

# Planfeststellungsverfahren zur Stilllegung des Endlagers für radioaktive Abfälle Morsleben

## Verfahrensunterlage

**Titel:** Konzept und Systembeschreibung  
Schachtverschlussystem der Schächte Bartensleben und Marie

**Autor:** BfS

**Erscheinungsjahr:** 2004a

**Unterlagen-Nr.:** G 183

**Revision:** 00

**Unterlagenteil:**



## INHALTSVERZEICHNIS

1	Aufgabenstellung .....	4
2	Auslegungsanforderungen .....	4
3	Konzeptbeschreibung .....	6
3.1	Geologie .....	6
3.1.1	Schacht Bartensleben .....	6
3.1.2	Schacht Marie .....	7
3.2	Technisches Konzept .....	7
4	Komponentenbeschreibung .....	9
4.1	Stützsäule unterhalb des Dichtelements .....	9
4.1.1	Vorbemerkungen .....	9
4.1.2	Herstellung der Stützsäulen .....	9
4.1.3	Wirkungsweise der Solezementsteinfüllung im oberen Porenraum des setzungsstabilen Schotters .....	10
4.2	Dichtelementsystem .....	11
4.2.1	Vorbemerkungen .....	11
4.2.2	Aufbau des Dichtelementsystems .....	11
4.2.3	Eigenschaften des Dichtelementsystems .....	12
4.2.3.1	Vorbemerkungen .....	12
4.2.3.2	Eigenschaften von Bentonit .....	12
4.2.3.3	Eigenschaften von Asphalt / Bitumen .....	13
4.2.4	Wirkungsweise des Dichtelementsystems .....	15
4.2.4.1	Wirkungsweise des Dichtelementes DE 1 .....	15
4.2.4.2	Wirkungsweise des kombinierten Widerlager-Dichtelementes DE 2 .....	15
4.2.4.3	Wirkungsweise des kombinierten Widerlager-Dichtelementes DE 3 .....	16
4.2.4.4	Wirkungsweise des asphaltdichten Kerns zwischen DE 2 und DE 3 .....	16
4.2.5	Einbau des Dichtelementsystems .....	17
4.3	Die obere Widerlagersäule .....	18
4.3.1	Vorbemerkung und Ausführungsbeispiele .....	18
4.3.2	Eigenschaften des Mineralgemischs .....	18
4.3.3	Herstellung der oberen Widerlagersäule .....	18
4.4	Abschlussbauwerke .....	19
4.4.1	Vorbemerkung und Ausführungsbeispiele .....	19

4.4.2 Herstellung der Abschlussbauwerke ..... 19

5 Inbetriebnahme ..... 19

6 Betrieb..... 19

7 Qualitätssicherung..... 20

7.1 Allgemeine Qualitätssicherung ..... 20

7.1.1 Überprüfung der Baustoffe ..... 20

7.1.2 Überprüfungen beim Einbau..... 21

7.2 Besondere Qualitätssicherung für das Dichtelementsystem..... 21

7.2.1 Gebirge im Bereich des Dichtelementsystems ..... 21

8 Vorschriften und Richtlinien..... 22

9 Literaturverzeichnis ..... 22

Anhang: Abbildungen..... 23

**Gesamtblattzahl: 25**

## 1 Aufgabenstellung

Nach Beendigung der Betriebsphase muss das gesamte Endlager sicher gegen die Biosphäre abgeschlossen werden. Auch nach der Stilllegung dürfen Radionuklide, die als Folge von nicht vollständig auszuschließenden Transportvorgängen aus dem verschlossenen Endlager über die Schächte in die Biosphäre gelangen können, nicht zu unzulässigen Individualdosen führen, welche die Grenzwerte entsprechend §47 der Strahlenschutzverordnung überschreiten.

Dies gilt nicht nur für den zu verfüllenden Schachtquerschnitt als potenzielle Wegsamkeit, sondern auch für die den Schacht umgebende Auflockerungszone insbesondere im Bereich der Dichtelemente.

Aufgabe der Schachtverfüllung in Verbindung mit der Begrenzung der Auflockerungszone ist es, den Zutritt des Transportmediums Wasser aus oberflächennahen wasserführenden Schichten zu den radioaktiven Abfällen zu begrenzen, eine mögliche Radionuklidfreisetzung aus dem vollgelaufenen Endlager über die Schächte auf ein zulässiges Maß zu minimieren sowie zur Stabilisierung der Schächte beizutragen /1/.

Die Konzept- und Systembeschreibung zeigt, dass eine Schachtverfüllung unter Einhaltung der für die sichere Stilllegung des ERA Morsleben notwendigen Randbedingungen nach Stand der Technik machbar ist.

## 2 Auslegungsanforderungen

Der Nachweis für die Wirksamkeit des Schachtverschlusssystems erfolgt für einen Zeitraum von 30.000 Jahren, wobei die Wirksamkeit aber nicht nach 30 000 Jahren endet.

Die Schächte sind entsprechend der Aufgabenstellung mit einem geeigneten, im Sinne der Langzeitsicherheitsanalyse ausreichend wirksamen, Verschlusssystem abzudichten. Die Verschluss- / Verfüllmaterialien müssen langzeitstabil, d.h. über den o.g. Zeitraum von 30.000 Jahren hinaus beständig sein. Die Auswahl der Materialien ist außerdem den unterschiedlichen Gebirgsverhältnissen und -eigenschaften zweckentsprechend anzupassen. Die Materialien sind so auszuwählen und zu kombinieren, dass die in der Langzeitsicherheitsanalyse geforderte Barrierewirkung der Schachtverfüllung mit einem rechnerisch genügend geringem Volumenstrom erreicht wird.

Durch das Entfernen der Auflockerungszone speziell im Bereich des Dichtelementsystems sollen ggf. auftretende Umläufigkeiten in der Kontaktzone zwischen Gebirge und Dichtelement begrenzt oder sogar verhindert werden.

Ausgehend von der geologischen Schichtenfolge und den bergbaulichen Gegebenheiten wird die Schachtverfüllung hinsichtlich der zu erfüllenden Anforderungen in drei Bereiche unterteilt (siehe Abb. 1 und Abb. 2), die neben der geforderten Dichtfunktion weitere Anforderungen zu erfüllen haben.

Dies sind die Bereiche:

- A) Untere Widerlagersäule,
- B) Dichtelementsystem,
- C) Obere Widerlagersäule.

Der Bereich A im Salinar unterhalb des Dichtelementsystems muss die Auflasten der darüber liegenden Schachtverfüllung setzungsstabil aufnehmen, so dass das darüber liegende Abdichtungssystem seine Funktion erfüllen kann. Desgleichen muss die Verfüllung und die Anbindung der Füllsäule an das verfüllte Grubengebäude in der Weise erfolgen, dass ein Abrutschen oder Auslaufen der Füllsäule in Hohlräume (Füllörter, Streckenanbindungen) im schachtnahen Grubengebäude nicht möglich ist und dadurch eine Gefährdung der Wirksamkeit der Schachtverfüllung insgesamt ausgeschlossen werden kann. Gemäß dem Stilllegungskonzept bestehen im Bereich A keine besonderen Anforderungen hinsichtlich der Wasserundurchlässigkeit.

