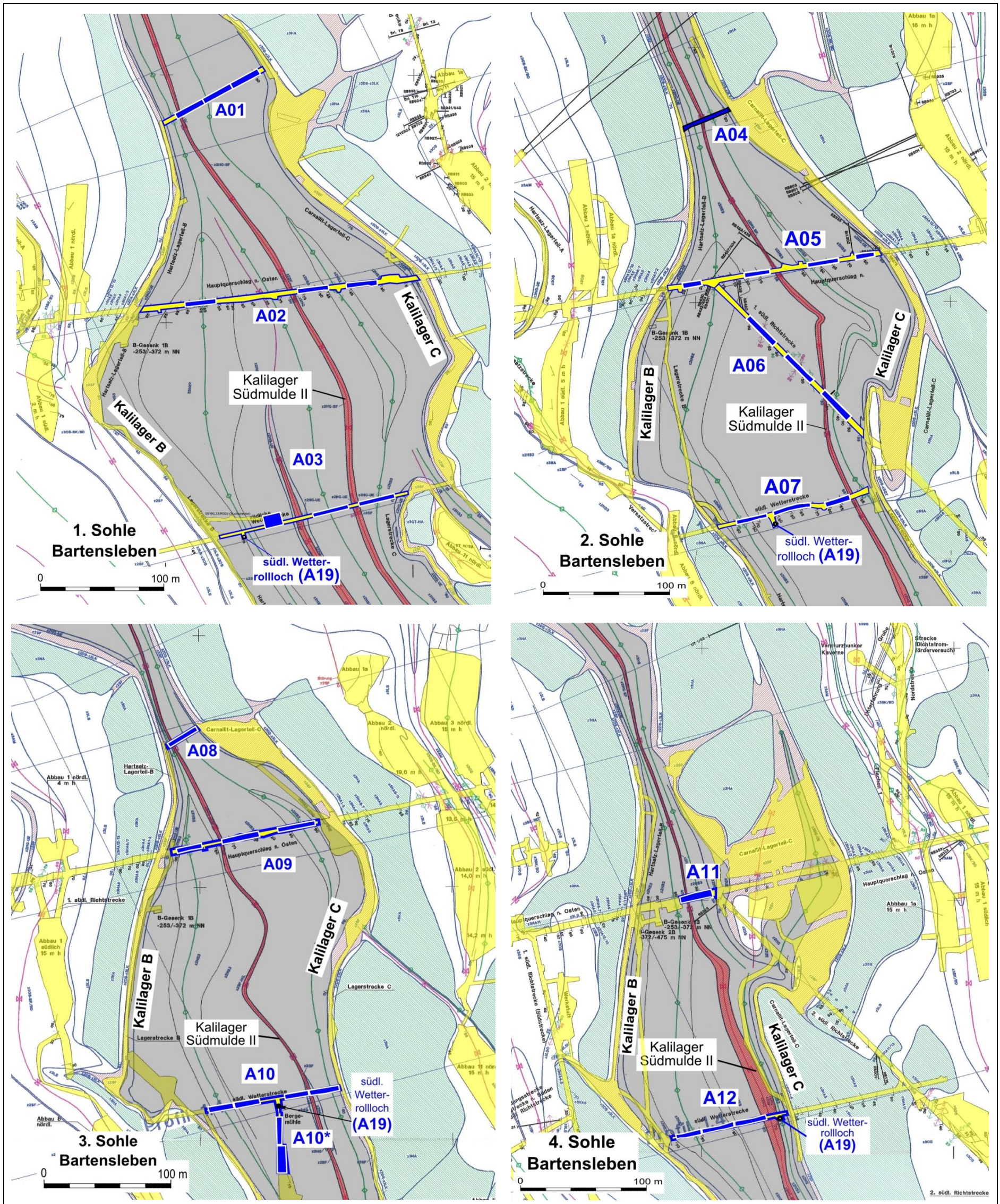


Abbildung 5-6: Verlauf des Kalilagers Südmulde II gemäß [P 44] im barrierewirksamen Gebirgsbereich zwischen Restgrube und ELB Südfeld auf der 1. bis 4. Sohle der Grube Bartensleben (aus [P 44] Anlagen 4 bis 7 sowie 20 bis 23, ergänzt).

Dieser Aspekt gilt unabhängig von der Mächtigkeit des Kalilagers Südmulde II, da infolge einer Umlösung auch geringe Schichtmächtigkeiten zu relevanten Wegsamkeiten führen können. Wir weisen darauf hin, dass die in den Abbildungen 5-6 und 5-11 bis 5-25 enthaltenen und auf [P 44] basierenden Darstellungen in Bezug auf die Mächtigkeit des Kalilagers Südmulde II – unter Berücksichtigung der Angaben in den Berichten zur Grubenkartierung 1997 und in den Lokationsberichten zu den Abdichtungsstandorten – einen irreführenden Eindruck erzeugen. In [P 44] wird das Kalilager der Südmulde II darstellerisch mit dem Hangendsalz (z2HG) zusammengefasst und diese Schichtenfolge mit der Kalisalz-Signatur versehen. Mit dieser Darstellungsweise wird der (nicht zutreffende!) Eindruck eines stellenweise mächtigen Kalilagers vermittelt. Die tatsächliche Mächtigkeit des Kalilagers Südmulde II wird in den Lokationsberichten mit „wenige Zentimeter“ bis 0,5 m angegeben.

Das Kalilager Südmulde II wurde vom Südfeld her mit der (nicht zur Verfüllung vorgesehenen) Bohrung UT I/55 (5. Sohle) durchstoßen. Es wird im vorliegenden Bericht davon ausgegangen, dass von der 4. Sohle aus keine nach unten gerichtete Auf-/Umlösung des Kalilagers erfolgt, so dass hier keine hydraulische Verbindung zwischen der Restgrube und dem ELB Südfeld über das auf-/umgelöste Kalilager und diese Bohrung angenommen wird. Die berücksichtigte Annahme zur fehlenden abwärts gerichteten Auf-/Umlösung bedarf allerdings noch der Prüfung und Bewertung. Die Bohrung RB709 (4. Sohle) endet in der Nähe des Kalilagers Südmulde II, allerdings in Steinsalz (s. Abbildung 5-15).

Entsprechend den Annahmen in Kapitel 3.2 unterstellen wir in diesem Bericht nur ein Umlösen carnallititischer Kalilager. In [I 314] wird angegeben, dass das Kalilager Südmulde II ausschließlich als Hartsalz ausgebildet ist. Allerdings bleibt unklar, auf welcher Basis diese Aussage beruht. Von den 42 in [I 314] untersuchten Proben zur Faziescharakterisierung des Kaliflözes Staßfurt stammt keine aus dem Kalilager Südmulde II. In [SOM 11] führt das LAGB unter Verweis auf die Grubenkartierung aus, dass das Kalilager Südmulde II im Bereich der Abdichtungen A06 und A07 carnallititisch ausgeprägt ist.

Zur Klärung der Frage, ob das Kalilager Südmulde II im Fall des Volllaufens der Grube Bartensleben umlösegefährdet ist, empfehlen wir:

E 16: Das BfS sollte eine Unterlage zur mineralogisch-geochemischen Charakterisierung des Kalilagers Südmulde II mit den entsprechenden Belegen vorlegen.

Sollte nicht ausgeschlossen werden können, dass das Kalilager Südmulde II umlösegefährdet ist, wäre das Stilllegungskonzept hinsichtlich des Aspektes der Auf-/Umlösung von Kalilagern zu ergänzen. In diesem Fall wäre darzustellen, welche Maßnahmen ergriffen werden sollen, um das im barrierewirksamen Gebirgsbereich zwischen den Kalilagern B und C eingebettete Kalilager Südmulde II vor einer von der Restgrube her angreifenden Auf-/Umlösung zu schützen. Möglicherweise könnte dieser Schutz mittels zusätzlicher Abdichtungssegmente („Schutzelemente“) erfolgen. Beispielsweise wäre es u. E. in der südlichen Wetterstrecke der 2. Sohle (Standort A07) möglich, östlich der bislang vorgesehenen drei Abdichtungssegmente zwischen dem Kalilager und dem Ende der Wetterstrecke ein weiteres Element zu errichten (vgl. Abbildung 5-7). Auch in der südlichen Wetterstrecke der 4. Sohle (Standort A12) besteht u. E. die Möglichkeit der Errichtung eines solchen zusätzlichen Abdichtungssegmentes, ggf. in Verbindung mit der Abdichtung des südlichen Wetterrolllochs (vgl. Abbildung 5-8).

Die Funktion dieses Schutzelements ist, den Lösungszutritt zur aufgeschlossenen Kontaktfläche des Kalilagers zu behindern und – wenn es trotzdem zu einem Lösungsangriff kommt – den Lösungsaustausch zwischen (angelöstem) Kalilager und der Strecke zu behindern und damit das Weiterlösen zu verlangsamen. Hierbei wirkt sich günstig aus, dass zwischen der Strecke und dem Kalilager nur sehr geringe hydraulische Gradienten bestehen, so dass der Stoffaustrag aus dem Kalilager nur durch dichtegetriebene Konvektion und Diffusion erfolgen kann.

Verbindungsstrecken im Südfeld unterhalb der 4. Sohle

Im Südfeld existieren unterhalb der 4. Sohle Verbindungsstrecken zwischen den Kalilagern B und C, die nicht verfüllt werden sollen (vgl. Abbildungen 5-2 und 5-22). Über diese Verbindungsstrecken bliebe eine hydraulische Verbindung zwischen dem westlichen Strang (Kalilager B) und dem östlichen Strang des Kalisalzlagers Staßfurt (Kalilager C) erhalten. Dies betrifft insbesondere folgende Grubenbaue (vgl. Abb. 5-9, von oben nach unten):

- Rollloch 17YEQ01/RL001, B-Gesenk 2B (17YES09/R001) und Wetterrollloch (19YKA31/RL001),
- Umfahrungsstrecke B-Gesenk 2B 19YKA51/R001 und Querschlag B-Gesenk 2B 19YKQ02/R001 (-420 mNN) sowie
- Verbindungsstrecken 20YKQ01/R001 (-433 mNN), 21YKQ05/R001 (-447 mNN), 21YKQ04/R001 (-454 mNN), 21YKQ03/R001 (-461 mNN) und 21YEQ02/R001 (-475 mNN).

Die im Kalilager C aufgefahrenen Unterwerksbaue sind – zusätzlich zu den o. g. Verbindungsstrecken – mit den höheren Sohlen über das B-Gesenk 2B und über das Rollloch 17YEQ01/RL001, die beide westlich der vorgesehenen Streckenabdichtungen im Niveau der 4. Sohle enden, verbunden (siehe Abbildung 5-9).

Zusätzliche hydraulische Verbindungen könnten entstehen, wenn es zu einer Auf-/Umlösung des Kalilagers C zwischen den Unterwerksgrubenbauen und den höheren Sohlen käme. Unter der in diesem Bericht getroffenen Annahme, dass es aufgrund von Dichteeffekten nicht zu einem nach unten gerichteten Lösungsvorgang kommen kann, wird diese potentielle Wegsamkeit nicht betrachtet.

Mit der uns zur Verfügung stehenden Informationsbasis ist allerdings nicht einschätzbar, ob hydraulische Verbindungen zwischen der Restgrube und den Unterwerksgrubenbauen des Südfeldes über Wegsamkeiten im Hauptanhydrit bestehen bzw. entstehen könnten.

Wir kommen zu folgender Empfehlung:

E 17: Durch geologische Sachverständige (IHU Stendal und/oder LAGB) sollte beurteilt werden, ob es über Wegsamkeiten im Hauptanhydrit zu hydraulischen Verbindungen zwischen der Restgrube und den Unterwerksgrubenbauen des Südfeldes kommen könnte. Erst im Ergebnis dieser Beurteilung kann u. E. eine Entscheidung erfolgen, wie mit den Unterwerksgrubenbauen im Südfeld im Rahmen der Stilllegung umzugehen ist.

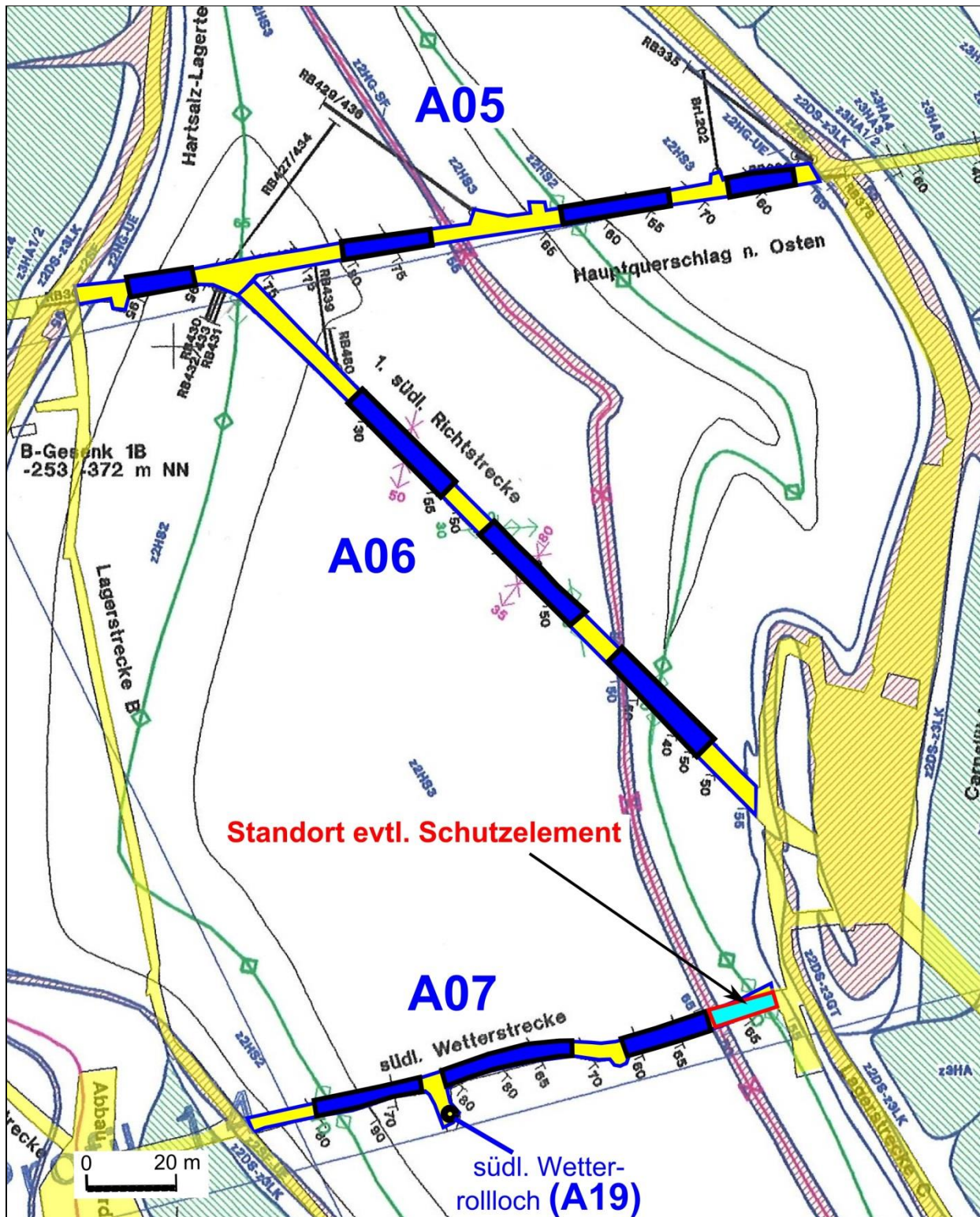


Abbildung 5-7: 2. Sohle Bartensleben: möglicher Standort eines zusätzlichen Abdichtungselementes zum Schutz des Kalilagers Südmulde II gegen Umlösung (Abbildungsgrundlage: Ausschnitt aus [P 44] Anlage 21)

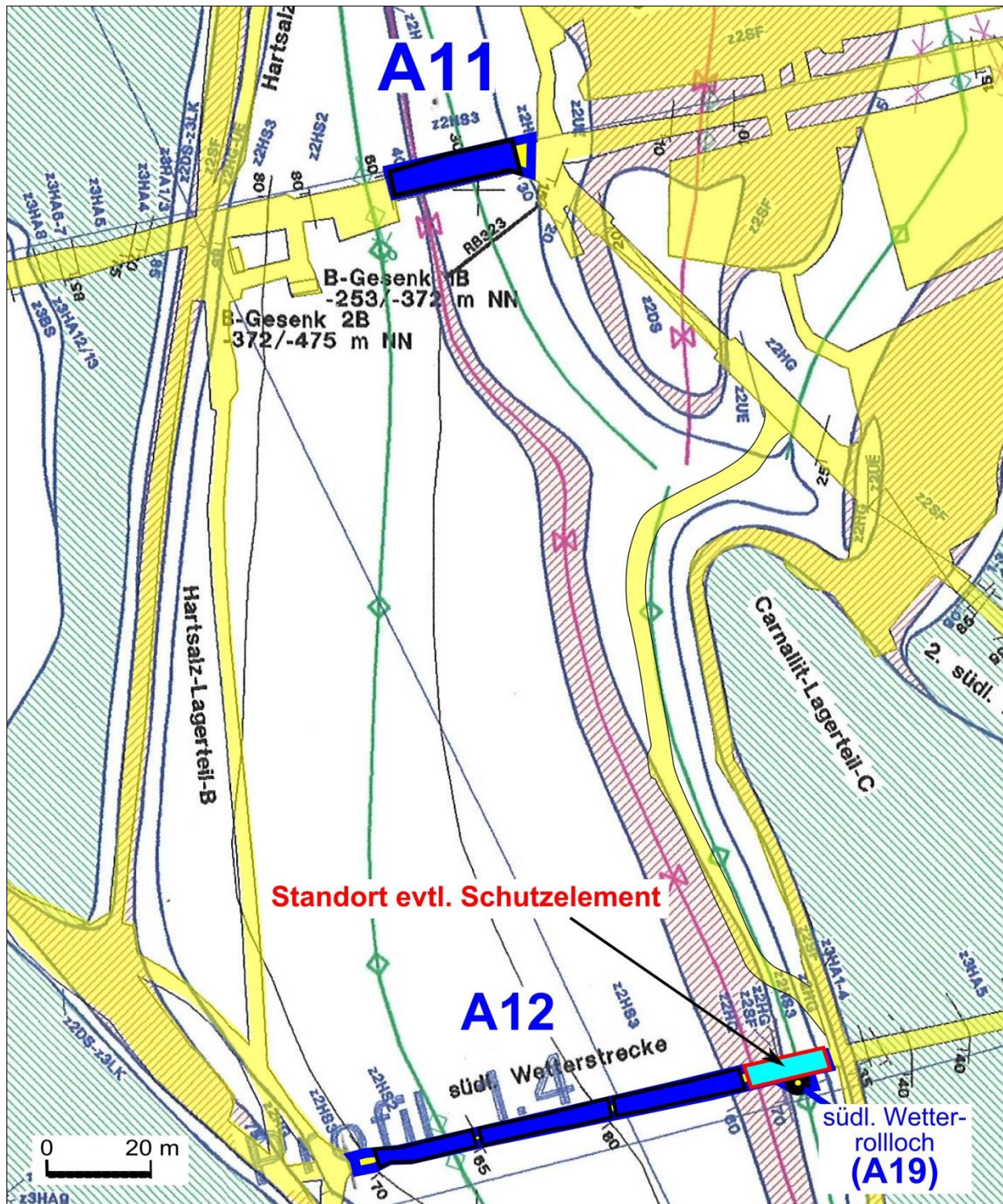


Abbildung 5-8: 4. Sohle Bartsleben: möglicher Standort eines zusätzlichen Abdichtungselementes zum Schutz des Kalilagers Südmulde II gegen Umlösung (Abbildungsgrundlage: Ausschnitt aus [P 44] Anlage 23)

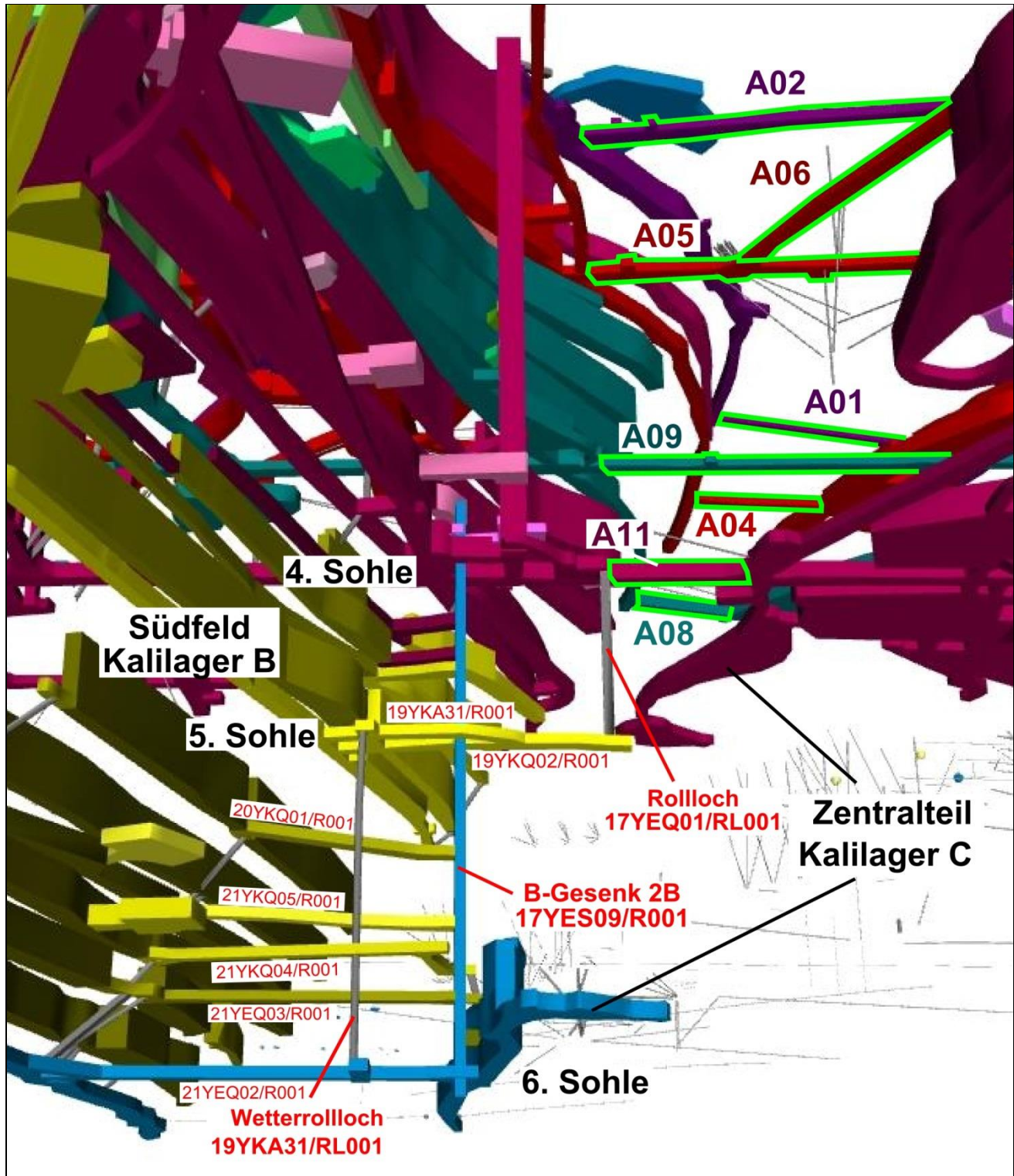


Abbildung 5-9: Unterwerksbaue Lager C (Ansicht von schräg unten in Richtung Nord; aus [EramSIS], ergänzt, potentiell langzeitsicherheitsrelevante Grubenbaue mit roter Beschriftung)

5.4. Potentielle Wegsamkeiten über Bohrungen zwischen Kalilager B und C

In unserem 3. Zwischenbericht zum Prüfkomples 7 „Anforderungen aus der LSA an den Verschluss von untertägigen Bohrungen“ [BS 12] gingen wir bereits ausführlich auf die im Bereich der hier relevanten Abdichtungsstandorte vorhandenen Bohrungen und auf die Notwendigkeit der Verfüllung von untertägigen Bohrungen ein. Die von uns zugrunde gelegten Kriterien, nach denen die Identifizierung von qualifiziert zu verfüllenden Bohrungen erfolgte, sind in Abschnitt 3.1 des vorliegenden Berichts dargestellt. Wir kommen in [BS 12] u. a. zu der Empfehlung, dass vom BfS für jeden Einzelfall begründet werden sollte, warum eine Bohrung, die eines der Kriterien K1 bis K6 erfüllt, nicht qualifiziert verfüllt werden muss. Diese Begründung liegt uns bislang nicht vor.

