

02
2024

KALI & STEINSALZ

Wertvolle Rohstoffe aus Deutschland

ISSN 1614-1210



Verband der Kali- und Salzindustrie e.V.

Stehen wir zum Standort Deutschland?



Christoph Wehner

Sehr geehrte Leserinnen und Leser,

Mitte Juli 2024 wurde im Focus ein Interview mit Dr. Reinhard Zinkann, einem der Geschäftsführenden Gesellschafter der Miele & Cie. KG, abgedruckt, in dem zu lesen war: „Wir sind nun mal ein Hochlohn- und Hochsteuerland mit sehr kurzen Arbeitszeiten und viel Bürokratie“. Überschriften war der Artikel mit dem Statement „Wir stehen zum Standort“. Ein Widerspruch? Nicht unbedingt.

Bezogen auf unsere Branche – und dies war auch Zinnkanns Schlussfolgerung – heißt dies, dass wir mit den Herausforderungen umgehen müssen. Im Editorial der letzten Ausgabe „Kali & Steinsalz“ sind wir auf die Standortnachteile eingegangen und haben getitelt: „Das Maß ist nicht nur bei den Bauern voll.“

Dennoch steht die Branche zum Standort Deutschland und bringt sich mit konkreten Aktivitäten ein, um dem Bergbau in Deutschland eine Zukunft zu geben. Exemplarisch und in gebotener Kürze werden drei Projekte vorgestellt:

VKS-Recruiting-Kampagne: Deep Rock Campus

Fachkräftemangel bzw. Fachkräftesicherung betreffen auch den Bergbau in Deutschland und Europa. So ist die Zahl der Bergbaustudierenden seit geraumer Zeit deutlich zurückgegangen.

Der VKS möchte mit seiner Kampagne einen Beitrag leisten, um die Zahl der Bergbaustudierenden nachhaltig zu erhöhen – für seine Mitglieder, Nicht-Mitglieder, Behörden und weitere Stakeholder im Bereich Bergbau und Rohstoffgewinnung.

Die VKS-Kampagne „Deep Rock Campus“ wird von einer renommierten Social Media Agentur durchgeführt. Über Social Media Kanäle wie Instagram, Tiktok, Facebook u. a. wird über „das Bergbaustudium“ informiert und Interessierten eine Kontaktaufnahme angeboten. Die im Rahmen der Aktion gewonnenen Kontakte werden von einer Community-Managerin betreut. Dabei werden die potenziellen Studierenden intensiv individuell begleitet, indem vielfältige Unterstützung – vom Erstkontakt bis zum Studienende – angeboten wird.

Hierzu war es notwendig, sich eng mit den Bergbau-Universitäten Freiberg, Clausthal-Zellerfeld und Aachen sowie der Hochschule in Bochum abzustimmen und zu verzahnen. Die Community-Managerin kann so nicht nur mit detaillierten Informationen zur jeweiligen Hochschule und den örtlichen Gegebenheiten den Studiengang unterstützen, sondern auch direkt an die passenden Kontakte vor Ort vermitteln. Die Hochschulen haben sich bezüglich der Recruiting-Kampagne sehr offen gezeigt und viele konstruktive Vorschläge eingebracht.

Andererseits ist eine engmaschige Zusammenarbeit mit den Mitgliedern des VKS wichtiger Bestandteil der Kampagne. So kann kurzfristig Kontakt bzw. Erfahrungsaustausch der Interessierten mit den Betrieben organisiert werden. Durch den jeweiligen Ansprechpartner im Personal- oder operativen Bereich können offene Fragen geklärt und Unklarheiten beseitigt werden. Zudem werden Themen wie Praktika oder Studienarbeiten konkret aufgegriffen.

Hebel für Planungsbeschleunigungen in der Industrie

Seit vielen Jahren wird beklagt, dass Genehmigungsverfahren in Deutschland zu lange dauern und industrielle Projekte nicht mit der wünschenswerten Geschwindigkeit realisiert werden können.

Bundes- und Landesgesetzgeber haben deshalb in den vergangenen Jahren wiederholt versucht, dieser Entwicklung mit Gesetzesänderungen zu begegnen. Die Maßnahmen haben sich bisher im Wesentlichen auf verfahrensrechtliche Aspekte konzentriert, wohingegen das materielle Recht weitgehend unverändert gilt oder sogar zusätzliche Verschärfungen erfahren hat. Daher sind die jüngst ergangenen Beschleunigungsmaßnahmen, z. B. im Bereich des Immissionsschutzrechts, absolut begrüßenswert.

In diesem Kontext hat der VKS konkrete Vorschläge für die Beschleunigung industrieller Projekte und Verfahren in Deutschland formuliert und kommuniziert. Es geht dabei beispielsweise um

- die Beschränkung der physischen Auslegung von Antragsunterlagen und Entscheidungen,
- einen fakultativen Erörterungstermin,
- die Stärkung des Verhältnismäßigkeitsgrundsatzes bei den Anforderungen an Gutachten, Kartierungen, Prüfungen und Modellierungen,
- die Verschlankung von Planfeststellungsbeschlüssen durch pauschale Abhandlung von Einwendungen,
- die Verschlankung von Planfeststellungsbeschlüssen durch Verweis auf Antragsunterlagen und UVP-Bericht,
- die Reduzierung der verwaltungsgerichtlichen Kontrolldichte,
- einen pragmatischen Prüfmaßstab im FFH-Recht,
- die Flexibilisierung von Kohärenzsicherungsmaßnahmen im FFH-Recht,
- einen Populationsbezug beim Tötungsverbot im Artenschutzrecht,
- eine Stichtagsregelung für Umweltprüfungen.

Branchenreport zur volkswirtschaftlichen Bedeutung

Der VKS hat das Institut der Deutschen Wirtschaft (genauer: IW Consult) und Salt Research & Consulting mit der Erstellung eines detaillierten Branchenreports der Kali- und Salzindustrie beauftragt.

In der Studie erfolgt eine umfassende Darstellung der Branche und ihrer Wertschöpfungskette. Sie wird in Teilen durch einen internationalen Vergleich ergänzt. Die Lage unserer Branche wird aktuellen ökonomischen und gesellschaftlichen Trends gegenübergestellt, um Handlungsoptionen zu erarbeiten. Hierbei werden im Wesentlichen folgende Themenfelder beleuchtet:

- Dekarbonisierung,
- Digitalisierung,
- Globalisierung sowie
- Demografie und Fachkräfte.

Zudem werden aktuelle Trends der Branche eingehend diskutiert.

In diesem Zusammenhang werden Branchendaten (Kali, Salz, untertägige Entsorgung) zu Produktion, Handel, Verbrauch und vielen anderen Aspekten erhoben. Ziel ist es, die volkswirtschaftliche Bedeutung der Branche herauszuarbeiten, um sie gegenüber Politik, Medien und Öffentlichkeit klar und deutlich adressieren zu können. Der Report soll Ende 2024 vorliegen.

Unsere Projekte zeigen, dass wir Willens und auch in der Lage sind, unsere Branche weiterzuentwickeln, denn: Wir stehen zum Standort Deutschland.

Es grüßt Sie mit einem herzlichen Glückauf

Ihr



Christoph Wehner

INHALT

02 Editorial

04 Impressum

05 Abstracts

06 Pfaffe, Thiele, Liedloff

Inbetriebnahme einer Pilotanlage
zur untertägigen Steinsalzvortrennung
mittels Sensorgestützter Sortierung bei K+S

14 Kraus, Kraus, Staeglich

Volumenmessung und digitale Verwaltung
von Schüttguthalden

20 Braun, Kleffner, Kirsch

Neue Ansätze zur Aufbereitung
von Haldenwässern

26 Albrecht-Vogelsang, Schmidt

Stromtrasse unter Tage – SuedLink im Bergwerk
der Südwestdeutsche Salzwerke AG in Heilbronn –
Aktueller Fortschritt im Projekt

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
Dr. René Randaxhe,
K+S Aktiengesellschaft
Prof. Dr. Silvio Zeibig,
K+S Aktiengesellschaft
Ole Richert,
K+S Aktiengesellschaft
Dr. Ludger Waldmann,
K+S Aktiengesellschaft
Christoph Wehner, VKS e. V.

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.

Titelbild: Sicherungsarbeiten in der Streckenauffahrung [Foto: SWS]



06 Pfaffe, Thiele, Liedloff: Commissioning of a pilot plant for underground rock salt pre-separation using sensor-based sorting at K+S

The handling of backfill has been an important issue in mining for decades. The ever-increasing demands of deeper and more complex deposits, the economic necessity for economies of scale and increasing environmental regulations must be met. The lean manufacturing approach of removing worthless minerals from the material stream as early as possible and further processing the valuable minerals in a concentrated form promises numerous advantages.

In view of the desire for further technological development and the potential for high throughput rates with a low headroom, sensor-based sorting appears to be particularly interesting for the underground pre-separation of rock salt. Up to now, this technology has been used at K+S for the separation of color-distinguishable impurities. Due to the novelty of the application, a suitable sensor for the separation of Sylvin (KCl) and Halite (NaCl) was developed in cooperation with the company TOMRA Sorting GmbH.

Based on this development, a pilot plant was designed and built in the Zielitz mine. The configuration of the overall plant pays particular attention to the flexibility and monitorability of the process in order to facilitate subsequent optimization of the separation. The plant was commissioned in 2022. Under the current conditions, more than half of the sorted material can remain in the underground deposit. Further investigations are currently underway to optimize the separation performance, increase throughput and implement the new technology into the mine planning process.

14 Kraus, Kraus, Staeglich: Volume measurement and digital management of bulk material stockpiles

The Owl Eye® monitoring system is an innovative system for real-time volume measurement and management of bulk material stockpiles with > 98% accuracy. Data is stored in the digital platform and provides analysis functions such as batch segregation and inventory. It enables cost reduction, helps to avoid overstocking and the efficient use of raw materials. It also facilitates collaboration between departments and sites and can be used in production to improve processes.