Der hydraulische Verschluss der Schächte wird im Bereich B realisiert. Das hier positionierte Dichtelementsystem liegt oberhalb der obersten an die Schächte angeschlossenen Hauptsohlen (253-m-Sohle im Schacht Bartensleben bzw. 352-m-Sohle im Schacht Marie) und unterhalb des letzten Zutritts von schwach mineralisierten Wässern aus dem Deckgebirge in die Schächte (in 178 m Tiefe im Schacht Bartensleben bzw. 129 m Tiefe im Schacht Marie). Dieser Bereich stellt in den Schächten die technische Barriere im Hinblick auf eine Ausbreitung von radionuklidbelasteten Lösungen aus dem Endlager in die Biosphäre dar. Der Schachtquerschnitt selbst ist in diesem Bereich mit sehr gering durchlässigen Baustoffen abzudichten. Die Schächte sind in diesem Bereich aufzuweiten bzw. nachzuschneiden, um die Auflockerungszone, die sich während der Betriebsphase ausgebildet hat, zu entfernen. Durch die sich anschließende Verfüllung soll die Neubildung einer Auflockerungszone verhindert werden. Für das Dichtelementsystem ist die Lagestabilität der Dichtmaterialien durch geeignete Baustoffe sicherzustellen.

Mit der Verfüll- und Abdichtungsmaßnahme im Bereich C der Schachtverfüllung sollen mögliche Zuflüsse von Tages- und Grundwasser bereits unmittelbar nach Einbringen der Verfüllung reduziert und soweit wie möglich verhindert werden. Gemäß dem Stilllegungskonzept sind die Anforderungen an die Wasserundurchlässigkeit des verfüllten Schachtquerschnittes und der Auflockerungszone im Bereich C im Gegensatz zum Bereich B gering. Durch die der geologischen Situation angepasste Permeabilität des in diesem Bereich einzusetzenden Baustoffes wird im Bereich der Schächte die hydraulische Trennung der Grundwasserstockwerke im Deckgebirge gewährleistet.

### 3 Konzeptbeschreibung

#### 3.1 Geologie

Die Darstellung der in den Schächten Bartensleben und Marie aufgeschlossenen Schichtenfolgen finden sich in Abbildung 1 und 2.

##### 3.1.1 Schacht Bartensleben

Das Quartär besteht aus geringmächtigen Schluff bis Ton.

Bei den Gesteinen des Keupers (Oberkeuper, Steinmergelkeuper, Oberer Gipskeuper, Schilfsandstein, Unterer Gipskeuper) dominieren Tonstein und Schluffstein, lediglich im Bereich des Schilfsandsteins ist eine ca. 9 m mächtige Schicht aus Feinsandstein ausgebildet.

Das Hutgestein besteht vorwiegend aus feinkristallinem Gipsstein, in dem selten Anhydritlagen auftreten.

Der Salzspiegel liegt in ca. 273,5 m Tiefe.

Das Zechstein-Salinar wird überwiegend aus Salzgesteinen der Leine- und Staßfurt-Folge aufgebaut. Neben Steinsalz, in dem im oberen Teil der Abfolge geringmächtige Anhydritlagen und Tonlagen eingeschaltet sind, ist das Kaliflöz Staßfurt mehrfach angefahren worden.

Der letzte Zutritt von schwach mineralisierten Wässern aus dem Deckgebirge wird bei 178 m Tiefe beobachtet.

### 3.1.2 Schacht Marie

Das Quartär besteht aus Schluff und Sand.

Die Gesteine des Doggers werden überwiegend aus Schluffstein und Tonstein gebildet, lagenweise ist Dolomitmergelstein eingeschaltet.

Das Hutgestein besteht aus Residuen des Staßfurt-Steinsalz, Anhydrit und Gipsstein.

Der Salzspiegel liegt in ca. 269 m Tiefe.

Das Zechstein-Salinar wird überwiegend aus Salzgesteinen der Staßfurt-Folge aufgebaut. Neben Steinsalz, in dem im oberen Teil der Abfolge gering mächtige Anhydritlagen und Tonlagen eingeschaltet sind, ist das Kaliflöz Staßfurt mehrfach angefahren worden.

Der letzte Zutritt von schwach mineralisierten Wässern aus dem Deckgebirge wird bei 129 m Tiefe beobachtet.

### 3.2 Technisches Konzept

In den vergangenen 80 Jahren wurden im deutschen Salzbergbau eine große Zahl von Schächten unter sehr unterschiedlichen Voraussetzungen verwahrt. Die dabei gewonnenen Erfahrungen führten zur Entwicklung entsprechender Technologien und Materialien. Basierend auf den bisherigen Kenntnissen resultieren entsprechende bergbehördliche Vorschriften /2/ und allgemeingültige Richtlinien:

- Schächte des Salzbergbaues sind nach der Stilllegung vollständig zu verfüllen.
- Vor der Verfüllung sind die Schachteinbauten vollständig zu entfernen.
- Ein ggf. vorhandener wasserdichter Ausbau aus Tübbingern oder Stahlröhren wird nicht demontiert.
- Der Schachtausbau (Beton und / oder Mauerwerk) ist nur bei Hinterlösung und in den Verschlusshorizontalen zu beseitigen.
- Die Verschlussbauwerke innerhalb der Schachtröhren sind gebirgsverbunden auszuführen.
- Der Einbau der Verfüllsäulen inkl. des Verschlussbauwerkes soll im trockenen Milieu erfolgen.

Eine einheitliche Technologie für die Schachtverwahrung ist weder vorhanden noch zweckmäßig, da sich die konkreten geologischen, hydrogeologischen und bergbaulichen Bedingungen von Standort zu Standort bzw. Schacht zu Schacht wesentlich unterscheiden.

Für die Verfüllung der Schächte Bartensleben und Marie werden entsprechend den Auslegungsanforderungen und an die lokalen Gegebenheiten angepasst drei übereinander liegende Komponenten eingesetzt. Dies sind

1. eine untere Widerlagersäule (Stützsäule) mit horizontalem Anschluss an das verfüllte Grubengebäude,
2. ein aus drei Dichtelementen bestehendes Dichtelementsystem und
3. eine obere Widerlagersäule.

Das darüber befindliche Abschlussbauwerk sichert die verfüllten Schachtsäulen gegen unbeabsichtigte Einwirkungen Dritter und dient als Oberflächenschutz.

Abb. 1 und Abb. 2 zeigen den Aufbau der geplanten Schachtverfüllungen.

Um die Lagestabilität des Dichtelementsystems zu gewährleisten, ist dies auf einer setzungsstabilen Stützsäule aus Hartgesteinsschotter gelagert. Diese „untere Widerlagersäule“ reicht bis in das Schachttiefste und in die Strecken hinein. Die untere Widerlagersäule ist in Kapitel 4.1 beschrieben.

Das durch die einzelnen Dichtelemente (DE 1 bis DE 3) redundant und diversitär wirkende Dichtelementsystem beginnt im Schacht Bartensleben bei ca. 366 m Tiefe und reicht bis ca. 196 m Tiefe bzw. beginnt im Schacht Marie bei ca. 343 m Tiefe und endet bei ca. 173 m Tiefe. Das Dichtelementsystem ist in Kapitel 4.2 beschrieben.