Im Folgenden werden die in [BS 12] dokumentierten Arbeiten fortgeführt, indem der insbesondere gemäß den Lokationsberichten zu den Abdichtungsstandorten fortgeschrittene Kenntnisstand zu den untertägigen Bohrungen im Bereich der Abdichtungen berücksichtigt wird. Zu diesem Zweck wurden die untertägigen Bohrungen im barrierewirksamen Gebirgsbereich zwischen dem Kalilager B und dem Kalilager C systematisch zusammengestellt und unter Berücksichtigung der geologischen Verhältnisse untersucht, ob die Bohrungen Ursache oder Teil eines potentiellen Fließweges sind bzw. sein können. Im Ergebnis der Betrachtungen in den nachfolgenden Abschnitten 5.4.1 bis 5.4.5 werden vorab in den Tabellen 5-1 und 5-2 diejenigen Bohrungen im hier betrachteten barrierewirksamen Gebirgsbereich angegeben, die mindestens eines der Kriterien K1 bis K6, mit denen wir potentiell langzeitsicherheitsrelevante Bohrungen identifizieren, erfüllen.

Die Angaben hinsichtlich des Kriteriums 3 sind dabei als beispielhaft zu verstehen, es wird hier ein Grenzwinkel α von 45° unterstellt. Die Einklammerung des Kriteriums K3 in der 4. Tabellenspalte bedeutet, dass die Bohrung dieses Kriterium in Abhängigkeit von der Wahl des Grenzwinkels ggf. erfüllt. Wir weisen im Zusammenhang mit dem Kriterium K3 auf unsere Empfehlung in Hinweis H 02 in Abschnitt 4.4 hin, derzufolge der Grenzwinkel mit 90° gewählt werden sollte, so dass alle Bohrungen im Bereich von Abdichtungssegmenten verfüllt werden.

In der 3. Tabellenspalte ist angegeben, wenn eine Bohrung gemäß der Unterlage [P 145] zur Verfüllung vorgesehen ist. Hinsichtlich der Auswahl der vom Antragsteller zur Verfüllung vorgesehenen untertägigen Bohrungen liegen uns keine neuen Informationen vor. In den uns vorliegenden und für diesen Bericht gesichteten Lokationsberichten zu den Abdichtungsstandorten wird diesbezüglich auf die Unterlage [P 145] verwiesen.

Sofern wir die Wahrscheinlichkeit, dass mit einer Bohrung eine zusätzliche langzeitsicherheitsrelevante Wegsamkeit verbunden sein könnte, als vergleichsweise hoch einschätzen, weisen wir in den nachfolgenden Abschnitten auf diesen Sachverhalt hin und empfehlen den qualifizierten Verschluss der Bohrung. Für alle anderen potentiell relevanten Bohrungen, die mindestens eines der Kriterien K1 bis K6 erfüllen, gilt unsere Empfehlung aus [BS 12] fort, dass vom BfS begründet werden sollte, weshalb für jeden Einzelfall eine qualifizierte Verfüllung nicht erforderlich ist (vgl. Hinweis H 05 in Abschnitt 4.4).

Der barrierewirksame Gebirgsbereich zwischen den Kalilagern B (Südfeld) und C (Zentralteil) wird nachfolgend auf der Basis der in [P 44] enthaltenen geologischen Sohlenrisse und Profilschnitte dargestellt und in diesen Darstellungen grau hinterlegt (vgl. Abbildung 5-10). Dabei werden solche untertägige Bohrungen hervorgehoben, die unter Langzeitsicherheitsaspekten relevant sein könnten, d. h. die Teil von Wegsamkeiten sein könnten, die einer Abgeschlossenheit des ELB Südfeld

entgegenstehen könnten. Des Weiteren werden die im betrachteten Bereich vorhandenen Grubenbaue hervorgehoben (gelb). In den Sohlenrissen und Profilschnitten ist zu erkennen, dass die Ausdehnung des barrierewirksamen Gebirgsbereichs stark variiert und Einengungen in vertikaler und in horizontaler Richtung bestehen.

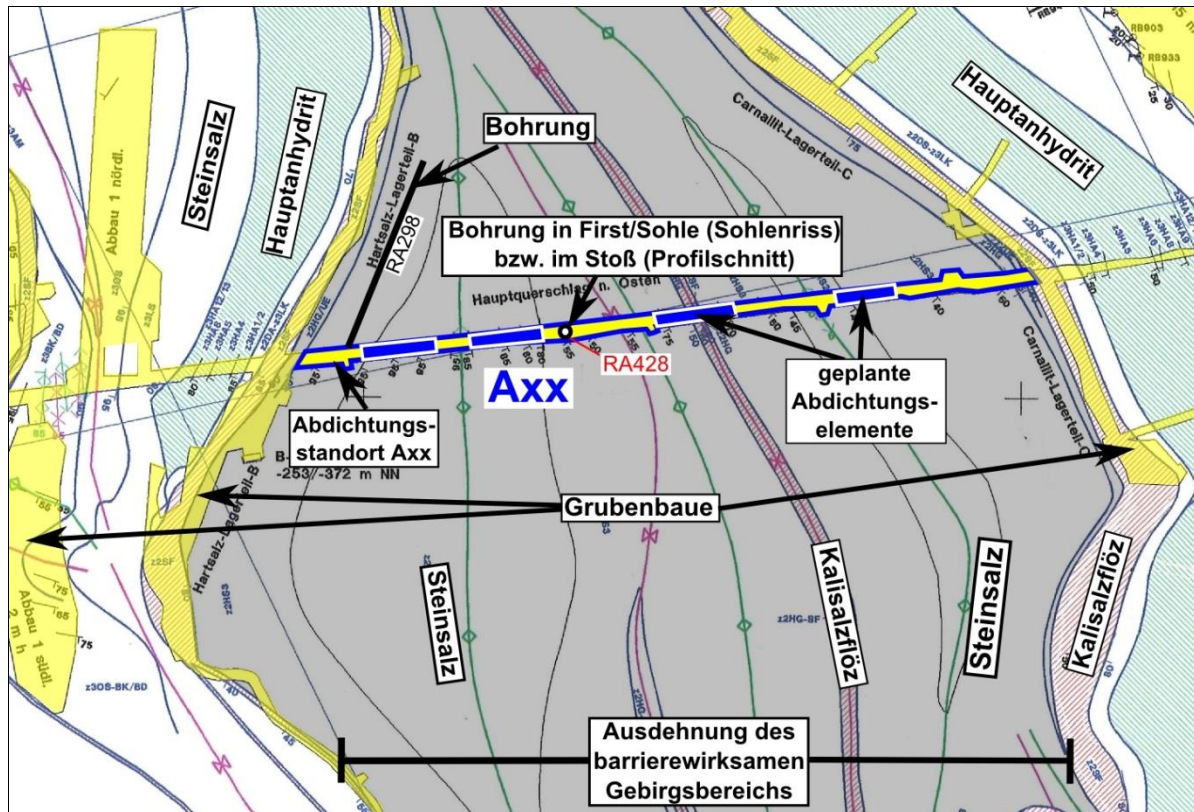


Abbildung 5-10: Erläuterungen zu den Darstellungen in den Abbildungen 5-11 bis 5-25

In den Abbildungen 5-11 bis 5-19 sind Ausschnitte aus den geologischen Sohlenrissen in [P 44] enthalten, aus denen die räumliche Anordnung des Hauptanhydrits (grün schraffiert) und der Kalisalzflöze (rot schraffiert) hervorgeht. Diese Ausschnitte wurden um die Standorte der Streckenabdichtungen A01 bis A12 (gelb mit blauer Umrandung), die gemäß der Lokationsberichte vorgesehenen Standorte der Abdichtungssegmente (blau mit weißer Umrandung) und um die vorgesehene Abdichtung des südlichen Wetterrolllochs (A19) ergänzt. Die Bezeichnung der in den Tabellen 5-1 und 5-2 angegebenen Bohrungen erfolgt mit roter Schriftfarbe. Diese Kennzeichnungen erfolgen auch in den Profilschnitten (Abbildungen 5-20 bis 5-25). Zudem sind dort Hilfslinien zur Darstellung des Höhenniveaus enthalten. Bei den dazu jeweils am linken Rand der Schnittdarstellungen enthaltenen Höhenangaben (-100 bis -600) handelt es sich um Meter über Normalnull [mNN].

Bei der Beschreibung der Abdichtungsstandorte berücksichtigen wir u. a. die Angaben in den vom BfS zu den Abdichtungsstandorten vorgelegten Lokationsberichten. Diesen Berichten sind z. B. Angaben zu Bohrungen zu entnehmen, die im Rahmen der geotechnischen Standorterkundung gestoßen wurden. Angaben zu einer eventuellen qualifizierten Verfüllung dieser Bohrungen sind in den Lokationsberichten nicht enthalten.

Tabelle 5-1: Potentiell langzeitsicherheitsrelevante Bohrungen im Nahbereich der Abdichtungsstandorte A01 bis A12

| Abdichtung | Bohrung | Verfüllung gem. [P 145] | erfüllte Kriterien | Bemerkungen |
|------------|-------------------------------|-------------------------|--------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| A01 | RA430 - RA433 | -- | (K3) | (in Abhängigkeit vom gewählten Grenzwinkel) |
| A03 | RA445/446/498/499 | -- | (K3) | (in Abhängigkeit vom gewählten Grenzwinkel) |
| A05 | RA446 | -- | (K3) K4 | (in Abhängigkeit vom gewählten Grenzwinkel); Abstand < 26 m zu RB335, zu Auffahrung im E und zum Bremsberg |
| | RA447 | -- | (K3) K4 | (in Abhängigkeit vom gewählten Grenzwinkel); Abstand < 26 m zum Bremsberg |
| | RA449 | -- | (K3) K4 | (in Abhängigkeit vom gewählten Grenzwinkel); Sohlenbohrung, reicht bis Zwischensohle -296; dort ist der Abstand < 26 m zum Bremsberg |
| | RB013 | -- | K4, K5 | Abstand < 26 m zu RB023 und RB335, zum Auffahrung im E und zum Bremsberg; außerdem Länge ungeklärt |
| | RB427 | ja | K5 | Abstand zu RB429 und RB436 < 26 m; Kriterium K3: Bohransatzpunkt liegt außerhalb der vorgesehenen Standorte der Abdichtungssegmente |
| | RB428 | ja | K4 | Firstbohrung, reicht bis zur Abdichtung A02 hoch bzw. bis knapp unter die Sohle, Abstand < 26 m |
| | RB429 | ja | K5 | Abstand zu RB427 und RB434 < 26 m |
| | RB434 | ja | K5 | Abstand zu RB429 und RB436 < 26 m; Kriterium K3: Bohransatzpunkt liegt außerhalb der vorgesehenen Standorte der Abdichtungssegmente |
| | RB435 | ja | K4 | Sohlenbohrung; reicht bis -320,4 m hinab; Abstand zum Abdichtungsstandort A09 < 26 m |
| | RB436 | ja | K5 | Abstand zu RB427 und RB434 < 26 m |
| | RB437 | ja | K4 | geneigte Sohlenbohrung, Endpunkt bei -313,4 mNN; Abstand zu Abdichtungsstandort A09 < 26 m. |
| A06 | RA474 - 477 | -- | (K3) | (in Abhängigkeit vom gewählten Grenzwinkel) |
| A08 | RA438 - 441 | -- | (K3) | (in Abhängigkeit vom gewählten Grenzwinkel) |
| A10 | RA466 - 469 | -- | (K3) | (in Abhängigkeit vom gewählten Grenzwinkel) |
| A10* | RA478 - 481 u. RA563 - 566 | -- | (K3) | (in Abhängigkeit vom gewählten Grenzwinkel) |
| A11 | RB323 | ja | K6 | Abstand zu Auffahrung im Südfeld < 26 m |
| | RA551 - 554 | -- | (K3) | (in Abhängigkeit vom gewählten Grenzwinkel) |

Tabelle 5-2: Potentiell langzeitsicherheitsrelevante Bohrungen im barrierewirksamen Gebirgsbereich zwischen Südfeld und Restgrube außerhalb des Nahbereichs der Streckenabdichtungen

| Barriere | Bohrung | Verfüllung gem. [P 145] | erfüllte Kriterien | Bemerkungen |
|--------------------------------|----------|----------------------------|-----------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| nördlich Ost- querschlag | RB619 | ja | K1, K2 | Hauptanhydrit sowie Kalilager B und C erbohrt |
| | UT I/83 | ja | K1, K2 | keine Angaben zum Schichtenverzeichnis; aufgrund der benachbarten Lage zur RB619 wurden vmtl. Hauptanhydrit sowie Kalilager B und C erbohrt |
| südlich Ost- querschlag | UT I/55 | -- | K1 | Hauptanhydrit erbohrt |
| | UT II/55 | -- | K1 | Hauptanhydrit erbohrt |

5.4.1. 1. Sohle (-253 mNN)

Im Niveau der 1. Sohle Bartensleben sind Streckenabdichtungen an den Standorten A01 bis A03 vorgesehen. Der barrierewirksame Gebirgsbereich weist zwischen den Grubenbauen der Kalilager B und C eine horizontale Erstreckung von mindestens 80 m auf (vgl. Abbildung 5-11).

Zum Abdichtungsstandort A01 wurde der Lokationsbericht [P 530] vorgelegt, demzufolge dort drei aneinander grenzende Abdichtsegmente errichtet werden sollen. Aus dieser Unterlage ist zu entnehmen, dass im Bereich des Standortes A01 die Bohrungen **RA430-433** existieren, die im Rahmen der geotechnischen Standortcharakterisierung zur Durchführung von Hydrofrac- und/oder Permeabilitätsmessungen in Stöße, Firste und Sohle gestoßen wurden. Diese Bohrungen liegen im Bereich des westlichsten Abdichtungssegmentes und können in Abhängigkeit vom gewählten Grenzwinkel ggf. das Kriterium K3 erfüllen. Weitere Bohrungen liegen im Bereich des Standortes A01 nach unserer Kenntnis nicht vor.

Im Bereich des Abdichtungsstandortes A02 existieren die Bohrungen **RA298** und **RB035** (in [BS 12] als ‚unbenannte Kurzbohrung‘ bezeichnet). Die Bohrungen nähern sich den Grubenbauen des Südfeldes bis auf einen Abstand von weniger als 26 m an und erfüllen damit formal das Kriterium K4. Die Bohransatzpunkte beider Bohrungen liegen gemäß [P 195] und [P 511] – vom Südfeld aus betrachtet – allerdings vor dem ersten der drei Abdichtungssegmente des Standortes A02. Sofern diese Planung umgesetzt wird, sind die Bohrungen nicht langzeitsicherheitsrelevant, da sie in diesem Fall keine Bedeutung hinsichtlich einer Umströmung des Abdichtungsstandortes hätten.

Dem Lokationsbericht [P 511] ist zu entnehmen, dass sich am östlichen Ende des Standortes A02 die Bohrungen **RB031** und **RB032** befinden (Bohrlänge ca. 1 m). Zudem wurden die Bohrungen **RA442 bis RA445** im Rahmen der geotechnischen Standortcharakterisierung zur Durchführung von Hydrofracmessungen gestoßen (vgl. Abbildung 5-11). Diese Bohrungen sind nicht langzeitsicherheitsrelevant, sofern der gewählte Grenzwinkel nicht unterschritten wird und ihre Ansatzpunkte – wie gemäß [P 511] vorgesehen – außerhalb der Abdichtungssegmente liegen.

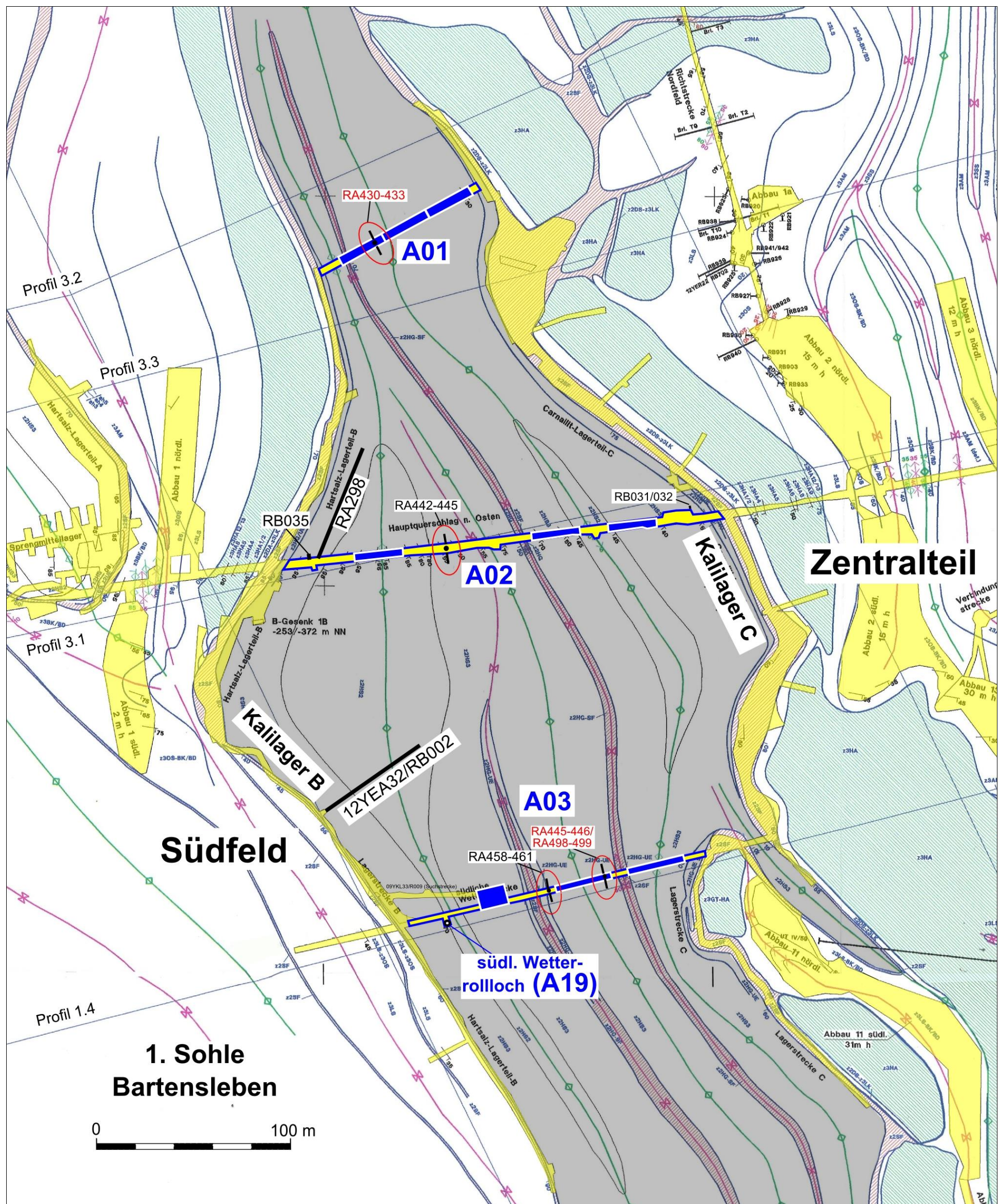


Abbildung 5-11: 1. Sohle Bartensleben, barrierewirksamer Gebirgsbereich zwischen Kalilager B (Südfeld) und Kalilager C (Zentralteil)

Zum Abdichtungsstandort A03 liegt uns noch kein Lokationsbericht vor. Dieser Standort ist allerdings in der Anlage 1 des Lokationsberichtes [P 530] dargestellt. Nach diesen Angaben liegen im Bereich des Standortes A03, an dem drei Abdichtungssegmente errichtet werden sollen, nur die Bohrungen **RA458 bis RA461, RA445/446 sowie RA498/499** vor. Es ist zu vermuten, dass diese kurzen Bohrungen im Rahmen der geotechnischen Standortcharakterisierung zur Durchführung von Hydrofrac- und/oder Permeabilitätsmessungen gestoßen wurden. Die Bohrungen RA445/446 sowie RA498/499 liegen gemäß [P 530] im Bereich des mittleren Abdichtungssegmentes und wären damit – in Abhängigkeit vom gewählten Grenzwinkel – ggf. potentiell langzeitsicherheitsrelevant.

