

**Deckblatt**

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd.Nr.	Rev.	Seite: I
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9M		GH	RB	0093	00	Stand: 14 03 2007

Titel der Unterlage:

STILLEGUNG ENDLAGER MORSLEBEN  
VERFÜLLEN VON STRECKEN MIT HOHEN ANFORDERUNGEN  
KONZEPT- UND SYSTEMBESCHREIBUNG

Ersteller:

BFS/RALF MAUKE

Textnummer:

Stempelfeld:

Freigabe für Behörden: 20.3.2007



Datum und Unterschrift

Freigabe im Projekt: 20.3.2007



Datum und Unterschrift

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

## Revisionsblatt

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd.Nr.	Rev.	Seite: II
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9M		GH	RB	0093	00	Stand: 14.03.2007

Titel der Unterlage:

STILLEGUNG ENDLAGER MORSLEBEN  
 VERFÜLLEN VON STRECKEN MIT HOHEN ANFORDERUNGEN  
 KONZEPT- UND SYSTEMBESCHREIBUNG

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

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

# **Stilllegung Endlager Morsleben Verfüllen von Strecken mit hohen Anforderungen**

**Konzept- und Systembeschreibung**

**Fachbereich  
Sicherheit nuklearer Entsorgung**

**Ralf Mauke**

SE-IB-18/07

Salzgitter, März 2007

## Kurzfassung

Verfasser: Ralf Mauke

Titel: Stilllegung Endlager Morsleben, Verfüllen von Strecken mit hohen Anforderungen, Konzept- und Systembeschreibung

Stand: 14.03.2007

Stichworte: ERAM, Stilllegung, Streckenabdichtungen, Auslegungsanforderungen, Konzeptbeschreibung, Komponentenbeschreibung, Qualitätssicherung

Im Rahmen der Stilllegung des Endlagers für radioaktive Abfälle Morsleben (ERAM) werden als wesentlicher Bestandteil des Stilllegungskonzeptes ausgewählte Strecken und Rolllöcher qualifiziert verfüllt, um die Einlagerungsbereiche von der Restgrube zu trennen. An diese Verfüllungen, die als Abdichtungen bezeichnet werden, werden besondere Anforderungen hinsichtlich der einzuhaltenden Permeabilität gestellt.

In der vorliegenden Unterlage werden nach einer Beschreibung der Aufgabenstellung zunächst die Auslegungsanforderungen an die Abdichtungsbauwerke erläutert. Dabei wird auf die Bedeutung der Abdichtungen im Rahmen des Stilllegungskonzeptes sowie auf die Anforderungen gemäß Langzeitsicherheitsnachweis eingegangen.

Anschließend erfolgt die Erläuterung der Standorte der Abdichtungsbauwerke und der Ausführungsvarianten. Die Beschreibung der Komponenten eines Abdichtungsbauwerks sowie Ausführungen zu den qualitätssichernden Maßnahmen schließen die Konzept- und Systembeschreibung.

# INHALTSVERZEICHNIS

Kurzfassung .....	2
Inhaltsverzeichnis .....	3
Abbildungsverzeichnis .....	4
Tabellenverzeichnis .....	4
1 Aufgabenstellung .....	5
2 Auslegungsanforderungen .....	6
2.1 Vorbemerkung .....	6
2.1.1 Stilllegungskonzept und Langzeitsicherheitsnachweis .....	6
2.2 Anforderungen .....	7
2.2.1 Anforderungen gemäß Stilllegungskonzept .....	7
2.2.2 Anforderungen gemäß Langzeitsicherheitsnachweis .....	7
2.3 Belastungen und Nachweise für die Abdichtungen .....	7
2.3.1 Belastungen .....	7
2.3.2 Nachweise .....	8
3 Konzeptbeschreibung .....	9
3.1 Standorte der Abdichtungsbauwerke .....	9
3.2 Konstruktion .....	16
3.2.1 Horizontale Streckenabdichtungen .....	16
3.2.2 Vertikale Abdichtung im südlichen Wetterrollloch .....	17
4 Komponentenbeschreibung .....	18
5 Qualitätssicherung .....	20

Gesamtseitenzahl: 22

# ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abb. 1: Bereiche für Abdichtungslokationen, 1. Sohle (-253 mNN) .....	11
Abb. 2: Bereiche für Abdichtungslokationen, 2. Sohle (-291 mNN) .....	12
Abb. 3: Bereiche für Abdichtungslokationen, 3. Sohle (-332 mNN) .....	13
Abb. 4: Bereiche für Abdichtungslokationen, 4. Sohle (-372 mNN) .....	14
Abb. 5: Bereiche für Abdichtungslokationen, Wetterrollloch südlich, 1. bis 4. Sohle .....	15
Abb. 6: Schematische Darstellung eines Abdichtungssegmentes .....	16
Abb. 7: Schematische Darstellung der Abdichtung des südlichen Wetterrolllochs .....	17

# TABELLENVERZEICHNIS

Tab. 1: Übersicht über Bereiche für Abdichtungslokationen .....	10
---	----

# 1 AUFGABENSTELLUNG

Das Bundesamt für Strahlenschutz hat die erforderlichen Maßnahmen für den Abschluss des Betriebes des Endlagers für radioaktive Abfälle Morsleben (ERAM) geplant. Um in der Nachbetriebsphase unzulässige Freisetzungen von Radionukliden in die Biosphäre ausschließen zu können, ist ein Stilllegungskonzept für das ERAM erarbeitet worden. Für dieses Stilllegungskonzept wird auf Grundlage zweier unterschiedlicher Modellansätze der Langzeitsicherheitsnachweis erbracht.

Das Stilllegungskonzept basiert auf einer weitgehenden Vollverfüllung des gesamten Grubengebäudes mit einem hydraulisch abbindenden Baustoff mit Salzzuschlag. Hierdurch wird die Integrität der Salzbarriere des Grubengebäudes gewährleistet. Des Weiteren werden Umlöseprozesse durch zutretende Wässer minimiert und der Zutritt von Lösungen an die Abfälle sowie der spätere Austrag von kontaminierter Lösung aus dem Grubengebäude verzögert.

An die Verfüllungen von ausgewählten Strecken und Rolllöchern - die als Abdichtungen bezeichnet werden - bestehen dabei besondere Anforderungen. Ihre Aufgabe ist es, die Einlagerungsbereiche, in denen sich radioaktive Abfälle befinden, hydraulisch von der Restgrube zu trennen, wobei als Restgrube die Hohlräume außerhalb der abgedichteten Einlagerungsbereiche bezeichnet werden. Durch die Abdichtungen wird somit eine Verzögerung des Zutritts von Lösungen in die Einlagerungsbereiche erreicht. Bevorzugte Lokationen für die Abdichtungen sind Strecken in Steinsalzbereichen. Zur Abdichtung der Schächte Bartensleben und Marie sind Schachtverschlüsse vorgesehen, die nicht Gegenstand der vorliegenden Unterlage sind.

In dieser Konzept- und Systembeschreibung für die Abdichtungsbauwerke werden die Funktion der Abdichtungsbauwerke im Stilllegungskonzept sowie ihre Lokationen beschrieben. Weiterhin wird die Konstruktion der Abdichtungen sowie ihre Wirkungsweise erläutert.



## 2 AUSLEGUNGSANFORDERUNGEN

### 2.1 VORBEMERKUNG

Zur Erläuterung der Bedeutung der Abdichtungen im Stilllegungskonzept sowie im Langzeitsicherheitsnachweis werden in den nachfolgenden Abschnitten die für die Abdichtungen relevanten Aspekte des Stilllegungskonzeptes/Langzeitsicherheitsnachweises beschrieben.

#### 2.1.1 Stilllegungskonzept und Langzeitsicherheitsnachweis

Die geplante Stilllegung des ERAM basiert auf einem Konzept mit weitgehender Verfüllung der Hohlräume in Abbauen, Rolllöchern und Strecken. Die radioaktiven Abfälle befinden sich in Einlagerungsbereichen. Mit technischen Barrieren werden die Einlagerungsbereiche West-Süd-Feld und Ostfeld sowie die Schächte Bartensleben und Marie abgedichtet. Eine Abdichtung der Einlagerungsbereiche Nordfeld, Zentralteil und Untertagemessfeld (UMF) ist wegen der dort vorhandenen geometrischen und gebirgsmechanischen Verhältnisse nicht möglich. Das Konzept ist dahin ausgerichtet, Lösungszutritte in die Grubengebäude und den Schadstofftransport aus den Grubengebäuden langfristig zu behindern. Neben den Abdichtungen tragen auch die hohlraumreduzierenden und stabilisierenden Maßnahmen zur Verzögerung des Schadstofftransports bei.

