

Planfeststellungsverfahren zur Stilllegung des Endlagers für radioaktive Abfälle Morsleben

Verfahrensunterlage

Titel: Konzeptplanung für die Errichtung und Nachweisführung für die
Funktionstüchtigkeit von temporären Abdichtungen

Autor: Pettenpohl, H. & Pier, J.

Erscheinungsjahr: 2006

Unterlagen-Nr.: P 264

Revision: 00

Unterlagenteil:



Inhaltsverzeichnis		Seite
1	Zusammenfassung	4
2	Aufgabenstellung	7
3	Auslegungsanforderungen	8
3.1	Sicherheitliche Auslegungsanforderungen	8
3.2	Betriebliche Auslegungsanforderungen	8
4	Beschreibung der Gründungsbereiche und Standortwahl	10
4.1	Nordstrecke (17YER21/R001) vor den Einlagerungsbereichen	10
4.2	Störreservelager (17YEA31/R001) im Abzweig zur Wetterstrecke (17YEA34/R001)	12
4.3	Südstrecke (17YER31/R001) nördlich der Werkstatt	15
4.4	Ostquerschlag (17YEQ01/R001) westlich des Kalilagers B	18
5	Konstruktiver Entwurf / Nachweisführung	21
5.1	Grundlagen der Nachweisführung	21
5.1.1	Situation vor Ort, Geometrie und Belastung	21
5.1.2	Gebirgseigenschaften	23
5.1.3	Baustoffeigenschaften	24
5.1.4	Verpressmaßnahmen	25
5.2	Standsicherheitsnachweis	25
5.2.1	Finite-Elemente Modellierung	25
5.2.1.1.	Geometrie	25
5.2.1.2.	Konstitutive Beschreibung (Materialgesetz)	26
5.2.1.3.	Interaktion von Bauwerk und Gebirge	27
5.2.1.4.	Randbedingungen und Lastannahmen	27
5.2.1.5.	Bauzustände	29
5.2.2	Ergebnisse und Interpretation	30
5.2.2.1.	Nachweiskonzept	30

5.2.2.2.	Auswertung der Beanspruchungen des Bauwerks	31
5.3	Gebrauchstauglichkeitsnachweis	40
6	Errichtung der temporären Abdichtungen	42
6.1	Baustoffversorgung	42
6.1.1	Baustoffanforderungen	42
6.1.2	Anforderungen an die Baustofflogistik	43
6.2	Vorarbeiten an den Standorten der temporären Abdichtungen	44
6.3	Betonieren der temporären Abdichtung	44
6.4	Injektion der Kontaktfuge temporäre Abdichtung / Gebirge	47
6.5	Betonieren und Verpressen der Befahrungs- und Injektionskanäle der temporären Abdichtungen	50
7	Bauablauf / Zeitmanagement	51
8	Qualitätssicherung	56
8.1	Maßnahmen zur Sicherung der Baustoffqualität	56
8.2	Maßnahmen zur qualitätsgerechten Ausführung der temporären Abdichtungen	56
8.3	Maßnahmen zur Sicherung des Injektionserfolges	57
9	Zugrunde liegende Unterlagen	59
10	Glossar	61
11	Verzeichnis der Anlagen	64
12	Abbildungsverzeichnis	65

1 Zusammenfassung

Bei den bereits laufenden Verfüllarbeiten ausgewählter Grubenbaue im Zuge der bergbaulichen Gefahrenabwehrmaßnahme im Zentralteil (bGZ) des Endlagers Morsleben hat sich gezeigt, dass der eingebrachte Salzbeton Überschusslösung absondert. Es kann nicht ausgeschlossen werden, dass im Zuge der Stilllegungsmaßnahmen bei den Verfüllarbeiten im Bereich der Einlagerungsgrubenbaue die Überschusslösung auch mit den radioaktiven Abfällen in Kontakt kommt. Daher müssen bereits während des Verfüllbetriebs temporäre Abdichtungen errichtet werden, die den Zutritt von potenziell kontaminierter Lösung aus den Einlagerungsbereichen in die angrenzenden, betrieblich noch genutzten Grubenbaue für einen Zeitraum von 12 Jahren mit Sicherheit ausschließen.

Entsprechend der geotechnischen Situation in den vorgesehenen Gründungsbereichen und unter Berücksichtigung des sich maximal einstellenden Fluiddrucks, resultierend aus 80 m Überstauung, ist von den üblichen Grundtypen der im untertägigen Bergbau eingesetzten Abdichtungen für vier Lokationen ein auf Kraftschluss basierendes Abdichtungsbauwerk mit Injektionsvorspannung anzuwenden. Bei dieser Bauwerksform erfolgt die Übertragung der aufzunehmenden Lasten von der Mantelfläche der temporären Abdichtung in das anstehende Gebirge vorwiegend durch Reibung.

In der vorliegenden Unterlage werden der Standsicherheitsnachweis und der Gebrauchstauglichkeitsnachweis der geplanten Bauwerke auf Basis der konstruktiven Entwürfe an einem Referenzbauwerk geführt. Die betrachteten Bauzustände umfassen die Erweiterung der Strecke, das Betonieren der temporären Abdichtung, die Injektion der Kontaktfuge zwischen temporärer Abdichtung und Gebirge, das Wirken des anstehenden Fluiddrucks sowie das Aufkriechen des Salzgebirges über den angegebenen Zeitraum.

Der Standsicherheitsnachweis basiert auf den Kriterien zulässiger Zug im Bauwerk, zulässiger Druck im Bauwerk und zulässiger Schub in der Fuge zum Gebirge. Alle drei Kriterien werden unter Berücksichtigung ausreichender Sicherheiten in allen betrachteten Bauzuständen erfüllt.

Die Gebrauchstauglichkeit wird mit Hilfe der stationären Transportzeit von potenziell kontaminierter Lösung durch das Bauwerk dargestellt. Der vorgegebene Zeitraum von 12 Jahren erfordert eine Bauwerkspermeabilität von etwa 10^{-15} m^2 . In der Praxis kann bei vergleichbaren Bauwerken von mindestens einer Größenordnung geringeren Permeabilitäten ausgegangen werden.

Zur Bestätigung der im konstruktiven Entwurf angesetzten Kennwerte und Parameter werden im Rahmen der Erkundung der vorgesehenen Gründungsbereiche zeitnah vor der Errichtung der temporären Abdichtungen eine Reihe von Untersuchungen und Messungen an der Lokation durchgeführt.

Für die Erstellung der temporären Abdichtung werden die betontechnologischen Anforderungen definiert. Das Verbringen des Baustoffs nach unter Tage erfolgt per hydraulischer Fernförderung. Rheologische Referenzuntersuchungen an einem bereits auch über ähnliche Entfernungen hydraulisch geförderten Baustoff sowie betriebliche Erfahrungen bestätigen die Machbarkeit. Bei geringeren Förderweiten wird der überschüssige Druck durch die Nutzung bereits vorhandener Druckverluststrecken abgebaut.

Nach Errichtung der temporären Abdichtung und ausreichender Erhärtungszeit des Betons wird aus einem Befahrungs- und Injektionskanal heraus die Kontaktfuge temporäre Abdichtung/Gebirge durch Injektionen abgedichtet und auf diese Weise das Bauwerk kraftschlüssig und abdichtend mit dem Gebirge verbunden.

Nach dem Rauben und dem Betonieren des Befahrungs- und Injektionskanals erfolgen nach entsprechender Aushärtezeit des dabei entstandenen Pfropfens Injektionen auch auf die Kontaktfuge temporäre Abdichtung/Pfropfen. Bei anstehendem Fluidruck wird der konische Pfropfen in die temporäre Abdichtung gepresst und erhöht zusätzlich die Dichtwirkung.

Stichworte:

- Befahrungs- und Injektionsrohr
- Beton
- Hydraulische Fernförderung
- Injektion
- Kontaktfuge
- Potenziell kontaminierte Überschusslösung
- Temporäre Abdichtung
- Verpressschlauch

2 Aufgabenstellung

Bei den seit 2003 laufenden Verfüllarbeiten zur bergbaulichen Gefahrenabwehr im Zentralteil (bGZ) des ERAM hat sich gezeigt, dass der eingebrachte Salzbeton Überschusslösung absondert. Wird der Salzbeton in Grubenbaue im gleichen oder darüber liegenden Niveau eingebracht, kann eine Kontamination der Überschusslösungen bei Kontakt mit den radioaktiven Abfällen nicht ausgeschlossen werden. Die im Verfüllplan [1] beschriebene Verfüllreihenfolge stellt in Verbindung mit temporären Abdichtungen an vier ausgewählten Lokationen sicher, dass keine potenziell kontaminierte Überschusslösung in betrieblich noch genutzte Grubenräume auf der 4. Sohle (-372 m NN) fließt. Folgende Lokationen werden als Gründungsbereiche für die temporären Abdichtungen vorgesehen (Anlage 1) [2]:

- Nördlicher Bereich der Nordstrecke (17YER21/R001) vor den Einlagerungsgrubenbauen
- Östliches Ende des westlichen Störreservelagers (17YEA31/R001) im Bereich des Abzweiges Wetterstrecke (17EA34/R001)
- Südstrecke (17YER31/R001) nördlich der Werkstatt
- Ostquerschlag (17YEQ01/R001) westlich des Lagerteils B

Die zu errichtenden Bauwerke unterscheiden sich insbesondere hinsichtlich ihrer geometrischen Abmessungen und deshalb auch bezüglich ihres Tragverhaltens bei anstehendem Fluiddruck. Daher wird stellvertretend für alle Gründungsbereiche ein Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweis für die statisch ungünstigste Lokation geführt.

Des Weiteren werden die für die Errichtung der temporären Abdichtungen erforderlichen Arbeiten entsprechend der verschiedenen Bauphasen erläutert, Maßnahmen zur Qualitätssicherung angezeigt und detaillierte Ausführungshinweise gegeben. Die einzelnen Bauphasen werden in einem Bauzeitenplan zusammengefasst, der die gesamte Errichtung einer temporären Abdichtung zeitlich determiniert.

3 Auslegungsanforderungen

Nachfolgend werden die sicherheitlichen und betrieblichen Anforderungen für die temporären Abdichtungen, mit denen der Zufluss von potenziell kontaminierter Überschusslösung aus dem Ostfeld, dem Nordfeld, dem Südfeld und dem Zentralteil verhindert wird, definiert.

3.1 Sicherheitliche Auslegungsanforderungen

Die ausschließlich im Steinsalz zu errichtenden temporären Abdichtungen müssen neben dem gesicherten Lastabtrag des aus maximal 80 m Überstauung resultierenden Fluiddrucks (Ostfeld zwischen 2. Sohle und 4. Sohle) sowie des Überlagerungsdrucks im Niveau der 4. Sohle (ca. 500 m unter GOK) auch eine technische Dichtigkeit über einen Zeitraum von ca. 12 Jahren gewährleisten. Daher sind durch eine den Verhältnissen angepasste Formgebung und Konstruktion kritische Grenzzustände im Abdichtungsbauwerk zu vermeiden. Grundsätzlich sind Horizontalfugen im Abdichtungsbauwerk sowie Umläufigkeiten entlang der Fuge zwischen temporärer Abdichtung und Salzgebirge auszuschließen.

Bei der Wahl der Baustoffe ist auf eine entsprechend hohe Resistenz gegen chemischen Angriff bzw. Korrosion in dem geforderten Abdichtungszeitraum zu achten.

3.2 Betriebliche Auslegungsanforderungen

Für die Gestaltung bzw. Formgebung der temporären Abdichtungen sind neben der Standfestigkeit und der Dichtigkeit des Bauwerkes sowie des umgebenden Salzgebirges auch eine möglichst einfache technologische Herstellung maßgebend. Entsprechend den geometrischen Abmessungen der für die temporären Abdichtungen ausgewählten Lokationen sind daher Bauwerksformen zu wählen, die mit angemessenem Errichtungsaufwand den Dichtungserfolg gewähren. Ferner sind neben bewährten Bauverfahren und Qualitätsstandards für deren Realisierung handelsübliche genormte Baustoffe zu verwenden.

Darüber hinaus ergeben sich folgende Anforderungen an den Baustoff:

- Beton muss schwindarm und mit hohem Widerstand gegen Eindringen von Lösung (wasserundurchlässig) sein
- Verwendung eines selbstverdichtenden Betons (Einbau ohne zusätzliche Verdichtungsenergie)
- Bergbauzulassung
- Baustoff muss sedimentationsfrei über größere Entfernungen hydraulisch förderbar sein (Vermeidung von Verstopfern in der Rohrleitung)
- Verwendung eines verzögerten Betons (Vermeidung von axialen Fugen im Bauwerk bei Betriebsstörungen)

Die Baustoffverbringung ist auf die untertägigen Bedingungen zuzuschneiden. Dabei sind bereits vorhandene Fördereinrichtungen für den Baustofftransport nach unter Tage zu berücksichtigen.

Um ein fugenfreies Bauwerk zu gewährleisten, ist die Förder- und Einbringtechnik darauf auszurichten.

4 Beschreibung der Gründungsbereiche und Standortwahl

Die Errichtung der temporären Abdichtungen erfolgt parallel zur Verfüllung des ERAM in nachfolgender Reihenfolge und in Abhängigkeit des Verfüllfortschritts über einen Zeitraum von etwa drei bis vier Jahren. Die Gründungsbereiche werden detailliert beschrieben und eine genaue Standortwahl für die temporären Abdichtungen getroffen. Es werden Ausführungshinweise gegeben, die einen günstigen Lastabtrag sicherstellen.

4.1 Nordstrecke (17YER21/R001) vor den Einlagerungsbereichen

Ausweislich der Streckenaufnahme (Abb. 1) sind es im nördlichen Teil der Nordstrecke (17YER21/R001) südlich der Einlagerungsgrubenbaue von der Feste zwischen den beiden nach Norden weiterführenden Strecken im Abzweig zu den Einlagerungsgrubenbauen bis zum Anfang der Nische 30,5 m.

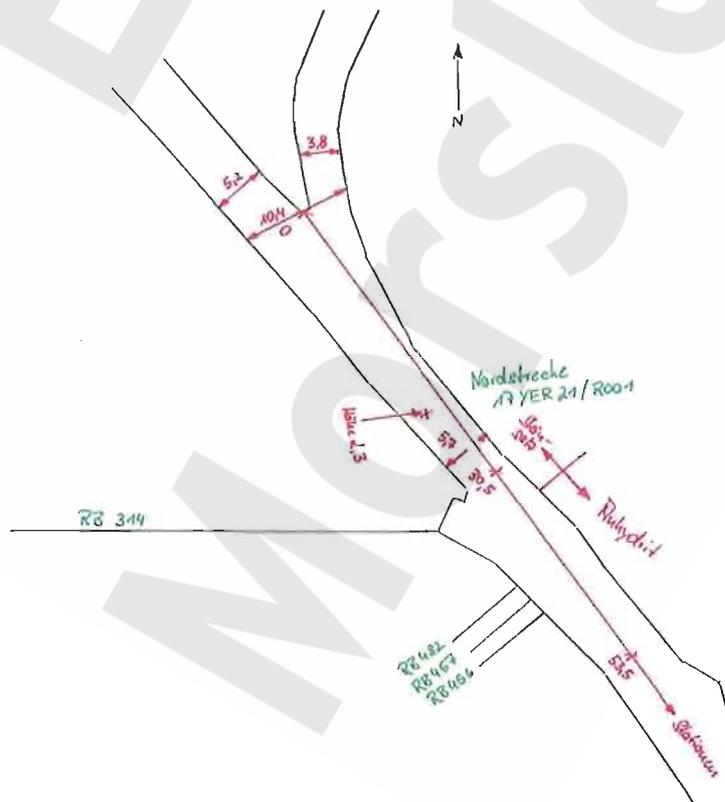


Abb. 1: Aufnahme des Streckenprofils im Gründungsbereich der Nordstrecke (17YER21/R001)



Abb. 2: Abzweig zu den Einlagerungsgrubenbauen

Die größte Breite innerhalb des Abzweigbereiches (Abb. 2) beträgt 10,4 m. Der nordöstliche Abzweig ist 3,8 m und der nordwestliche Abzweig 5,2 m breit.

Bei Station 28 m beträgt die Streckenbreite 5,7 m, die Streckenhöhe 2,3 m. Die im westlichen Stoß bei 30,5 m beginnende Nische (Abb. 3) hat hier mit 4,7 m ihre maximale Breite und geht bei Station 53,5 m wieder in den normalen Streckenquerschnitt über.



Abb. 3: Westliche Nische der Nordstrecke (17YER21/R001) mit Bohrung RB 314

Streckenstöße und Firste sind unregelmäßig ausgebildet. Im Nischentiefsten befindet sich die Bohrung RB 314 mit einem Durchmesser von etwa 120 mm und einer Länge von etwa 40,1 m. Im Bereich der Nische sind noch drei weitere Untersuchungsbohrungen mit den Bezeichnungen RB 482 (bei Stati-

on 40 m), RB 457 (bei Station 41 m) und RB 456 (ausweislich der risslichen Unterlagen) vorhanden. Die Bohrungen sind etwa 8 m lang und der Zwischenraum auf etwa 4 m Länge geschlitzt.

Der Bereich von etwa 30,5 m bis zu den Einlagerungsgrubenbauen ist durch Nachrissarbeiten geprägt. Diese erfolgten von Süden in Richtung Norden mit Abschlagslängen von 5 bis 6 m.

Entsprechend der vorbeschriebenen Situation wird die temporäre Abdichtung in der Nordstrecke (17YER21/R001) direkt im Abzweigungsbereich zu den Einlagerungsgrubenbauen gegründet (Anlage 2). Durch die Ausnutzung der keilförmigen Geometrie kann ein sehr günstiger Lastabtrag der aus der Überstauung resultierenden Lasten gewährleistet werden.

Aufgrund der aufrecht zu erhaltenden Bewitterung zwischen den nördlichen Einlagerungsgrubenbauen kann sich die nördliche Schalung für das Abdichtungsbauwerk nicht an die vorhandene Gebirgsfeste „anlehnen“. Deshalb ist die Spannweite der nördlichen Schalung bei der vorgeschlagenen Standortwahl mit etwa 10 m zwar sehr groß; die Schalung lässt sich mit entsprechendem Gründungsaufwand aber lagesicher herstellen.

4.2 Störreservelager (17YEA31/R001) im Abzweig zur Wetterstrecke (17YEA34/R001)

Der Abzweigungsbereich Störreservelager (17YEA31/R001)/Wetterstrecke (17YEA34/R001) (siehe Abb. 4) steht im Steinsalz. Die größte Breite (Diagonale) beträgt 12,2 m, die durchschnittliche Höhe 3,1 m. In südöstlicher Richtung endet der Abzweigungsbereich nach 13 m und geht in die Wetterstrecke (17YEA34/R001) über. In südwestlicher Richtung mündet der Abzweigungsbereich nach 14 m in das westliche Störreservelager (17YEA31/R001).

Die nachfolgende Abb. 5 zeigt aus dem westlichen Teil des Störreservelagers (17YEA31/R001) heraus den Abzweigungsbereich mit Blick auf die Wetterschleuse. Das westliche Störreservelager (17YEA31/R001) hat Rechteckprofil mit abgerundeten Übergängen zwischen Stößen und Firste; einer durchschnittlichen Streckenhöhe von 2,4 m und einer durchschnittlichen Streckenbreite von etwa 3,5 m. Südlich der Wetterschleuse befindet sich ein Container.

Die Abb. 6 zeigt den Abzwegbereich mit Blick aus der Wetterstrecke (17YEA34/R001) heraus. Die Wetterstrecke (17YEA34/R001) hat ebenfalls Rechteckprofil mit nach außen gewölbten Stößen. Die durchschnittliche Streckenbreite beträgt hier auf halber Streckenhöhe etwa 5,1 m, die durchschnittliche Streckenhöhe 3,0 m.



Abb. 6: Abzwegbereich von der Wetterstrecke (17YEA34/R001) aus betrachtet

In beiden Abbildungen sind gut die Schneidspuren der maschinellen Nachrissarbeiten an den Stößen und in der Firste zu erkennen. Die Schneidspuren haben Tiefen von 5 bis 10 cm.

Die Wetterschleuse besteht aus zwei Streckenabmauerungen (Ytong) mit jeweils einer Tür (etwa 0,9 m breit und 2,0 m hoch). Die Streckenabmauerungen haben einen Abstand von etwa 3,7 m. Die Mauerwerksstärke beträgt jeweils etwa 24 cm. Innerhalb der Wetterschleuse ist die Strecke 2,45 m hoch und etwa 3,7 m breit. Im weiteren Verlauf des östlichen Störreservelagers (17YEA31/R001) beträgt die Höhe auf etwa 4,5 m Streckenlänge 2,6 m und vergrößert sich danach in der Firste stufenartig auf 3,5 m. Die Streckenbreite ist mit 4,3 m hinter der Wetterschleuse konstant.

