

Philipp Herold¹, Matthias Gruner²

Asphalt- und Bitumendichtungen für Schachtverschlüsse im Salinar – Stand der Technik und Optimierungsansätze

1 Einleitung

Schächte gewährleisten den Zugang zu untertägigen Lagerstätten, ermöglichen deren bergmännische Nutzung und können darüber hinaus auch als Zugang für untertägige Speicher, Deponien und Endlager dienen. Um Gefährdungen auszuschließen, müssen Schächte, unabhängig von der konkreten Anwendung, nach ihrer Nutzung verwahrt werden. Zum Ende des letzten Jahrhunderts entstanden die heute anerkannten Prinzipien zur Errichtung flüssigkeitsdichter Schachtverschlüsse im Salinar. Mögliche Dichtungsmaterialien sind neben Ton und Bentonit auch Bitumen und Asphalt. Die vorteilhaften und leicht über die Zusammensetzung einstellbaren Materialeigenschaften des Asphaltes führten in der Vergangenheit zu verschiedenen Anwendungen. In den letzten 20 Jahren kamen zumeist Dichtungen aus Gussasphalt zum Einsatz. Aus der Analyse der bisher realisierten Anwendungen, aus dem Wissensstand in der Forschung und aus anderen ingenieurtechnischen Disziplinen lassen sich für Dichtelemente aus Asphalt und Bitumen neue Möglichkeiten zur Optimierung finden. Ziel sollte es dabei immer sein, die Funktionstüchtigkeit und Langzeitstabilität zu verbessern.

2 Anforderungen an flüssigkeitsdichte Schachtverschlüsse

Die Errichtung eines Schachtverschlusses ist nötig, um Gefährdungen auszuschließen. Mögliche Gefahren bilden Fluide, die aus dem Grubengebäude austreten oder in dieses eindringen. Darüber hinaus können auch im Grubengebäude enthaltene Schadstoffe eine Gefährdung darstellen.

Die generellen Anforderungen, die ein Schachtverschluss erfüllen muss, lassen sich nach SITZ [1] in Übereinstimmung mit den geltenden Regel- und Vorschriftenwerk wie folgt zusammenfassen:

- Verhinderung von Fluidaustritten aus dem Grubengebäude,
- Verhinderung von Fluidzutritten in das Grubengebäude,
- Vollverfüllung von Schächten im Salinar,
- Minimal mögliche Setzungen in der Verfüllsäule,
- ein Auslaufen der Verfüllsäule ist zu verhindern,
- alte Einbauten sind, soweit möglich, sind zu rauben,
- alle eingebauten Konstruktionen müssen langzeitstabil und wartungsfrei sein.

¹ Dipl.-Ing. Philipp Herold, RDB-Mitglied, Absolvent der Studienrichtung Bergbau der TU Bergakademie Freiberg, seit 1. 4. 2011 Mitarbeiter der DBE TECHNOLOGY GmbH, Eschenstraße 55, D-31224 Peine.

² Dr.-Ing. Matthias Gruner, RDB-Mitglied, wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Bergbau und Spezialtiefbau der TU Bergakademie Freiberg, Gustav-Zeuner-Straße 1a, D-09599 Freiberg

Für die konstruktive Umsetzung bedeutet dies die Gliederung des Schachtverschlusses in verschiedene Teilsysteme. Einzelne Bestandteile, wie beispielsweise Verfüllsäulen, Widerlager und Dichtelemente, erfüllen so getrennt voneinander unterschiedliche Aufgaben. Für eine weitere Erhöhung des Sicherheitsniveaus können die Prinzipien von Redundanz und Diversität umgesetzt werden.

Redundanz (von lat. *redundare* = im Überfluss vorhanden sein) bedeutet, dass mehrfache, identische Ressourcen zum Zweck der Erhöhung der Ausfallsicherheit eines Systems vorliegen bzw. mehr funktionsfähige Mittel in einer Einheit zur Verfügung stehen, als für die Erfüllung der geforderten Funktion notwendig ist [2, 3]. Dies wäre beispielsweise die Anordnung mehrerer gleicher Dichtelemente.

