

**02**  
**2026**

# **KALI & STEINSALZ**

Wertvolle Rohstoffe aus Deutschland

ISSN 1614-1210

**VKS** 

Verband der Kali- und Salzindustrie e.V.

# Bergbau denkt in Generationen

**Sehr geehrte Leserinnen und Leser,**

vor mehr als einem Jahrhundert wurde der Schacht Springen 1 abgeteuft. Im vergangenen Jahr wurde in den Niederlanden eine Bohrung abgeschlossen, mit der sehr tief liegende Salzvorkommen für die künftige Produktion erschlossen werden. Und wer heute eine Ausbildung beginnt, wird unsere Branche bis weit in die zweite Hälfte dieses Jahrhunderts mitgestalten.

Diese drei Beiträge verbindet ein gemeinsamer Maßstab: Zeit. Entscheidungen im Bergbau wirken über Jahrzehnte. Sie bestimmen, welches Wissen an den Standorten vorhanden ist, welche Lagerstätten künftig genutzt werden können und wie bergbauliche Anlagen nach dem Ende ihrer Nutzung hinterlassen werden.

Auch Fachwissen braucht langen Vorlauf. Bergbautechnologie, Verfahrenstechnik, Elektronik und Automatisierung verlangen Kompetenzen, die erst durch Ausbildung und betriebliche Erfahrung entstehen. Fachkräfte müssen ausgebildet und entwickelt werden, lange bevor eine Stelle besetzt werden kann.

Zugleich verändern Digitalisierung und Automatisierung die benötigten Qualifikationen. Damit steigen die Anforderungen an die Beschäftigten: Sie müssen weitere technische Zusammenhänge verstehen, Daten einordnen und bei Störungen sicher entscheiden können.

Nachwuchsgewinnung beginnt lange vor der Bewerbung: an Schulen und Hochschulen, mit Praktika und Ausbildungsangeboten sowie durch glaubwürdige Einblicke in die tatsächliche Arbeit über und unter Tage. Die Branche muss dabei jene jungen Menschen erreichen, die technische Berufe bisher zu selten in Betracht ziehen. Ob unsere Standorte künftig genügend Fachkräfte finden, hängt auch davon ab, ob Frauen in technischen Berufen stärker sichtbar werden und damit glaubwürdige Vorbilder entstehen. Ebenso wichtig sind Arbeitsbedingungen, die unterschiedlichen Lebensphasen gerecht werden.

Die Erschließung neuer Gewinnungsbereiche verlangt langen Vorlauf. Ein Bohrprojekt in den Niederlanden führt dies eindrucksvoll vor Augen. Die Salzlagerstätte befindet sich in Teufen zwischen 2.500 und 3.000 Metern. Weil eine Bohrung direkt im Wattenmeer nicht infrage kam, musste sie vom bestehenden Werksgelände aus mehr als drei Kilometer bis unter das Meer geführt werden.

Das Projektteam nutzte Erfahrungen aus früheren Bohrungen, beschaffte vorsorglich eine alternative Verrohrung und überwachte den Bohrverlauf in Echtzeit. Gute Vorbereitung verhindert nicht jede Abweichung. Sie kann aber verhindern, dass eine Abweichung das Projekt beherrscht.



Gerrit Gödecke

Zur Verantwortung der Branche gehört ebenso, nicht mehr benötigte Infrastruktur dauerhaft zu sichern. Mit dem Ende der betrieblichen Nutzung begann die Vorbereitung der dauerhaften Verwahrung des Schachtes Springen 1. Der Instandsetzungsbedürftige Ausbau stellte dabei besondere Anforderungen. Grundlage war das in einem Forschungsprojekt entwickelte Salzdettfurth-Konzept zur Schachtverwahrung. Der Schacht wurde so verschlossen, dass das Grubengebäude langfristig von der Biosphäre getrennt bleibt.

Die Verantwortung des Bergbaus endet nicht mit der Nutzung. Als Branche werden wir nicht nur daran gemessen, wie wir Lagerstätten erschließen und sicher produzieren, sondern auch daran, wie wir mit nicht mehr benötigten Anlagen umgehen.

Kompetenzen aufbauen, bevor sie fehlen. Neue Gewinnungsmöglichkeiten erschließen, bevor bestehende Kapazitäten an Grenzen stoßen. Anlagen sicher verwahren, wenn ihre Nutzung endet. Zeitlich liegen diese Aufgaben weit auseinander. Inhaltlich gehören sie zusammen.

Was für Qualifikation, Erschließung und Verwahrung gilt, müssen auch Politik und Verwaltung berücksichtigen: Bergbau braucht lange Vorläufe und verlässliche Perspektiven über Jahrzehnte. Dafür benötigen Unternehmen planbare Genehmigungen, rechtzeitige Infrastrukturentscheidungen und Regeln, die laufende Planungen nicht grundlegend infrage stellen.

Industrielle Projektzyklen enden nicht mit einer Legislaturperiode. Wer von einer Industrie Verantwortung über Jahrzehnte verlangt, muss ihr auch über Jahrzehnte verlässliche Perspektiven geben.

Wie diese Verantwortung konkret gelebt wird, zeigen die Beiträge dieser Ausgabe. Mein Dank gilt den Autorinnen und Autoren, die ihre Projekte und Erfahrungen mit uns teilen.

Bergbau verbindet nicht nur durch seine Geschichte, sondern durch das, was jede Generation für die folgende Generation vorbereitet und sichert.

Es grüßt Sie mit einem herzlichen Glückauf

Ihr

Gerrit Gödecke

## 02 Editorial

## 04 Impressum

## 05 Abstracts

## 06 Janz

Fachkräfte für die Zukunft

Wie der Kali- und Salzbergbau Nachwuchs gewinnt und neue Wege geht

## 12 Mastaler, Tjeerdema, Hendriks, Stax

K+S Frisia Zout B.V. in den Niederlanden:  
Erschließung sehr tiefer Salzvorkommen mit einer  
großkalibrigen, stark abgelenkten Bohrung

## 24 Nitschke, Stark

Die Verwahrung des Schachtes Springen 1

Titelbild: Zu sehen ist die im Schacht Springen 1 eingehängte  
13 3/8" API-Falleitung für den Versturz von Schotter.

© K+S Minerals and Agriculture GmbH

## IMPRESSUM

### Kali & Steinsalz

herausgegeben vom Verband  
der Kali- und Salzindustrie e. V. (VKS e. V.)

### VKS e. V.

Reinhardtstraße 18A, 10117 Berlin  
Tel. +49 (0)30 8471069 0  
info@vks-kalisalz.de  
www.vks-kalisalz.de

### Erscheinungsweise

dreimal jährlich in loser Folge  
ISSN 1614-1210

### Redaktionsleitung

Dieter Krüger, VKS e. V.  
Tel. +49 (0)30 8471069 13

### Redaktionsausschuss

Dr. Burkhard Dartsch,  
REKS GmbH & Co. KG  
Nicole Fehsecke, VKS e. V.  
Marcus Janz,  
K+S Aktiengesellschaft  
Dr. René Randaxhe,  
K+S Aktiengesellschaft  
Dr. Ludger Waldmann,  
K+S Aktiengesellschaft  
Prof. Dr. Silvio Zeibig,  
K+S Aktiengesellschaft

### Gestaltung

Alf Germanus Grafische Erzeugnisse  
Bonner Str. 58, 53332 Bornheim

### Hinweis zu Rechten an Bildern, Grafiken u. a.

Alle Bildrechte liegen bei den Autoren. Davon abweichende Ausnahmen werden mit einer Quellenangabe gekennzeichnet. 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.

## 06 Janz: Skilled Workers for the Future – How the potash and salt mining industry attracts new talent and breaks new ground

The German potash and salt mining industry faces the challenge of meeting the growing demand for skilled labor in times of demographic change while simultaneously attracting new target groups to technical professions. Key priorities include recruiting the next generation, training qualified specialists, and increasing the participation of women in the mining sector. Christina Daske, Board Member and Labor Director at K+S AG, explains how companies in the industry are responding to these developments through early career guidance, diverse training opportunities, and modern HR strategies. Alongside the recruitment of new talent, factors such as attractive working conditions, flexible working time models, and family-friendly benefits are becoming increasingly important. This article illustrates how the potash and salt industry is actively shaping this transformation and highlights the roles that diversity, digitalization, and equal opportunity play in ensuring the sector's future viability.

## 12 Mastaler, Tjeerdema, Hendriks, Stax: K+S Frisia Zout B.V. in the Netherlands: Development of very deep salt deposits using a large-diameter, highly deviated well

The solution mining company Frisia Zout B.V., located in the northwest Netherlands, is producing rock salt since 1995 from depths of 2,500–3,000 m, making it one of the deepest active salt mining operations in the world.

To secure production for the future, the HVM-01 well was drilled to establish a cavern in an offshore area accessed from an onshore drilling site. The well incorporated a required freshwater injection capacity of 500 m<sup>3</sup>/h and an extended-reach, S-shaped trajectory with a 3,300 m outstep, resulting in planned depths of 4,798 m MD and 3,006 m TVD. This trajectory was selected to position the cavern development interval while maintaining adequate stand-off from existing caverns and surface infrastructural constraints. The drilling campaign was conducted between December 2024 to July 2025 using a rig equipped with high-torque capabilities suited for large tubulars and the demanding extended reach profile. Operational challenges included cuttings transport in the S-curve, casing running in restricted clearances, and stability considerations in the high-inclination sections. These were addressed through real-time monitoring, adaptive drilling fluid strategies, and structured contingency planning.

This paper is focused on the design and execution of this highly unique project, including identification of the required services, equipment, and materials. A description of the sequential steps taken is followed by a review of the executed activities and the key learning points derived from the project.

## 24 Nitschke, Stark: The closure of Springen No. 1 Shaft

The Plant Werra of K+S Minerals and Agriculture GmbH has 14 shafts at the Merkers site in the Merkers and Springen mine fields, which were sunk at the beginning of the 20th century. Among them is the shaft Springen 1, which required permanent long-term securing, as it was no longer needed for operational purposes and its tubbing lining required repair. The shaft Springen 1 was sunk between 1908 and 1909 to a depth of approximately 393 m and consists of a tubbing and masonry lining.

The permanent closure of surface shafts in evaporite formations places particularly high demands on the quality-assured separation of the air-filled mine from the biosphere. The Salzdetfurth closure concept, which was developed in the 2000s as part of a research project, will be used as the basis for this purpose. It is essentially based on the principle of a "sliding" bentonite seal made of a binary bentonite mixture, installed in the shaft tube above the level connections in the upper Werra rock salt between two abutments made of hard-rock gravel.

The section from the upper abutment to the ground surface in the area of the tubbing lining is closed by backfilling with clay material. The implementation involved extensive work, including clearing the shaft sump by drilling and blasting, carrying out cutting work in the shaft, and placing the backfill materials. Despite the considerable effort required, the closure ultimately met all requirements for long-term safe sealing.



© K+S AG

# Fachkräfte für die Zukunft

## Wie der Kali- und Salzbergbau Nachwuchs gewinnt und neue Wege geht

**Marcus Janz**  
Communications & Brands  
K+S Aktiengesellschaft

Der deutsche Kali- und Salzbergbau steht vor der Herausforderung, den steigenden Fachkräftebedarf in Zeiten des demografischen Wandels zu sichern und gleichzeitig neue Zielgruppen für technische Berufe zu gewinnen. Im Mittelpunkt stehen dabei die Nachwuchsgewinnung, die Ausbildung qualifizierter Fachkräfte sowie die stärkere Einbindung von Frauen in den Bergbau. Christina Daske, Vorstandsmitglied und Arbeitsdirektorin der K+S AG, erläutert, wie Unternehmen der Branche durch frühzeitige Berufsorientierung, vielfältige Ausbildungsangebote und moderne Personalstrategien auf diese Entwicklungen reagieren. Neben der Gewinnung neuer Talente gewinnen auch attraktive Arbeitsbedingungen, flexible Arbeitszeitmodelle und familienfreundliche Angebote zunehmend an Bedeutung. Der Beitrag zeigt, wie die Kali- und Salzindustrie den Wandel aktiv gestaltet und welche Rolle Vielfalt, Digitalisierung und Chancengleichheit für die Zukunftsfähigkeit des Bergbaus spielen.

### ***Skilled Workers for the Future – How the potash and salt mining industry attracts new talent and breaks new ground***

*The German potash and salt mining industry faces the challenge of meeting the growing demand for skilled labor in times of demographic change while simultaneously attracting new target groups to technical professions. Key priorities include recruiting the next generation, training qualified specialists, and increasing the participation of women in the mining sector. Christina Daske, Board Member and Labor Director at K+S AG, explains how companies in the industry are responding to these developments through early career guidance, diverse training opportunities, and modern HR strategies. Alongside the recruitment of new talent, factors such as attractive working conditions, flexible working time models, and family-friendly benefits are becoming increasingly important. This article illustrates how the potash and salt industry is actively shaping this transformation and highlights the roles that diversity, digitalization, and equal opportunity play in ensuring the sector's future viability.*



## Zwischen Tradition und Transformation

Der deutsche Kali- und Salzbergbau blickt auf eine lange Tradition zurück. Über Generationen hinweg haben Bergleute die wirtschaftliche Entwicklung ganzer Regionen geprägt und mit ihrer Arbeit die Grundlage für zahlreiche Wertschöpfungsketten geschaffen. Heute steht die Branche jedoch vor tiefgreifenden Veränderungen. Der demografische Wandel, der zunehmende Fachkräftemangel, steigende Anforderungen an Nachhaltigkeit und Digitalisierung sowie veränderte Erwartungen junger Menschen an ihren Arbeitsplatz und an das Verhältnis von Arbeitszeit und Freizeit stellen die Unternehmen vor neue Herausforderungen.

Gleichzeitig wächst die Bedeutung heimischer Rohstoffe. Fragen der Versorgungssicherheit, geopolitische Unsicherheiten und der Wandel hin zu einer nachhaltigeren Wirtschaft rücken die Rohstoffindustrie wieder stärker in den Fokus von Politik und Gesellschaft. Damit verbunden ist die Erkenntnis, dass die Transformation der Wirtschaft nur mit qualifizierten Fachkräften gelingen kann.

Für Christina Daske, Mitglied des Vorstands der K+S AG und Arbeitsdirektorin, gehören Fachkräftesicherung und Nachwuchsgewinnung deshalb zu den entscheidenden Zukunftsthemen der Branche. Dabei geht es längst nicht mehr nur um die Besetzung offener Stellen, sondern um die Frage, wie der Bergbau als moderner Arbeitgeber wahrgenommen wird und welche Zielgruppen künftig für technische Berufe begeistert werden können.