Lösungszutritte über potenzielle Schwachstellen im Gebirge können nicht vollständig ausgeschlossen werden.

Durch die umfangreichen Verfüllmaßnahmen bleibt einerseits die Standsicherheit des Grubengebäudes erhalten, andererseits wird das für Lösungen zur Verfügung stehende Hohlraumvolumen reduziert. Unkontrollierbare Hohlraumneubildungen infolge von Umlöseprozessen werden so minimiert.

Durch in den Grubengebäuden nach Abschluss der Stilllegungsmaßnahmen verbliebene Lösung bzw. eventuell in die verschlossenen Grubengebäude zutretende Lösung kann diese jedoch beim Kontakt mit den radioaktiven Abfällen kontaminiert und durch Konvergenz und Gasproduktion aus den Grubengebäuden ausgepresst werden. Die dabei zu erwartenden Freisetzungsraten sind allerdings gering. Der Transport der Schadstoffe erfolgt zudem so langsam, dass ein Großteil der Radionuklide bereits vor dem Erreichen der Biosphäre zerfallen ist.

Entsprechend den Anforderungen an die Verfüllung wurden alle Grubenbaue vier verschiedenen Verfüllkategorien zugeordnet:

- Verfüllkategorie I: Qualitativ hochwertig verfüllte Strecken und Rolllöcher, die als Abdichtungen dienen und die Einlagerungsbereiche von der Restgrube abgrenzen.
- Verfüllkategorie II: Abbaue, die geomechanisch durch den einzubringenden Versatz zu stützen und zum Erreichen der erforderlichen Stützwirkung bis zum dafür erforderlichen Grad zu verfüllen sind.
- Verfüllkategorie III: Abbaue, die zu keiner der anderen Kategorien gehören, werden zur Hohlraumreduzierung feldesweise mit einem durchschnittlichen Verfüllgrad von ca. 65 % verfüllt.
- Verfüllkategorie IV: Kalilager, die so gut wie möglich mit technisch vertretbarem Aufwand verfüllt werden.

Die in der vorliegenden Unterlage beschriebenen Abdichtungsbauwerke sind der Verfüllkategorie I zuzuordnen.

## **2.2 ANFORDERUNGEN**

### **2.2.1 Anforderungen gemäß Stilllegungskonzept**

Aus dem Stilllegungskonzept ergeben sich für die Abdichtungsstandorte folgende Anforderungen, die bei der Auswahl berücksichtigt werden.

- Im Hinblick auf die technische Realisierbarkeit sollen die Abdichtungen grundsätzlich in streckenähnlichen Grubenbauen errichtet werden.
- Zur Vermeidung von Umläufigkeiten in Folge Umlösungen sind die Abdichtungen nach Möglichkeit in Steinsalzstrecken zu errichten.
- Um großräumige Auflockerungen ausschließen zu können, dürfen sich keine großen Abbaue in der Nähe der Abdichtungsstandorte befinden.
- Die Wahrscheinlichkeit, dass bisher nicht erfasste Bohrungen vorhanden sind, muss klein sein.

Potenzielle Zutrittspfade für Lösungen existieren nur für die Restgrube, die abzudichtenden Einlagerungsbereiche weisen keine potenziellen Zutrittspfade auf.

### **2.2.2 Anforderungen gemäß Langzeitsicherheitsnachweis**

Eine Abdichtung setzt sich aus den Elementen Abdichtungskörper, Kontaktzone zwischen Streckensaum und Abdichtungskörper und der konturnahen Auflockerungszone im Gebirge zusammen.

Die grundlegende Anforderung an die Abdichtungen ergibt sich aus dem Langzeitsicherheitsnachweis. Für die dem Langzeitsicherheitsnachweis zu Grunde gelegten Abmessungen der Abdichtungen ist ein querschnittsgemittelter hydraulischer Widerstand als Anfangswert zu gewährleisten, der sich bei einer Permeabilität  $k \leq 10^{-18} \text{ m}^2$  (Referenzfall im Langzeitsicherheitsnachweis) ergibt.

Bei der Anforderung handelt es sich um den Anfangswert des hydraulischen Widerstandes. Eine Zunahme der Permeabilität ist wegen des korrosiven Angriffs durch magnesiumreiche Lösungen beim Durchströmen der Bauwerke nicht zu verhindern. Wegen des radioaktiven Zerfalls werden die Anforderungen an die Abdichtungen über die Zeit geringer. Eine Permeabilitätserhöhung in Folge Korrosion wird in den Langzeitsicherheitsanalysen berücksichtigt.

## **2.3 BELASTUNGEN UND NACHWEISE FÜR DIE ABDICHTUNGEN**

### **2.3.1 Belastungen**

Die Belastungen ergeben sich aus den betrachteten Fällen hinsichtlich des Zeitpunktes und der Dauer des Zulaufes von Lösungen in das Endlager. Hierbei wird zwischen den Fällen

- lange trockenes Endlager und
- Zulauf innerhalb von 2.500 Jahren (Prologphase für das Grubenfeld Bartensleben)

unterschieden. Die Dauer des Zulaufes von 2.500 Jahren ergibt sich aus den durch Modellrechnungen zu den hydraulischen Verhältnissen im Deckgebirge abgeschätzten maximalen Zutrittsraten von  $260 \text{ m}^3/\text{a}$  (unterstellter Ausfall der Barriere Salzgebirge unter ungünstigen Umständen) und einer Konvergenzrate von  $5 \cdot 10^{-5}/\text{a}$ .

Im Falle des lange trockenen Endlagers wird davon ausgegangen, dass innerhalb von 30.000 Jahren kein Fluidruck ansteht.

Für das Szenario des Zutritts von Lösungen in das Endlager wird bei Ansatz eines Lösungsspiegels bis zur Tagesoberfläche der maximal mögliche Lösungsdruck als einseitige Belastung auf der Zuflusseite der Abdichtungen angesetzt.

Der Fluidruck auf der dem Einlagerungsbereich zugewandten Seite der Abdichtung resultiert aus der Gebirgskonvergenz und der möglichen Zersetzung gasbildender Stoffe. Als einseitige Fluidruckbelastung auf den Abdichtungskörper wird der maßgebende der beiden Lastfälle Lösungsdruck und Gasdruck angesetzt.

Weitere Belastungen des Bauwerks sind der Gebirgsdruck, die Korrosion durch Salzlösungen und die Wärmeentwicklung beim Abbinden des Baustoffes.

### **2.3.2 Nachweise**

Die unter Berücksichtigung der aufgeführten Belastungen im Rahmen der Konzeptplanung erbrachten Nachweise für das Abdichtungsbauwerk sind

- der Nachweis eines ausreichenden hydraulischen Widerstandes,
- der Nachweis der Lagesicherheit,
- der Nachweis der Rissbeschränkung sowie
- der Nachweis der erforderlichen Dauer der Funktionstüchtigkeit

Die Nachweisführung ist nicht Gegenstand der vorliegenden Unterlage, sondern wird in separaten Unterlagen dargestellt.

## **3 KONZEPTBESCHREIBUNG**

### **3.1 STANDORTE DER ABDICHTUNGSBAUWERKE**

Die Standorte der Abdichtungsbauwerke ergeben sich aus der Aufgabe, die Einlagerungsbereiche von der Restgrube zu trennen. Bei der Auswahl der Standorte müssen die in Abschnitt 2.2.1 aufgeführten Anforderungen sowie die potenziellen Zutrittsstellen Berücksichtigung finden. Die jeweils ansetzbare Länge an hydraulisch wirksamem Widerstand, die als Eingangsgröße in den Langzeitsicherheitsnachweis eingeht, ist dabei von den örtlichen Randbedingungen abhängig (Streckenlänge, Geologie, Bohrlöcher, etc.).

Unter diesen Aspekten ergeben sich für die Einlagerungsbereiche Ostfeld und West-Südfeld die in Tabelle 1 aufgeführten und in Abbildung 1 bis 5 dargestellten Abdichtungsstandorte. Zur Abdichtung von mit Abfällen belegten Grubenbauen im Nordfeld und im Zentralteil lassen sich keine nennenswerten Abdichtungslängen nachweisen. Die Inventare dieser Feldesteile werden daher in den Modellen der Langzeitsicherheitsanalysen ohne Verzögerung freigesetzt.