Die obere Widerlagersäule der Schachtverfüllung befindet sich oberhalb des Dichtelementsystems. Die aus einem Mineralgemisch bestehende Verfüllsäule reicht vom Schachtabschlussbauwerk bis ca. 196 m Tiefe im Schacht Bartensleben und bis ca. 173 m Tiefe im Schacht Marie. Die obere Widerlagersäule ist in Kapitel 4.3 beschrieben.

Die drei Komponenten stellen sicher, dass die im Kapitel 2 genannten Anforderungen erfüllt werden. Die zuverlässige Abdichtungswirkung des Dichtelementsystems ist für Zeiträume von mehr als 30.000 Jahren gewährleistet.

## **4 Komponentenbeschreibung**

### **4.1 Stützsäule unterhalb des Dichtelements**

#### **4.1.1 Vorbemerkungen**

Unterhalb des als technische Barriere wirkenden Dichtelements werden die Schächte mit einem setzungsstabilen Baustoff verschlossen. Diese als untere Widerlagersäule bezeichnete Stützsäule wird nach den Regeln der Erdbautechnik eingebaut und verdichtet. Damit die Vertikallasten aus dem Dichtelementsystem und der oberen Widerlagersäule ohne nennenswerte Setzungen der Stützsäule aufgenommen werden können, muss der Baustoff möglichst setzungsstabil sein. Weiterhin ist ein Auslaufen des Baustoffes in die mit den Schächten verbundenen Strecken- bzw. Sohlenanbindungen zu verhindern. Daher müssen die an die Füllörter anschließenden Strecken auf einer vorgegebenen Länge verfüllt werden. Die Verfüllungen in den Strecken werden auf der Grundlage statischer Berechnungen dimensioniert und als Widerlager angeordnet. Um die Lagestabilität des über der Stützsäule befindlichen Dichtelementsystems zu verbessern, wird der Porenraum im oberen Bereich der Stützsäule vollständig verschlossen.

#### **4.1.2 Herstellung der Stützsäulen**

Als Baustoff für die untere Widerlagersäule ist, im Hinblick auf Setzungsstabilität und Lastabtragsverhalten infolge der Ausbildung des „Siloeffektes“ ein Hartgesteinsschotter mit einer vorgegebenen Sieblinie vorgesehen. Durch den Einsatz von Hartgesteinsschotter, wie z. B. Basalt oder Diabas als Baustoff ist die Langzeitstabilität durch natürliche Analoga wie z. B. die Basalt - Intrusionen im Werra-Kalirevier, belegt. Die Eignung des Baustoffes hinsichtlich Scherfestigkeit, Setzungs- und Langzeitstabilität wird auf Basis einschlägiger Normen wie z. B. den „Technischen Lieferbedingungen Gleisschotter“ der Deutschen Bahn AG und den bei Schachtverfüllungen mit Schotter gesammelten Erfahrungen, insbesondere aus dem Forschungsprojekt Schachtverschluss Salzdettfurth Schacht II des BMFT und der K+S AG, nachgewiesen /3/. In dem Forschungsprojekt wurde die Einbringtechnik erprobt und der Nachweis einer setzungsstabilen Stützsäule (untere Widerlagersäule) erbracht. Die erforderlichen Maßnahmen im Schacht sehen jeweils die vollständige Räumung des Schachtsumpfes, die Entfernung aller Schachteinbauten vor Schottereinbau und die Entfernung des Schachtausbaues, wenn kein Formschluss zwischen Mauerwerk und Gebirge besteht, vor. Durch die entsprechende Einbringtechnik und eine definierte Fallhöhe, wird bereits beim Einbau eine hohe Verdichtung erreicht.

Um eine setzungsstabile und auslaufsichere Stützsäule gewährleisten zu können, sind ausreichend dimensionierte Widerlager in den Füllörter erforderlich. Die Verfüllung der Strecken im Bereich der Füllörter erfolgt auf den statisch berechneten Längen. Der Baustoff wird lagenweise eingebaut und verdichtet. Um einen ausreichenden Verbund mit dem Gebirge herzustellen, können die einzelnen Einbringabschnitte nachverdichtet werden. Analog zu den Ergebnissen des Forschungsprojektes Schachtverschluss Salzdörfurth Schacht II /3/ wird eine Einbaudichte des Schotters von ca. 1,8 t / m<sup>3</sup> angestrebt.

Alle im Bereich der Schachtverfüllung liegenden Füllorte, Strecken- und Sohlenanbindungen werden auslaufsicher und setzungsstabil verfüllt.

#### **4.1.3 Wirkungsweise der Solezementsteinfüllung im oberen Porenraum des setzungsstabilen Schotters**

Im oberen Bereich der unteren Widerlagersäule wird der offene Porenraum des Hartgesteinschotters durch eine Solezementsuspension verfestigt. Damit wird zusätzlich zu den Filterschichten ein Auslaufen des darüber liegenden Dichtelementes in den Porenraum des Hartgesteinschotters verhindert und das darüber befindliche Dichtelementsystem lagestabil gehalten.

Dieser obere Abschnitt der unteren Widerlagersäule ist damit ein redundant wirkendes und diversitäres Element zur überlagernden untersten Filterlage des Dichtelementsystems. Durch den Verschluss des Porenraumes in der setzungsstabilen Schottersäule wird im Falle eines Versagens der überlagernden Filterlage das Abfließen des Asphaltes / Bitumens aus dem kombinierten Widerlager-Dichtelement DE 3 wirksam verhindert.

Sollte es zu einem späten Zeitpunkt (in der Auspressphase), d. h. nach dem vollständigen Zulaufen des Grubengebäudes zum Anstieg des „Lösungsspiegels“ bis zur Unterkante des mit Solezementsuspension verfüllten Porenraumes kommen, so ist die allmähliche Korrosion des Solezementsteins durch Lösungsangriff möglich. Selbst nach der unwahrscheinlichen vollständigen Korrosion des Solezementsteins ist die Lagestabilität und damit die Wirksamkeit des darüber liegenden kombinierten Widerlager-Dichtelementes DE 3 weiter gegeben, da der hier eingebrachte Asphalt / Bitumen auf Grund seiner gegenüber salinaren Lösungen geringeren Dichte auf diesen Lösungen aufschwimmt und der in der unteren Widerlagersäule zurückbleibende Hartgesteinsschotter die Setzungsstabilität des Dichtelementsystems weiterhin gewährleistet.

Allerdings wird von den hier beschriebenen Eigenschaften hinsichtlich Langzeitstabilität, Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit des Schachtverschlusssystems kein Kredit genommen.

## **4.2 Dichtelementsysteem**

### **4.2.1 Vorbemerkungen**

Das Dichtelementsysteem in den Schächten wird jeweils unterhalb des letzten Zutritts von Deckgebirgswässern (bei 129 m Tiefe im Schacht Marie und 178 m Tiefe im Schacht Bartensleben) und oberhalb der jeweils ersten an das Grubengebäude angeschlossenen Sohle (353-m-Sohle im Schacht Marie und 253-m-Sohle im Schacht Bartensleben) eingebaut. Das Dichtelementsysteem selbst besteht aus drei unabhängig voneinander wirkenden Dichtelementen, die durch Filterschichten bzw. durch einen asphaltdichten Kern sowohl von den Widerlagersäulen als auch voneinander getrennt werden. Die beiden unteren Dichtelemente nehmen neben der Dichtfunktion auch eine statische Funktion wahr.