Die Gründung der temporären Abdichtung wird im gesamten Abzwegbereich Störreservelager (17YEA31/R001) / Wetterstrecke (17YEA34/R001) erfolgen.

4.3 Südstrecke (17YER31/R001) nördlich der Werkstatt

Gemäß der Streckenaufnahme zur Bestimmung des Gründungsbereiches entsprechend der Abb. 7 sind es vom Streckenzugang bis zum Werkstattein-gang im Osten 35 m.

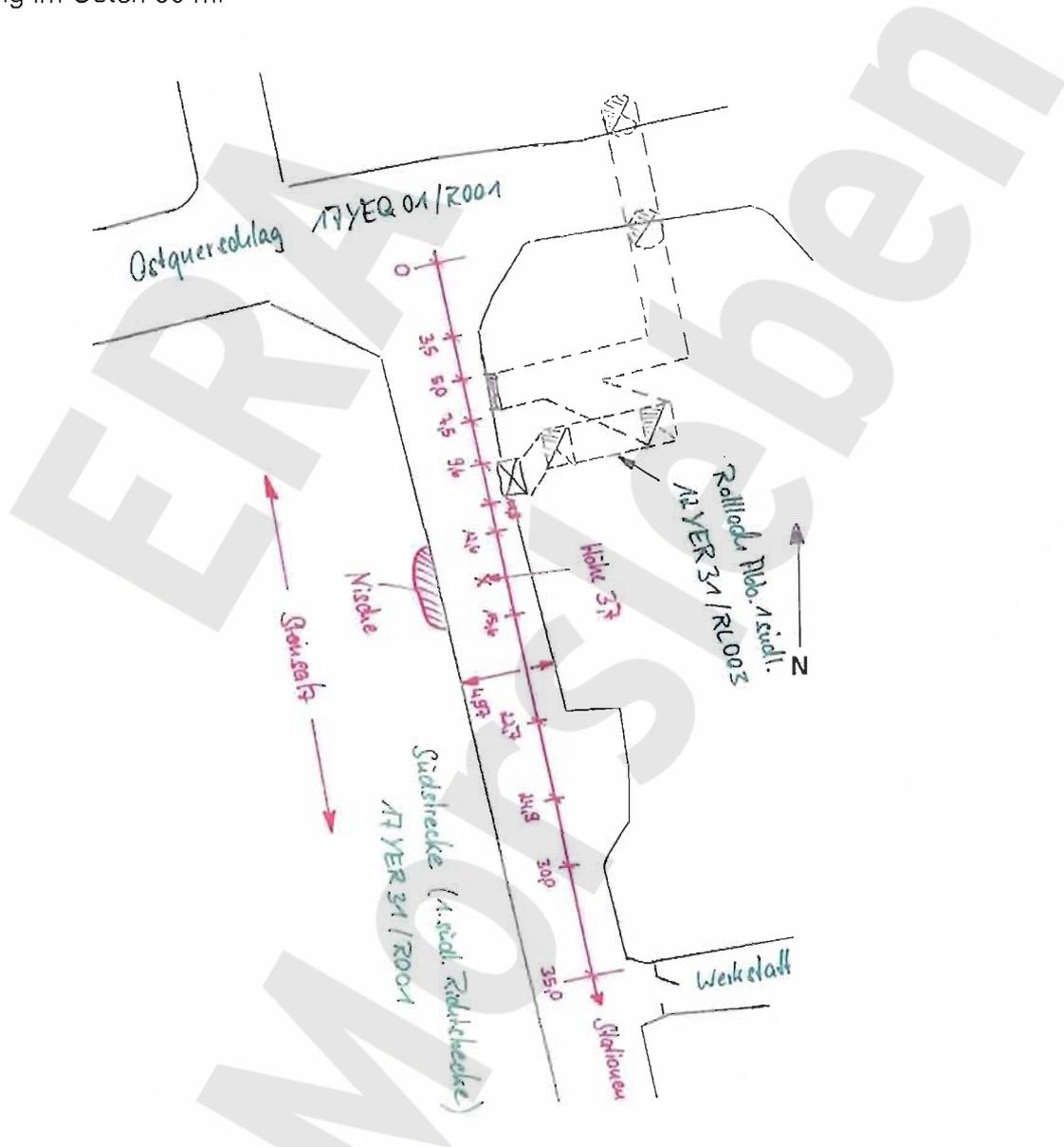


Abb. 7: Aufnahme des Streckenprofils im Gründungsbereich der Südstrecke (17YER31/R001)

Die Stöße sind im Streckenzugang abgerundet; das eigentliche Streckenprofil fängt erst nach etwa 3,5 m an.

Von den Stationen 22,7 m bis 24,9 m befindet sich im östlichen Stoß eine Nische. Diese ist über die vorgenannte Länge etwa 2 m tief und etwa 3 m hoch und verläuft nach Süden spitzwinklig auf das normale Streckenprofil zu. Bei Station 30 m geht die Nische in den herkömmlichen Rechteckquerschnitt über.

Ebenfalls im östlichen Stoß befindet sich von Station 9,6 m bis 11,8 m eine Abmauerung (Abb. 8), wobei zwischen den Stationen 10,2 m und 11,1 m eine Tür vorhanden war. Die maximale Höhe des abgemauerten Bereiches beträgt etwa 3 m, die Firsthöhe der Tür etwa 2 m.



Abb. 8: Abmauerung von Station 9,6 m bis Station 11,8 m

Eine weitere Abmauerung befindet sich entsprechend der Abb. 9 im östlichen Stoß zwischen den Stationen 5,0 m und 7,5 m. Diese ist ebenfalls etwa 3 m hoch. Im Oberstoß befinden sich diverse Kabel.

Ausweislich der vorliegenden Unterlagen handelt es sich bei beiden Abmauerungen um ehemalige Zugänge zum Rolloch Abbau 1 südlich (12YER31/RL003).



Abb. 9: Abmauerung von Station 5,0 m bis Station 7,5 m

Zwischen Nische und Eingang zur Werkstatt befindet sich eine rechteckige Blechluttentour mit Lüfter und Schalldämpfer. Vom Streckeneingang führt eine Spiralluttentour mit 30 cm Durchmesser etwa 11 m in die Strecke.



Abb. 10: Südstrecke (17YER31/R001) in Blickrichtung Ostquerschlag (17YEQ01/R001)

Im westlichen Oberstoß ist eine Vertiefung zur Aufnahme einer Kabeltraverse mit diversen Kabeln (Abb. 10) vorhanden. Außerdem befindet sich im westlichen Stoß von etwa 12,6 m bis etwa 15,6 m eine weitere Nische. Diese Nische ist etwa 70 cm tief und von der Sohle aus gemessen etwa 1,2 bis 1,3 m hoch.

Aufgrund der bergbaulichen Gegebenheiten wird der Standort für die temporäre Abdichtung in der Südstrecke (17YER31/R001) gemäß Anlage 4 südlich der beiden Zugänge zum Rolloch Abbau 1 südlich (12YER31/RL003) und nördlich des Werkstatteingangs gewählt.

4.4 Ostquerschlag (17YEQ01/R001) westlich des Kalilagers B

Entsprechend der Abb. 11 ist der für eine temporäre Abdichtung geeignete Streckenabschnitt etwa 19 m lang und wird im Westen durch den nach Süden abgehenden Traforaum (siehe auch Abb. 13) bei Station 46,5 m und im Osten durch den anstehenden Anhydrit bei Station 27,5 m begrenzt.

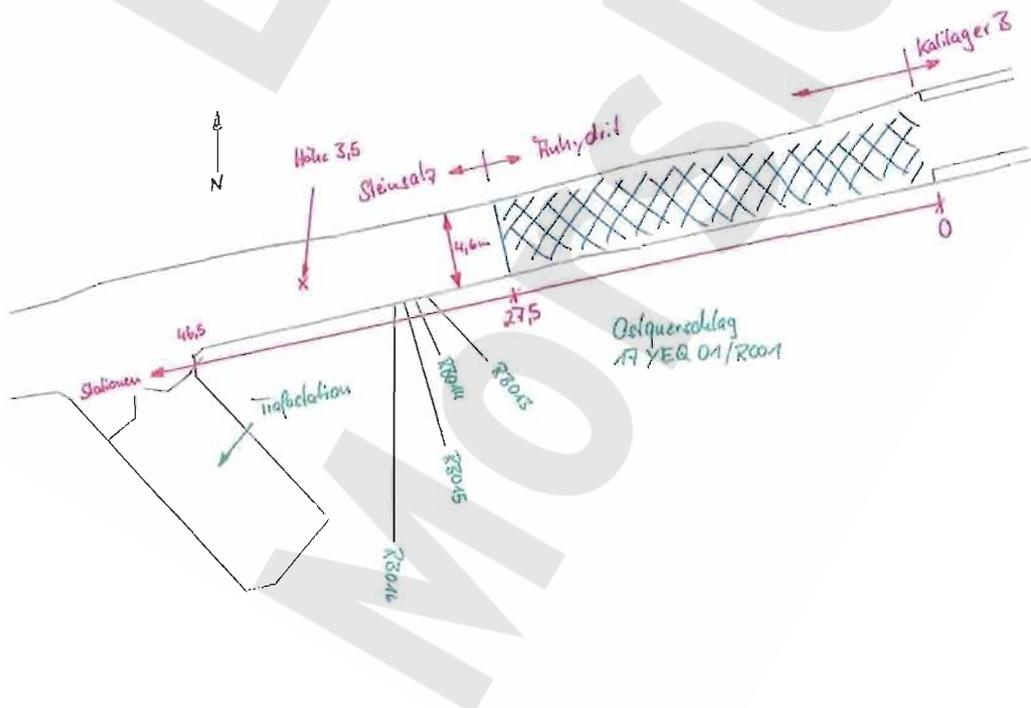


Abb. 11: Aufnahme des Streckenprofils im Gründungsbereich des Ostquerschlages (17YEQ01/R001)

Der Streckenabschnitt im Anhydrit wurde - wie in Abb. 12 zu sehen - durch eine Firsicherung bestehend aus Netzen (in der Abb. 11 blau gekennzeichnet)

net) gesichert. Östlich des Anhydrits schließt sich das Kalilager B an, wobei dieser Streckenabschnitt mit Stahlausbau gesichert wurde.



Abb. 12: Firsicherung im Ostquerschlag (17YEQ01/R001)

Der Streckenabschnitt hat ein Rechteckprofil, ist etwa 4,6 m breit und etwa 3,5 m hoch. Der Ostquerschlag (17YEQ01/R001) ist gepflastert (Abb. 13).



Abb. 13: Gründungsbereich im Ostquerschlag (17YEQ01/R001) mit Abzweig zur Trafostation



Abb. 14: Kabeltrasse mit den darunter befindlichen Untersuchungsbohrungen

Im südlichen Oberstoß befindet sich eine im Salz eingelassene Kabeltrasse. Diese ist etwa 30 cm tief, hat eine Höhe von etwa 1,3 m und beginnt direkt unterhalb der Firste. Unterhalb dieser Kabeltrasse befinden sich zwischen den Stationen 31,6 m und 33,9 m die Untersuchungsbohrungen RB013, RB014, RB015 und RB016 (Abb. 14). Im südlichen Oberstoß verläuft durch den Gründungsbereich eine Spirallufttour.

Die erforderliche Länge der temporären Abdichtung im Ostquerschlag (17YEQ01/R001) ergibt sich aus den vorbeschriebenen bergbaulichen und geotechnischen Gegebenheiten. Der Standort wird entsprechend Anlage 6 zwischen dem Eingang zum Traforaum und dem Beginn des Anhydrits 19 m weiter westlich gewählt.

5 Konstruktiver Entwurf / Nachweisführung

Unter Berücksichtigung der vorhandenen bergbaulichen und geotechnischen Gegebenheiten in den vorgesehenen Gründungsbereichen und der maximalen Stauhöhe von 80 m ergeben sich in Abhängigkeit von der jeweiligen Lokation unterschiedliche Formen des Lastabtrags.

5.1 Grundlagen der Nachweisführung

5.1.1 Situation vor Ort, Geometrie und Belastung

Für die Standsicherheit und insbesondere für die Gebrauchstauglichkeit einer temporären Abdichtung ist neben der Geometrie des Abdichtungsbauwerkes auch ein unverritztes, standfestes Gebirge im unmittelbaren Gründungsbereich wie auch in den für den Lastabtrag einbezogenen Gebirgspartien entscheidend. Größere Querschnittserweiterungen an der Luftseite der temporären Abdichtung bewirken schädliche Spannungskonzentrationen (so genannte Kerbspannungen) im Gebirge und damit die Herabsetzung der Dichteigenschaften. Solche Querschnittserweiterungen sind im näheren Gründungsbereich der temporären Abdichtungen im Ostquerschlag (17YEQ01/R001) westlich des Kalilagers B sowie im Störreservelager (17YEA31/R001) im Abzweig zur Wetterstrecke (17YEA34/R001) vorhanden und müssen im Zuge der Erstellung des Abdichtungsbauwerkes mit Baustoff hohlraumfrei verfüllt bzw. in die temporäre Abdichtung integriert werden.

Demzufolge ist mit der Errichtung der temporären Abdichtung im Ostquerschlag (17YEQ01/R001) auch die Trafokammer mit Baustoff zu verfüllen (Anlage 6), um aus dem anstehenden Fluiddruck resultierende kritische Kerbspannungen in der Feste zwischen Ostquerschlag (17YEQ01/R001) und Traforaum zu vermeiden. Zur Sicherstellung der Gebrauchstauglichkeit ist die Kontaktfuge des ausbetonierten Traforaumes mit einem niedrigviskosen, molekulardispersen Injektionsmittel zu verpressen, damit gegebenenfalls bereits vorhandene Mikrorisse in dieser Feste sicher abgedichtet werden. Auch für das Bauwerk im Störreservelager (17YEA31/R001) ist zur Minimierung schädlicher Spannungskonzentrationen die Abdichtung bis an das östliche Ende der Wetterschleuse auszudehnen (Anlage 3).

Neben einem vollflächigen, tragfesten Gebirge im Gründungsmantel sind für die Standsicherheit und Gebrauchstauglichkeit auch die Spannungszustände in der temporären Abdichtung relevant. Günstige Spannungszustände ergeben sich, wenn die Ableitung der Kräfte in das anstehende Gebirge größtenteils durch Normalspannungen erfolgen kann.

So wirkt bei anstehendem Fluiddruck die Abdichtung in der Nordstrecke (17YER21/R001) wie ein Keil. Auch die Abdichtung im Störreservelager (17YEA31/R001) im Abzweig zur Wetterstrecke (17YEA34/R001) trägt alle denkbaren Beanspruchungen aus einem anstehenden Fluiddruck weitestgehend über Normalspannungen ab.

Ungünstigere Situationen ergeben sich bei so genannten Reibungsdämmen. So erfolgt bei den Bauwerken in der 1. südlichen Richtstrecke (17YER31/R001) und im Ostquerschlag (17YEQ01/R001) westlich des Kalilagers B der Lastabtrag in das Gebirge hauptsächlich über Schub. Beide temporären Abdichtungen besitzen hinsichtlich des Lastabtrags die ungünstigste Geometrie und wirken daher wie Reibungsdämme, weshalb bei ihnen mit den stärksten Beanspruchungen zu rechnen ist. Beide Abdichtungen besitzen nahezu den gleichen Querschnitt, weshalb der Nachweis wegen der Übertragbarkeit nur für die Abdichtung im Ostquerschlag (17YEQ01/R001) geführt wird.

Um offene Strecken im Steinsalz bildet sich im Laufe der Zeit eine durchlässige Auflockerungszone, die vor dem Bau einer Abdichtung geraubt werden muss. Nach Entfernen der Auflockerungszone beträgt der Querschnitt des Referenzbauwerks $B \cdot H = 5,6 \cdot 5,0 \text{ m}^2$, seine Länge $L = 19,0 \text{ m}$. Zur Vermeidung von theoretisch bedingten Singularitäten wird in der Berechnung eine Ausrundung der Ecken von $r = 0,20$ verwendet.

Der anstehende Fluiddruck kann bei einer Überstauhöhe von 80 m maximal 9,4 bar erreichen:

$$p_L = 1200 \text{ kg/m}^3 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \cdot 80 \text{ m} = 0,94 \text{ MPa}$$

Tatsächlich werden jedoch die anstehenden Drücke für die o.g. Lokationen nur halb so hoch sein, da die Lösung maximal bis zur 3. Sohle (-332 m NN) an-

steigen kann. Da keine höheren Fluiddrücke auftreten können, wird auf einen zusätzlichen lastseitigen Sicherheitsbeiwert verzichtet.

Der Gebirgsdruck auf der 4. Sohle (-372 m NN) im ERAM beträgt:

$$p_G = 2200 \text{ kg/m}^3 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \cdot (371,8 + 133,8) \text{ m} \cong 11 \text{ MPa} .$$

5.1.2 Gebirgseigenschaften

Das Referenzbauwerk befindet sich wie alle anderen Lokationen im Steinsalz. Während des Nachweiszeitraums von 12 Jahren sind Spannungsumlagerungen infolge Aufkriechens des Salzgebirges zu erwarten. Um diesen Einfluss zu maximieren, wird ein schnell kriechendes Steinsalz entsprechend der höchsten Kriechklasse nach BGR unterstellt.

Das konstitutive Verhalten des Steinsalzes beschreibt ein elastisch-viskoplastisches Stoffgesetz, wobei für den inelastischen Anteil das NORTON Gesetz für sekundäres Kriechen angesetzt wird. Die einachsige Formulierung lautet:

$$\dot{\varepsilon} = \frac{\dot{\sigma}}{E} + A^* \cdot A_0 \cdot \exp\left(-\frac{Q}{RT}\right) \cdot \left(\frac{\sigma}{\sigma_0}\right)^n = \frac{\dot{\sigma}}{E} + A \cdot \left(\frac{\sigma}{\sigma_0}\right)^n$$

Die Verallgemeinerung auf den dreidimensionalen Fall erfolgt in der üblichen Weise.

Auf Basis von gesteinsphysikalischen Untersuchungen an gleichartigen Salzgesteinen sowie der allgemeingültigen Erfahrung für das im Gründungsbereich anstehende Steinsalz werden nach [3], [4], [5] und [6] folgende gebirgsmechanische Kennwerte für die statisch konstruktive Bemessung angegeben:

Elastizitätsmodul:	$E = 25.000 \text{ MPa}$
Querdehnzahl:	$\nu = 0,27$
Dichte:	$\rho = 2.200 \text{ kg/m}^3$
Reibungsbeiwert:	$\mu \geq 0,4$
Kohäsion:	$c \geq 0,4 \text{ MPa}$
Vorfaktor:	$A^* = 1$

Referenzwert:	$A = 0,18 /d$
Aktivierungsenergie:	$Q = 54 \text{ kJ/mol}$
Normierungsspannung:	$\sigma_0 = 1 \text{ MPa}$
Spannungsexponent:	$n = 5$

Die universelle Gaskonstante ist $R = 8,3143 \cdot 10^{-3} \text{ kJ/mol/K}$ und die Temperatur wird zu $T \approx 300\text{K}$ ($T = \vartheta + T_0 = 27^\circ\text{C} + 273,15\text{K}$) angenommen. Aus den gewählten Daten ergibt sich der konstante Vorfaktor A , der in den FE-Untersuchungen mit $A = 7,13 \cdot 10^{-11} /d$ einfließt.

Die Werte für den Reibungsbeiwert und die Kohäsion wurden sehr konservativ gewählt. Spannungsumlagerungen infolge des Aufkriechens des Salzgebirges können für einen Zeitraum von 12 Jahren vorausgesetzt werden. Begünstigt wird das Kriechen auch durch die mit dem Betonieren der temporären Abdichtungen eingebrachte Hydratationswärme, die kurzfristig zu einer Erwärmung des Gebirges führt. Um diesen Einfluss ausreichend zu honorieren, wird ein schnell kriechendes Steinsalz entsprechend der höchsten Kriechklasse nach BGR vorausgesetzt.

5.1.3 Baustoffeigenschaften

Die Abdichtungen werden aus einem hydraulisch abbindenden Baustoff hergestellt, der einem Beton der Festigkeitsklasse C20/25 gemäß DIN 1045-1:2001-07 [7] entspricht.