Christina Daske, Vorstandin und Arbeitsdirektorin der K+S AG

## Bergbau muss neue Zielgruppen für seinen Nachwuchs erschließen

Die Unternehmen der Kali- und Salzindustrie setzen deshalb zunehmend auf frühzeitige Berufsorientierung. Schulkooperationen, Hochschulkontakte, Praktika sowie Ausbildungsmessen. Aktionen im Rahmen des Girls' Day und Boys' Day gehören mittlerweile zum festen Bestandteil der Nachwuchsarbeit.

„Wir gehen in Schulen und Universitäten und zeigen, dass es uns gibt, dass es diese Berufe gibt – und nicht zuletzt, dass diese Berufe auch interessant sind für Frauen“, beschreibt Daske den Ansatz.

Wenn heute über Geschlechtervielfalt im Bergbau gesprochen wird, gerät häufig in Vergessenheit, wie jung die Entwicklung tatsächlich ist. Noch vor wenigen Jahren war der Einsatz von Frauen unter Tage in Deutschland rechtlich gar nicht möglich. „Der Beruf der Bergbautechnologin und auch Frauen unter Tage an sich sind ja erst seit dem Jahr 2009 überhaupt erlaubt“, erinnert Christina Daske.

Diese historische Einordnung zeigt, dass die Branche in einem grundlegenden Wandel steckt. Die Gewinnung weiblicher Fachkräfte ist eine zentrale Aufgabe. Denn der Bergbau bewegt sich in einem Umfeld, das traditionell von technischen und naturwissenschaftlichen Berufen geprägt ist. Gerade in diesen MINT-Berufen sind Frauen weiterhin unterrepräsentiert.

Die Ursachen reichen weit über die Unternehmen hinaus. Noch immer beeinflussen gesellschaftliche Rollenbilder die Berufswahl vieler junger Menschen. Technische Berufe werden häufig eher mit Männern assoziiert, während Frauen sich seltener für entsprechende Ausbildungswege entscheiden. Für den Bergbau bedeutet dies, dass er aktiv um Sichtbarkeit und Aufklärung werben muss.

Besonders wichtig sind dabei authentische Vorbilder. Wenn junge Frauen erleben, dass Bergbautechnologinnen, Ingenieurinnen oder Elektronikerinnen erfolgreich in der Branche tätig sind, entstehen neue Perspektiven. Bei K+S gelingt das unter anderem durch den Einsatz von Corporate Influencern: Auf LinkedIn berichten Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter aus verschiedenen Abteilungen glaubwürdig und spannend aus ihrem Arbeitsalltag. Unter diesen

Unternehmensbotschaftern sind auch mehrere Bergfrauen. Diese Vorbilder schaffen Identifikation und zeigen, dass moderne Bergwerke durchaus vielfältiger sind, als noch immer viele Menschen vermuten. Und es gelingt den Corporate Influencern, Menschen, die kaum etwas vom Kali- und Salzbergbau wissen, in den Bann zu ziehen: Die Welt unter Tage mit ihren glitzernden Mineralien, den teils gigantischen Abbaukammern und den imposanten Maschinen übt eine unmittelbare Faszination aus.

## Nachwuchsgewinnung beginnt lange vor der Bewerbung

Die Herausforderungen bei der Gewinnung junger Talente betreffen längst nicht mehr nur den Bergbau. Nahezu alle technischen Branchen konkurrieren um eine kleiner werdende Zahl qualifizierter Nachwuchskräfte. Für die Kali- und Salzindustrie kommt hinzu, dass viele ihrer Berufsbilder hoch spezialisiert sind und außerhalb der Branche nur begrenzt bekannt sind.

Deshalb reicht es heute nicht mehr aus, Ausbildungsplätze anzubieten. Unternehmen müssen aktiv erklären, welche Aufgaben hinter den Berufen stehen und welche Entwicklungsmöglichkeiten sie bieten.

K+S verfolgt dabei einen umfassenden Ansatz. Das Ausbildungsangebot reicht von klassischen Bergbauberufen über technische Ausbildungswege bis hin zu kaufmännischen und digitalen Berufsbildern. Insgesamt werden 16 Ausbildungsberufe an zehn Standorten angeboten. Mit rund 600 Auszubildenden bei etwa 11.000 Beschäftigten investiert das Unternehmen kontinuierlich in die eigene Nachwuchssicherung. Hinzu kommt das Angebot an Fachkräfte und Studenten aus fremden Fachrichtungen, mit einer Umschulung in maximal zwei Jahren zur vollwertigen Fachkraft für die Kali- und Salzindustrie zu werden. So konnten in den vergangenen Jahren zusätzliche Bergbautechnologen, Industrieelektroniker und Produktionsfachkräfte Chemie gewonnen werden.



© K+S AG

Letztlich gehören auch die Aktivitäten in der Fort- und Weiterbildung dazu, ein attraktiver Arbeitgeber zu sein und den eigenen Nachwuchs an Führungskräften und Experten sicherzustellen. Ein Zeichen dafür ist, dass die durchschnittliche Schulungsdauer pro Mitarbeitende und Jahr wächst. Darüber hinaus können Mitarbeitende, die nach der Ausbildung noch studieren wollen, durch Stipendien für Bachelor- und Masterstudiengänge langfristig an das Unternehmen gebunden werden.

Die Vielfalt der Berufsbilder spiegelt auch den technologischen Wandel der Branche wider. Moderne Bergwerke benötigen heute nicht nur Bergbautechnologen, sondern ebenso Fachkräfte für Automatisierungstechnik, Informationstechnologie, Logistik oder Chemie. Der Bergbau entwickelt sich zunehmend zu einer Hightech-Industrie, in der Digitalisierung und Prozesssteuerung eine immer größere Rolle spielen.

Gerade darin liegt eine Chance für die Nachwuchsgewinnung. Junge Menschen suchen heute häufig nach Berufen mit Entwicklungsperspektiven, technologischer Innovationskraft und gesellschaftlicher Relevanz. Der Bergbau kann hier mit spannenden Aufgabenfeldern und einer hohen Verantwortung für die Versorgungssicherheit punkten. Ein weiterer wichtiger Faktor ist ein Arbeitsumfeld, das als positiv und inklusiv wahrgenommen wird. „Dieser Aspekt geht weit über ein ausgewogenes Geschlechterverhältnis hinaus: Zur Vielfalt gehört eben auch eine Förderung des generationsübergreifenden Arbeitens, die unterschiedliche Herkunft und Erfahrung der Mitarbeitenden oder die Unterstützung für Mitarbeitende mit Leistungseinschränkungen“, betont die Arbeitsdirektorin.

### Fachkräftemangel bleibt eine Daueraufgabe

Während sich die wirtschaftliche Lage in einzelnen Branchen derzeit abschwächt, was den Druck am Arbeitsmarkt reduziert, sieht Christina Daske keine Entspannung bei spezialisierten Fachkräften: „Das gilt nicht für die Spezialberufe wie den Bergbautechnologen – und das wird für sie aus meiner Sicht auch nie gelten. Der technologische Fortschritt hat zwar in der Vergangenheit schon dazu beigetragen, die Arbeitsmarktnische auszuweiten, und ich sehe in der Digitalisierung und Automatisierung auch im Bergbau noch großes Potenzial. Es wird aber immer



noch eine Lücke zwischen Spezialisten und allgemeinem Arbeitsmarkt bleiben.“

Tatsächlich zählen viele Tätigkeiten im Bergbau zu den Berufen, die nicht kurzfristig am Arbeitsmarkt verfügbar sind. Die Qualifizierung erfordert spezifisches Fachwissen, praktische Erfahrung und oftmals eine mehrjährige Ausbildung. Unternehmen sind daher in besonderem Maße auf ihre eigene Ausbildung angewiesen.

Hinzu kommt die demografische Entwicklung: Viele erfahrene Fachkräfte werden in den kommenden Jahren altersbedingt aus dem Berufsleben ausscheiden. Gleichzeitig treten deutlich weniger junge Menschen in den Arbeitsmarkt ein. Dieser Trend wird die Branche langfristig begleiten.

Der Fachkräftemangel betrifft dabei nicht nur die Produktion unter Tage. Auch Ingenieurinnen und Ingenieure, IT-Spezialisten, Elektroniker oder Fachkräfte für Automatisierungstechnik sind zunehmend gefragt. Die Sicherung qualifizierter Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter wird damit zu einem strategischen Wettbewerbsfaktor.

## Attraktive Arbeitsbedingungen als Schlüssel

Neben der Gewinnung neuer Beschäftigter gewinnt die Bindung bestehender Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter zunehmend an Bedeutung. Moderne Personalpolitik spielt dabei eine zentrale Rolle.

Besondere Aufmerksamkeit gilt der Schichtarbeit. Sie ist für den Bergbau unverzichtbar, da die wirtschaftliche Nutzung der Schächte und der Fabrikanlagen einen kontinuierlichen Betrieb erfordert. Gleichzeitig verändern sich die Erwartungen der Beschäftigten an ihre Arbeitsbedingungen.

„Wir arbeiten sehr intensiv daran, die Schichtarbeit so zu strukturieren und zu verbessern, dass sie für unsere Mitarbeiter so verträglich wie möglich wird“, erklärt Daske.

Die Unternehmen investieren deshalb verstärkt in gesundheitsgerechte Schichtsysteme, flexible Arbeitszeitmodelle und individuelle Lösungen für unterschiedliche Lebensphasen. Im Rahmen eines Fachkräfteprojekts wurden bei K+S verschiedene Pilotansätze entwickelt und erprobt. Unter anderen Maßnahmen erhielt das Unternehmen auch für dieses Engagement den Hessischen Fachkräftepreis 2025.

Darüber hinaus gewinnen Angebote zur Vereinbarkeit von Beruf und Familie an Bedeutung. Langzeitkonten ermöglichen es Beschäftigten beispielsweise, Zeitguthaben für Kindererziehung, Pflegeaufgaben oder Sabbaticals zu nutzen. Unterstützungsangebote bei der Kinderbetreuung oder Pflege ergänzen diese Maßnahmen.

Gerade für Frauen, aber auch für junge Familien insgesamt, können solche Instrumente entscheidend sein. Die Attraktivität eines Arbeitgebers bemisst sich heute nicht mehr allein an Vergütung und Arbeitsplatzsicherheit, sondern zunehmend an der Möglichkeit, Beruf und Privatleben miteinander zu vereinbaren.

## Der Bergbau 2036: Vielfalt als Erfolgsfaktor

Wie wird der Bergbau in zehn Jahren aussehen? Für Christina Daske hängt die Antwort eng mit gesellschaftlichen Entwicklungen und dem technischen Fortschritt zusammen.

Sie sieht die Zukunft in einer stärkeren Individualisierung von Arbeitsmodellen und einer Arbeitswelt, die unterschiedliche Lebensentwürfe gleichermaßen berücksichtigt.

„Wenn es uns gelingt, verschiedene Bedürfnisse von Generationen, Lebensmodellen und Lebensphasen anzusprechen, dann können wir es erreichen, dass Berufsbilder geschlechtsunabhängig attraktiv werden.“

Digitalisierung und Künstliche Intelligenz könnten diesen Wandel zusätzlich unterstützen, nicht zuletzt durch eine verstärkte Automatisierung bis hin zu einer teilweise autonomen Produktion. Sie eröffnen neue Möglichkeiten bei der Arbeitsorganisation, Qualifizierung und Kommunikation. Gleichzeitig bleibt der Mensch auch künftig das zentrale Element der Wertschöpfung.

Das Ziel ist eine Arbeitswelt, in der die Berufswahl nicht mehr von Geschlechterrollen oder äußeren Erwartungen beeinflusst wird: „Dann entscheidet tatsächlich die persönliche Interessenslage darüber, was ich werde – und nicht die äußeren Gegebenheiten, ob ich den Beruf ergreife oder nicht.“

## Fazit

Der deutsche Kali- und Salzbergbau befindet sich in einer Phase tiefgreifender Veränderungen. Fachkräftemangel, Nachwuchssicherung und die Gestaltung von Arbeitsplätzen unter Berücksichtigung des technischen Fortschritts gehören zu den zentralen Zukunftsaufgaben der Branche.

Die Unternehmen begegnen diesen Herausforderungen mit umfangreichen Aus- und Weiterbildungsangeboten, gezielter Nachwuchsarbeit, modernen Personalstrategien und einem klaren Bekenntnis zu Vielfalt und Chancengleichheit. Der Erfolg dieser Maßnahmen wird darüber entscheiden, ob es gelingt, auch künftig ausreichend qualifizierte Fachkräfte für eine der wichtigsten Rohstoffbranchen Deutschlands zu gewinnen.

Fest steht: Die Zukunft des Bergbaus wird nicht allein unter Tage entschieden. Sie beginnt dort, wo junge Menschen ihre beruflichen Perspektiven entdecken – in Schulen, Hochschulen und Ausbildungswerkstätten. Und sie wird davon abhängen, wie attraktiv die Branche für die Talente von morgen ist.

# K+S Frisia Zout B.V. in den Niederlanden: Erschließung sehr tiefer Salzvorkommen mit einer großkalibrigen, stark abgelenkten Bohrung



**R. Mastaler**  
Leiter Solfeld,  
K+S Frisia Zout B.V.,  
Harlingen, The Netherlands



**T. Tjeerdema**  
Leiter Projekte und Innova-  
tionen, K+S Frisia Zout B.V.,  
Harlingen, The Netherlands



**B. Hendriks**  
Geschäftsführer Frisia Zout  
K+S Frisia Zout B.V.,  
Harlingen, The Netherlands



**Dr. R. Stax**  
Leiter Geologie und  
Datenmanagement  
K+S Aktiengesellschaft,  
Kassel, Deutschland

Frisia Zout B.V. (ehemals Frima, 2001 von der K+S Aktiengesellschaft übernommen) fördert seit 1995 in den Niederlanden Steinsalz mittels Solungsbergbau. Die Lagerstätte, das Zechstein-2-Salz, befindet sich in einer Teufe von 2.500 bis 3.000 Metern und wird durch Tiefbohrungen erschlossen. Aufgrund der großen Teufe treten an diesem Standort sehr hohe Kriechraten des Salzes auf. Im Hinblick auf die Solegewinnung führt dies zu einem ständigen „Zustrom“ von nachkriechendem Salz, das durch den Solprozess wieder aufgelöst wird. Sobald ein bestimmtes Kavernenvolumen erreicht ist, stellt sich bei konstanter Solrate ein Gleichgewicht ein, sodass die Produktion vollständig aus dem nachfließenden Steinsalz erzeugt wird.