Gemäß [P 530] existiert nordwestlich des Standortes A03 die von der Lagerstrecke B aus gestoßene Bohrung **12YEA32/RB002**. Sie dringt mit einer Bohrlänge von 58 m tief in den barrierewirksamen Gebirgsbereich vor, schließt nach den uns vorliegenden Informationen jedoch weder eine Hauptanhydritscholle noch ein Kalisalzager auf. Damit ist sie nach den in Abschnitt 3.1.4 genannten Kriterien nicht als potentiell langzeitsicherheitsrelevant einzustufen.

5.4.2. 2. Sohle (-291 mNN)

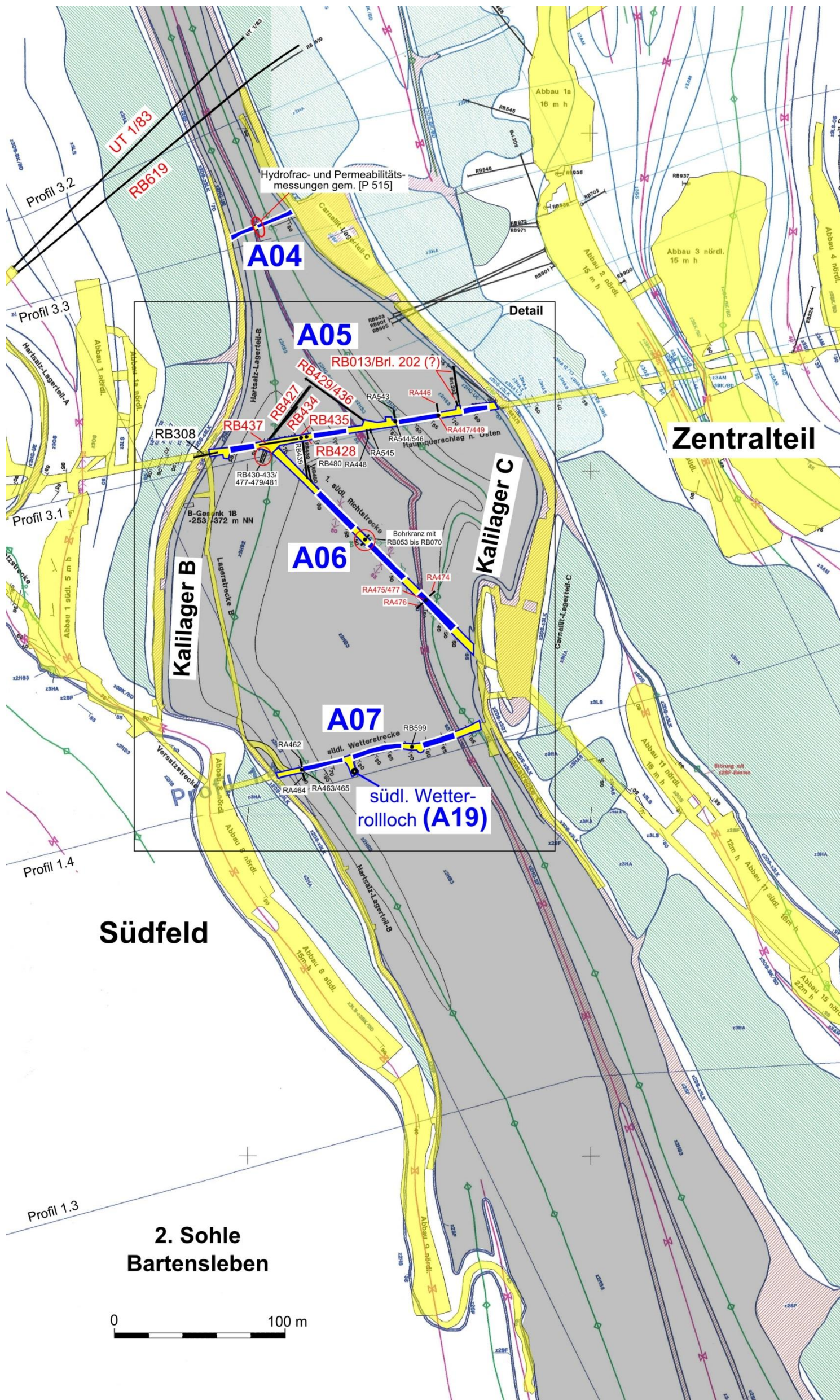
Im hier betrachteten Bereich zwischen Südfeld und Zentralteil sind im Niveau der 2. Sohle Bartensleben die Abdichtungsstandorte A04 bis A07 vorgesehen (vgl. Abbildungen 5-12 und 5-13).

Der barrierewirksame Gebirgsbereich ist gemäß [P 44] nördlich des Abdichtungsstandortes A04 zwischen den Grubenbauen der Kalilager B und C auf eine horizontale Breite von ca. 27 m reduziert (vgl. Abbildung 5-12). Zu diesem Standort liegt uns noch kein Lokationsbericht vor. Gemäß Anlage 1 des Lokationsberichtes [P 515] zum Standort A07 sind im Bereich von A04, in dem zwei Abdichtungssegmente erstellt werden sollen, Hydrofrac- und Permeabilitätsmessungen vorgesehen. Es ist daher davon auszugehen, dass dort entsprechende Untersuchungsbohrungen gestoßen werden sollen bzw. wurden. Sofern diese im Bereich eines Abdichtungssegmentes liegen, wären sie in Abhängigkeit vom gewählten Grenzwinkel ggf. potentiell langzeitsicherheitsrelevant.

Nördlich des Standortes A04 existieren die Bohrungen **UT 1/83** und **RB619**, die den barrierewirksamen Gebirgsbereich vollständig durchstoßen und gemäß [P 145] qualifiziert verfüllt werden sollen. Wir kommen zu der Empfehlung:

E 18: Die Bohrungen UT 1/83 (12YEQ21/RB001) und 12YEQ21/RB619 sind auch aus unserer Sicht langzeitsicherheitsrelevant. Wir empfehlen, dass – wie gemäß [P 145] vorgesehen – eine qualifizierte Verfüllung dieser Bohrungen erfolgt.

Im Bereich des Standortes A05 sind diverse potentiell langzeitsicherheitsrelevante Bohrungen zu berücksichtigen. Sofern die Abdichtungssegmente gemäß den Angaben in [P 195] und [P 512] positioniert werden, ist die Bohrung **RB308** nicht von Bedeutung, da sich ihr Ansatzpunkt dann außerhalb der abgedichteten Strecken befindet. Erläuterungen zu der in [BS 12] aufgeworfenen Frage zur Bohrlänge der Bohrung **RB013** bzw. Brl. 202 liegen uns nicht vor. In [P 512] wird angegeben, dass die Bezeichnung der Bohrung RB013 „Altbohrung 202“ lautet. Es wird dort eine Bohrlänge von 2,4 m angegeben. Es wird allerdings nicht erläutert, weshalb in verschiedenen Unterlagen (vgl. [BS 12]) eine Bohrlänge von ca. 25 m angegeben und verzeichnet wurde. Aufgrund der potentiellen Langzeitsicherheitsrelevanz einer solchen Bohrung, die zu einer Umläufigkeit des östlichsten Abdichtungssegmentes führen könnte, sehen wir die Klärung dieser Fragestellung als erforderlich an.



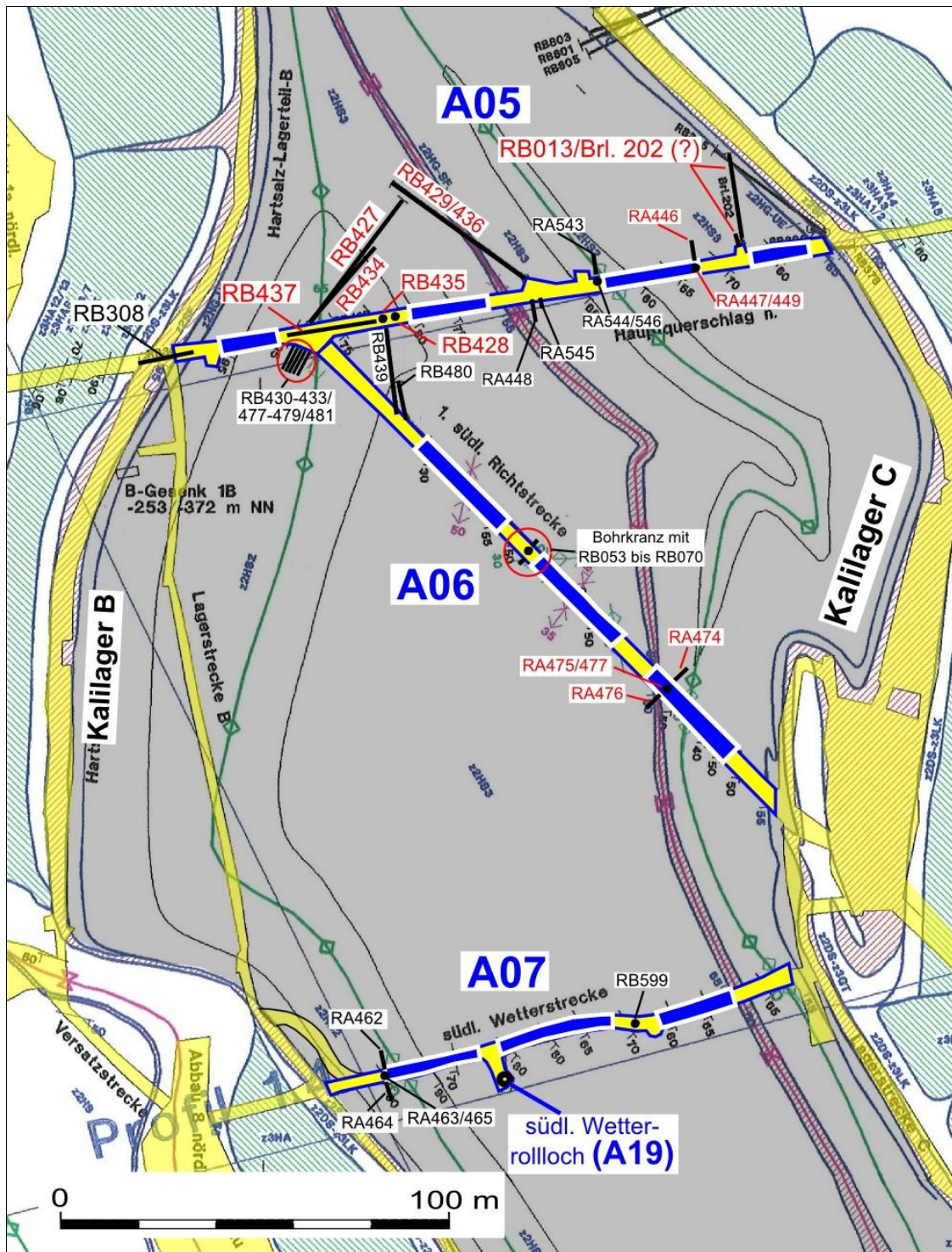


Abbildung 5-13: 2. Sohle Bartensleben, Abdichtungsstandorte A05, A06 und A07



E 19: Wir empfehlen, das BfS zu einer schriftlichen Erläuterung aufzufordern,

- **wie der aktuelle Kenntnisstand zur Länge der Bohrung 12YEQ01/RB013 ist,**
- **auf welchen Informationen dieser Kenntnisstand basiert,**
- **ob die ‚Altbohrung 202‘ existiert und welche Länge sie hat oder ob sie identisch ist mit der Bohrung RB013 und – sofern die Bohrungen identisch sind – weshalb die Länge der ‚Altbohrung 202‘ zuvor z. T. mit ca. 25 m angegeben wurde, der Bohrung RB013 jedoch nur eine Länge von 2,4 m zugewiesen wird.**

Am Standort A05 existieren u. a. die Bohrungen **RB427 bis RB429** und **RB434 bis RB437**, die von uns in [BS 12] als potentiell langzeitsicherheitsrelevant identifiziert wurden und gemäß [P 145] qualifiziert verfüllt werden sollen.

E 20: Die Bohrungen 12YEQ01/RB427 bis RB429 und RB434 bis RB437 sind auch aus unserer Sicht langzeitsicherheitsrelevant. Wir empfehlen, dass – wie gemäß [P 145] vorgesehen – eine qualifizierte Verfüllung dieser Bohrung erfolgt.

Bei den Bohrungen **RA446 bis RA449** handelt es sich gemäß [P 512] um Bohrungen, die im Rahmen der geotechnischen Standortcharakterisierung zur Durchführung von Hydrofracmessungen gestoßen wurden. Gemäß [P 512] wurden zudem die Bohrungen **RA543 bis RA546** zwecks Messung von Gaspermeabilitäten gestoßen. Im Übergangsbereich zwischen A05 und A06 befinden sich die Bohrungen **RB430 bis RB433**, **RB477 bis RB479** und **RB481** westlich A06 sowie **RB439** und **RB480** östlich A06. Die Bohrung RB480 ist gemäß [P 506] lösungserfüllt.

In [BS 12] wurde bereits festgestellt, dass die Bohrungen RA446, RA447 und RA449 das Kriterium K4 erfüllen. Zudem befinden sich diese Bohrungen gemäß [P 512] im Bereich eines Abdichtungssegmentes und können in Abhängigkeit vom gewählten Grenzwinkel ggf. das Kriterium K3 erfüllen. Die Bohrungen RB439 und RB480 erfüllen kein Kriterium. Die anderen Bohrungen sind ebenfalls nicht langzeitsicherheitsrelevant, sofern der gewählte Grenzwinkel nicht unterschritten wird und ihre Ansatzpunkte – wie gemäß [P 512] vorgesehen – außerhalb der Abdichtungssegmente liegen.

Gemäß [P 506] wurden im Bereich des Standortes A06 die Bohrungen **RA474 bis RA477** im Rahmen der geotechnischen Standortcharakterisierung zur Durchführung von Hydrofracmessungen gestoßen. In der Bohrung RA477 trat gemäß [P 506] ein Lösungszutritt auf, der in [P 506] auf Wetterlösungen oder technische Lösungen zurückgeführt wird. Diese Bohrungen liegen im Bereich des der Restgrube zugewandten Abdichtungssegmentes und können in Abhängigkeit vom gewählten Grenzwinkel ggf. das Kriterium K3 erfüllen.

Im Bereich des Abdichtungsstandortes A06 befinden sich gemäß [P 506] zudem die Ansatzpunkte der Bohrungen **RB053 bis RB070**, die Bohrkränze mit jeweils 5 Bohrungen um eine zentrale Bohrung in der Firste und in beiden Stößen bilden. Die Zielstellung dieser maximal 2 m langen Bohrungen wird in [P 506] nicht angegeben⁷. Diese Bohrungen sind nicht langzeitsicherheitsrelevant, sofern der gewählte Grenzwinkel nicht unterschritten wird und ihre Ansatzpunkte – wie gemäß [P 506] vorgesehen – außerhalb der Abdichtungssegmente liegen.

⁷ Nach den uns vorliegenden Informationen handelt es sich um eine Seismik-Messstelle.



Am Standort A07 wurden gemäß [P 515] die Bohrungen **RA462 bis RA465** zur Durchführung von Hydrofrac-Messungen sowie die Bohrung **RB599** zur Durchführung von Permeabilitätsmessungen gestoßen. Die Bohrungen RA462 bis RA465 erfüllen kein Kriterium und sind nicht langzeitsicherheitsrelevant. Nach unserer Kenntnis existieren in diesem Bereich keine weiteren Bohrungen.

5.4.3. 3. Sohle (-332 mNN)

Auf der 3. Sohle sollen Streckenabdichtungen an den Standorten A08, A09, A10 und A10* errichtet werden. Lokationsberichte wurden bislang nur zu den Standorten A09 [P 513] und A10* [P 531] vorgelegt. In [P 531] Anlage 1 sind allerdings auch Informationen zu Abdichtungen und Bohrungen im Bereich der Standorte A08 und A10 enthalten.

Für den Abdichtungsstandort A08, an dem nach den Angaben in [P 531] Anlage 1 ein einzelnes Abdichtungssegment mit einer Länge von 26 m errichtet werden soll, sind die Bohrungen **RA438 bis RA441** zu berücksichtigen (vgl. Abbildung 5-14). Wir gehen davon aus, dass es sich um im Rahmen der geotechnischen Standortcharakterisierung zur Durchführung von Hydrofrac- und/oder Permeabilitätsmessungen gestoßene Bohrungen handelt. Die Bohransatzpunkte befinden sich innerhalb des geplanten Standortes eines Abdichtungssegmentes und können in Abhängigkeit vom gewählten Grenzwinkel ggf. das Kriterium K3 erfüllen. Es liegen uns keine Informationen über die Existenz weiterer Bohrungen in diesem Bereich vor.

Im Bereich des Abdichtungsstandortes A09, an dem drei Abdichtungssegmente errichtet werden sollen, befindet sich die Bohrung **RA295**, die gemäß [P 145] nicht verfüllt werden soll. In [BS 12] identifizierten wir diese Bohrung als potentiell langzeitsicherheitsrelevant, da sie formal das Kriterium K4 erfüllt. Da hier jedoch das betroffene (westliche) Abdichtungssegment kürzer ist als der barrierewirksame Gebirgsbereich zwischen RA295 und dem Kalilager B, sehen wir diese Bohrung nicht weiter als potentiell langzeitsicherheitsrelevant an. Weiterhin wurden gemäß [P 513] im Bereich A09 die Bohrungen **RA450 bis RA453** für die Durchführung von Hydrofrac- und Permeabilitätsuntersuchungen gestoßen. Alle Bohransatzpunkte befinden sich außerhalb der geplanten Standorte der Abdichtungssegmente. Die Bohrungen sind nicht langzeitsicherheitsrelevant, sofern der gewählte Grenzwinkel nicht unterschritten wird und ihre Ansatzpunkte – wie gemäß [P 513] vorgesehen – außerhalb der Abdichtungssegmente liegen.

Am Abdichtungsstandort A10 wurden gemäß [P 531] Anlage 1 die Bohrungen **RA466 bis RA469** gestoßen, die nach unserer Einschätzung ebenfalls Hydrofrac- und/oder Permeabilitätsmessungen dienen. Die Bohransatzpunkte befinden sich innerhalb des geplanten Standortes eines der drei Abdichtungssegmente und können in Abhängigkeit vom gewählten Grenzwinkel ggf. das Kriterium K3 erfüllen. Es liegen uns keine Informationen über die Existenz weiterer Bohrungen in diesem Bereich vor.

Gemäß [P 531] wurden im Bereich des Abdichtungsstandortes A10* die Bohrungen **RA563 bis RA566** für Permeabilitätsmessungen und die Bohrungen **RA478 bis RA481** für Hydrofracmessungen gestoßen. Diese Bohrungen liegen innerhalb der Standorte der beiden dort geplanten Abdichtungssegmente und können in Abhängigkeit vom gewählten Grenzwinkel ggf. das Kriterium K3 erfüllen. Zwischen A10 und A10* befindet sich das südliche Wetterrollloch, das mit der Abdichtung A19 abgedichtet werden soll.

