

Kali und Steinsalz



Götzfried

Policies and Strategies for increased Safety and Traffic Flow on European Road Networks in Winter

Mester

Entwicklungen auf dem Weltkalimarkt

Wilsnack, Sitz, Heinemann, Rumphorst, Hunstock

Flüssigkeitsdichte Verwahrung von Schächten

Becker

Geology of the salt deposit at the brine field Urcuit near Bayonne, France

Werdemann, Müller-Goldkuhle

Gut Ding will Weile haben: Verweilzeitmessung im Rahmen von Strömungssimulation

27. Bergtechnische Tagung
Congress Centrum Hannover
5. Juni 2009, 9.30 Uhr

Flüssigkeitsdichte Verwahrung von Schächten



Dr.-Ing. Thomas Wilsnack, IBeWa-Ingenieurpartnerschaft, Freiberg



Prof. Dr.-Ing. i. R. Peter Sitz, TU Bergakademie Freiberg, Institut für Bergbau und Spezialtiefbau



Karl-Heinz Heine, Bergbau-Ing., K+S Aktiengesellschaft, Inaktive Werke, Bad Salzdetfurth



Klaus Rumphorst, Dipl.-Ing., K+S Aktiengesellschaft, Inaktive Werke, Bad Salzdetfurth



Frank Hunstock, Dipl.-Geol., K+S Aktiengesellschaft, Bergbau, Kassel

Im Zuge von Ausnahmeregelungen besteht für Kalisalzgruben mit großen, nicht versetzten Carnallitabbau und/oder Einlagerungen von schadstoffhaltigen Materialien (Untertagedeponien) die Möglichkeit einer luftgefüllten Verwahrung des Grubengebäudes. Grundvoraussetzungen für diese trockene Verwahrung sind ein trockenes Grubengebäude und die langzeitstabile, flüssigkeitsdichte Verfüllung der Schachtzugänge zum Grubengebäude. Auf der Grundlage langjähriger Forschungs- und Entwicklungsleistungen auf dem Gebiet der langzeitbeständigen Dicht- und Verfüllmaterialien wurden in einem Forschungsvorhaben unter der Leitung der K+S Aktiengesellschaft ein Konzept für die flüssigkeitsdichte Verwahrung von Schächten entwickelt und die einzelnen Segmente der Verfüllsäule erfolgreich getestet. Das entwickelte Grundkonzept wurde für die Verwahrung der drei Tagesschächte der Kalisalzgrube Salzdetfurth umgesetzt und ist für sechs Schächte des Werra-Kalireviers vorgesehen. Die nachfolgende Publikation gibt einen zusammenfassenden Überblick zum Grundkonzept der Verwahrung, zur Entwicklung und dem Test einzelner Segmente der Verfüllsäule und zu den Erfahrungen aus der praktischen Umsetzung bei der Verwahrung der Schächte SA I und SA II der Grube Salzdetfurth.

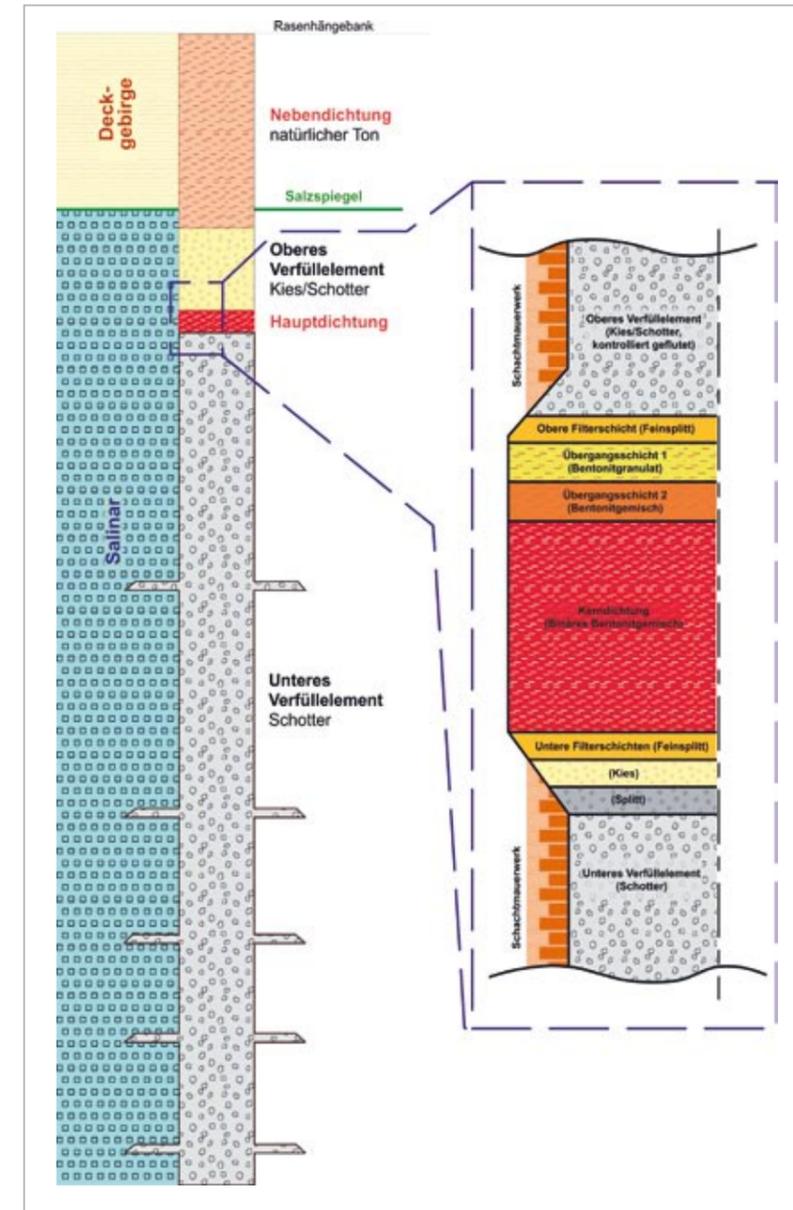


Abb. 1: Grundkonzept der Verfüllsäule und des Aufbaus der Hauptdichtung / Basic concept of the backfill column and the mean sealing

1 Situation

Das Vorhandensein großräumiger, nicht versetzter carnallitischer Grubenbereiche und/oder die Nutzung von Teilen des Grubengebäudes für die Einlagerung schadstoffhaltiger Materialien (Untertagedeponien)

schließt für einzelne Grubengebäude eine flüssigkeitserfüllte Verwahrung des Grubengebäudes entsprechend der Forderung des §7 Absatz 3 der Allgemeinen Bergverordnung (ABVO) aus. Die Stilllegung entsprechender Gruben ohne

Flutung gewinnt an Bedeutung, da die für die Flutung erforderlichen $MgCl_2$ -Lösungen vielfach nicht zeitgerecht in großen Mengen zur Verfügung stehen und alle Nassverwahrungsvarianten mit nicht gesättigten Lösungen bei großflächigem Carnallitabbau zu gebirgsmechanisch kritischen Situationen führen würden.