20 Braun, Kleffner, Kirsch: New approaches for the treatment of stockpile water and leachate

K+S AG operates several mines in Germany for potash/magnesium salts and rock salt extraction, generating saline wastewater. The company aims to reduce the environmental impact by minimizing saline wastewater, reducing it from 14 Mm³ in 2006 to about 5.5 Mm³ annually.

K+S has invested over € 500 million in projects such as the ESTA treatment process and the kainite crystallization and flotation plant at the Werra site. Future projects, such as "Werra 2060", aim to further minimize wastewater-related impacts.

Reducing stockpile water generation is crucial, but traditional evaporation and crystallization methods are unfeasible due to high energy requirements. Therefore, research has focused on energy-efficient membrane processes.

The RIKovery project, funded by the Federal Ministry of Education and Research (BMBF) and involving partners like Covestro, Evonik, RWTH Aachen, and TH Köln, seeks to optimize saline industrial water use and develop innovative stockpile water treatment processes.

Challenges include the high salt concentration in stockpile water. Reverse osmosis (RO) and nanofiltration (NF) are limited by osmotic pressures. A novel process developed with TH Köln involves:

- Diluting saline solutions for NF operation.
- Using NF to separate sulfate-rich and chloride-rich streams.
- Concentrating these streams with forward osmosis (FO).

This NF-FO combination offers an innovative and energy-efficient solution. Experimental work shows feasibility with commercially available membranes. Pilot-scale investigations will assess the viability of recovering high-quality salt from the concentrated streams for industrial reuse.

26 Albrecht-Vogelsang, Schmidt: Underground power line – SuedLink in the mine of Südwestdeutsche Salzwerke AG in Heilbronn – Current progress in the project

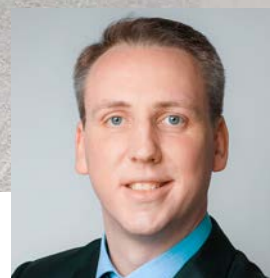
The final 16 km of the 700 km-long SuedLink high-voltage direct current transmission cable will pass through – or more precisely beneath – the conurbation of Heilbronn/Germany and in doing so will follow a route through the existing rock salt mine operated by the salt mining company Südwestdeutsche Salzwerke AG (SWS). This energy scheme, which is being implemented under the Federal Requirements Planning Act, is being delivered by two project developers TransnetBW and TenneT TSO. The underground phase not only involves the sinking of two vertical shafts and the construction of new mine roadways but also the renovation of old sections of the mine that in some cases date back more than 100 years. Three different cable installation techniques are being used. SuedLink is scheduled to come into service in 2028 – some ten years or more after the first preliminary discussions took place and five years after the planning approval decision was reached.



Dr. Isabell Pfaffe
Wissenschaftliche
Mitarbeiterin Sortiertechnik
K+S Aktiengesellschaft



**Dipl.-Ing.
Johann-Christoph Thiele**
Mitarbeiter Abteilung
Bergbau & Geologie
K+S Minerals and
Agriculture GmbH



M. Sc. Peter Liedloff
Grubenwirtschafts-
ingenieur ZI
K+S Minerals and
Agriculture GmbH

Inbetriebnahme einer Pilotanlage zur untertägigen Steinsalzvorbereitung mittels Sensorgestützter Sortierung bei K+S

Im Bergbau ist der Umgang mit Versatz seit Jahrzehnten ein wichtiges Thema. Dabei muss den stetig steigenden Anforderungen durch immer tiefere und komplexere Lagerstätten, den ökonomischen Zwängen nach economies of scale und nicht zuletzt den steigenden Umweltauflagen und Restriktionen begegnet werden. Der Ansatz, gemäß dem Prinzip des Lean Manufacturing, wertloses Mineral möglichst früh aus dem Förderstrom zu entfernen und den Wertstoff aufkonzentriert weiterzuverarbeiten, verspricht eine Vielzahl an Vorteilen.

Angesichts des Wunsches nach technologischer Weiterentwicklung und des Potentials für hohe Durchsatzraten bei geringer Bauhöhe erscheint die Sensorgestützte Sortierung für die untertägige Vorbereitung von Steinsalz besonders interessant. Bislang wurde diese Technik bei K+S zur Trennung von farblich unterscheidbaren Nebenbestandteilen eingesetzt. Aufgrund der Neuheit der Anwendung wurde für die Trennung von Sylvin (KCl) und Halit (NaCl) zunächst in einer Kooperation mit der Firma TOMRA Sorting GmbH ein geeigneter Sensor entwickelt.

Basierend auf dieser Entwicklung wurde eine Pilotanlage konzipiert und im Grubenbetrieb des Werkes Zielitz errichtet. Bei der Auslegung der Gesamtanlage wurde besonderes Augenmerk auf die Flexibilität und Überwachbarkeit der Anlage gelegt, um spätere Optimierungen der Sortierung zu erleichtern. Die Inbetriebnahme der Anlage erfolgte im Jahr 2022. Unter den aktuellen Bedingungen kann mehr als die Hälfte des sortierten Rohsalzes in der unterirdischen Lagerstätte verbleiben. Aktuell laufen weiterführende Untersuchungen zur Optimierung der Trennleistung, Steigerung des Durchsatzes und Implementierung der Technologie in der Bergbauplanung.

Commissioning of a pilot plant for underground rock salt pre-separation using sensor-based sorting at K+S
The handling of backfill has been an important issue in mining for decades. The ever-increasing demands of deeper and more complex deposits, the economic necessity for economies of scale and increasing environmental regulations must be met. The lean manufacturing approach of removing worthless minerals from the material stream as early as possible and further processing the valuable minerals in a concentrated form promises numerous advantages.

In view of the desire for further technological development and the potential for high throughput rates with a low headroom, sensor-based sorting appears to be particularly interesting for the underground pre-separation of rock salt. Up to now, this technology has been used at K+S for the separation of color-distinguishable impurities. Due to the novelty of the application, a suitable sensor for the separation of Sylvin (KCl) and Halite (NaCl) was developed in cooperation with the company TOMRA Sorting GmbH.

Based on this development, a pilot plant was designed and built in the Zielitz mine. The configuration of the overall plant pays particular attention to the flexibility and monitorability of the process in order to facilitate subsequent optimization of the separation. The plant was commissioned in 2022. Under the current conditions, more than half of the sorted material can remain in the underground deposit. Further investigations are currently underway to optimize the separation performance, increase throughput and implement the new technology into the mine planning process.

Im Bergbau spielt das Thema Versatz seit Jahrzehnten eine wichtige Rolle. Als Alternative zur Aufhaltung wurden dabei die Rückstände fast ausschließlich aufwendig und störanfällig nach Untertage transportiert und in geeignete Hohlräume verbracht. Schon früh versuchte man ansatzweise, die getrennten Prozesse Gewinnung und Aufbereitung in geeigneter Weise zusammenzuführen. Der Ansatz, wertloses Mineral möglichst früh aus dem Förderstrom zu entfernen, entspricht dem Prinzip des Lean Manufacturing und gewinnt in Zeiten der abnehmenden Wertstoffgehalte von Lagerstätten zunehmend an Bedeutung. Unter den Stichworten Mine-to-Mill-Integration und Near-To-Face-Beneficiation wurden zahlreiche Konzepte hierzu entwickelt.

Die erste Stufe der Aufbereitung sollte dabei möglichst schon Untertage nahe am Abbau vorgenommen werden mit dem Ziel, den Wertstoff aufkonzentriert zu fördern und weiterzuverarbeiten. So kann ein Teil der wertstofflosen Mineralien Untertage belassen werden. Dadurch lassen sich die Auswirkungen auf den übertägigen Bereich vermindern, die Kapazität von etwaigen Abraumhalden positiv beeinflussen und damit verbundene Emissionen verringern. [1] Zudem können Folgestufen entlastet und deren Betriebskosten gesenkt werden. [2]

Ziel ist es hierbei, den stetig steigenden Anforderungen durch immer tiefere und komplexere Lagerstätten, den ökonomischen Zwängen nach economies of scale und nicht zuletzt den steigenden Umweltauflagen und Restriktionen durch Anwendung neuer Techniken zu begegnen. Auf diese Weise sollen die Bergwerke nachhaltig weiterentwickelt und zukunftsfähig gemacht werden. [1]

Einen Beitrag hierzu kann die Sensorgestützte Sortierung als neuartiges Verfahren zur Trennung von wertstoffhaltigen Kalisalzen und wertstofflosem Steinsalz bzw. anderen Nebenmineralien leisten. In mehreren Forschungsvorhaben und Kooperationen wurde die erfolgreiche Trennung im Labormaßstab nachgewiesen. Nun galt es, diese positiven Ergebnisse der Trennung in einer Untertägigen Pilotanlage in großtechnischen Dimensionen zu testen und die Untertagetauglichkeit nachzuweisen. Der Einsatz Untertage erfordert eine neue Herangehensweise an die Bergbauplanung sowie an den Gewinnungsprozess mit Versatzlogistik, Wetterführung und Firstsicherheit.

Grundlagen der Sensorgestützten Sortierung

Die Sensorgestützte Sortierung ist ein Verfahren zur Trennung von Einzelpartikeln unterschiedlicher Zusammensetzung, das insbesondere im Bereich des Recyclings, aber auch der Mineralaufbereitung Anwendung findet. [3, 2]

Für die Sortierung müssen die Partikel zunächst vereinzelt werden, dies kann zum Beispiel mit Hilfe einer Vibrationsrinne erfolgen. Anschließend wird das Material an einem Detektor vorbeigeführt, der jedes Partikel einzeln erfasst. Die vom Sensor erhaltenen Daten werden von einem geeigneten Algorithmus ausgewertet und der Partikel in Abhängigkeit vom Sortierkriterium in eine Fraktion eingeordnet. Währenddessen wird das sich in Bewegung befindliche Material über eine mit Druckluft betriebene Luftdüsen-Leiste geführt. Die Düsen können gezielt angesteuert werden, um einzelne Partikel aus ihrer Bewegungsbahn auszulenken. Erfüllt ein Partikel das Sortierkriterium für die



Abbildung 1: Innenraumaufnahme eines sensorgestützten Sortierers der Firma TOMRA Sorting GmbH.