Tab. 1: Übersicht über Bereiche für Abdichtungslokationen

Feldesteil	Sohle	Bezeichnung	Darstellung in Abb.
Ostfeld	2. Sohle -291 mNN	Ostquerschlag (zwischen Kalilager E und Ostfeld)	2
	4. Sohle -372 mNN	Ostquerschlag (zwischen Kalilager E und Ostfeld)	4
Südfeld	1. Sohle -253 mNN	nördliche Verbindungsstrecke	1
	2. Sohle -291 mNN	nördliche Verbindungsstrecke	2
	3. Sohle -332 mNN	nördliche Verbindungsstrecke	3
	1. Sohle -253 mNN	Ostquerschlag (zwischen Kalilager B und C)	1
	2. Sohle -291 mNN	Ostquerschlag (zwischen Kalilager B und C)	2
	3. Sohle -332 mNN	Ostquerschlag (zwischen Kalilager B und C)	3
	4. Sohle -372 mNN	Ostquerschlag (zwischen Kalilager B und C)	4
	1. Sohle -253 mNN	Wetterstrecke südlich	1
	2. Sohle -291 mNN	Wetterstrecke südlich	2
	3. Sohle -332 mNN	Wetterstrecke südlich	3
	4. Sohle -372 mNN	Wetterstrecke südlich	4
	2. Sohle -291 mNN	1. südliche Richtstrecke	2
	1. bis 4. Sohle -253 bis -372 mNN	Wetterrolloch südlich	5
	3. Sohle -332 mNN	Verbindungsstrecke Bergemühle - südliche Wetterstrecke	3
	2. Sohle -291 mNN	nördliche Richtstrecke (nach Marie)	2
3. Sohle -332 mNN	1. nördliche Richtstrecke (nach Marie)	3	
Westfeld	3. Sohle -332 mNN	Westquerschlag	3
	4. Sohle -372 mNN	Richtstrecke nach Süden <sup>1)</sup>	4
	4. Sohle -372 mNN	Störreservelager <sup>1)</sup>	4
	4. Sohle -372 mNN	Westquerschlag	4

<sup>1)</sup> redundante Maßnahmen

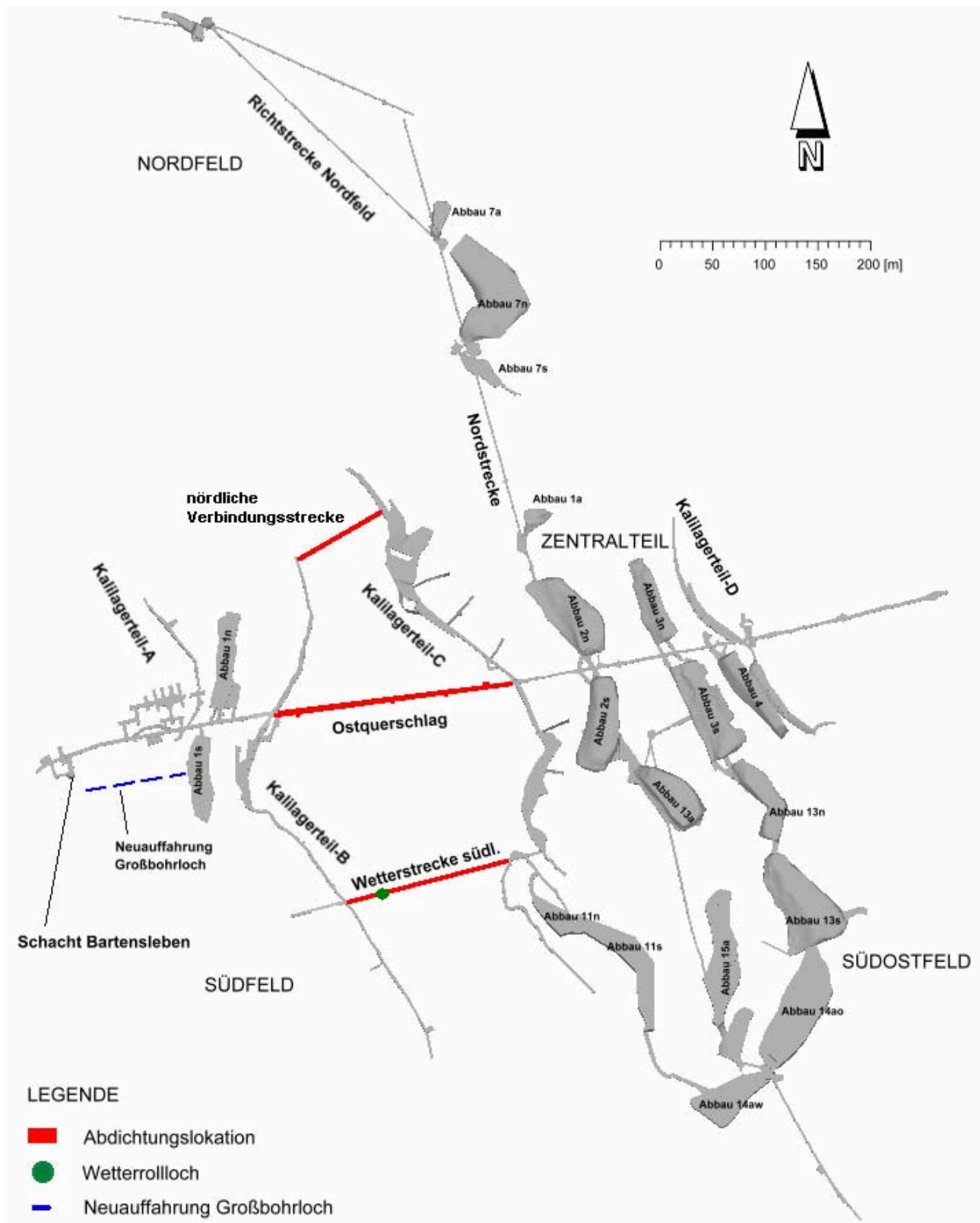


Abb. 1: Bereiche für Abdichtungslokationen, 1. Sohle (-253 mNN)