Die Materialdaten gemäß [8] und [9] lauten:

Elastizitätsmodul:	$E = 29.000 \text{ MPa}$
Querdehnzahl:	$\nu = 0,20$
Dichte:	$\rho = 2.400 \text{ kg/m}^3$ (unbewehrt)
Zugfestigkeit:	$f_{ctk;0,05} = 1,5 \text{ MPa}$ (unterer Norm-Quantilwert)
Druckfestigkeit:	$f_{ck,cyl} = 20 \text{ MPa}$

Bei der Bemessung muss die Druckfestigkeit gemäß [7] und [10] mit dem Teilsicherheitsbeiwert $\gamma_c = 1,5$ und dem Faktor $\alpha = 0,85$ für die Dauerstandfestigkeit abgemindert werden. Als Bemessungswert erhält man damit $\alpha \cdot f_{ck,cyl} / \gamma_c = \alpha \cdot f_{cd} = 11,3 \text{ MPa}$.

Die Verbringung des Baustoffs nach unter Tage erfolgt mittels hydraulischer Fernförderung. In Abhängigkeit der Förderlänge muss zur Vermeidung von Sedimentationen [11] in der Rohrleitung die Sieblinie im Vergleich zu Normbetonen in den Bereich geringerer Körnungen verschoben werden. In der Standsicherheitsberechnung wird deshalb eine reduzierte Steifigkeit von $E = 20.000 \text{ MPa}$ verwendet.

5.1.4 Verpressmaßnahmen

Das Bauwerk wird mittels Injektionen im Gebirge eingespannt. Der zu erreichende Injektionsdruck in der Fuge zwischen Bauwerk und Gebirge orientiert sich am theoretisch anstehenden Fluidruck und beträgt etwa 1 MPa beziehungsweise 10 bar . Er wirkt über den weitaus größten Teil der Bauwerkslänge und fällt an den Stirnflächen auf den Wert Null ab.

5.2 Standsicherheitsnachweis

Der Standsicherheitsnachweis wird unter Annahme der in den vorhergehenden Kapiteln beschriebenen Basisdaten mit Hilfe der Finite-Elemente-Methode (FEM) [12] geführt. Bei allen Berechnungen kommt das kommerzielle Programm ANSYS 9.0 zum Einsatz. Dieser Code ist validiert, verifiziert und genügt wissenschaftlichen Ansprüchen.

5.2.1 Finite-Elemente Modellierung

Die zu bearbeitende Aufgabe beinhaltet bezüglich der Geometrie eine zweifache Symmetrie, aber nur einfach symmetrische Lasten (Eigengewicht des Gebirges und des temporären Abdichtungsbauwerkes). Die dreidimensionale Modellierung nutzt nur die Symmetrie zur senkrechten Mittelebene der Strecke aus. Die Diskretisierung erfolgt mit isoparametrischen 8-Knotenelementen (linearer Verschiebungsansatz in alle drei Raumrichtungen).

5.2.1.1. Geometrie

Die Geometrie des FE-Modells spiegelt den konstruktiven Entwurf des Bauwerks wider. Der gesamte Berechnungsausschnitt besitzt eine Breite von insgesamt 26 m , eine Tiefe von 49 m und eine Höhe von 47 m . Die gewählten

Abmessungen schließen eine Beeinflussung der maßgeblichen Resultate durch Randeffekte aus. Die Finite-Elemente-Diskretisierung mit den genannten Abmaßen zeigt Abb. 15.

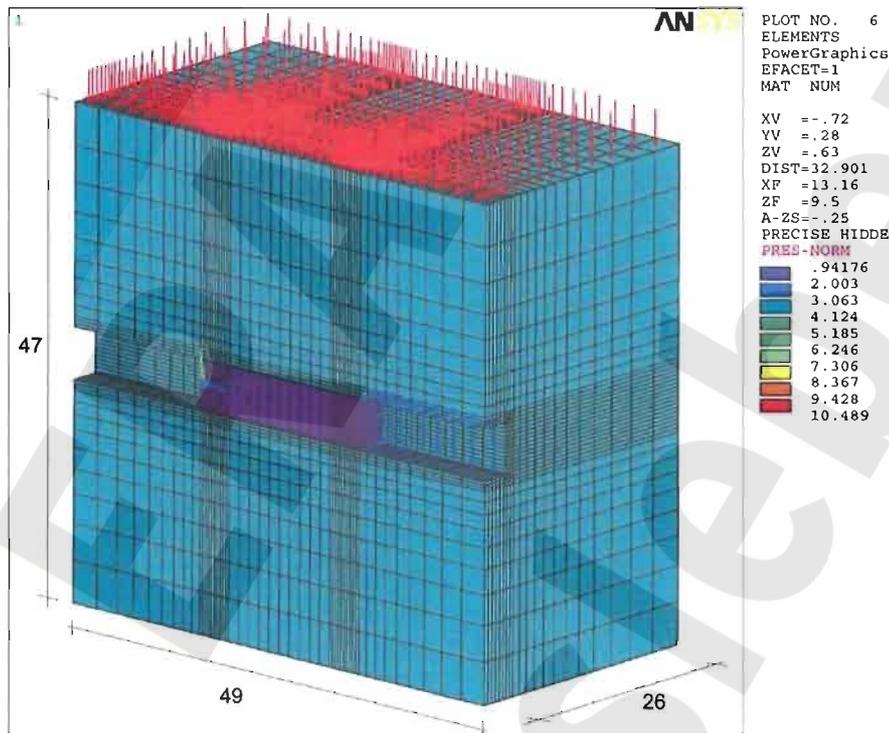


Abb. 15: FE-Modell mit Auflast aus dem Deckgebirge und anstehendem Fluiddruck

5.2.1.2. Konstitutive Beschreibung (Materialgesetz)

Die Materialeigenschaften des Gebirges und des hydraulisch förderbaren Betons sind in den Abschnitten 5.1.2 und 5.1.3 zusammenfassend dargestellt worden. Im Berechnungsmodell setzt sich die gesamte Verformungsrate des Gebirges analog zu den obigen Ausführungen aus einem linear elastischen und einem viskoplastischen Anteil zusammen. Die elastische Deformation wird mit dem HOOKE'schen Gesetz und die viskoplastische Verformung mit dem NORTON-Ansatz beschrieben.

Hinsichtlich des Bauwerks reicht eine rein elastische Modellierung aus. Im Nachgang der Berechnung wird überprüft, ob die oben hergeleiteten Grenzwerte für die Zugfestigkeit $f_{ctk,0,05}$ und den Rechenwert der Druckfestigkeit

$\alpha \cdot f_{cd}$ eingehalten werden. Die Vorgehensweise dient dem Detektieren geschädigter Bereiche in der temporären Abdichtung. Es ist zu zeigen, dass solche Bereiche im Bauwerk gar nicht oder nur an unwesentlichen Stellen auftreten.

5.2.1.3. Interaktion von Bauwerk und Gebirge

Die Standsicherheit und Gebrauchstauglichkeit des Bauwerks hängt unter anderem von den Kräften und Verschiebungen ab, die sich an der Fuge zwischen Bauwerk und Gebirge einstellen. Das COULOMB'sche Reibungsgesetz verknüpft die zulässige Schubbeanspruchung der Fuge mit der dort wirkenden Drucknormalspannung [4]:

$$\tau_{zul} = c + \mu \cdot \sigma_n$$

In der Gleichung beschreibt c die Kohäsion und μ den Reibungsbeiwert. Bei der vorliegenden Aufgabenstellung ist eine axiale Relativverschiebung von Gebirge und Bauwerk an der Kontaktfuge aufgrund der geringen wirkenden Lasten nicht zu erwarten. Deshalb darf im Modell ein fester Verbund zwischen Gebirge und Bauwerk angenommen werden.

Nach der Berechnung werden die in der Fuge wirkenden Schubspannungen jedoch ausgewertet. Der Reibungsbeiwert hängt insbesondere von der Rauigkeit des geraubten Streckensaums ab und kann erfahrungsgemäß zu mindestens $\mu = 0,4$ gewählt werden. Die Kohäsion wird mit mindestens $c = 0,4 \text{ MPa}$ angesetzt. Der zulässige Schub wird zu $\tau_{zul} = 0,4 \text{ MPa}$ gewählt, was somit bereits durch die angesetzte Kohäsion gewährleistet ist. Der gesamte zulässige Schub infolge Überdrückung der Fuge steht als Sicherheitsreserve zur Verfügung, weshalb auf den Ansatz eines Sicherheitsfaktors im Weiteren verzichtet wird.

5.2.1.4. Randbedingungen und Lastannahmen

Das Berechnungsmodell ist am unteren Rand vertikal und an den seitlichen Rändern horizontal unverschieblich gelagert. Der wirkende Fluidruck belastet nicht nur die lösungsseitige Stirnfläche der temporären Abdichtung, sondern auch die Sohle, die Firste und die Stöße des lösungsseitigen Streckenab-

schnitts. Der hergeleitete Fluiddruck $p_L = 0,94 \text{ MPa}$ kann in Abb. 15 auf Seite 26 abgelesen werden.

Weitere Beanspruchungen des Bauwerks resultieren aus der Verpressmaßnahme und der Gebirgskonvergenz, die eine stetig wachsende Beanspruchung bewirkt.

Da das Berechnungsmodell nur einen Ausschnitt des Gebirges abbildet, wird dessen Eigengewicht oberhalb des Modells durch eine Flächenlast p_{DG} am oberen Modellrand simuliert (Abb. 15). Sie ergibt sich mit den vorgegebenen Daten zu

$$p_{DG} = \rho \cdot g \cdot h_{DG} = 2.200 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 486 \text{ m} \cong 10,5 \text{ MPa} .$$

Der Primärspannungszustand im Bereich des Berechnungsausschnitts ist isotrop. Auf der 4. Sohle (-372 m NN) gilt beispielsweise $\sigma_x = \sigma_y = \sigma_z = 11,0 \text{ MPa}$.

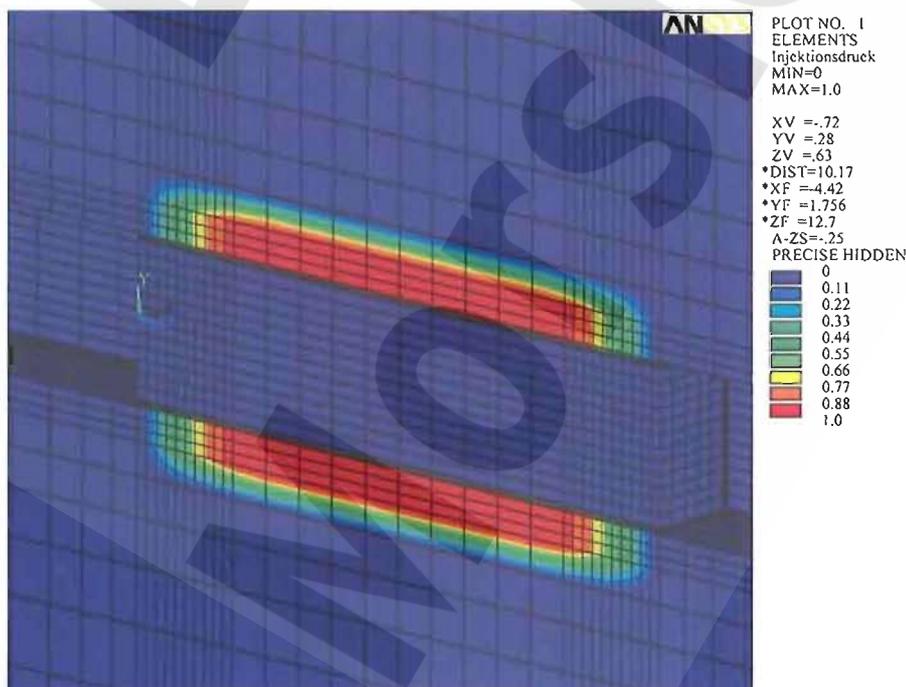


Abb. 16: Im FE-Modell simulierter Injektionsdruck bzw. simulierter Vorspannung

Der in alle Richtungen gleichmäßig wirkende Verpressdruck wird entsprechend Abb. 16 auf das Bauwerk aufgebracht. Die sich einstellende Vorspannung liegt naturgemäß unterhalb des angesetzten Injektionsdrucks, im Modell ergeben sich etwa 4 bar bis 7 bar.

5.2.1.5. Bauzustände

Die Belastungsgeschichte des Bauwerks lässt sich mit Hilfe von Bauzuständen modellieren. Auf die Modellierung einer Jahrzehnte dauernden Standzeit des Querschlags wird verzichtet. Die Betrachtung geht davon aus, dass das Nachschneiden der Strecke zum Entfernen der Auflockerungszone unmittelbar vor Bauwerkerrichtung im Gebirge zu einem Spannungszustand vergleichbar wie bei einer Neuauffahrung führt. Die Untersuchung konzentriert sich somit auf die wesentlichen baulichen Veränderungen und Beanspruchungen, d. h. die Injektion der Kontaktfuge, das Anstehen der Salzlösung und das Aufkriechen des Salzgebirges. Die definierten Bauzustände decken insofern die Nutzungsphasen des Bauwerks ab:

1. Bauzustand (primärer Gebirgszustand): Der Primärzustand kann aufgrund der Kriecheigenschaften des Salzgebirges als isotrop angenommen werden. Das Hereingewinnen des Auflockerungsbereiches wird im ersten Berechnungsschritt berücksichtigt.
2. Bauzustand (spannungsfreier Einbau): Die temporäre Abdichtung wird spannungsfrei eingebaut. Sie erfährt in diesem Bauzustand nur eine Belastung aus ihrem Eigengewicht.
3. Bauzustand (anstehender Injektionsdruck): Der dritte Bauzustand beschreibt den Zeitpunkt kurz nach der Injektionsmaßnahme. Die temporäre Abdichtung ist nun kraftschlüssig mit dem Gebirge verbunden.
4. Bauzustand (anstehender Fluiddruck): Infolge der Verfüllmaßnahmen stellt sich im lösungsseitigen Streckenabschnitt der vorgegebene Fluiddruck ein. Er wirkt auf die Stirnseite der temporären Abdichtung wie auch auf die Kontur der Strecke.

5. Bauzustand (Aufkriechen des Gebirges): Wegen seiner viskosen Eigenschaften kriecht das Gebirge auf und die Belastung des Bauwerks steigt mit der Zeit an.

Alle Bauzustände treten im Modell unmittelbar hintereinander auf. Im letzten Bauzustand erfolgt die Simulation von 12 Jahren Standzeit (Nutzungsdauer).

5.2.2 Ergebnisse und Interpretation

Das Kapitel stellt das Nachweiskonzept dar, diskutiert die Ergebnisse und bewertet die Standsicherheit der temporären Abdichtung.

5.2.2.1. Nachweiskonzept

Die vorangegangenen Abschnitte haben die Basisdaten, die FE-Modellierung und die zu untersuchenden Bauzustände erläutert. Die in den folgenden Berechnungen zu ermittelnden Ergebnisse sind mit zulässigen Größen [13] zu vergleichen. Die zulässigen Größen sind dabei mit Teilsicherheitsbeiwerten behaftet. Zur Beurteilung der Standsicherheit des Bauwerks werden drei geeignete Spannungskriterien herangezogen, die nachfolgend diskutiert sind.

Die einachsige Vergleichsspannung σ_v ist ein Maß für die Beanspruchung des Baustoffs. Erreicht sie den Bemessungswert $\alpha \cdot f_{cd} = 11,3 \text{ MPa}$ der einachsigen Druckfestigkeit des Baustoffs nicht, dann ist Druck- beziehungsweise Schubversagen mit ausreichender Wahrscheinlichkeit ausgeschlossen. Die größte Hauptnormalspannung σ_1 stellt ein Maß für die Zugbeanspruchung des Baustoffs dar, falls sie positive Werte annimmt. Liegt sie unterhalb des Bemessungswertes für die Zugfestigkeit $f_{ctk;0,05} = 1,5 \text{ MPa}$, dann ist Zugversagen mit ausreichender Wahrscheinlichkeit ausgeschlossen. Die Spannungen σ_v und σ_1 werden im dritten bis fünften Bauzustand ausgewertet.

Bei der Bewertung eines untertägigen Abdichtungsbauwerkes, welches überwiegend Druck erfährt, müssen auftretende Zugrisse an sich noch nicht zum Verlust der Gebrauchstauglichkeit führen. Sie sind mit dem Bemessungsziel verträglich, wenn sie sich senkrecht zur potentiellen Durchströmung ausbilden,

da sie den hydraulischen Widerstand der Konstruktion dann praktisch nicht beeinflussen. Dieser Sachverhalt ist bei der hier gestellten Aufgabe zu berücksichtigen.

Die Schubbeanspruchung in der Fuge darf den in Abschnitt 5.2.1.3 festgelegten zulässigen Wert von $\tau_{zul} = 0,4 \text{ MPa}$ nicht überschreiten.

Üblicherweise stellt man an mit hohen Fluiddrücken belasteten Bauwerken noch Anforderungen an die Relativverschiebungen an der Fuge. Diese Kriterien entfallen hier, weil ein fester Verbund modelliert werden darf.

Die drei zur Bewertung herangezogenen Kriterien sind nachfolgend zusammengefasst:

Druckfestigkeit:	$\sigma_v \leq 11,3 \text{ MPa}$
Zugfestigkeit:	$\sigma_1 \leq 1,5 \text{ MPa}$
Schub in der Fuge:	$\tau_{Fuge} \leq 0,4 \text{ MPa}$

5.2.2.2. Auswertung der Beanspruchungen des Bauwerks

Auf die detaillierte Darstellung der Ergebnisse des 1. und 2. Bauzustandes wird verzichtet, da in ihnen keine kritischen Bauwerksbeanspruchungen vorhanden sind.

3. Bauzustand

Die im 3. Bauzustand simulierten Verpressmaßnahmen führen zu einer ersten zu betrachtenden Beanspruchung des Bauwerks. Die in der temporären Abdichtung auftretenden Druck- und Zugspannungen sowie die in der Fuge wirkenden Schubspannungen liegen weit unterhalb der in Abschnitt 5.2.2.1 definierten kritischen Werte.

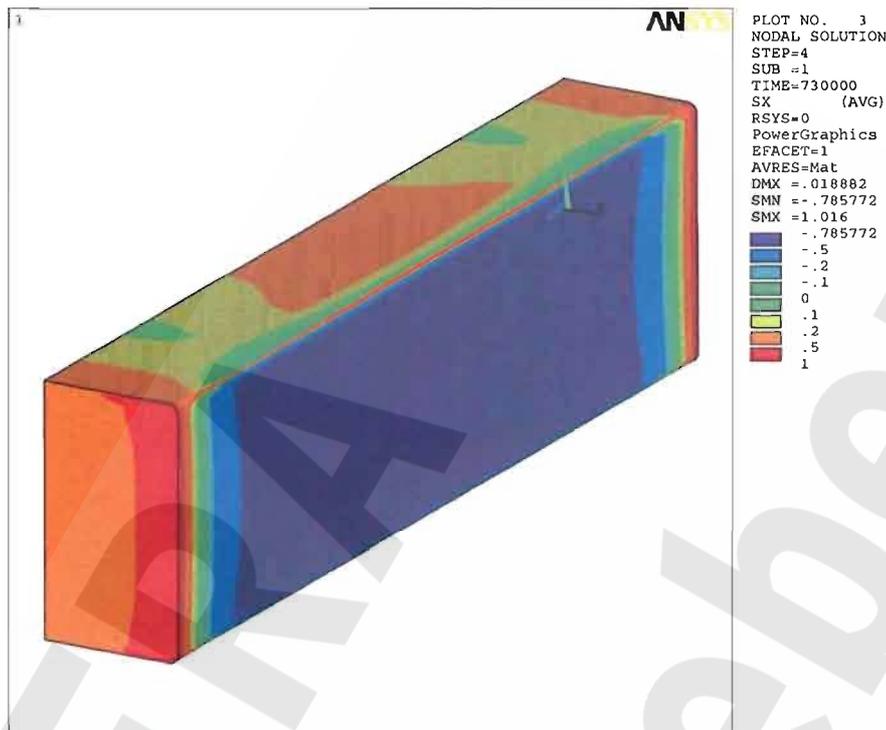


Abb. 17: Vorspannung an den Stößen infolge der Injektionsmaßnahme (3. Bauzustand)

Abb. 17 und Abb. 18 zeigen am Teilmodell „Bauwerk“ die aus der Injektionsmaßnahme resultierenden Drücke an den Stößen und an der Firste beziehungsweise (aus Gleichgewichtsgründen und vom Eigengewicht abgesehen) der Sohle. Die in der Berechnung simulierten Vorspannungen betragen entsprechend Punkt 5.2.1.4 etwa 4 bar bis 7 bar. Bei geringeren verbleibenden Vorspannungen reduziert sich die Beanspruchung des Bauwerks, so dass solche Fälle auf der sicheren Seite liegend abgedeckt sind. Die Spannungsspitzen an den Stirnflächen und in den Kanten sind größtenteils numerisch bedingt und für die Bemessung unerheblich.