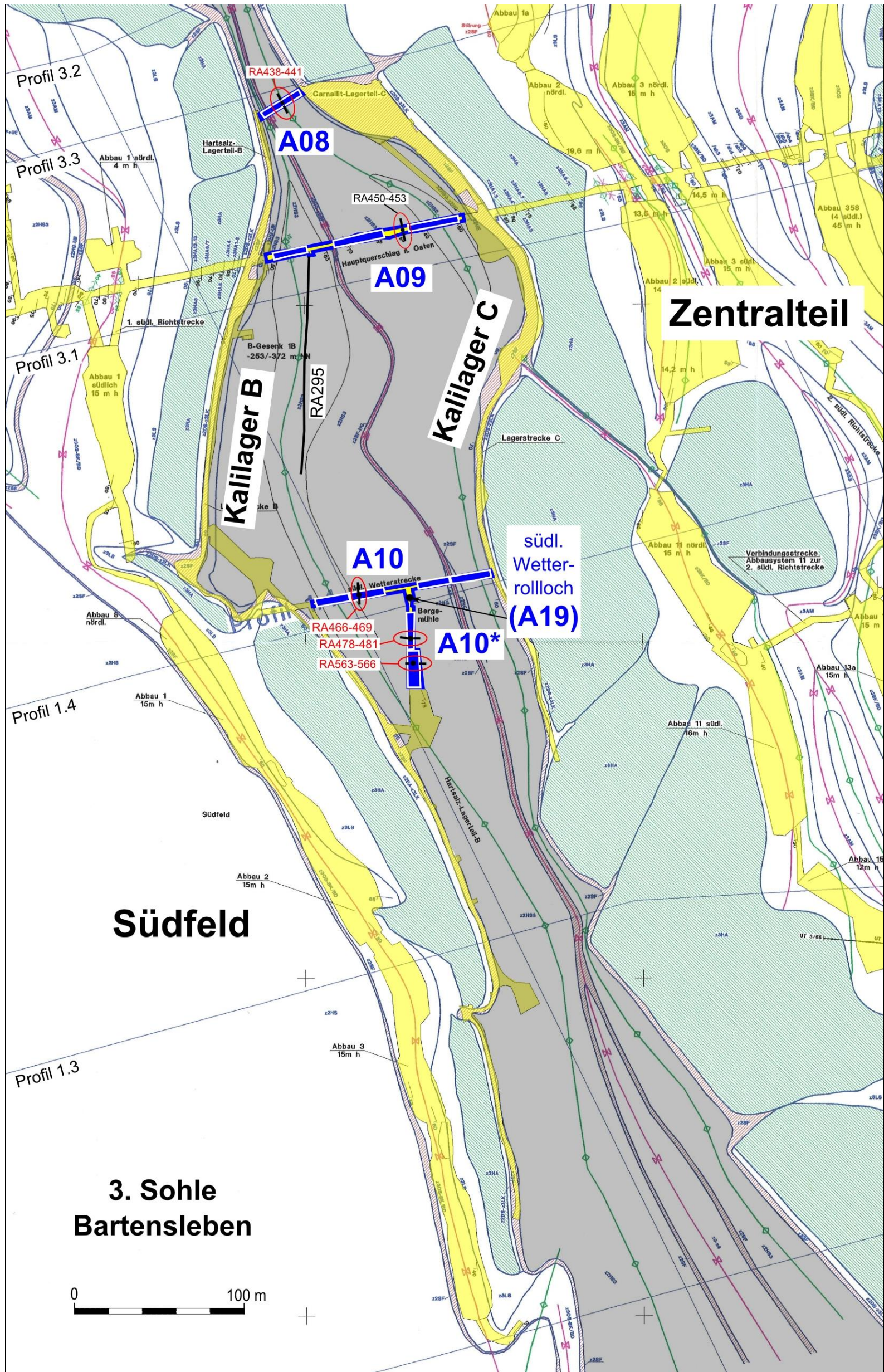


Abbildung 5-14: 3. Sohle Bartensleben, barrierewirksamer Gebirgsbereich zwischen Kalilager B (Südfeld) und Kalilager C (Zentralteil)



Der barrierewirksame Gebirgsbereich verengt sich im Niveau der 3. Sohle nördlich des Ostquerschlags (vgl. Abbildung 5-14). Der minimale horizontale Abstand zwischen Grubenbauen der Kalilager B und C befindet sich dort im Bereich des Abdichtungsstandortes A08 und beträgt gemäß [P 44] ca. 25 m.

5.4.4. 4. Sohle (-372 mNN)

Im Niveau der 4. Sohle sind Abdichtungen an den Standorten A11 und A12 vorgesehen (vgl. Abbildung 5-15). Auf dieser Sohle wurde zwischen den Kalilagern B und C keine nördliche Verbindungsstrecke aufgeföhren, so dass die auf den Sohlen 1 bis 3 dort vorgesehene Abdichtung hier entfällt.

Zum Abdichtungsstandort A11 wurde der Lokationsbericht [P 514] vorgelegt. Es ist dort ein Abdichtungssegment mit einer Länge von 26 m vorgesehen. Gemäß [P 514] wurden im Bereich von A11 die Bohrungen **RA551 bis RA554** zur Messung der Gaspermeabilität sowie die Bohrungen **RA454, RA455** und **RA457** für Hydrofrac-Messungen gestoßen. Gemäß [P 514] Anlage 2 befinden sich die Bohrungen RA551 bis RA554 innerhalb des Abdichtungssegmentes und können in Abhängigkeit vom gewählten Grenzwinkel ggf. das Kriterium K3 erfüllen. Die Bohrungen RA454, RA455 und RA457 sind nicht langzeitsicherheitsrelevant, sofern der gewählte Grenzwinkel nicht unterschritten wird und ihre Ansatzpunkte – wie gemäß [P 514] vorgesehen – außerhalb des Abdichtungssegmentes liegen.

Südlich des Abdichtungsstandortes A11 verläuft die Bohrung **RB323**, die in [P 145] als langzeitsicherheitsrelevant eingestuft wird und qualifiziert verfüllt werden soll.

E 21: Die Bohrung 17YER51/RB323 ist auch aus unserer Sicht langzeitsicherheitsrelevant. Wir empfehlen, dass – wie gemäß [P 145] vorgesehen – eine qualifizierte Verfüllung dieser Bohrung erfolgt.

Nordnordöstlich des Standortes A11 wurde vom Zentralteil aus die Bohrung **UT I/52** gestoßen, die den barrierewirksamen Gebirgsbereich jedoch nicht berührt (siehe Abbildungen 5-15 und 5-20).

Am Abdichtungsstandort A12 sollen gemäß Lokationsbericht [P 528] drei Abdichtungssegmente errichtet werden. In diesem Bereich wurden die Bohrungen **RA470 bis RA473** für Permeabilitäts- und Hydrofrac-Untersuchungen gestoßen. Diese Bohrungen sind nicht langzeitsicherheitsrelevant, sofern der gewählte Grenzwinkel nicht unterschritten wird und ihre Ansatzpunkte – wie gemäß [P 528] vorgesehen – außerhalb der Abdichtungssegmente liegen. Östlich von A12 befindet sich das südliche Wetterrolloch, das mit der Abdichtung A19 abgedichtet werden soll.

Im Niveau der 4. Sohle zeigt der barrierewirksame Gebirgsbereich zwischen Südfeld und Zentralteil seine größte Einengung. Nördlich des Ostquerschlags beträgt der minimale horizontale Abstand zwischen den Grubenbauen der Kalilager B und C gemäß [P 44] weniger als 20 m. In der Unterlage [I 399] wird dieser Bereich hinsichtlich der Integrität der Salzbarriere modelltechnisch untersucht (vgl. Abschnitt 4.1 und die ‚Modellschnittlinie I 399‘ in Abbildung 5-15).

Südlich des Abdichtungsstandortes A12 verengt sich der barrierewirksame Gebirgsbereich ebenfalls. Dort gibt es kaum noch Grubenbaue in Kalilager C, während die Grubenbaue des Kalilager B weit in Richtung Süd-Südost reichen. Allerdings wird dort gemäß [P 44] eine horizontale Mächtigkeit zwischen den Grubenbauen der Kalilager B und C von ca. 70 m nicht unterschritten.

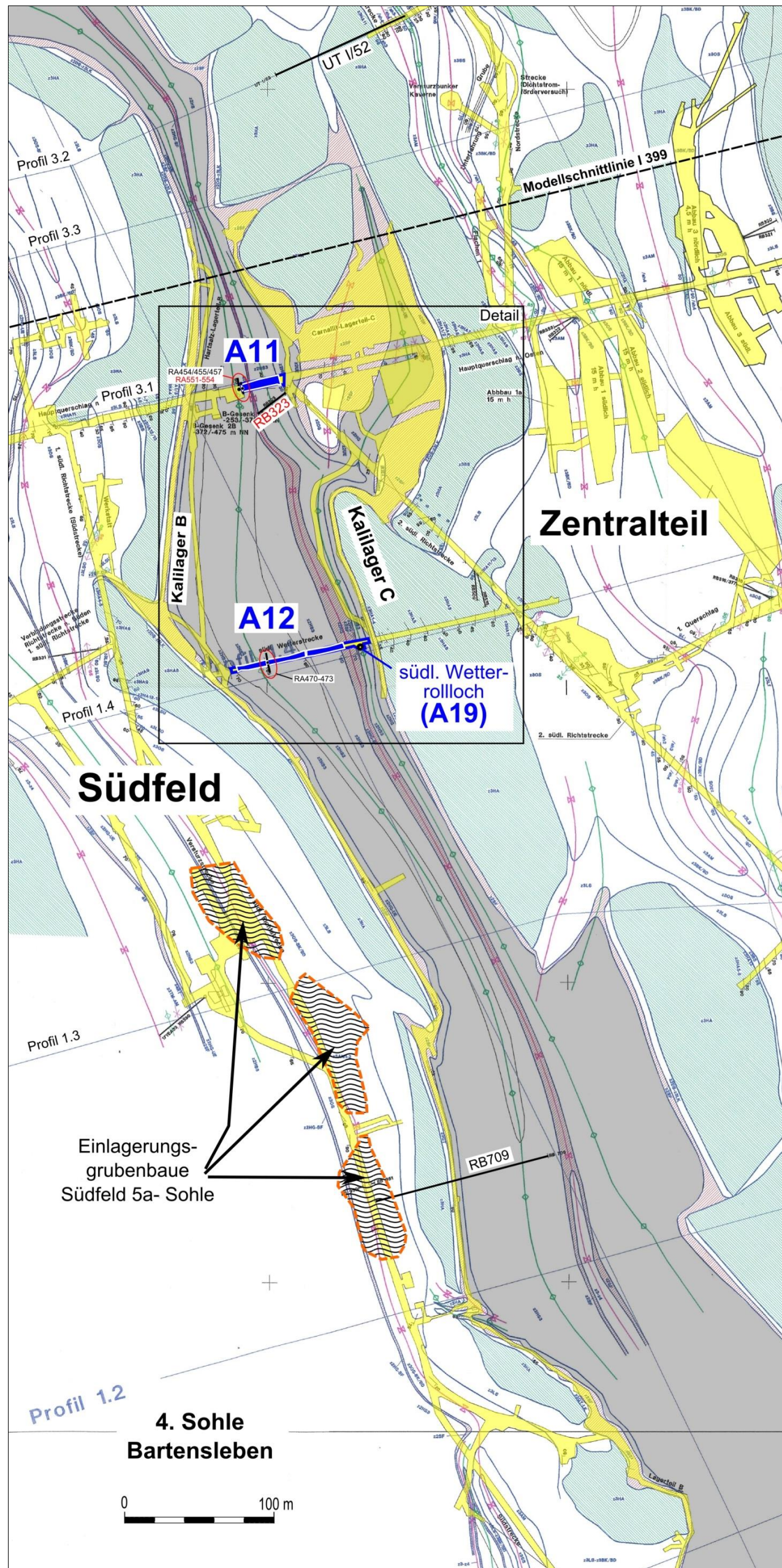


Abbildung 5-15: 4. Sohle Bartensleben, barrierewirksamer Gebirgsbereich zwischen den Kalilagern B (Südfeld) und C (Zentralteil); Detail: vgl. Abb. 5-16

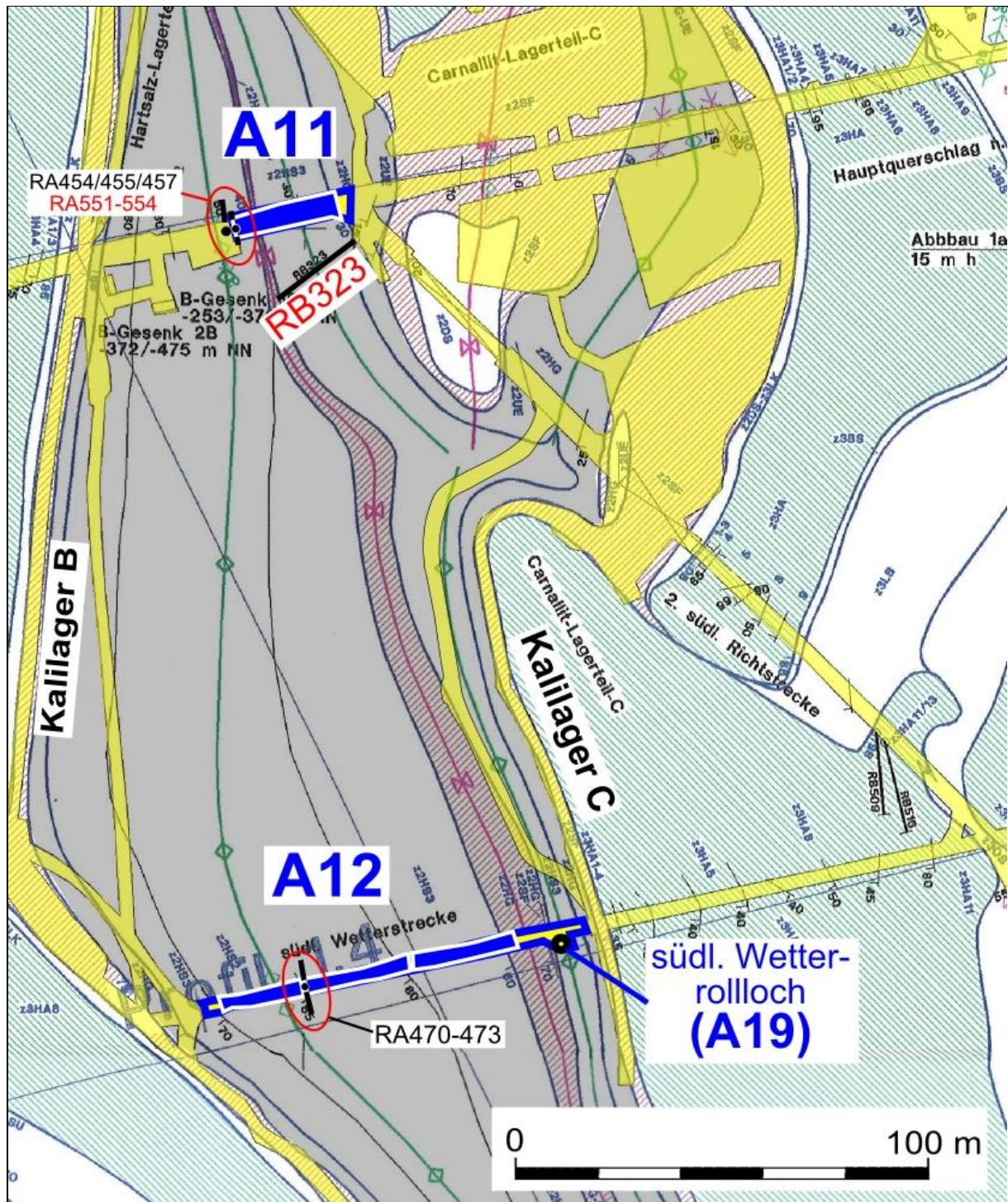


Abbildung 5-16: 4. Sohle Bartensleben, Abdichtungsstandorte A11 und A12



Der Abstand zwischen einem Grubenbau des Kalilager B und dem in Lager C abgebauten Kaliflöz wird im Bereich einer von Lager B in den barrierewirksamen Gebirgsbereich hineinragenden Strecke auf eine Breite von ca. 40 m reduziert.

In südöstliche Richtung erweitert sich der barrierewirksame Gebirgsbereich wieder. Er wird dort von der Bohrung **RB709** teilweise gequert (vgl. Abbildung 5-15). Diese Bohrung wurde von einem Grubenbau im Bereich der Einlagerungsgrubenbaue des Südfelds aus in Richtung Nordost gestoßen. Sie erfüllt keines der hier angewendeten Kriterien, ist damit formal nicht langzeitsicherheitsrelevant und deshalb in Tabelle 5-2 nicht aufgeführt. Wir weisen allerdings darauf hin, dass mit einer qualifizierten Verfüllung der Bohrung die vollständige Mächtigkeit des barrierewirksamen Gebirgsbereichs im Nahfeld der Einlagerungsgrubenbaue des Südfeldes wieder hergestellt werden könnte.

H 05: Mittels qualifizierter Verfüllung der Bohrung 17YER31/RB709 könnte die volle Mächtigkeit des barrierewirksamen Gebirgsbereichs zwischen dem Südfeld und der Restgrube wieder hergestellt werden.

5.4.5. 5. Sohle (-420 mNN) bis 7. Sohle (-500 mNN)

Auf den Sohlen unterhalb der 4. Sohle sind keine Streckenabdichtungen vorgesehen. Die Grubenbaue dieser Sohlen unterhalb der 4. Sohle werden hier als ‚Unterwerksbaue‘ bezeichnet.

Auf dem Niveau der 5. Sohle wurde das Kalilager C im hier betrachteten Bereich nicht aufgeschlossen. Im Kalilager B erstrecken sich Grubenbaue – vom B-Gesenk 2B ausgehend – vorwiegend in Richtung Süden. (vgl. Abbildung 5-17). Zwischen der 5. und der 6. Sohle befinden sich auf diversen Zwischensohlniveaus Verbindungsstrecken zum B-Gesenk 2B, die durch den barrierewirksamen Gebirgsbereich führen und die mit den Kalilager B und C miteinander verbinden (vgl. Abbildung 5-18 sowie Abbildung 5-2). Diese Verbindungsstrecken sollen nach dem Stilllegungskonzept nicht verfüllt werden (siehe dazu Abschnitt 5.3).

Aus dem Bereich der Einlagerungsgrubenbaue des Südfelds wurden die Bohrungen **UT I/55** und **UT II/55** durch den barrierewirksamen Gebirgsbereich zwischen den Kaliflözen der Lager B und C und durch die Hauptanhydritschollen des Südfelds und der Restgrube gestoßen (vgl. Abbildung 5-17). Der durch die Bohrungen erschlossene Hauptanhydritstrang östlich des Kalilagers C steht auf der 4. Sohle und darüber mit Abbauen der Restgrube und dem umlösungsgefährdeten Kalilager C in Verbindung. Die Bohrungen erfüllen somit das Kriterium K1. Bei der Begründung des BfS, weshalb eine Verfüllung dieser Bohrungen nicht vorgesehen ist, sollte auf diesen Sachverhalt explizit eingegangen werden (vgl. Hinweis H 01).

Auf den tieferen Sohlen sind uns keine entsprechenden Bohrungen bekannt.

Auf der 7. Sohle wurde nur das Kalilager B aufgefahren, Verbindungsstrecken zwischen den Kalilagern B und C bestehen hier nicht (vgl. Abbildung 5-19).

5.4.6. Darstellung in Profilschnitten

In den Abbildungen 5-20 bis 5-25 werden die geologischen Verhältnisse im Bereich des barrierewirksamen Gebirgsbereichs zwischen ELB Südfeld und Restgrube zusätzlich in geologischen Profilschnitten dargestellt.