### **4.2.2 Aufbau des Dichtelementsystems**

Die Bereiche der Dichtelementsysteme für die Schächte Bartensleben und Marie sind in den Abb. 1 und Abb. 2 dargestellt. Das jeweilige Dichtelementsysteem besteht aus einer Kombination von drei Dichtelementen (DE 1 bis DE 3). Im oberen Dichtelement (DE 1) ist der Einsatz von Bentonit (z. B. ein Calcigel-Granulat) als Dichtbaustoff vorgesehen. Im mittleren (DE 2) und unteren Widerlager-Dichtelement (DE 3) wird der Porenraum eines Hartgesteinsschotters mit Asphalt / Bitumen gefüllt. Die Widerlager-Dichtelemente DE 2 und DE 3 bilden damit eine Kombination aus Widerlager und Dichtung. Oberhalb und unterhalb des obersten Dichtelementes (DE 1) werden abgestufte Filterlagen (Kies - Sand - Feinsand) angeordnet, um eine Trennung vom darüber liegenden Mineralgemisch der oberen Widerlagersäule oder dem darunter folgenden Widerlager-Dichtelement (DE 2) zu gewährleisten. Zwischen den kombinierten Widerlager-Dichtelementen DE 2 und DE 3 wird ein asphaltdichter Kern, bestehend aus einer oberen Filterlage (mit Lösung beaufschlagter Feinsand), einem Kern aus erdfeuchtem Ton und Gussasphaltplatten sowie einer unteren abgestuften Filterlage aus Kies, Sand und Feinsand eingebaut. Damit wird ein Absinken des Asphalt / Bitumens aus dem mittleren DE 2 in den Bereich des unteren DE 3 verhindert.

An den Unterkanten des Dichtelementsystems werden zum einen abgestufte Kies-Sand-Filterlagen angeordnet, zum anderen wird der Porenraum im oberen Teil der unteren Widerlagersäule durch Solezementstein ausgefüllt, um eine Migration des Asphaltes /

Bitumens aus dem kombinierten Widerlager-Dichtelement DE 3 in die darunter liegende statische Stützsäule (untere Widerlagersäule) zu verhindern (siehe Kap. 4.1.3).

### **4.2.3 Eigenschaften des Dichtelementsystems**

#### **4.2.3.1 Vorbemerkungen**

Die Dichtelementsysteme sind in beiden Schächten identisch aufgebaut. Als Abdichtmaterial kommt für das obere Dichtelement (DE 1) ein Ton auf Bentonit-Basis (z. B. ein Calcigel-Granulat), für die unteren Widerlager-Dichtelemente (DE 2 und DE 3) Asphalt / Bitumen zum Einsatz. Der sofort wirksame Asphalt / Bitumen im DE 2 wurde als aktives und diversitäres Dichtmaterial zum Bentonit im DE 1 ausgewählt. Die Dichtelemente DE 1 und DE 2 sind in ihrer Wirkungsweise gegen zuzitrende Deckgebirgswässer redundant. Die Widerlager-Dichtelemente DE 3 und DE 2 sind in ihrer Wirkungsweise gegen ggf. aus dem Grubengebäude austretende saline Lösungen redundant.

Des Weiteren sind die einzelnen Dichtelemente aus konstruktiven Gründen durch Filterlagen bzw. durch einen asphaltichten Kern aus Ton und Gussasphaltplatten getrennt. Von der zusätzlich hydraulisch dichtenden Wirkung dieser Baustoffe (Ton und Gussasphalt) wird kein Kredit genommen.

#### **4.2.3.2 Eigenschaften von Bentonit**

Als Bentonit werden tonhaltige Mineralgemische bezeichnet, die durch die Verwitterung vulkanischer Aschen entstanden sind. Die Eigenschaften des Bentonites werden vor allem durch das Tonmineral Montmorillonit (ein Aluminiumhydroxysilikat aus der Gruppe der Phyllosilikate) bestimmt. Montmorillonit ist der Hauptvertreter in der Gruppe der Dreischichtsilikate (Smektit). Bentonit enthält neben Montmorillonit weitere Begleitminerale wie Quarz, Feldspat und Glimmer. Bentonit verfügt über sehr gute Dichteigenschaften, sowohl gegenüber Wasser als auch gegenüber salinaren Lösungen. Für die Auswahl als Dichtelementbaustoff ist neben der geringen hydraulischen Leitfähigkeit auch die Ausbildung eines Quelldruckes im Kontakt mit Wasser oder salinaren Lösungen von Bedeutung. Durch den Aufbau des Quelldruckes bei Lösungszutritt dichtet Bentonit neben dem freien Schachtquerschnitt auch die Kontaktzone zum Gebirge und eventuelle Einbauimperfectionen zuverlässig ab. Die Eignung des Materials als Dichtbaustoff wurde in zahlreichen Untersuchungen und in der praktischen Umsetzung nachgewiesen. Die Langzeitstabilität von Bentonit ist durch natürliche Analoga (Meta-Bentonit von Kinnekulle, Kalium-Bentonit aus Montana sowie die Salztone des Zechstein) nachgewiesen.

Die Abhängigkeit des Quelldruckes und der hydraulischen Leitfähigkeit sowohl von der Bentonittrockendichte als auch der Art der zutretenden Wässer oder Lösungen ist ebenfalls nachgewiesen. Beim Einsatz im nichtsalinaren Milieu wie z. B. beim Einsatz gegen zuzitende und nur gering mineralisierte Wässer aus dem Deckgebirge können geringere Anforderungen an die Bentonittrockendichte gestellt werden, da das Quellverhalten gegenüber solchen Wässern besonders gut ist. Als Dichtmaterial, das im Deckgebirge eingesetzt wird, ist ein kompaktiertes Bentonitgemisch ausreichend. Für dieses Material wurde ein Quelldruck von mindestens 1,0 MPa und eine hydraulische Leitfähigkeit von  $2,0 \cdot 10^{-12}$  m/s, bei einer Bentonittrockendichte von  $1,45 \text{ g/cm}^3$ , gegenüber Wasser erreicht und nachgewiesen. Eine weitere positive Eigenschaft des Materials ist seine gute Handhabbarkeit hinsichtlich eines qualitätsgerechten Einbaus sowie die mögliche Einstellung der hydraulischen Eigenschaften in einer großen Bandbreite in Abhängigkeit von der gewählten Bentonittrockendichte.

Neben dem Mindestquelldruck zur sicheren Abdichtung der Kontaktfuge muss der Fracdruck des Gebirges als oberer Grenzdruck beachtet werden. Der vom Bentonit erzeugte Quelldruck wirkt als Flächenpressung auf die Schachtstöße. Die minimalen Tangentialspannungen im Gebirge im Bereich der Einbauhorizonte stellen damit die obere Grenze für den Quelldruck dar. Durch die Trockendichte des Bentonits wird der Quelldruck so gesteuert, dass unzulässige „Fracs“ des Gebirges vermieden werden. Für das Dichtelement (DE 1) in den Schächten kann z. B. ein Calcigel-Granulat mit einer Einbautrockendichte von  $1,45 \text{ g/cm}^3$  eingesetzt werden. Bei dieser Trockendichte wird sich ein Quelldruck zwischen 1,0 MPa und 6,5 MPa einstellen. Somit wird die Kontaktfuge zwischen Dichtelement und Schachtstoß sicher abgedichtet und ein Fracken des Gebirges ausgeschlossen. Durch die gewählte Trockendichte werden auch Unsicherheiten abgedeckt, die aus der teilweisen Mineralisation der Deckgebirgswässer und aus Auflockerungen des Dichtelementes (DE 1) infolge ggf. auftretender Setzungen der unteren Verfüllsäulenabschnitte herrühren können.