Auslenkung, wird anhand der Bewegungsgeschwindigkeit der Zeitpunkt zum Öffnen des Ventils berechnet und das Teilchen in die entsprechende Fraktion ausgelenkt. [2] Eine einstellbare Klappe oberhalb der Austragsöffnungen kann an die Flugbahnen beider Fraktionen angepasst werden, um die Trenngenauigkeit zu erhöhen. Abbildung 1 zeigt den Innenraum eines Sortierers mit beweglicher Klappe.

Das allgemeine Funktionsprinzip ist in Abbildung 2 anhand des schematischen Aufbaus zweier Sortierertypen dargestellt. Die beiden als Bandsortierer und Rutschensortierer bezeichneten Bauformen entsprechen den am häufigsten kommerziell eingesetzten Varianten. Beim Rutschensortierer fällt das vereinzelte Material vertikal durch den Detektionsbereich des Sensors und kann nach Bedarf vor der Landung ausgelenkt werden. Beim Bandsortierer dagegen erfolgt die Detektion horizontal auf einem Band liegend. In dieser Anordnung sind die Luftdüsen am Ende des Bandes angebracht, sodass die Auslenkung beim Abwurf erfolgt. [4]

Die Detektion erfolgt in vielen Fällen mittels elektromagnetischer Strahlung. In Abhängigkeit von der Wellenlänge können unterschiedliche Merkmale erfasst werden. Eine weit verbreitete Methode ist der Einsatz von optischen Kameras zur Detektion von sichtbarem Licht. Dies erlaubt

die Unterscheidung nach Farbe, Helligkeit unter Lichteinfall oder auch Transparenz. [2, 5] Für Materialien, die auf diesem Wege nicht unterscheidbar sind, stehen eine Vielzahl weiterer Sensorsysteme zur Verfügung, die zum Beispiel auf Röntgentransmission (XRT), Röntgenfluoreszenz (XRF) oder Nahinfrarot (NIR) basieren können. Auch induktive Metallerkennung und radiometrische Erfassung natürlicher Radioaktivität finden Anwendung in der Primärrohstoffaufbereitung. [2]

Als Voraussetzung für die Sortierung muss ein hinreichender Aufschlussgrad erreicht werden. Bei Lagerstätten mit hohem Verwachsungsgrad der mineralischen Bestandteile stellt dies eine Herausforderung dar, da das Material stärker zerkleinert werden muss. Dabei ist zu beachten, dass mit abnehmender Korngröße die spezifischen Investitions- und Betriebskosten pro Tonne steigen. [4, 6] Dies resultiert hauptsächlich aus den geringeren Durchsatzleistungen und den höheren Energiekosten durch den steigenden Druckluftverbrauch. [6]

Eine weitere Herausforderung liegt in der Abwägung von Durchsatz und Ausbeute. Ein steigender Durchsatz hat negative Auswirkungen auf die Genauigkeit sowohl der Detektion als auch der mechanischen Auslenkung der Partikel. [3]

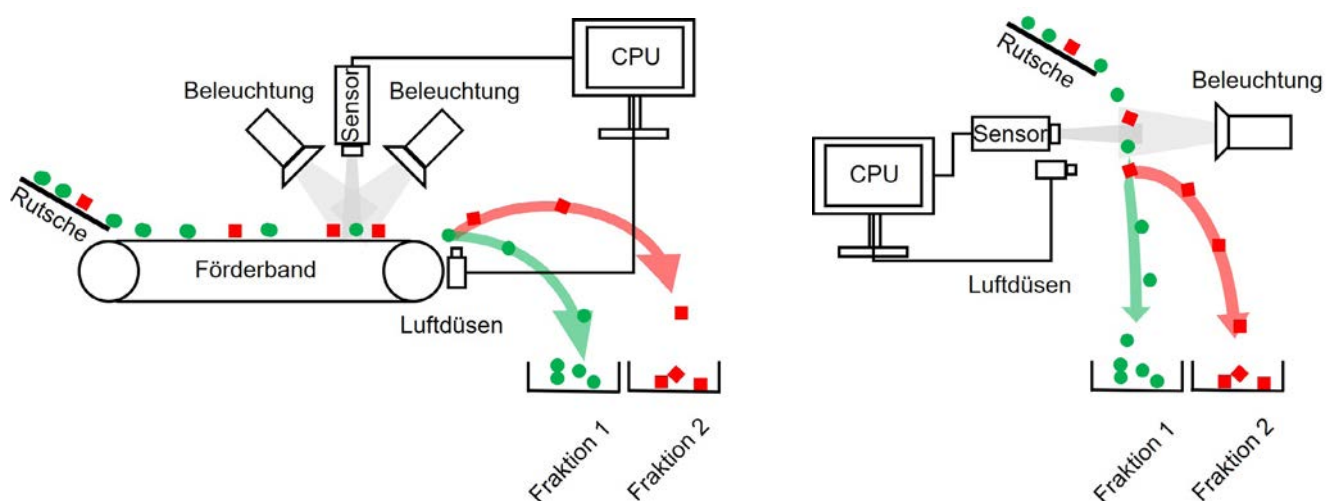


Abbildung 2: Schematische Darstellung eines Bandsortierers (links) und eines Rutschensortierers (rechts).

Einsatz der Sensorgestützten Sortierung zur Steinsalzvorbereitung

Die Sensorgestützte Sortierung ist bei K+S bereits ein etabliertes Verfahren. Es werden sowohl über als auch unter Tage vor allem optische Kameras zur Erkennung von andersfarbigen Verunreinigungen und unerwünschten Nebenbestandteilen erfolgreich eingesetzt. [7, 8] Die Trennung des Wertstoffes Sylvin (KCl) von Halit (NaCl) stellte dagegen bisher aufgrund ihrer ähnlichen physikalischen Eigenschaften eine Herausforderung dar. Dennoch ist diese Trennung von großem Interesse für eine untertägige Steinsalzvorbereitung.

Verbleibt der Rückstand unter Tage, kann er zum Verfüllen nicht mehr genutzter Bereiche verwendet werden und muss nicht übertägig aufgehaldet werden. Zusätzlich be-

günstigen wirtschaftliche Faktoren eine Steinsalzvorbereitung durch verringerte Transport- und Entsorgungskosten, sowie freiwerdenden Schachtkapazitäten.

Da die Sensorgestützte Sortierung ein größeres Kornband verarbeiten kann als die bei K+S standardmäßig eingesetzte elektrostatische Aufbereitung (ESTA), bieten sich hier Synergien an, um einen Großteil des anfallenden Kornbandes ohne zusätzliche Zerkleinerung aufzuarbeiten. Zudem können bei der Sensorgestützten Sortierung potenziell mehr Tonnen pro Stunde verarbeitet werden als bei einer ESTA mit vergleichbarer Bauhöhe.

Vor diesem Hintergrund wurden eine Vielzahl von Detektionssystemen in Machbarkeitsstudien untersucht. Aufbauend auf diesen Voruntersuchungen wurde in Kooperation des K+S Analytik- und Forschungszentrums und der Firma

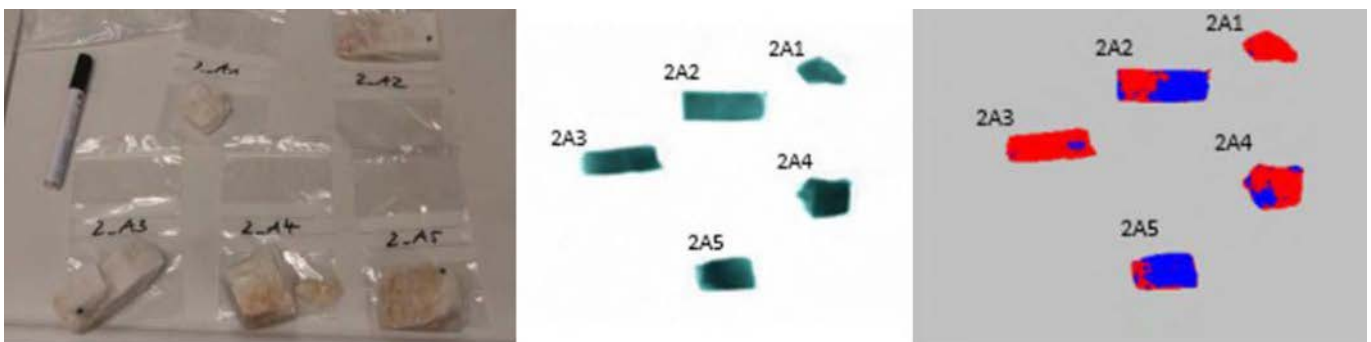


Abbildung 3: Darstellung von Handstücken als Fotografie (links), Aufnahme des XRT-Sensors und klassifiziertes Bild (rechts).
[Fotos: M. Robben, Fa. TOMRA Sorting GmbH]