Die luftgefüllte Stilllegung eines Grubengebäudes erfordert den langzeitsicheren, flüssigkeitsdichten Verschluss der Schächte unterhalb der letzten grundwasserführenden Schicht des Deckgebirges. Das schließt ebenso die grundsätzliche Dichtheit des Bergwerkes zum Liegenden hin ein.

Unter der Leitung der K+S Aktiengesellschaft wurde in dem Forschungsvorhaben /K+S-1, 2002/ ein Konzept für eine flüssigkeitsdichte Verwahrung eines Schachtes entwickelt und getestet. Auf der Grundlage von erfolgreichen Funktionstests für unterschiedliche Segmente des Verschlusssystem wurde ein Grundkonzept für die flüssigkeitsdichte Verwahrung eines Schachtes entwickelt und auf drei Schächte der Grube Salzdetfurth angewendet.

2. Flüssigkeitsdichte Schachtverwahrung

2.1 Grundkonzept

Zur langzeitstabilen, flüssigkeitsdichten Abdichtung eines Schachtquerschnittes erfolgt der Einbau eines hydraulischen Dichtbauwerkes aus hoch quellfähigem Bentonit – Hauptdichtung – in eine flächenhaft ausgebildete, gering-

permeable Barrierschicht im Salinar- oder Deckgebirge unterhalb der letzten grundwasserführenden Schicht. Im Einbaubereich der Hauptdichtung wird der Mauerwerksausbau vollständig geraubt und die höher permeable Auflockerungszone des Gebirges nachgeschritten. Auf der Grundlage der geringen Permeabilität des Bentonits und des hohen Quelldruckes wird eine hydraulische Abdichtung des Schachtquerschnittes gewährleistet. Schachtbereiche mit einem wasserdichten Ausbau – Tübbinge, Vorbausäulen, Küvelagen – werden nicht als Einbaubereich der Hauptdichtung gewählt.

Durch eine zusätzliche hydraulische Nebendichtung aus gering permeablem, natürlichem Ton, im Bereich des Deckgebirges (Deckgebirgsdichtung), wird das Sicherheitsniveau der hydraulischen Schachtabdichtung nochmals erhöht. In Abhängigkeit von der hydrogeologischen Situation und den bergtechnischen Gegebenheiten im Schacht erfolgt auch für die Nebendichtung, zur Gewährleistung einer hohen hydraulischen Barrierewirkung, eine direkte Anbindung an das Gebirge. Ist dies nicht möglich, wird die Dichtwirkung der Nebendichtung durch das Gesamtsystem aus Dichtmaterial im Schachtquerschnitt sowie der Permeabilität des Verbundes von Ausbau, Kontaktbereich zum Gebirge und Auflockerungszone im Gebirge bestimmt. In Abhängigkeit von den geologischen und bergtechnischen Gegebenheiten im Schacht sollte die Nebendichtung den Bereich unterhalb des Salinarspiegels so weit wie möglich überdecken.

Durch den Einbau setzungsstabiler Verfüllabschnitte aus kohäsionslosen, natürlichen Materialien wird die Positionsstabilität der Dichtungen gesichert. Unter Berücksichtigung der, in Abhängigkeit von der geologischen Situation, langfristig zu erwartenden Gebirgskonvergenz erhöht sich das Sicherheitsniveau der Verfüllsäule.

Die Langzeitstabilität des Abdichtungs- und Verfüllsystems wird durch den Einsatz von Verfüll- und Dichtmaterialien, für die aus natürlichen Analoga eine Korrosionsbeständigkeit im salinaren Milieu abgeleitet werden kann, gewährleistet.

In Abbildung 1 ist schematisch das Grundkonzept einer flüssigkeitsdichten Schachtverwahrung

für das Belastungsszenario einer Flüssigkeitsdruckbeaufschlagung aus dem Deckgebirge dargestellt. In Tabelle 1 wird die Funktion der einzelnen Segmente der Verfüllsäule kurz erläutert.

2.2 Materialauswahl

Für alle in der Verfüllsäule eingesetzten Materialien ergibt sich die wesentliche Grundanforderung einer Langzeitkorrosionsbeständigkeit unter den salinaren Milieubedingungen. Aus den Aufgaben, den Funktionsweisen und den Einbautechnologien ergeben sich zusätzliche Anforderungen an die einzelnen Materialien. Nachfolgend werden für die in Abbildung 1 dargestellten Segmente der Verfüllsäule die ausgewählten Materialien hin-

Bezeichnung		Funktion
Nebendichtung (Deckgebirgsdichtung)		Hydraulische Abdichtung der Schachtröhre im Bereich des Deckgebirges und Minimierung des Zutritts von chemisch ungesättigten Deckgebirgsässern an die Oberkante der Hauptdichtung, Vermeidung eines unkontrollierten, schlagartigen Kontaktes der Oberkante der Hauptdichtung zu chemisch ungesättigten Lösungen aus dem Deckgebirge.
Verfüllelement	Oberes Verfüllelement	setzungstabile Verfüllung der Schachtröhre, Auflast auf die Hauptdichtung, Schaffung eines langzeitbeständigen Porenraumes.
	Obere Filterschicht	Vergleichmäßigung der hydraulischen Anströmung (Obere Filterschicht), Gewährleistung einer Volumenbegrenzung für das quellende Dichtmaterial der Übergangsschicht 1, Vermeidung eines Einpressens von quellendem Bentonit in das Obere Verfüllelement.
Hauptdichtung	Übergangsschicht 1	Vergleichmäßigung der hydraulischen Anströmung der Kerndichtung durch Abstufung der hydraulischen Leitfähigkeit ($\sigma_{\text{Übergangsschicht 1}} > \sigma_{\text{Kerndichtung 2}}$).
	Übergangsschicht 2	Vermeidung eines schlagartigen Kontaktes der Kerndichtung zu zuströmenden Lösungen.
	Kerndichtung	Hydraulische Querschnittsabdichtung gegenüber Flüssigkeiten aus dem Hangenden, Anbindung an Gebirge (Ausbau geraubt).
Verfüllelement	Untere Filterschichten	Volumenbegrenzung für das quellende binäre Bentonitmisch 1+ der Kerndichtung, Vermeidung des Einpressens von quellendem Bentonit in das Untere Verfüllelement, Vermeidung des Funktionsverlustes der Kerndichtung durch Feststofftransport durch abgestufte Korngröße.
	Unteres Verfüllelement	setzungstabile Verfüllung der an den Schacht angeschlossenen Streckenzugänge, Füllorte und Versatzbunker, setzungstabile Verfüllung der Schachtröhre, Unteres Verfüllelement für die Hauptdichtung.

Tab. 1: Aufbau der Verfüllsäule und Funktionen der einzelnen Segmente der Verfüllsäule / Design of the backfill column and function of several parts

sichtlich ihrer Anforderungen und Eigenschaften kurz vorgestellt.

Kohäsionsloses Verfüllmaterial

Für die setzungsarmen Verfüllelemente (Oberes und Unteres Verfüllelement) kommt ein Hartgesteinsschotter (Diabas- oder Basalt-Schotter) zum Einsatz. Für Basalt ist mit den Basalt-Intrusionen im Werra-Kalirevier /Koch & Vogel, 1980; Knipping, 1993/ ein natürliches Analoga für die Langzeitbeständigkeit unter den salinaren Milieubedingungen gegeben. Der Diabas wird als vergleichbarer Vulkanit angesehen /K+S-1, 2002/.