#### **4.2.3.3 Eigenschaften von Asphalt / Bitumen**

Als Dichtmaterial wird in den kombinierten Widerlager-Dichtelementen DE 2 und DE 3 Asphalt / Bitumen eingebracht. Asphalte stellen Gemische auf Bitumenbasis dar, die zusätzliche Mineralstoffe und ggf. auch weitere Zuschläge enthalten. Durch die absolute Flüssigkeitsdichtheit, der weit einstellbaren Bandbreite von Viskosität und Dichte sowie der Unlöslichkeit in Wässern und salinaren Lösungen stellen Asphalte / Bitumen /4/ einen besonders im Bergbau gebräuchlichen Dichtbaustoff dar. Das ausgewählte Dichtmaterial Asphalt / Bitumen ist ein natürlicher Baustoff. Die Eignung dieses Materials für Dichtungszwecke sowie der sichere verfahrenstechnische Umgang beim Bau mit diesen

Materialien ist durch Laborversuche, Technikumsversuche, In-situ-Versuche und im praktischen Einsatz nachgewiesen /5/.

Als Bitumina werden schwerflüchtige dunkelfarbige Kohlenwasserstoffe bezeichnet. Bitumina werden industriell durch destillative Aufarbeitung von Erdöl bzw. aus Naturasphalten hergestellt. Sie bestehen hauptsächlich aus n-, iso-, cyclo-Alkanen, Aromaten und Naphtenaromaten sowie Asphaltene und sind als hochviskose Flüssigkeiten mit kolloidchemischer Struktur zu betrachten. Die kolloiddispersen Bestandteile des Bitumens sind die Erdölharze und die Asphaltene, die in einem Dispersionsmittel, d.h. einer homogenen, überwiegend aus Kohlenwasserstoffen zusammengesetzten öligen Phase, gelöst sind. Sie sind polydisperse, sphärische, resoluble, oleophile Mizellkolloide, die in naphtenischen und naphtenaromatischen Kohlenwasserstoffen aromatisiert sind. Im Hinblick auf die Langzeitbeständigkeit von Asphalt / Bitumen zeigt die Bildung von Bitumen in der Natur, dass dieses Material als Bestandteil bzw. Kondensationsprodukt von Erdöl Zeiträume von mehreren Hundert-Millionen-Jahren überdauern kann. Dies gilt auch vor dem Hintergrund, dass Bitumen unter bestimmten Umständen einer mikrobiellen Degradation unterliegen kann. Degradationsfördernd wirkt sich Licht in Verbindung mit Luftsauerstoff und Mikroorganismen aus. Der mikrobielle Abbau von Asphalt / Bitumen kann durch Bakterien, Actinomyceten und durch Pilze erfolgen, wobei bitumenabbauende Organismen allgegenwärtig sind. Die mikrobielle Degradation kann sowohl unter aeroben, als auch anaeroben Milieubedingungen erfolgen. Nach /6/ ergeben sich bei Angriffsflächen von 100 m<sup>2</sup> über den Nachweiszeitraum von 30.000 Jahren Degradationsverluste von 60 t bis 150 t bei unterstellten aeroben Bedingungen und 0,6 t bis 2 t im anaeroben Milieu. Diese Berechnungen bei unterstellten idealen Wachstumsbedingungen zeigen, dass selbst unter Berücksichtigung der im aeroben Milieu maximal ermittelten Degradationsrate die Asphalt / Bitumenverluste im Nachweiszeitraum um ein Vielfaches geringer sind als die in die Schottersäulen eingebrachten Asphalt / Bitumen-Volumina.

Für den Einsatz von Asphalt / Bitumen bei der Schachtverwahrung sprechen die sehr guten Dicht- und Versiegelungseigenschaften, die Haftfestigkeit auf fast allen Materialien, das viskose Materialverhalten, die in großer Bandbreite einstellbaren Dichten und Viskositäten, die aktive Abdichtung von Spalten und Klüften, die Beständigkeit gegenüber Wasser und gegenüber organischen und anorganischen Salzen und schwachen Säuren und Basen sowie gegenüber ionisierender Strahlung. Insbesondere mit dem konzipierten Einbringen eines niedrigviskosen Asphalttes ist eine schnell wirksame Abdichtung zu realisieren.

#### **4.2.4 Wirkungsweise des Dichtelements**

Infolge von Spannungsumlagerungen beim Abteufen der Schächte und der damit verbundenen Verformungen sind um die Schächte herum Auflockerungszonen entstanden, in denen die Wasserdurchlässigkeit im Vergleich zum ungestörten Gebirge erhöht ist. Die schachtnahen Auflockerungszonen, in denen eine erhöhte Permeabilität auftritt, werden im Zuge der Schachtverfüllung ebenso wie der vorhandene Schachtausbau entfernt. Die Permeabilität des dann anstehenden ungestörten Gebirges ist gering genug, um die geforderte Dichtigkeit für das aus aufgeweitetem, verfülltem Schachtquerschnitt und angrenzender, nur gering gestörter Gebirgszone bestehende Gesamtsystem zu erreichen. Dies gilt unter der Voraussetzung, dass im Zuge der Herausnahme des Schachtausbaus und der schachtnahen, aufgelockerten Gebirgszone eine neuerliche nennenswerte Erhöhung der Wasserdurchlässigkeit im angrenzenden Gebirgsbereich vermieden wird.

##### **4.2.4.1 Wirkungsweise des Dichtelementes DE 1**

Durch das Dichtelement DE 1 erfolgt die Abdichtung des Grubengebäudes gegen Zutritte von Wässern aus dem Deckgebirge. Als Dichtmaterial wird Bentonit eingesetzt. Durch die Verwendung dieses Dichtmaterials erfolgt die Abdichtung des freien Schachtquerschnittes und die Abdichtung der Kontaktzone zwischen Gebirge und Dichtelement durch den sich bei Flüssigkeitsaufnahme im Bentonit einstellenden Quelldruck. Der Einsatz von Bentonit im Bereich des Deckgebirges / Hutgesteins ist aus mehreren Gründen vorteilhaft. So wird sichergestellt, dass bei einer Benetzung des Bentonites durch die zusitzenden Deckgebirgswässer in relativ kurzer Zeit der Aufbau des zur Abdichtung der Kontaktzone notwendigen Quelldrucks erfolgen kann. Des Weiteren wird durch das im Gegensatz zum Salinar vernachlässigbare Konvergenzverhalten im Bereich des Deckgebirges eine geogene Verdichtung des Bentonit - Materials verhindert.