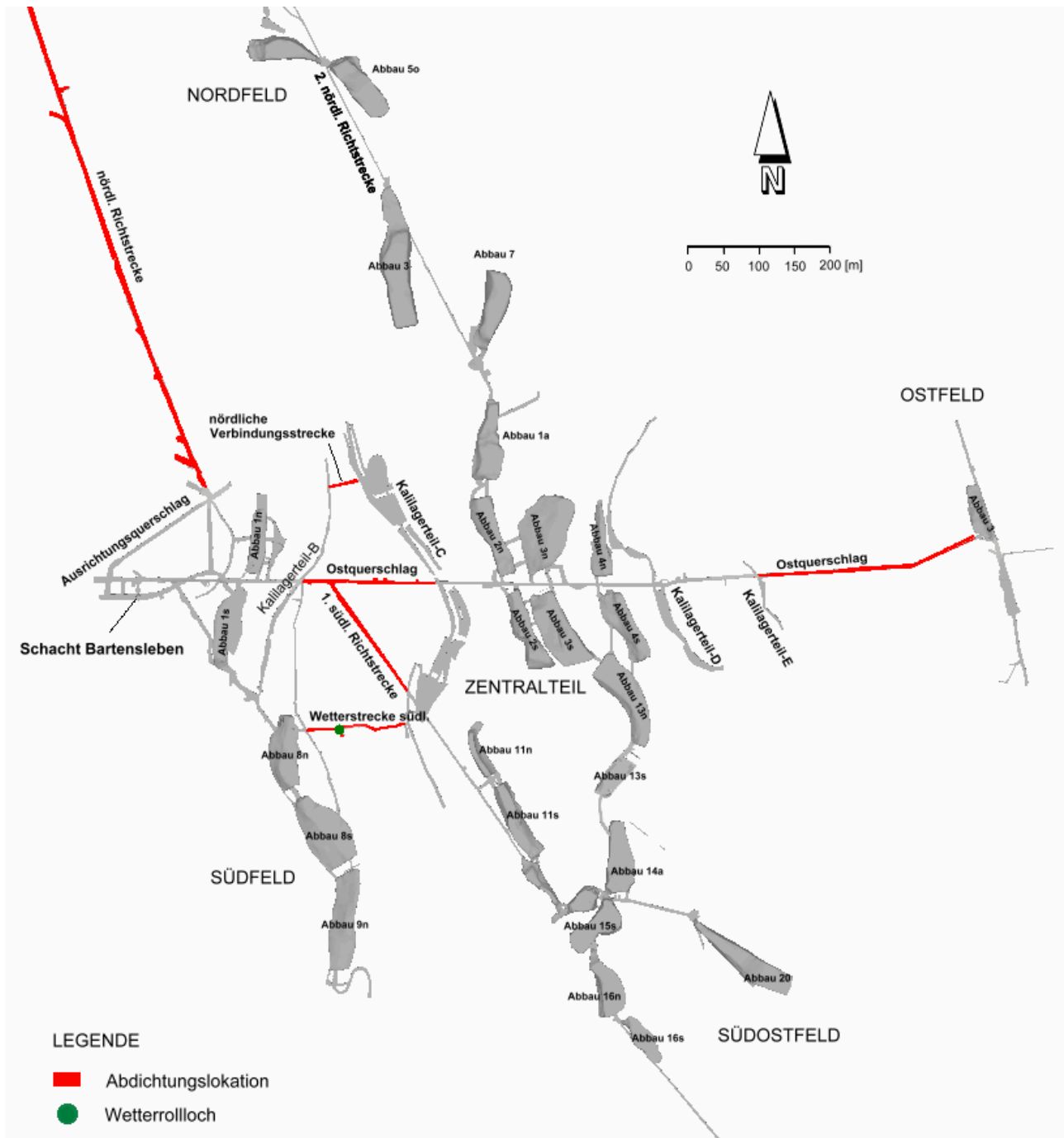


Abb. 2: Bereiche für Abdichtungslokationen, 2. Sohle (-291 mNN)

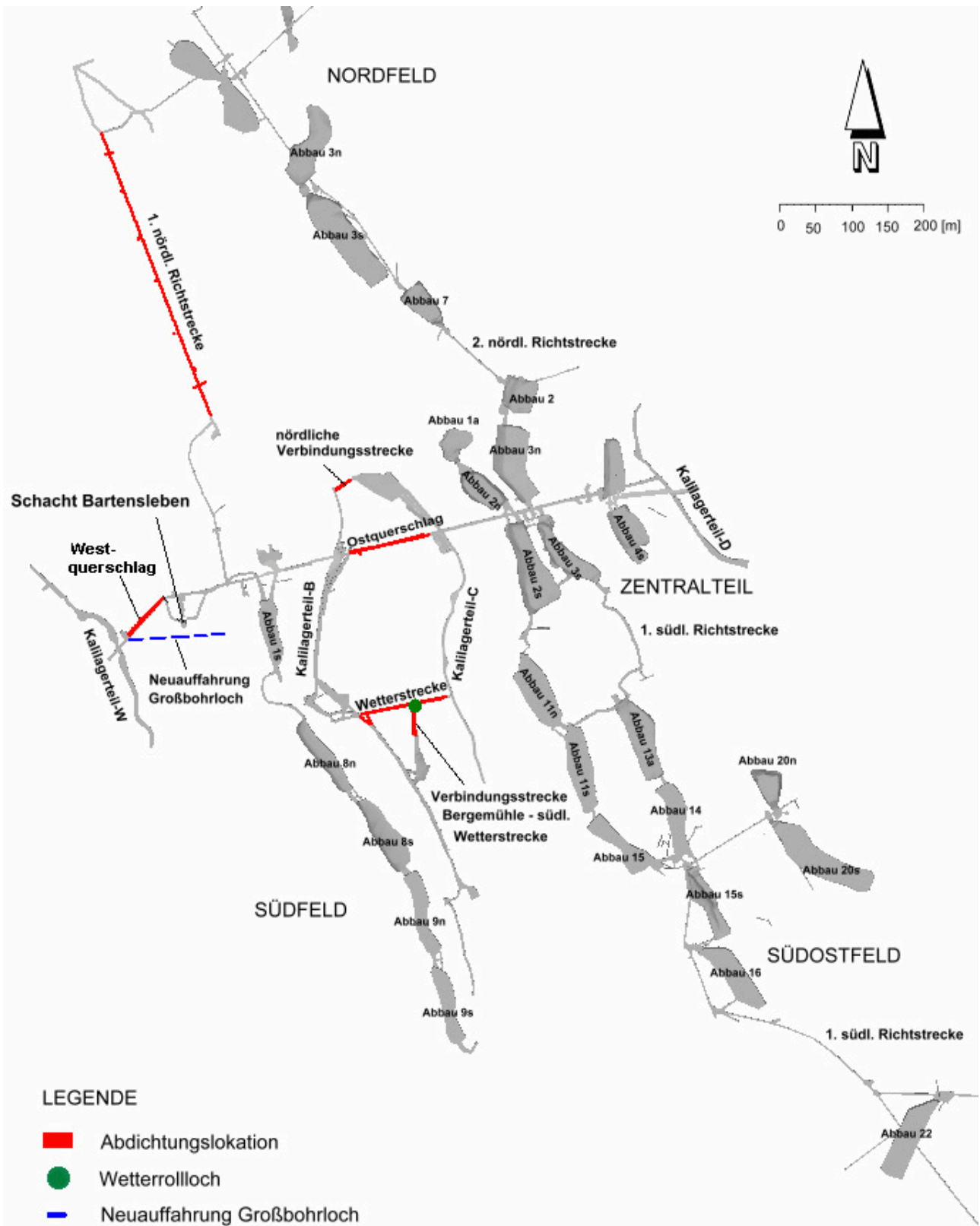


Abb. 3: Bereiche für Abdichtungslokationen, 3. Sohle (-332 mNN)



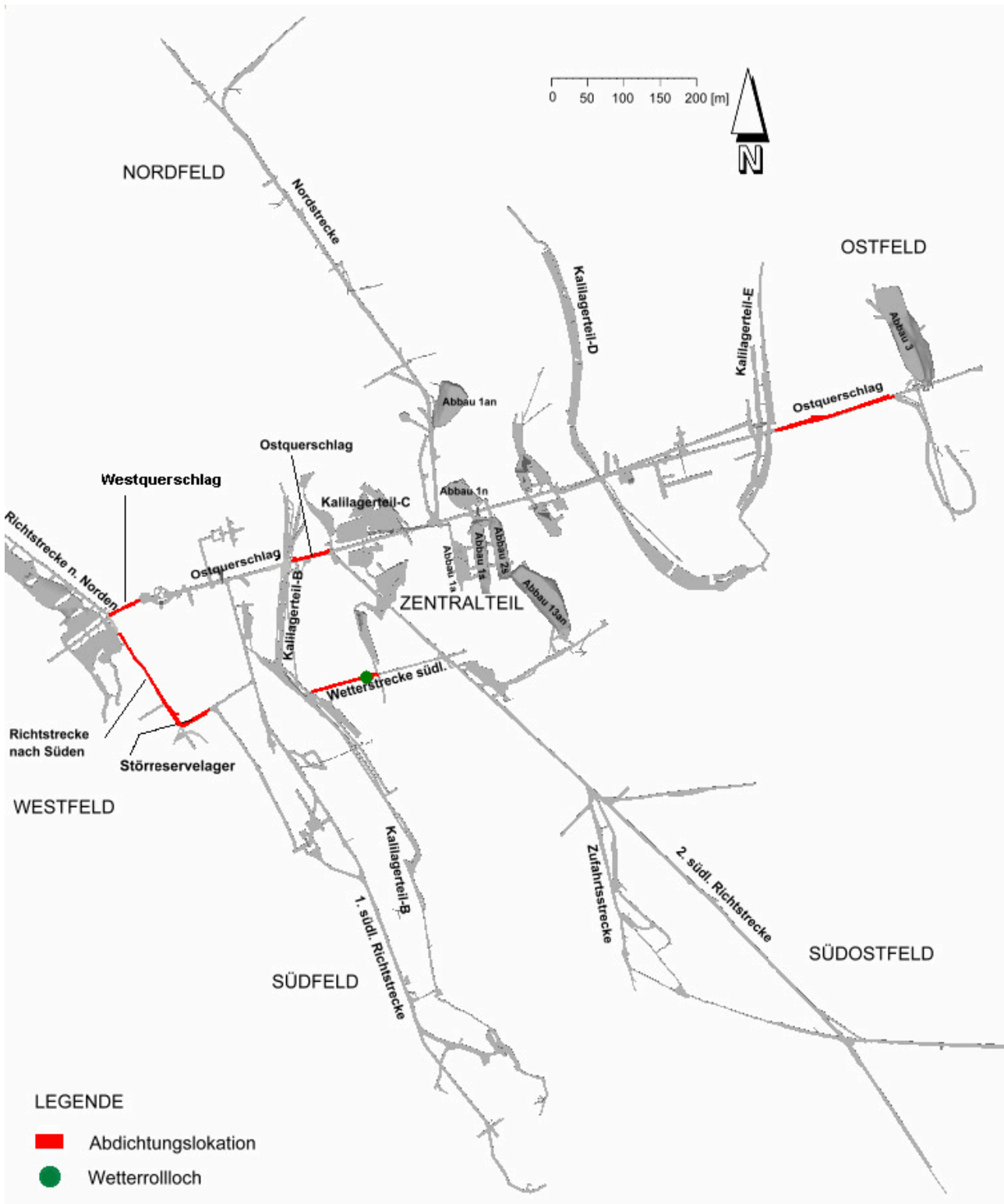


Abb. 4: Bereiche für Abdichtungslokationen, 4. Sohle (-372 mNN)