Alle drei definierten Kriterien sind im Bauzustand „Injektionsmaßnahme“ erfüllt.

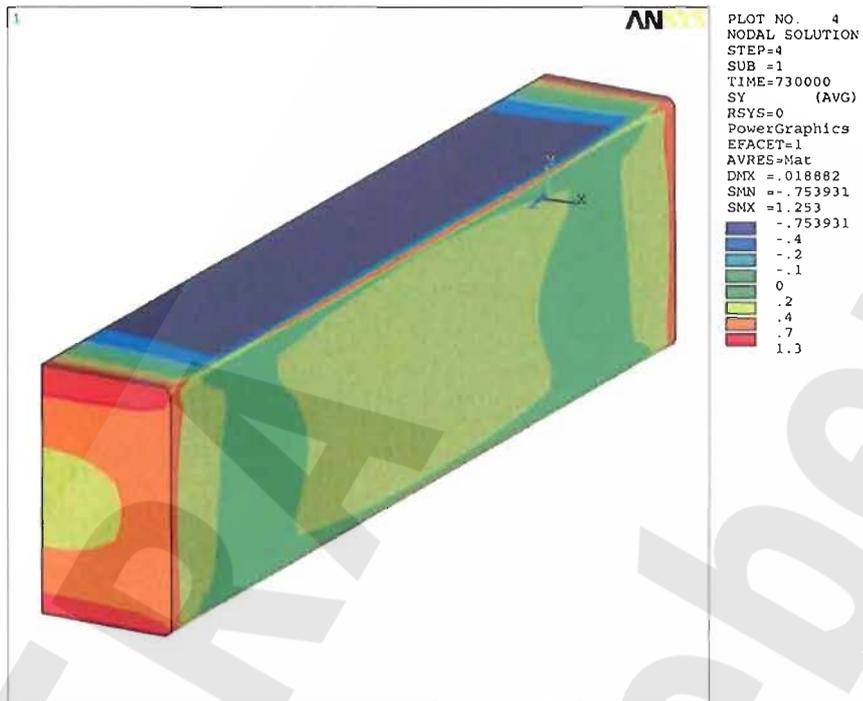


Abb. 18: Vorspannung an der Firste infolge der Injektionsmaßnahme (3. Bauzustand)

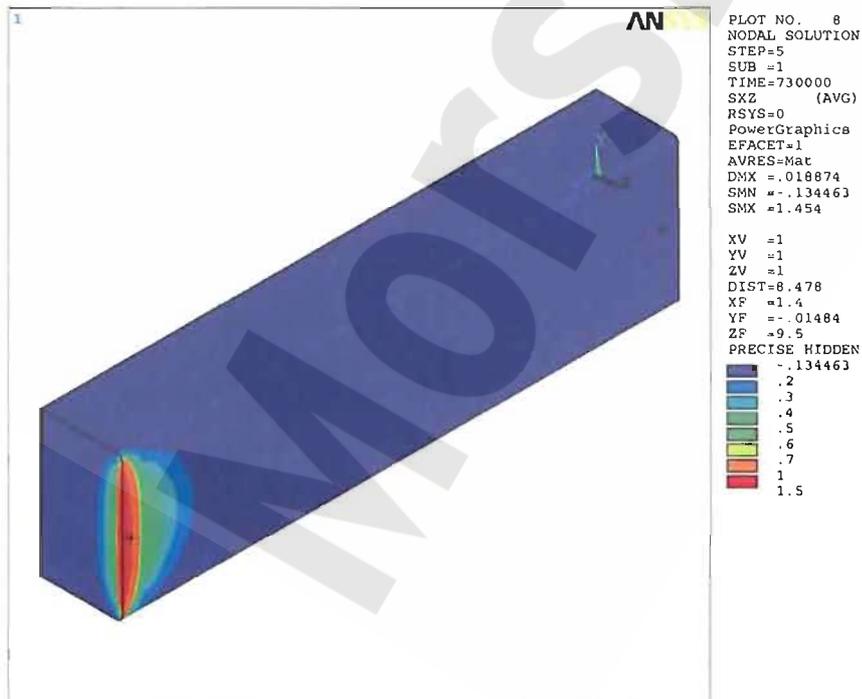


Abb. 19: Schubbeanspruchung der Fuge am Stoß (4. Bauzustand)

4. Bauzustand

Der im 4. Bauzustand wirkende Fluiddruck führt rechnerisch im Bereich des Lastangriffs zu unzulässig hohen Schubspannungen in der Fuge (Abb. 19 und Abb. 20). Solche Überhöhungen sind nur teilweise numerisch begründet, so dass für die Realität in einem kleinen Bereich Relativverschiebungen tangential zur Fuge nicht ausgeschlossen werden können.

Diese führen lokal zum Spannungsabbau, so dass die Standsicherheit und die Gebrauchstauglichkeit der Abdichtung nicht gefährdet sind. Im weitaus größten Bereich des Bauwerks erreicht der Schub in der Fuge maximal die Hälfte des als kritisch festgelegten zulässigen Wertes. Die Bemessungsbedingung $\tau_{Fuge} \leq 0,4 \text{ MPa}$ ist nur in einer wenige Dezimeter ausgedehnten Zone an der Lastangriffsfläche des Fluiddrucks verletzt.

Die maximale, im Bauwerk auftretende Vergleichsspannung beträgt etwa 4,5 MPa. Sie liegt damit deutlich unter dem Bemessungswert von 11,3 MPa (Abb. 21). Das Ergebnis deckt den 3. Bauzustand (ohne Fluiddruck) ab.



Abb. 20: Schubbeanspruchung der Fuge an der Firste (4. Bauzustand)

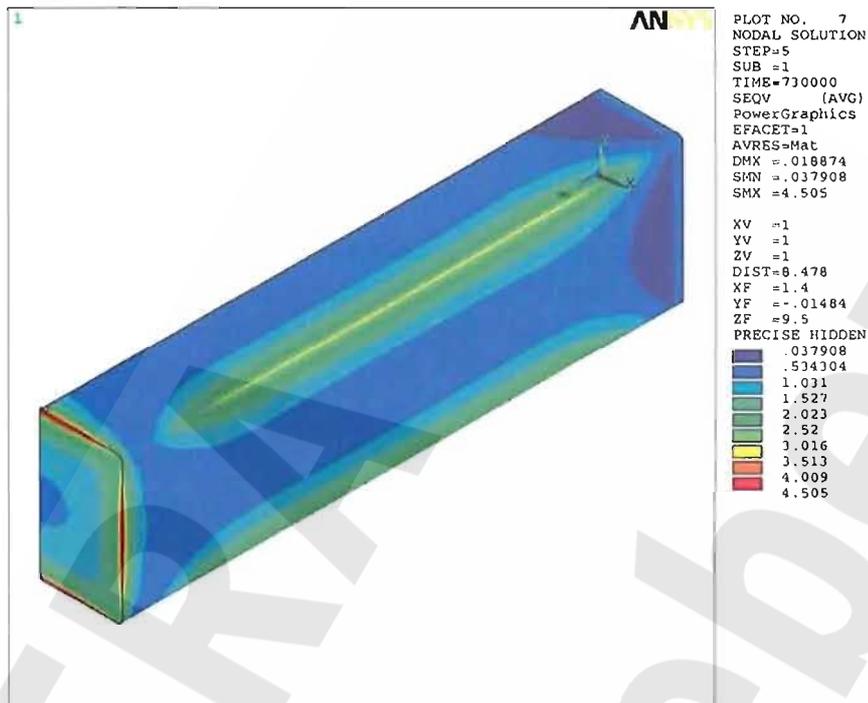


Abb. 21: Einachsige Vergleichsspannung bei anstehendem Fluidruck (4. Bauzustand)

Die maximal auftretenden Zugspannungen erfüllen das Kriterium $\sigma_1 \leq 1,5\text{MPa}$ mit Ausnahme gering ausgedehnter Bereiche an den Stirnflächen und abgerundeten Kanten.

Abb. 22 zeigt zwar auch eine Verletzung des Kriteriums an der Kante des Betonkörpers, dies ist aber auf numerische Gründe zurückzuführen. Hier tritt aufgrund der Theorie eine Singularität auf (vgl. 5. Bauzustand). Die Spannungsspitzen beschränken sich auf die Punkte der Kante, was man durch eine immer feinere Diskretisierung zeigen kann. Sie treten in der Realität so nicht auf. Die Ausdehnung des roten Bereichs, orange bezeichnet bereits die Einhaltung des Kriteriums, ist durch die Interpolation der Knotenlösungen über die Elemente, d. h. im Endeffekt durch die Netzfeinheit festgelegt.

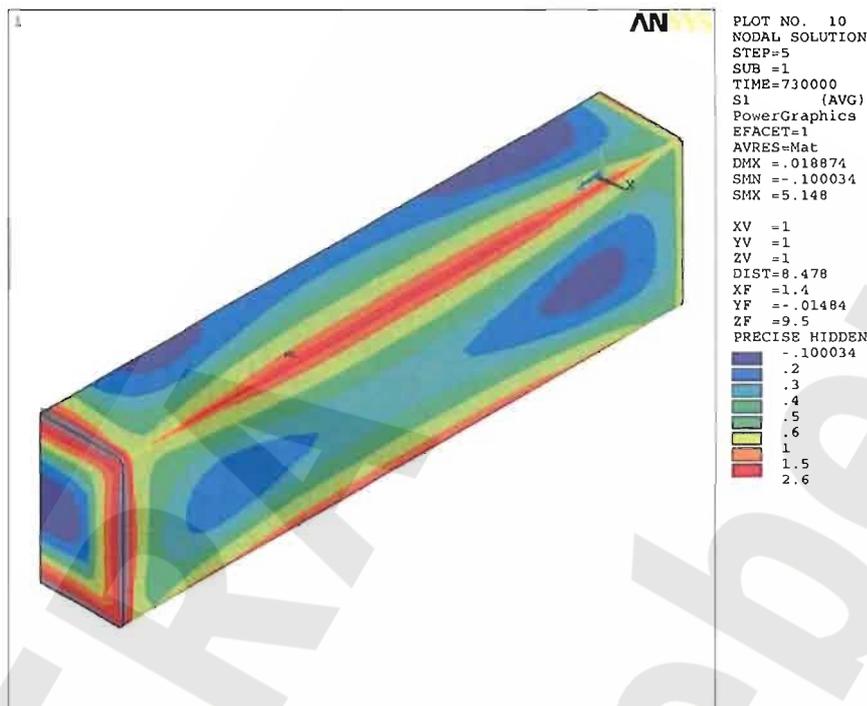


Abb. 22: Größte Hauptnormalspannung bei anstehendem Fluiddruck (4. Bauzustand)

Sieht man von den numerisch bedingten Spannungsspitzen ab, dann werden die oben hergeleiteten Kriterien auch im 4. Bauzustand „anstehender Fluiddruck“ erfüllt.

5. Bauzustand

Nach 12 Jahren hat sich die Beanspruchung der temporären Abdichtung durch das Aufkriechen des Salzgebirges erhöht, was anhand der einachsigen Vergleichsspannung in Abb. 23 deutlich wird.

Bei den hier vorgestellten Resultaten ist zu berücksichtigen, dass auf der sicheren Seite liegend ein relativ schnell kriechendes Salz modelliert wurde. Das Salzgebirge tendiert an den Stirnflächen des Bauwerks zum Kriechen in die freie Strecke. Dieser Vorgang wird an der lösungsseitigen Stirnfläche im Modell gegenüber der Realität überschätzt, da dort die anschließenden Hohlräume mittlerweile verfüllt worden sind.

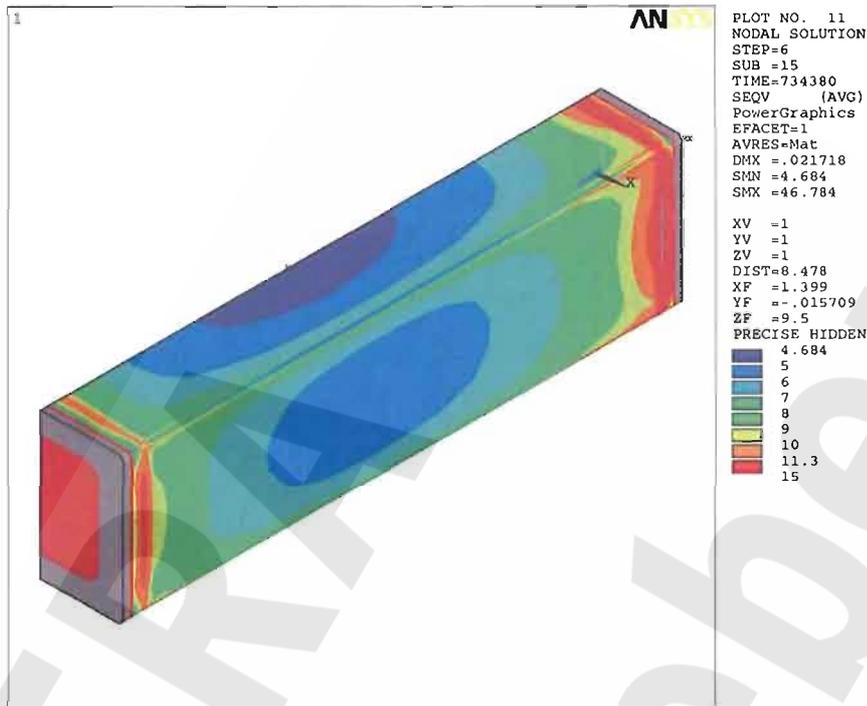


Abb. 23: Einachsige Vergleichsspannung nach 12 Jahren Kriechen (5. Bauzustand)

Zusätzlich sorgt der anstehende Fluiddruck für eine gewisse Vergleichmäßigung der Beanspruchung. Demgemäß treten im Modell die höchsten Vergleichsspannungen an der Luftseite auf. Das definierte Kriterium $\sigma_v \leq 11,3 \text{ MPa}$ wird jedoch auch nach 12 Jahren Standzeit nur in gering ausgedehnten Zonen an den Stirnflächen der temporären Abdichtung verletzt (rote und graue Bereiche, teilweise wieder numerisch bedingt).

Die größte Hauptnormalspannung nach 12 Jahren ist in Abb. 24 dargestellt. Das definierte Kriterium $\sigma_1 \leq 1,5 \text{ MPa}$ ist außer in einem kleinen Bereich (rot) an der luftseitigen Stirnfläche überall erfüllt. Hier zieht formal das in die Strecke kriechende Salzgestein den Beton mit. Das Kriechvermögen des Gebirges hat im weitaus größten Bereich zu einer Vergleichmäßigung und Reduzierung der Zugbeanspruchung geführt. Das Bauwerk ist in seiner Mitte mittlerweile komplett überdrückt. Die numerischen Singularitäten aus dem 4. Bauzustand, die insbesondere bei elastischen Materialien an Kerben auftreten, haben sich durch das Kriechvermögen des Gebirges fast vollständig zurückgebildet. Dies bestätigt die rein theoretische Natur der Singularitäten.

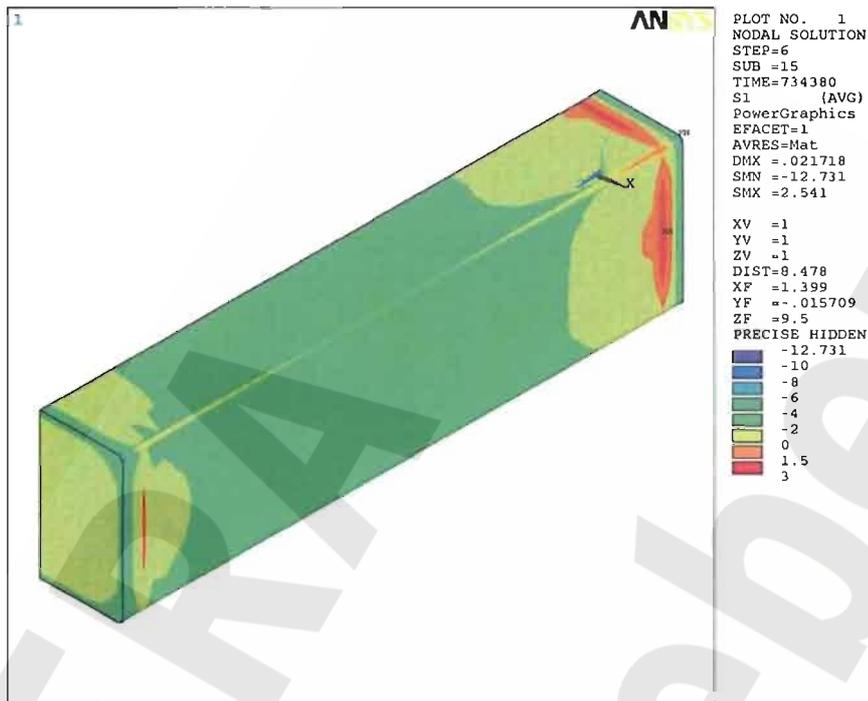


Abb. 24: Größte Hauptnormalspannung nach 12 Jahren Kriechen (5. Bauzustand)

Zusätzlich ist festzustellen, dass die höchste Hauptnormalspannung während der gesamten Standzeit praktisch der Normalspannung in Längsrichtung σ_z des Bauwerks entspricht (Abb. 24). Dies lässt sich anschaulich leicht nachvollziehen, weil in die anderen beiden Richtungen das aufkriechende Salzgestein die temporäre Abdichtung überdrückt. Selbst wenn Risse entstehen, bilden sie sich im Querschnitt des Betonkörpers aus und hätten daher keine hydraulische Relevanz.

Eine detaillierte Betrachtung der Schubbeanspruchung der Fuge ist nicht erforderlich. Das Kriechvermögen des Steinsalzes führt zwangsläufig zum Abbau von Schubspannungen im Salzgebirge und damit auch im Saumbereich zum Bauwerk. Während der Standzeit von 12 Jahren muss sich die Schubbeanspruchung der Fuge also reduziert haben. Da das Kriterium $\tau_{Fuge} \leq 0,4 \text{ MPa}$ schon im 4. Bauzustand erfüllt war, ist es am Ende des Betrachtungszeitraums ebenfalls eingehalten. Zusätzlich führt die allmähliche Überdrückung des Bauwerks zu immer höheren zulässigen Schubspannungen in der Fuge. Die-

ser Effekt, der die Standsicherheit fortwährend verbessert, wird hier nicht weiter betrachtet.

Auch im 5. Bauzustand werden die drei in Abschnitt 5.2.2.1 definierten Kriterien eingehalten.

Zur Überprüfung der Berechnung wird die Firstabsenkung beziehungsweise die Sohlhebung in der Mitte der freien Strecke am vorderen Rand des Modells ausgewertet. Über den betrachteten Zeitraum von 12 Jahren ergibt sich ein Firstsenkung von etwa 13mm und eine Sohlhebung von etwa 11mm. Die beiden Resultate stimmen mit Erfahrungswerten überein. Dabei wurde konservativ ein schnell kriechendes Salz modelliert, was numerisch zu einer höheren Beanspruchungen der temporären Abdichtung führt.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass in keinem Bauzustand kritische Materialbeanspruchungen oder Belastungen an der Fuge auftreten, die die Standsicherheit oder die Gebrauchstauglichkeit des Bauwerks gefährden.

5.3 Gebrauchstauglichkeitsnachweis

Bezüglich der Gebrauchstauglichkeit wird grundsätzlich davon ausgegangen, dass das umgebende Salzgebirge sowie die temporäre Abdichtung selbst technisch dicht sind. Die eigentlichen Abdichtungsarbeiten konzentrieren sich deshalb auf die Kontaktfuge zwischen temporärer Abdichtung und Gebirge. Diese wird durch geeignete und technisch bewährte Injektionsmaßnahmen lösungsdicht hergestellt.

Für den numerischen Gebrauchstauglichkeitsnachweis wird über den geforderten Zeitraum von 12 Jahren ein theoretischer Fluss ausschließlich im betonierten Abdichtungsbauwerk angesetzt, dem dann noch „permeablen“ Teil des Systems (Gebirge/Kontaktfuge/Abdichtungsbauwerk) der temporären Abdichtung.