Der Hartgesteinsschotter stellt ein ruhendes Schüttgut in einer Schachtröhre dar. In Abhängigkeit vom Winkel der inneren Reibung, vom Wandreibungsbeiwert des Schotters an der Schachtwandung und dem Flächen-Umfang-Verhältnis des Schachtes werden durch den kohäsionslos eingebauten Schotter neben Druckspannungen auch Schubspannungen auf die Schachtwandung übertragen. Diese Wandschubspannungen sind umso größer, je höher der horizontale Druck auf die Wandung ist. Sie führen zum Lastabtrag der Schüttgutsäule und in der Folge zu einer nichtlinearen Druckzunahme mit der Teufe. Dieser Effekt führt dazu, dass nahezu die gesamte Gewichtskraft in das Gebirge eingetragen wird. Dieser als Siloeffekt bezeichnete Lastabtrag bewirkt, dass nur ein Bruchteil der Gewichtskraft der Schottersäule an der Auflagefläche wirksam wird.

In einem Teilvorhaben des Forschungsvorhabens „Schachtverschluss Salzdetfurth“ /K+S-1, 2002/ wurden in einem Großversuch im

Schacht SA II der Grube Salzdetfurth eine Technologie für den Einbau des Schotters entwickelt sowie das Setzungsverhalten einer 260 m langen Schottersäule untersucht. Mit diesem großtechnischen Versuch konnte gezeigt werden, dass für eine Säule aus angefeuchtet eingebrachtem Schotter, eine entsprechende Vorbereitung der Auflagefläche der Schottersäule und der an den Schacht angeschlagenen Füllorte vorausgesetzt, Setzungen in der Größenordnung von wenigen Millimetern auftreten. Aus den Druckmessungen in der Schottersäule wurde für die Dimension des Schachtes ab einer Schütthöhe von >10 m keine Änderung der Druckreaktion mehr gemessen, was auf die Silowirkung zurückzuführen ist.

Dichtmaterial Hauptdichtung

Im Ergebnis von umfangreichen laborativen und halbtechnischen Untersuchungen an unterschiedlichen Tonmaterialien wurde für die Ausführung der hydraulischen Querschnittsabdichtung ein Calciumbentonit ausgewählt /Schmidt et al., 1992; IBB-1, 1997; Erhardt, 2001; Sitz & Gruner, 1997; Sitz et al., 2003/. Im Kontakt zu Flüssigkeiten entwickelt der Bentonit auf Grund des hohen Montmorillonitgehaltes von 60 bis 72 Ma.-% bei Volumenbegrenzung einen hohen Quelldruck und im ausgequollenen Zustand eine geringe Permeabilität. Tabelle 2 fasst einzelne Eigenschaften des Tons gegenüber gesättigter NaCl-Lösung zusammen. Die Ausbildung eines Quelldruckes stellt eine wesentliche Voraussetzung für die hydraulische Abdichtung des Kontaktbereiches zwischen der

Dichtung und dem Gebirgsstoß dar und gewährleistet eine Verspannung der Dichtung in der Schachtkontur (Lastabtrag). Darüber hinaus gewährleistet er eine Abdichtung des für Dichtbauwerke im Salinargebirge kritischen Kontaktbereiches zwischen Dichtbaustoff und Gebirgskontur.

Die Existenz von Salinarformationen über geologische Zeiträume ist vielfach an die hydraulische Barrierewirkung mächtiger Tonformationen im Deckgebirge des Salinars (z. B. Oberer Werra-Ton – Werra-Kalirevier) gebunden. Darüber hinaus sind z.T. mächtige Tonlagen Bestandteil der unterschiedlichen Salinarfolgen (Roter Salzton – Grube Salzdetfurth). Aus diesen natürlichen Analoga kann auf eine Langzeitbeständigkeit des ausgewählten Bentonits im salinaren Milieu geschlossen werden. Langfristig kann für den Calciumbentonit eine Umwandlung über einen Natriumbentonit zu einer stabilen illitischen Kristallstruktur ausgegangen werden /Jasmund & Lagaly, 1993/. Diese weist nicht mehr den für die Anfangsphase (tausende Jahre) wichtigen Quelldruck auf (wird durch auflaufende Konvergenz ausgeglichen), gewährleistet jedoch für geologische Zeiträume eine sehr geringe Permeabilität und damit eine hydraulische Barrierewirkung. Für die Einstellung eines möglichst hohen Quelldruckes und einer geringen Permeabilität werden für die einzelnen Segmente des Dichtbauwerkes vorkompaktierte Bentonitmaterialien mit unterschiedlichen Kornbändern und Mischungsverhältnissen entsprechend Abbildung 2 eingesetzt. Im Ergebnis eines auf-



Abb. 2: Bentonitmaterialien a.) Bentonitgranulat 0–3 mm, b.) Bentonitpresslinge, c.) binäres Gemisch im Einbauzustand / *Bentonite materials*

Parameter	Einheit	Wert
Montmorillonitgehalt	Ma.-%	60 – 72
Wassergehalt	Ma.-%	7 – 10
Quelldruck gegenüber NaCl-Lösung (Einbautrockendichte 1,7 g/cm ³)	MPa	1,0 – 1,5
Permeabilität gegenüber NaCl-Lösung (Einbautrockendichte 1,7 g/cm ³)	m ²	≤ 10 ⁻¹⁸

Tab. 2: Hydraulische und geotechnische Eigenschaften der verwendeten Bentonitmaterialien / *Hydraulic and geotechnical properties of applied bentonite materials*

wendigen Entwicklungsprozesses zur Herstellungstechnologie werden die unterschiedlichen Bentonitmaterialien durch die K+S KALI GmbH am Standort Bergmannsseen-Hugo in hoher Qualität hergestellt. Die Produktion der Materialien unterliegt kontinuierlich einer detaillierten Qualitätsüberwachung zur Gewährleistung gleichbleibender Materialeigenschaften.

Dichtmaterial Nebendichtung

Für die Nebendichtung kommt ein natürlicher, plastischer, geringpermeabler Ton mit einer hohen Ein-

baudichte zum Einsatz. Für diesen Ton ist im Vorfeld der Nachweis seiner Eignung als Dichtbaustoff gegenüber salinaren Lösungen zu führen.

2.3 Standortauswahl für die Hauptdichtung

Ausgehend von der Aufgabe einer hydraulischen Querschnittabdichtung der Schachtröhre ergeben sich für eine Hauptdichtung folgende Anforderungen an die Positionierung:

- Positionierung in einem möglichst mächtigen, geringper-

meablen natürlichen Barrierehorizont unterhalb des letzten grundwasserführenden/flüssigkeitsführenden Horizontes,

- Nachweis einer kompakten, gleich bleibenden geologischen Situation im Einbaubereich; frei von Störungen/Verwerfungen und Einlagerungen leichtlöslicher Gesteine, die zu einer Umströmung bzw. einem hydraulischen Kurzschluss über die Dichtung führen können,
- Nachweis einer geringen Permeabilität des Barrierehorizontes im Einbaubereich der Dichtung; Ermittlung der Eindringtiefe der Auflockerungszone im Gebirge,
- Ermittlung der geomechanischen Situation im Einbaubereich (Konvergenz, Standfestigkeit) und des Einflusses einer Ausbaubearbeitung auf die zeitabhängige Entwicklung der Konvergenz und des Permeabilitätsverhaltens.