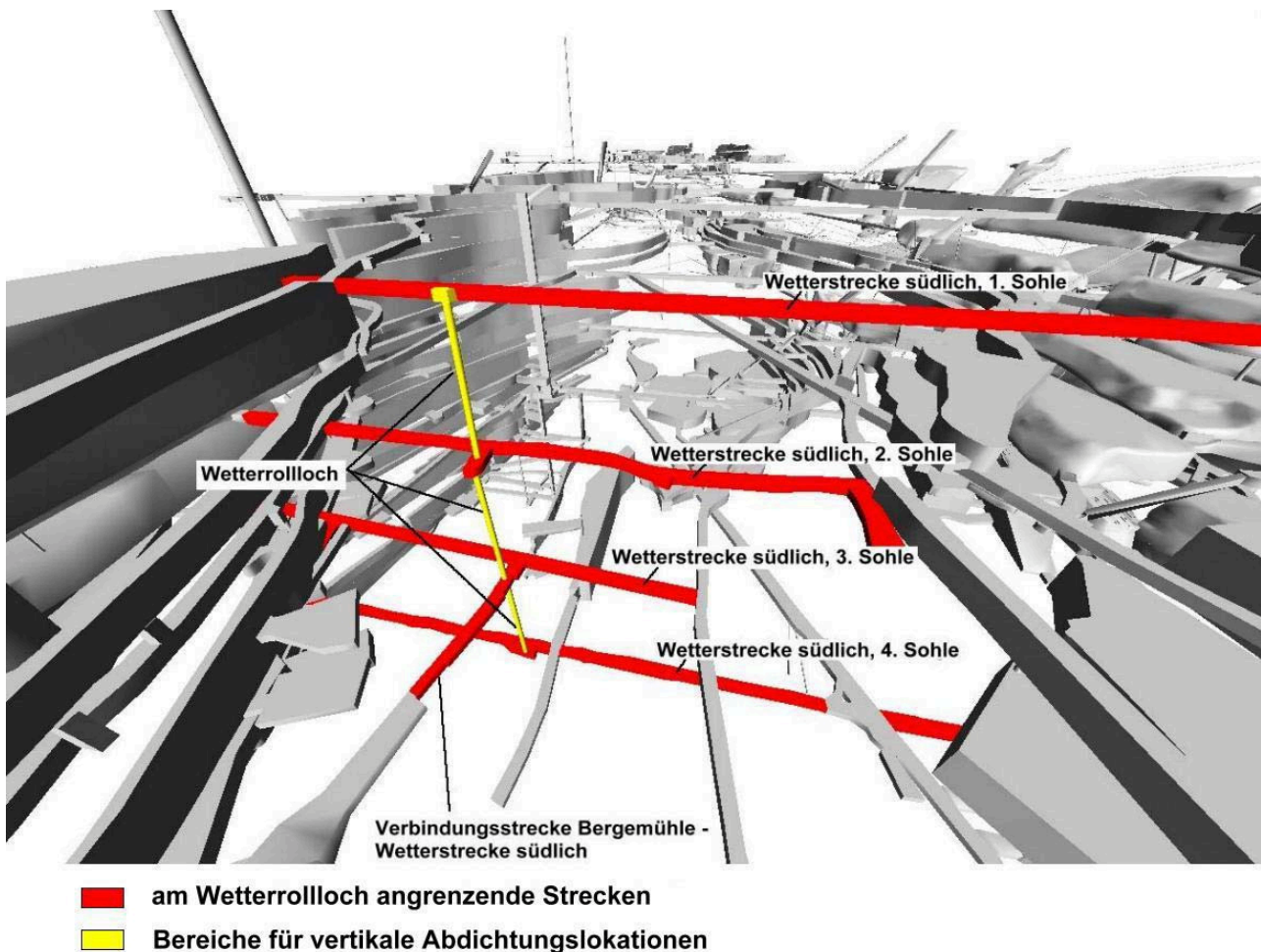


Abb. 5: Bereiche für Abdichtungslokationen, Wetterrolloch südlich, 1. bis 4. Sohle (nicht maßstäblich)

Das gesamte Ostfeld wird als ein Einlagerungsbereich angesehen. Die Trennung des Ostfeldes vom Zentralteil und damit von der Restgrube wird durch die Errichtung von Abdichtungsbauwerken in den Ostquerschlägen auf der 2. Sohle (Abbildung 2) und der 4. Sohle (Abbildung 4) realisiert.

Das West- und Südfeld werden als ein gemeinsamer Einlagerungsbereich betrachtet. Abdichtungsbauwerke werden in Richtung Zentralteil (Restgrube) in allen querschlägigen Verbindungen zwischen den Kalilagern B und C (nördliche Verbindungsstrecken der 1. bis 3. Sohlen, Ostquerschläge der 1. bis 4. Sohlen, südliche Wetterstrecken der 1. bis 4. Sohlen) sowie in der 1. südlichen Richtstrecke (2. Sohle) und der Verbindungsstrecke Bergemühle - südliche Wetterstrecke (3. Sohle) errichtet (siehe Abbildungen 1 bis 4). Weiterhin werden im südlichen Wetterrolloch zwischen der 1. und 4. Sohle Abdichtungsbauwerke hergestellt (Abbildung 5).

In den beiden nördlichen Richtstrecken nach Marie auf der 2. und 3. Sohle werden ebenfalls Abdichtungen errichtet.

Zur hydraulischen Trennung von West- und Südfeld auf den unteren Sohlen werden die Westquerschläge auf der 3. und 4. Sohle und die Richtstrecke nach Süden und redundant dazu das Störreservelager auf der 4. Sohle abgedichtet (siehe Abbildungen 3 und 4). Aufgrund des zu geringen Gasspeichervolumens im Westfeld, ist eine hydraulische Verbindung zwischen dem West- und dem Südfeld erforderlich. Sie wird in Form eines Großbohrlochs von der 3. Sohle des Westfelds zur 1. Sohle des Südfelds errichtet (siehe Abbildungen 1 und 3).

## 3.2 KONSTRUKTION

Bei der Konstruktion ist zwischen den horizontalen Streckenabdichtungen im Steinsalz und Anhydrit sowie der vertikalen Abdichtung in dem Wetterrollloch zu unterscheiden.

### 3.2.1 Horizontale Streckenabdichtungen

Ein horizontales Abdichtungssegment besteht aus den Elementen Abdichtungskörper, Kontaktzone zwischen Streckensaum und Abdichtungskörper und der konturnahen Auflockerungszone im Gebirge. Eine Abdichtung besteht aus bis zu 10 ca. 25 m langen Abdichtungssegmenten (Abbildung 6). Sie werden in den abzudichtenden Strecken zu einer Streckenabdichtung hintereinander angeordnet. Die Anzahl der Abdichtungssegmente ergibt sich aus den örtlichen Randbedingungen. Die einzelnen Segmente werden durch plastische Fugen voneinander getrennt.