Weil im Bauwerk keine kritischen Beanspruchungszustände auftreten, kann der Gebrauchstauglichkeitsnachweis sehr einfach geführt werden, indem man die tatsächliche Transportzeit von Lösung durch das Bauwerk näherungsweise durch die stationäre Transportzeit abschätzt.

Unter stationären Verhältnissen gilt für die Transportgeschwindigkeit

$$v = k_f \cdot i = \frac{k \cdot \rho \cdot g}{\eta} \cdot \frac{\Delta p}{\rho \cdot g \cdot L} = \frac{k}{\eta} \cdot \frac{\Delta p}{L}$$

mit:

k_f :	Durchlässigkeit des Bauwerks	in m/s
i :	Hydraulischer Gradient	
k :	Permeabilität des Bauwerks	in m ²
ρ :	Dichte der anstehenden NaCl-Lösung	in kg/m ³
g :	Erdbeschleunigung	in m/s ²
η :	Viskosität der NaCl-Lösung	in Pa·s
Δp :	Anstehende Druckdifferenz	in Pa
L :	Länge des Bauwerks	in m

Andererseits lässt sich die stationäre Transportzeit aus

$$T_{st} = \frac{L}{v}$$

berechnen. Die erforderliche Permeabilität folgt aus der Bedingung

$$T_{st} \geq T_{min} = 12 \text{ a}$$

zu

$$k \leq k_{erf} = \frac{L^2 \cdot \eta}{T_{min} \cdot \Delta p} = \frac{(19 - 2 \cdot 2)^2 \cdot 0,002}{12 \cdot 365 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60 \cdot 940.000} \text{ m}^2 = 1,27 \cdot 10^{-15} \text{ m}^2,$$

wobei sicherheitshalber ein jeweils etwa 2,0 m langer Abschnitt an den beiden Stirnflächen der Abdichtung als nicht hydraulisch wirksam angesehen wird.

Erfahrungsgemäß erreicht man bei Bauwerken auf der Basis von Normalbetonen ohne weiteres Permeabilitäten im Bereich von 10^{-16} m^2 . Unberücksichtigt bleibt hier die selbstabdichtende Wirkung des Betons bei ständiger Wasserbelastung. Die Selbstabdichtung lässt sich nach [14] mit fortschreitender Hydratation, einem Quellen des Zementgels, Carbonatbildung sowie mit Verstopfungseffekten an Engpässen des Kapillarporensystems begründen. Bei langfristiger Wasserbelastung der Zementsteinstruktur ergibt sich eine Abnahme des Durchlässigkeitsbeiwerts k_f gegenüber den lufttrockenen Zustand um einen Faktor von rund 10^{-3} ms^{-1} und mehr. Diese Effekte können langfristig zur vollständigen Selbstabdichtung von Rissen mit Breiten $\leq 0,2 \text{ mm}$ führen.

Gegenüber der hier aufgestellten Anforderung an die Gebrauchstauglichkeit besteht bei der zugrunde gelegten Permeabilität im Bereich von 10^{-16} m^2 und ohne Berücksichtigung vorgenannter Effekte noch eine Sicherheit von etwa einer Größenordnung. Gleiches gilt für verpresste Fugen (Rissbreiten $\leq 0,2 \text{ mm}$). Damit ist die Gebrauchstauglichkeit der temporären Abdichtung mit ausreichender Sicherheit nachgewiesen.

Ein Nachweis der Langzeitbeständigkeit der einzusetzenden Baustoffe und Injektionsmittel ist aufgrund der zeitlich begrenzten Dichtigkeitsanforderung von maximal 12 Jahren nicht erforderlich. Über solch kurze Zeiträume sind die Baustoffe bzw. Injektionsmittel bezüglich der anstehenden Lösungen resistent.

6 Errichtung der temporären Abdichtungen

6.1 Baustoffversorgung

Ein wesentlicher Punkt bei der Errichtung der temporären Abdichtungen ist die Frage der Verbringung des Baustoffes von über Tage bis vor Ort. Dabei hängt die Art und Weise der Verbringung der Baustoffe nach unter Tage erheblich von den Eigenschaften des gewählten Baustoffes ab. Dementsprechend werden nachfolgend zuerst die erforderlichen Baustoffanforderungen erläutert und anschließend die dafür notwendigen Voraussetzungen an die Baustofflogistik unter Berücksichtigung der Gegebenheiten des ERAM definiert.

6.1.1 Baustoffanforderungen

Auf dem ERAM wird seit 2003 Salzbeton aus einer Misch- und Pumpanlage von über Tage in verschiedene Grubenbaue gepumpt. Die bisher durchgeführte Verfüllung dieser Grubenbaue beweist die grundsätzliche Machbarkeit der Errichtung der temporären Abdichtungen mittels hydraulischer Fernförderung.

Ohne Berücksichtigung der mechanischen Eigenschaften des abgebundenen Betons sowie der verfülltechnischen Eigenschaften des Frischbetons stellt die hydraulische Fernförderung gezielte Ansprüche an die Rheologie des Baustoffs. Für die Errichtung der temporären Abdichtungen wird ein genormter Baustoff mit Bergbauzulassung eingesetzt.

Die Ergebnisse rheologischer Untersuchungen an einem schon erprobten Baustoff sind für die auf dem ERAM bereits vorhandenen Rohrleitungsdurchmesser DN 125 in Form von Fließkurven in Abb. 25 beispielhaft dargestellt. Die Abbildung zeigt den sich in Abhängigkeit vom Volumenstrom einstellenden Druckverlust in bar/100 m Rohrleitung.

Mit der Auswahl der Zementsorte und der Beimischung von Flugasche oder Kalksteinmehl lassen sich die Festigkeit, die Festigkeitsentwicklung und die Hydratationswärme [11] beeinflussen. Durch Zugabe von Fließmitteln können zusätzlich zum Wasseranteil in begrenztem Maße die Fließeigenschaften verbessert werden.

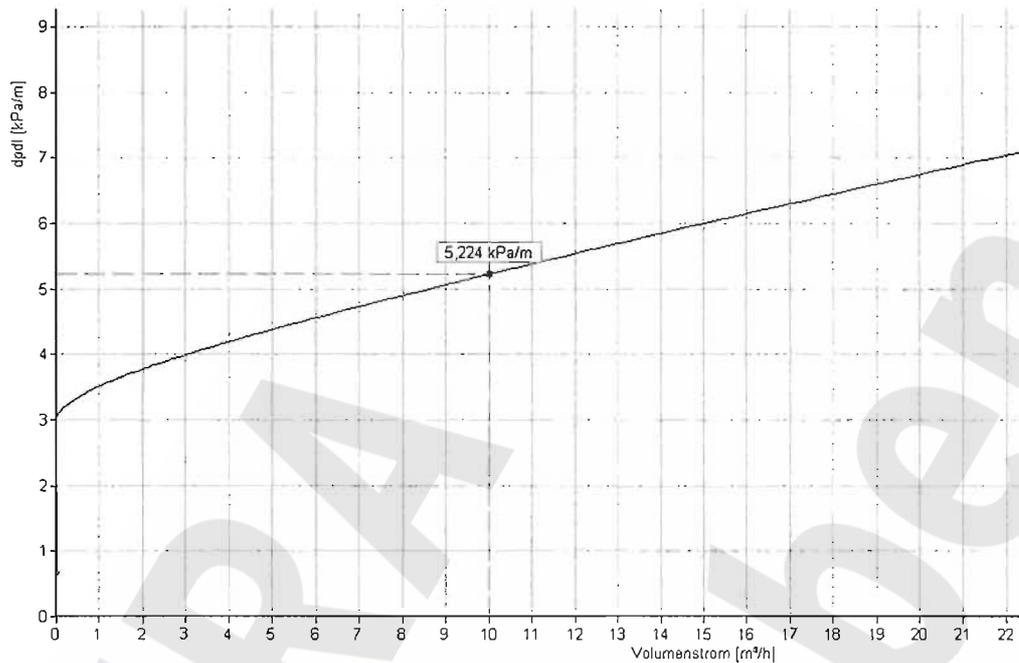


Abb. 25: Fließkurve des Bergbaubetons in einer Rohrleitung DN 125

6.1.2 Anforderungen an die Baustofflogistik

Neben den Baustoffeigenschaften sind die verfüllspezifischen Randbedingungen ausschlaggebend für die Baustofflogistik.

Die Randbedingung zur Erstellung der temporären Abdichtungen sowie sich daraus ergebende Mengen und Volumenströme sind in Tabelle 1 zusammengestellt.

Temporäre Abdichtungen	Schacht- entfernung	Breite	Gründungs- länge	Betonier- fläche	Höhe	Damm- volumen	Mindest- betonier- leistung	Verfüll- dauer
	in m	in m	in m	in m²	in m	in m³	in m³/h	in h
1. nördlicher Bereich der Nordstrecke vor den Einlagerungsbauen	1.100	6,7 - 10,1	21,8	193	3,3	637	19	33
2. östliches Ende des westlichen Störreservelagers im Bereich des Abzweiges Wetterstrecke	300	4,5	19,0	203	4,1	832	20	41
		6,1	14,0					
		8,0	4,0					
3. Südstrecke nördlich der Werkstatt	100	6,0	19,0	114	4,7	536	11	47
4. Ostquerschlag westlich Lagerteil B	120	5,6	19,0	106	5,0	532	11	50

Tabelle 1: Randbedingungen zur Erstellung der temporären Abdichtungen

Die Streckenbreiten in der dritten Tabellenspalte entsprechen den Vorort-Aufnahmen und wurden um den zu entfernenden Auflockerungsbereich von jeweils 0,5 m in den Stößen erweitert.

Um die jeweilige temporäre Abdichtung kontinuierlich und in einem Stück errichten zu können und dabei ein Betonieren „nass in nass“ zu gewährleisten, wurde eine Mindestfüllhöhenzunahme von 0,1 m/h angesetzt, aus der sich der betonierflächenabhängige Mindestvolumenstrom in Spalte 8 ergibt. Die in der Tabelle angegebenen Betonierleistungen zwischen 11 m³/h und 20 m³/h bedingen aus rein verfülltechnischer Sicht keine Zugabe von Verzögerer im Baustoff.

Um bei längeren Betriebsstörungen ein „nass in nass“-Betonieren der temporären Abdichtungen zu gewährleisten, ist es erforderlich, sowohl eine zweite Förderleitung als auch eine zweite Pumpenlinie aus Redundanzgründen vorzuhalten.

6.2 Vorarbeiten an den Standorten der temporären Abdichtungen

Die Auflockerungszone wird mit einer Tiefe von 0,5 m angenommen und ist im Rahmen einer geotechnischen Voruntersuchung hinsichtlich ihrer Mächtigkeit an der Lokation zu prüfen. Hierzu sind Bohrungen in geeigneter Anzahl und mit geeigneten Längen und Durchmesser radial zur Streckenachse niederzubringen.

Geringfügige Profilierungen des Streckensaums - resultierend aus den Schnittspuren der Teilschnittmaschine - begünstigen den späteren Verbund zwischen Abdichtungsbauwerk und Gebirge. Die Firste ist jedoch zur Gewährleistung einer vollflächigen Anbindung des Bauwerkes eben und mit leichtem Ansteigen zur Aufgabestelle des Betons auszubilden.

6.3 Betonieren der temporären Abdichtung

Nach den Erweiterungsarbeiten wird umgehend mit den Vorbereitungen zum Betonieren der temporären Abdichtung begonnen, da nur mit einem zügigen Betonieren erneute Auflockerungserscheinungen im Gründungsbereich minimiert werden können.

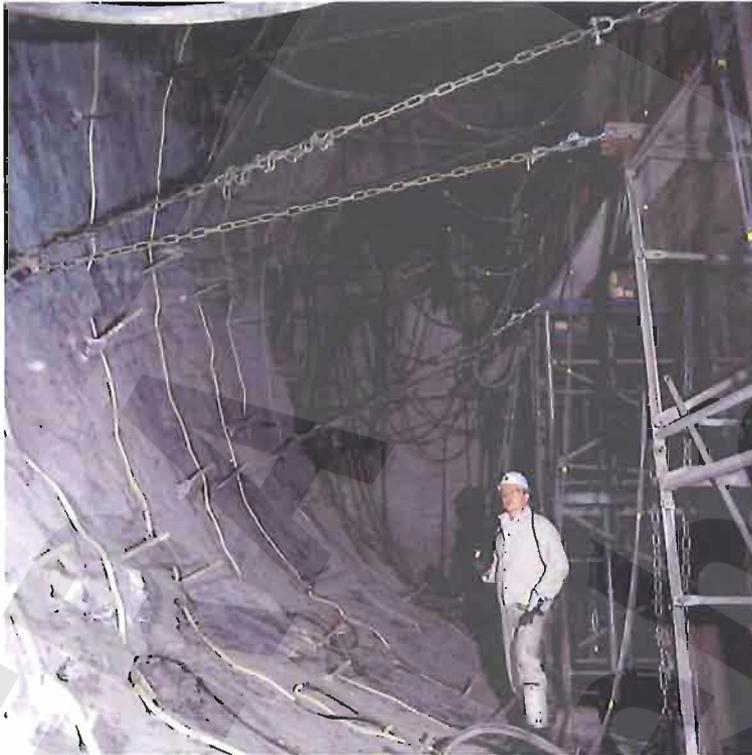


Abb. 26: Am Streckenstoß radial verlegte Verpressschläuche im Gründungsbereich eines 55 bar Hochdruckdammes (Bsp. AV/Blumenthal)

Für die nach dem Betonieren durchzuführenden Injektionsarbeiten auf die Kontaktfuge hat sich die Verwendung von Verpressschläuchen bereits bei gleichartigen Projekten mehrfach bewährt (Abb. 26). Sie werden noch vor dem Betonieren der temporären Abdichtung am Streckensaum radial zur Streckenachse befestigt.

Nach dem Betonieren sowie ausreichendem Erhärten des Baustoffes wird die Kontaktfuge über Verpressschläuche aus einem so genannten Befahrungs- und Injektionsrohr (auch Dammrohr genannt) mit Injektionsmaterial verpresst (Anlage 6 sowie Abb. 27).



Abb. 27: Befahrungs- und Injektionsrohr (Dammrohr) mit Unterbau und Auftriebssicherung (Bsp. AV/Blumenthal)

Da axiale Einbauten im Abdichtungsbauwerk selbst bei Einsatz von schwindfreiem Beton wegen ihrer Materialeigenschaften (Porosität, glatte Oberflächen u.ä.) oft zu potentiellen Wegsamkeiten führen, werden nach ausreichendem Erhärten des Betons alle Befahrungs- und Injektionsrohrschüsse bis auf das lösungsseitige Endstück mit innenverschließbarem Rohrdeckel (Anlage 7) geraubt.

Das Befahrungs- und Injektionsrohr ist konisch ausgebildet, wobei der lichte Durchmesser auf der Luftseite mindestens 10 % kleiner ist als der lichte Durchmesser auf der Seite mit Lösungszutritt. Hiermit wird sichergestellt, dass bei anstehendem Fluiddruck der später ausbetonierte Befahrungs- und Injektionskanal sich wie ein Pfropfen in das Abdichtungsbauwerk drückt, somit selbst verspannt und abdichtet. Das Befahrungs- und Injektionsrohr wird, bezogen auf den Rohrleitungsfirst, mit mindestens 2 % Gefälle zur Lösungsseite eingebaut, damit bei der nach Ausbau des Rohres sich anschließenden Verfüllung des verbleibenden Kanals mit Beton Lufteinschlüsse ausgeschlossen werden.

Vor dem Betonieren wird sichergestellt, dass im Gründungsbereich alle Lockermaterialien beraubt (Bereisen der Firste, der Stöße und der Sohle) und die Sohle besenrein beräumt sind. Außerdem sind alle noch vorhandenen Ein- und gegebenenfalls Ausbauten im Gründungsbereich der künftigen temporären Abdichtung zu entfernen. Ausgenommen hiervon ist das Befahrungs- und Injektionsrohr mit seiner Aufständering und Lage- bzw. Auftriebssicherung.

Zur Sicherstellung der Qualitätsanforderungen ist es unumgänglich, die temporäre Abdichtung in einem Guss herzustellen, d.h. Schichtungen durch schon abgebundenen Baustoff zu vermeiden.

6.4 Injektion der Kontaktfuge temporäre Abdichtung / Gebirge

Nach der Fertigstellung der temporären Abdichtung sind Injektionen auszuführen, die das Abdichtungsbauwerk kraftschlüssig mit dem Gebirge verbinden und einspannen sowie den Kontaktbereich zwischen Baustoff und Gebirge abdichten.

Diese Injektionen werden gemäß Anlage 7 über so genannte Verpressschläuche ausgeführt, die radial zur Streckenachse über den gesamten Streckenumfang im Gründungsbereich befestigt werden. Die Aufgabe des Injektionsmittels erfolgt über Zuführungsschläuche aus dem Befahrungs- und Injektionskanal (Abb. 28).

Für die technisch sachgemäße Durchführung der anschließenden Injektionsarbeiten sind die Betontemperaturen während der Hydratationsphase zu überwachen. Die Injektionen werden erst dann ausgeführt, wenn die Betontemperaturen unter 45°C abgesunken sind, da unabhängig vom gewählten Injektionsmittel zu hohe Umgebungstemperaturen das Verfestigen des Injektionsmittels beschleunigen und somit auch die Fließeigenschaften nachhaltig beeinflussen.



Abb. 28: Zuführungsschläuche im Befahrungs- und Injektionskanal zur Beschickung der Verpressschläuche (Bsp. AV/Blumenthal)

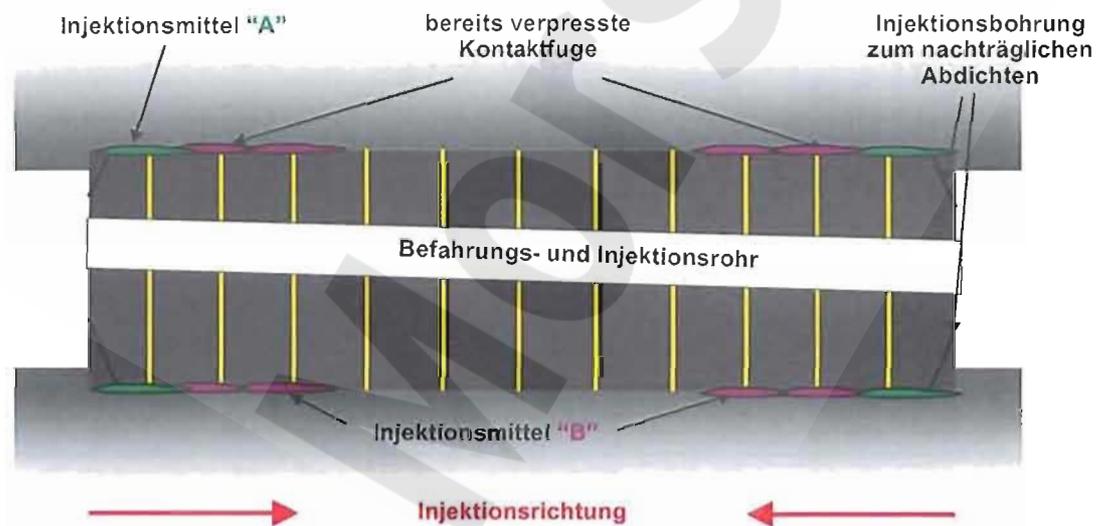


Abb. 29: Schematische Darstellung der Injektionen aus dem Befahrungs- und Injektionsrohr über Verpressschläuche

Zur Anwendung kommen entsprechend dem Einsatzzweck (Abb. 29) zwei in ihrer Charakteristik unterschiedliche und in der Praxis bewährte Injektionsmittel. Das Injektionsmittel „A“ (Anlage 7) ist durch Zugabe eines Beschleunigers ein sehr schnell reagierendes Injektionsmittel für die Randbereiche an der Luft- und der Lösungsseite der temporären Abdichtung. Durch die schnellen Gelzeiten dieses Injektionsmittels werden einerseits Injektionsaustritte an den Frontseiten der Abdichtung begrenzt. Andererseits wird mit dieser Injektion in den Randbereichen ein dichtes Widerlager für die Injektionen auf die verbleibende innere Hauptfuge geschaffen.

Da ein mehrmaliges Verpressen mit beschleunigten Injektionsmitteln über Verpressschläuche nur bedingt durchführbar ist, besteht nicht zuletzt auch wegen des bis dahin noch offenen Befahrungs- und Injektionskanals die Möglichkeit, noch unzureichend abgedichtete Randbereiche der temporären Abdichtung auch über kurze Bohrungen von der Lösungsseite aus zu injizieren und endgültig abzudichten. Ein dichter Injektionsschleier an beiden Kontaktfugenrändern ist unbedingte Voraussetzung für die Schaffung einer vollflächig abgedichteten und verspannten Hauptfuge.