Durch die Vervielfachung identischer Komponenten ist eine Vervielfachung der Entwurfsfehler möglich. Deshalb müssen unterschiedliche Komponenten gleicher Funktionalität eingesetzt werden. In diesem Fall spricht man von diversitärer Redundanz oder Diversität [3]. Unterschiedliche Komponenten gleicher Funktionalität sind beispielsweise Dichtelemente aus Ton und Dichtelemente aus Asphalt. Allerdings bezieht sich der Nachweis der Funktionalität nicht auf das Gesamtsystem, sondern auf jedes Dichtelement (Komponente) an sich, wofür die Funktionalität als Einzelelement, unabhängig voneinander, nachzuweisen ist.

Der Nachweis der Funktionstüchtigkeit eines einzelnen Dichtelementes aus Ton oder Bentonit ist möglich [4]. Der Nachweis der Funktionstüchtigkeit eines einzelnen Dichtelementes aus Bitumen oder Asphalt ist Gegenstand aktueller FuE-Arbeiten am Institut für Bergbau und Spezialtiefbau der TU Bergakademie Freiberg [5].

3 Bisher realisierte Schachtverschlüsse

Durch die lange Geschichte des deutschen Kalibergbaus entstanden bereits früh erste Versuche Schächte gegen eindringendes Wasser abzudichten. Bis 1960 bestand das Vorgehen darin im Schacht Betonpfropfen zu errichten, die durch Kraftschluss ein Eindringen von Wässern in das Salinar verhindern sollten. Nicht zuletzt durch einige Rückschläge entwickelten sich aus den ersten, relativ einfachen Konstruktionen in den 1970er Jahren Dichtungssysteme mit einer Trennung von Stütz- und Dichtfunktion. Seit den 1980er Jahren kam durch die Errichtung von Untertage-Verwertungen, Untertage-Deponien und die Planung von Endlagern eine weitere Anforderung an die Dichtungen hinzu. So entstanden die heute anerkannten Konzepte und Prinzipien zur Verwahrung von Schächten im Salinar [1, 6].

Eine Übersicht der bis zum Anfang der 1990-er Jahre realisierten Schachtverschlüsse enthält die Vorstudie des späteren FuE-Vorhabens "Schachtverschluss Salzdetfurth" [6]. Informationen zu den zeitlich nachfolgend im Salinar realisierten Schachtverschlüssen sind in [7, 8] enthalten

Grundsätzlich lassen sich die für die Verwahrung von Schächten ehemaliger Kali- und Salzbergwerke realisierten Verschlüsse nach BODENSTEIN [9] in vier Typen einteilen:

Typ A:

Totalverfüllung durch geschichtete Verfüllsäule, Dichtungen im Topbereich des Salinars und unterhalb des wasserdichten Ausbaus, Lagesicherung der Dichtungen durch Widerlager.

Typ B:

Totalverfüllung durch geschichtete Verfüllsäule mit integrierten Dichtungen und Reservevolumen.

Typ C:

Teilverfüllung mit geschichteter Verfüllsäule auf Widerlager und mit Dichtungen im Salinartop und unterhalb des wasserdichten Ausbaus.

Typ D:

Totalverfüllung durch geschichtete Verfüllsäule, Widerlager-gestützte Dichtelemente im Salinartop und unterhalb des Wasserdichten Ausbaus, zusätzliche Dichtungen gegen aufsteigende Medien.

Die Auswertung der einzelnen Schachtverschlüsse zeigt, dass vor allem die eingesetzten Hauptdichtungen im Topbereich des Salinars und unterhalb des wasserdichten Ausbaus aus Kombinationen von Asphalt/Bitumen und Ton/Bentonit-Dichtungen erstellt wurden. Die doppelte Ausführung im Salinartop und unter dem wasserdichten Ausbau resultiert aus den Aufgaben der Dichtelemente, in beide Richtungen abzudichten. Des Weiteren hat die Kombination beider Materialien den Vorteil, dass der Asphalt sofort nach dem Einbau seine Dichtwirkung entfaltet. Dagegen entwickelt sich die volle Dichtwirkung des Tones erst mit dem Zutritt von Lösungen und dem damit einsetzenden Quellen der Tone.