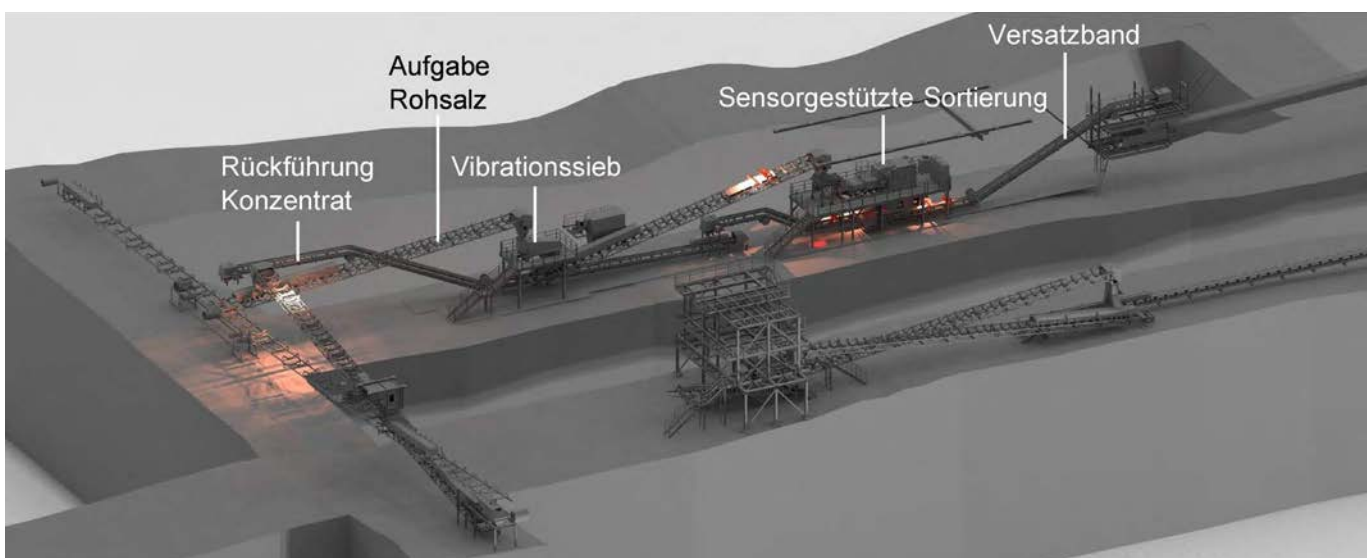


Abbildung 4: Schematischer Aufbau der Pilotanlage unter Tage mit Markierung der Messtellen mittels Beleuchtung.
[Abbildung: M. Schubert, Fa. K+S]

TOMRA Sorting GmbH ein Sortierer mit Röntgentransmissionssensor entwickelt, der in der Lage ist, diese anspruchsvolle Detektionsaufgabe durch Bestimmung der atomaren Dichte zu bewältigen. In Abbildung 3 ist die Erkennung beispielhaft für einige Rohsalzsteine dargestellt. Im Vergleich der Fotografie (links) mit der aufgenommenen Röntgenabsorption (Mitte) ist zu erkennen, dass farbliche Unterschiede wie zu erwarten nicht mit der Zusammensetzung korrelieren. Die klassifizierte Darstellung (rechts) zeigt ein Ergebnis der Verarbeitung durch die entsprechende Software. Bereiche hoher atomarer Dichte werden blau (KCl) dargestellt und Bereiche geringerer atomarer Dichte rot (NaCl). Die Sortierentscheidung fällt basierend auf den prozentualen Anteilen der Farben. Die Klassifizierung kann feinjustiert werden, um das beste Trennergebnis zu erzielen.

Mit den gewonnenen Erkenntnissen wurde das Werk in Zielitz als Standort für eine Pilotanlage ausgewählt. Ein Projektteam aus verschiedenen Fachbereichen innerhalb der K+S Gruppe war für die Konstruktion und den Aufbau der Anlage verantwortlich. Die Gesamtanlage mit der zugehörigen Peripherie ist in Abbildung 4 dargestellt.

Für die Beschickung der Pilotanlage wird durch einen Mengenteiler ein Teilstrom des Rohsalzes vom Gesamtstrom abgetrennt und vor der Sortierung auf eine geeignete Korngröße klassiert. Anschließend wird das Material über einen Vibrationsförderer vereinzelt und im Sortierer getrennt. Der anfallende Versatz wird unter Tage zum Verfüllen von ungenutzten Bereichen verwendet. Das Konzentrat wird zurück zum Förderstrom in Richtung Schacht transportiert.

Anfallendes Über- und Unterkorn wird auf das Konzentratförderband geleitet und ebenfalls in Richtung Schacht transportiert. Abbildung 5 zeigt die Rückführung der nicht sortierten Kornfraktionen.

Um den Erkenntnisgewinn zu maximieren und den Anlagenbedienern die Benutzung zu erleichtern, wurden an vier Stellen Bandwaagen und Echtzeitanalytik für den Sylvingehalt montiert. Es können die Aufgabe vor und nach der Siebung, das Konzentrat und der Versatz überwacht werden. Die Messtellen sind in Abbildung 4 anhand der beleuchteten Positionen dargestellt.



Abbildung 5: Rückführung von Über- und Unterkorn zur Schachtförderung. [Foto: F. Schumann, Fa. K+S]

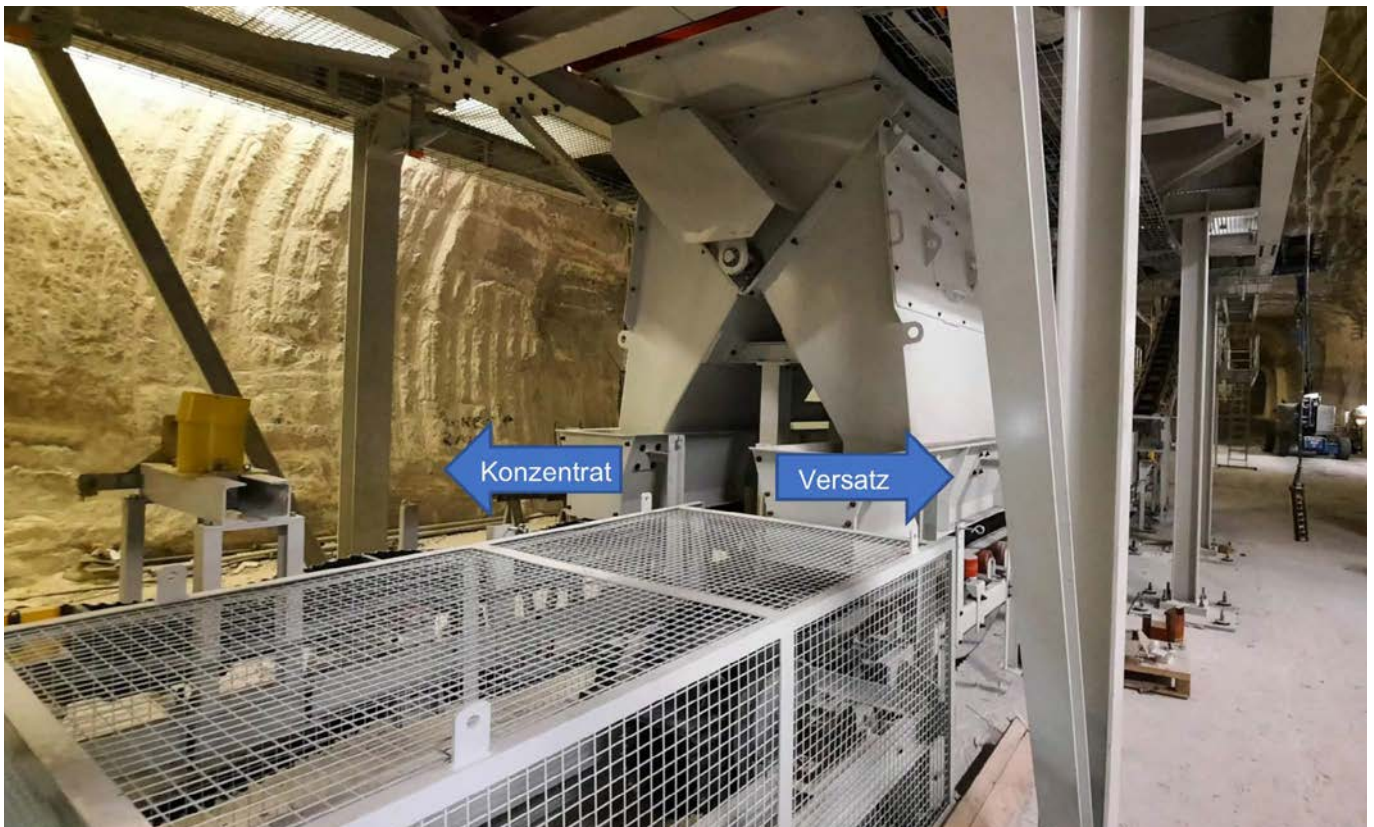


Abbildung 6: Stellbare Klappe zur Steuerung der Förderrichtung für die getrennten Fraktionen. [Foto: F. Schumann, Fa. K+S]

Zusätzlich sollte es möglich sein, zwischen den Sortieroptionen Ausschleusen von Halit und Ausschleusen von Sylvinit zu wechseln. Um Konzentrat- und Versatzfraktion dennoch immer auf das gewünschte Band führen zu können sowie bei Bedarf den Gesamtstrom in eine Richtung lenken zu können, wurden unterhalb des Sortierers steuerbare Klappen montiert. In Abbildung 6 ist eine Nahaufnahme des Unterbaus zu sehen.

Ausblick zur weiteren Optimierung der Pilotanlage

Die Pilotanlage wurde 2022 in der Grube Zielitz erfolgreich in Betrieb genommen. Bereits nach wenigen Anpassungen wurden gute Trennergebnisse erzielt. Es können in Abhängigkeit von Rohsalzzusammensetzung und Durchsatz (ca. 50 t/h) etwa 50–60% des sortierten Materials als Versatz abgetrennt werden. Der Wertstoffgehalt im Versatz liegt dabei konstant unterhalb von 2% K_2O , als Maßeinheit für den Kaliumgehalt. Bei steigenden Aufgabebelastungen sinkt der erreichbare Versatzanteil und umgekehrt.

Im Fokus der weiteren Optimierungen sind die Maximierung des Durchsatzes bei gleichbleibend geringen Wertstoffverlusten und minimalen Druckluftverbräuchen. Um diese Ziele zu erreichen, stehen verschiedene Möglichkeiten zur Verfügung.