Die hohen Kriechraten ermöglichen daher eine sehr große Produktionsmenge aus einer einzigen Kaverne. Der technische Ansatz besteht darin, die Kapazität des Werkes mit nur einer oder zwei Förderkavernen voll auszuschöpfen, wobei bereits eine einzelne Kaverne bei Betrieb mit maximaler Kapazität eine Auslastung von 90 % ermöglichen soll. Das Werk befindet sich im Industriehafen der Stadt Harlingen, direkt an der niederländischen „Waddenzee“, und verfügt über eine Produktionskapazität von etwa 1,2 Millionen Tonnen Salz pro Jahr.

Um die hohen Produktionsraten von bis zu 500 m<sup>3</sup>/h an Sole zu erreichen, ist ein entsprechend großer Durchmesser für den Produktionsrohrstrang erforderlich. Dies bedeutet folglich sehr große Durchmesser für die gesamte Bohrlochkonstruktion, wobei die letzte zementierte Rohrtour 14“ beträgt und im Steinsalz des Zechstein 2 abgesetzt wird.

Von 1995 bis zum Ablauf der Fördergenehmigung Ende 2021 erfolgte die Soleförderung ausschließlich unter Land in den Konzessionen „Barradeel 1 und 2“, vorwiegend aus nahezu vertikalen Bohrlöchern. Schon vor Ablauf der Fördergenehmigung wurde klar, dass keine neue Genehmigung für die Onshore-Förderung erteilt werden würde. Hauptgrund dafür waren die durch die Salzkonvergenz verursachten Bodensenkungen an Land.

In der Folge wurde die neue Konzession „Havenmond“ beantragt, um neue Kavernen (HVM) unterhalb des Wattenmeers zu erschließen, wofür die Frisia dann auch eine Gewinnungsgenehmigung über insgesamt vier Bohrungen erhalten hat. In diesem Fall ist keine Infrastruktur von Bodensenkungen betroffen, und der natürliche Sandeintrag aus der Nordsee zusammen mit den Gezeiten sorgt dafür, dass sich auf dem Meeresboden keine Senkungsmulde bildet. Natürlich war es nicht möglich, direkt im Wattenmeer (Natura 2000 Gebiet) zu bohren. Die Herausforderung bestand nun darin, stark abgelenkte Bohrungen direkt vom Werksgelände mit einem „Outstep“ von mehr als 3 km zu bohren. Der Outstep ist notwendig, um zu verhindern, dass der Senkungstrichter später den Schutzdeich oder die Stadt erreicht. Diese Kombination aus einem sehr großen Bohrlochdurchmesser (vgl. Geothermie) und einem großen Outstep (vgl. Öl- und Gasförderung) war die eigentliche Herausforderung bei der Planung und Ausführung der Bohrung HVM-01. Frisia sammelte bereits erste Erfahrungen mit der stark abgelenkten Bohrung BAS-3 (2004) und der ersten Havenmond Bohrung HVM-02 (2020). Diese Erfahrungen flossen in die Optimierung der zweiten Havenmond-Bohrung (HVM-01) ein, welche 2025 erfolgreich fertiggestellt wurde.

### ***K+S Frisia Zout B.V. in the Netherlands: Development of very deep salt deposits using a large-diameter, highly deviated well***

*The solution mining company Frisia Zout B.V., located in the northwest Netherlands, is producing rock salt since 1995 from depths of 2,500–3,000 m, making it one of the deepest active salt mining operations in the world. To secure production for the future, the HVM-01 well was drilled to establish a cavern in an offshore area accessed from an onshore drilling site. The well incorporated a required freshwater injection capacity of 500 m<sup>3</sup>/h and an extended-reach, S-shaped trajectory with a 3,300 m outstep, resulting in planned depths of 4,798 m MD and 3,006 m TVD. This trajectory was selected to position the cavern development interval while maintaining adequate stand-off from existing caverns and surface infrastructural constraints.*

*The drilling campaign was conducted between December 2024 to July 2025 using a rig equipped with high-torque capabilities suited for large tubulars and the demanding extended reach profile. Operational challenges included cuttings transport in the S-curve, casing running in restricted clearances, and stability considerations in the high-inclination sections. These were addressed through real-time monitoring, adaptive drilling fluid strategies, and structured contingency planning.*

*This paper is focused on the design and execution of this highly unique project, including identification of the required services, equipment, and materials. A description of the sequential steps taken is followed by a review of the executed activities and the key learning points derived from the project.*

## **Gewinnung und generelle Design-Anforderungen**

Wie oben beschrieben zeigt das Salz in diesen Tiefen aufgrund hoher Temperaturen und geostatischer Drücke ein ausgeprägtes Kriechverhalten. Diese Verformung beeinflusst das Bohrverhalten, den Bohrl Lochdurchmesser und die langfristige Entwicklung der Kavernen.

Die Kavernenerschließung folgt dem Standardverfahren des Solungsbergbaus: Frisches Wasser wird durch den inneren Solstrang (hier 7") eingeleitet, löst das Salz auf, und die gesättigte Sole wird über den Ringraum zum äußeren Solstrang (hier 11 3/4") an die Oberfläche gefördert. Die Geometrie der Kaverne wird durch die Konfiguration der Solstränge zueinander, die Durchflussraten und den Einsatz eines Schutzmediums (Blanket-Öl) zur Stabilisierung des Kavernendaches gesteuert. Für eine kontrollierte Kavernenentwicklung ist es entscheidend, dass die Bohrung im Salz vertikal ist. Auch muss das vorhandene Kali-Magnesiumsalz (Carnallit) mithilfe der letzten zementierten Rohrtour isoliert werden. Der Eintrag von Magnesium führt zu großen Problemen in der Solereinigung und würde den weiteren Betrieb unwirtschaftlich machen. Bezüglich der Bohrlochstabilität sind die geologischen Formationen des oberen „leper“ Tonsteins sowie aufgrund seiner Reaktivität des oberes „Vlie-land“ Tonsteins sehr problematisch. Diese Zonen gilt es mit Rohrtouren zu isolieren, bevor die nächste Sektion gebohrt

wird. Oberhalb des Kavernenabschnitts umfasst die Zechstein-Stratigraphie abwechselnd auftretende Ton-, Anhydrit- und Halit-Schichten mit lokal variierenden mechanischen Eigenschaften. Diese Schichten können die Bohrlochstabilität, Drehmoment- und Reibungskräfte sowie die Reibungseffekte beim Einbau der Verrohrung beeinflussen. Das darunter liegende massive Steinsalz des Zechstein 2 liefert eine stabile Umgebung für den Bohrprozess, wobei das Salzkriechen mit seinem Einfluss auf den Bohrstrang und den Einbau der Rohre eine kontinuierliche Überwachung erfordert. In Abbildung 1 ist die geologische Schichtenfolge sowie der geplante und realisierte Bohrverlauf der HVM-1 dargestellt.

## **Aufgabenstellung und Herausforderungen**

Das Design der HVM-01 wurde auf Basis der Erfahrungen mit der HVM-02 Bohrung optimiert. Ziel war es, die Bohrlochstabilität und den Bohrkleinaustrag in den langen Tangenten-Sektionen zu verbessern. Das übergeordnete Ziel bestand darin, die Erfolgswahrscheinlichkeit zu maximieren, um die dickwandige und unflexible 13 3/8" x 4" Rohrtour mit einem Gewicht von 480 Tonnen (ohne Auftrieb) bis zur Zielteufe einbauen zu können. Die Durchführung von HVM-01 erforderte hohe Bohranlagenkapazitäten, zusätzliche spezielle Bohrwerkzeuge, Materialien und organisatorische Vorbereitungen, um diese sehr anspruchsvolle Bohrung bezgl. Durchmessern und Bohrspur erfolgreich zu realisieren.

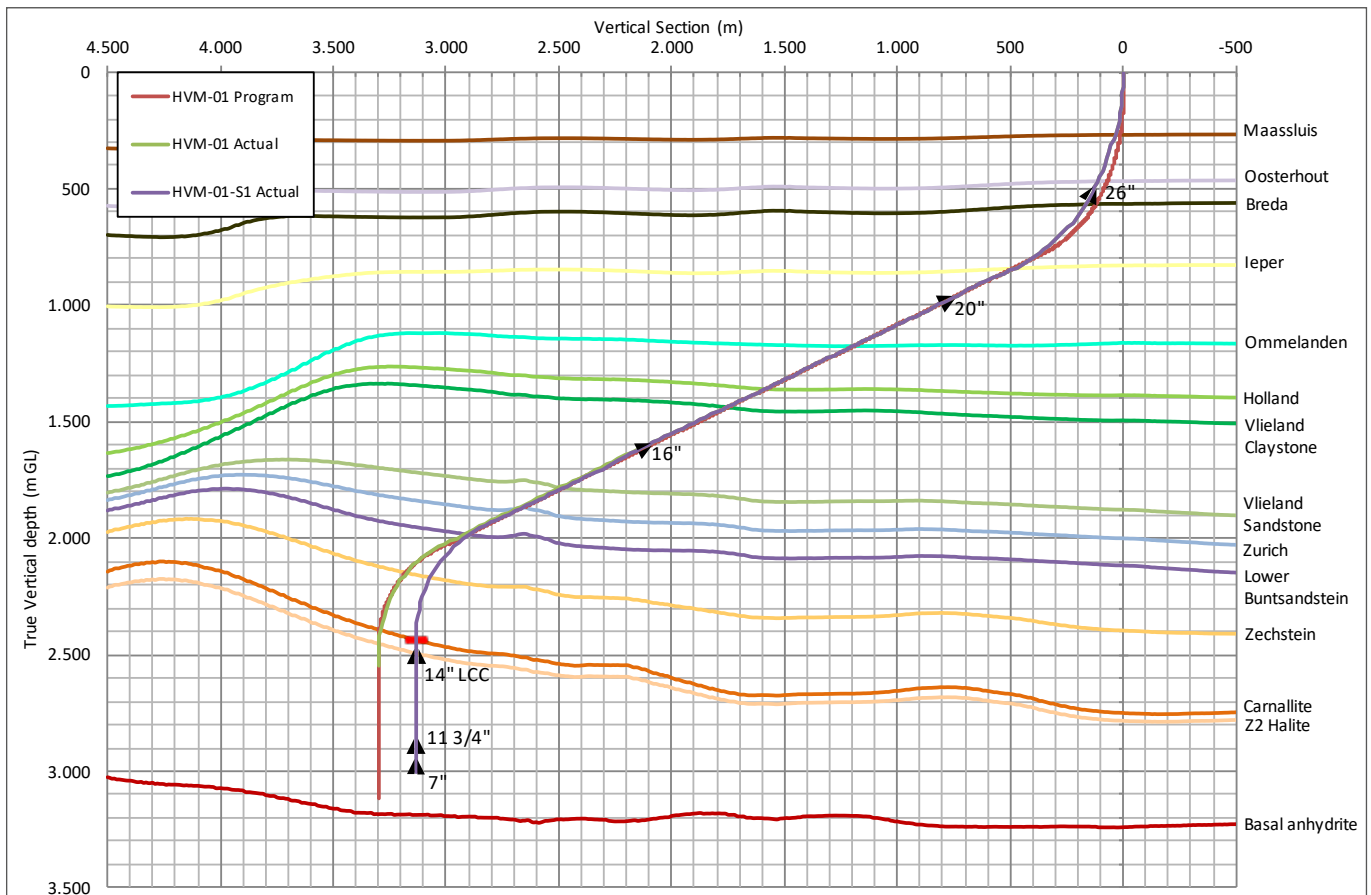


Abbildung 1: Geplanter und realisierter Bohrungsverlauf der HVM-01 bzw. des Sidetracks HVM-01-S1.

Zu den Kapazitäten der Bohranlage und des Bohrsystems gehörten ein Top-Drive mit ausreichendem Dauer-Drehmoment und notwendiger Drehzahl, um die Bohrlochreinigung in Abschnitten mit hoher Neigung zu gewährleisten sowie ein 6 5/8" Bohrstrang, der die hydraulischen und mechanischen Anforderungen erfüllte. Eine angemessene Pumpenleistung, eine ausreichende Abstellkapazität für das große Bohrgestänge im Bohrturm und eine zuverlässige Blow-Out-Schutzausrüstung (BOP) waren erforderlich, um die Abschnitte mit großen Durchmessern zu bewältigen.

Die Anforderungen an die Bohrgarnitur (BHA) und das Gestänge umfassten den Einsatz von RSS-Steuerungssystemen für eine reibungslose Richtungssteuerung, Block-Unterschneider mit positivem Aktivierungs-Feedback sowie nicht rotierende Gestängeschutzhülsen und CBIs (Cutting-Bed-Impeller) um das Drehmoment zu reduzieren, den Verschleiß an der Verrohrung zu verringern und den Bohrkleintransport in Abschnitten mit großer Neigung zu unterstützen.

Die Anforderungen an Verrohrung und Zementierung konzentrierten sich darauf, die Durchführbarkeit des Einbringens von Strängen mit großem Durchmesser in verhältnismäßig kleine Bohrlöcher zu gewährleisten. Dazu gehörten Zentralisatoren mit geringem Widerstand, Stinger-Typ Zementierungen, offene bzw. Verrohrungsschuhe mit großer Öffnung und Doppel-Float-Systeme.

Unkonventionelle Notfallmaßnahmen wie das Abhängen von Schwerstangen mit einem Packer in den einzubauenden Rohren, um die Gewichtskraft zu erhöhen, wurden ebenfalls bereits in der Planungsphase berücksichtigt. Ebenso wurde bereits vor Projektbeginn eine Alternativ-Verrohrung eingekauft, um bei eventuellen Problemen sofort ausführbare Optionen zur Hand zu haben und handlungsfähig zu bleiben.

Zu den Bohrspülungen und Materialien gehörten große Mengen an Natriumsilikat-Schlamm für die oberen Bohrlochabschnitte und sehr große Mengen an ölbasierter

Bohrspülung für den tieferen Vlieland-Ton und Salzintervalle sowie Zementmischungen und Spacer, die für lange, schmale Ringräume ausgelegt waren. Materialien zur Verhinderung von Zirkulationsverlusten und chemische Behandlungen mussten zur Verfügung stehen, um die Bohrlochstabilität zu gewährleisten und Verluste zu minimieren.