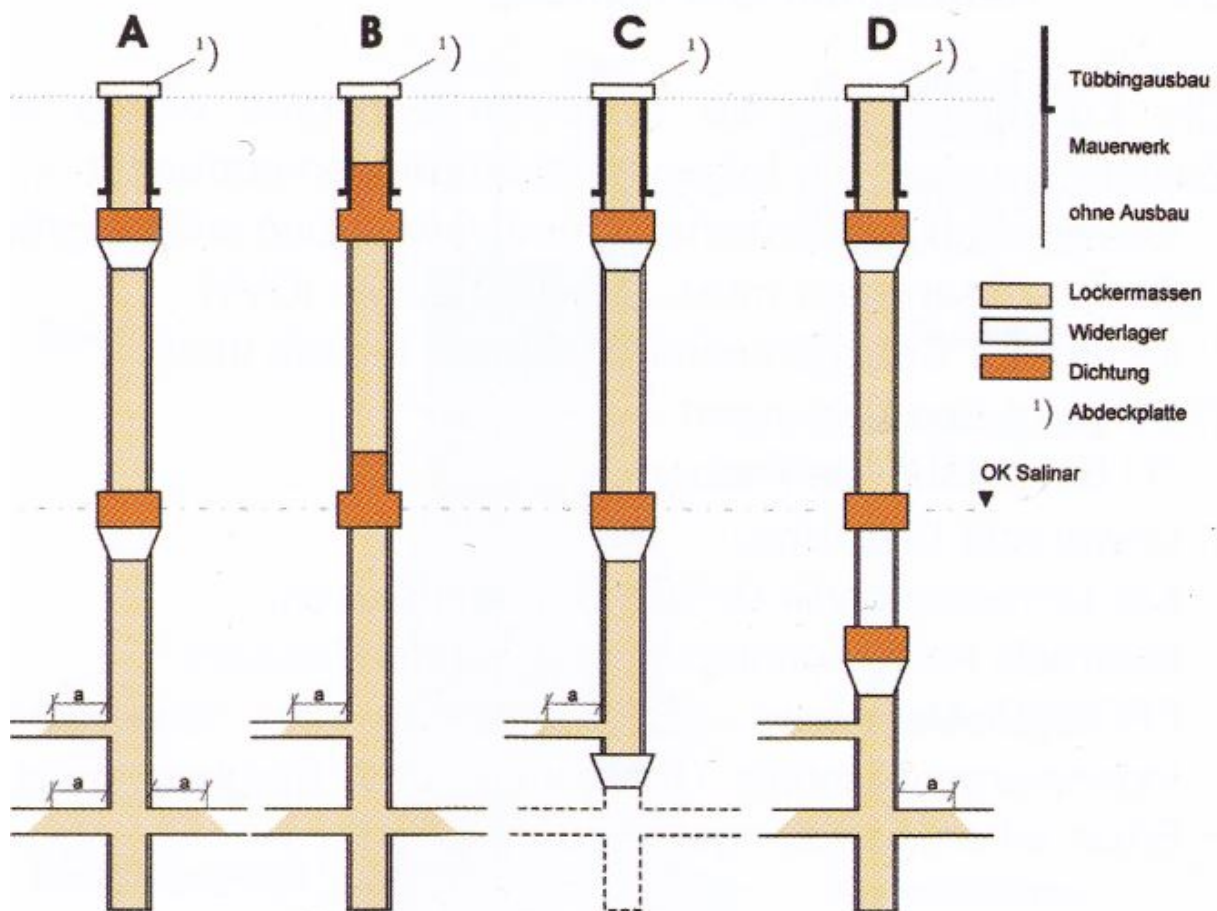


Abbildung 1: Schachtverschlusstypen bei der Verwahrung [9]

Die einzelnen Konstruktionen unterscheiden sich in ihrem Aufbau deutlich. Bei allen Unterschieden sind jedoch die eingebauten Asphalt dichtungen stets in der gleichen Bauweise in Form einer meist 1 m mächtigen Gussasphaltschicht ausgeführt. Gegenüber einer handelsüblichen Mischung wiesen diese einen erhöhten Bindemittelanteil von 10 % auf. Das Dichtelement befindet sich dabei eingebettet in die redundanten Dichtungssysteme oder an der Außenseite des Dichtungspaketes, dem zuströmenden Medium zugewandt.