Zum Beispiel bietet die Software des Sortierers einige Möglichkeiten, die Trennung zu beeinflussen. Zunächst muss festgelegt werden, ob das Produkt oder der Versatz ausgeschossen werden soll. Liegt ein Anteil im Unterschuss vor, ist es von Vorteil diesen auszuschließen, um den Druckluftverbrauch zu reduzieren. Bei den bisher durchgeführten Untersuchungen konnte diese Vorgehensweise bestätigt werden. Beim Ausschließen des anteilmäßig geringer vorliegenden Sylvinit wurde nicht nur der geringere Massenanteil ausgelenkt, sondern es wurden auch höhere Wertstoffausbeuten erzielt.

Des Weiteren ist es möglich, Einfluss auf den Klassifizierungs-Algorithmus zu nehmen, wodurch mehr oder weniger Anteile des Salzes als Produkt oder Versatz erkannt werden. Auch die Grenze, ab wie viel Prozent Sylvinitanteil der Partikel dem Produkt zugeordnet werden soll, kann va-

riert werden. Zusätzlich kann eine Untergrenze für die Partikelfläche oder den Partikeldurchmesser definiert werden, welche bei der Sortierung einbezogen werden soll. Diese Option ermöglicht es, Druckluft zu sparen, muss jedoch gegen die Sortiergenauigkeit abgewogen werden.

Eine andere entscheidende Einflussgröße der Trennung ist das Aufgabematerial. Hier kann gezielt gesteuert werden, welcher Korngrößenbereich getrennt werden soll. Dabei muss ein höherer Durchsatz bei größerer Korngröße gegen einen erhöhten Verwachsungsgrad abgewogen werden. Auch die Bandbelegung hat einen entscheidenden Einfluss auf die Trenneffizienz.

Zuletzt ist auch die Zusammensetzung des Aufgabematerials von großer Bedeutung, diese kann zwar gezielt beeinflusst werden, indem Rohsalz aus bestimmten Baufeldern sortiert wird, wichtiger ist jedoch, gezielt auf natürliche Schwankungen reagieren zu können.

Durch die bisherigen Optimierungsarbeiten an der Pilotanlage wurde der spezifizierte kontinuierliche Nenndurchsatz von 50 t/h erreicht. Die systematischen Untersuchungen der Einflussfaktoren befinden sich noch in einem frühen Stadium. Es ist zu erwarten, dass die Durchsatzleistungen und Wertstoffausbeuten weiter gesteigert werden können.

Des Weiteren dienen die Ergebnisse der Versuche der Pilotanlage als Grundlage zu weiterführenden Überlegungen und Ausarbeitung von Konzepten zu einem grundsätzlichen Einsatz von Sortierern entweder direkt im Kippstellenbereich oder in unmittelbarer Nähe von Feldbunkern.

Zusammenfassung

Bei der Sensorgestützten Sortierung handelt es sich um ein Sortierverfahren, das sowohl im Recycling als auch im Bergbau Anwendung findet. Bei K+S wurde die Sensorgestützte Sortierung bisher zur Trennung von farblich unterscheidbaren Verunreinigungen eingesetzt. Aufgrund des Potentials dieser Technik für hohe Durchsätze bei niedriger Bauhöhe sollte eine neue Anlage für die untertägige Steinsalzvorabtrennung entwickelt werden. Die Steinsalzvorabtrennung ermöglicht eine Schonung der Haldenkapazitäten und reduziert somit gleichzeitig Umweltauswirkungen und Kosten der Produktion.

Aufgrund der Neuheit dieser Anwendung wurde zunächst in einer Entwicklungskooperation mit der Firma TOMRA-Sorting GmbH ein geeigneter Sensor für die Trennung von Kali- und Steinsalz erarbeitet. Basierend darauf wurde eine Pilotanlage in der Grube Zielitz errichtet und 2022 erfolgreich in Betrieb genommen. Bei der Konstruktion der Gesamtanlage wurde besonderes Augenmerk auf die Flexibilität und Überwachbarkeit des Prozesses gelegt, um Optimierungen der Sortierung zu erleichtern. So konnte bereits der Durchsatz deutlich erhöht und die Wertstoffverluste gleichzeitig verringert werden. Bei den aktuellen Bedingungen kann mehr als die Hälfte des sortierten Rohsalzes unter Tage belassen werden. Es folgen weitere Untersuchungen zur Stabilisierung und Optimierung der Trennleistung.

Literatur

- [1] R. Randaxhe und J.-C. Thiele, „I²Mine – Innovative Technologien,“ Kali und Steinsalz, Nr. 03, pp. 26-33, 2012.
- [2] H. Knapp, K. Neubert, C. Schropp und H. Wotruba, „Viable Applications of Sensor-Based Sorting for the Processing of Mineral Resources,“ ChemBioEng Rev, Nr. 03, pp. 86-95, 2014.
- [3] B. Küppers, I. S. G. Koinig, R. Pomberger und D. Vollprecht, „Influence of Throughput Rate and Input Composition on Sensor-Based Sorting Efficiency,“ Detritus, Nr. 09, pp. 59-67, 2020.
- [4] C. Robben und H. Wotruba, „Sensor-Based Ore Sorting Technology in Mining—Past, Present and Future,“ Minerals, Nr. 09, pp. 523-548, 2019.
- [5] N. Kroell, X. Chen, K. Greiff und A. Feil, „Optical sensors and machine learning algorithms in sensor-based material flow characterization for mechanical recycling processes: A systematic literature review,“ Waste Management, Nr. 149, pp. 259 – 290, 2022.
- [6] C. Robben, Dissertation – Characteristics of sensor-based sorting technology and implementation in mining, Aachen: Shaker Verlag, 2014.
- [7] U. Wachsmuth, S. Eckhard, C. Meessen und M. Klotzbach, „Ausbeutesteigerung bei der Kali-Produktion durch den Einsatz eines optischen Sortierers: Eine Kooperation zwischen dem Werk Neuhoef-Ellers und dem K+S Analytik- und Forschungszentrum,“ Kali und Steinsalz, Nr. 01, pp. 26-34, 2019.
- [8] „Weißes Gold - Optische Sortierlösung,“ Schüttgut, 2021, Nr. 1, pp. 18-19, 2021.

Volumenmessung und digitale Verwaltung von Schüttguthalden

Abbildung 1: Überwachung der Schüttgutbestände eines überdachten Außenlagers



M. Eng. Quirin Kraus
Geschäftsführer
Sachtleben Technology
GmbH



M. Sc. Severin Kraus
Geschäftsführer
Sachtleben Technology
GmbH



Dr. Harry Staeglich
Manager Sales & Marketing
Sachtleben Technology
GmbH

Das Monitoringsystem

Dieses Monitoring System Owl Eye® ist ein Werkzeug zur Volumenmessung und digitalen Verwaltung von Schüttguthalden. Das System nutzt eine Kombination aus Laser-Technologie aus der Welt des autonomen Fahrens und bewährten Algorithmen, um die Volumina von Schüttguthalden in Echtzeit mit einer Genauigkeit von > 98% zu messen. Dabei werden verschiedene Sensoren eingesetzt, die kombiniert ein bestmögliches Ergebnis erzielen.

Die gewonnenen Daten werden in einer digitalen Plattform gespeichert und können jederzeit von einem Computer oder Mobilgerät aus abgerufen werden. So wird es den Nutzern ermöglicht, alle Daten auf einen Blick zu sehen und schnell auf wichtige Informationen zuzugreifen.

Die sehr genaue Überwachung der Volumina von Schüttguthalden bietet zahlreiche Vorteile für den Betreiber:

- Vermeidung von Überbeständen bzw. effizienten Einsatz von Rohstoffen und Materialien
- Optimierung von Produktionsprozesse und damit Reduktion von Betriebskosten

Die digitale Plattform des Systems erleichtert die Zusammenarbeit und Kommunikation zwischen verschiedenen IT-Systemen, Abteilungen und Standorten eines Unternehmens.

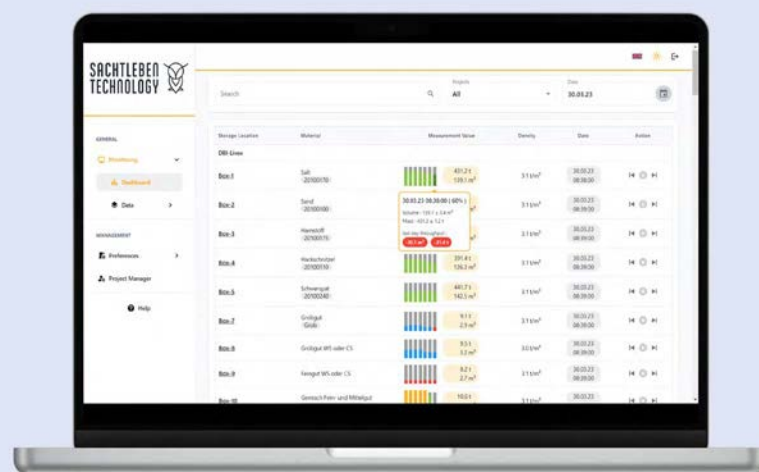


Abbildung 2: Dashboard - Ein Schneller Überblick über die Schüttgutbestände

Das Monitoringsystem Owl Eye® ist ein innovatives System zur Echtzeit-Volumenmessung und -Verwaltung von Schüttguthalden mit > 98% Genauigkeit. Daten werden in der digitalen Plattform gespeichert und bieten Analysefunktionen wie Chargentrennung und Bestandsaufnahme. Es ermöglicht eine Kostensenkung, hilft bei der Vermeidung von Überbeständen und dem effizienten Rohstoffeinsatz. Es erleichtert auch die Zusammenarbeit zwischen Abteilungen sowie Standorten und kann in der Produktion eingesetzt werden, um die Prozesse zu verbessern.

Volume measurement and digital management of bulk material stockpiles

The Owl Eye® monitoring system is an innovative system for real-time volume measurement and management of bulk material stockpiles with >98% accuracy. Data is stored in the digital platform and provides analysis functions such as batch segregation and inventory. It enables cost reduction, helps to avoid overstocking and the efficient use of raw materials. It also facilitates collaboration between departments and sites and can be used in production to improve processes.