Die organisatorische Bereitschaft erforderte etablierte Verfahren zur adäquaten Bohrlochreinigung, eine Echtzeitüberwachung von Schleiflasten und Drehmomenten sowie klare Kommunikationsprotokolle zwischen den Teams aus den Bereichen Technik, Geologie und Bohrplatz. Vor den einzelnen Bohrabschnitten fanden Besprechungen zwischen den Teams im Büro und am Bohrplatz statt, um abschnittsspezifische Risiken, Anforderungen und operative Schwerpunkte zu erörtern. Notfallausrüstung und -verfahren wurden vorbereitet, um schnell auf ungeplante Einschränkungen oder Stabilitätsprobleme reagieren zu können. Die Aufrechterhaltung der Leistung und Motivation über einen langen Bohrzeitraum von sieben Monaten erforderte einen starken Fokus auf HSE, unterstützt durch Bindungs- und HSE-Leistungsanreize, um Kontinuität und Aufmerksamkeit zu gewährleisten. Hier wurden finanzielle Anreize geschaffen, um sicher zustellen dass die Bohrmannschaft während des Projektes nicht wechselte. Der Management-of-Change-Prozess (MoC) wurde gestärkt, wobei Echtzeitüberwa-

chung und definierte Kommunikationsabläufe zwischen den Teams im Büro und auf der Bohrstelle eine schnelle, gut abgestimmte Entscheidungsfindung sicherstellten, wenn Abweichungen vom Plan auftraten.

Diese Anforderungen bildeten die praktische Grundlage für die sichere und zuverlässige Durchführung der HVM-01 Bohrung und sorgten für die operativ erfolgreiche Umsetzung des technischen Planes.

Nachfolgend wird auf diese Punkte etwas näher eingegangen.

1. Bezgl. der Anlage war ein Top-Drive-Upgrade der einzig verfügbaren schweren Bohranlage (T-207) nötig, da die Wunschanlage (T-46) für mehrere Jahre bei einem Geothermieprojekt eingeplant war. Aufgrund der großen Ablenkung und Durchmesser müssen hohe Drehmomente durch den Top-Drive erzeugt werden. Weiterhin war der verfügbare Platz für eine schwere Bohranlage auf dem Werksgelände sehr eingeschränkt, was die Planung des Aufbaues zu einem echten Puzzle machte (Abb. 2A+B). Die Abstellkapazität für das große 6 5/8" Bohrgestänge im Mast, wovon fast fünf Kilometer notwendig waren sowie die großen Spülmengen ( $> 1000 \text{ m}^3$ ) stellten ebenso eine Herausforderung dar.

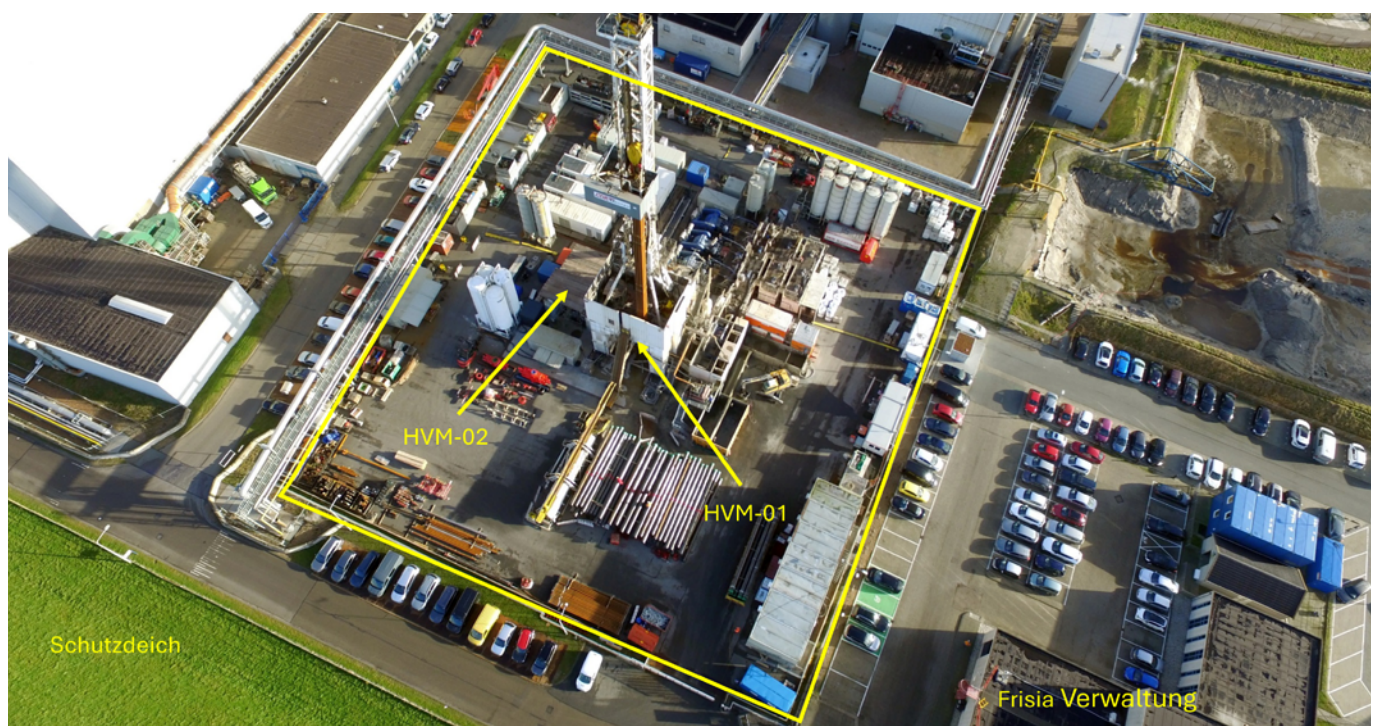


Abbildung 2A: Bohrplatz der HVM-1 auf dem Werksgelände der Frisia Zout.

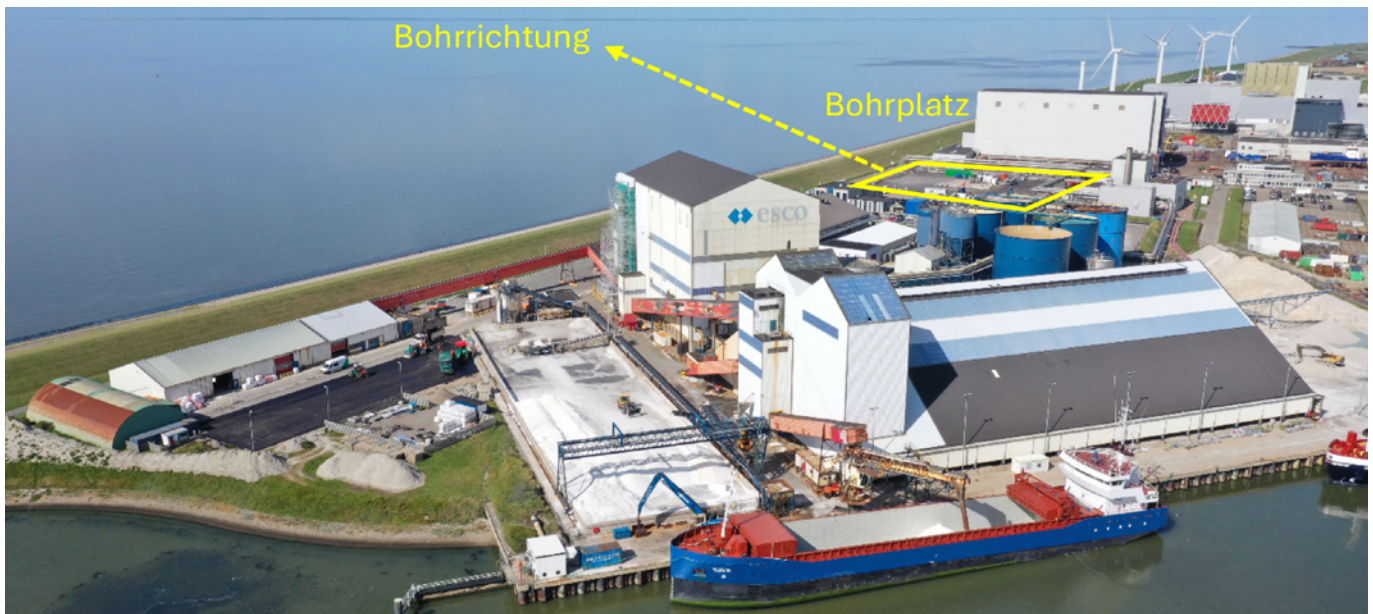


Abbildung 2B: Bohrplatz der HVM-1 auf dem Werksgelände der Frisia Zout.

2. Einsatz einer Natrium-Silikat (Wasserglas) Bohrspülung für die hangende „North Sea“ Formation bis in den leper Tonstein. Bei dem Einsatz dieses Spülungstypes wird die Bohrlochwand direkt während des Bohrens stabilisiert, vergleichbar einer Zementierung der Bohrlochwand. Dies war bereits bei der HVM-02 sehr erfolgreich und verhinderte Auswaschungen effektiv, was zu einem sehr maßhaltigen Bohrloch führte und den Einbau der Rohrtour erleichterte.
3. Spezialanfertigung der Rohrschuh-Sektion des 26" Standrohres in den USA (Abb. 3), um dieser steifen Rohrsektion mehr Flexibilität zu geben. Der Rohrschuh sollte in der ersten abgelenkten Sektion (Build-Up-Section) abgesetzt werden.
4. Tiefere Absetzteufen der 20" Ankerrohrtour und der 16" Zwischenrohrtour, um jeweils die oberen 200–300 m des leper- und Vlieland-Tonsteins zu sichern.
5. Alle auf die Ankerrohrtour folgenden Sektionen erforderten ein Unterschneiden des Bohrloches, um genug Raum für den nachfolgenden Rohreinbau zu schaffen. Die Erfahrung mit der HVM-02 zeigte, dass dies deutlich besser funktioniert, wenn das Bohren des Pilotloches mit einem nachfolgenden Unterschneider in einem Lauf (Tandem) realisiert wird, anstatt erst das Pilotloch zu bohren und es dann in einem zweiten separaten Schritt aufzuweiten. Die Tandem-Konfiguration reduziert außerdem das Risiko eines ungewollten Sidetracks. Basierend auf den HVM-02 Erfahrungen wurden gezielt sehr robuste Unterschneider („Block-Type“ statt „Blade-Type“, Abbildung 4) ausgewählt, welche auch eine klare Indikation geben, ob die Blöcke ausgefahren sind. Außerdem wurde in Betracht gezogen, eine optionale Messapparatur zu verwenden, um die Belastungsverteilung zwischen Unterschneider und Pilotmeißel besser zu verfolgen.



Abbildung 3: Spezialanfertigung des 26" Rohrschuhs; hier nach Fertigstellung in Texas.

6. Das Verrohrungsschema und die Bohrlochdurchmesser wurden optimiert (Freiraum Rohr/Bohrloch), um exzessive Reibungseffekte zu verhindern. Es wurde untersucht, inwieweit sich der Einsatz von Bow-Spring-Centralisern minimieren lässt, um Reibung zu reduzieren. Alternativen wie der Einsatz von „Pad-type“-Gehäusezentrierern, welche auf die Rohre geklebt werden, wurde ebenfalls



Abbildung 4: Eingesetzte Unterschneider (Underreamer): Links zu sehen ein Block des 16" Underreamer nach Unterschneiden der langen Tangentensektion und rechts ein Block des 17 1/2" „Rhino“ Underreamer, welcher im Salz zum Einsatz kam.

untersucht. Der Fokus lag vor allem auf der Robustheit der Gehäusezentrierer, d.h. klappbare Varianten mit Scharnieren wurden ausgeschlossen. Erfahrungen mit der HVM-02 zeigten das die klappbaren Varianten im Loch abbrechen können und im schlimmsten Fall durch Ansammlung an einem Punkt den Rohreinbau blockieren.

7. Der Einbau der 14"-Rohre wurde mit offenem Rohrschuh geplant, um Auftriebskräfte zu reduzieren, welche besonders durch den Druckaufbau unter dem Rohrschuh aufgrund der geringen Spielräume zwischen Rohr und Bohrloch (annular-clearance) und beim Verstopfen der normalerweise kleinen Öffnung am Rohrschuh erzeugt werden.
8. Unkonventionelle Back-up Vorbereitungen, um bei einem Aufstehen der Rohre zusätzliches Gewicht abzuhängen und Reibungskräfte zu überwinden. Dies wurde bereits erfolgreich bei der HVM-02 eingesetzt, um

Rohrtouren wieder in Bewegung zu bekommen. Hierbei werden Schwerstangen (HWDP oder DP) an einem RTTS (Retrieval Test-Treat Squeeze Tool) in der vertikalen Sektion der Rohre abgehängen.

9. Für den Fall, dass der 14"-Rohrschuh die Zielteufe nicht erreicht, wurde geplant, den 11 3/4" äußeren Solstrang als letzte zementierte Rohrtour zu verwenden. Als alternative Solstränge wurden vorsorglich jeweils rund 5.000 m an 9 5/8"- und 5 1/2"-Solsträngen eingekauft sowie die entsprechend nötigen Anpassungen am Sondenkopf sichergestellt. Die Konsequenz dieser kleineren Komplettierung wäre eine um etwa 1/3 reduzierte Förderleistung der Bohrung.
10. Bezüglich der Zementationen wird aufgrund der kleinen Ringräume zwischen Bohrloch und Rohr meist eine Stinger-Zementation unter Verwendung von Zementsuspension mit geringer Dichte benötigt.

11. Die HVM-02 Bohrung zeigte, welche Herausforderung es ist, einen guten Bohrkleinaustrag bei diesen großen Durchmessern zu gewährleisten. Konkrete Schritte waren ein striktes Einhalten der ERD (Enhanced-Reached-Drilling) Richtlinien, um zu verhindern, dass sich Bohrklein lokal akkumuliert (Dünenbildung). Ein effektives Pumpenmanagement ist enorm wichtig, da alle drei Spülpumpen gleichzeitig in Betrieb sein müssen, um die erforderlichen Spülraten zu realisieren. Geeignete Richtlinien für die benötigte Strangrotation

und das Nachsetzen von Bohrgestänge sind ebenso kritisch. Neben dem Einsatz von NRDPs (Non-Rotating-Drillstring-Protectors) zur Reduzierung des benötigten Drehmomentes wurden auch CBIs in den Bohrstrang eingebaut. Diese sorgen für lokal erhöhte Turbulenzen, welche ein Aufwirbeln des Bohrkleins begünstigen und es so in Suspension halten.

Das Verrohrungsschema mit Absetzteufen ist in Abbildung 5 wiedergeben.