Die geologische Ansprache des Standortes erfolgt im ersten Schritt aus den vorliegenden Unterlagen zum Abteufen des Schachtes und der Auswertung von vorbereiten-

den Erkundungsbohrungen. Die abschließende Festlegung des Einbaustandortes unter geologischen Gesichtspunkten ist erst nach einer Beraubung des Schachtausbaus möglich.

Die für die Standortauswahl und die Dimensionierung des Bauwerkes wesentlichen Kenntnisse zur hydraulischen Leitfähigkeit des Barrierehorizontes und zur Ausbildung des Auflockerungsbereiches im Gebirge können aus in-situ-Permeabilitätsuntersuchungen gewonnen werden /u.a. Voigt et al., 2002/. In Abhängigkeit von der Teufe und der geologischen Situation des Einbaubereiches gewinnt die zeitabhängige Entwicklung der Permeabilität des Gebirges an Bedeutung für die Dimensionierung des Bauwerkes und die Ablaufplanung der Arbeiten im Schacht. In jedem Fall sollte der Zeitraum zwischen dem Ausrauben des Ausbaus und dem Einbau der Dichtung so kurz wie technologisch möglich gehalten werden.

Aktuell vorliegende Erfahrungen aus in-situ-Permeabilitätsmessungen in Schachtröhren weisen für Steinsalzgebirge in ausgebauten Schächten für den Teufenbereich von 200–500 m Gaspermeabilitäten <5·10⁻¹⁸m² nach /IBeWa-1, 2002/. Nach der Ausbaubearbeitung und dem Nachschnitt des Gebirges kommt es im Zeitraum von mehreren Monaten erneut zur Ausbildung einer höheren permeablen Auflockerungszone.

2.4 Einbau der Verfüllsäule

Für jedes Segment der Verfüllsäule bzw. für jeden Verfüllsäulenabschnitt ergeben sich aus der Aufgabenstellung und der Funktionswei-

se spezifische Anforderungen an die Einbauqualität und die daraus resultierende Einbautechnologie. Ausgehend von der Aufgabenstellung der einzelnen Verfüllsäulenabschnitte werden nachfolgend die wesentlichen Anforderungen und technologischen Konzepte für den Einbau vorgestellt.

2.4.1 Verfüllelemente im Liegenden der Hauptdichtung (Unteres Verfüllelement)

Das oder die Verfüllelemente im Liegenden der Hauptdichtung füllen den verbliebenen Schachtquerschnitt aus und bilden langfristig ein Widerlager für die auflaufende Konvergenz des Salinargebirges. Neben dieser lastabtragenden Funktion übernimmt dieser Verfüllsäulenabschnitt die Funktion eines setzungsstabilen Widerlagers der Hauptdichtung. Die Auslaufsicherheit im Bereich der Füllorte und Strecken und die Setzungsstabilität des Verfüllsäulenabschnittes sind ausschlaggebend für die Funktionsfähigkeit der Hauptdichtung. Auf die Materialanforderungen des einzusetzenden kohäsionslosen Verfüllmaterials wurde bereits im Abschnitt 2.2 eingegangen. Der Einbaubereich des Verfüllelementes ist durch folgende Maßnahmen vorzubereiten:

- Schaffung einer langzeitstabilen, standsicheren Gründungsfläche für die Verfüllsäule im Schachtsumpf,
- Ausrauben loser, hohl liegender und gebräucher Ausbaubereich im Bereich des Schachtausbaus,
- Vorbereitung der an den Schacht angeschlagenen Füllorte entsprechend den einschlägigen Erfah-

rungen zur auslaufsicheren Verfüllung von Füllorten /K+S-1, 2002/,

- Ausrauben aller Schachteinbauten (u.a. Spurlatten, Holzeinstriche, Holzstummel).

2.4.2 Hauptdichtung

Im Einbaubereich der Hauptdichtung werden der Ausbau und die aufgelockerte Zone des Gebirges geraubt. Die Tiefe des zu raubenden Gebirges wird aus den Ergebnissen der in-situ-Permeabilitätsuntersuchungen im Zusammenhang mit der Standortuntersuchung ermittelt. An den Einbaubereich werden, neben den geologischen und hydrogeologischen Anforderungen (Abschnitt 2.1), folgende bautechnische Anforderungen gestellt:

- Unebenheit der Oberfläche < 3 mm,
- keine vertikale Aufweitung des geschnittenen Bereiches,
- Gestaltung der Ober- und Unterkante des Einbaubereiches in Abhängigkeit vom Schüttverhalten der in diesem Bereich verwendeten Verfüllmaterialien,
- Vermeidung jeglicher Feuchtigkeit am Schachtstoß,
- Reduzierung der offenen Standzeit des Einbaubereiches auf ein technologisch machbares Minimum.

Der Einbau der unterschiedlichen Bentonitmaterialien für die drei Segmente der Hauptdichtung – Kerndichtung aus binärem Gemisch, Übergangsschicht 2 aus Bentonitgemisch, Übergangsschicht 1 Bentonitgranulat – erfolgt in unterschiedlich mächtigen Einbaulagen je Segment mit einer jeweils angepassten Einbautech-

	Schüttichte	Pressdichte	Komgrößerverteilung	Wassergehalt	Sturzfestigkeit	Bentonitgehalt	Permeabilität	Quelldruck
Mehl				x		x		x
Granulat	x		x	x				x
Presslinge		x		x	x			
binäres Gemisch							x	x

Tab. 3: Übersicht der Untersuchungen zur Eignungsprüfung der Bentonitmaterialien / Tests of bentonite materials

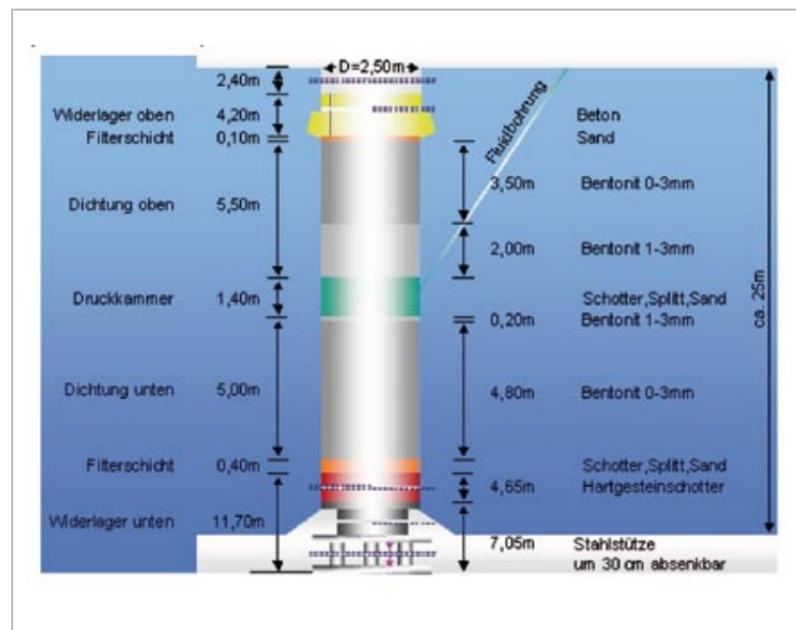


Abb. 3: Schematische Darstellung des Dichtbauwerkes aus Bentonitmaterialien / K+S-1, 2002 / Schematic presentation of a shaft sealing consisting of bentonite materials

nologie und einem abgestimmten Verdichtungsregime. Die verwendeten Bentonitmaterialien werden vor dem Einbau beprobt und eine Eignungsprüfung durchgeführt. Die Prüfparameter und die Qualitätskriterien wurden im Ergebnis von umfangreichen Labor- und