Diese Hauptfuge wird im Anschluss mit einem sehr langsam reagierenden, elastischen Injektionsmittel „B“ mit wasserähnlicher Viskosität verpresst. Solche Injektionsmittel besitzen ein ausreichendes Arbeitspotential, um am Abdichtungsbauwerk geringste, durch Spannungsumlagerungen verursachte Bewegungen rissfrei aufzunehmen und gewährleisten damit eine hinreichende Dichtigkeit für die Dauer der temporären Abdichtung.

Die Injektionen erfolgen üblicherweise von außen nach innen, wobei auch hier zuerst die äußeren Verpressschläuche (B1) beaufschlagt werden, gefolgt von B2 usw. Durch diese Injektionsabfolge wird erfahrungsgemäß der beste Injektionserfolg erreicht.

Vorgenannten Ansprüchen hinsichtlich einstellbarer Gel- bzw. Reaktionszeiten, der Fließeigenschaften, der Haftfestigkeiten sowie der Endelastizität werden chemische Injektionsmittel, wie zum Beispiel Injektionsharze, gerecht. Aufgrund ihrer niedrigen Viskosität sowie der sehr langsam einstellbaren Reaktionszeiten sind sehr hohe Eindringtiefen und somit der vollflächige Verbund in der Fuge ausführbar.

6.5 Betonieren und Verpressen der Befahrungs- und Injektionskanäle der temporären Abdichtungen

Nach erfolgreicher Injektion auf die Kontaktfuge Abdichtungsbauwerk/Gebirge ist auch der noch offene Befahrungs- und Injektionskanal zu betonieren (Anlage 8 sowie Abb. 30) und an seiner Fuge mit den bereits genannten Injektionsmitteln zu verpressen.

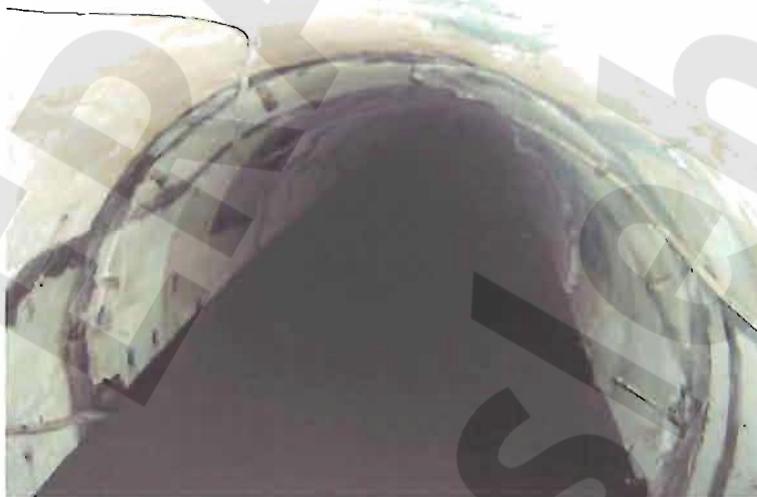


Abb. 30: Betonieren des Befahrungs- und Injektionskanals (Bsp. AV/Blumenthal)

7 Bauablauf / Zeitmanagement

Die Errichtung der temporären Abdichtungen erfolgt in Abhängigkeit der Verfüllreihenfolge im Verfüllplan zur Stilllegung über einen Zeitraum von drei bis vier Jahren in nachfolgender Reihenfolge:

- Nördlicher Bereich der Nordstrecke (17YER21/R001) vor den Einlagebereichen
- Östliches Ende des westlichen Störreservelagers (17YEA31/R001) im Bereich des Abzweiges Wetterstrecke (17EA34/R001)
- Südstrecke (17YER31/R001) nördlich der Werkstatt
- Ostquerschlag (17YEQ01/R001) westlich des Lagerteils B

Die Errichtung jeder einzelnen temporären Abdichtung wird etwa 6 Monate in Anspruch nehmen, wobei die Zeiten für das Abbinden und Abkühlen des Baustoffs (Hydratationsphase) bereits enthalten sind.

Nachfolgende Anschätzungen berücksichtigen ausschließlich die reinen Nettozeiten zum Herstellen der Abdichtungsbauwerke.

Die einzelnen Arbeitsschritte zum Herstellen einer temporären Abdichtung lassen sich wie folgt untergliedern:

Erkundungsarbeiten:

Im Rahmen der Erkundungsarbeiten muss insbesondere die Dichtigkeit des die temporären Abdichtungen umgebenden Salzgebirges nachgewiesen werden. Ergeben sich wesentliche Kennwertabweichungen zu den getroffenen Annahmen im Gebrauchstauglichkeitsnachweis, ist der Nachweis mit den neuen Werten auf sich daraus ergebende qualitative und quantitative Bauwerksänderungen zu überprüfen.

Injektions- und Abdichtungsarbeiten an vorhandenen Bohrungen:

Alle gegebenenfalls den Gebrauchstauglichkeitsnachweis beeinflussende Hohlräume im Streckensaum sind noch vor den Erweiterungsarbeiten im

Gründungsbereich durch geeignete Maßnahmen zu verfüllen und abzudichten. Größere Hohlräume, wie zum Beispiel die Kammer südwestlich der temporären Abdichtung im Ostquerschlag (17YEQ01/R001), werden im Zuge des Betonierens des Abdichtungsbauwerkes mitverfüllt und abgedichtet. Dabei kann das vorhandene Equipment für die Errichtung der Temporären Abdichtung auch gleichzeitig für diese Arbeiten genutzt werden.

Erweiterungsarbeiten:

Für die Erweiterungsarbeiten wird je Gründungsbereich ebenfalls eine Woche angesetzt. Der größere Zeitbedarf wird hier für das Nachmessen der Gebirgskontur und das gegebenenfalls erforderliche Nachschneiden gesehen. Bei den Erweiterungsarbeiten ist unbedingt darauf zu achten, dass die Firste so profiliert wird, dass es beim Betonieren der temporären Abdichtung zu keinen Luftpfehlungen kommen kann. Demzufolge ist die Firste sehr eben und mit leichtem Ansteigen (etwa 2 %) zum Punkt der Baustoffaufgabe auszubilden.

Vorbereitungsarbeiten zum Betonieren:

Nach Herstellung der erweiterten Gründungsbereiche sind zeitnah die Vorbereitungsarbeiten zum Betonieren der temporären Abdichtung auszuführen. Hierzu sind die Befahrungs- und Injektionsrohre zu montieren und im Gründungsbereich aufzuhängen. Für diesen Rohrstrang ist eine Auftriebssicherung vorzusehen.

Anschließend sind, soweit nicht bereits schon geschehen, alle axial verlegten Streckeneinbauten zu entfernen. Nach diesen Arbeiten sind die Verpress- und Zuleitungsschläuche für das nachträgliche Injizieren der Kontaktfuge zu verlegen und die Sohle im Gründungsbereich von losem Material zu befreien. Erst danach erfolgt das Setzen der Schalungen inklusive der Abdichtung zwischen Gebirge/Schalung sowie Befahrungsrohr/Schalung.

Herstellen der Abdichtungsbauwerke und Hydratationsphase:

Der Zeitbedarf für das Betonieren der jeweiligen temporären Abdichtung ist der Tabelle 1 unter Punkt 6.1.2 zu entnehmen. Grundsätzlich muss das Betonieren „nass in nass“ erfolgen, so dass in der temporären Abdichtung keine axiale Fuge entstehen kann.

Die anschließende Hydratationsphase lässt sich zeitlich nicht so gut eingrenzen. Hier ist entscheidend, wie stark sich der Baustoff infolge der Hydratation erwärmt und wie die Wärmeleitfähigkeit des Salinar sowie die Bewetterung zur Absenkung der Temperatur beitragen. Erfahrungsgemäß kann es acht Wochen dauern, bis das Abdichtungsbauwerk eine Temperatur angenommen hat, bei der problemlos Injektionsarbeiten ausgeführt werden können.

Baukörpertemperaturen oberhalb von 45°C führen erwiesenermaßen zu kritischen Reaktionszeiten des Injektionsmittels. Aus diesem Grund wird für das Betonieren je temporärer Abdichtung inklusive der anschließenden Injektionsarbeiten ein Zeitaufwand von neun Wochen zu Grunde gelegt. Das Betonieren der Kammer südwestlich der temporären Abdichtung im Ostquerschlag erhöht den Zeitbedarf nur unwesentlich, da das Betonieren hintereinander erfolgen kann und die Hydratationsphase des Abdichtungsbauwerkes sowie der verfüllten Kammer parallel laufen.

Demontage des Befahrungs- und Injektionsrohres:

Die Demontage des Befahrungs- und Injektionsrohres erfolgt nach ausreichendem Erhärten des Betons noch während der Hydratationsphase und hat somit auf den Bauablauf keinen Einfluss.

Eine Demontage des Befahrungs- und Injektionsrohres setzt voraus, dass jeder Rohrleitungsschuss sich aus einzelnen Segmenten zusammensetzt, die von innen wieder demontiert werden können. Das lösungsseitige Endstück des Befahrungs- und Injektionsrohres ist mit einem außen liegenden Widerlager zu versehen, welches nach dem Betonieren der temporären Abdichtung im Beton sicher gründet und ein axiales Verrutschen dieses Rohrleitungsschusses auch unter Last verhindert.

Für das lösungsseitige Endstück des Befahrungs- und Injektionsrohres ist ein dem Rohrleitungsdurchmesser angepasster Blinddeckel anzufertigen, der von innen dicht verschließbar sein muss. Der Blinddeckel ist für einen Innendruck von mindestens 5 bar auszulegen. Auf der Luftseite ist eine dicht schließende Schalung über die Öffnung zu montieren. Diese Schalung kann zum Beispiel an im Beton gegründete Verbolzungen angeschraubt werden und muss in jedem Fall dicht schließen.

Injektionen auf die Kontaktfuge:

Nachdem der Betonkörper ausreichend abgekühlt ist ($< 45^{\circ}\text{C}$), wird mit den Injektionsarbeiten begonnen. Diese erfolgen grundsätzlich von außen nach innen, so dass bei den inneren Injektionen auf eine bereits abgedichtete äußere Fuge verpresst werden kann.

Diese Vorgehensweise gewährleistet Injektionen ohne Unterbrechungen aufgrund von Umläufigkeiten des Injektionsmittels und damit höhere Injektionsdrücke sowie Eindringtiefen.

Verfüllen und Verpressen des Befahrungs- und Injektionskanals:

Nach erfolgreicher Injektion der Kontaktfuge wird mit dem Verfüllen und Verpressen des Befahrungs- und Injektionskanals begonnen. Zunächst sind alle in dem Befahrungs- und Injektionskanal befindlichen nicht mehr erforderlichen sowie losen Teile zu entfernen und am Kanalstoß umlaufend Verpressschläuche zu verlegen (siehe auch Abb. 30).

Danach wird der lösungsseitige Kanalrohrdeckel von innen verschlossen. Auf der Luftseite wird eine dicht schließende Schalung mit Anschlüssen für die Baustoffaufgabe sowie die Entlüftung während des Betonierens aufgesetzt und im Anschluss der Befahrungs- und Injektionskanal betoniert.

Nachdem der so betonierte Pfropfen ausreichend erhärtet ist, wird die Schalung abgenommen und nach entsprechender Abkühlung des Pfropfens die Fuge zwischen Betonkörper und Pfropfen durch Injektionen abgedichtet.

Aus vorgenannten Erläuterungen ergibt sich folgender Projektplan:

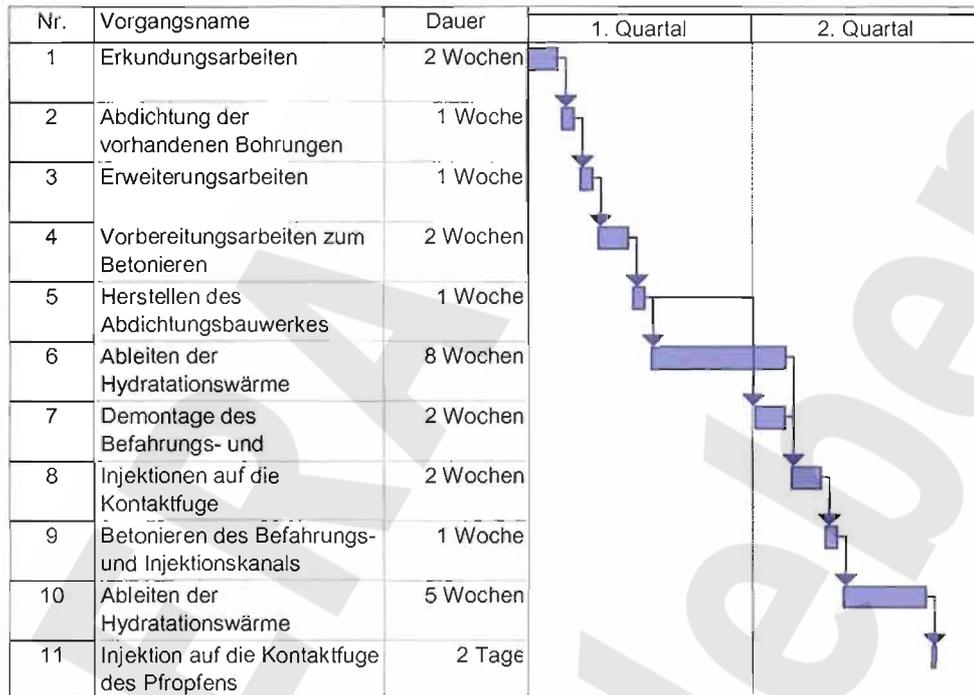


Abb. 31: Allgemeingültiger Projektplan für den Bau einer temporären Abdichtung

8 Qualitätssicherung

Die Qualitätssicherung erfolgt sowohl in Eigenüberwachung als auch in Fremdüberwachung. Dabei überprüft und dokumentiert die Eigenüberwachung alle nachfolgend aufgeführten Tätigkeiten. Zu den Aufgaben der Fremdüberwachung zählen neben der Kontrolle der Eigenüberwachung auch eigene stichprobenhafte Untersuchungen der ausgeführten Arbeiten sowie der Baustoffqualität. Nachfolgend werden die verschiedenen Qualitätsmaßnahmen detailliert beschrieben.

8.1 Maßnahmen zur Sicherung der Baustoffqualität

Im Rahmen der Qualitätsüberwachungen der Baustoffe werden die in den Eignungsnachweisen erbrachten Baustoffeigenschaften am Frischbeton und an Prüfkörpern kontrolliert. Dementsprechend sind in den Eignungsnachweisen die Annahmekriterien für den Frischbeton zu definieren und geeignete Nachweise (z.B. rheologische Untersuchungen, Bestimmung des Ausbreitmaßes, Bestimmung der erforderlichen Menge Anmachflüssigkeit, Überprüfung der Korngrößen, usw.) festzulegen. Außerdem ist ein Baustoff mit selbstverdichtenden Eigenschaften zu verwenden. Bei Nichterfüllung der Nachweise für den Frischbeton sind die Baustoffe zurückzuweisen.

8.2 Maßnahmen zur qualitätsgerechten Ausführung der temporären Abdichtungen

Zur Sicherstellung der qualitätsgerechten Ausführung der temporären Abdichtungen ist vor Beginn der Arbeiten ein allgemeiner Arbeitsablaufplan zu erstellen. Zusätzlich sind detaillierte Ablaufpläne für die einzelnen Teilgebiete anzufertigen.

Die durchzuführenden Arbeiten müssen sich präzise an die aufgestellten detaillierten Ablaufpläne halten. Insbesondere sind alle darin formulierten Maßnahmen zur Qualitätssicherung einzuhalten und umzusetzen.

Vorbereitung der Strecken

Vor dem Nachschnitt der Strecken sind die Gründungsbereiche der temporären Abdichtungen durch geotechnische Untersuchungen insbesondere auf ihre Dichtigkeit zu überprüfen. Hierzu werden Tastbohrungen mit geeigneten Längen radial zur Streckenachse niedergebracht.

Aufgrund der Ergebnisse ist die zu entfernende Auflockerungszone festzulegen. Vor Entfernen der Auflockerungszone sind alle Einbauten zu rauben.

Die Sohle und Stöße sind vor dem Betonieren besenrein zu beräumen.

Errichten der Schalungselemente

Bereits vor dem Hereingewinnen der Auflockerungszone sind die Schalungsarbeiten vorzubereiten, so dass nach dem Entfernen der Auflockerungszone und dem Beräumen von Sohle und Stößen die Schalung zeitnah errichtet werden kann. Die Schalung wird so dimensioniert, dass der sich theoretisch einstellende hydrostatische Druck der kompletten Bauwerkshöhe verformungsfrei aufgenommen werden kann. Die sachgerechte Ausführung der Schalarbeiten wird vor Betonierbeginn geprüft und dokumentiert.

Erstellen der temporären Abdichtungen

Die temporären Abdichtungen wird „nass in nass“ erstellt. Die Probennahme der Baustoffprüfkörper erfolgt unter Tage im Bereich der Abdichtungen. Die Probennahme wird dokumentiert.

Die Temperaturentwicklung in der temporären Abdichtung wird durch geeignete Maßnahmen protokolliert und dokumentiert.

8.3 Maßnahmen zur Sicherung des Injektionserfolges

Eine erfolgreiche Umsetzung der Kontaktfugeninjektion bedingt die Einhaltung nachfolgender Randbedingungen.

Die Verpressschläuche dürfen nur radial zur Streckenachse (ringförmig) und mit maximaler Anbindung an das Gebirge verlegt werden. Zur Erfassung von lokal unterschiedlich hohen Aufnahmen muss jeder Injektionsring aus mindes-

tens zwei, jeweils einzeln zu beaufschlagenden Verpressschlauchsegmenten bestehen.

Die Bündelung von Zuführungsschläuchen innerhalb der temporären Abdichtung beschränkt sich auf maximal zwei Schläuche, damit Hohlräume zwischen den Schläuchen vermieden werden. Die Schläuche sind auf dem kürzesten Weg durch die temporäre Abdichtung zum Befahrungs- und Injektionsrohr zu führen. Der Abstand der Verpressschlauchringe darf in axialer Richtung der temporären Abdichtung maximal zwei Meter betragen.

Die Einpressungen erfolgen erst nach Abklingen der Hydratationswärme im Bauwerkskörper unterhalb von 45°C. Damit wird sichergestellt, dass sich die Reaktionszeit des Injektionsmittels nicht unnötig verkürzt und somit den Injektionserfolg gefährdet.

Die Beschickung der Verpressschläuche erfolgt aus dem Mannrohr heraus. Die Einpresspumpe muss mit Erreichen des eingestellten Injektionsdruckes diesen gleichmäßig aufrechterhalten. Es sind Druckmessenrichtungen an der Pumpe und am Aufgabepunkt anzubringen.

Die Einpressdrücke und Aufnahmemengen sind für jeden Verpressschlauch getrennt festzuhalten und zu registrieren. Die Registrierung erfolgt digital. Die Verpressprotokolle müssen jeweils das Datum, die Verpressschlauchnummer, den Injektionsstart, das Injektionsende, das verwendete Injektionsmittel, den erreichten Enddruck und die Aufnahmemenge enthalten.

Die zusätzlichen handschriftlich anzufertigenden Einpressberichte enthalten neben der Nummer des zugehörigen maschinell erstellten Verpressberichtes auch Angaben über Unterbrechungen bzw. zu Umläufigkeiten.

Das Injizieren der Kontaktfuge über die Verpressschläuche erfolgt nach den Regeln der Technik.