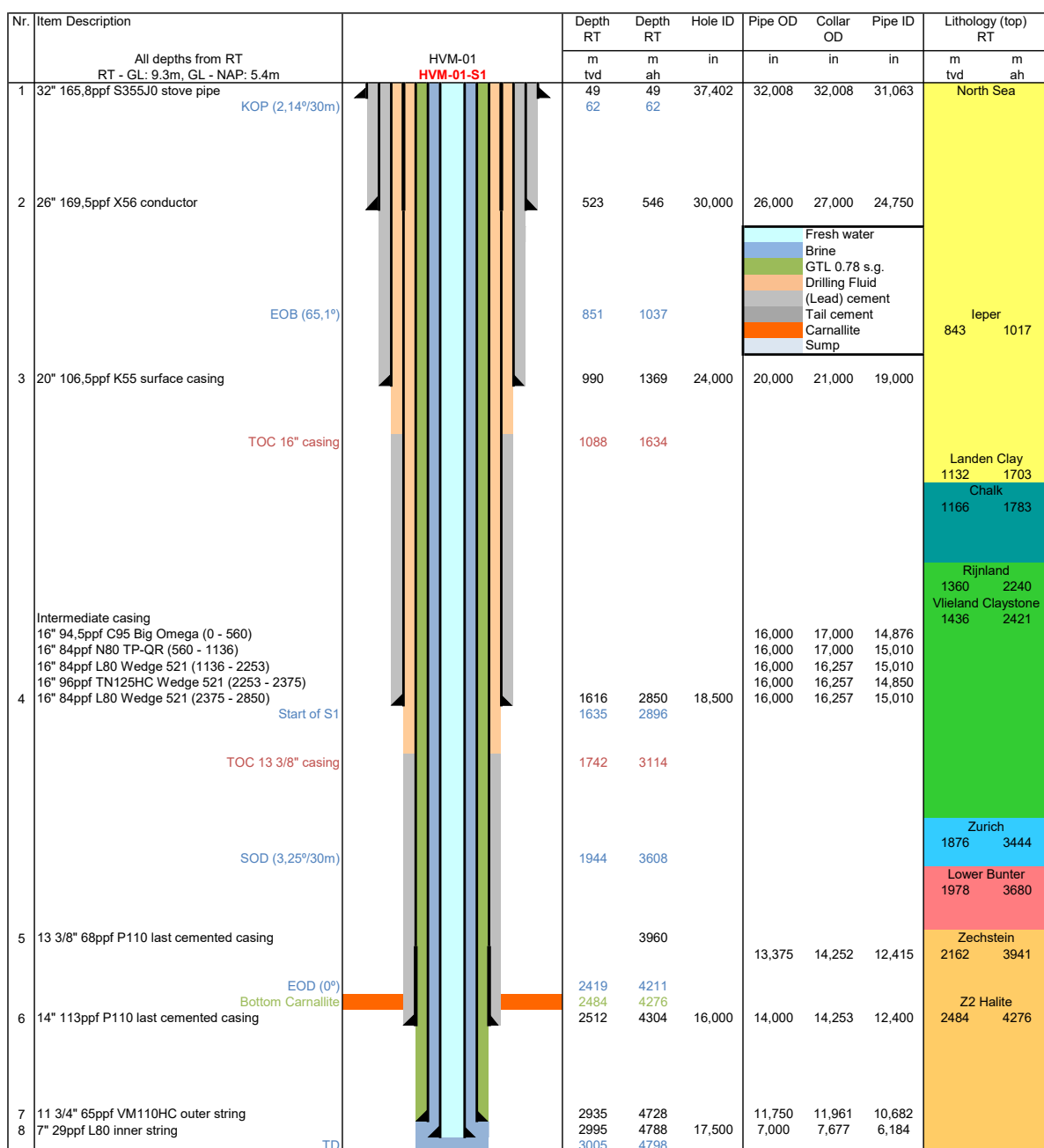


Abbildung 5: Übersicht zum Verrohrungsschema der HVM-01.

## Ausführung des Bohrprogrammes

### 30" Bohrloch mit 26" Standrohr

Der 32" Konduktor war bereits vor dem Aufbau der T-207 bis auf 50m Teufe eingebracht worden. Das 30" Bohrloch wurde bis zur geplanten Tiefe von 550 m MD unter Verwendung eines Richtbohrmotors mit eingestelltem Knick von 1,5° gebohrt. Die Neigung zur Lotrechten betrug bei Endteufe bereits etwa 28°. Anschließend wurde das 26" Standrohr mit Hilfe eines flexiblen Rohrschuhes bis auf Zielteufe spülend eingebaut. Die aufwendige Spezialanfertigung des flexiblen Rohrschuhes zahlte sich aus und der Einbau verlief ohne Probleme. Das Standrohr wurde mit einer Stinger-Zementation bis zur Oberfläche zementiert. Hiermit war eine solide Ausgangsbasis für die weitere Bohrung geschaffen.

### 24" Bohrloch mit 20" Ankerrohr

Das 24" Bohrloch wurde ebenfalls unter Verwendung eines Richtbohrmotors bis auf knapp 1.400 mMD gebohrt. Die



Abbildung 6: Entfernung eines massiven Zementblocks aus der Auslaufrinne des Bohrturms.

Aufbausektion wurde nach Erreichen einer 65° Neigung abgeschlossen. In diesem Abschnitt kam die Natrium-Silikatbohrspülung zum Einsatz, welche die Bohrlochwand im leper Ton sehr gut stabilisierte. Allerdings war die Inhibierung des Bohrkleins (quellfähige Tone) nicht ausreichend und es kam zur Formung von berüchtigten „Gumbo-Attacken“ welche intervallweise auftraten. Diese bestanden aus einem Schwall an plastischen Ton-Aggregaten, die regelmäßig für ein Überlaufen der Auslaufrinne sorgten und der Bohrmannschaft einiges abverlangten.

Zusammen mit den Ton-Aggregaten wurde auch ein riesiger über 60 cm langer Zementbrocken zu Tage gefördert, welcher die Auslaufrinne blockierte (Abb. 6). Trotz dieser widrigen Umstände gelang es, diesen Abschnitt bis auf Endteufe zu bohren und nach einem „Wiper-Trip“ zur Säuberung des Bohrloches verlief der Einbau der 20"-Ankerrohrtour problemlos. Die Rohre wurden ebenfalls mit einer Stinger-Zementation bis nach Übertage zementiert. Mit der Verrohrung des problematischen leper-Tons war eine hervorragende Basis geschaffen, um die lange 65°-Tangente zu bohren. Dieses Projekt hat erneut gezeigt, wie schwierig es ist, eine Silikat-Bohrspülung gut einzustellen.

### 18 1/2" Bohrloch mit 16" Zwischenrohrtour

Der Einbau der großen 20"-Ankerrohrtour ermöglichte das Bohren der Tangente mit 18 1/2" ohne anschließendes Unterschneiden bzw. Aufweiten des Bohrloches. Bei der HVM-02 musste aus der kleineren 18 5/8"-Ankerrohrtour erst ein 16"-Pilotloch mit anschließendem Unterschneiden auf 20" erstellt werden, um die 16"-Rohre einbauen zu können. Dies kostete damals viel Zeit und verursachte auch viele Probleme wie einen unbeabsichtigten Sidetrack. Der Bohrkleinaustrag bei 65° Neigung und einem relativ großen Bohrloch war hier wieder die Herausforderung, welche gut gemeistert wurde. Dieser Abschnitt wurde mit einer RSS Richtbohrgarnitur gebohrt, da die Aufgabe darin bestand, die Neigung von 65° über die gesamte Strecke zu halten. Die Bohrgeschwindigkeit (ROP) wurde diesmal deutlich begrenzt und nach Erreichen der Endteufe von 2.850 m wurde für viele Stunden mit hoher Spülrate zirkuliert. Bei dieser Bohrloch-Geometrie neigt das Bohrklein dazu, Dünen zu bilden. Daher kann das Gestänge nicht einfach gezogen werden, sondern muss spülend mit niedriger Strangrotation ausgebaut werden („backreaming“). Ein Check-Trip wurde gefahren, um das Bohrloch weiter zu säubern, was

eine gute Entscheidung war: Nur etwa 70% des Bohrkleins wurden während des Bohrens gefördert und 30% während des Check-Trips und dem Zirkulieren auf Endteufe. Der Einbau der 16" Rohre lief problemlos, was ein großer Erfolg im Vergleich zur HVM-02 Bohrung war, da diesmal die oberen 400 m des Vlieland-Tonsteins hinter die Rohre gebracht werden konnten.

#### 14 3/4" x 16" Bohrloch mit 13 3/8" x 14" Rohrtour

Das Bohren dieser Sektion erfolgte bis auf rund 4.300 m MD in einem einzigen Lauf. Wie erwartet lagen die Drehmomente mit Pilotmeißel und Unterschneider (Tandem) dank DSTRs und Top-Drive Upgrade noch im akzeptablen Bereich. Auch diese Sektion, bei der die Neigung von 65° wieder auf 0° zurückgebracht werden sollte, um vertikal im Produktionssalz zu sein, wurde mit einem RSS-System gebohrt. Das Zechstein-2-Salz wurde etwas höher angetroffen als prognostiziert, wodurch ein schärferer Radius gebohrt werden musste, um im Carnallit wieder vertikal zu sein. Aufgrund der Steuerung, die das Abfallen nun maximieren sollte, konnte ein Wegdriften der Garnitur nach Süden nicht vollständig korrigiert werden. Die Drop-Sektion der Bohrung zeigte somit keinen idealen Verlauf. Der Einbau der 13 3/8" x 14"-Rohre lief problemlos, bis die Rohre etwa 50 m vor Erreichen der Zielteufe plötzlich im Carnallit aufstanden. Es wurde versucht mit kleinen Wasserpumpen den Schuh freizuspülen, zusätzliche Gewichte wurden in den Rohren abgehängt und eine hydraulische Presse (Casing Jack) wurde auf der Arbeitsbühne installiert um die Rohre zusätzlich zu „drücken“. Selbst das Aufbohren des Rohrschuhes und das Unterschneiden des Bohrloches darunter brachte keinen Erfolg, sodass dieser Bohrabschnitt letztlich aufgegeben werden musste. Die 13 3/8" Rohre wurden unterhalb des 16" Rohrschuhes geschnitten und etwa 3.000 m konnten zurückgewonnen werden.

#### Ablenker (Sidetrack 1) und Einbau 13 3/8" x 14" Rohre

Nach dem Ausbau der 13 3/8" Rohre wurde unterhalb des 16" Rohrschuhes ein Packer mit Zementstopfen als Basis für den Ablenker gesetzt. Der Kick-off des Ablenkers lief gut, wie auch das erneute Bohren dieser Sektion. Für kurzzeitige Aufregung sorgte lediglich ein Abriss des BHA an der Muffe einer Schwerstange aufgrund einer Ausspülung (Abb. 7). Bei hohen Drücken und der Anwesenheit von abrasiven Feststoffen in der Spülung wird bei Undichtigkeiten auch dicker Stahl in kürzester Zeit (wenige Minuten)



Abbildung 7: Blick auf die abgerissene Muffe der Schwerstange. Der Zapfen des oberen Rohres ragt noch etwa hervor.

durchtrennt. Das verlorene BHA konnte jedoch – zur Erleichterung aller Beteiligten - bereits beim ersten Versuch erfolgreich gefischt werden. Bezüglich der Drop-Sektion konnte der Richtbohrplan diesmal eingehalten werden, die Tendenz des BHA nach Süden zu driften war nicht mehr zu erkennen (Abb. 8). Die Voraussetzungen, um die Rohre erfolgreich einzubauen waren daher gegeben. Zur Sicherheit wurde diesmal auf jegliche Zentralisatoren an den Rohren im offenen Loch verzichtet. Entsprechende T&D-Modelle (Torque & Drag) zeigten reduzierte Schleiflasten für diesen Fall. Auch wurde die gesamte Drop-Sektion nochmals mit dem Unterschneider aufgearbeitet um den 16"-Bohrlochdurchmesser, welcher durch das initiale Kriechen des Salzes eventuell verkleinert war, sicherzustellen. Es gelang dann diesmal auch, die Rohre ohne größere Probleme bis auf Endteufe von rund 4.300 m MD einzubauen. Die Stopfen-Zementation verlief ebenfalls gut und trotz der Abwesenheit von Zentralisatoren zeigte das CBL eine akzeptable Zementanbindung im Salz.

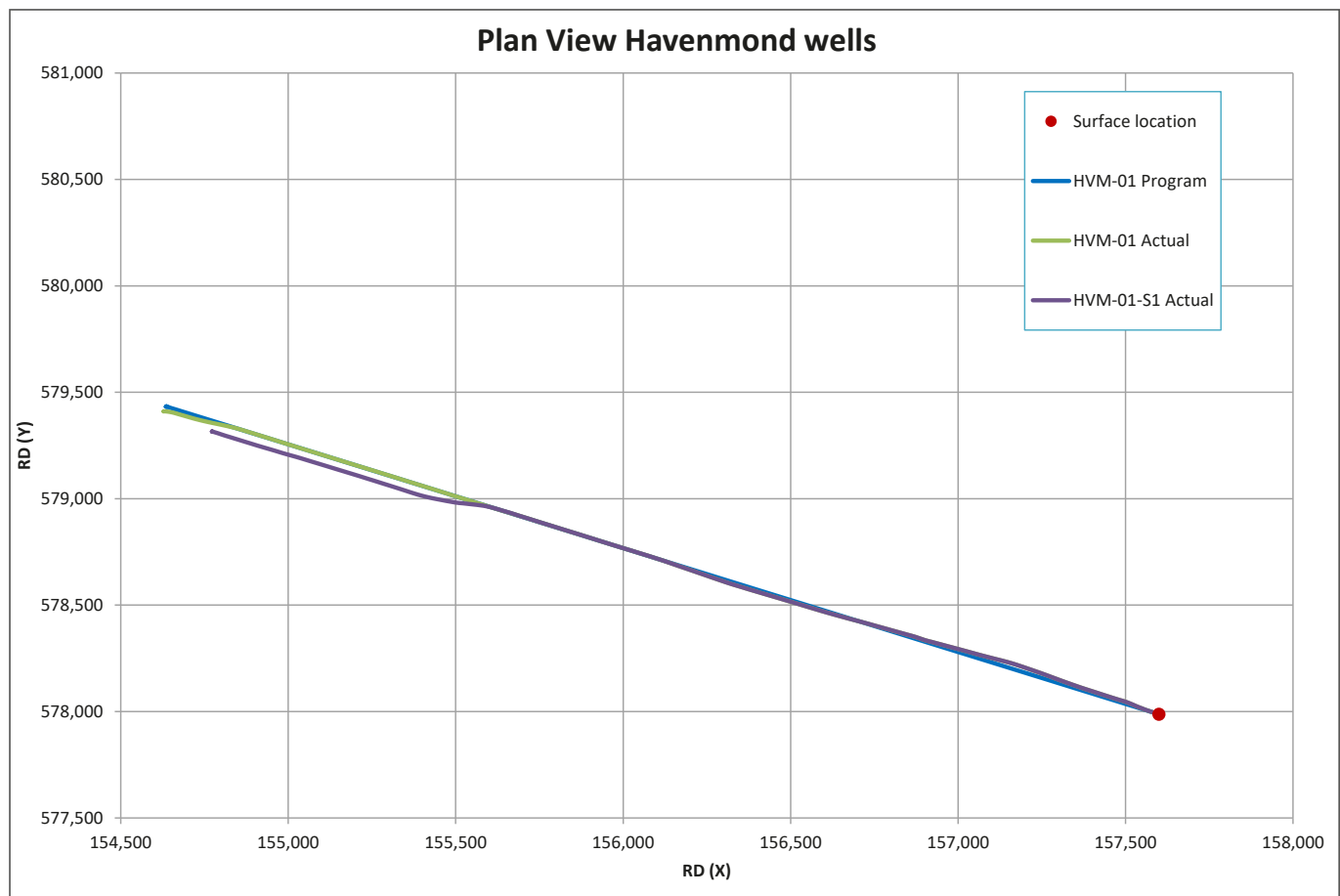


Abbildung 8: Vergleich der Bohrspuren. In Rot die Planung und in Grün die erste HVM-01 Bohrspur, welche im Bereich der Drop-Sektion nach Süden weglief. Der Ablenker (HVM-01-S1) ab 16" Rohrschuh ist in violett abgebildet.