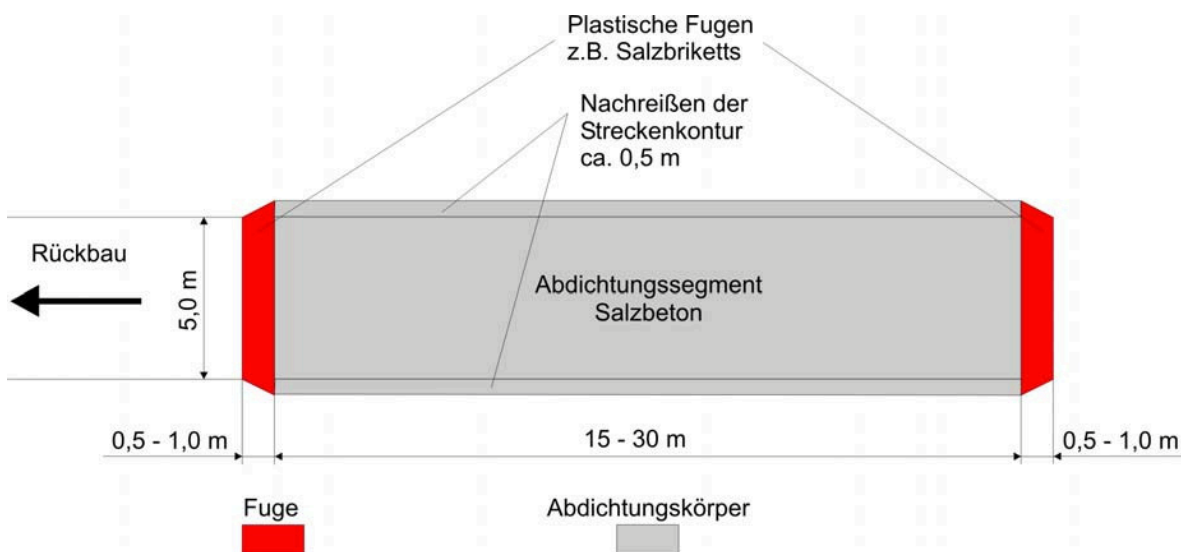


Abb. 6: Schematische Darstellung eines Abdichtungssegmentes

#### Streckenabdichtung im Steinsalz

Der Abdichtungskörper wird aus einem hydraulisch abbindenden Baustoff mit Salzzuschlag auf Zementbasis (Salzbeton) hergestellt. Mindestens ein Abdichtungssegment pro Streckenabdichtung wird injiziert. Durch die Injektion des Saumbereichs dieser Segmente mit einem Injektionsdruck von ca. 2 MPa wird sichergestellt, dass ein sofortiger formschlüssiger Verbund zwischen Abdichtung und Gebirge hergestellt wird. Die abdichtende Wirkung der Bauwerke ist so von Anfang garantiert.

Die Dichtwirkung in der Kontaktzone zwischen Bauwerk und Gebirge wird bei den nicht injizierten Segmenten während der Prologphase (Zeit bis zum vollständigem Auffüllen der Restgrube Bartensleben mit Lösungen) durch das Aufkriechen des Gebirges auf die Segmente bewirkt. Für die injizierten Segmente erfolgt durch das Aufkriechen des Gebirges während der Prologphase eine Verbesserung der Dichtwirkung.

#### Streckenabdichtung im Anhydrit

Bei der Abdichtung im Anhydrit (nicht kriechfähiges Gebirge), welche sich im Ostquerschlag auf der 4. Sohle zwischen Kalilager E und Ostfeld befindet, muss die Dichtwirkung in der Kontaktzone durch eine

Vorspannung zwischen Bauwerk und Gebirge mit einem Anfangswert von 6 MPa erbracht werden. Diese Vorspannung wird durch Injektionen mit Feinstbindemitteln erzeugt.

Die Vorspannung von 6 MPa ist erforderlich, um mögliche Wegsamkeiten, die von der Lösung bei einem maximalen Lösungsdruck von 6 MPa erreicht werden können, zu verschließen.

### 3.2.2 Vertikale Abdichtung im südlichen Wetterrolloch

Das südliche Wetterrolloch bildet eine durchgängige Wegsamkeit von der 1. bis zur 4. Sohle, die durch einen Versprung (von wenigen Metern) auf der 2. Sohle getrennt ist (s. Abbildungen 5 und 7). Das Wetterrolloch teilt sich entsprechend den angeschlagenen Sohlen in drei Abschnitte auf, sodass die Wetterrollochabdichtung aus insgesamt 3 baugleichen Teilabdichtungen besteht (Vollverfüllung).

Die Teilabdichtungen sind jeweils aus einem unteren Widerlager aus setzungsarmem Hartgesteinsschotter, einem Dichtelement aus einem Gemisch aus Schotter und Bitumen und einem oberen Widerlager aus Schotter mit einer Sole-Zement-(Flugasche)-Suspension aufgebaut. Vor dem Einbau der Abdichtungen werden ggf. vorhandene Einbauten aus dem Rolloch geraubt sowie die Auflockerungszone schonend (z. B. durch Schneiden) entfernt. Zwischen dem unteren Widerlager und dem Dichtelement wird eine Filterschicht eingebaut, die die Migration des Bitumens in das untere Widerlager verhindert. Die geometrischen Daten für die Teilabdichtungen ergeben sich aus den Sohlenabständen und dem nach dem Entfernen der Auflockerungszone vorhandenen Rollochquerschnitt. Die Längen der Dichtelemente betragen etwa 20 m, die der unteren Widerlager etwa 7 m und die der oberen Widerlager etwa 8 m.

Die gesamte Rollochabdichtung erfüllt sofort nach Einbau der Teilabdichtungen die Anforderungen an die Standsicherheit und Gebrauchstauglichkeit. Durch das Aufkriechen des Salzgebirges entwickelt sich die Rollochabdichtung zu günstigeren Verhältnissen hin.

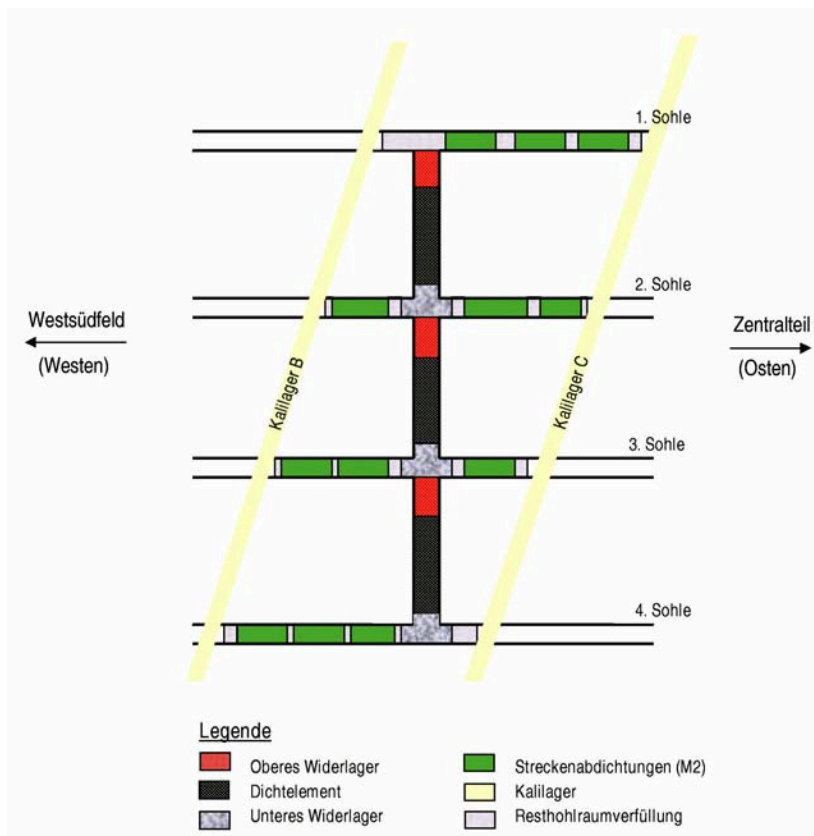


Abb. 7: Schematische Darstellung der Abdichtung des südlichen Wetterrollochs

## 4 KOMPONENTENBESCHREIBUNG

Als ein Abdichtungsbauwerk wird die Summe der jeweils hintereinander angeordneten Segmente betrachtet. Des Weiteren werden bei einer Abdichtung die Elemente

- Abdichtungskörper,
- Kontaktzone zwischen Streckensaum und Abdichtungskörper und
- Auflockerungszone im Gebirge

unterschieden.

Auf Grund der geologischen und bergbaulichen Situation ist die zur Verfügung stehende Länge für die Abdichtungen zum Teil sehr gering. Daher wird eine Abdichtungsstruktur bevorzugt, bei der das Dichtelement auch gleichzeitig die Widerlagerfunktion ausübt. Somit wird eine maximale Länge an hydraulisch wirksamem Widerstand erzielt.

### Abdichtung für horizontale Grubenbaue

Als Baustoff kommt ein hydraulisch abbindendes Versatzmaterial (Salzbeton) zum Einsatz. Die Dichtheit des Abdichtungskörpers wird durch die geringe Durchlässigkeit des Baustoffes sowie durch entsprechende qualitätssichernde Maßnahmen (s. Kapitel 5) bei der Herstellung gewährleistet.