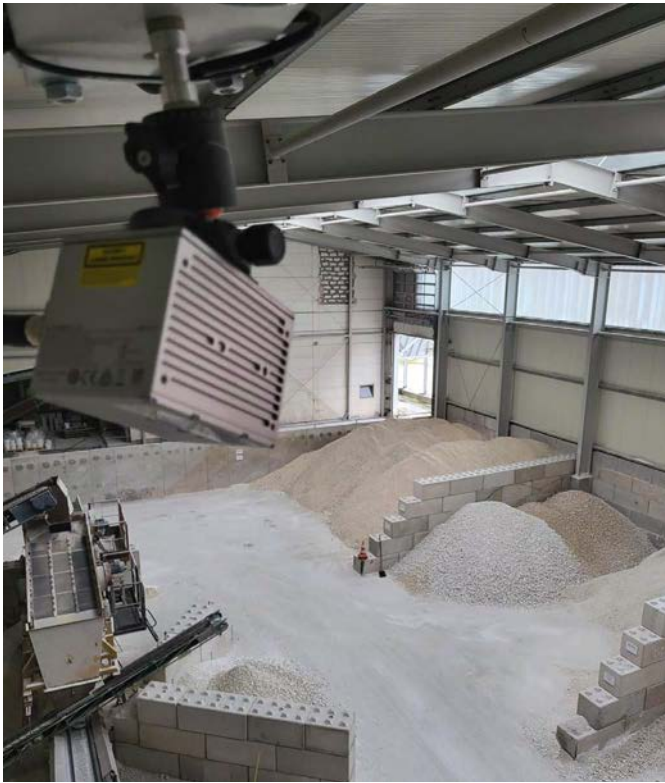


Abbildung 3: Bestände in den Lagerboxen werden digital überwacht

Präzision durch unabhängige Sensor-Hardware

Die Vermessung von Schüttgutvolumen mittels LiDAR-Technologie hat in den letzten Jahren erhebliche Fortschritte gemacht und wird zunehmend in der Industrie genutzt. LiDAR-Sensoren ermöglichen präzise und schnelle Volumenmessungen, was die Effizienz bei der Verwaltung von Schüttguthalden verbessert.

Ein Vorteil besteht darin, verschiedene Sensortypen je nach Einsatzort und Umgebung zu wählen, wodurch eine Unabhängigkeit von bestimmten Herstellern erreicht wird. Herstellerunabhängige Software ermöglicht die Nutzung der besten verfügbaren Sensoren auf dem Markt, was Flexibilität und Anpassungsfähigkeit an spezifische Kundenanforderungen erhöht.

Eine spezifisch angepasste Software-Lösung gewährleistet effiziente und genaue Messungen. Dies erfordert eine umfassende Benchmarking-Analyse zur Auswahl geeigneter Sensoren, unter Berücksichtigung von Faktoren wie Genauigkeit, Zuverlässigkeit und Preis-Leistungs-Verhältnis. Der Einsatz der besten Sensoren stellt sicher, dass die Vermessung von Schüttgutvolumen mit LiDAR präzise und zuverlässig erfolgt.

Volumenmessung und Chargentrennung im digitalen Zwilling

Durch Verknüpfung analoger Aktivitäten im Lagerbereich und digitaler Datenverwaltung und -analyse durch ein Monitoring System kann der Anwender wertschöpfende Analysefunktionen für eine effizientere Lagerhaltung nutzen.

Ein praktisches Beispiel zeigt, wie diese Funktionen genutzt werden können. Angenommen, wir betreiben eine Leimfabrik und stellen Holzleim aus Harnstoff und Formaldehyd her. Das Formaldehyd wird im Haus durch katalytische Oxidation von Methanol hergestellt, während der Harnstoff weltweit eingekauft wird. Der Harnstoff variiert in der Dichte, Korngröße und Feuchte. Das Material ist hygroskopisch und wird über einen Seehafen angeliefert. Insbesondere bei Seehafenlieferungen ist es entscheidend zu wissen, wie viel Lagerplatz noch verfügbar ist, um eine reibungslose und effiziente Abwicklung zu gewährleisten. Ohne diese Informationen besteht das Risiko, dass das Schüttgut im Freien gelagert werden muss, was zu Verunreinigungen durch Feuchtigkeit oder Regen und somit zu Qualitätsverlusten und finanziellen Einbußen führen kann.

Auch die kontinuierliche Beprobung des Materials zur Qualitätskontrolle stellt eine Herausforderung dar.

Mit dem Monitoring System können beliebige Informationen in die 3D-Halde eingetragen werden. Dazu nutzt man einen Algorithmus, der die Halde in kleine Würfel (Blockmodell) unterteilt. Jeder Würfel kann einzeln oder gruppiert mit Informationen versehen werden. Die Halde kann nach Zeitstempel oder gemäß jeder anderen Information eingefärbt werden. So erkennt man sofort, wo sich welches Material befindet und wie viel davon vorhanden ist. Auch eine Schichtung von Materialeigenschaften ist möglich, um zu sehen, aus welchem Bereich der Radladerfahrer das Material lädt. Die Software erkennt zuverlässig, wenn eine neue Lieferung hinzukommt, und kennzeichnet sie als "neu". Dem neuen Bereich wird dann die entsprechende Information zugewiesen werden, beispielsweise, dass die Ware noch nicht beprobt wurde. Ist dann eine Probe genommen und vermessen, so können die relevanten Informationen in das System eingetragen werden. Es ist stets möglich, die Mengen der einzelnen hinterlegten Informationen auszugeben oder sogar nur einzelne Informationen mitten in der Halde anzeigen zu lassen und alles andere auszublenden.

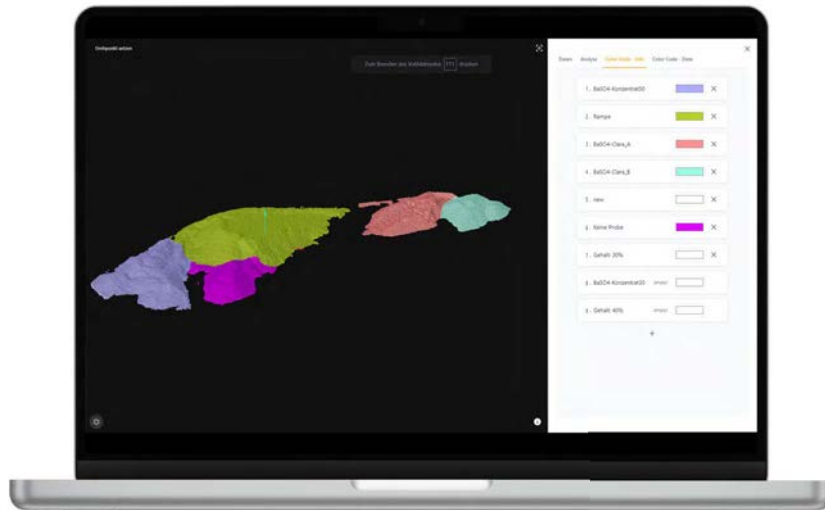


Abbildung 4: Chargentrennung mit dem Owl Eye. Links auf dem Monitor ist die Freihalde zu sehen, rechts die zu den Farben zugehörigen Informationen

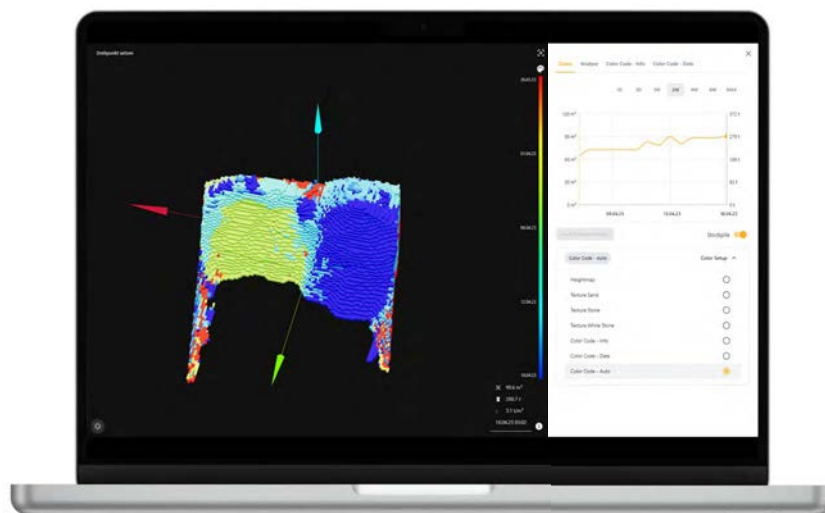


Abbildung 5: Farbskalierung nach Zeitstempel

Digitale Lagerhaltung: Wie sie analoge Erfahrung einbezieht und nutzt

Ein weiterer Vorteil der digitalen Lagerhaltung ist die Objektivierung der Bestände. Oftmals wird die Lagerhaltung von Personen mit langjähriger Erfahrung in diesem Bereich durchgeführt. Diese Personen haben ihr Wissen und ihre Fähigkeiten über Jahre hinweg aufgebaut und perfektioniert. Das stellt zwar eine große Ressource für das Unternehmen dar, birgt aber auch das Risiko, dass das Unternehmen von der Expertise nur einer einzelnen Person abhängig wird.

Digitale Tools, wie beispielsweise automatisierte Lagerbestandserfassungssysteme oder Lagerverwaltungssoftware, ermöglichen es Unternehmen, das Wissen und die Erfahrung ihrer erfahrenen Mitarbeiter zu nutzen und gleichzeitig die Abhängigkeit von einer einzelnen Person zu reduzieren. Die Digitalisierung ermöglicht eine Standardisierung von Abläufen und Prozessen, was die Effizienz und Flexibilität im Lager erhöht.