4 Asphalt dichte elemente – Stand der Technik

Die für den Einbau der Asphalt dichtung, sowie des gesamten Schachtverschlusses nötige Baustelleneinrichtung unterscheidet sich im Wesentlichen kaum von der Technik, die auch für das Teufen eines Schachtes notwendig wäre. Speziell für den Umgang mit Asphalt sind über t ä g i g eine Befüllgrube, eine Warmhaltevorrichtung für die Kübel und ein geeignetes

Transportsystem nötig. Hierfür hat sich der Einsatz von Teleskopladern bewährt. Im Schacht selbst ist eine Kippvorrichtung nötig, um den Kübel entleeren zu können. Als Referenzobjekt kann der Verschluss des Schachtes "Immenrode" [10] genannt werden, dessen Baustelle befahren werden konnte [8].



Abbildung 2: Befüllung des Förderkübels mit Gussasphalt (Foto: Uwe Glaubach)

Der Einsatz des angesprochenen Gussasphaltes hat den technologischen Vorteil, dass diese Asphaltart beim Einbau nicht nachträglich verdichtet werden muss. Dem entgegen steht die hohe Einbautemperatur von 230 °C. Die Einhaltung der Einbautemperatur stellt die größte Herausforderung beim Einbau dar. Nur im geforderten Temperaturfeld kann der Asphalt die gewünschte Haftwirkung am Gebirgsstoß entfalten und der Dichtungserfolg stellt sich ein [5]. Um die Temperatur möglichst lange aufrecht zu erhalten, werden die Kübel daher vorgewärmt und auch noch über Tage im befüllten Zustand gewärmt. Beim Transport im Schacht selbst ist dies allerdings nicht mehr möglich, so dass hier eine Abkühlung einsetzt.

Einfache Simulationen des Abkühlvorganges durch numerische Berechnungen des Wärmetransportes und der resultierenden Temperaturentwicklung (siehe Abbildung 3) haben gezeigt, dass vor Allem die äußeren Bereiche des Asphaltes im Kübel von der Abkühlung betroffen sind. Der Kernbereich behält die Einbautemperatur weitestgehend.

Ist der Kübel an der Arbeitsbühne angekommen, wird die Kippvorrichtung befestigt und durch weiteres herablassen entleert sich der Kübel. Auf diese Weise kann das gesamte Dichtelement in einem Zug eingebaut werden.