Um Arbeitsfugen zu vermeiden, wird der Baustoff frisch in frisch eingebracht. Der genaue Querschnitt eines Abdichtungssegmentes ist abhängig von den lokalen Standortgegebenheiten und variiert zwischen ca. 12 und 30 m<sup>2</sup>.

Die Mindestlänge der Bauwerke ergibt sich aus den im Langzeitsicherheitsnachweis unterstellten Längen der Abdichtungsbauwerke. Aus bautechnischen Gründen oder auf Grund von geologischen Gegebenheiten können sich größere Längen ergeben. Zwischen den Abdichtungssegmenten werden plastische Fugen angeordnet, um Zwangsspannungen zu reduzieren.

### Abdichtung für vertikale Grubenbaue

Die Rolllochabdichtung für die vertikalen Grubenbaue (südliches Wetterrollloch) besteht aus 3 Teilabdichtungen, die jeweils aus einer unteren Widerlagersäule, einem Dichtelement und einer oberen Widerlagersäule aufgebaut sind. Zwischen dem unteren Widerlager und dem Dichtelement wird eine Filterschicht aus abgestufter Gesteinskörnung eingebaut.

Für den Bau der Widerlager wird setzungsstabiler Hartgesteinschotter (z. B. aus Basalt oder Diabas) mit vorgegebener Sieblinie verwendet, der im salinaren Milieu langzeitbeständig ist. Der Bereich der unteren Widerlagersäule, in dem die jeweiligen Strecken angeschlagen sind, ist gegen Auslaufen gesichert. Der Schotter wird lagenweise und mit entsprechender Verdichtung eingebracht.

Oberhalb der unteren Widerlagersäule bzw. zwischen unterer Widerlagersäule und Dichtelement befindet sich eine Filterschicht, die die Migration des Bitumens aus dem Dichtelement in das Widerlager verhindert. Die Filterschicht besteht aus setzungsstabilen, abgestuften Gesteinskörnungen (z. B. Kies, Sand bis hin zu Feinsanden), wobei die Korngrößen in Richtung des Dichtelements abnehmen. Durch die damit verbundene stufenweise Verringerung der hydraulischen Leitfähigkeit in der Filterschicht wird das Bitumen des Dichtelements in seiner Lage gehalten. Als Baustoffe werden nur langzeitstabile natürliche Gesteine verwendet. Zusätzlich wird der Porenraum im oberen Bereich der unteren Widerlagersäule mit einer Sole-Zement-(Flugasche)-Suspension verschlossen. Hierdurch wird bis zur Korrosion des Zementsteins eine Redundanz zur Filterschicht hergestellt.

Das sich oberhalb der Filterschicht befindliche Dichtelement besteht aus einem setzungs- und langzeitstabilen Hartgesteinschottergerüst, wobei der Porenraum im Schotter mit Bitumen vergossen wird. Der Bitumen verhält sich wie eine viskose Flüssigkeit und ist technisch dicht. Durch diesen Aufbau ist sowohl der Lastabtrag (über das Schottergerüst) als auch die Dichtwirkung (durch das Bitumen) gewährleistet. Das Dichtelement ist so dimensioniert, dass selbst bei Bitumendegradation die Dichtwirkung im über den gesamten für den Langzeitsicherheitsnachweis erforderlichen Nachweiszeitraum für die Abdichtungen (20.000 Jahre) gewährleistet ist. Die Dichte des Bitumens beträgt weniger als  $1.200 \text{ kg/m}^3$ , sodass es immer auf den Salzlösungen aufschwimmen wird.

Oberhalb des Dichtelements schließt die obere Widerlagersäule an. Diese wird entsprechend der unteren Widerlagersäule aus Hartgesteinschotter hergestellt. Allerdings wird im oberen Widerlager der gesamte Porenraum des Schotters mit einer Sole-Zement-(Flugasche)-Suspension vergossen. Die Porenraumfüllung verhindert, dass bei einem von unten gegen das Dichtelement wirkenden Fluidruck das Bitumen nicht aufsteigen bzw. in das Schottergerüst migrieren kann. Der sich im Porenraum befindliche Zementstein ist nicht korrosionsstabil. Dies ist auch nicht erforderlich, da eine Korrosion des Zementstein erst nach Versagen des/der Streckenabdichtungen stattfinden kann. In diesem Fall bestehen keine Anforderungen mehr an die Dichtheit des betroffenen Teilbereichs. Die Standsicherheit des gesamten Verschlussystems (bestehend aus 3 Teilabschnitten bzw. Abdichtungen) bleibt aufgrund des verbleibenden Schottergerüsts weiterhin erhalten.

### Kontaktzone zwischen Streckensaum und Abdichtungskörper

Die Kontaktzone zwischen Streckensaum und Abdichtungskörper weist eine geringe anteilige Querschnittsfläche auf. Sie ist jedoch auslegungsrelevant, wenn kein Verbund zwischen Gebirge und Abdichtung erreicht wird.

Dieser Tatsache wird dadurch Rechnung getragen, dass bei den Abdichtungen in Steinsalzstrecken Kredit von der Gebirgskonvergenz genommen wird. Mindestens ein Segment wird bei den Abdichtungen im Steinsalz injiziert. Bei den Abdichtungen im Anhydrit werden alle Segmente injiziert.

### Auflockerungszone

Da es sich bei den Strecken- bzw. Rollochabschnitten, in denen Abdichtungsbauwerke errichtet werden, nicht um Neuauffahrungen handelt, muss vor dem Einbau der Abdichtungen die sich im Laufe der Jahre gebildete Auflockerungszone mit höheren Durchlässigkeiten entlang der gesamten Ausbruchskontur entfernt werden. Dieses erfolgt in gebirgsschonender Weise, z. B. durch Verwendung einer Teilschnittmaschine.

Um die Ausbildung einer neuen Auflockerungszone so gering wie möglich zu halten, erfolgt die Entfernung der Auflockerungszone zeitnah vor den nachfolgenden Arbeiten zur Errichtung der Abdichtung.

Des Weiteren werden beim Nachschneiden die Ecken des Streckenquerschnittes ausgerundet, um durch eine günstige Formgebung Spannungsspitzen zu vermeiden.

# 5 QUALITÄTSSICHERUNG

## Streckenabdichtung im Steinsalz und Anhydrit

Die Qualitätssicherung erfolgt mit Hilfe von Qualitätssicherungsprogrammen, die auf Prüfplänen und Qualitätssicherungsvereinbarungen basieren. Der Prüfplan beschreibt die qualitätssichernden Verfahrensschritte und die Qualitätsvereinbarungen beschreiben die qualitätszusichernden Eigenschaften. So enthält der Prüfplan neben projektspezifischen Angaben die Beschreibung der zu prüfenden Sachverhalte und der einzelnen Prüfschritte. Der Prüfplan enthält Angaben zur Prüfmethode, zur Prüfbeteiligung, zum Prüfumfang und zur Prüftätigkeit. Der Nachweisschlüssel, d.h. die Art der Dokumentation der Durchführung der Prüfschritte, ist im Prüfplan ebenfalls aufgeführt.

Die Qualitätsvereinbarung beschreibt die qualitätszusichernden Größen und Eigenschaften. Im Einzelfall wird auch das anzuwendende Nachweisverfahren beschrieben, im Regelfall wird auf Richtlinien und Normen, z.B. aus dem Bereich der Baustofftechnologie, verwiesen.

Für die Streckenabdichtungen sind ein Prüfplan und Qualitätsvereinbarungen zu folgenden Sachverhalten zu erstellen:

- Vorbereitende Arbeiten
- Baustoffe
- Bauablauf

Die detaillierten Qualitätssicherungsprogramme werden im Rahmen der Entwurfs- bzw. Ausführungsplanung erstellt.

Abzudichtende Streckenabschnitte sind anforderungsgemäß vorzubereiten. Dies beinhaltet im ersten Schritt das Entfernen von Einbauten, wozu z.B. auch Kabel, Rohrleitungen, Anker und Bolzen zählen.

Die anforderungsgemäße Ausführung des Nachschneidens muss gewährleistet werden. An ausgewählten Positionen sind exemplarisch Permeabilitätstests in der Streckenkontur (Auflockerungszone) durchzuführen. Abzudichtende Streckenabschnitte sind mittels markscheiderischer Vermessung aufzunehmen.

Unmittelbar vor Einbau der Abdichtungen sind die entsprechenden Streckenabschnitte nochmals auf Abschaltungen zu überprüfen und diese ggf. zu entfernen. Die Sohle muss sich in einem sauberen Zustand befinden, auch Feinteile und Staub sind zu entfernen.