### 12 ¼" Bohrloch im Zechstein 2 und Aufweiten auf 17 ½"

Diese Sektion, in welcher die eigentliche Lagerstätte erschlossen wird, musste in zwei Schritten gebohrt werden. Zuerst das 12 ¼" Pilotloch bis zur Endteufe, gefolgt von einer Bohrlochmessung am Kabel und im zweiten Schnitt das Unterschneiden auf 17 ½". Zwar würde der 11 ¾"-Solstrang auch in ein kleineres Loch passen, doch ist dies nicht ausreichend, da diese Sektion dem späteren Kavernenhals im Salz entspricht, welcher über viele Jahre offen bleiben muss. Die hohen Kriechraten lassen den Hals dann langsam „zuwachsen“, weshalb hier die Auslegung großzügig zu erfolgen hat. Das Bohren des Pilotloches bis auf etwa 4.800 mMD verlief gut, erforderte aber viel Aufmerksamkeit, da der Bohrstrang sich durch das Salzkriechen mehrfach festsetzte und frei gearbeitet werden musste. Um sich jederzeit auch nach „oben“ bewegen zu können wurde ein 12"-Hybrid-Backreamer im Strang verbaut (Abb. 9). Die Endteufe der Bohrung wurde mit entsprechendem Sicherheitsabstand zum Rotliegenden festgelegt, um ei-

nen möglichen Gaseintrag in die Kaverne zu vermeiden. Nach der geophysikalischen Bohrlochvermessung wurde das Loch mit einem sehr robusten Unterschneider (Variante: „Nashorn“) aufgeweitet. Hierbei wurde die ROP beschränkt, um den Bohrkleinaustrag zu verbessern. Dies war insbesondere notwendig, da aus Lärmschutzgründen die Bohrstrangrotation begrenzt werden musste. Obwohl im Industriehafen gebohrt wurde, verursachte der Top-Drive im knapp 50 m hohen Bohrturm bei maximaler Auslastung relativ viel Lärm, der bei Seewind auch in der Stadt zu hören war.

### Einbau der Solstränge und Installation des Sondenkopfes

Nach erfolgreichem Aufweiten auf 17 ½", erfolgte der Einbau der knapp 5 km langen 11 ¾" und 7" Solstränge. Diese wurden im Sondenkopf eingehängt. Besonderes Augenmerk galt dem Test jeder Verbindung des 11 ¾"-Stranges da dieser im späteren Betrieb der Kaverne nur sehr



Abbildung 9: 12" Hybrid-Dome Reamer; dieser fungierte als oberster Stabilisator in der BHA, welcher zugleich nachkriechendes Salz weg-schneiden konnte.

aufwändig zu reparieren ist. Zum Ziehen des Stranges ist eine Snubbing-Anlage mit etwa 320 Tonnen Zugkraft notwendig. Als letzter Schritt erfolgte die Installation des Sondenkopfes mit einer Gesamthöhe von etwa sieben Metern (drei Meter im Bohrkeller). Mit Auf- und Abbau der Bohr-anlage betrug die Projektdauer knapp acht Monate und Ende September 2025 konnte die Bohrung erfolgreich in Betrieb genommen werden.

## Schlussfolgerungen

Anspruchsvolle und komplexe Tiefbohrungen erfordern eine entsprechend sorgfältige Planung, bei der explizit und rigoros Erfahrungen aus vergleichbaren Bohrungen berücksichtigt werden. Zusätzlich aufgewendete Zeit in der Planung und Vorbereitung, inklusive die Vorbereitung auf Back-Up Szenarien, zahlt sich aus. Dies half in diesem Fall die Bohrzeit der HVM-01 im Vergleich zur HVM-02,

um etwa 40 Tage zu verkürzen. Wichtig war hierbei, dass Back-Up Optionen nicht nur auf dem Papier existierten, sondern auch konkret organisiert und vorbereitet waren, auch wenn dies zusätzliche Investitionen bedeutet.

Es hat sich weiterhin ausgezahlt, problematische Formationen frühzeitig hinter die Rohre zu bringen, indem insbesondere die Rohrschuhe der 20"- und 16"-Sektionen tiefer gesetzt wurden. Dies verbesserte die Bohrlochstabilität im Vergleich zur HVM-02 deutlich.

Durch den Einsatz der Silikatbohrspülung wurden die Ziele der Sektion zwar erreicht, aber es kostete zusätzlich Zeit und Aufwand. Ein korrektes Spülungsrezept zu finden und umzusetzen ist trotz hohem Aufwand bei der Vorbereitung und Einschaltung externer Expertise schwierig.

Der Einsatz des Unterschneiders während des Bohrens des Pilotloches (Tandem-Konfiguration) war eine gute Wahl und reduzierte die Zeit, in der das Bohrloch offenstand (Open Hole Time) deutlich, was der Bohrlochstabilität in der Tangente und in der Drop-Sektion ebenfalls zugutekam. Auch bei dieser Bohrung zeigte sich, dass eine sehr gute Kontrolle und Beherrschung der Richtbohrung, insbesondere für den Einbau großer, steifer Rohre, ausschlaggebend für den Erfolg sein kann.

Der Einsatz von Zement mit geringer Dichte sowie der Einbau von NRDSPs und CBIs im Bohrstrang ist positiv zu bewerten, wobei sich der Effekt letzterer nur schwer nachprüfen lässt. Für das Durchbohren des hochdynamischen Salzes in diesen Teufen sind eine gute Vorbereitung, Back-reaming-Kapazitäten des BHA und sehr klare Arbeitsanweisungen essenziell.

Eine enge Koordination und eine ausdauernde Leistungsbereitschaft des Teams erhöhten die operative Widerstandsfähigkeit. Vertrauen und eine schnelle Entscheidungsfindung aus der Konzernzentrale halfen dem Team vor Ort deutlich, wenn Probleme auftraten. Klare Kommunikation, die Einhaltung der MoC-Vorgaben (Management of Change) und das kontinuierliche Engagement der Bohrmanschaft und des Projektteams trugen maßgeblich zur sicheren und kontrollierten Durchführung der Bohrung bei. Besonderer Dank gilt dem Team von Well Engineering Partners für die hervorragende Vorbereitung und Aufsicht der Bohrung.



Luftbild große Baustelleneinrichtung am Schacht Springen 1

Das Werk Werra der K+S Minerals and Agriculture GmbH verfügt am Standort Merkers über 14 Tagesschächte in den Grubenfeldern Merkers und Springen, die vornehmlich Anfang des 20. Jahrhunderts geteuft worden sind.

Der Schacht Springen 1 gehörte zu den Schächten, für die infolge fehlender betrieblicher Nutzungsperspektive und des instandsetzungsbedürftigen Tübbingausbaus eine langzeitsichere Verwahrung vorgesehen war. Der Schacht Springen 1 wurde von 1908 bis 1909 geteuft und ist mit Tübbing und Mauerwerk ausgebaut.

Die Verwahrung von Tagesschächten im Salinar erhebt einen besonders hohen Anspruch an die qualitätsgerechte Trennung des luftgefüllten Grubengebäudes von der Biosphäre. Das dafür zu Grunde gelegte Verwahrungskonzept Salzdettfurth wurde in den 2000er Jahren im Rahmen eines Forschungsprojektes (Breidung, 2002) erarbeitet und beruht im Wesentlichen auf dem Prinzip einer „gleitenden“ Bentonitdichtung aus einem binären Bentonitgemisch, die oberhalb der Sohlenanschlüsse im oberen Werrasteinsalz zwischen zwei Widerlagern aus Hartgesteinschotter in der Schachtröhre eingespannt wird.

Den Abschluss vom oberen Widerlager zur Tagesoberfläche im Bereich des Tübbingausbaus bildet die Verfüllung mit Tonmaterial. Von Beräumarbeiten im Schachtsumpf mittels Bohren und Sprengen über Fräsarbeiten im Schacht und Versturz von Verfüllmaterialien gestaltete sich die Umsetzung als ein nicht zu unterschätzendes Unterfangen, das jedoch am Ende allen Maßstäben einer langzeitsicheren Verwahrung gerecht geworden ist.



**Matthias Nitschke**  
Diplom-Bergingenieur,  
K+S Aktiengesellschaft



**Henrick Helmut Stark**  
Projektleiter Vertikale  
Verwahrung, K+S Minerals  
and Agriculture GmbH

# Die Verwahrung des Schachtes Springen 1

## *The closure of Springen No. 1 Shaft*

*The Plant Werra of K+S Minerals and Agriculture GmbH has 14 shafts at the Merkers site in the Merkers and Springen mine fields, which were sunk at the beginning of the 20th century. Among them is the Springen No. 1 shaft, which required permanent long-term securing, as it was no longer needed for operational purposes and its tubbing lining required repair. The shaft Springen 1 was sunk between 1908 and 1909 and was lined with tubbings and masonry.*

*The permanent closure of surface shafts in evaporite formations places particularly high demands on the quality-assured separation of the air-filled mine from the biosphere. The Salzdetfurth closure concept, which was developed in the 2000s as part of a research project, will be used as the basis for this purpose. It is essentially based on the principle of a "sliding" bentonite seal made of a binary bentonite mixture, installed in the shaft tube above the level connections in the upper Werra rock salt between two abutments made of hard-rock gravel.*

*The section from the upper abutment to the ground surface in the area of the tubbing lining is closed by backfilling with clay material. The implementation involved extensive work, including clearing the shaft sump by drilling and blasting, carrying out cutting work in the shaft, and placing the backfill materials. Despite the considerable effort required, the closure ultimately met all requirements for long-term safe sealing.*

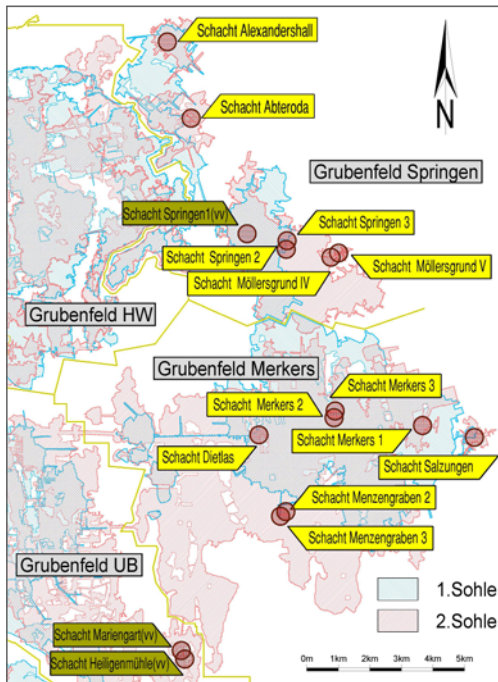


Abbildung 1: Überblick Schächte Merkers/Springen



Abbildung 2: Historische Ansicht der Schachanlage Springen 1

## Einleitung

Das Verbundwerk Werra der K+S Minerals and Agriculture GmbH setzt sich aus den früher eigenständigen Werken Wintershall und Hattorf in Hessen sowie Merkers und Unterbreizbach in Thüringen zusammen. Das Werk Merkers, das in den Grubenfeldern Merkers und Springen Kalisalz abbaute, stellte 1993 die Produktion ein und wird seitdem verwahrt. Die Verwahrungsaktivitäten beinhalten die horizontale, die hydrogeologische und die vertikale Verwahrung, wobei die vertikale Verwahrung alle Aktivitäten zur Verwahrung der Schächte beinhaltet. Der Standort Merkers umfasst insgesamt 14 Schächte, davon sind sieben Schächte dem Grubenfeld Merkers und weitere sieben Schächte dem Grubenfeld Springen zugeordnet (s. Abb. 1). Zusätzlich gehören zum Standort noch die Schächte Mariengart und Heiligenmühle, bei denen die 1911 begonnenen Teufarbeiten 1914 aufgrund nicht beherrschbarer Wasserzuflüsse abgebrochen werden mussten. Die beiden Schächte, die während der Teufarbeiten das Salinar nicht erreichten, wurden im Jahr 2003 mit Hartgesteinschotter verfüllt. Von den 14 Schächten wurden fünf Schächte als nicht mehr betriebsnotwendig eingestuft. Zu diesen Schächten zählt auch der Schacht Springen 1, der aufgrund festgestellter Schäden am Tübbingausbau als erster Schacht zur Verwahrung vorgesehen worden ist.

Der Schacht Springen 1 war in den Jahren 1908–1909 geteuft worden und erreichte mit einem Durchmesser von 5,5 m eine Endteufe von 393,5 m. Der Schachtausbau bestand bis zu einer Teufe von 155,5 m aus deutschen Tübbing. Darunter stand der Schacht in Mauerwerk. Im Schachtsumpf befand sich von 388 m Teufe bis zur Endteufe ein Betonpfropfen. Das Füllort der ersten Sohle wurde in einer Teufe von 317 m ausgesetzt und das Füllort der 2. Sohle in 380 m Teufe. Der Schacht diente der Grube Springen zuletzt als Seilfahrt- und Materialtransportschacht (s. Abb. 2). Nach Stilllegung im Jahr 1997 wurden die Tagesanlagen zurückgebaut und die Schachteinbauten geraubt. Erforderliche Befahrungen des Schachtes erfolgten seitdem mithilfe der Autoschachtwinde des Standortes Merkers.