Technikumsuntersuchungen definiert. Tabelle 3 zeigt eine Auswahl der materialbezogen zu prüfenden Parameter.

Die Einhaltung der Qualitätskriterien ist die Grundlage für das Erreichen der hohen Einbaudichte, des hohen Quelldruckes und der

geringen Permeabilität.

Im Verlauf des Einbaus der Segmente der Dichtung erfolgen kontinuierlich die Erfassung der Einbaumassen und die marksscheiderische Einmessung jeder Einbaulage (Volumenbestimmung). Neben der Überwachung der einzelnen Arbeitsschritte der Einbautechnologie ist die Einbaudichte das wesentliche Qualitätskriterium der Eigen- und Fremdüberwachung des Einbaus.

3 Funktionsnachweis im großtechnischen Versuch

Das im Abschnitt 2 dargestellte Grundkonzept der Schachtverwahrung, im Besonderen der hydraulischen Dichtung und der setzungsarmen Verfüllsäule aus Hartgesteinsschotter, wurde in einem Forschungsvorhaben unter der Leitung der K+S Aktiengesellschaft (gefördert durch das BMBF; /K+S-1, 2002/) in einem großtechnischen Versuch getestet. Das Forschungsvorhaben beinhaltet folgende Schwerpunkte:

1. Testung einer hydraulischen Dichtung aus binärem Bentonitgemisch (s. Abbildung 1)
- Herstellung einer geeigneten Schachtkontur in einem Bohrschacht mit 2,5 m Durchmesser,
- Nachweis einer geeigneten Einbautechnologie zur Gewährleistung der erforderlichen Einbaudichte des binären Gemisches,
- Druckbeaufschlagung des Dichtbauwerkes bis zu einem hydraulischen Druck von 70 bar,
- Rückbau des Bauwerkes und Nachweis des Aufsättigungs- und Dichtungsverhaltens des Bentonitbauwerkes.
2. Testung von Hartgesteinsschotter

als Verfüllmaterial in Füllorten und Schachtsäulen

- Nachweis eines geeigneten Konzeptes für die auslaufsichere Verfüllung von Füllorten und Strecken,
- Nachweis einer Einbautechnologie für den Schotter in einer Schachtsäule,
- Ermittlung des Setzungsverhaltens und des Lastabtrages über eine Schottersäule (Siloeffekt) im großtechnischen Maßstab für unterschiedliche Belastungssituationen.

Die Untersuchungen wurden in dem Kalibergwerk Salzdettfurth der K+S Aktiengesellschaft durchgeführt. Abbildung 3 zeigt schematisch den Aufbau des getesteten Dichtbauwerkes aus Bentonit (binäres Gemisch). Im Forschungsvorhaben wurde der Nachweis einer hydraulischen Dichtigkeit des Bentonitbauwerkes bei Druckbelastung von 40 bar über 140 Tage sowie einer Maximalbelastung von 70 bar über einen Zeitraum von 100 Tagen (Situation Untertagedeponie) geführt.

Die Untersuchungen an einer Verfüllsäule aus Diabas-Schotter (260 m Höhe; 4 angeschlagene Füllorte; lichter Schachtdurchmesser 5,2 m) haben den Nachweis erbracht, dass eine auslaufsichere Verfüllung von am Schacht angeschlagenen Strecken und Füllorten sowie der Einbau von setzungsstabilen Verfüllsäulen aus Hartgesteinsschotter möglich sind. Die Ergebnisse und Erfahrungen des Forschungsvorhabens zu den o.g. Untersuchungsschwerpunkten bildeten die Grundlage für die Entwicklung von Verwahrungskonzepten für die drei Schächte

der Kaligrube Salzdettfurth. Das Verwahrungskonzept wurde in den drei Schächten erfolgreich in hoher Qualität umgesetzt. Eine kurze Darstellung der Umsetzung des Verwahrungskonzeptes in den genannten zwei Schächten wird im nachfolgenden Abschnitt gegeben.

4 Verwahrung der Grube Salzdettfurth

4.1 Standortbeschreibung

Die Grube Salzdettfurth liegt im Bundesland Niedersachsen in unmittelbarer Nähe der Stadt Bad Salzdettfurth. Aus dem Grubengebäude wurden im Zeitraum 1899–1992 aus der Salinarstruktur des Hildesheimer Waldsattels Carnalit und Sylvinit (Gesamtförderung 84,8 Mio. t_{eff.}) aus der Staßfurt-Zechstein-Folge gewonnen. Abbildung 4 zeigt die geologische Struktur des Salzstockes auf einem N-S-Schnitt.

Auf Grund des hohen Anteils an verbleibendem Resthohlraum, den vorhandenen Carnalitabbauen und der Dichtigkeit des Grubengebäudes gegenüber Deckgebirgslösungen wurde eine

trockene Verwahrung der Grube vorgesehen.

4.2 Verwahrungskonzept

Das im Abschnitt 2.1 vorgestellte Grundkonzept einer Verfüllsäule wurde zum flüssigkeitsdichten Verschluss der drei Schächte der Grube Salzdettfurth umgesetzt. Am Beispiel des Schachtes SA I der Grube Salzdettfurth wird nachfolgend der Aufbau einer Verfüllsäule in einer Übersicht dargestellt. Der Ablauf der Verfüllarbeiten und einige wesentliche Ergebnisse der Verfüllung des Schachtes werden im Abschnitt 4.3 zusammengefasst.