9 Zugrunde liegende Unterlagen

- [1] Konzeptplanung „Verfüllplan zur Stilllegung des ERAM nach Durchführung der bergbaulichen Gefahrenabwehrmaßnahme im Zentralteil“, Deutsche Gesellschaft zum Bau und Betrieb von Endlager (DBE), Peine, Stand: 15.12.2005
- [2] Auszug aus dem Risswerk des Endlagerbergwerks Morsleben (ERAM), Stand: 12/2005
- [3] Dämme im Salzgebirge – Berechnungen und Sicherheitsbetrachtungen – Bericht Nr. 88-54 aus dem Institut für Statik der Technischen Universität Braunschweig, 1988
- [4] Haftfestigkeitsuntersuchungen zwischen Beton bzw. Mörtel und verschiedenen Gesteinsarten und ihre Bedeutung für den untertägigen Bergbau, dargestellt am Beispiel der Dimensionierung eines gebirgsverbundenen Schachtausbaus im elastischen Gebirge, Peter Sitz, Dissertation, Bergakademie Freiberg, 1967
- [5] Querschnittsabdichtung untertägiger Hohlräume durch Dämme und Pfropfen, Peter Sitz, Dissertation B, Bergakademie Freiberg, 1980
- [6] ERA Morsleben – Gebirgsmechanische Beurteilung der Integrität der Salzbarriere in der Schachanlage Bartensleben, 9M 232 410 11, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover, Dezember 2000
- [7] DIN 1045-1:2001-07, Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton Teil 1: Bemessung und Konstruktion, Normenausschuss Bauwesen (NABau) im DIN Deutsches Institut für Normung e.V.
- [8] DIN EN 206-1, Beton – Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität, Deutsche Fassung EN 206:2000, Ausgabe: 2001-07

- [9] DIN 1045-2:2001-07, Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton Teil 2: Beton – Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität – Anwendungsregeln zu DIN EN 206-01, Normenausschuss Bauwesen (NABau) im DIN Deutsches Institut für Normung e.V.
- [10] Schneider Bautabellen, 17. Auflage: Werner-Verlag, Düsseldorf, 2006
- [11] Dammbaustoffe für konstruktive Anwendungen im Bergbau - Weiterentwicklung von Beurteilungskriterien für Klassifizierung und Überwachung von Dammbaustoffen - Mitteilung der Westfälischen Berggewerkschaftskasse, Heft 49, Bochum 1984
- [12] The Finite Element Method, Volume 1 and 2, Zienkiewicz, Taylor, McGraw-Hill, 1994
- [13] Eurocode 2: Planung von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken, DIN V ENV 1992
- [14] Zement - Taschenbuch 2002, 50. Ausgabe, Verein Deutscher Zementwerke e.V. (Hrsg.), Düsseldorf, Verlag Bau + Technik, 2002

10 Glossar

Abdichtung, temporäre:	Für einen begrenzten Zeitraum von ca. 12 Jahren ausgelegtes lösungsdichtes Verschlussbauwerk mit sofortiger Dichtwirkung, um Zutritte von potenziell kontaminierten Überschusslösungen in betrieblich noch genutzte Grubenbaue zu verhindern.
Bauzustand:	Zustand, der während der Baumaßnahme temporär auftritt
Beanspruchung:	Beanspruchung ist sowohl die Unterwerfung eines Bauteils unter eine Belastung beliebiger Art als auch der Zustand des Bauteils, das unter dem Einfluss von Spannungen steht. Ursache einer Beanspruchung können äußere Kräfte oder Belastungen, Eigengewichtskräfte, Auflagerverschiebungen oder Temperaturdehnungen sein.
Belastung:	Die Summe aller an einem Körper angreifenden äußeren Kräfte, zusammen mit dem Eigengewicht steht sie bei einem ruhenden Körper im Gleichgewicht mit den Reaktionskräften (wie Berührungs- und Stützkräfte).
Beräumen:	Beseitigung von störendem Material (z.B. Haufwerk) auf der Sohle eines Grubenbaues
Berauben:	Beseitigung loser Gesteinspartien an der Firste und den Stößen, um die Gefährdung durch Steinfall zu verringern

Einlagerungsbereich:	Begrenzter Bereich im Grubengebäude, in dem ein oder mehrere Einlagerungsgrubenbaue liegen, die für die Einlagerung radioaktiver Abfälle genutzt werden/wurden
Einlagerungsgrubenbau:	Einzelner Grubenbau, in den radioaktive Abfälle und betriebliche radioaktive Abfälle eingebracht werden/wurden, oder auch zu diesem benachbarter Grubenbau
Firste:	Obere Grenzfläche eines Grubenbaus
Grubenbau:	Planmäßig bergmännisch hergestellter Hohlraum unter Tage
Hydratationswärme:	Wärme, die als Folge exothermer Mineralreaktionen der Bindemittel (z.B. Zement, Flugasche) mit der Anmischflüssigkeit freigesetzt wird
Kontur:	Umriss(linie)
Konvergenz, bergmännische:	Natürlicher Prozess der Volumenreduzierung von untertägigen Hohlräumen infolge Verformung bzw. Auflockerung auf Grund des Gebirgsdrucks
Kriechen:	Zeitabhängige, plastische (irreversible) Deformation
Permeabilität:	Durchlässigkeit eines Gesteins für Flüssigkeiten und Gase, abhängig von der Querschnittsgröße und -form der einzelnen Fließkanäle, deren räumlichem Verlauf und ihrer gegenseitigen Verknüpfung
Rheologie:	Wissenschaft, die sich mit dem Verformungs- und Fließverhalten von Materie

beschäftigt, hier insbesondere von Nicht-Newton'schen Flüssigkeiten

- Salzbeton: Baustoff, bestehend aus den Grundbestandteilen Zement, Betonzusatzstoff, z.B. Steinkohlefilterasche, Salzzuschlag sowie Wasser oder Salzlösungen als Anmachflüssigkeit
- Salzgebirge: Das Salzgebirge besteht aus Salzgestein, Anhydrit und Salztonen
- Sedimentation: Absetzen von Feststoffen aus einer stehenden oder langsam fließenden Flüssigkeit
- Sohle: Gesamtheit der annähernd in einem Niveau aufgefahrenen Grubenbaue; auch untere Grenzfläche eines Grubenbaus
- Stoß: Seitliche Begrenzung eines Grubenbaus (z. B. Strecken-Stoß, Schacht-Stoß); auch jede Angriffsfläche für die Gewinnung (Abbau-Stoß)
- Streckensaum: Randbereich einer Strecke (Firste, Stöße und Sohle)
- Zement: Hydraulisches Bindemittel. Anorganischer, fein aufbereiteter Stoff, der infolge chemisch-mineralogischer Reaktionen mit der Anmachflüssigkeit dauerhaft erhärtet

11 Verzeichnis der Anlagen

1. Auszug aus dem Sohlenriss –372 m NN (4. Sohle Bartensleben, 500 m Sohle Marie), Blatt Helmstedt Ost 15.3, Blatt Helmstedt Ost 20.1 und Blatt Helmstedt Ost 20.3 im Nachtragsstand 31.12.2005, ERAM
2. Standort der temporären Abdichtung in der Nordstrecke (17YER21/R001), Auszug aus dem Blatt Helmstedt Ost 20.3 des Sohlenrisses –372 m NN im Nachtragsstand 31.12.2005, ERAM
3. Standort der temporären Abdichtung im westlichen Störreservelager (17YEA31/R001), Auszug aus dem Blatt Helmstedt Ost 15.3 des Sohlenrisses –372 m NN im Nachtragsstand 31.12.2005, ERAM
4. Standort der temporären Abdichtung in der Südstrecke (17YER31/R001), Auszug aus dem Blatt Helmstedt Ost 20.1 des Sohlenrisses –372 m NN im Nachtragsstand 31.12.2005, ERAM
5. Standort der temporären Abdichtung im Ostquerschlag (17YEQ01/R001), Auszug aus dem Blatt Helmstedt Ost 20.1 des Sohlenrisses –372 m NN im Nachtragsstand 31.12.2005, ERAM
6. Vorbereitung der Betonierarbeiten im Ostquerschlag (17YEQ01/R001)
- schematische Darstellung –
7. Injektion der Kontaktfuge der temporären Abdichtung im Ostquerschlag (17YEQ01/R001) - schematische Darstellung –
8. Betonieren des Befahrungs- und Injektionskanals der temporären Abdichtung im Ostquerschlag (17YEQ01/R001)
- schematische Darstellung –

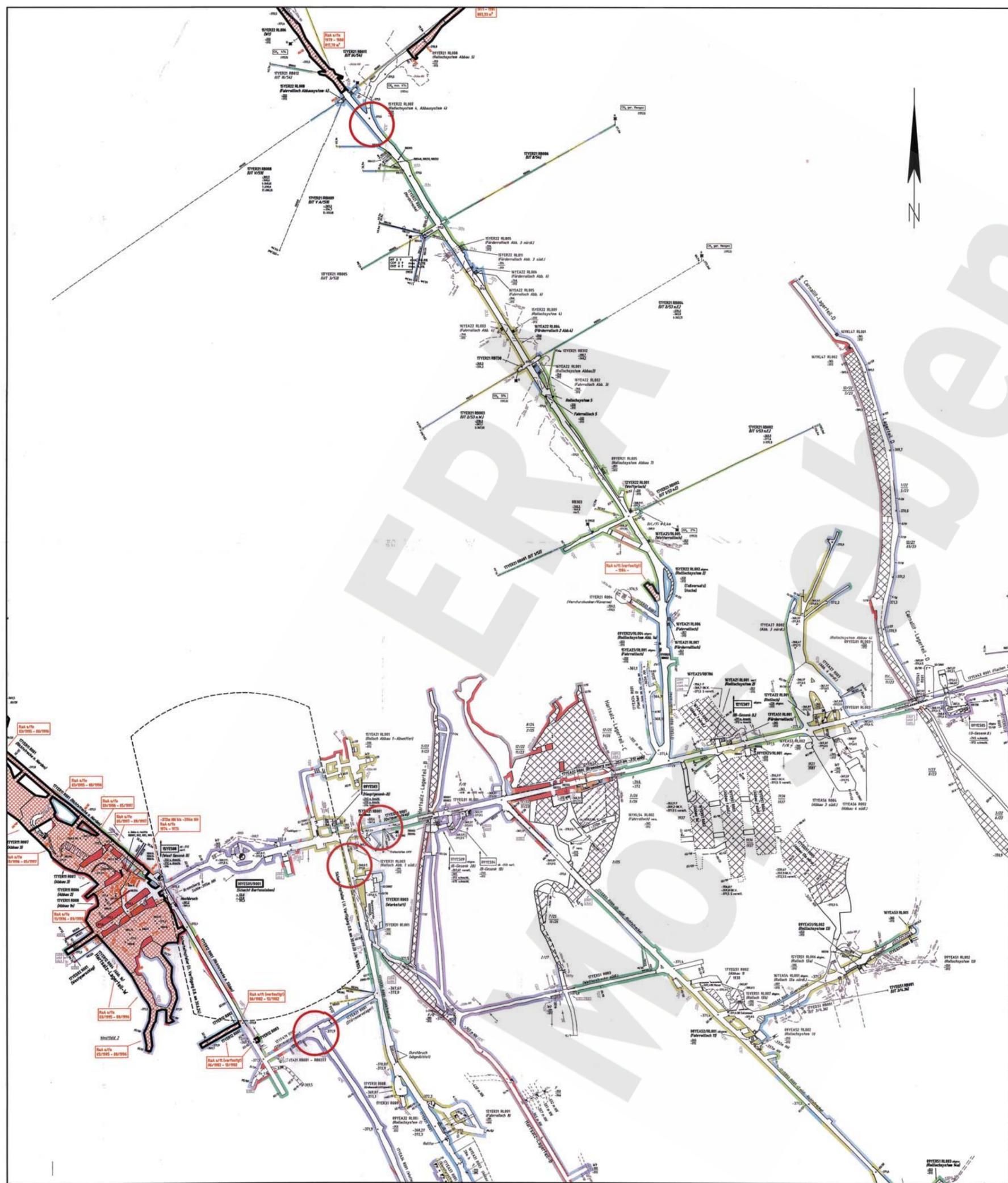
12 Abbildungsverzeichnis

Abb. 1:	Aufnahme des Streckenprofils im Gründungsbereich der Nordstrecke (17YER21/R001)	10
Abb. 2:	Abzweig zu den Einlagerungsgrubenbauen	11
Abb. 3:	Westliche Nische der Nordstrecke (17YER21/R001) mit Bohrung RB 314	11
Abb. 4:	Aufnahme des Streckenprofils im Gründungsbereich Abzweig Störreservelager (17YEA31/R001)/Wetterstrecke (17YEA34/R001)	13
Abb. 5:	Abzweighbereich mit gemauerter Wetterschleuse	13
Abb. 6:	Abzweighbereich von der Wetterstrecke (17YEA34/R001) aus betrachtet	14
Abb. 7:	Aufnahme des Streckenprofils im Gründungsbereich der Südstrecke (17YER31/R001)	15
Abb. 8:	Abmauerung von Station 9,6 m bis Station 11,8 m	16
Abb. 9:	Abmauerung von Station 5,0 m bis Station 7,5 m	17
Abb. 10:	Südstrecke (17YER31/R001) in Blickrichtung Ostquerschlag (17YEQ01/R001)	17
Abb. 11:	Aufnahme des Streckenprofils im Gründungsbereich des Ostquerschlages (17YEQ01/R001)	18
Abb. 12:	Firstsicherung im Ostquerschlag (17YEQ01/R001)	19
Abb. 13:	Gründungsbereich im Ostquerschlag (17YEQ01/R001) mit Abzweig zur Trafostation	19
Abb. 14:	Kabeltrasse mit den darunter befindlichen Untersuchungsbohrungen	20

Abb. 15:	FE-Modell mit Auflast aus dem Deckgebirge und anstehendem Fluiddruck	26
Abb. 16:	Im FE-Modell simulierter Injektionsdruck bzw. simulierte Vorspannung	28
Abb. 17:	Vorspannung an den Stößen infolge der Injektionsmaßnahme (3. Bauzustand)	32
Abb. 18:	Vorspannung an der Firste infolge der Injektionsmaßnahme (3. Bauzustand)	33
Abb. 19:	Schubbeanspruchung der Fuge am Stoß (4. Bauzustand)	33
Abb. 20:	Schubbeanspruchung der Fuge an der Firste (4. Bauzustand)	34
Abb. 21:	Einachsige Vergleichsspannung bei anstehendem Fluiddruck (4. Bauzustand)	35
Abb. 22:	Größte Hauptnormalspannung bei anstehendem Fluiddruck (4. Bauzustand)	36
Abb. 23:	Einachsige Vergleichsspannung nach 12 Jahren Kriechen (5. Bauzustand)	37
Abb. 24:	Größte Hauptnormalspannung nach 12 Jahren Kriechen (5. Bauzustand)	38
Abb. 25:	Fließkurve des Bergbaubetons in einer Rohrleitung DN 125	43
Abb. 26:	Am Streckenstoß radial verlegte Verpressschläuche im Gründungsbereich eines 55 bar Hochdruckdammes (Bsp. AV/Blumenthal)	45
Abb. 27:	Befahrungs- und Injektionsrohr (Dammrohr) mit Unterbau und Auftriebssicherung (Bsp. AV/Blumenthal)	46
Abb. 28:	Zuführungsschläuche im Befahrungs- und Injektionskanal zur Beschickung der Verpressschläuche (Bsp. AV/Blumenthal)	48

Abb. 29:	Schematische Darstellung der Injektionen aus dem Befahrungs- und Injektionsrohr über Verpressschläuche	48
Abb. 30:	Betonieren des Befahrungs- und Injektionskanals (Bsp. AV/Blumenthal)	50
Abb. 31:	Allgemeingültiger Projektplan für den Bau einer temporären Abdichtung	55

ERA
Morsleben



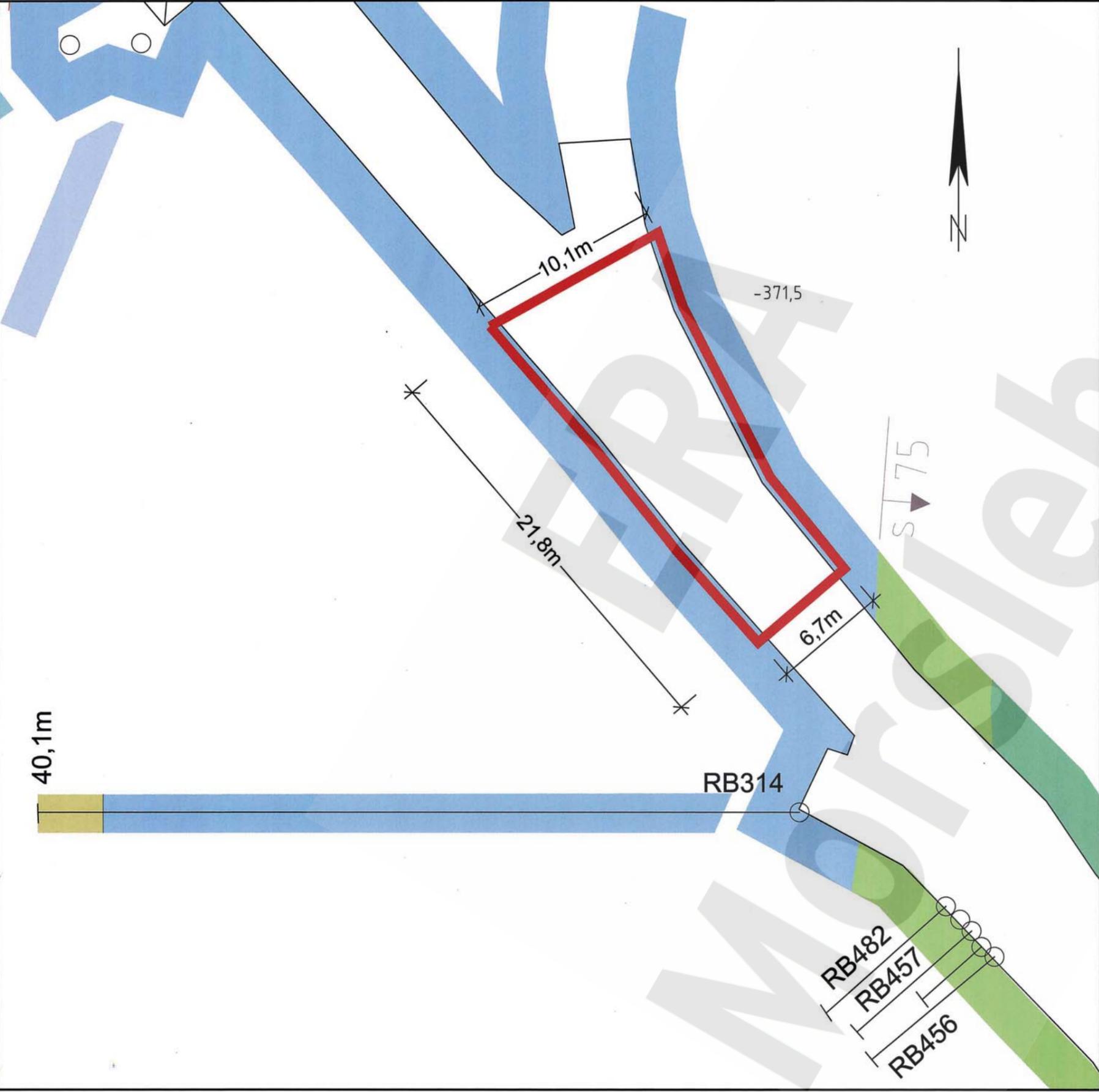
Legende:
 ○ Standort der temporären Abdichtung

DMT GmbH
 Bau Consulting
 Altbergbau & Markscheidewesen
 Fachstelle für Baugrund- und Bebauungsfragen in Bergbaugebieten
 Am Technologiepark 1, 45307 Essen
 Tel.: 0201 / 172 - 1785, Fax: 0201 / 172 - 1880
 e-mail: bc@dmtd.de Internet: www.dmt.de

Projekt: Errichtung und Nachweisführung für die Funktionstüchtigkeit von temporären Abdichtungen

Titel: Auszug aus dem Blatt Helmstedt Ost 15.3, 20.1 und 20.3 des Sohlenrisses -372 m NN im Nachtragsstand 31.12.2005, Markscheiderei ERAM

Datum	bearbeitet	gezeichnet	geprüft	Bearbeitungs-Nummer	Maßstab	Anlage
Name	Opitz	Hohmann	Opitz	3420-2006-545-006	1:2000	1
Format:	Plan-Nr.:	EDV-Datei:	06-545-006-1.dwg	Schutzvermerk nach DIN 34 beachten.		