##### **4.2.4.2 Wirkungsweise des kombinierten Widerlager-Dichtelementes DE 2**

Über die Schottersäule (Hartgesteinschotter analog zur unteren Widerlagersäule) des kombinierten Widerlager-Dichtelementes DE 2 erfolgt der Lastabtrag von oben und / oder von unten in das Gebirge. Die Porenräume der Schottersäule werden mit Asphalt / Bitumen ausgefüllt, so dass das kombinierte Widerlager-Dichtelement DE 2 nicht nur den Lastabtrag garantiert, sondern auch den Zutritt von Deckgebirgswässern in das Grubengebäude oder den Austritt von salinaren Lösungen aus dem Grubengebäude verhindert. Der Asphalt / Bitumen wird im Falle eines Zutritts von Deckgebirgswässern als aktive, redundante und diversitäre Dichtung zum Bentonit des Dichtelementes DE 1 sofort nach Einbau wirksam. Zur Gewährleistung der dauerhaften Abdichtung des freien Schachtquerschnittes gegenüber

Zutritten aus dem Deckgebirge wird die Dichte des Asphalt / Bitumens im DE 2 so eingestellt, dass sie größer als die der nach Versagen des DE 1 zutretenden Deckgebirgswässer ist. Hierfür geeignet ist ein Asphalt / Bitumen mit einem Füller, dessen Dichte z. B. bei  $1.300 \text{ kg/m}^3$  liegt. Wesentlich dabei ist, dass die Dichte deutlich über der gemessenen Dichte (in beiden Schächten  $< 1.100 \text{ kg/m}^3$ ) der zutretenden Wässer aus dem Deckgebirge liegt.

#### **4.2.4.3 Wirkungsweise des kombinierten Widerlager-Dichtelementes DE 3**

Das kombinierte Widerlager-Dichtelement DE 3 entspricht im Aufbau dem Widerlager-Dichtelement DE 2. Auch hier erfolgt der Lastabtrag von oben und / oder von unten in das Gebirge durch den Hartgesteinsschotter. Es dichtet den Schacht gegen aufsteigende saline Lösungen aus dem Grubengebäude ab. Zur Gewährleistung der dauerhaften Abdichtung des freien Schachtquerschnittes gegenüber den z. B. infolge Konvergenz aufsteigenden salinaren Lösungen, muss hier die Dichte des Asphalt / Bitumens kleiner sein als die der aufsteigenden Lösungen aus dem Grubengebäude. Zu diesem Zweck wird z. B. der Einsatz eines ungefüllten Asphalt / Bitumen mit einer Dichte von  $\leq 1.000 \text{ kg/m}^3$  gewählt. Der Asphalt / Bitumen schwimmt somit immer auf den salinaren Lösungen auf, da deren Dichte in jedem Falle  $> 1.000 \text{ kg/m}^3$  ist. Um ein Absinken oder eine Durchmischung der Asphalte / Bitumina zwischen den kombinierten Widerlager-Dichtelementen DE 2 und DE 3 wirksam und dauerhaft zu verhindern, erfolgt eine Trennung von DE 2 und DE 3 durch einen asphaltdichten Kern (siehe Kap. 4.2.4.4). Unterhalb des DE 3 schließt sich eine Filterlage aus Feinsand, Sand und Kies an. Durch diese Filterlage sowie durch den mit Solezementstein ausgefüllten Porenraum im oberen Bereich der unteren Widerlagersäule (siehe Kap. 4.1.2) wird der Asphalt / Bitumen im kombinierten Widerlager-Dichtelement DE 3 lagestabil gehalten.

#### **4.2.4.4 Wirkungsweise des asphaltdichten Kerns zwischen DE 2 und DE 3**

Durch den asphaltdichten Kern (ADK) wird das Absinken oder eine Durchmischung des mit einer Dichte von z. B.  $1.300 \text{ kg/m}^3$  gefüllten und deutlich schwereren Asphalts / Bitumens des DE 2 mit dem leichteren und ungefüllten Asphalt / Bitumen des DE 3 verhindert. Um dies zu erreichen, ist der asphaltdichte Kern konstruktiv so gestaltet:

- Unter dem DE 2 schließt sich eine Filterschicht aus Feinsand an. Diese stabilisiert den Asphalt / Bitumen des kombinierten Widerlager-Dichtelementes DE 2 in seiner Lage.
- An die obere Filterschicht schließt sich eine Tonschicht an. Diese stellt das in der Wirkung redundante und vom Material her diversitäre Element zu den

Filterschichten des asphaltlichten Kerns dar. Um ein Austrocknen des Tones zu verhindern, wird die darüber liegende Filterschicht z. B. mit einer  $\text{CaCl}_2$ -Lösung gesättigt.

- Unterhalb der Tonschicht werden Gussasphaltplatten eingebaut. Auch diese dienen dazu, das Austrocknen des Tones zu verhindern.
- Den Abschluss des asphaltlichten Kerns stellt die untere Filterschicht zum kombinierten Widerlager-Dichtelementes DE 3 dar. Durch diese Filterschicht wird der Asphalt / Bitumen des unterlagernden kombinierten Widerlager-Dichtelementes DE 3 während der Auspressphase in seiner Lage gehalten.

#### 4.2.5 Einbau des Dichtelementsystems

Der Einbau des Dichtelementsystems erfolgt unter Berücksichtigung der einschlägigen bergbehördlichen Vorschriften und Richtlinien. Die Aufweitung des Schachtes bzw. die Entfernung der Auflockerungszone und der Einbau der Dichtelemente erfolgen in mehreren sich wiederholenden Arbeitsgängen, die sich teilweise überschneiden können:

1. Entfernen der Schachtausmauerung in kurzen Abschnitten unter Sicherung des darüber liegenden Ausbaus und der freigelegten Schachtstöße.
2. Fassen und Ableiten eventuell anfallender Sickerwässer.
3. Ausbruch der den Schacht umgebenden Auflockerungszone unter Anwendung der notwendigen Sicherungsmaßnahmen. Die Dicke der herauszunehmenden Auflockerungszone wird auf der Grundlage vorhandener und weiterer Untersuchungen wie z. B. in-situ-Permeabilitätstests im Zuge der Bauausführung festgelegt. Für die Planung wurden wesentliche Aussagen zur Permeabilität der Auflockerungszone durch hydraulische Tests im Bereich des Salinars /7/ herangezogen. Ergänzende Untersuchungen z. B. im Bereich des Hutgesteins und des Deckgebirges werden im Rahmen weiterer Planungen und unmittelbar vor der Verfüllung der Schächte durchgeführt. Da das Maß der Aufweitung aus statischen Gründen über die gesamte Höhe des Dichtelementsystems konstant gehalten werden soll, wird die Dicke der herauszunehmenden Auflockerungszone vor Beginn der Verfüllarbeiten festgelegt.
4. Lagenweises Einbringen und Verdichten der über Tage angelieferten und qualitätsgeprüften Baustoffe einschließlich des Einbaus der Tonschicht bzw. der Gussasphaltplatten im asphaltlichten Kern.

Zu Beginn der Arbeiten sind die im Schacht installierten Einbauten in Abstimmung mit dem gewählten Bauverfahren zu entfernen. Mit dem Herausnehmen der Schachtausmauerung

und der Auflockerungszone wird etwa oberhalb der ersten Sohlen begonnen. Die Aufweitung der Schächte kann z. B. mit einer Schachtfräse durchgeführt werden. Die Sicherung des Schachtmauerwerks wird den statischen Erfordernissen entsprechend, z. B. mit Hilfe von Glasfaserankern, vorseilend durchgeführt.