Die hydraulische Abdichtung des Schachtes erfolgt über zwei unabhängig voneinander wirkenden Querschnittsabdichtungen im Schacht. Abbildung 5 stellt in einer Prinzipskizze den Aufbau der Verfüllsäule schematisch dar. Die Hauptdichtung im Teufenbereich 406 mT–412 mT ist in einem kompakten Steinsalzpaket des jüngeren Leine-Steinsalzes im direkten Kontakt zum Gebirgsstoß – Ausbau geräumt – aus Bentonitmaterialien,

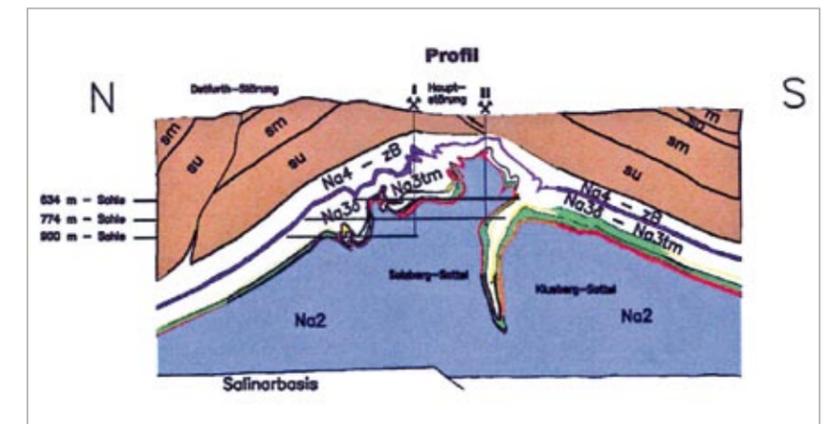


Abb. 4: N-S-Vertikalschnitt durch den Hildesheimer Waldsattel im Bereich der Schächte I und II der Grube Salzdettfurth nach Schachl und von Struensee / K+S-2, 2001 / N-S cross section of the Hildesheimer Waldsattel in the area of the shafts SA I and SA II of the mine Salzdettfurth from SCHACHL and VON STRUENSEE / K+S-2, 2001/

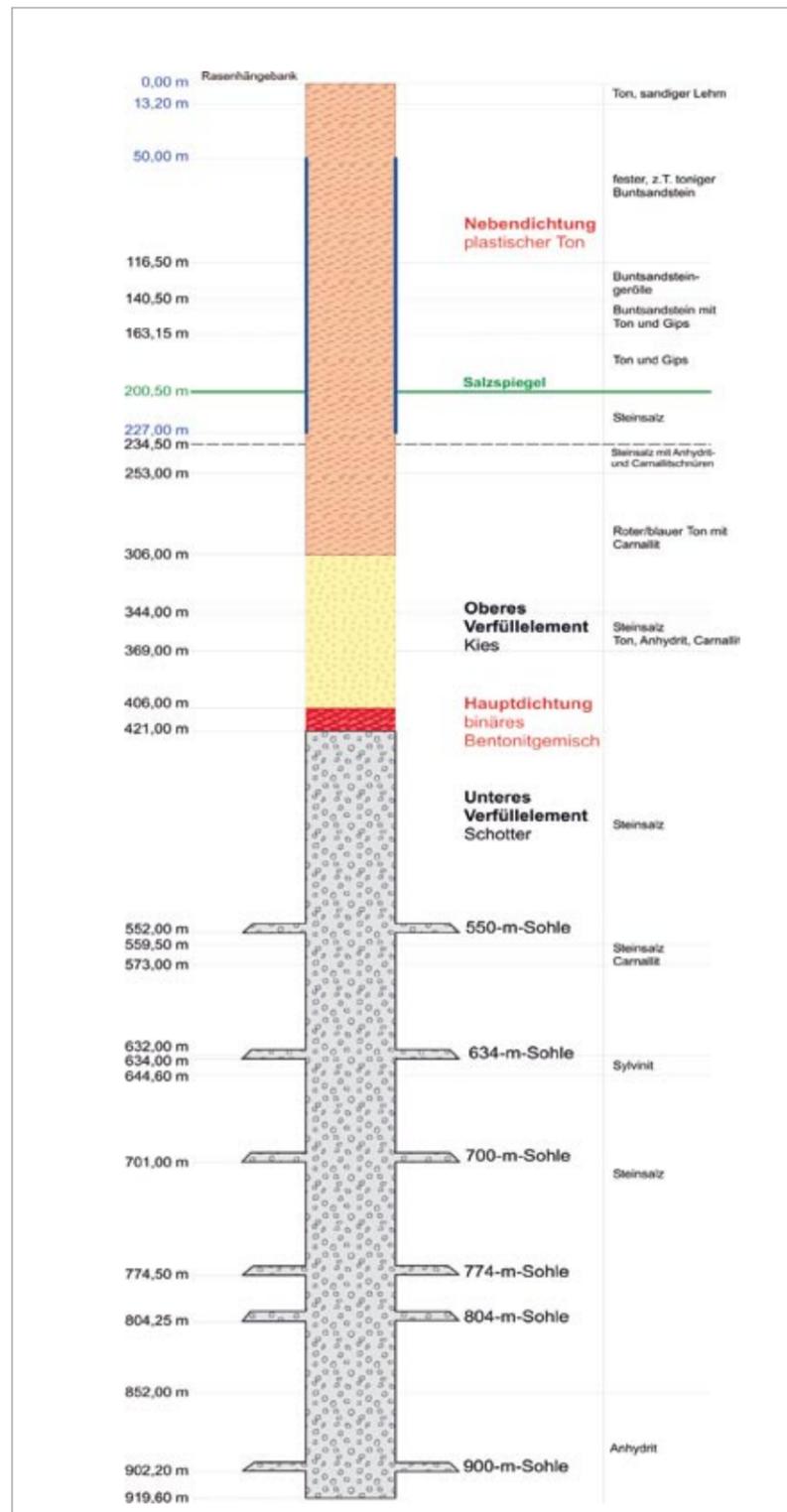


Abb. 5: Schematische Darstellung des Verwahrungskonzeptes für den Schacht SA 1 der Grube Salzdettfurth / Schematic presentation of the abandonment concept for shaft SA I of the mine Salzdettfurth

entsprechend der Erläuterungen im Abschnitt 2.2, ausgeführt. Zum Rauben des Ausbaus und dem Nachschnitt des Gebirges wurde eine von der K+S Aktiengesellschaft, Inaktive Werke, entwickelte und gebaute Schachtfräse (Abb. 6) eingesetzt. Die Nebendichtung im Teufenbereich 0 mT bis 306 mT wurde aus geringpermeablem, plastischem, natürlichem Ton hergestellt.

Die langzeitsichere vertikale Positionierung der Hauptdichtung wird durch eine setzungsstabile Verfüllsäule aus Diabas-Schotter gewährleistet. Die an den Schacht angeschlagenen Strecken und Füllorte sind, in Abhängigkeit von den wirksam werdenden Auflasten der Schottersäule, mit entsprechenden Verfüllabschnitten und stabilisierenden Vorschüttungen auslauf-sicher verfüllt.

Der Verfüllsäulenbereich zwischen der Hauptdichtung und der Nebendichtung wurde mit Quarzkies der Fraktion 8/32 verfüllt und kontrolliert mit NaCl-Lösung geflutet. Ziele der kontrollierten Flutung dieses Verfüllabschnittes waren:

- kontrollierte Aktivierung des Auf-sättigungs- und Quellprozesses in der Hauptdichtung durch stufenweise Flutung mit einer Lösung definierter Beschaffenheit (gesättigte NaCl-Lösung),
- Einstellung von definierten Bedingungen in der Beschaffenheit der die Hauptdichtung anströmenden Lösung über sehr lange Zeiträume.