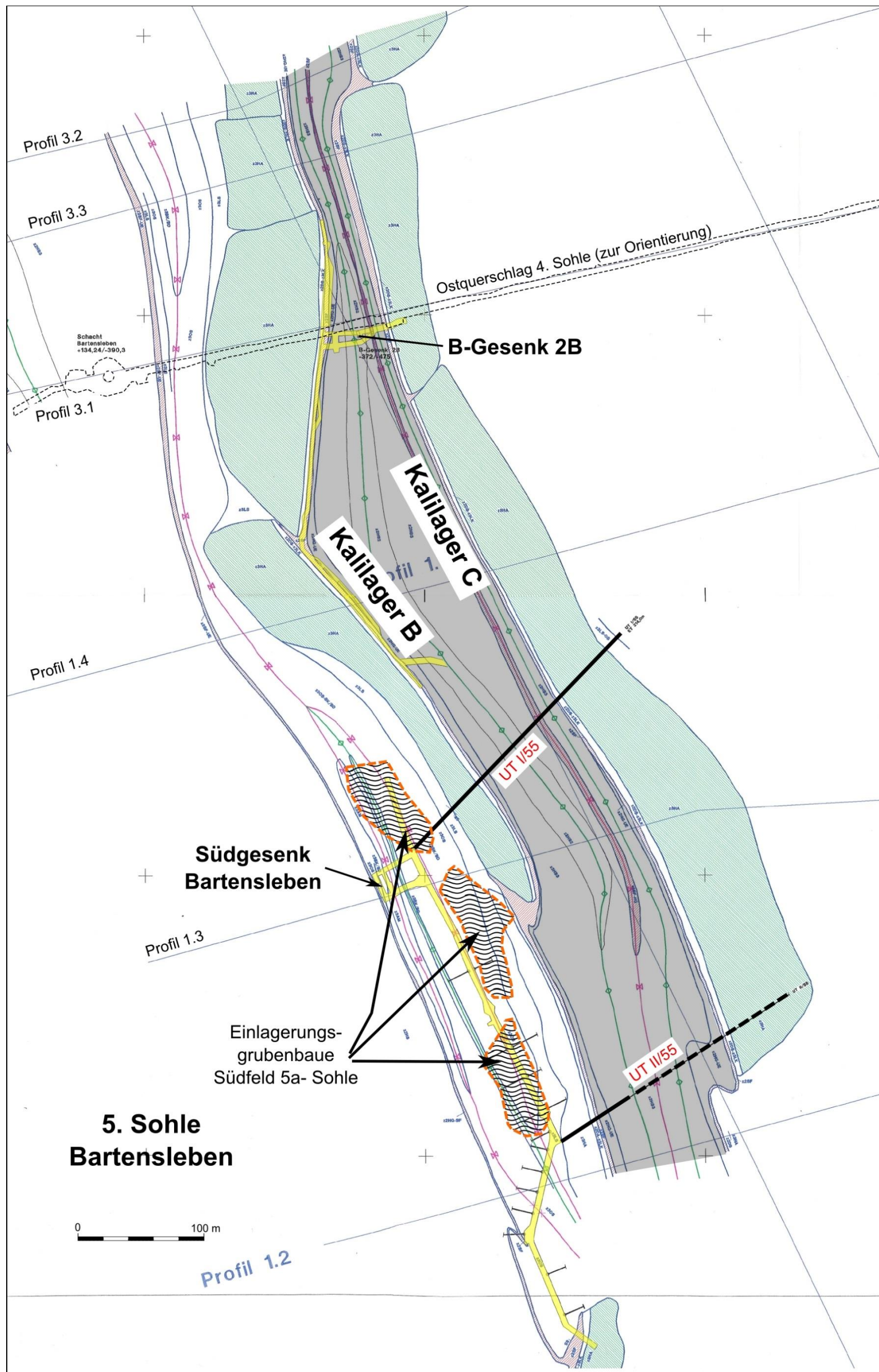


Abbildung 5-17: 5. Sohle Bartensleben, Unterwerksbaue und Bohrungen im barrierewirksamen Gebirgsbereich zwischen Kalilager B (Südfeld) und Kalilager C (Restgrube)

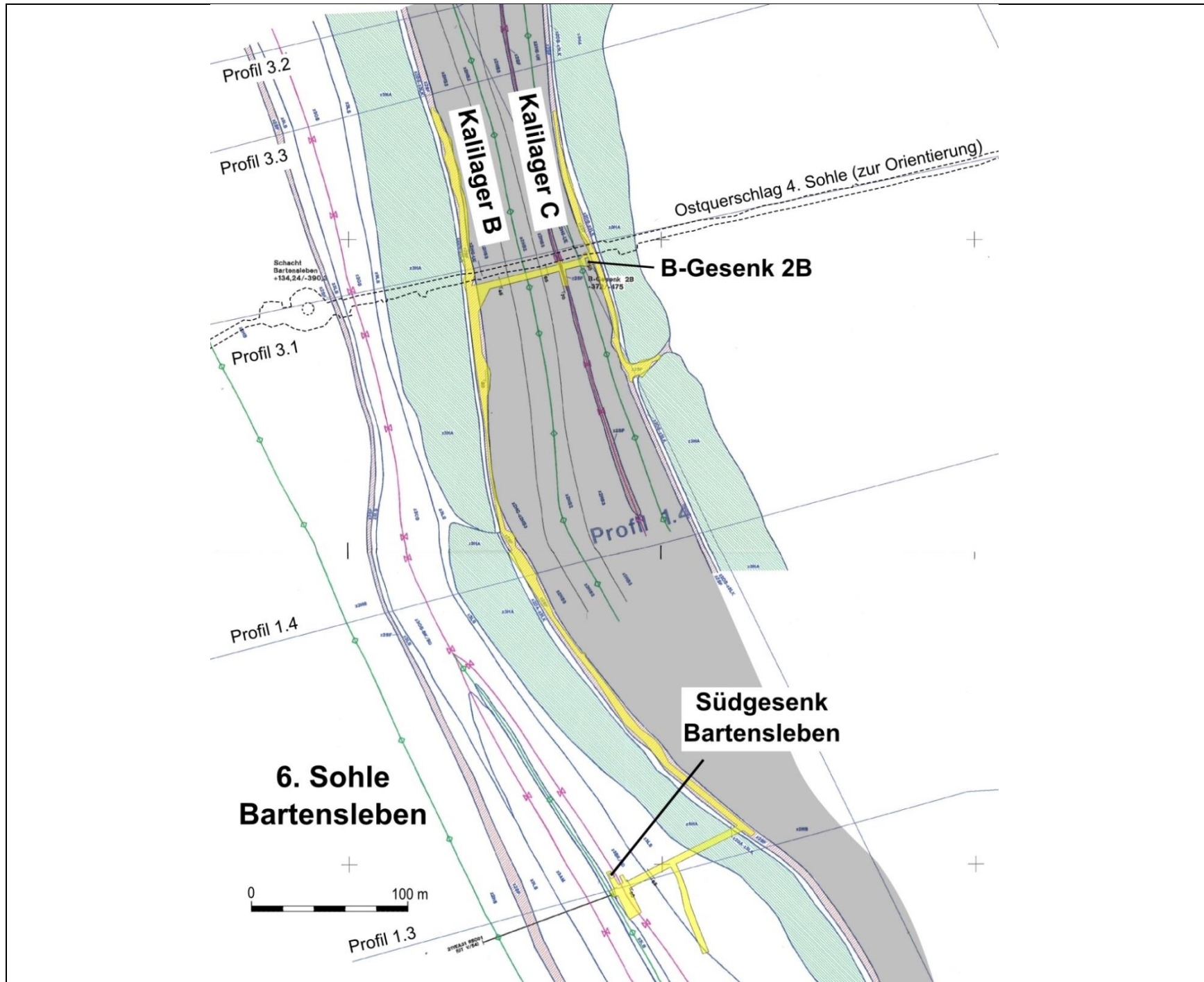


Abbildung 5-18: 6. Sohle Bartensleben, Unterwerksbaue im Barrierenbereich zwischen Kalilager B (Südfeld) und Kalilager C (Zentralbereich)

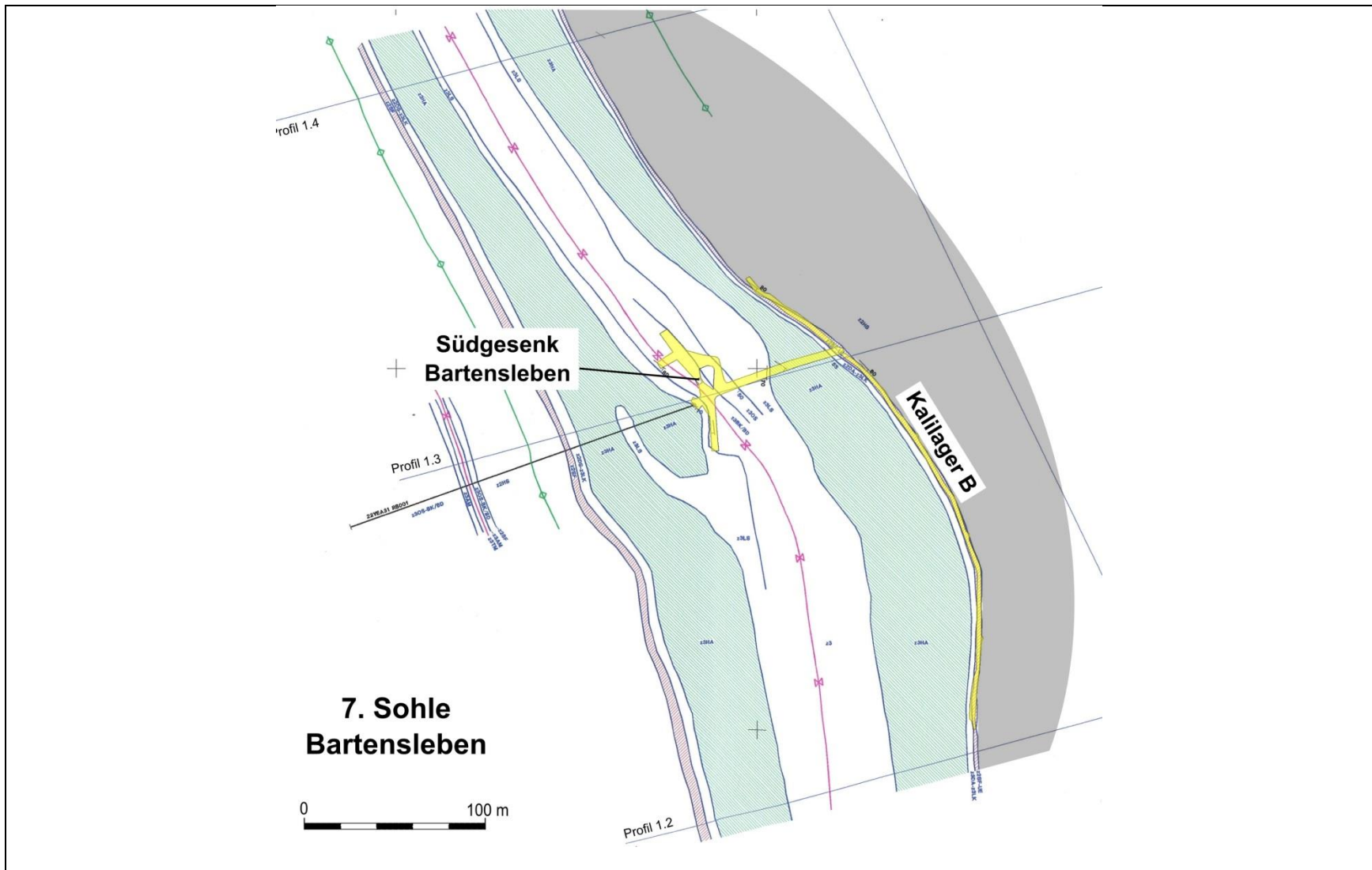


Abbildung 5-19: 7. Sohle Bartensleben, Unterwerksbaue Kalilager B (Südfeld)

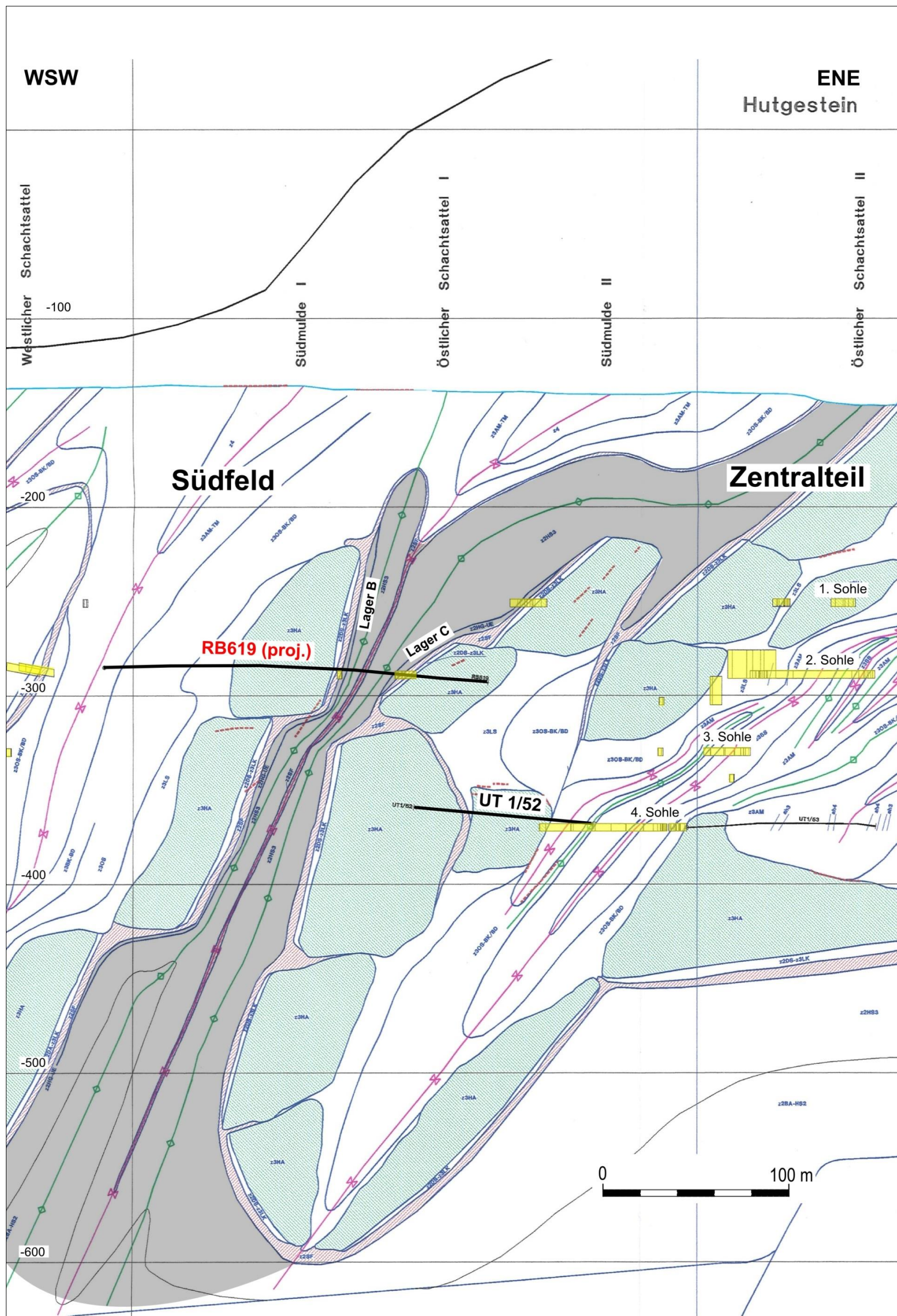


Abbildung 5-20: Profilschnitt 3.2 im Übergangsbereich Südfeld-Zentralteil

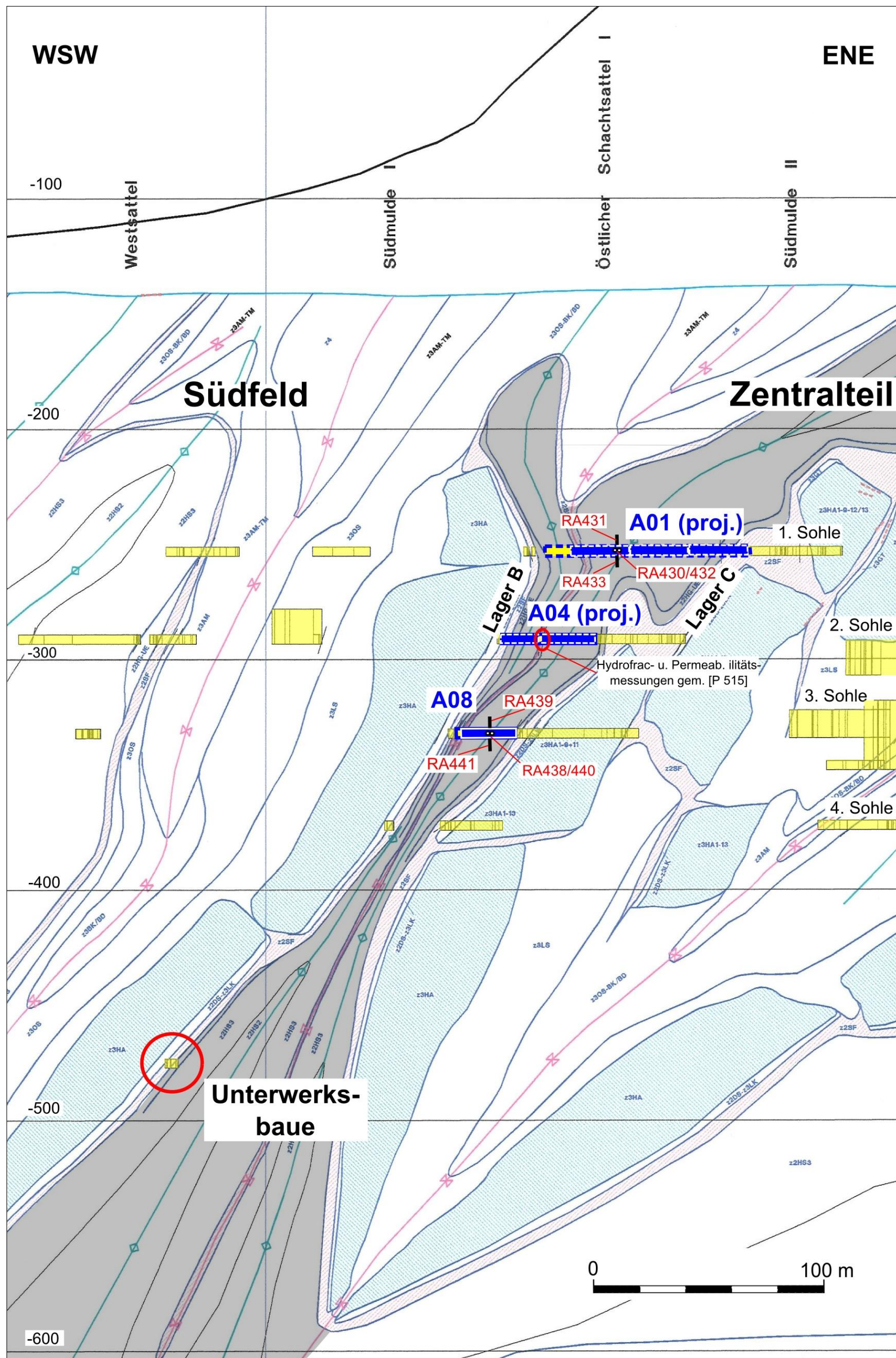


Abbildung 5-21: Profilschnitt 3.3 im Übergangsbereich Südfeld-Zentralteil

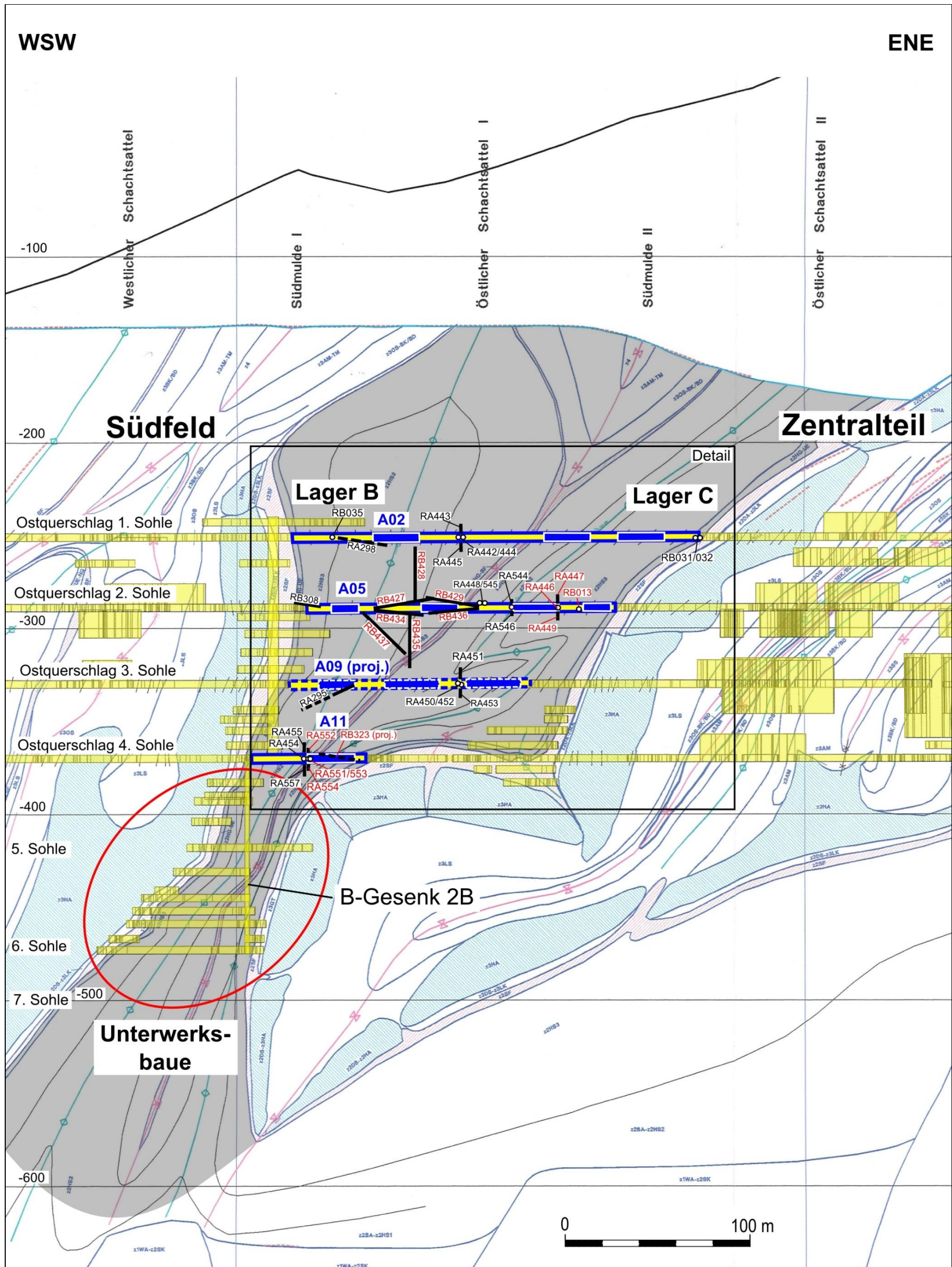


Abbildung 5-22: Profilschnitt 3.1 im Übergangsbereich Südfeld-Zentralteil; Detailausschnitt in Abbildung 5-23