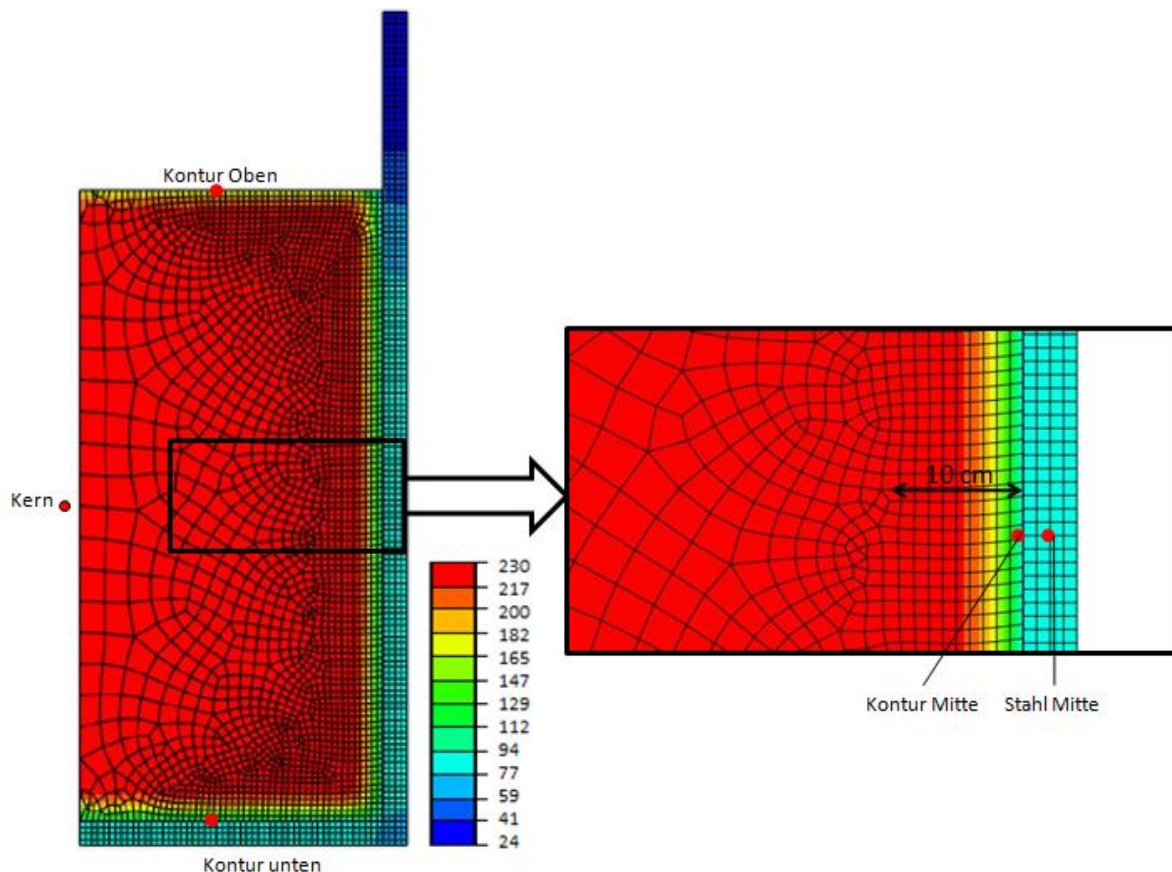


Abbildung 3: Temperaturverteilung des befüllten Kübels im Modell nach 17 Minuten Transportzeit

5 Optimierungsansätze

Die Auswertung der bestehenden Asphalt dichtungen in Schachtverschlüssen zeigte, dass sich in den letzten Jahren ein System etabliert hat, bei dem diese Dichtungen stets in der gleichen Bauweise erstellt wurden. Gleichzeitig birgt das System aber auch noch Potenzial für weitere Optimierungen. Die wesentlichen Optimierungsansätze sind dabei:

- Auftragen eines Voranstriches zur Erhöhung der Haftwirkung,
- Einsatz temperaturabgesenkter Asphalte zur Verbesserung der Haftwirkung und Reduzierung der Emissionen,
- Einsatz anderer Bindemittelarten und Veränderung des Dichtungsaufbaus zur Verbesserung der Dichtwirkung,
- Geometrie veränderung zur Verlängerung möglicher Strömungswege und Verbesserung der Dichtwirkung,
- Einführung eines Qualitätsmanagements um die Planungsvorgaben und Materialanforderungen überwachen, einhalten und dokumentieren zu können.

Die nähere Betrachtung der einzelnen Ansätze zeigte, dass generell fundierte Forschungen [5] hinter diesen Optimierungsmöglichkeiten stehen. Bisher fehlt jedoch die Umsetzung. Als besonderes viel versprechend wurden die Verwendung eines Voranstriches und die Einführung eines Qualitätsmanagements eingestuft.

Ein für den Einsatz im Salinar tauglicher Bitumenvoranstrich zur Erhöhung der Haftwirkung von Bitumen oder Asphalt an der Gebirgsoberfläche und damit zur Verbesserung der

Dichtwirkung in der Kontaktzone zwischen Dichtelement und Gebirge wurde am Institut für Bergbau und Spezialtiefbau der TU Bergakademie Freiberg entwickelt [11]. Dieser Voranstrich wurde in situ erfolgreich getestet [12] und ist praktisch einsatzbereit.