4.3 Technologischer Ablauf

Der Einbau der Verfüllabschnitte und der Dichtungsbauwerke erfolgt in den Teilschritten:

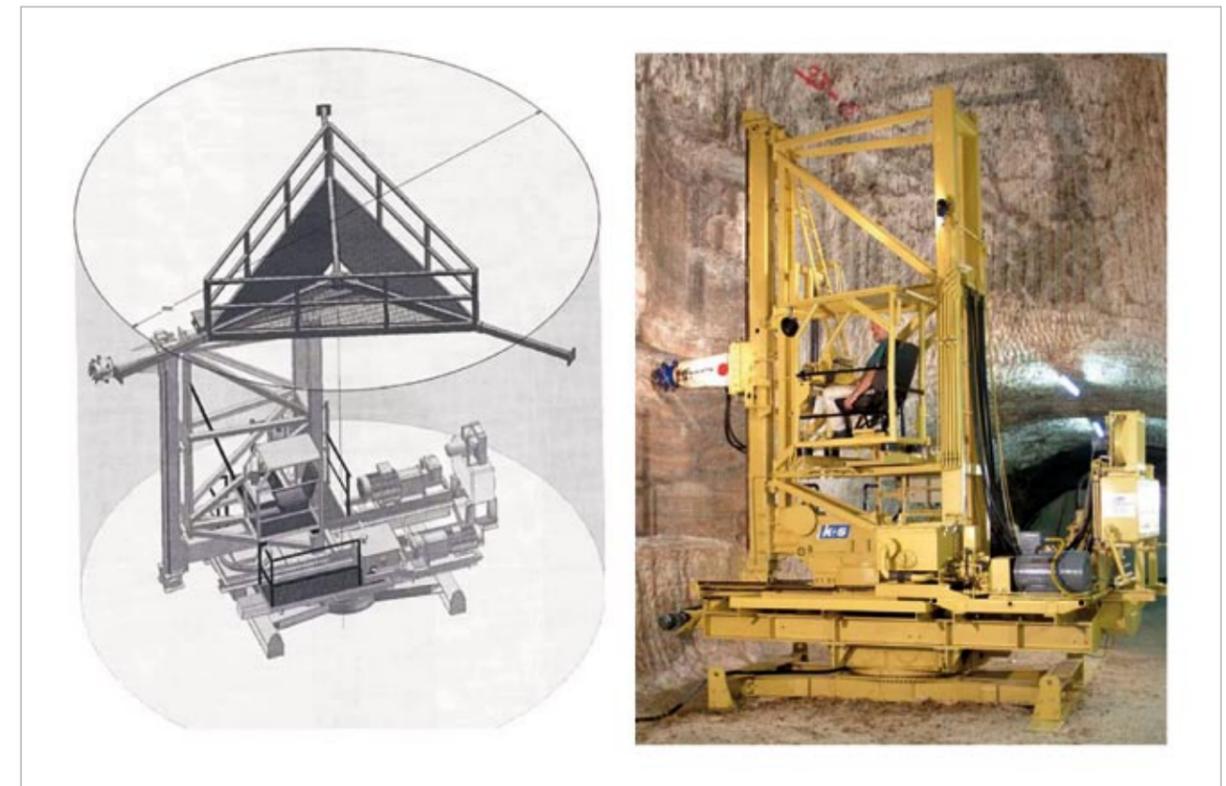


Abb. 6: Schachtfräse SF 01 für das Rauben des Ausbaus und das Schneiden des Gebirges / Shaft cutter SF 01 for drawing off the shaft support and cutting the rock

1. Vorbereitung des Schachtsumpfes, der Füllorte und Sohlen,
2. Einbau der Schachtfräse und Schneiden des Einbaubereiches für die Hauptdichtung,
3. Einbau der setzungsstabilen Schottersäule,
4. Einbau der Hauptdichtung,
5. Einbau des Oberen Verfüllelementes aus Quarzkies,
6. kontrollierte Flutung des Oberen Verfüllelementes,
7. Einbau der Deckgebirgsdichtung aus natürlichem, plastischem Ton.

Dieser technologische Ablauf wurde, schachtbezogen angepasst, für die Schächte SA II und SA III umgesetzt. Der gesamte Einbau wurde

kontinuierlich durch ein Qualitätsmanagement (Eigenschaften der eingesetzten Materialien, Einbautechnologie, Einbausergebnisse) begleitet. Die Ergebnisse dieser Qualitätsüberwachung wurden in einer Datenbank dokumentiert. In Auswertung der Qualitätsüberwachung des Einbaus kann für die durchgeführten Schachtverwahrungen eine Einhaltung der geforderten Qualitätskriterien nachgewiesen werden. Gestützt auf die Ergebnisse und Erfahrungen des Forschungsvorhabens „Schachtverschluss Salzdettfurth“ /K+S-1, 2002/ wurde insbesondere für die zwei Dichtungen eine ausgereifte Einbautechnologie entwickelt. Die Anforderungen an die Einbauqualität (u.a. Einbaudichte,

Quellverhalten, Bentonitgehalt) wurden über den gesamten Einbauprozess der Dichtelemente eingehalten und teilweise übertroffen.

5 Zusammenfassung

Für eine Reihe von Salzbergwerken besteht, auf Grund des hohen Anteils an nicht versetzten Carnallitabbauen sowie generell für Untertagedeponien, die Notwendigkeit einer trockenen Verwahrung des Grubengebäudes. Unter der Leitung der K+S Aktiengesellschaft wurde, aufbauend auf langjährigen Forschungen zur Entwicklung von Dicht- und Verfüllbaustoffen für das saline Milieu, ein Verwahrungskonzept für die flüssigkeitsdichte Verwahrung von Schachtröhren entwickelt. In den

größtechnischen Versuchen des Forschungsvorhabens „Schachtverschluss Salzdettfurth“ /K+S-1, 2002/ wurde nachgewiesen, dass:

- eine Querschnittsabdichtung aus binärem Bentonitgemisch mit direktem Kontakt zum Schachtstoß bis zu einem Flüssigkeitsdruck von 70 bar eine hydraulische Abdichtung des Schachtquerschnittes gewährleistet,
- mit Hartgesteinsschotter eine auslaufsichere Verfüllung von Strecken und Füllorten und der Einbau von setzungsstabilen Verfüllsäulen in Schächten möglich sind.

Ausgehend von den Ergebnissen und Erfahrungen des Forschungsvorhabens wurde das entwickelte Verwahrungskonzept für die Verwahrung der Schächte der Grube Salzdettfurth erfolgreich, in hoher Qualität angewendet. Die umfangreichen und detaillierten Erfahrungen und Ergebnisse aus dem Forschungsvorhaben und der Verwahrung der drei Schächte Salzdettfurth bilden die Grundlage für die Übertragung des Verwahrungskonzeptes auf weitere Gruben des Salzbergbaus.