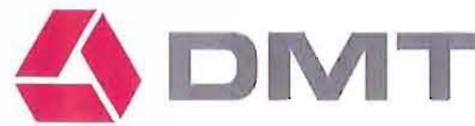
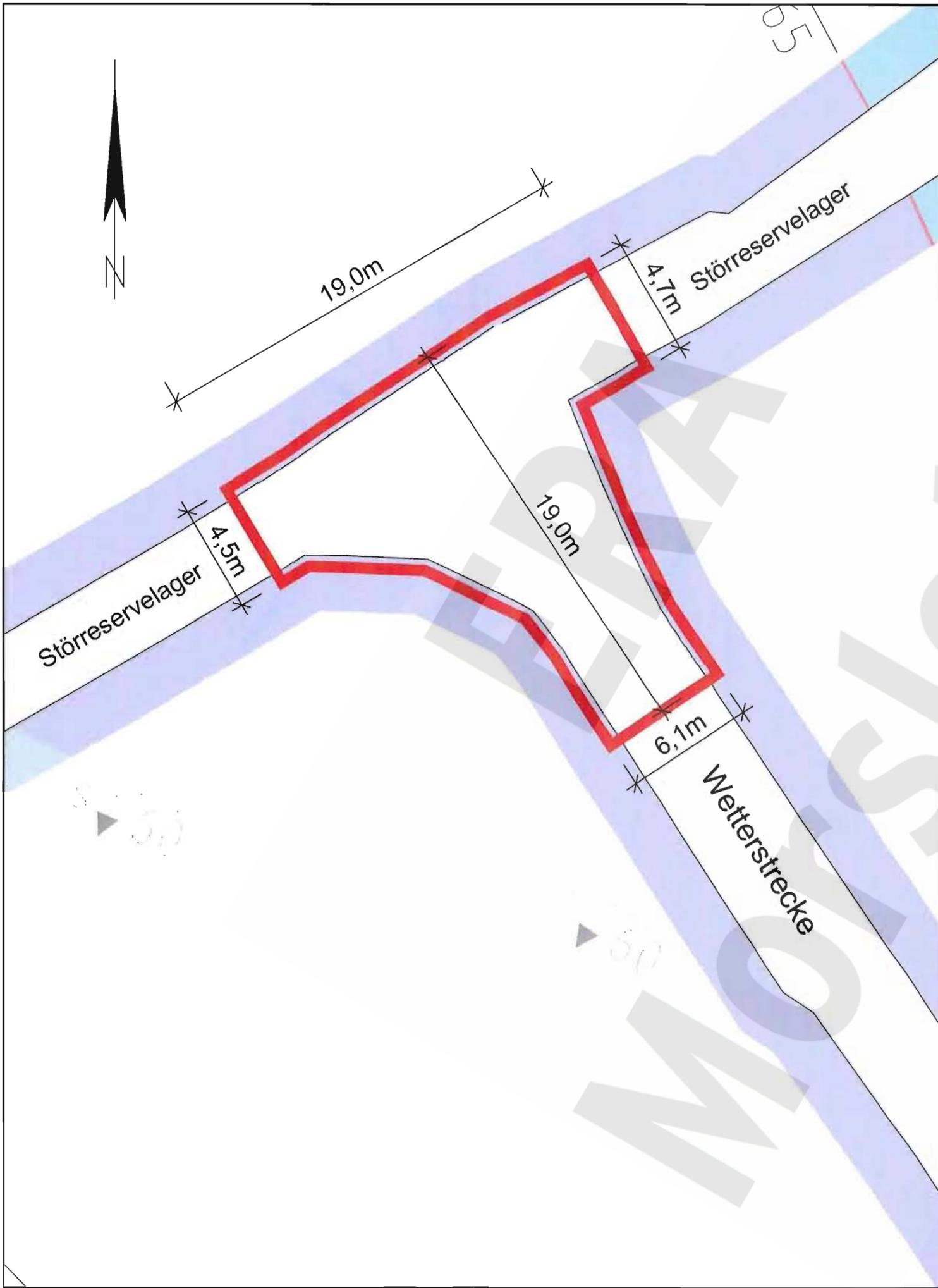


DMT
 Bau Consulting
 Altbergbau & Markscheidewesen
 Fachstelle für Baugrund- und Bebauungsfragen in Bergbauegebieten
 Am Technologiepark 1, 45307 Essen
 Tel.: 0201 / 172 - 1785, Fax: 0201 / 172 - 1880
 e-mail: bc@dmtd.de Internet: www.dmt.de

Projekt: **Errichtung und Nachweisführung für die Funktionstüchtigkeit von temporären Abdichtungen**

Titel: **Standort der temporären Abdichtung in der Nordstrecke (17YER21/R001) -schematische Darstellung-**

	bearbeitet	gezeichnet	geprüft	Bearbeitungs-Nummer	Maßstab	Anlage
Datum	12/2006	12/2006	12/2006	3420-2006-545-006	1:200	2
Name	Opitz	Hohmann	Opitz			
Format:	Plan-Nr.:	EDV-Datel: 06-545-006.dwg		Schutzvermerk nach DIN 34 beachten.		

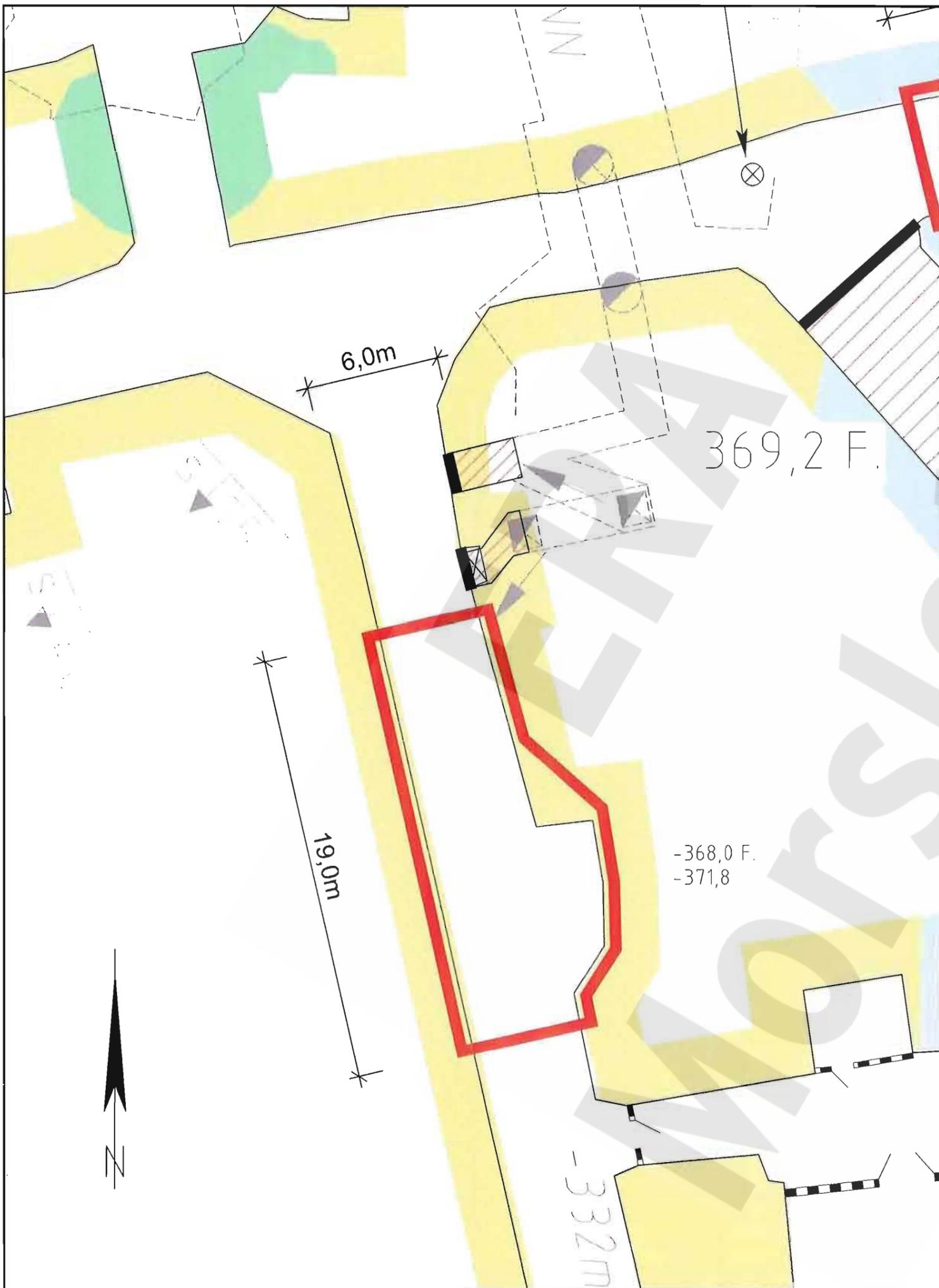


DMT GmbH
 Bau Consulting
 Altbergbau & Markscheidewesen
 Fachstelle für Baugrund- und Bebauungsfragen in Bergbaugebieten
 Am Technologiepark 1, 45307 Essen
 Tel.: 0201 / 172 - 1785, Fax: 0201 / 172 - 1880
 e-mail: bc@dm.de Internet: www.dmt.de

Projekt: **Errichtung und Nachweisführung für die Funktionstüchtigkeit von temporären Abdichtungen**

Titel: **Standort der temporären Abdichtung im westlichen Störreservelager (17YEA31/R001) -schematische Darstellung-**

	bearbeitet	gezeichnet	geprüft	Bearbeitungs-Nummer	Maßstab	Anlage
Datum	12/2006	12/2006	12/2006	3420-2006-545-006	1:200	3
Name	Opltz	Hohmann	Opltz			
Format:	Plan-Nr.:		EDV-Datei: 06-545-006.dwg	Schutzvermerk nach DIN 34 beachten.		



Legende:



zusätzlich betonierter Grubenraum zur Schaffung eines Widerlagers



DMT GmbH
 Bau Consulting
 Altbergbau & Markscheidewesen
 Fachstelle für Baugrund- und Bebauungsfragen in Bergbaugebieten
 Am Technologiepark 1, 45307 Essen
 Tel.: 0201 / 172 - 1785, Fax: 0201 / 172 - 1880
 e-mail: bc@dmt.de Internet: www.dmt.de

Projekt: **Errichtung und Nachweisführung
für die Funktionstüchtigkeit von temporären Abdichtungen**

Titel: **Standort der temporären Abdichtung in der Südstrecke (17YER31/R001)
-schematische Darstellung-**

	bearbeitet	gezeichnet	geprüft	Bearbeitungs-Nummer	Maßstab	Anlage
Datum	12/2006	12/2006	12/2006	3420-2006-545-006	1:200	4
Name	Opitz	Hohmann	Opitz			
Format:	Plan-Nr.:		EDV-Datei: 06-545-006.dwg	Schutzvermerk nach DIN 34 beachten.		

15YEA21 RB001

Kabelloch

-331,4

-367,6

17YEQ01 R001
(Ostquerschlag)

19,0m

5,6m

369,2 F.

RB016

RB015

RB014

RB013

G (200)

Legende:



zusätzlich betonierter Grubenraum zur Schaffung eines Widerlagers



DMT GmbH
Bau Consulting
Altbergbau & Markscheidewesen
Fachstelle für Baugrund- und Bebauungsfragen in Bergbaugebieten
Am Technologiepark 1, 45307 Essen
Tel.: 0201 / 172 - 1785, Fax: 0201 / 172 - 1880
e-mail: bc@dm.de Internet: www.dmt.de

Projekt: Errichtung und Nachweisführung
für die Funktionstüchtigkeit von temporären Abdichtungen

Titel: Standort der temporären Abdichtung im Ostquerschlag (17YEQ01/R001)
-schematische Darstellung-

	bearbeitet	gezeichnet	geprüft	Bearbeitungs-Nummer	Maßstab	Anlage
Datum	12/2006	12/2006	12/2006	3420-2006-545-006	1:200	5
Name	Oplitz	Hohmann	Oplitz			
Format:	Plan-Nr.:		EDV-Datei: 06-545-006.dwg	Schutzvermerk nach DIN 34 beachten.		

15YEA21 RB001

Kabelloch

-331,4
-367,6

17YEQ01 R001
(Ostquerschlag)

19,0m

Befahrungs-
u. Injektionsrohr

5,6m

RB014

RB013

RB015

RB016

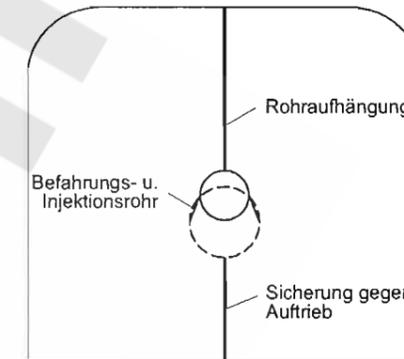
G (200)

369,2 F.

Injektion der Fuge

Querschnitt

M: 1:100



Legende:



zusätzlich betonierter Grubenraum zur Schaffung eines Widerlagers



DMT GmbH
Bau Consulting
Altbergbau & Markscheidewesen
Fachstelle für Baugrund- und Bebauungsfragen in Bergbaugebieten
Am Technologiepark 1, 45307 Essen
Tel.: 0201 / 172 - 1785, Fax: 0201 / 172 - 1880
e-mail: bc@dm.de Internet: www.dmt.de

Projekt: Errichtung und Nachweisführung
für die Funktionstüchtigkeit von temporären Abdichtungen

Titel: Vorbereitung der Betonierarbeiten im Ostquerschlag (17YEQ01/R001)
-schematische Darstellung-

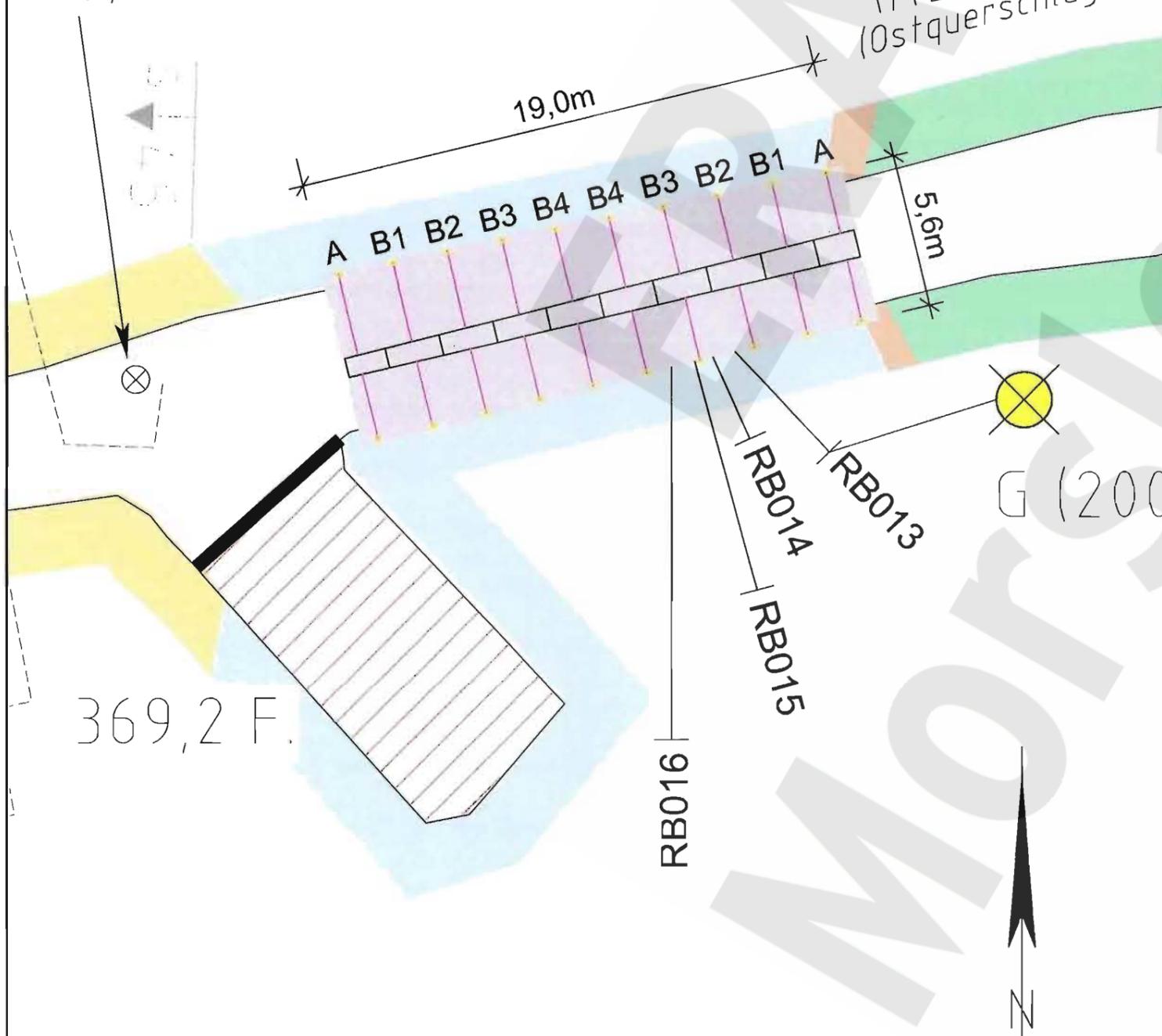
	bearbeitet	gezeichnet	geprüft	Bearbeitungs-Nummer	Maßstab	Anlage
Datum	12/2006	12/2006	12/2006	3420-2006-545-006	1:200	6
Name	Opitz	Hohmann	Opitz			
Format:	Plan-Nr.:		EDV-Datei: 06-545-006-6.dwg	Schutzvermerk nach DIN 34 beachten.		

15YEA21 RB001

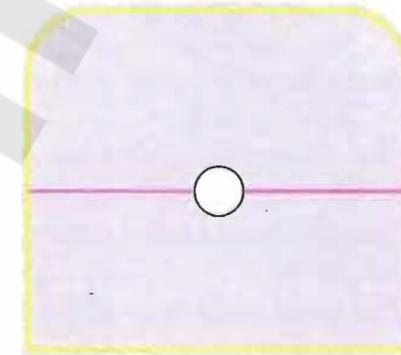
Kabelloch

-331,4
-367,6

17YEQ01 R001
(Ostquerschlag)



Querschnitt
M: 1:100



Legende:

-  zusätzlich betonierter Grubenraum zur Schaffung eines Widerlagers
-  Verpressschlauch
-  Zuführungsschlauch



DMT GmbH
 Bau Consulting
 Altbergbau & Markscheidewesen
 Fachstelle für Baugrund- und Bebauungsfragen in Bergbaugebieten
 Am Technologiepark 1, 45307 Essen
 Tel.: 0201 / 172 - 1785, Fax: 0201 / 172 - 1880
 e-mail: bc@dm.de Internet: www.dmt.de

Projekt: **Errichtung und Nachweisführung
für die Funktionstüchtigkeit von temporären Abdichtungen**

Titel: **Injektion der Kontaktfuge der temporären Abdichtung im Ostquerschlag (17YEQ01/R001)
-schematische Darstellung-**

	bearbeitet	gezeichnet	geprüft	Bearbeitungs-Nummer	Maßstab	Anlage
Datum	12/2006	12/2006	12/2006	3420-2006-545-006	1:200	7
Name	Opitz	Hohmann	Opitz			
Format:	Plan-Nr.:	EDV-Datei: 06-545-006-7.dwg		Schutzvermerk nach DIN 34 beachten.		

15YEA21 RB001

Kabelloch

-331,4
-367,6

17YEQ01 R001
(Ostquerschlag)

19,0m

5,6m

RB014

RB013

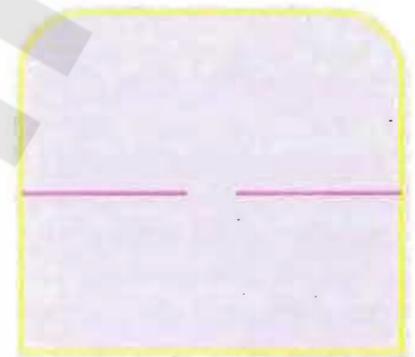
RB015

RB016

G (200)

369,2 F.

Querschnitt
M: 1:100



Legende:



zusätzlich betonierter Grubenraum zur Schaffung eines Widerlagers



Verpressschlauch



Zuführungsschlauch



DMT GmbH
 Bau Consulting
 Altbergbau & Markscheidewesen
 Fachstelle für Baugrund- und Bebauungsfragen in Bergbaugebieten
 Am Technologiepark 1, 45307 Essen
 Tel.: 0201 / 172 - 1785, Fax: 0201 / 172 - 1880
 e-mail: bc@dm.de Internet: www.dmt.de

Projekt: **Errichtung und Nachweisführung für die Funktionstüchtigkeit von temporären Abdichtungen**

Titel: **Betonieren des Befahrungs- und Injektionskanals der temporären Abdichtung im Ostquerschlag (17YEQ01/R001) -schematische Darstellung-**

	bearbeitet	gezeichnet	geprüft	Bearbeitungs-Nummer	Maßstab	Anlage
Datum	12/2006	12/2006	12/2006	3420-2006-545-006	1:200	8
Name	Opitz	Hohmann	Opitz			
Format:	Plan-Nr.:	EDV-Datei: 06-545-006-8.dwg		Schutzvermerk nach DIN 34 beachten.		