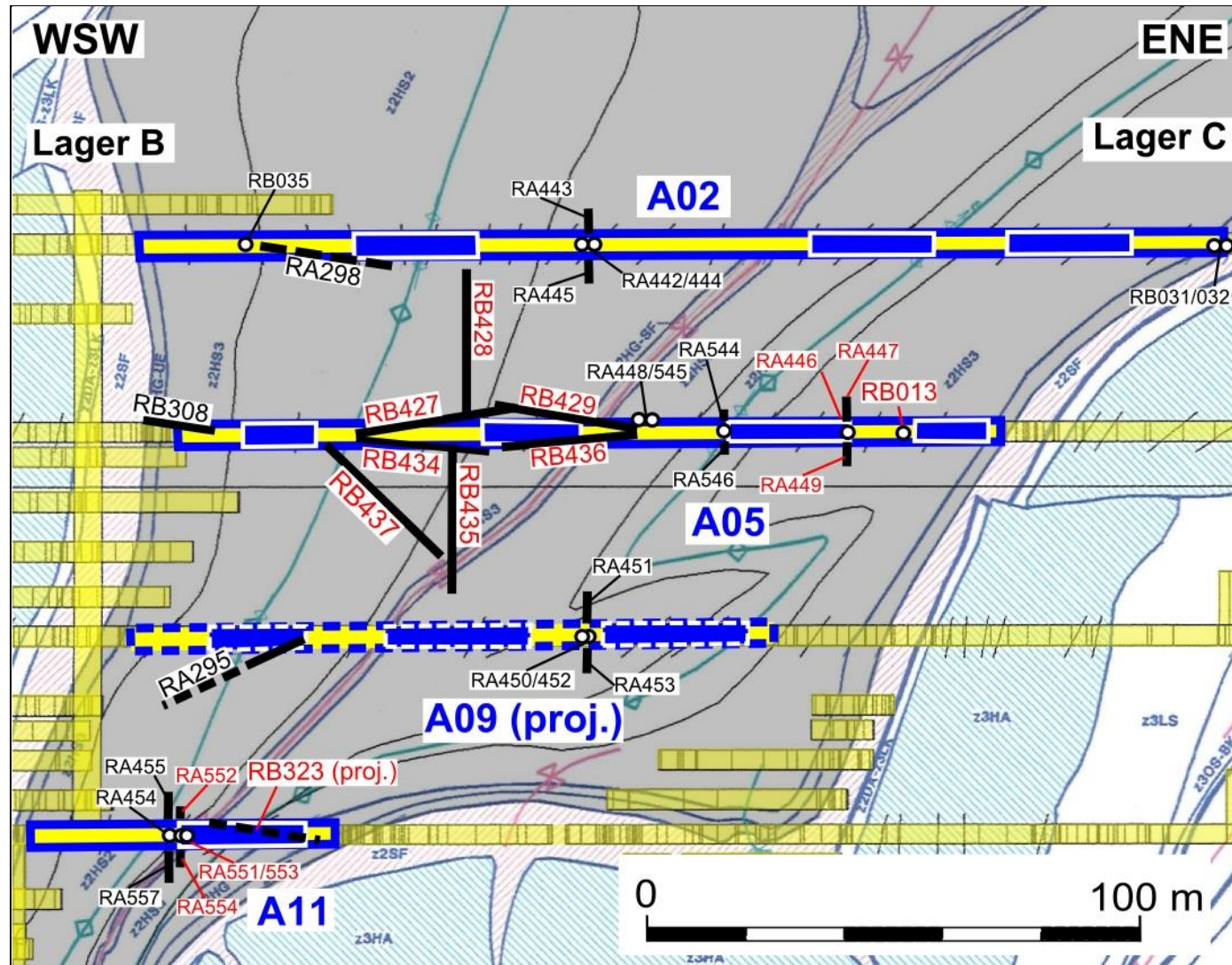


Abbildung 5-23: Ausschnitt aus Profilschnitt 3.1 mit Darstellung der Abdichtungsstandorte A02, A05, A09 und A11

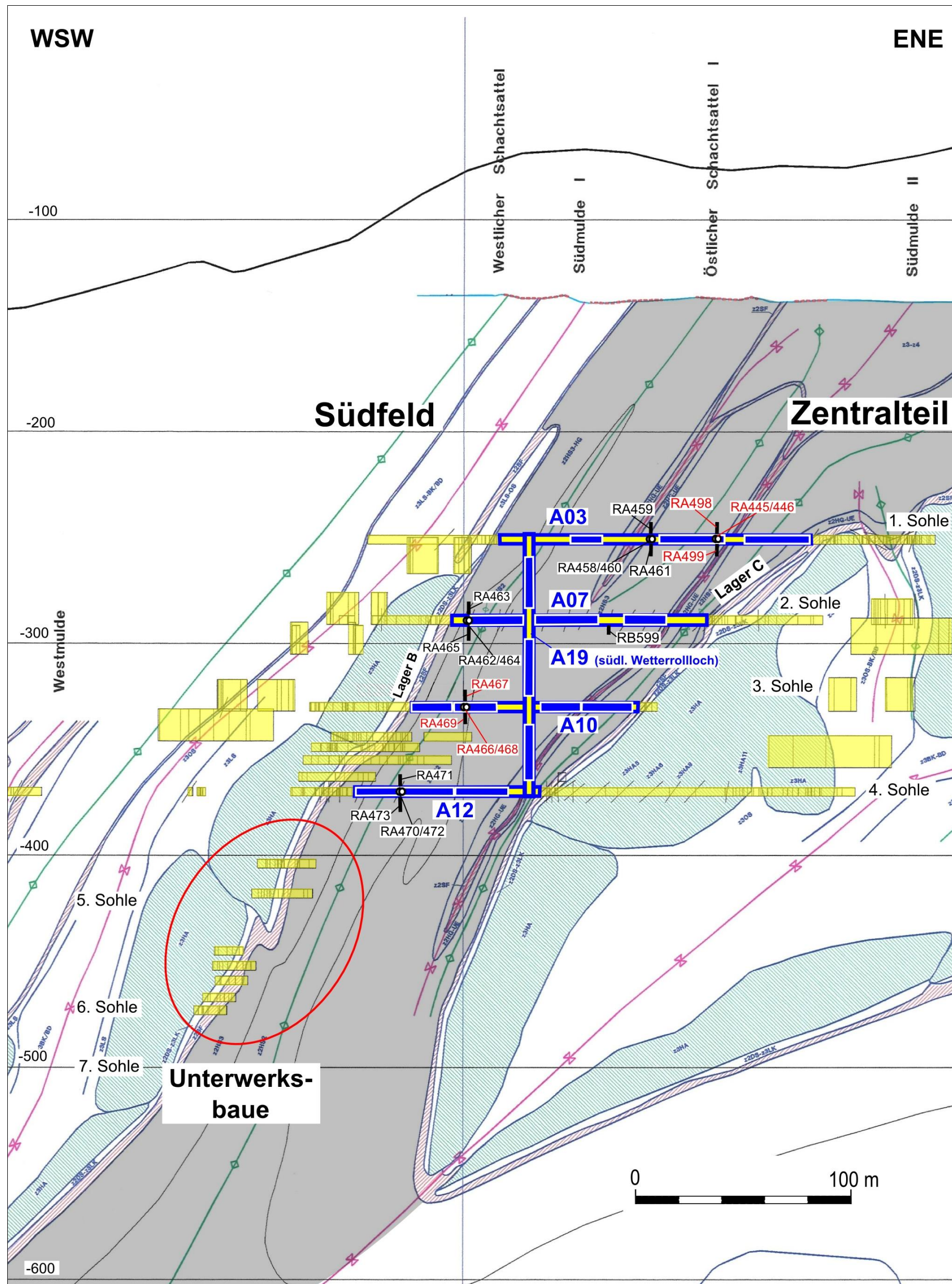


Abbildung 5-24: Profilschnitt 1.4 im Übergangsbereich Südfeld-Zentralteil

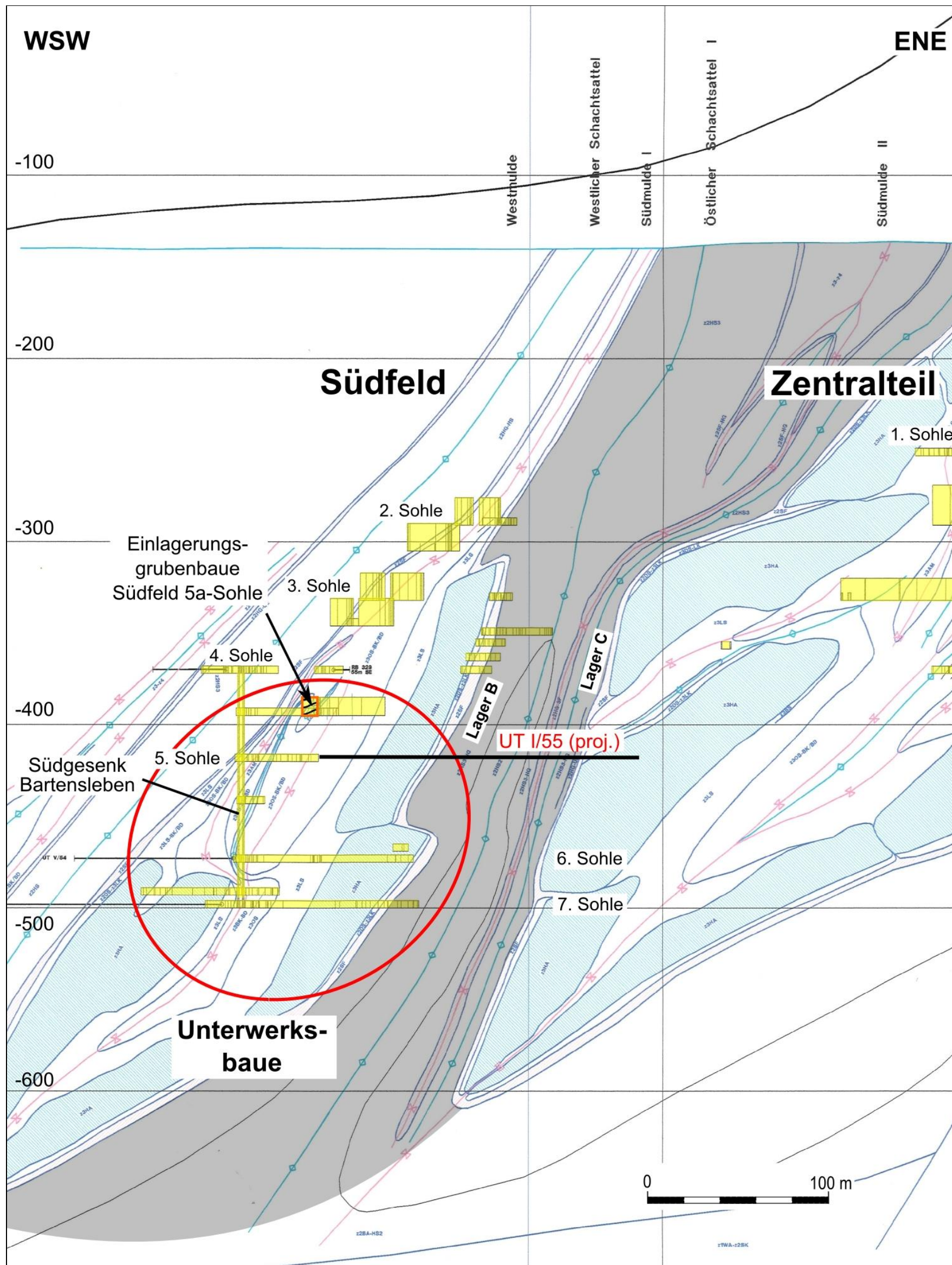


Abbildung 5-25: Profilschnitt 1.3 im Übergangsbereich Südfeld-Zentralteil mit Darstellung der nach Westen gestoßenen Bohrungen der 7a-/7. Sohle

6. ZUSAMMENSTELLUNG DER EMPFEHLUNGEN UND HINWEISE

Im Rahmen der Prüfung der Abgeschlossenheit der ELB Ostfeld und Südfeld von der Restgrube kommen wir zu folgenden Empfehlungen und Hinweisen:

Allgemeine Empfehlungen

- E 01:** Um den Ungewissheiten zur Permeabilität der Salzgesteine infolge lokaler wasserwegsamere Inhomogenitäten Rechnung zu tragen, empfehlen wir, eine gewisse Mindestmächtigkeit der intakten geologischen Barriere zu fordern. Die geforderte Mindestmächtigkeit sollte deutlich größer als die Ausdehnung lokal möglicher wasserwegsamere Inhomogenitäten sein und ist damit vom Ort abhängig.
- E 02:** Zum Schutz des barrierewirksamen Gebirgsbereichs gegen Lösungseintritte und Auf-/Umlösevorgänge bzw. Hohlraumbildung sollten die im Bereich des ERAM in den Salzstock reichenden übertägigen Bohrungen abdichtend verfüllt werden, sofern sie noch nicht verfüllt wurden.

Abgeschlossenheit des ELB Ostfeld

- E 03:** Zur Minimierung des Hohlraums im Umfeld der Abdichtungen empfehlen wir, für das Kriterium K3 einen Grenzwinkel von 90° zu wählen und alle Bohrungen (auch z. B. Ankerbohrungen), deren Ansatzpunkte sich im Bereich eines Abdichtungssegmentes befinden, zu verfüllen.
- H 01:** Es gilt weiterhin die von uns in [BS 12] ausgesprochene Empfehlung, dass für jede Bohrung, die nach den Kriterien K1 bis K6 als potentiell langzeitsicherheitsrelevant einzustufen ist und nicht qualifiziert verfüllt werden soll, vom BfS begründet werden sollte, weshalb für den jeweiligen Einzelfall eine qualifizierte Verfüllung als nicht erforderlich angesehen wird.
- E 04:** Durch geologische Sachverständige (IHU Stendal und/oder LAGB) sollte beurteilt werden, ob mittels Bohrungen, die vom Südfeld und vom Ostfeld aus in die Bereiche (b) und (c) gestoßen wurden, hydraulische Verbindungen zwischen der Restgrube und den Grubenhöhlräumen des Ostfeldes zustande kommen könnten. Erst im Ergebnis dieser Beurteilung kann u. E. eine Entscheidung erfolgen, wie mit den in den Tabellen 4-2 und 4-3 aufgeführten Bohrungen im Rahmen der Stilllegung umzugehen ist.
- E 05:** Wir empfehlen, die Bohrung 12YER61/RB603 als langzeitsicherheitsrelevant einzustufen und qualifiziert zu verfüllen.
- E 06:** Wir empfehlen, die Bohrungen 12YER61/RB604 und 12YEQ01/RB385 als langzeitsicherheitsrelevant einzustufen und qualifiziert zu verfüllen.
- E 07:** Wir empfehlen, die Bohrungen 12YER61/RB609 und 12YER61/RB611 als langzeitsicherheitsrelevant einzustufen und qualifiziert zu verfüllen.

- E 08:** Es sollte vom BfS gegenüber MLU schriftlich begründet dargelegt werden, ob (und wenn ja aufgrund welcher Nachweise) die vorhandene Verfüllung der Bohrung 12YER61/RB606 die Anforderungen einer qualifizierten Verfüllung untertägiger langzeitsicherheitsrelevanter Bohrungen erfüllt bzw. welche Maßnahmen umgesetzt werden sollen, um diese qualifizierte Verfüllung zu erreichen.
- E 09:** Die ‚Kernbohrung 1951‘ (12YEQ01/RB002) ist auch aus unserer Sicht langzeitsicherheitsrelevant. Wir empfehlen, dass – wie gemäß [P 145] vorgesehen – eine qualifizierte Verfüllung dieser Bohrung erfolgt.
- H 02:** Über die Verfüllung der Bohrung RB009 sollte nach ihrem Auffinden entschieden werden.
- E 10:** Wir empfehlen, die Bohrung 12YER61/RB608 als langzeitsicherheitsrelevant einzustufen und qualifiziert zu verfüllen.
- E 11:** Die Bohrungen 17YEQ01/RB001 bis RB004 sind auch aus unserer Sicht langzeitsicherheitsrelevant. Wir empfehlen, dass – wie gemäß [P 145] vorgesehen – eine qualifizierte Verfüllung dieser Bohrungen erfolgt.
- E 12:** Wir empfehlen, die Bohrungen 17YEQ01/RB009 bis RB012, soweit sie aufgefunden werden, als langzeitsicherheitsrelevant einzustufen und für eine qualifizierte Verfüllung vorzusehen.
- Hiervon sollte nur abgewichen werden, wenn die Verzichtbarkeit der Verfüllung auf der Grundlage der Ergebnisse der weiteren Untersuchungen zum Auffindung und zur Erkundung der Bohrungen vom BfS gegenüber MLU schriftlich begründet wird und dieser Begründung gefolgt werden kann.
- E 13:** Das BfS sollte gegenüber MLU erläutern, auf welcher Datengrundlage die im Lagerstättenmodell [P 44] enthaltene Darstellung der geologischen Verhältnisse im Bereich südlich des Ostfeldes erfolgte, insbesondere in Bezug auf das dort verzeichnete Kalisalzflöz.
- E 14:** Vom BfS sollte der angestrebte Verwahrungszustand des Streckenstummels mit der Radium-VBA und seines näheren Umfelds einschließlich der Bohrungen 17YEQ01/RB302 und RB467 im Detail angegeben werden.
- H 03:** Durch eine qualifizierte Verfüllung der vom Ostfeld aus in östliche Richtungen gestoßenen langen Bohrungen – insbesondere der Bohrungen RB601, RB602, RB613 und der Kernbohrung 49 – würde die wirksame Mächtigkeit des barrierewirksamen Gebirgsbereichs zur Flanke des Salzstocks hin deutlich vergrößert werden. Uns liegen jedoch keine Hinweise vor, dass die gegenwärtig wirksame Mächtigkeit nicht ausreichend wäre.

Abgeschlossenheit des ELB Südfeld

- E 15:** Für den Nachweis der Barrierenintegrität des Gebirgsbereichs zwischen Lager B und Lager C sollte vom BfS eine Analyse der bestehenden Ungewissheiten erfolgen. Hierbei sollten die Ungewissheiten hinsichtlich
- des verwendeten Stoffgesetzes (zur Beschreibung des Kriechverhaltens des Salzes bei niedrigen Spannungen),
 - der verwendeten Materialparameter,
 - des unterstellten Zeitpunkts des Volllaufens der Restgrube und
 - der geologischer Inhomogenitäten
- berücksichtigt werden.
- H 04:** Der Nachweis der Barrierenintegrität zwischen Lager B und Lager C sollte unabhängig rechnerisch überprüft werden.
- E 16:** Das BfS sollte eine Unterlage zur mineralogisch-geochemischen Charakterisierung des Kalilagers Südmulde II mit den entsprechenden Belegen vorlegen.
- E 17:** Durch geologische Sachverständige (IHU Stendal und/oder LAGB) sollte beurteilt werden, ob es über Wegsamkeiten im Hauptanhydrit zu hydraulischen Verbindungen zwischen der Restgrube und den Unterwerksgrubenbauen des Südfeldes kommen könnte. Erst im Ergebnis dieser Beurteilung kann u. E. eine Entscheidung erfolgen, wie mit den Unterwerksgrubenbauen im Südfeld im Rahmen der Stilllegung umzugehen ist.
- E 18:** Die Bohrungen UT 1/83 (12YEQ21/RB001) und 12YEQ21/RB619 sind auch aus unserer Sicht langzeitsicherheitsrelevant. Wir empfehlen, dass – wie gemäß [P 145] vorgesehen – eine qualifizierte Verfüllung dieser Bohrungen erfolgt.
- E 19:** Wir empfehlen, das BfS zu einer schriftlichen Erläuterung aufzufordern,
- wie der aktuelle Kenntnisstand zur Länge der Bohrung 12YEQ01/RB013 ist,
 - auf welchen Informationen dieser Kenntnisstand basiert,
 - ob die ‚Altbohrung 202‘ existiert und welche Länge sie hat oder ob sie identisch ist mit der Bohrung RB013 und – sofern die Bohrungen identisch sind – weshalb die Länge der ‚Altbohrung 202‘ zuvor z. T. mit ca. 25 m angegeben wurde, der Bohrung RB013 jedoch nur eine Länge von 2,4 m zugewiesen wird.
- E 20:** Die Bohrungen 12YEQ01/RB427 bis RB429 und RB434 bis RB437 sind auch aus unserer Sicht langzeitsicherheitsrelevant. Wir empfehlen, dass – wie gemäß [P 145] vorgesehen – eine qualifizierte Verfüllung dieser Bohrung erfolgt.
- E 21:** Die Bohrung 17YER51/RB323 ist auch aus unserer Sicht langzeitsicherheitsrelevant. Wir empfehlen, dass – wie gemäß [P 145] vorgesehen – eine qualifizierte Verfüllung dieser Bohrung erfolgt.
- H 05:** Mittels qualifizierter Verfüllung der Bohrung 17YER31/RB709 könnte die volle Mächtigkeit des barrierewirksamen Gebirgsbereichs zwischen dem Südfeld und der Restgrube wieder hergestellt werden.