Anfallende Sickerwassermengen, die in den für die Dichtelemente vorgesehenen Bereichen zutreten können, sind gering und beeinträchtigen die Verfüllarbeiten nicht.

### **4.3 Die obere Widerlagersäule**

#### **4.3.1 Vorbemerkung und Ausführungsbeispiele**

Die vorgesehene Verfüllung der Schachtquerschnitte zwischen den Abschlussbauwerken (Schachtabdeckungen) und den Dichtelementensystemen bei ca. 197 m Tiefe im Schacht Bartensleben bzw. 173 m Tiefe im Schacht Marie (siehe Abb. 1 und Abb. 2) mit einem Mineralgemisch stellt sicher, dass die in den Richtlinien für das Verfüllen und Abdecken von Tagesschächten des Oberbergamtes Clausthal-Zellerfeld [2] geforderten Bedingungen erfüllt sind. So wird durch die Verwendung von langzeitstabilen Mineralgemischen mit einer Durchlässigkeit von  $< 5 \cdot 10^{-11}$  m/s eine hydraulische Situation in den Schächten geschaffen, die auf die hydrogeologischen / geohydraulischen Gegebenheiten im Bereich des Deckgebirges abgestimmt ist. Ein hydraulischer Kurzschluss der lokal ausgebildeten Grundwasserleiter bzw. -geringleiter durch die Schachtverfüllung kann ausgeschlossen werden, da die Durchlässigkeiten der umgebenden Schichten z. T. deutlich größer sind.

#### **4.3.2 Eigenschaften des Mineralgemischs**

Das Mineralgemisch besteht zu unterschiedlichen Teilen aus Kies, Quarzmehl-Füller und Bentonit und wird z.B. unter dem Handelsnamen „DYWIDAG“ angeboten. Die Mischung erfüllt die Forderungen nach geringer Wasserdurchlässigkeit und einem näherungsweise zeitunabhängigen Spannungs-Verformungsverhalten.

#### **4.3.3 Herstellung der oberen Widerlagersäule**

Der Einbau der oberen Widerlagersäule erfolgt nach den Regeln der Erdbautechnik und unter Berücksichtigung der einschlägigen bergbehördlichen Vorschriften und Richtlinien. Zu Beginn der Arbeiten erfolgt das Rauben der Schachteinbauten. Auszubauende Materialien werden z. B. mit einem Spezialgehänge zutage gefördert. Im Anschluss erfolgt das lagenweise Einbringen des Mineralgemischs von unten nach oben sowie eine lagenweise

Verdichtung. Dadurch ist gewährleistet, dass die ggf. im oberen Widerlagerbereich eintretenden Setzungen im Stützkörper gering bleiben.

#### **4.4 Abschlussbauwerke**

##### **4.4.1 Vorbemerkung und Ausführungsbeispiele**

Verfüllte Schächte müssen zum Schutz der Tagesoberfläche im Interesse der persönlichen Sicherheit und des öffentlichen Verkehrs abgesichert werden.

##### **4.4.2 Herstellung der Abschlussbauwerke**

Die Errichtung der Abschlussbauwerke erfolgt nach den Regeln der Erdbautechnik und unter Berücksichtigung der einschlägigen bergbehördlichen Vorschriften und Richtlinien.

#### **5 Inbetriebnahme**

(entfällt)

#### **6 Betrieb**

(entfällt)

## 7 Qualitätssicherung

### 7.1 Allgemeine Qualitätssicherung

#### 7.1.1 Überprüfung der Baustoffe

Die Überwachung der Baustoffe geschieht durch Qualitätsprüfungen, die Eigenüberwachungsmaßnahmen sowie Fremdüberwachungsmaßnahmen beinhalten.

Qualitätsprüfungen sind Prüfungen zum Nachweis der Qualität des Baustoffes bzw. der Baustoffgemische für den vorgesehenen Verwendungszweck.

Durch Eigen- und Fremdüberwachungsmaßnahmen werden Voraussetzungen geschaffen, die die Herstellung und Verarbeitung eines Materials mit den von der Qualitätsprüfung geforderten Eigenschaften in gleichmäßiger Qualität sicherstellen. Auf der Basis der Prüfungen kann, falls erforderlich, bei Qualitätsabweichungen steuernd in den Gewinnungs- bzw. Herstellungsprozess des Materials eingegriffen werden.

Die Prüfergebnisse der Fremd- / Eigenüberwachung müssen innerhalb der in der Qualitätsprüfung festgelegten Bandbreite liegen. Die Ergebnisse der Überwachung werden dokumentiert. Von jeder Tagesproduktion ist eine Rückstellprobe in der Menge zu entnehmen, so dass an ihr gegebenenfalls eine vollständige Überwachungsprüfung durchgeführt werden kann. Die Probe ist bis zur Fertigstellung der gesamten Schachtverfüllung bei dem mit der Fremdüberwachung beauftragten Institut aufzubewahren.

Die Fremdüberwachung dient der Kontrolle der zur Sicherung der Materialqualität vorgesehenen Maßnahmen. Die Fremdüberwachung wird von einer unabhängigen, mit der Überwachung von Baustoffen vertrauten Institution durchgeführt. Die Fremdüberwachung überprüft stichprobenartig die:

- Aufzeichnungen der Eigenüberwachung,
- Lieferscheine der Ausgangsstoffe,
- Beschaffenheit und Lagerung der Ausgangsstoffe,
- Verfahren zur Probenahme und Prüfung durch das mit der Eigenüberwachung betraute Personal,
- Materialeigenschaften entsprechend den Eigenüberwachungsprüfungen.

Bei negativen Ergebnissen, die eine nicht qualitätsgerechte Beschaffenheit des Baustoffes erwarten lassen,

- werden die Baustoffe nicht eingesetzt,
- unterrichtet die Fremdüberwachung den Bauherrn, die Baustofflieferanten bzw. Verwender und stimmt mit diesen weitere Maßnahmen ab.

### **7.1.2 Überprüfungen beim Einbau**

Der Einbau der Baustoffe in die Schächte erfolgt in Anlehnung an die Richtlinien des Oberbergamtes Clausthal für das Verfüllen und Abdecken von Tagesschächten /2/. Die dort genannten Maßnahmen hinsichtlich der vorbereitenden Arbeiten, des Einbaus, der Überwachung und der Sicherung der Tagesoberfläche werden soweit machbar und sinnvoll beachtet. Im Rahmen weiterer Planungsstufen werden die Anforderungen an die mit der Bauausführung zu betrauenden Fachfirmen und deren Personal weiter spezifiziert.

## **7.2 Besondere Qualitätssicherung für das Dichtelementsystem**

Die anforderungsgerechte Herstellung der Materialien wird durch regelmäßige Probenahmen überwacht. Dazu werden sowohl über Tage als auch aus den im Schacht eingebauten Dichtelementen Proben entnommen, an denen geeignete Laborversuche zur Kontrolle der Materialzusammensetzung und -eigenschaften durchgeführt werden.