Die Baustelle ist entsprechend Bauablaufplanung vorzubereiten. Dies umfasst die Funktionsprüfung aller technischen Einrichtungen und Hilfsmittel wie Prüf- und Messgeräte über und unter Tage gemäß Checklisten. Die erforderliche Geräteausstattung wird auf der Baustelle bereitgestellt sowie Behältnisse für Probenahme vorgehalten.

Für die Durchführung aller Arbeiten ist qualifiziertes und entsprechend geschultes Personal einzusetzen.

Die Ausführung der Maßnahmen ist zu dokumentieren.

Die Qualität der Baustoffe ist durch ein auf die Anforderungen hinsichtlich der Streckenabdichtungen abgestimmtes Qualitätssicherungsprogramm zu überwachen. Dies betrifft sowohl das Referenzmaterial Salzbeton M2 als auch das Injektionsmittel. Im Prüfplan werden die einzelnen Verfahrensschritte aufgeführt. Diese reichen von der Eignungsprüfung des Baustoffes bis zur Erstellung einzelner Arbeitsanweisungen, z.B. für das Einbringen des Baustoffes. Die Qualitätsvereinbarung bezieht sich auf die Anforderungen an die Baustoffe und die zu überprüfenden Baustoffeigenschaften. Die dort aufgeführten Spezifikationen müssen realistische Bandbreiten für die Baustoffeigenschaften beinhalten. Die Baustoffeigenschaften werden mittels Eignungs- und Erstprüfung festgestellt und während des Bauvorganges mittels Eigen- und



Fremdüberwachung begleitend überwacht. Entsprechend Regelwerk werden von den eingesetzten Baustoffen Rückstellproben entnommen.

Für die Durchführung aller Verfahrensschritte ist qualifiziertes und entsprechend geschultes Personal einzusetzen.

Die Einhaltung der Baustoffeigenschaften und der Rezepturzusammensetzung ist zu dokumentieren.

Die anforderungsgemäße Positionierung der Schalungssysteme ist vorzunehmen, ebenso deren anforderungsgemäße Abdichtung. Eine Umläufigkeit von Baustoff und Lösung muss verhindert werden, um die Anbindung des Baustoffs an der Kontur zu gewährleisten.

Die anforderungsgemäße Positionierung von Verfüll- und Entlüftungsrohren ist zu gewährleisten.

Die anforderungsgemäße und feste Positionierung der erforderlichen Injektionsschläuche und der Hüllrohre ist zu gewährleisten, dabei ist für die Injektionsschläuche die knickfreie Verlegung gesondert zu bestätigen.

Um Arbeitsfugen zu vermeiden, ist vorgesehen den Baustoff frisch in frisch zu verarbeiten. Die Einbringtemperatur darf 30 °C nicht überschreiten. Das anforderungsgemäße Einbringen des Baustoffes ist zu dokumentieren, um sicherzustellen, dass keine Setzungen im Firstbereich erfolgen und in Folge des Fließwinkels Lufteinschlüsse entstehen oder eingeschlossene Überstandslösung zu verbleibenden, offenen Bereichen führt. Weiterhin ist die anforderungsgemäße Rückführung der Verfüllrohre und ggf. weiterer Verfülleinrichtungen, die langfristig Wegsamkeiten darstellen können, sicherzustellen.

Die durch den Injektionsvorgang auftretenden Spannungen dürfen die zulässigen Festigkeitswerte des eingesetzten Salzbetons nicht überschreiten bzw. sind auf den Nahbereich zu begrenzen. Ein Fracken des Gebirges ist ebenfalls zu vermeiden.

Das vorhandene Hüllrohr wird entfernt und die Bohrung verpresst.

Die Gesamtmenge des jeweils eingebrachten Baustoffes pro Abdichtungssegment ist jeweils zu ermitteln.

Für die Durchführung aller Arbeiten ist qualifiziertes und entsprechend geschultes Personal einzusetzen.

Die Ausführung der Maßnahmen ist zu dokumentieren.

## Abdichtung des südlichen Wetterrolllochs

Das detaillierte Qualitätssicherungsprogramm wird im Rahmen der Entwurfs- bzw. Ausführungsplanung erstellt.

Vor Beginn der Arbeiten ist die Funktionstüchtigkeit aller verwendeten Gerätschaften zu prüfen. Eine redundante Auslegung der Betriebsmittel vor Ort ist nicht notwendig, weil lagenweise verfüllt wird. Vor dem Verfüllen eines jeden Abschnitts ist die Rolllochwandung auf mögliche Abschalungen zu prüfen und diese sind gegebenenfalls zu.

Der ausführende Unternehmer hat sich hinsichtlich der einzubringenden Baustoffe nach einem aufzustellenden Qualitätssicherungsprogramm und den einschlägigen Normen oder Vorschriften zu richten. Die Qualitätsanforderungen an die einzelnen Materialien sind nachzuweisen und zu dokumentieren. Die Qualitätsprüfungen beinhalten sowohl Eigen- als auch Fremdüberwachung. Im Einzelnen bedeutet das:

- Der einzubauende Schotter muss den Anforderungen der technischen Lieferbedingung genügen. Ziel ist die Gewährleistung der Setzungsstabilität und der im Standsicherheitsnachweis angenommenen Steifigkeit der Verfüllsäule.
- Als einzubringendes Bitumen wird die Sorte B 70/100 (früher B 80) nach DIN EN 12591 verlangt. Die Qualität ist durch Versuche fortlaufend nachzuweisen. Die Dichte muss 1.000 kg/m<sup>3</sup> betragen und ist ebenfalls fortlaufend zu verifizieren. Die zulässige Schwankung nach oben wird im



Qualitätssicherungsprogramm vorher einvernehmlich mit dem Auftraggeber festgelegt. Eine Schwankung nach unten ist bedeutungslos.

- Die für die Filterlage und die gegebenenfalls vorgesehenen Trennschichten verwendeten Sande und Kiese müssen der Norm DIN 4226-1:2001-07 genügen. Für die Filterlage ist eine mittlere Steifigkeit von 100 MPa nachzuweisen.
- Der einzige nicht genormte, einzubringende Baustoff ist die Sole-Zement-(Flugasche)-Suspension. Der Auftragnehmer kann eine Zusammensetzung vorschlagen. Sie muss unter untertägigen Bedingungen vollständig aushärten und den Porenraum des Schotters im oberen Widerlager beim Vergießen vollständig ausfüllen. Die Höhe der einzelnen Bauabschnitte ist mit der Viskosität der Suspension entsprechend abzugleichen. Der Auftragnehmer führt Indexversuche durch, um die Materialeigenschaften des Schotter/Zementsteins näherungsweise zu bestimmen (Steifigkeit, Festigkeiten, Dichte).

Das ausreichende Verdichten beziehungsweise Stopfen des eingebrachten Hartgesteinschotters ist, beispielsweise über die eingebrachten Volumina, zu dokumentieren.

Eine besondere Aufgabe ist die Verarbeitung des heißen Bitumens. Sein gefahrloser Transport muss gewährleistet sein. Ebenso hat der Unternehmer das vollständige Vergießen des Porenraums zu garantieren, zum Beispiel über die Einbaumengen nachzuweisen und zu dokumentieren.

Die Bandbreite der Einbringtemperatur ergibt sich aus der Ausführungsplanung. Einerseits begünstigen höhere Temperaturen das Vergießen des Schotterporenraums, andererseits beanspruchen sie das anstehende Gebirge thermomechanisch. Zudem darf die physikalische und chemische Stabilität des Bitumens nicht durch zu starkes Erhitzen gefährdet werden. Aus den Bedingungen ergibt sich das in der Ausführungsplanung festzulegende Intervall der Einbringtemperatur. Während der Verfüllmaßnahme muss sich die tatsächliche Einbringtemperatur in den gegebenen Grenzen bewegen. Die Forderung ist durch Messungen zu bestätigen und zu dokumentieren.

Die Fremdüberwachung überprüft stichprobenartig

- die Aufzeichnungen der Eigenüberwachung wie Bautagebuch, Messprotokolle und Messdaten,
- die Lieferscheine der Baustoffe,
- die Beschaffenheit und Lagerung der Baustoffe sowie
- die Verfahren zur Probenahme und Prüfung der Eigenüberwachung.

Bei der Durchführung der Baumaßnahme darf nur qualifiziertes und geschultes Personal eingesetzt werden.

Für alle auszuführenden Arbeiten besteht die übliche Dokumentationspflicht (Bautagebuch usw.).