6 Literatur

ABVO (1996): Allgemeine Bergverordnung über Untertagebetriebe, Tagebaue und Salinen im Oberbergamtsbezirk Clausthal-Zellerfeld
Ehrhardt, K. (2001): Entwicklung und Eigenschaftsuntersuchungen von schüttfähigen Bentonit- und Zuschlagstoff-Bentonit-Gemischen für den untertägigen Einsatz als Dichtmaterial. TU Bergakademie Freiberg, Dissertation
Heinemann, K.-H. (1991–2007): Prak-

tische und technische Umsetzung des Forschungsvorhabens und der Verwahrung der Schächte Salzdettfurth. Fachtechnische Informationen

IBB-1 (1997): Materialuntersuchungen für Mehrkomponentensysteme auf Ton/Bentonit-Basis für Dichtung und Lastabtrag mit hohem Rückhaltevermögen für den langzeit-sicheren Verschluss von UTD und Endlagern im Salinar. BMBF-gefördertes Forschungsvorhaben, F/E-Abschlussbericht, Förderkennzeichen: 02C0193, TU Bergakademie Freiberg, Institut für Bergbau

IBeWa-1 (2002): In-situ-Ermittlung der Konturpermeabilitäten an den Standorten der Dichtelemente in den drei Schächten des Bergwerkes Salzdettfurth. IBeWa-Ingenieurpartnerschaft im Auftrag der K+S Aktiengesellschaft (unveröffentlicht)

IBeWa-2 (2002): Verwahrungskonzepte für die Schächte 1, 2 und 3 des Werkes Salzdettfurth. Im Auftrag der K+S Aktiengesellschaft, Inaktive Werke, Bestellung: 4430772541/62E, Dezember 2002 (unveröffentlicht)

Jasmund, K.; Lagaly, G. (1993) Tone und Tonminerale: Struktur, Eigenschaften, Anwendungen und Einsatz in Industrie und Umwelt. Darmstadt: Steinkopf, 1993

K+S-1 (2002): Schachtverschluss Salzdettfurth. K+S Aktiengesellschaft, BMBF gefördertes Forschungsvorhaben, Förderkennzeichen 02C0516

K+S-2 (2001): Kenntnisstandsanalyse zur Verwahrung der Schächte Salzdettfurth. Kali und Salz GmbH (unveröffentlicht)

Knipping, B. (1993): Natürliche Analoga zur Beurteilung der Langzeitsicherheit von Untergrund-Depo-nien in Evaporiten: Stofftransporte

und Immobilität spezifischer Komponenten am Kontakt Basalt/Salzgestein. In: Sammlung der Vorträge anlässlich des Workshops Natürliche Analoga zur Einlagerung radioaktiver Abfälle (Karlsruhe 4./5. November 1993). Karlsruhe: KfK 5323, S. 111–140

Koch, K.; Vogel, J. (1980): Zu den Beziehungen von Tektonik, Sylvinitbildung und Basaltintrusionen im Werra-Kaligebiet. Freiburger Forschungsheft, C 347, Verlag für Grundstoffindustrie Leipzig

OBA-CZ, 1996: Oberbergamt Clausthal-Zellerfeld, Richtlinien des OBA Clausthal-Zellerfeld für das Verfüllen und Abdecken von Tages-schächten, 15.02.1996, 11.2/10.2 3/95 II Bllf 5.2 II

Schmidt, W.; Sitz, P.; Kessler, J. (1992): Physikalische und chemische Eigenschaften von verdichteten Bentoniten als Verfüll- und Versiegelungs-material bei der Endlagerung – Lite-raturstudie. NAGRA Techn. Bericht 92–37, November 1992

Sitz, P. (2005): Gutachterliche Stellungnahme für ein Verwahrungskonzept für ausgewählte Schächte des Grubenbetriebes Merkers im Werk Werra der K + S KALI GmbH

Sitz, P.; Gruner, M. (1997): Verschlussbauwerke für Untertagedepo-nien – Eignungsuntersuchungen an Bentoniten. Vortrag zum Geomechanischen Kolloquium 1997 in Salzburg/Österreich – Felsbau 15, 6, S. 473–476

Sitz, P.; Gruner, M. (1996): Langzeitsichere Verschlüsse für Untertagedepo-nien und Endlager unter besonderer Berücksichtigung natürlicher Materialien. Glückauf 132, Nr. 7, S. 327–332

Sitz, P.; Gruner, M.; Rumphorst, K. (2003): Bentonitdichtelemente für langzeitsichere Schachtverschlüsse im Salinar. Kali und Steinsalz, 03/2003

Voigt, H.-D., Häfner, F., Sitz, P., Wilsnack, Th. (2002): Bestimmung geringer Durchlässigkeiten im Gebirge.

Bergbau, Zeitschrift für Rohstoff-gewinnung, Energie Umwelt, S. 537–539, Dez. 2002

Wagner, K. (2005): Beitrag zur Bewertung der Sicherheit untertägiger Verschlussbauwerke im Salinar-gebirge. Dissertation, TU Bergakademie Freiberg, Fakultät für

Geowissenschaften, Geotechnik und Bergbau

1 Reduzierung der dem Gruben-gebäude über die Schachtsäule zusitzenden Flüssigkeitsvolumina auf ein standortverträgliches Minimum

Impressum

Kali und Steinsalz

herausgegeben vom VKS e.V.

VKS e.V.:

Reinhardtstraße 18A
 10117 Berlin
 Tel. +49 (0) 30.8 47 10 69.0
 Fax +49 (0) 30.8 47 10 69.21
 E-Mail: info.berlin@vks-kalisalz.de
 www.vks-kalisalz.de

Erscheinungsweise:

dreimal jährlich in loser Folge

ISSN 1614-1210

Redaktionsleitung:

Dieter Krüger, VKS e.V.
 Tel. (030) 8 47 10 69 13

Redaktionsausschuss:

Dr. Wolfgang Beer, K+S Aktiengesellschaft
 Hartmut Behnsen, VKS e.V.
 Uwe Handke, K+S Aktiengesellschaft
 Gerhard Horn, K+S KALI GmbH
 Frank Hunstock, K+S Aktiengesellschaft
 Manfred Koopmann, esco GmbH & Co. KG
 Dr. Volker Lukas, K+S Entsorgung GmbH
 Prof. Dr. Ingo Stahl, K+S Aktiengesellschaft

Herstellung und Layout:

diepiloten
 Dirk Linnerz
 Rungestraße 22–24
 10179 Berlin
 Tel. (0 30) 81 79 74 80
 Fax (0 30) 81 79 74 81
 E-Mail: dirk.linnerz@diepiloten.de
 www.diepiloten.de

Druck:

Druckerei Lippert

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der Grenzen des Urheberrechts ist ohne schriftliche Genehmigung des VKS e.V. unzulässig. Dies gilt auch für herkömmliche Vervielfältigungen (darunter Fotokopien, Nachdruck), Übersetzungen, Aufnahme in Mikrofilmarchive, elektronische Datenbanken und Mailboxes sowie für Vervielfältigungen auf CD-ROM oder anderen digitalen Datenträgern. Jede im Bereich eines gewerblichen Unternehmens zulässig hergestellte oder benutzte Kopie dient gewerblichen Zwecken gem. § 54 (2) UrhG und verpflichtet zur Gebührenzahlung an die VG Wort, Abteilung Wissenschaft, Goethestr. 49, D-80336 München.