## Verwahrungskonzept

Die Verwahrung des Schachtes Springen 1 sollte grundsätzlich nach dem Verwahrungskonzept Salzdetfurth erfolgen. Das Verwahrungskonzept Salzdetfurth wurde im Forschungsprojekt „Schachtverschluss Salzdetfurth Schacht II“ (Dr. T. Wilsnack, 2008) (Breidung, 2002) entwickelt. Ziel dieses Forschungsprojektes, das zu gleichen Teilen vom BMBF und der K+S Aktiengesellschaft finanziert worden ist, war es, den Nachweis für einen flüssigkeitsdichten und lang-

zeitstabilen Schachtverschluss durch in situ-Versuche zur Realisierbarkeit und Funktionstüchtigkeit zu erbringen. Die in situ-Versuche beinhalteten Untersuchungen zur Schottersäule und zum Dichtelement. Das betrachtete Schachtverschlusskonzept basiert im Wesentlichen auf einem im Salinar angeordneten Salinardichtelement aus Bentonit, das zwischen zwei Widerlagern eingespannt wird.

Die Ergebnisse des Forschungsvorhabens sollten ebenfalls für die Planung und Errichtung von Schachtverschlüssen für Untertagedeponien (UTD), für Salzbergwerke mit untertägiger Abfallverwertung (UTV) und für trocken zu verwahrende Gruben genutzt werden. Darüber hinaus haben die Erkenntnisse auch eine Relevanz für untertägige Endlager.

Nach diesem Konzept erfolgte bereits die Verwahrung der drei Schächte des ehemaligen Kaliwerkes Salzdettfurth.

Für die trockene Verwahrung der Grube Merkers wurde das in Salzdettfurth entwickelte Schachtverschlusskonzept zugrunde gelegt. Die Abbildung 3 zeigt schematisch das Konzept zur vertikalen Verwahrung des Schachtes Springen 1. Wesentlich ist dabei, dass das feste Gebirge als tragfähiger Baugrund für das untere Widerlager dient. Dadurch soll gewährleistet werden, dass die Schottersäule des unteren

Widerlagers setzungsarm und lagestabil ist. Als weitere Maßnahme zur Gewährleistung der Lagestabilität sind in den Füllortbereichen Vorschüttungen aus Schotter erforderlich, die ein Auslaufen der Schottersäule verhindern sollen.

Der bestehende Schachtausbau bleibt grundsätzlich unverändert; Eingriffe erfolgen lediglich im Bereich des Salinardichtelementes durch schonendes Entfernen des Mauerwerksausbaus und der primären Auflockerungszone. Dabei wird ein 21 m langer zylindrischer Ausbruch mit einer Stoßrauigkeit von  $< 3$  mm hergestellt, um ein Gleiten des Dichtelementes im Falle von Setzungen der Schottersäule des unteren Widerlagers zu ermöglichen. Die Kerndichtung des Salinardichtelementes setzt sich aus einem verdichteten binärem Bentonitmisch, bestehend aus Bentonitpellets und Bentonitgranulat, zusammen. Oberhalb der Kerndichtung befindet sich eine Übergangsschicht aus Bentonitgranulat, die der Vergleichmäßigung der hydraulischen Anströmung auf die Kerndichtung dient. Nach oben und unten wird die Salinardichtung durch jeweils 3-lagige Filterschichten abgeschlossen, die unter anderem einer Volumenbegrenzung des quellenden Bentonits dient. Die Positionierung der Salinardichtung erfolgt im oberen Werasteinsalz und liegt damit unterhalb der letzten grundwasserführenden Schichten des Deckgebirges. Die exakte Positionierung erfolgt im Ergebnis zuvor durchgeführter Permeabilitätsmessungen.

Das darauf aufbauende obere Widerlager besteht wiederum aus Hartgesteinschotter, das zur Aktivierung der Salinardichtung mit  $MgCl_2$ -Lösung geflutet wird. Daran schließt sich das obere Verfüllelement bis zur Tagesoberfläche aus Ton an.

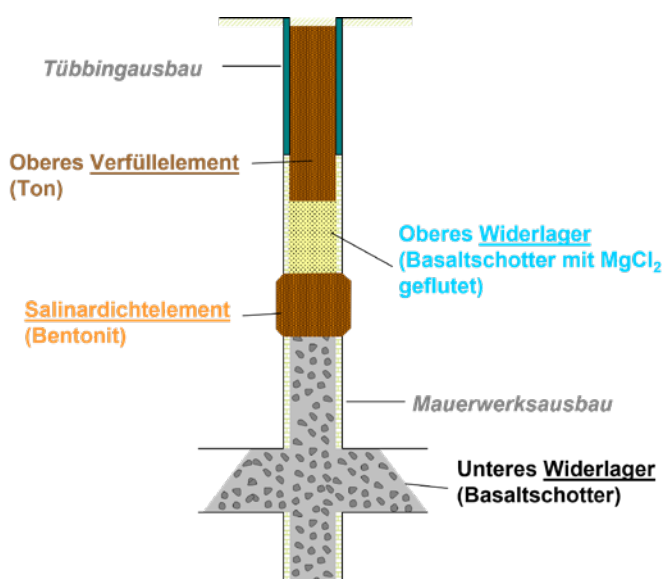


Abbildung 3: Verwahrungskonzept für den Schacht Springen 1

## Umsetzung

Die Umsetzung des Vorhabens war von fortlaufenden Anpassungen geprägt und gliederte sich in vier Phasen mit jeweils unterschiedlichen technischen Schwerpunkten. Die sich verändernden Rahmenbedingungen machten dabei immer wieder technische Anpassungen erforderlich.

- I. Vorbereitungsarbeiten
- II. Verfüllung unteres Widerlager
- III. Herstellung Salinardichtelement
- IV. Restverfüllung und Abschlussarbeiten

Für die Umsetzung des Vorhabens standen verschiedene technische Einrichtungen zur Verfügung. Von besonderer Bedeutung war die mobile Autoschachtwinde (ASW) des Standortes Merkers, die nicht nur für die standortübergreifende Hilfeleistung zur Verfügung steht, sondern mit der sich in Kombination mit den Fördermitteln Schwebebühne Ø 2,5 m und Befahrungskübel 0,8 m<sup>3</sup> fast jede Herausforderung im Schacht meistern lässt. Für die Herstellung des Salinardichtelementes wurde eine große Baustelleneinrichtung (s. Abb. 4), bestehend aus einem Abteufgerüst mit dazugehöriger Infrastruktur sowie einem 6 t Förderhaspel und einer 20 t Bühnenwinde, errichtet. Die Baustelleneinrichtung mit der leistungsstarken Windentechnik ermöglichte den Einsatz einer Schachtfräse zur Herstellung des Ausbruches für das Salinardichtelement.

### Vorbereitungsarbeiten

Zu Beginn des Vorhabens wurden mithilfe der ASW zunächst die verbliebenen Reste der demontierten Schachteinbauten entfernt, darunter insbesondere die Holzstummel ehemaliger Einstriche.

In der weiteren Vorbereitung auf das konzeptbedingte Erfordernis eines setzungsarmen unteren Widerlagers aus Hartgesteinschotter musste zudem ein standfester Baugrund geschaffen werden. Demzufolge wurden die Arbeiten mit dem Freilegen des Schachtsumpfes und der Füllörter fortgesetzt. Während der Großteil der Füllörter unter Einsatz von Großgeräten des Grubenbetriebes beräumt werden konnten, stellte sich nach den ersten Kontrollbohrungen heraus, dass im Schachtsumpf mit Beton, losem Material und Hohlräumen zu rechnen war, die ebenfalls beseitigt werden mussten. Um bei den zu bewegendenden Materialmassen die ASW nicht einem erheblichen Verschleiß auszusetzen, wurde kurzfristig umgedacht und im Bereich der 1. Sohle eine Kopfschutzbühne mit Seilscheiben und zwei 5 t Winden verlagert, die den Einsatz eines Polygongreifers und Bergekübels im Schachtsumpf ermöglichte (s. Abb. 5). Der Vorteil bestand darin, das gekübelte Haufwerk auf kurzem Weg auf der 2. Sohle über eine vorgelagerte Bühne mit Kettenzugumhängung in die Laderschaufel zu entleeren und zu verbringen. Die anfängliche Hoffnung, mit dem eingehängten Minibagger das Material im Schachtsumpf zu lösen, blieb vergebens. Stattdessen

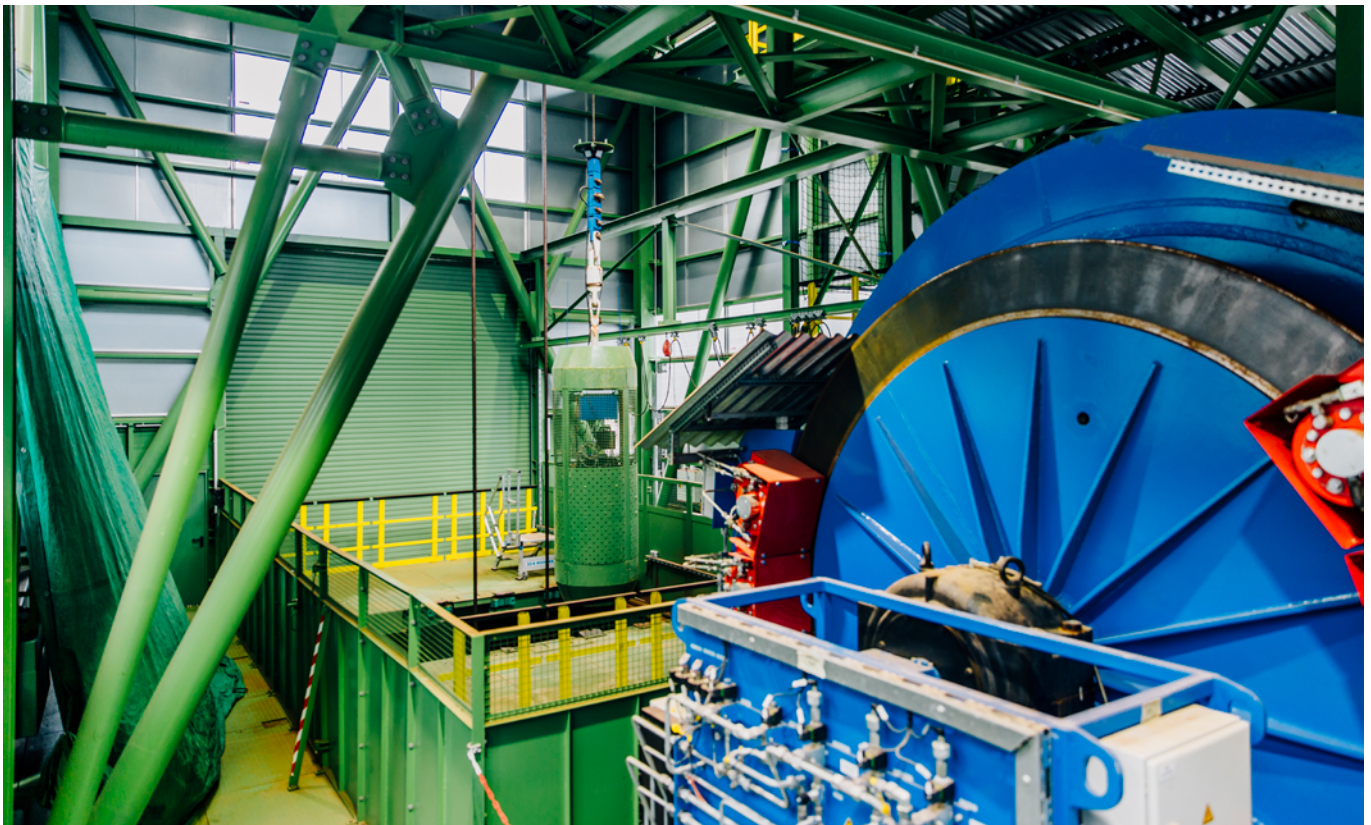


Abbildung 4: Windentechnik und Fördermittel der großen Baustelleneinrichtung



Abbildung 5: Beräumarbeiten Schachtsumpf, Blick auf 2. Sohle Füllort



Abbildung 6: Beräumter Schachtsumpf, Blick auf 2. Sohle Füllort

wurde entschieden, vollständig auf ein konventionelles Verfahren mittels Bohren und Sprengen umzusteigen. Auf diese Weise wurden schließlich rund 15 m Schachtsumpf freigelegt; in Teilbereichen erfolgte dabei eine laterale Hohlraumfreilegung von etwa 22 m bis auf das feste Gebirge (s. Abb. 6).

#### Verfüllung unteres Widerlager

Im Vorfeld der Verfüllarbeiten wurde Basaltschotter der Korngröße 32/80 als Widerlagermaterial ausgewählt. Die erforderlichen Qualitätseigenschaften des Materials wurden im Rahmen mehrerer Voruntersuchungen nachgewiesen.

Für das Einbringen des Verfüllmaterials wurde die vorherige Einrichtung auf der 1. Sohle zurückgerüstet und eine 13 3/8" API-Rohrleitung als Versturzleitung in den Schacht eingehängt. Der über Tage angelieferte Basaltschotter wurde mittels Radlader und Bandanlage auf die Fallleitung aufgegeben. Aufgrund der zu erwartenden Kornzerstörung beim Aufprall des frei verstützten Materials wurden zur Qualitätssicherung Drucksetzungsversuche an entsprechenden Proben aus verstütztem Material durchgeführt. Im Ergebnis konnten ideale Eigenschaften und optimale Verdichtungen nachgewiesen werden, die abhängig von der freien Austragshöhe zwischen Rohrleitungsende und Kontaktbereich sind.



Abbildung 7: Einbau unteres Widerlager 1. Sohle Füllort

Neben dem Versturz in der Schachtröhre mussten auch die an den Schacht angeschlossenen Sohlenbereiche zur Stabilisierung der Schottersäule verfüllt werden, damit ein Auslaufen der Schottersäule verhindert wird. Als Richtwert wurde die doppelte Füllorthöhe am Schacht in firstseitiger Längsrichtung bemessen. Über die 3D-Modellierung wurde die benötigte Menge zunächst ermittelt, dem Schachtversturz entnommen und maschinell sowie händisch eingebaut. Die dabei erforderliche Einbaudichte differenziert zwischen Einbau Füllörter und Schacht.

Insbesondere der westliche Füllortabschnitt der 1. Sohle, damals als Werkstatt- und Materialumschlagplatz genutzt, stellte mit einer Firsthöhe von annähernd 10 m eine Herausforderung beim Widerlagereinbau dar (s. Abb. 7).

Der Versturzvorgang wurde beim Erreichen der 1. Sohle unterbrochen, um die Zugänglichkeit zum Grubengebäude für die Wetterführung und den späteren Abtransport des im Fräsbetrieb anfallenden Haufwerkes weiterhin zu gewährleisten.