Eine vorteilhafte Beeinflussung des Temperatur-Viskositäts-Verhaltens von Asphalten im Sinne einer Verringerung der Viskosität bei gleicher Einbautemperatur oder einer Verringerung der erforderlichen Einbautemperatur bei gleicher Viskosität ist durch verschiedene organische Zusätze möglich [13 - 15]. Mit dem Einsatz dieser Zusätze könnte die Viskosität von Beginn an gesenkt werden. Auch nach dem Transport in den Schacht liegt dann eine geringere Viskosität vor und die Haftwirkung würde erhöht. Die so erreichte bessere Haftwirkung verstärkt den Kontakt zwischen Dichtelement und Gebirge und verbessert somit die Dichtwirkung. Allerdings sind dazu noch keine praktischen Anwendungen beim Bau von Dichtelementen für Schachtverschlüsse bekannt.

Von den möglichen Zusätzen erscheint Montanwachs besonders vorteilhaft, da es sich hierbei auch um ein Naturprodukt handelt. Die für Gussasphalt in Frage kommenden Montanwachse besitzen einen Schmelzpunkt von 75 - 80 °C. Über diesem Punkt sind sie komplett im Bindemittel löslich. Die Zugabe von bis zu vier Massenprozent Zusätzen führt zu einer Reduzierung der Viskosität um 20 bis 30 % gegenüber dem unbehandelten Zustand. Die erhöhte Fließfähigkeit kann im Schacht dazu genutzt werden ein besseres Haftverhalten am Gebirge zu erzielen, auch in den abgekühlten Bereichen des Asphaltes. Gleichzeitig reduzieren sich bei einer Temperaturabsenkung die Emissionen um 90 %. [16]. Beim Abkühlen kristallisieren die gelösten Wachse in den Hohlräumen des Asphaltes aus und verringern so den Hohlraumgehalt. Des Weiteren erhöht sich durch die Anwesenheit der Zusätze die Widerstandsfähigkeit des Asphaltes, was durch eine herabgesenkte Penetration nachweisbar ist [16].

Mit einer verbesserten Haftwirkung im heißen Zustand sowie einer geringeren Penetration und Hohlraumgehalt im Kalten, wirken sich diese Zusätze positiv auf die Eigenschaften des Dichtelements aus. Für die Anwendung in Schachtverschlüssen muss allerdings das Wissen um das Langzeitverhalten der Zusätze im Bitumen vertieft werden. Die bisherigen Erfahrungen aus dem Straßenbau bescheinigen zwar keine negativen Auswirkungen [13], allerdings gibt es über das Verhalten in für die Schachtverwahrung relevanten Zeiträumen nach vorliegendem Wissensstand keine exakten Kenntnisse. Eine weitere Fragestellung betrifft die von den Zusätzen ausgehenden Auswirkungen auf die Benetzbarkeit des Asphaltes.

Auf den oben vorgeschlagenen Einsatz anderer Bindemittelarten, auf mögliche Veränderung des Dichtungsaufbaus zur Verbesserung der Dichtwirkung und auf die Geometrieänderung zur Verlängerung möglicher Strömungswege bzw. die Verbesserung der Dichtwirkung durch Dichtungsschlitzte wird hier nicht eingegangen, da die aktuellen Untersuchungen noch nicht abgeschlossen sind.

Als weitere Neuerung wird die Einführung einer umfassenden Qualitätssicherung empfohlen, da so eine gründliche Überwachung und Kontrolle der Planungsvorgaben und deren Umsetzung erfolgen kann. Beispiele wie ein solches QS-System aufgebaut sein kann, finden sich in anderen Ingenieurtechnischen Disziplinen, wie dem Deponie- oder Wasserbau (siehe z. B. [17, 18]). Hier regelt beispielsweise ein projektspezifischer Qualitätssicherungsplan alle nötigen Maßnahmen. Für den Bau von Asphalt-dichtelementen in Schachtverschlüssen wird empfohlen, ein derartiges System zu entwickeln. Bisher existiert eine solche Richtlinie nicht.