7. LITERATUR

- [A 281] BUNDESAMT FÜR STRAHLENSCHUTZ
Plan zur Stilllegung des Endlagers für radioaktive Abfälle Morsleben
(einschließlich der Endlagerung bereits zwischengelagerter radioaktiver Abfälle und
noch anfallender betrieblicher radioaktiver Abfälle)
Salzgitter, 15.09.2009
- [BGR 99] BUNDESANSTALT FÜR GEOWISSENSCHAFTEN UND ROHSTOFFE
Gebirgsmechanische Beurteilung der Integrität der Salzbarriere im Ostfeld der Grube
Bartensleben
BGR, Hannover, April 1999
- [BS 12] KISTINGER, S.; STOLLENWERK, R. H.
Prüfung von Antragsunterlagen zur Stilllegung des ERAM:
„Anforderungen aus der LSA an den Verschluss von untertägigen Bohrungen“
3. Zwischenbericht, Prüfkomplex 7, Phase 2
Brenk Systemplanung GmbH, Aachen, 28.02.2012
- [ERAM SIS] SPATIAL INFORMATION SYSTEM ERAM SIS.
3D-Visualisierung des Grubengebäudes ERAM
- [G 148] KÖSTER, R.; KAUFMANN, M.; LASKE, D.
Systembeschreibung und Qualitätssicherungskonzept
– Bohrlochverfüllung mit Magnesiabinder –
BfS, Salzgitter, 19.07.2002
- [G 216] MÜLLER-HOEPPE, N.
Konzept von Vorsorgemaßnahmen für die Stilllegung
DBE, Peine, 15.12.2005
- [I 46] BALZER, D.
Geologische Bearbeitung des Hutgesteins – Abschlussbericht
BGR, Berlin, 31.01.1998
- [I 314] SCHRAMM M., SÖNNKE J.
ERA Morsleben
Mineralogisch-geochemische Charakterisierung des Kaliflözes Staßfurt (z2SF) im
Grubengebäude der Schachtanlagen Bartensleben und Marie
BGR, Hannover, 31.01.2002

- [I 399] FAHLAND, S.; EICKEMEIER, R.; NOWAK, T.; NIPP, H.-K.; HEUSERMANN, S.
ERA Morsleben – Modellberechnungen zur Integrität der lateralen Barriere zwischen
den Lagerteilen B und C
BGR, Hannover, 05.05.2010
- [NN 337] BOHRKATASTER MORSLEBEN
- [P 44] BEHLAU, H.; MINGERZAHN, G.; BORNEMANN, O.
ERA Morsleben - Erarbeitung eines geologischen Lagerstättenmodells Morsleben
BGR, Hannover, 31.12.1997
- [P 47] BEHLAU, H.; MINGERZAHN, G.
ERA Morsleben - Erarbeitung eines geologischen Lagerstättenmodells Morsleben
1. Anhang zum Abschlussbericht – Struktureller Bau des Ostsattels im Bereich der
Bohrung 12YEQ01RB385
BGR, Hannover, 27.05.1998
- [P 48] BEHLAU, H.; MINGERZAHN, G.
ERA Morsleben - Erarbeitung eines geologischen Lagerstättenmodells Morsleben
2. Anhang zum Abschlussbericht – Struktureller Bau der Westflanke der Hauptmulde
im Bereich des Abbaues 1a
BGR, Hannover, 30.09.1998
- [P 61] BEHLAU, H.; MINGERZAHN, G.
ERA Morsleben - Erarbeitung eines geologischen Lagerstättenmodells Morsleben
3. Anhang – Detailänderungen des strukturellen Baues im Bereich des Ostfeldes
BGR, Hannover, 01.05.1999
- [P 71] WEBER, J. R.; WALLNER, M.
Hydraulische Untersuchungen im Grubengebäude Morsleben
BfS, 30.03.1998
- [P 72] WEBER, J. R.
Hydraulische Eigenschaften des Anhydrits im ERAM
BGR, Hannover, 03.02.1999
- [P 98] NOWAK, T.; SHAO, H.
Wegsamkeiten im Hauptanhydrit des ERAM
Anhang zum Abschlussbericht Hydraulische Untersuchungen im Grubengebäude
Morsleben
BGR, Hannover, 28.08.2000

- [P 145] GLÄß, F.; MOHLFELD, M.
Kriterien für das Verfüllen von Bohrungen
BfS, Salzgitter, 30.07.2002
- [P 195] MÜLLER-HOEPPE; POLSTER
Verfüllen von Strecken mit hohen Anforderungen
– Konzeptplanung und Nachweisführung –
DBE, Peine, 28.06.2004
- [P 212] MÜLLER-HOEPPE, N.; KREIENMEYER, M.
Stand sicherheits- und Integritätsnachweis – Kriterien zur Auswahl von
Berechnungsschnitten
DBE, Peine, 15.12.2005
- [P 214] KREIENMEYER, M.
Stand sicherheits- und Integritätsnachweis des verfüllten Endlagers:
Grubenteil Westfeld
DBE, Peine, 31.10.2005
- [P 215] LERCH, C.
Stand sicherheits- und Integritätsnachweis des verfüllten Endlagers:
Grubenteil Südfeld
DBE, Peine, 15.12.2005
- [P 218] MÜLLER-HOEPPE, N.
Sicherheitsnachweismethoden und Sicherheitsnachweiskriterien für die Maßnahmen
der Stilllegung (Stand sicherheit und Integrität)
DBE, Peine, 15.12.2005
- [P 220] FISCHER, H., LOOSE, H.-J.; MÜLLER-HOEPPE, N.; OPPITZ, J.; PÖHLER, M.
Verfüllplan zur Stilllegung des ERAM nach vorgezogener Verfüllung von
Grubenbauen des Zentralteils, Konzeptplanung
DBE, Peine, 15.12.2005
- [P 224] KREIENMEYER, M.
Stand sicherheits- und Integritätsnachweis des verfüllten Endlagers:
Grubenteil Marie
DBE, Peine, 01.03.2006

- [P 234] LERCH, C.
Stand sicherheits- und Integritätsnachweis des verfüllten Endlagers:
Grubenteil Nordfeld
DBE, Peine, 31.01.2006
- [P 243] KREIENMEYER, M.
Stand sicherheits- und Integritätsnachweis des verfüllten Endlagers:
Zentralteil Bartensleben
DBE, Peine, 24.02.2006
- [P 245] KREIENMEYER, M.
Stand sicherheits- und Integritätsnachweis des verfüllten Endlagers:
Grubenteil Ost- und Südostfeld
DBE, Peine, 15.12.2005
- [P 267] POLSTER
Stand sicherheits- und Integritätsnachweis des zugelaufenen Endlagers
DBE, 11.04.2008
- [P 277] NIEMEYER ET AL.
Endlager Morsleben - Sicherheitsanalyse für das verfüllte und verschlossene Endlager
mit dem Programm PROSA
Colenco Power Engineering AG, Baden/CH, 27.03.2009
- [P 278] BECKER ET AL.
Endlager Morsleben - Sicherheitsanalyse für das verfüllte und verschlossene Endlager
mit dem Programm EMOS
GRS, Braunschweig, 27.03.2009
- [P 505] THIEMANN; BLANKE; KREßNER
Lokationsbericht Abdichtbauwerk 03AHB01 auf der -291 mNN-Sohle (2. Sohle) im
Ostquerschlag zwischen dem Kalilagerteil E und dem Ostfeld
DBE, Peine, 30.05.2011
- [P 506] SCHRÖDER; THIEMANN; BLANKE; KREßNER
Lokationsbericht Abdichtbauwerk 03AHB14 auf der -291 mNN-Sohle (2. Sohle) in
der ersten südlichen Richtstrecke
DBE, Peine, 15.02.2012

- [P 510] SCHRÖDER; THIEMANN; BLANKE; BAUER
Lokationsbericht Abdichtbauwerk 03AHB02 auf der -372 mNN-Sohle (4. Sohle) im Ostquerschlag zwischen dem Kalilagerteil E und dem Ostfeld
DBE, Peine, 10.07.2012
- [P 511] SCHRÖDER; THIEMANN; BLANKE; BAUER
Lokationsbericht Abdichtbauwerk 03AHB06 auf der -253 mNN-Sohle (1. Sohle) im Ostquerschlag zwischen den Kalilagerteilen B und C
DBE, Peine, 26.01.2012
- [P 512] THIEMANN; BLANKE; KREßNER
Lokationsbericht Abdichtbauwerk 03AHB07 auf der -291 mNN-Sohle (2. Sohle) im Ostquerschlag zwischen den Kalilagerteilen B und C
DBE, Peine, 30.05.2011
- [P 513] SCHRÖDER; THIEMANN; BLANKE; BAUER
Lokationsbericht Abdichtbauwerk 03AHB08 auf der -332 mNN-Sohle (3. Sohle) im Ostquerschlag
DBE, Peine, 13.08.2012
- [P 514] SCHRÖDER; THIEMANN; BLANKE; BAUER
Lokationsbericht Abdichtbauwerk 03AHB09 auf der -372 mNN-Sohle (4. Sohle) im Ostquerschlag zwischen den Kalilagerteilen B und C
DBE, Peine, 26.03.2012
- [P 515] SCHRÖDER; THIEMANN; BLANKE; BAUER
Lokationsbericht Abdichtbauwerk 03AHB11 auf der -291 mNN-Sohle (2. Sohle) in der südlichen Wetterstrecke
DBE, Peine, 15.02.2012
- [P 526] MENSCHNER
Baubeschreibung Abdichtbauwerk im Steinsalz „Ostquerschlag zwischen Kalilager B und C, 2. Sohle (03AHB07)“
DBE, Peine, 11.01.2013
- [P 528] SCHRÖDER; THIEMANN; BLANKE; BAUER
Lokationsbericht Abdichtbauwerk 03AHB13 auf der -372-mNN-Sohle (4. Sohle) in der Wetterstrecke südlich
DBE, Peine, 07.11.2012

- [P 530] SCHRÖDER; THIEMANN; BLANKE; BAUER
Lokationsbericht Abdichtbauwerk 03AHB03 auf der -253-mNN-Sohle (1. Sohle) in
der Verbindungsstrecke/Wetterstrecke nördlich
DBE, Peine, 08.05.2013
- [P 531] SCHRÖDER; THIEMANN; BLANKE; BAUER
Lokationsbericht Abdichtbauwerk 03AHB15 auf der -332-mNN-Sohle (3. Sohle) in
der Verbindungsstrecke Bergemühle/Wetterstrecke
DBE, Peine, 11.03.2013
- [SOM 11] SOMMERWERK K., STEINBORN J.
Projektgruppe ERAM am LAGB
Prüfkomplex 7 „Verfüllen und Verschließen von Strecken“
Ergebnisbericht zur Charakterisierung und Bewertung der geologisch-bergbaulichen
Standortgegebenheiten der vorgesehenen Abdichtungsbauwerke im ERAM“
Landesamt für Geologie und Bergwesen, Halle, 30.06.2011
- [TUC 97] TU CLAUSTHAL
Prüfung der gebirgsmechanischen Nachweise zur Standsicherheit der Abbaue im
Ostfeld des ERA Morsleben
Clausthal, Juli 1997
- [TUC 12] DÜSTERLOH, U.; HERCHEN, K.
Stellungnahme zu ausgewählten Fragestellungen der Brenk Systemplanung GmbH im
Rahmen der Prüfung des Sicherheitskonzepts (PK8) – weitere Arbeiten
Lehrstuhl für Deponietechnik und Geomechanik – TU Clausthal, 23.10.2012



Stilllegung des ERA Morsleben

9. Bericht zur Prüfung des Sicherheitskonzepts (geotechnische Aspekte) – PK8

Prüfung der Abgeschlossenheit der Einlagerungsbereiche Ostfeld und Südfeld

Anhang A



Untersuchungen zur Permeabilität des Hauptanhydrits

Gemäß Plan Stilllegung [A 281] ist der Hauptanhydrit heterogen und weist wechselnde Permeabilitäten von kleiner 10^{-20} m^2 bis in den Bereich größer 10^{-15} m^2 auf. Diese Permeabilitätsvariation tritt im Meterbereich auf. Kompakter Hauptanhydrit besitzt für Gas und Salzlösung keine Permeabilität größer als 10^{-20} m^2 . Gemäß [A 281] liegen höhere Permeabilitäten nur in geklüfteten Bereichen vor.

In den von der BGR erstellten Planunterlagen [P 71], [P 72] und [P 98] sind Ergebnisse und Einschätzungen hinsichtlich der hydraulischen Eigenschaften des Hauptanhydrits dargestellt. Diese Angaben werden nachfolgend zusammengefasst und durch Übersichtsdarstellungen ergänzt.

A1 Erkenntnisse zum Hohlraumvolumen aus Gas- und Lösungszutritten

Gemäß [P 98] traten beim Stoßen der Bohrung RB506 (vgl. Abbildung A-4) etwa 1.300 m^3 Gas aus dem Hauptanhydrit aus. Unter petrostatischen Bedingungen (400 m überlagernde Gesteinsmächtigkeit) würde diese Gasmenge gemäß [P 98] ein Volumen von ca. 10 m^3 einnehmen. Für den Fall eines initialen Fluiddrucks im Wegsamkeitsnetz von 0,45 MPa, der beim Anbohren des Wegsamkeitsnetzes am Bohrlochkopf gemessen wurde, ergibt sich gemäß [P 98] ein zusammenhängendes Hohlraumvolumen von einigen 100 m^3 . Dieses Volumen wird in [P 72] mit ca. 290 m^3 quantifiziert.

Es wird in [P 72] und [P 98] angenommen, dass – unter Berücksichtigung von Ergebnissen aus Interferenzttests – der Gaszutritt aus der gleichen Kluftzone erfolgte, über welche die Bohrungen RB507 und RB607 miteinander kommunizieren (vgl. Abbildung A-4). Der Gaszutritt zeigt gemäß [P 72] und [P 98] an, dass dort eine initial vorhandene und nicht erst durch den Bergbau angelegte Kluftzone im Hauptanhydrit vorhanden ist. Aufgrund des Interferenzttests zwischen RB507 und RB607 (vgl. Abschnitt A2) wird laut [P 98] belegt, dass solche initial im Hauptanhydrit vorhandenen Kluftzonen Ausdehnungen von mehreren zehn Metern haben können.

Hinsichtlich des Vernetzungsgrades innerhalb einer Hauptanhydritscholle wird in [P 72] und [P 98] das Beispiel der Lösungszutritte in Abbau 1a auf der 1. Sohle Bartensleben genannt. Dort sind gemäß [P 72] und [P 98] innerhalb von 25 Jahren⁸ insgesamt ca. 120 m^3 Lösung aus der über dem Abbau liegenden Hauptanhydritscholle zugetreten. Es wird gefolgert, dass dort ein Wegsamkeitsnetz mit einem zusammenhängenden Hohlraumvolumen von mindestens 120 m^3 vorhanden sei. Unter Verwendung von Literaturangaben zur totalen Porosität von Anhydrit (unter 1 %) wird auf ein Gesteinsvolumen, im dem sich das Wegsamkeitsnetz erstreckt, von mindestens 12.000 m^3 geschlossen. Dies bedeute, dass die Hauptanhydritscholle über mehrere Zehnermeter hydraulisch leitfähig ist. Das Volumen dieser Anhydritscholle beträgt etwa 10^4 bis 10^5 m^3 .

Gemäß [P 98] kann nicht ausgeschlossen werden, dass das vernetzte Kluft-hohlraumvolumen in der Hauptanhydritscholle über Abbau 1a ungefähr gleich dem gesamten Kluft-hohlraumvolumen dieser Scholle ist, d. h. dass die Wegsamkeiten innerhalb der Hauptanhydritscholle vollständig vernetzt sind.

⁸ Die Angabe dieses Zeitraums ist nicht nachvollziehbar, da die Zutritte in Abbau 1a bereits seit 1962 erfolgen.



A2 Erkenntnisse aus Interferenzttests

Im Hauptanhydrit wurden gemäß [P 72] und [P 98] Interferenzttests zwischen folgenden Bohrungen durchgeführt:

- RB528 und RB530 (vgl. Abbildung A-1): eine Kommunikation zwischen diesen Bohrungen wurde nicht nachgewiesen.
- RB971 und RB972 (in der Hauptmulde im westlichen Stoß des Abbau 2n der 2. Sohle gestoßen, vgl. Abbildung A-1): In diesen 3 m voneinander entfernten Bohrungen wurden Interferenzttests mit hoher räumlicher Auflösung durchgeführt. Gemäß [P 72] und [P 98] wurde festgestellt, dass im Bereich der Bohrungen 3 Wegsamkeitsnetze mit hoher Transmissibilität bestehen, die durch gering permeable Gesteinsbereiche voneinander getrennt sind. Diese Wegsamkeitsnetze weisen Hohlraumvolumina von 50/100/100 dm³ auf.
- RB543 und RB544 (vgl. Abbildung A-2): Die ca. 4 m voneinander entfernten Bohrungen kommunizieren über eine Kluftzone miteinander.
- RB506, RB507, RB508 und RB607 (Ostfeld, vgl. Abbildung A-4): Es erfolgte eine Gasinjektion in RB506, wobei in RB507 und RB607 Druckverläufe gemessen wurden, die gemäß [P 72] und [P 98] ein zusammenhängendes System von Wegsamkeiten anzeigen. Aus dem Enddruck und der injizierten Gasmenge lässt sich das Hohlraumvolumen des Wegsamkeitsnetzes gemäß [P 72] auf ca. 260 m³ und gemäß [P 98] auf ca. 800 bis 900 m³ abschätzen. In [P 98] wird anhand von Modellannahmen ein Hohlraumvolumen von n•120 m³ berechnet.

A3 Erkenntnisse zur Permeabilität aus Bohrlochtests

Die in [P 71] angegebenen Ergebnisse von Bohrlochtests werden in [P 98] zusammengefasst. Nachfolgend wird ein Überblick zu diesen Ergebnissen gegeben.

Erkenntnisse aus Single Borehole Tests im Hauptanhydrit des Südfeldes und Zentralteils

Abbaunahe hydraulische Bohrlochtests wurden im Hauptanhydrit der 2. und 3. Sohle durchgeführt. Ergebnisse, bei denen sich die Intervallgrenzen mehrerer Bohrlochtests überschneiden oder mit denen gezielt ein Übergangsbereich vom Hauptanhydrit zu einem anderen Gestein getestet wurde, sind in [P 98] hervorgehoben und werden bei den nachfolgenden Angaben nicht berücksichtigt.

Auf der 2. Sohle wurde der Hauptanhydrit zwischen dem Carnallit-Lagerteil C und der Abbaureihe 2n vom Kalilager aus durch die Bohrungen RB522, RB523 und RB524 auf jeweils 10 bis 15 m Länge erbohrt ([P 72], [P 98]; vgl. Abbildung A-1). Die mit diesen Tests ermittelten äquivalenten Permeabilitäten liegen zwischen $5 \cdot 10^{-21}$ und $5 \cdot 10^{-18}$ m², die Transmissibilität zwischen $7,5 \cdot 10^{-21}$ und $7,5 \cdot 10^{-18}$ m³ (vgl. [P 98] Tabelle 1).

Mit den Bohrungen RB525, RB526 und RB527 wurde der Hauptanhydrit vom Steinsalz her (Abbau 2n) mit Längen von 0,5 bis 1,5 m aufgeschlossen (vgl. Abbildung A-1). In diesen Bohrungen liegen die äquivalenten Permeabilitäten zwischen $1 \cdot 10^{-23}$ und $1 \cdot 10^{-21}$ m², die Transmissibilitäten zwischen $2,46 \cdot 10^{-22}$ und $1,97 \cdot 10^{-20}$ m³ (vgl. [P 98] Tabelle 2).

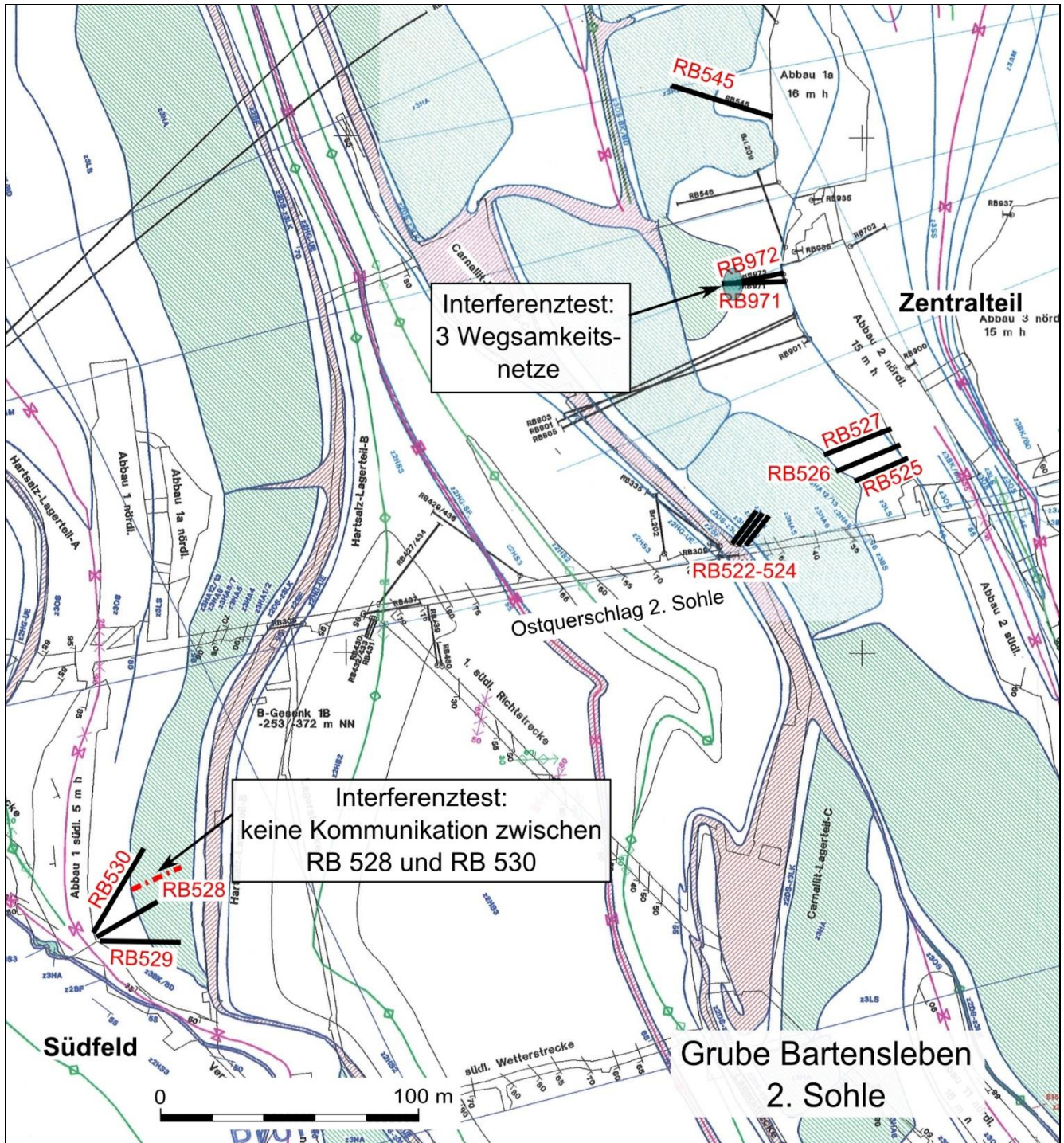


Abbildung A-1: 2. Sohle Bartensleben: Lage der Bohrungen, in denen Untersuchungen zur Permeabilität des Hauptanhydrits erfolgten
 (Ausschnitt aus [P44] Anlage 21 und [P 48] Anlage 4, geändert und ergänzt)