### Herstellung Salinardichtelement

Die Herstellung des Salinardichtelementes, als wesentliches Segment zur Trennung des Grubengebäudes von der Biosphäre, stellt die schwierigste Phase der Verwahrung dar. Eine im Vorfeld geteufte Vertikalbohrung im schachtnahen Bereich der 1. Sohle lieferte die grundlegenden Informationen zur Lagebestimmung des Salinardichtelementes im oberen Werra-Steinsalz zwischen 260 m und 280 m Teufe. Zur Sicherung des Abschnitts unmittelbar oberhalb von 260 m Teufe wurde unter anderem das Mauerwerk abgefangen.

Ab diesem Zeitpunkt kam die Baustelleneinrichtung mit- samt der Windentechnik zum Einsatz. Herzstück der Anlage zur Herstellung des zylindrischen Ausbruches für das Salinardichtelement war die Schachtfräse (s. Abb. 8). Bereits im Rahmen des Forschungsprojektes Salzdetfurth kam eine Schachtfräse zum Einsatz, die aber entgegen der Neukonzipierung beim Umsetzen im Schacht umständlich verlagert werden musste.



Abbildung 8: Schachtfräse in der Schachthalle der großen Baustelleneinrichtung

Die Schachtfräse ist mit den wesentlichen Eigenschaften zu beschreiben:

- 40 t schwer und 11 m hoch, ein zentrales Mittelrohr kombiniert 3 Bühnenebenen miteinander
- Oberste und unterste Bühnenebene sind mit Betriebstechnik und einer Hochdruckverspanneinrichtung ausgerüstet, die sich über eine Laserpeilung am Schachtkopf automatisch ausrichtet
- An der mittleren Bühnenebene ist die Fräseinheit mit Bedienstand montiert. Über eine hydraulische Schreitvorrichtung kann die Bühne zwischen beiden Bühnenebenen auf 3,0 m Länge vertikal verfahren werden, ohne dass ein Umsetzvorgang durch die Bühnenwinde erfolgen muss.

Angesichts des prototypischen Charakters der Schachtfräse war absehbar, dass bis zum stabilen Betrieb umfangreiche Erprobungen und Anpassungen erforderlich sein würden. Von der Ausrichtungsautomatik bis zur Fräskopfdrehzahl wurden zahlreiche Funktionen getestet, programmiert und erneut überprüft. Nach Abschluss der Inbetriebnahme und Übergabe durch den Hersteller wurde der Fräsbetrieb aufgenommen. Zunächst wurde das 0,5 m starke Mauerwerk über die gesamte Länge des Ausbruches freigelegt. Dabei führte die hohe mechanische Belastung durch den stabilen Mauerwerksverband bereits früh zu Zweifeln an der Belastbarkeit der Maschine (s. Abb. 9). Durch präzises Führen des Fräskopfes und regelmäßige Wartungsintervalle konnte ein vorzeitiger Maschinenausfall vermieden werden.



Abbildung 9: Fräsarbeiten im Mauerwerk

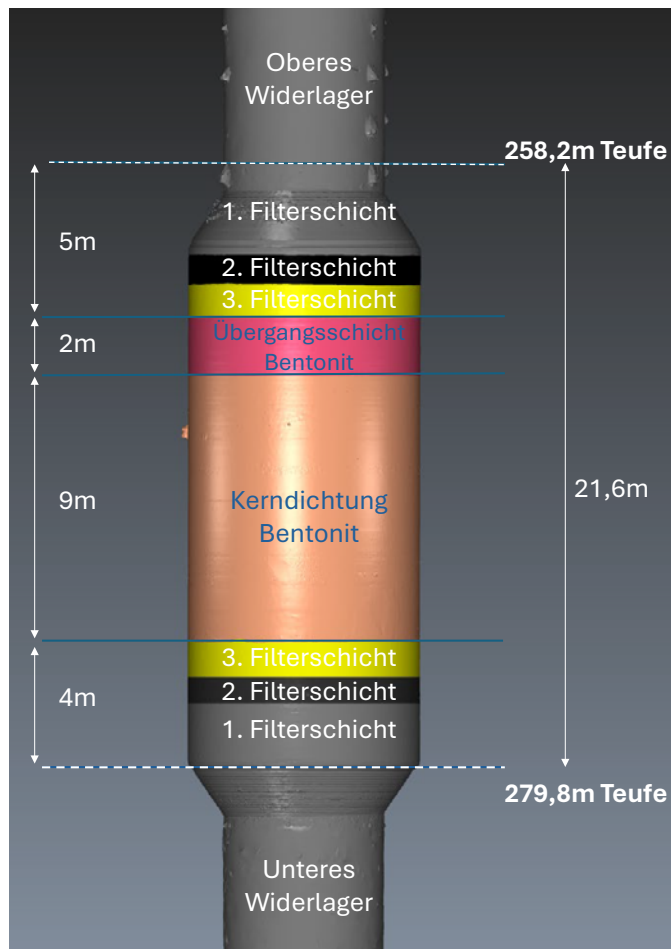


Abbildung 10: 3D-Modellierung Salinardichtelement  
(M. Wagner 2024)

Im Anschluss wurde der freigelegte Bereich mit Blick auf das anstehende Salz begutachtet. Entsprechend des geplanten Konzeptes war ein 0,5 m tiefer Schnitt in das unverritzte Gebirge zur Entfernung der primären Auflockerungszone vorgesehen. Bei einem Schachtdurchmesser von  $\varnothing$  5,5 m und einem ca. 0,5 m starken Mauerwerksausbau hätte dies einem Gesamtdurchmesser von  $\varnothing$  7,5 m entsprochen. Jedoch zeigte das Salzgestein einige Ausspülungen mit ansatzweiser lateraler Ausdehnung, sodass der Zieldurchmesser auf  $\varnothing$  8 m erhöhte wurde, welcher der Maximalauslenkung der Schachtfräse entspricht.

Infolge der Konzeptforderung „gleitende Dichtung“ gliederte sich der Schnitt im Salz in einen Grob- und Feinschnitt, wobei der Salzschnitt im Gegensatz zu dem zurückliegenden Mauerwerk deutlich weniger belastend war. Im Feinschnitt, der im Millimeterbereich erfolgen musste,

wurde die Maschine über die hydraulische Prätzenverstellung millimetergenau händisch eingestellt. Der Frässchnitt kam in horizontaler Richtung von oben nach unten zur Ausführung. Das abschließende Aufmaß mittels Laserscan bewies einen auf 2–3 mm genauen und exakt 21 m langen sowie lotrechten und im Durchmesser 8 m messenden Ausbruch mit einer Oberflächenrauigkeit  $< 3$  mm.

Darauffolgend wurde die Einrichtung umgerüstet und es erfolgte die Restverfüllung des unteren Widerlagers mit Hartgesteinschotter bis zur Unterkante des Salinardichtelementes.

Die 9 m hohe Bentonitkerndichtung besteht aus einem binären Gemisch aus Bentonitpellets, Bentonitgranulat 0/3 und, für die Übergangsschicht relevant, Bentonitgranulat 0/10. Für den qualitätsgerechten Einbau sind ein hoher Verdichtungsgrad und eine gleichmäßige Durchdringung der Pellets mit Granulat maßgebend (s. Abb. 10).

Im Gegensatz zum Basaltschotter des unteren Widerlagers muss die Bentoniteinförderung möglichst schonend erfolgen. Dazu wurde eine Arbeits- und Kopfschutzbühne mit einem Bentonitbunker eingebaut (s. Abb. 11). Ein an der Bentonitbühne angeschlagener Transportkübel mit automatischer Bodenentleerung förderte Material in den eingelassenen Bentonitbunker. Die Einbaumannschaft konnte nach Bedarf das Material aus dem Bunkerbehälter über eine Rohrrutsche auf der Einbausohle verteilen. Neben dem optimalen Mischungsverhältnis zum Erreichen der geforderten Einbaudichte und Granulatdurchdringung ist ebenso die Randanschüttung mit Granulat ein wichtiges Detail, um eine spätere Umläufigkeit der Bentonitdichtung zu vermeiden.

Der Einbauablauf lässt sich folgendermaßen skizzieren:

- Setzen von Randanschüttungsblechen und Einbringung der Bentonitpellets
- Gemäß dem Mischungsverhältnis wird Granulat zugemischt, eingerüttelt und die Randanschüttung gestopft
- Spiralförmiges Verdichten der Einbaulage und Messung durch Markscheider
- Wenn die Dichte erreicht ist, wird die Einbaulage freigegeben oder ein Nachverdichten hat zu erfolgen.



Abbildung 11: Blick von oben auf Kopfschutzbühne mit Bentonitbunker

Auf die Kerndichtung folgt die 2 m hohe Übergangsschicht aus einem Bentonitgranulatgemisch 0/3 und 0/10, welches äquivalent zur Kerndichtung eingebracht wird.

Als Trennschicht zwischen Widerlager und Bentonitdichtung werden beidseitig drei Lagen Filterschichten aus feinerem Basaltschotter und Sand mittels Transportkübel eingebaut, die dem Zweck einer gleichmäßigen Flüssigkeitsverteilung bei der Aktivierung der Bentonitdichtung dienen sollen.

### Restverfüllung

Auf dem Salinardichtelement aufbauend wurde das Schottermaterial für das obere Widerlager, wie bereits für das untere Widerlager, über eine 13 3/8" API-Rohrleitung verstürzt. Dazu waren entsprechende Umbauarbeiten am Schachtkopf erforderlich.

Zur anschließenden Aktivierung und gleichmäßigen Durchfeuchtung der Bentonitdichtung wurde die Schottersäule des oberen Widerlagers nach einem Flutungsregime mit einer  $MgCl_2$ -Lösung beaufschlagt. Durch die vertikale Einspannung des Bentonits zwischen den Widerlagern wird das Quellen in radialer Richtung begünstigt und damit eine vollflächige Abdichtung erzielt.

Innerhalb des Tübbingausbaus wurde die Verfüllsäule mit Ton als oberes Verfüllelement fortgesetzt. Die Herausforderung bestand insbesondere in der Nachweisführung einer Trennung der beiden Grundwasserleiter unterer Buntsandstein und Plattendolomit voneinander. Diesen Zweck erfüllte der frei in den Schacht verstürzte Ton. Indes blieb die Fragestellung nach dem Ringraum zwischen Gebirge und Tübbingausbau. Dieser Fragestellung konnte durch umliegende Grundwassermessstellen, Aufzeichnungen von Tübbinginstandsetzungen sowie Kernbohrungen im darunter angrenzenden Mauerwerksausbau Abhilfe geschaffen werden.

Mit dem Tonversturz bis knapp unterhalb des Schachtkopfes und einer Deckschicht aus Kies für den Zweck einer vereinfachten Nachfüllung bei auftretenden Setzungen der Verfüllsäule konnte die Verwahrung des Schachtes erfolgreich abgeschlossen werden. Als abschließende Sicherungsmaßnahme wird der Schacht mit einem Betondeckel einschließlich Kontroll- und Nachfüllöffnung abgedeckt.

### Qualitätssicherung

Wesentlicher Baustein der Schachtverwahrung war die nahtlose Dokumentation aller Verfüllvorgänge. Alle Arbeitsschritte wurden gutachterlich begleitet – von der Eignungsprüfung der eingebrachten Materialien bis hin zu Packer-tests im Schacht zur Bestimmung der Permeabilität.

Die Basis für das umfangreiche vermessungstechnische Begleitprogramm bildete die Grundlagenvermessung am Schacht bestehend aus trigonometrischer Schachtlotung, Anlage eines Referenzpunktsystems und terrestrischer 3D-Scan der gesamten Schachtröhre. Detaillierte Schnittdarstellungen sowie ein vollständiges, reproduzierbares 3D-Modell konnten anschließend für sämtliche Planungszwecke herangezogen werden. Des Weiteren wurden durch die Betriebsmarktscheiderei sämtliche Infrastruktureinrichtungen, technische Einbauten und Ausbrüche im Schacht eingemessen und erfasst. Während des Verfüllvorgangs wurde nach jeder Einbauschicht ein 3D-Scan durchgeführt. Dieser war jeweils die Grundlage für die digitalen Geländemodelle zur Volumenbestimmung der einzelnen Einbaulagen.

### Abschlussmaßnahmen und Ausblick

Den Abschluss der Schachtverwahrung bildete der Rückbau der Baustelleneinrichtung und die Renaturierung der an die Schachtparzelle angrenzenden Bauflächen. Die Schachtparzelle einschließlich der Zuwegung bleibt für das regelmäßige Monitoring, insbesondere für Pegelmessungen an der Verfüllsäule sowie für ein bedarfsweises Nachverfüllen, erhalten.

#### Literatur

**Breidung, K.-P. (2002).** Forschungsprojekt Schachtverschluss Salzdetfurth Schacht II. K+S Aktiengesellschaft, BMBF-Fö.-Kennzeichen: 02C0516 . Bad Salzdetfurth.

**Dr. T. Wilsnack, P. S.-H. (2008).** Flüssigkeitsdichte Verwahrung von Schächten, Kali und Steinsalz Heft 3/2008.

Auf Basis der gesammelten Erkenntnisse und Erfahrungen wurden sowohl konzeptionelle als auch technische Verbesserungen abgeleitet, die perspektivisch in die Verwahrung weiterer Schächte einfließen sollen. Die gewonnenen Erfahrungen zeigen, dass auch komplexe Verwahrungsaufgaben durch eine sorgfältige Planung, flexible technische Anpassungen und eine konsequente Qualitätssicherung erfolgreich umgesetzt werden können. Für zukünftige Schachtverwahrungen eröffnet dies die Möglichkeit, bewährte Verfahren gezielt weiterzuentwickeln, Abläufe effizienter zu gestalten und die Anforderungen an einen langzeitsicheren Abschluss des Grubengebäudes noch verlässlicher zu erfüllen. Damit leistet die Schachtverwahrung nicht nur in Merkers, sondern auch darüber hinaus einen wesentlichen Beitrag zur verantwortungsvollen Verwahrung inaktiver Grubenbetriebe.

### Schlussworte

Dieser Beitrag kann nur einen Ausschnitt der vielfältigen Erfahrungen und Herausforderungen wiedergeben, die mit der Verwahrung des Schachtes Springen 1 verbunden sind. Zurück bleibt ein Betondeckel am Waldrand mit der Aufschrift „Schacht Springen 1“ – ein stiller Zeuge des Kalibergbaus vergangener Zeiten.

Unser besonderer Dank gilt allen Beteiligten, die dieses anspruchsvolle Vorhaben mit großem Engagement, fachlicher Kompetenz und Ausdauer begleitet und erfolgreich abgeschlossen haben.





Verband der Kali- und Salzindustrie e.V.