Ziel sollte es sein, ein Regelwerk zu schaffen, das ein allgemeingültiges Qualitätsmanagement für die Schachtverwahrung etabliert und als Dokumentation des Einbauerfolges dienen kann. Dabei sollte aber stets der Aufwand mit dem erreichbaren Nutzen verglichen werden. Ein unnötiger Mehraufwand durch unverhältnismäßig umfangreiche Materialprüfungen und Kontrollmechanismen ist nach Möglichkeit zu vermeiden. Die Verhältnismäßigkeit des durchzuführenden Qualitätsmanagements sollte sich auch stark an der jeweiligen Aufgabenstellung orientieren. So unterscheiden sich die Anforderungen bei der Verwahrung eines stillgelegten Bergwerkes im Bereich des

Altbergbaus stark von Anforderungen, die eine Untertagedeponie oder etwa ein Endlager für hochradioaktive Abfälle an das jeweilige Verschlussbauwerk stellt.

Es werden folgende zukünftige Maßnahmen vorgeschlagen:

- Prüfung der Zusammensetzung des Mischgutes (Asphaltrezeptur) in Anlehnung an bestehende technische Lieferbedingungen bzw. an die DIN EN 12697,
- Kontrolle der Gebirgskontur (Sauberkeit, Trockenheit) als Voraussetzung für ein gutes Haftvermögen,
- Prüfung des Verformungsverhaltens durch den Stempeldruckversuch (DIN 12697-21),
- Kontrolle der Einbautemperatur,
- Bestimmung der eingebauten Masse des Asphaltes,
- Ermittlung des eingebauten Volumens der Dichtung zur Bestimmung der mittleren Einbaudichte,
- Untersuchung des Kontaktbereiches zum Gebirge durch Probenahme (Kernbohrungen),
- Bestimmung des Restporengehaltes und des Gefüges des Asphaltes an Hand von Bohrkernen.

Die von der Probengewinnung verbleibenden Bohrlöcher sind fachgerecht mit Asphalt zu verschließen.

6 Zusammenfassung

Die Auswertung der Bauausführung von Asphalt- und Bitumendichteelementen in Schachtverschlüssen im Salinar zeigte, dass ein bewährtes System zur Errichtung derartiger Dichtungen besteht. Dennoch finden sich in diesem System Punkte, die durch eine weitere Optimierung eine Verbesserung des Dichtungs- und Einbauerfolges versprechen. Mögliche Optimierungsansätze wurden aufgezeigt. Durch die erzielbaren Effekte und den nötigen Aufwand zur Umsetzung konnten diese Ansätze entsprechend verglichen werden. Die Verwendung des neu entwickelten Bitumenvoranstriches und die Einführung eines Qualitätsmanagement sind die am meisten Erfolg versprechenden und auch sofort umsetzbaren Maßnahmen.

7 Danksagung

Die Autoren bedanken sich vor allem bei Herrn Michael Seifert und Herrn Thomas Klepsch vom Schachtbau Nordhausen für die kameradschaftliche Hilfe und die Betreuung bei der Befahrung der Baustelle "Schacht Immenrode". Weiterhin bedanken wir uns für die fachliche Unterstützung bei Herrn Oberbergrat Jörg Martin vom Thüringer Landesbergamt in Gera, bei der Firma ERCOSPLAN, bei Herrn Olaf Einicke von der TS-Bau GmbH in Jena, bei Herrn Dr. Thomas Fliß von der K-UTEC AG Salt Technologies in Sondershausen, Herrn Tschernatsch von der GVV und nicht zuletzt bei den Kollegen des Institutes für Bergbau und Spezialtiefbau - bei Dr. Egon Fahning für die Betreuung der Diplomarbeit sowie bei Prof. Wolfram Kudla und Herrn Uwe Glaubach für die Möglichkeiten der Konsultationen.

8 Literatur

- [1] Sitz, P.: Langzeitstabile Verschlussbauwerke in Strecken und Schächten. Bergbau – Zeitschrift für Rohstoffgewinnung, Energie und Umwelt (2001) Nr. 11, S. 520 – 526.
- [2] Echtle, K.: Fehlertoleranzverfahren.
Siehe: http://dc.informatik.uni-essen.de/Echtle/all/buch_ftv/
- [3] Palkowitsch, M.: Proseminar Fehlertoleranzverfahren. Diversitäre Systeme. Universität Karlsruhe. Fakultät für Informatik. Institut für Rechnerentwurf und

Fehlertoleranz. (<http://goethe.ira.uka.de/seminare/ftv/diversitaet/>)