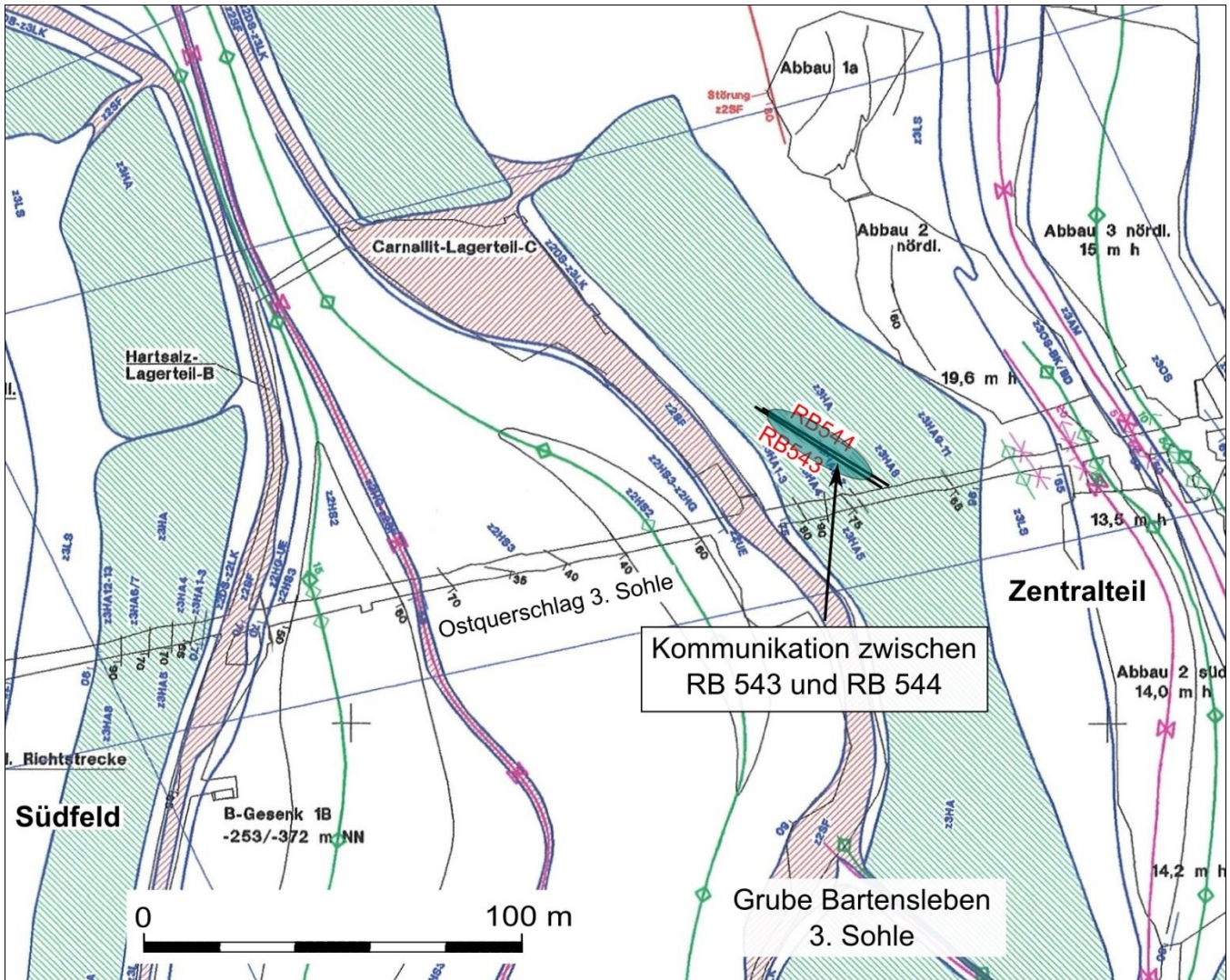


Abbildung A-2: 3. Sohle Bartensleben: Lage der Bohrungen RB543 und RB544
 (Ausschnitt aus [P44] Anlage 22, ergänzt)

Die Bohrungen RB528, RB529 und RB530 wurden auf der 2. Sohle westlich vom Hartsalz-Lagerteil B vom Abbau 1s (Steinsalz) aus in Richtung Osten abgeteuft und schließen den Hauptanhydrit auf ca. 10 m Länge auf (vgl. Abbildung A-1). Es wurden äquivalente Permeabilitäten zwischen $2 \cdot 10^{-21}$ und $6,7 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2$ bzw. Transmissibilitäten zwischen $3 \cdot 10^{-21}$ und $1 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3$ ermittelt (vgl. [P 98] Tab. 3 sowie – bzgl. RB530 – [P 278] Tab. 7.30).

In der Bohrung RB545 (vgl. Abbildung A-1) wurden äquivalente Permeabilitäten zwischen $2 \cdot 10^{-20}$ und $5 \cdot 10^{-20} \text{ m}^2$ bzw. Transmissibilitäten zwischen $3 \cdot 10^{-20}$ und $7,5 \cdot 10^{-20} \text{ m}^3$ gemessen (vgl. [P 98] Tabelle 4).

Tests in den Bohrungen RB543 und RB544 (Abbildung A-2) führten zu äquivalenten Permeabilitäten zwischen $5 \cdot 10^{-21}$ und $2 \cdot 10^{-15} \text{ m}^2$ bzw. Transmissibilitäten zwischen $7,5 \cdot 10^{-21}$ und $3 \cdot 10^{-15} \text{ m}^3$ (vgl. [P 98] Tabelle 4).

In [P 98] sind diese Ergebnisse (Transmissibilitäten) als absolute Häufigkeit nach Klassen und zusätzlich als Summenhäufigkeit der getesteten Bohrlochintervalllänge dargestellt (vgl. Abbildung A-3).

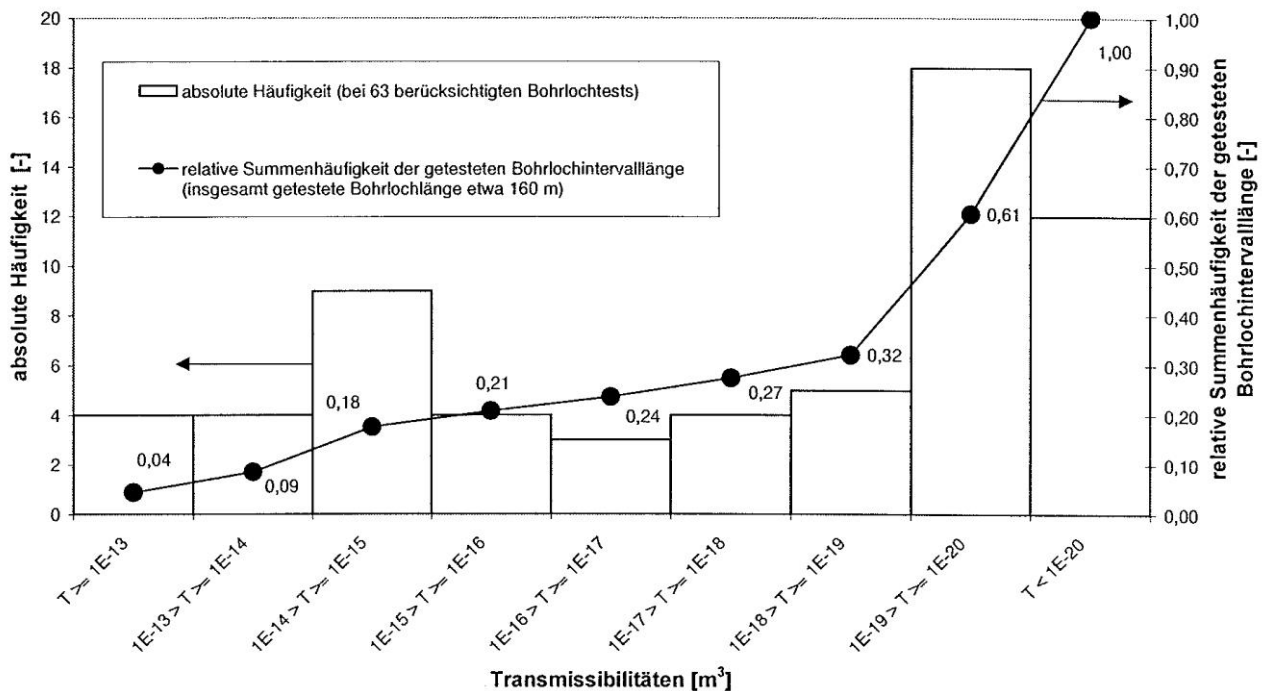


Abbildung A-3: Testergebnisse (Transmissibilität) aus Single Borehole Tests in den Bohrungen RB422 bis RB545 (aus [P 98])

Gemäß [P 98] wurden in einigen Bohrlochintervallen Kluftzonen mit lokal relativ großen Transmissibilitäten erfasst, in vielen Bohrlochintervallen aber auch sehr geringe Transmissibilitäten bzw. äquivalente Permeabilitäten angetroffen. Die Single Borehole Tests haben gemäß [P 98] jedoch keine Erkenntnisse darüber erbracht, welche räumliche Erstreckung die Kluftzonen besitzen.

Erkenntnisse aus Single Borehole Tests im Hauptanhydrit des Ostfelds

Im Hauptanhydrit des Ostfeldes wurden in den Bohrungen RB501, RB503 bis RB506, RB508, RB601 bis RB604, RB606 bis RB608, RB611 und RB613 (vgl. Abbildung A-4) hydraulische Bohrlochtests mit Intervalllängen zwischen 1 m und 333 m durchgeführt.

Es wurden äquivalente Permeabilitäten zwischen $<1 \cdot 10^{-20}$ und $>1,45 \cdot 10^{-15} m^2$ bzw. Transmissibilitäten zwischen $<1 \cdot 10^{-18}$ und $>1 \cdot 10^{-13} m^3$ ermittelt (siehe [P 98] Tabellen 5 und 6 sowie Abbildung A-5). Gemäß [P 98] wurden auch mit abbaufernen Tests in einigen Bohrlochintervallen Kluftzonen mit relativ großen Transmissibilitäten erfasst, überwiegende wurden jedoch Bohrlochintervalle mit sehr geringen Transmissibilitäten bzw. äquivalenten Permeabilitäten angetroffen. Diese Single Borehole Tests haben gemäß [P 98] keine Erkenntnisse erbracht, welche räumliche Erstreckung die Kluftzonen haben.

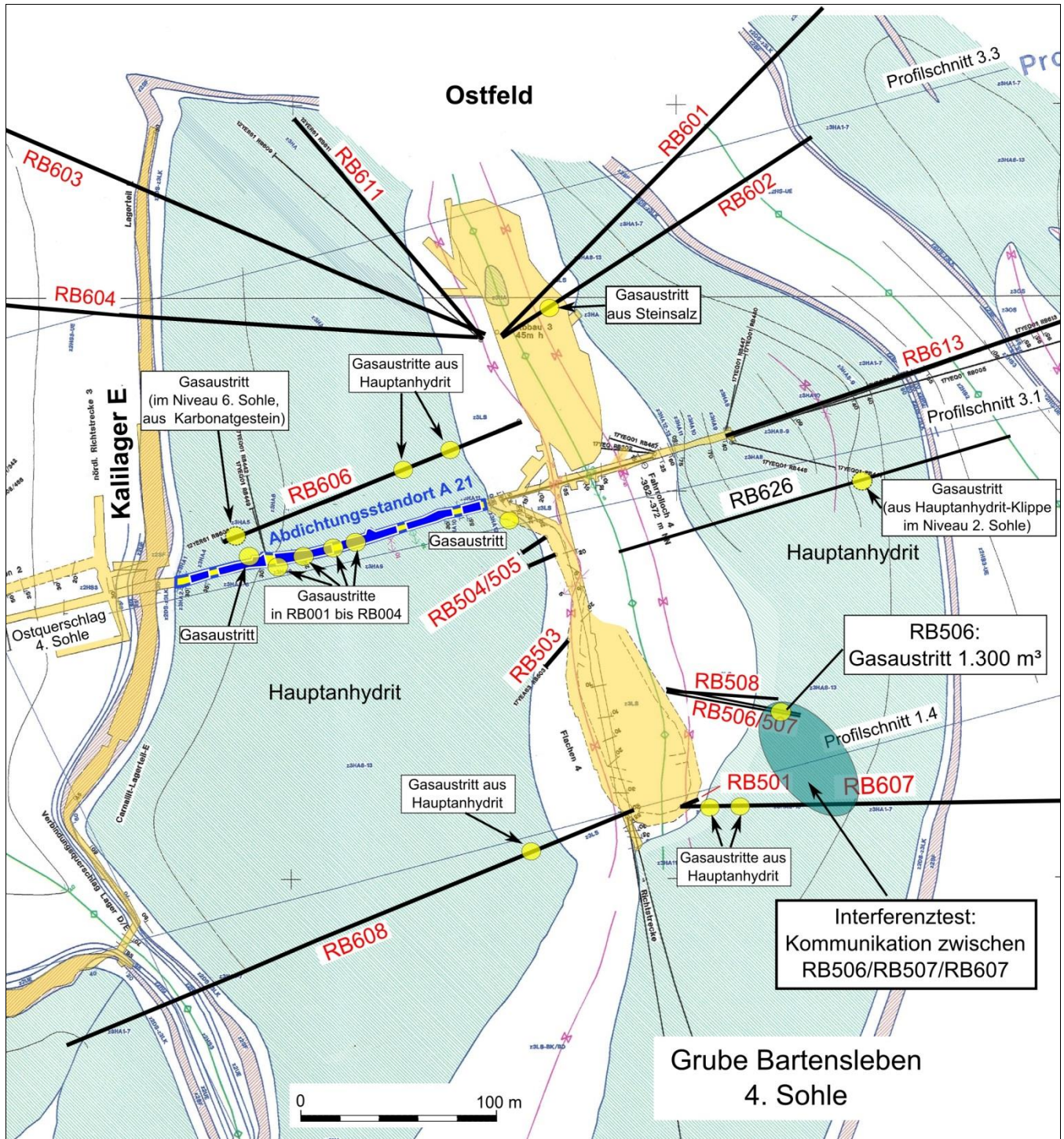


Abbildung A-4: Lage der Testbohrungen im Ostfeld, projiziert auf die geologischen Verhältnisse der 4. Sohle Bartensleben (Ausschnitt aus [P44] Anlage 16 und [P 61], ergänzt)

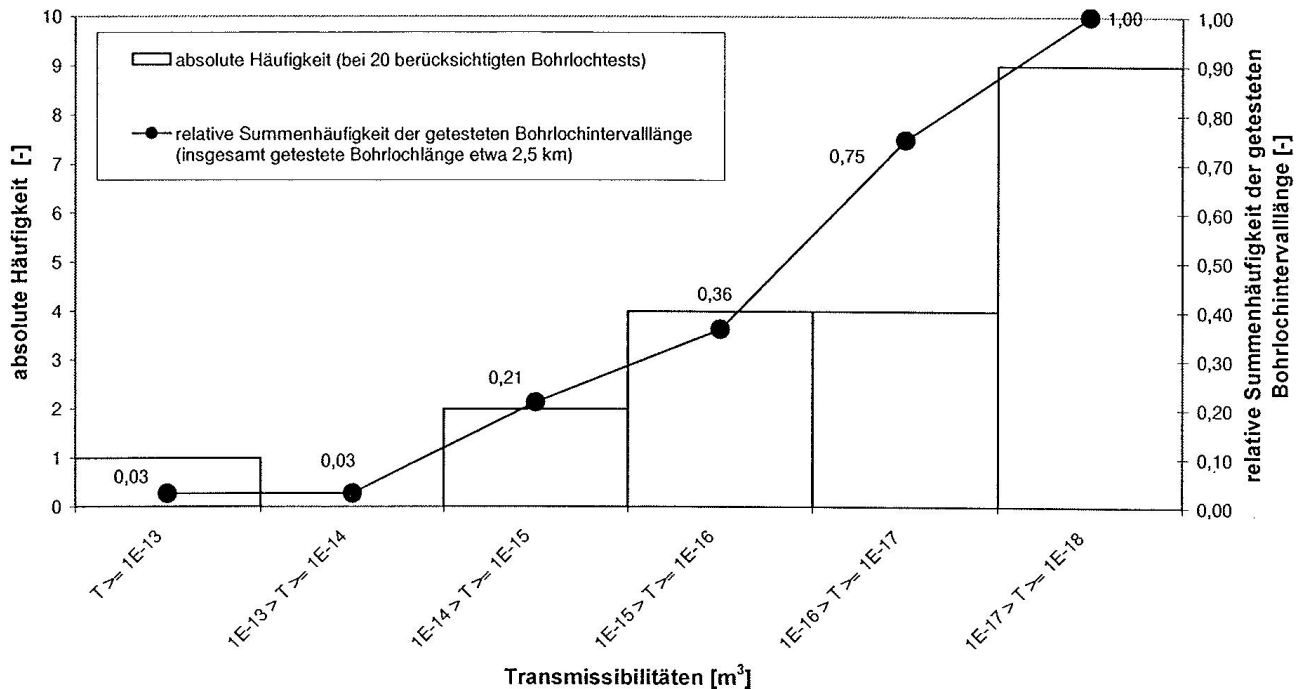


Abbildung A-5: Testergebnisse (Transmissibilität) aus Single Borehole Tests im Hauptanhydrit des Ostfelds (aus [P 98])

Erkenntnisse aus Interferenztests

In [P 98] wird ausschließlich der Interferenztest zwischen den Bohrungen RB506, RB507, RB508 und RB607 des Ostfeldes dargestellt. Die Bohrungen RB506 bis RB508 wurden vom Flachen 4 aus im Abstand weniger Meter zueinander geteuft und verlaufen zunächst 40 bis 50 m durch Steinsalz und schließlich in den Hauptanhydrit (vgl. Abbildung A-4). Die Bohrung RB607 wurde ebenfalls vom Flachen 4 aus geteuft, jedoch mit einem Abstand von ca. 70m von der Bohrung RB507. Der Hauptanhydrit wurde bereits ab 4,50 m Bohrteufe erreicht.

Die Bohrungen RB506 bis RB508 wurden für den Interferenztest innerhalb des Steinsalzes abgepackert, die Bohrung RB607 im Hauptanhydrit. Während der Injektion von Druckluft in RB506 stiegen die in RB507 und R 607 gemessenen Drücke an, während in RB508 keine signifikante Druckänderung beobachtet wurde.



Zur Bestimmung der hydraulischen Parameter wurden gemäß [P 98] neben den gemessenen Druckverläufen folgende geometrische Randbedingungen des Interferenztests mit dem numerischen Code ‚Rockflow-GM2‘ (auf der Methode finiter Elemente basierender Rechencode des Instituts für Strömungsmechanik und Elektronisches Rechnen im Bauwesen der Universität Hannover) abgebildet:

- Die horizontale Erstreckung der Modell-Kluftzone beträgt 200 m. Diese Distanz ist kleiner als die Distanz zwischen den Bohrungen RB613 im Norden und RB306 bzw. RB332 im Süden, in denen keine offenen Klüfte angenommen wurden.
- Die vertikale Erstreckung der Modell-Kluftzone beträgt 100 m. Dies entspricht der abgeschätzten Mächtigkeit der Hauptanhydritklippen im Ostfeld. Es wird angenommen, dass sich die Modell-Kluftzone über diese Mächtigkeit erstreckt.
- Die Mächtigkeit der untersuchten Modell-Kluftzone beträgt 1 m.

Im Modell wird gemäß [P 98] ein Hohlraumvolumen von 1.000 m^3 angesetzt. Da das gesamte System geschlossen ist, sind alle Ränder des Modells mit der Randbedingung Durchströmungsrate = 0 definiert.

In den Rechnungen wurde die Transmissibilität der Kluftzone mit 10^{-13} und 10^{-14} m^3 variiert. Der Vergleich mit den in den Bohrungen RB507 und RB607 gemessenen Druckverläufen zeigt gemäß [P 98] für die Phase 2 des Interferenztests (Schließphase) eine gute Übereinstimmung zwischen dem in RB507 gemessenen und dem für die Transmissibilität 10^{-13} m^3 gerechneten Druckverlauf. Dagegen lässt sich aufgrund des bei dieser Variante für die Phase 1 (Injektionsphase) berechneten Druckverlaufs gemäß [P 98] folgern, dass die Kluftzone lokal zwischen RB507 und der Injektionsbohrung RB506 eine geringere Transmissibilität als 10^{-13} m^3 aufweist.

Für die Bohrung RB607 wird in [P 98] angegeben, dass die berechneten Varianten schneller bzw. langsamer als der gemessene Druckverlauf ansteigen. Insgesamt lasse sich folgern, dass die für Distanzen im Dekameterbereich gültige Transmissibilität der von den Bohrungen RB507 und RB607 aufgeschlossenen Kluftzone zwischen 10^{-13} und 10^{-14} m^3 und damit im oberen Bereich der aus den Single Borehole Tests bestimmten lokalen Transmissibilitäten liegt. Dort wurden gemäß [P 98] auf ca. 5 % der getesteten Bohrlochlänge Transmissibilitäten $\geq 10^{-14} \text{ m}^3$ festgestellt.

A4 Literaturangaben

In [P 98] wird unter Berücksichtigung einzelnen Literaturangaben zur Permeabilität des Hauptanhydrits geschlossen, dass die im ERAM erzielten Ergebnisse in Übereinstimmung mit diesen Literaturangaben stehen. Es wird auf Angaben zur Untersuchung von Schadensereignissen in Gruben am Staßfurter Sattel hingewiesen, denen zufolge die Kluftscharen dort nicht isoliert sind, sondern untereinander in Verbindung stehen.