Zusätzlich können durch die digitale Lagerhaltung auch langfristig Kosten gespart werden, da automatisierte Prozesse Zeit sparen und weniger Fehlerquellen haben als

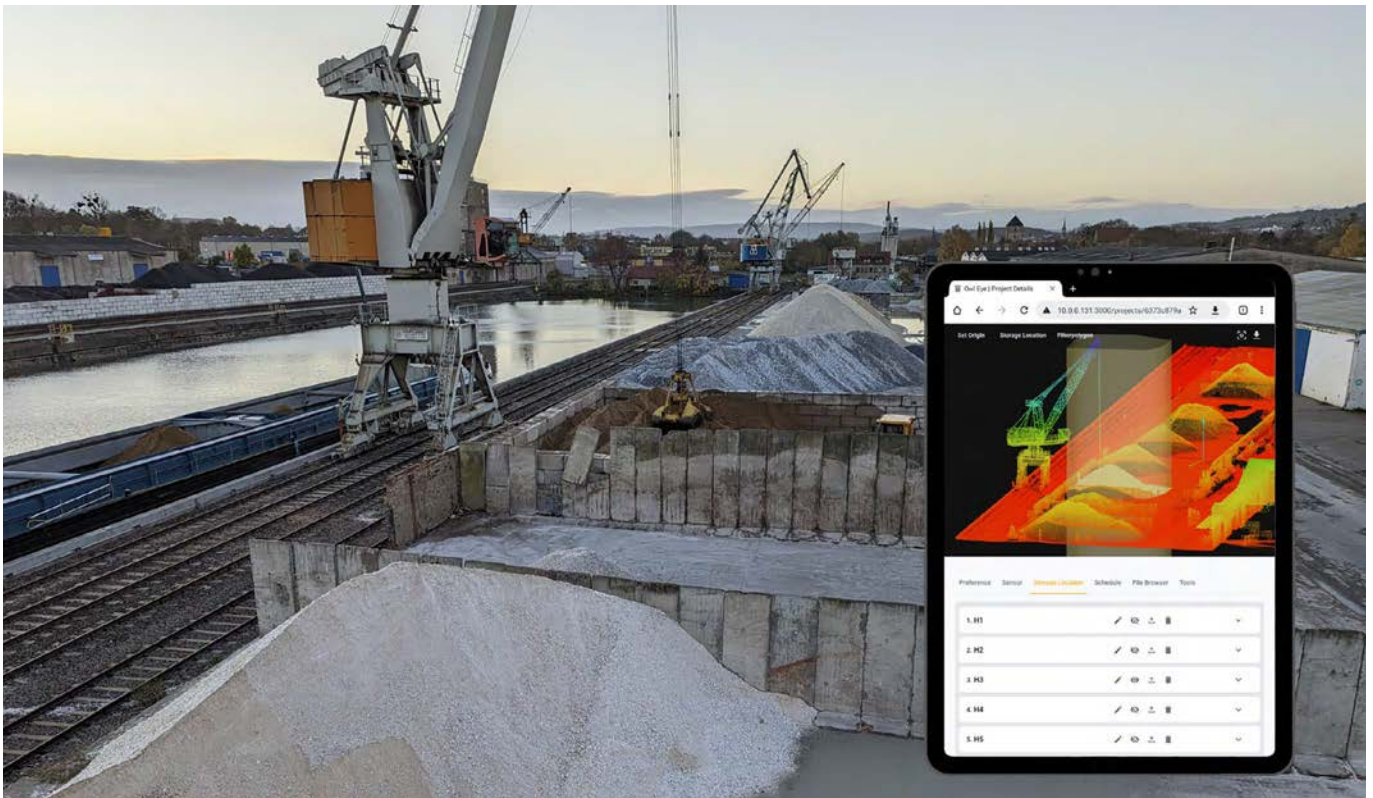


Abbildung 6: Der digitale Zwilling eines Schüttgutlagers

manuelle Prozesse. Außerdem bietet die Digitalisierung die Möglichkeit zur präzisen Analyse von Lagerdaten, was zu einer effektiveren Planung und Steuerung von Lagerbeständen führt.

Insgesamt bietet die digitale Lagerhaltung somit zahlreiche Vorteile und ist eine wichtige Komponente für ein effizientes und erfolgreiches Lagermanagement in Unternehmen.

Sensoren und Staub

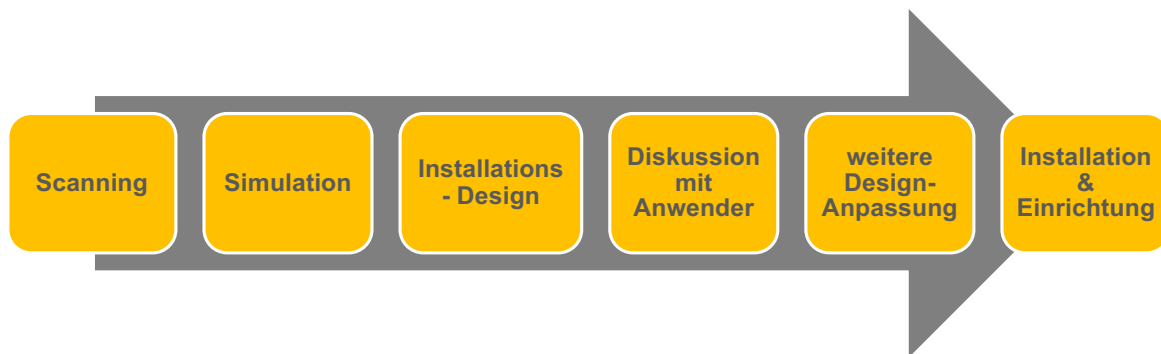
Um sicherzustellen, dass das Monitoring System in jeder Umgebung zuverlässig funktioniert, werden vor der Installation individuelle Staubkammertests durchgeführt. Diese Tests ermöglichen es, das Reinigungssystem auf die spezifischen Anforderungen des Kunden und das Material, mit dem gearbeitet wird, abzustimmen. Hierbei wird das Material in eine Art Terrarium gegeben. Mittels Druckluft wird Staub aufgewirbelt und die Sensoren des Systems exponiert. Anschließend wird das Reinigungssystem, getaktete Druckluftdüsen, getestet. Dadurch wird sichergestellt, dass der Staub schnell, effektiv und zuverlässig weggeblasen wird und die Sensoren sauber bleiben. Durch diese individuellen Staubkammertests kann sichergestellt werden, dass der Anwender in jeder Umgebung und mit jedem Material

optimal arbeiten kann. Die Staubkammertests bieten auch eine hervorragende Möglichkeit, die Leistung der Reinigungsmethode zu prüfen und gegebenenfalls zu optimieren, um die bestmögliche Reinigungsleistung zu erzielen.

Umgang mit externen Daten

Die Qualität eines Software-Systems zeigt sich zusätzlich in der breiten Palette von Funktionalitäten, die die Verwaltung und Analyse der gelagerten Materialien verbessert. Besonders wichtig ist, dass das System in der Lage ist, Daten von externen Systemen wie TLS-Scannern oder Drohnen einzuspielen, zu verwalten und automatisiert auszuwerten. Dadurch können Informationen aus verschiedenen Quellen zusammengeführt werden und man erhält ein umfassendes Bild der Lager- oder Produktionsprozesse. Weiterhin muss es möglich sein, Warnungen per E-Mail zu erhalten, wenn bestimmte Schwellwerte unter- oder überschritten werden oder bestimmte Plausibilitätsbedingungen zutreffen. Dies ermöglicht es dem Prozess-Verantwortlichen, schnell auf Veränderungen im Prozess zu reagieren und mögliche Probleme zu vermeiden. Schließlich bietet ein hochwertiges System eine einfache Möglichkeit, sich mit bestehenden Prozessleitsystemen oder ERP-Systemen über gängige Schnittstellen zu verbinden.

In der Praxis bedeuten die genannten Anforderungen ein sehr detailliertes und individualisiertes Set-Up des Systems. Dieser Prozess läuft in folgenden sechs Schritten:



Im **Scanning-Schritt** wird das bestehende Lager mit einem professionellem Laserscanner (z.B. von Riegl) in 3D aufgenommen und im Nachgang mit Spezialsoftware ausgewertet.

In der **Simulation** werden Typ, Position und Anzahl des Sensors ermittelt. Das ermittelte **Installations-Design** schafft aber die beste Abdeckung des Schüttgutes. Nach Diskussion und eventueller Anpassung an (meist weitere) Kundenwünsche erfolgt dann die **Installation und Einrichtung** des Monitoring Systems. Dieser finale Schritt

beinhaltet neben der Justierung der Hardware auch das Training bzw. die Feinanpassung an Detailwünsche des End-Verbrauchers (Lagerhaus-Personal).

Am Ende der Installation steht der **Business Benefit**, hier die Optimierung von Arbeitsprozessen mit digitalen Hilfsmitteln. Die angestrebten Prozessverbesserungen wirken sich im Übrigen auch positiv auf die schon eingesetzten Standard-Tools aus. Offene Schnittstellen erlauben beispielsweise die Kommunikation mit SAP, dem klassischen Tool für die Datenverwaltung.