Alle Untersuchungsergebnisse werden dokumentiert.

Die sachgerechte Ausführung wird überwacht und das Ergebnis wird dokumentiert. Dazu dienen Untersuchungen wie z. B. Sondierungen, Wassergehaltsbestimmungen, Ermittlung der Lagerungsdichte und Probenahmen etc.

### **7.2.1 Gebirge im Bereich des Dichtelementsystems**

Die freigelegten Schachtwände werden fortlaufend mit der Aufweitung des Schachtes nach geotechnischen Gesichtspunkten kartiert und bewertet. Im Bereich des Dichtelementsystems wird an geeigneten Lokalitäten durch in-situ Permeabilitätsmessungen die Ausdehnung der Auflockerungszone sowie am Schacht Marie die Permeabilität und der Grundspannungszustand des Hutgesteins bestimmt und an den Planungsvorgaben gespiegelt. Die Ausführungsplanung wird im Bedarfsfall entsprechend angepasst.

## 8 Vorschriften und Richtlinien

Bei der Planung und Ausführung kommen u.a. folgende Normen, Vorschriften und Empfehlungen in der jeweils gültigen Fassung zur Anwendung:

- Richtlinien für die Güteüberwachung von Mineralstoffen im Straßenbau, RG Min-StB 83
- Güte- und Prüfbestimmungen "Kalksteinmehl für den Straßenbau RAL-RG 544/4"
- ZTVE - Zusätzliche technische Vorschriften und Richtlinien für Erdarbeiten im Straßenbau
- Technische Lieferbedingungen für Gleisschotter, Deutsche Bundesbahn, TS 918 61
- Empfehlungen des Arbeitskreises 19 - Versuchstechnik Fels - der Deutschen Gesellschaft für Erd- und Grundbau
- Suggested Methodes for Laboratory Testing of Argillaceous Swelling Rocks, International Society of Rock Mechanics
- Richtlinien für das Verfüllen und Abdecken von Tagesschächten des Oberbergamtes Clausthal-Zellerfeld

## 9 Literaturverzeichnis

- /1/ Sicherheitskriterien für die Endlagerung radioaktiver Abfälle in einem Bergwerk; Bundesanzeiger, Jahrgang 35, Nr. 2; 05.01.1983.
- /2/ Richtlinien für das Verfüllen und Abdecken von Tagesschächten; Oberbergamt Clausthal-Zellerfeld;
- /3/ K+S AG (2002): Forschungsprojekt Schachtverschluss Salzdetfurth Schacht II, Abschlussbericht. BMBF-Förderkennzeichen 02C0516; Kassel.
- /4/ Schönian, E. (1999): The Shell Bitumen Hydraulic Engineering Handbook. Design and Print Partnership; New Malden.
- /5/ DVWK (1996): Deponieabdichtungen in Asphaltbauweise, Merkblatt 237/1996 des DVWK e.V.
- /6/ NAGRA (1989): Nagra - Technischer Bericht 89-14: Mikrobieller Abbau von Bitumen. Institut für Pflanzenbiologie der Universität Zürich; NTB-89-14.
- /7/ Wittke, B. (1999): Permeabilität von Steinsalz. Theorie und Experiment, WBI-Print 3, Verlag Glückauf; Essen.

## Anhang: Abbildungen

Abb. 1: Verfüllschema Schacht Bartensleben

Abb. 2: Verfüllschema Schacht Marie

ERA  
Morsleben

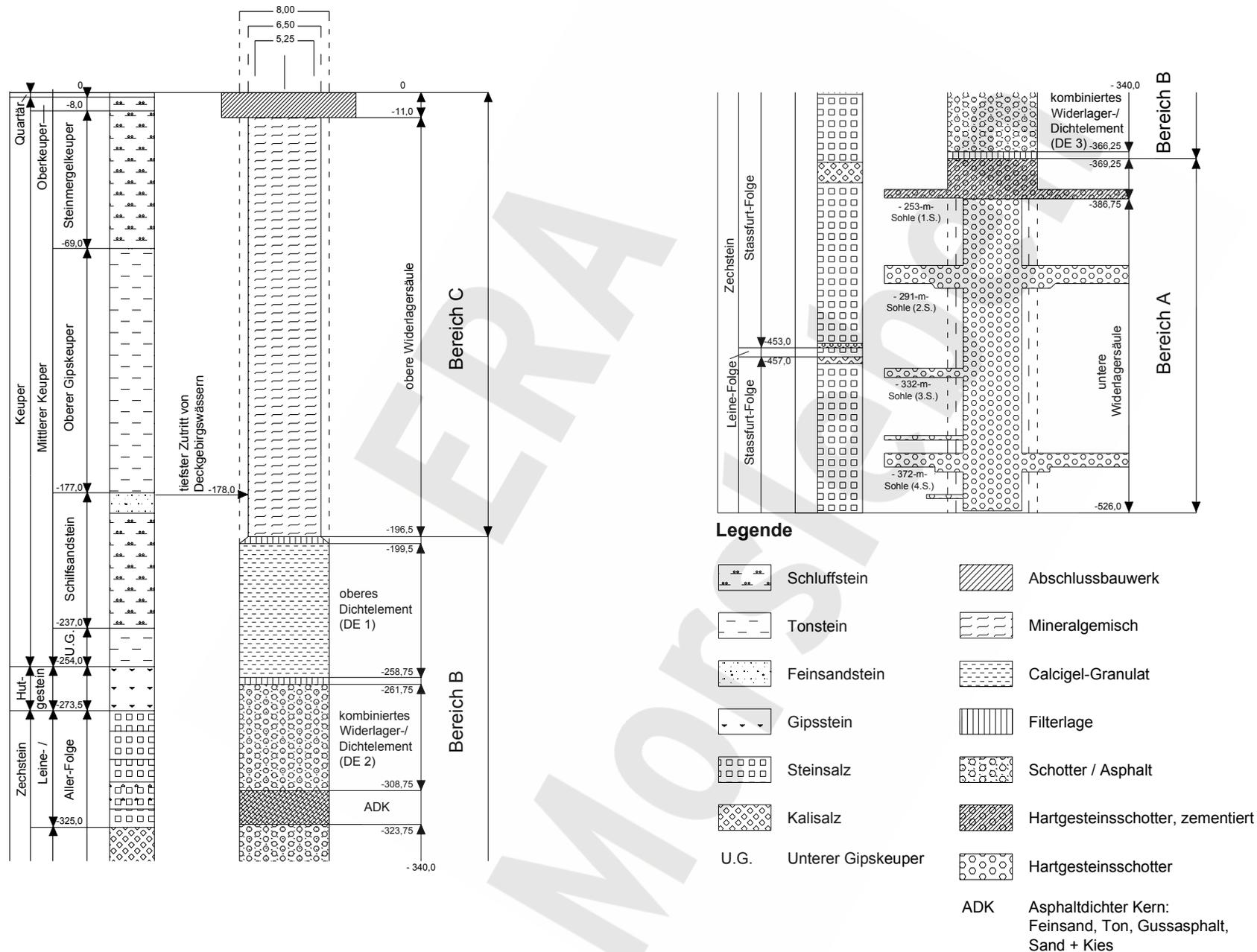


Abb. 1: Verfüllschema Schacht Bartensleben