- [4] Gruner, M.: Einsatz von Bentonit im Entsorgungsbergbau. Bergbau – Zeitschrift für Rohstoffgewinnung, Energie und Umwelt (2010) Nr. 9, S. 394 – 403.
- [5] Kudla, W.; Glaubach, U. & Gruner, M.: Diversitäre und redundante Dichtelemente für langzeitstabile Verschlussbauwerke mit Schwerpunkt Asphalt. Fachgespräch "Verschlussysteme für untertägige Entsorgungseinrichtungen“, Freiberg, 20. - 21. Oktober 2009 - Materialienband -, PTKA-WTE, Projektträger Karlsruhe im Karlsruher Institut für Technologie - Wassertechnologie und Entsorgung. S. 3 – 26.
- [6] Schmidt, M. W. et al.: Schachtverschlüsse für untertägige Deponien in Salzbergwerken – Vorprojekt. Förderkennzeichen 02C0234 0. GSF – Bericht 32/95, 1996, Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit GmbH, Oberschleissheim.
- [7] Wilsnack, Th.; Sitz, P.; Heinemann, K.-H.; Rumphorst, K. & Hunstock, F. : Flüssigkeitsdichte Verwahrung von Schächten. Kali und Steinsalz (2008) Nr. 3, S. 24 – 35.
- [8] Herold, Ph.: Auswertung der Bauausführung bisheriger Asphalt- und Bitumendichtungen in Schachtverschlüssen im Salinar und Schlussfolgerungen für zukünftige Dichtsysteme auf Basis von Asphalt und Bitumen. Diplomarbeit in der Studienrichtung Bergbau. TU Bergakademie Freiberg, 28.2.2011.
- [9] Bodenstein, J.; Leuschner, J. & Seifert, M.: Zehn Jahre Schachtverwahrung im Südharz-Kalirevier aus Sicht der Planung und Ausführung. Glückauf 138 (2002) 4, S. 137 – 147.
- [10] Seifert, M.; Martin, J. & Fliss, Th.: Die nunmehr endgültige Verwahrung des Altkalischachtes IMMENRODE. Tagungsband 10. Altbergbaukolloquium Freiberg 2010: VGE Verlag GmbH, Essen, S. 419 – 422. ISBN 978-3-86797-106-5.
- [11] Glaubach, U.; Gruner, M. & Hofmann, M.: Material zur Verbesserung der Dichtwirkung einer Bitumen- oder Asphaltdichtung im Salzgestein. Offenlegungsschrift DE102008050211 A1 - Anmeldung der TU Bergakademie Freiberg vom 2.10.2008.
- [12] Knoll, P. et al.: Entwicklung eines Grundkonzeptes für langzeitstabile Streckendämme im leichtlöslichen Salzgestein (Carnallit) für UTD/UTV. Teil 2: Erprobung von Funktionselementen. Zusammenfassender Abschlussbericht zum FuE-Vorhaben 02C1204. Grube Teutschenthal, 2010.
- [13] Gesprächskreis BITUMEN: Temperaturabgesenkte Asphalte, September 2009. Siehe: <http://www.gisbau.de/bitumen/BitumenBroschuere.pdf>
- [14] Bommert, F.: Untersuchungen an Gussasphalten, die mit viskositätsveränderten Bindemitteln bei abgesenkter Temperatur hergestellt wurden, Bergisch Gladbach, Bundesanstalt für Straßenwesen, 2008.
- [15] Hirschfeld, R. M.: Temperaturabgesenkte Asphalte. Ratsschläge aus der Praxis für die Praxis, Deutscher Asphaltverband e.V., 2009.
- [16] ROMONTA: Romonta –the way for better asphalts. Produktioninformation, Amsdorf.
- [17] Anemüller, M.; Schicketanz, R.: Das Qualitätsmanagement bei Deponieabdichtungsarbeiten - derzeitiger Stand, Stuttgarter Berichte zur Abfallwirtschaft - Z DT, Stuttgart, 1998.
- [18] Burkhardt, G.: Asphaltdichtungen im Deponiebau, Renningen-Malmsheim, Expert Verlag, 1995.