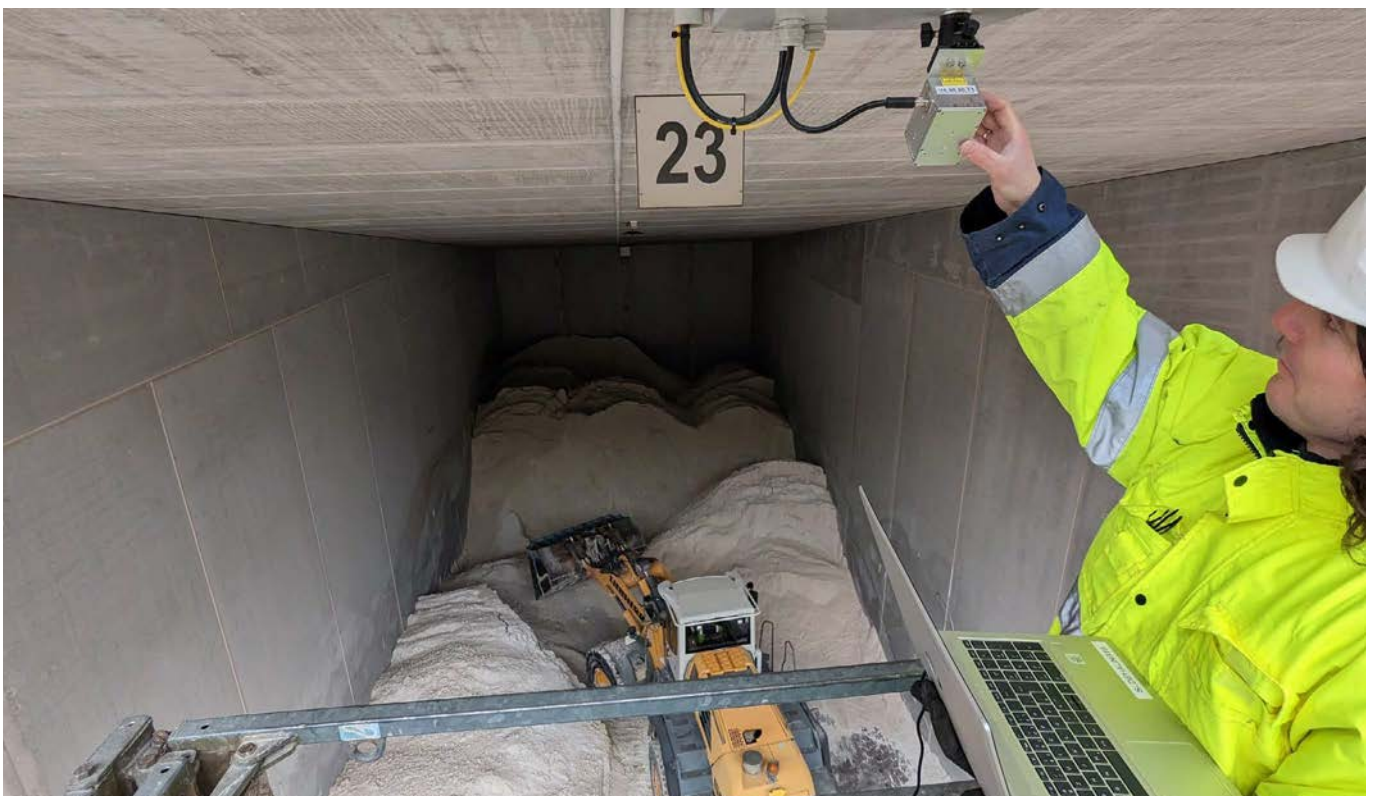


Abbildung 7: Inbetriebnahme einer Owl Eye Anlage



Neue Ansätze zur Aufbereitung von Haldenwässern

Die Reduzierung von Haldenwasser ist in der Kaliindustrie von entscheidender Bedeutung. Allerdings sind herkömmliche Verdampfungs- und Kristallisationsverfahren wegen des hohen Energiebedarfs ökologisch und ökonomisch nicht umsetzbar. Aus diesem Grund konzentriert sich die Forschung auf energieeffiziente Membranverfahren.

Das vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderte Projekt RIKovery strebt mit Partnern wie Covestro, Evonik, der RWTH Aachen und der TH Köln an, die Nutzung von salzhaltigem Industrierwasser zu optimieren und innovative Verfahren zur Haldenwasseraufbereitung zu entwickeln.

Herausfordernd sind dabei die hohen Salzkonzentrationen in den Haldenwässern. Die Umkehrosmose (engl. Reverse Osmosis, RO) und die Nanofiltration (NF) werden dabei durch osmotische Drücke begrenzt. Ein gemeinsam mit der TH Köln entwickeltes neuartiges Verfahren umfasst:

- Verdünnung von Salzlösungen für den NF-Betrieb.
- Verwendung der NF zur Trennung von sulfat- und chloridreichen Strömen.
- Konzentrierung dieser Ströme mittels der Vorwärtsosmose (engl. Forward Osmosis, FO).

Diese Kombination aus NF und FO bietet eine innovative und energieeffiziente Lösung. Experimentelle Arbeiten zeigen dabei die Machbarkeit mit handelsüblichen Membranen. Darüber hinaus soll mit Hilfe einer Pilotanlage eine Machbarkeitsbewertung zur Rückgewinnung von hochwertigem Salz aus den konzentrierten Strömen für die industrielle Wiederverwendung geliefert werden.



**Prof. Dr.-Ing.
Gerd Braun**
Leiter des CML
Cologne Membrane Lab,
TH Köln



**Dr.-Ing.
Christine Kleffner**
Leiterin der
Arbeitsgruppe Hochdruck-
Membranprozesse, CML,
TH Köln



Dr. Christoph Kirsch
Projektleiter
K+S Aktiengesellschaft,
Analytik und
Forschungszentrum (AFZ)

New approaches for the treatment of stockpile water

Reducing stockpile water within the potash industry is crucial, but traditional evaporation and crystallization methods are ecologically and economically unfeasible due to high energy requirements. Therefore, research has focused on energy-efficient membrane processes.

The RIKovery project, funded by the Federal Ministry of Education and Research (Bundesministerium für Bildung und Forschung, BMBF) and involving partners like Covestro, Evonik, RWTH Aachen, and TH Köln, seeks to optimize saline industrial water use and develop innovative stockpile water treatment processes.

Challenges include the high salt concentration in stockpile water. Reverse osmosis (RO) and nanofiltration (NF) are limited by osmotic pressures. A novel process developed with TH Köln involves:

- *Diluting saline solutions for NF operation.*
- *Using NF to separate sulfate-rich and chloride-rich streams.*
- *Concentrating these streams with forward osmosis (FO).*

This NF-FO combination offers an innovative and energy-efficient solution. Experimental work shows feasibility with commercially available membranes. Pilot-scale investigations will assess the viability of recovering high-quality salt from the concentrated streams for industrial reuse.

FORSCHUNG UND ENTWICKLUNG

Die K+S AG betreibt als führender Anbieter von mineralischen Produkten für die Bereiche Landwirtschaft, Industrie, Verbraucher und Gemeinden u. a. in Deutschland eine Reihe von Bergwerken zur Gewinnung und Aufbereitung von Kali-/Magnesiumrohsalzen und Steinsalz. Bei der Aufbereitung der Rohsalze sowie im Zusammenhang mit der Entsorgung der festen Aufbereitungsrückstände können salzhaltige Abwässer entstehen, die entweder in Oberflächengewässer eingeleitet oder in alten Bergwerken ordnungsgemäß entsorgt werden.

K+S hat sich das Ziel gesetzt, die im Zusammenhang mit der Gewinnung und Aufbereitung von Rohsalz sowie die mit der Rückstandsentsorgung einhergehenden Umweltauswirkungen weiter zu reduzieren. Neben der Umstellung auf eine CO₂-neutrale Energieversorgung stellt die Senkung des Salzabwasseranfalls ein weiteres zentrales Handlungsfeld dar.

So konnte z. B. im thüringischen/hessischen Kalirevier der Anfall von Salzabwässern deutlich gesenkt werden. Fielen im Jahr 2006 noch ca. 14 Mio. m³ salzhaltige Abwässer an, sind es heute jährlich nur noch ca. 5,5 Mio. m³.

Die K+S AG hat dazu in den letzten 15 Jahren in zahlreichen Projekten mehr als 500 Mio. € investiert, beispielsweise in die Installation eines weiteren trockenen ESTA-Aufbereitungsprozesses und die Inbetriebnahme der Kainit-Kristallisations- und Flotationsanlage (KKF-Anlage) am Standort Hattorf des Werks Werra.

Die K+S AG strebt auch zukünftig an, wie z. B. mit dem Projekt „Werra 2060“, mögliche wasserbezogene Auswirkungen auf ein Minimum zu beschränken.

Neben der weiteren Reduzierung der Prozessabwässer liegt ein weiterer Schwerpunkt bei der mittel- und langfristigen Senkung des Anfalls von Haldenwässern. Die dauerhafte und nachhaltige Abdeckung der Rückstandshalden, wie sie im Bewirtschaftungsplan und Maßnahmenprogramm Salz der Flussgebietsgemeinschaft FGG Weser festgelegt ist, stellt dabei eine zentrale Maßnahme dar.

Die Abdeckung der Rückstandshalden und die damit verbundene Vermeidung salzhaltiger Haldenwässer wird aufgrund der Größe der Halden viele Jahre in Anspruch nehmen. Daher sind für K+S auch Lösungsansätze zur Aufbereitung von Haldenwässern wichtig, um die bestehenden Entsorgungswege für die Haldenwässer zu entlasten. Herkömmliche Eindampf- und Kristallisationsverfahren wurden für diesen Anwendungsfall in der Vergangenheit ausgiebig geprüft, ihr Einsatz ist aber u. a. aufgrund des hohen Energiebedarfs aus ökologischen und ökonomischen Gründen nicht vertretbar. Daher wurde in den letzten Jahren verstärkt an alternativen Ansätzen geforscht und dabei insbesondere der Einsatz energieeffizienter Membranverfahren betrachtet.

Auf dieser Basis konnte im Rahmen der Fördermaßnahme WavE II unter Beteiligung der K+S AG erfolgreich ein Antrag auf Forschungsförderung beim Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) gestellt werden. Das Verbundprojekt RIKovery, an dem insgesamt acht Partner aus Industrie und Forschungseinrichtungen (u. a. Covestro, Evonik, RWTH Aachen, TH Köln) beteiligt sind, verfolgt die Vision, unterschiedliche salzenthaltende industrielle Wasserströme möglichst vollständig zu nutzen, und damit natürliche Wasserressourcen zu entlasten (Abbildung 1). Dabei ist die Entwicklung innovativer Prozesse zur Aufbereitung von Haldenwässern ein Teil dieses Projektes.

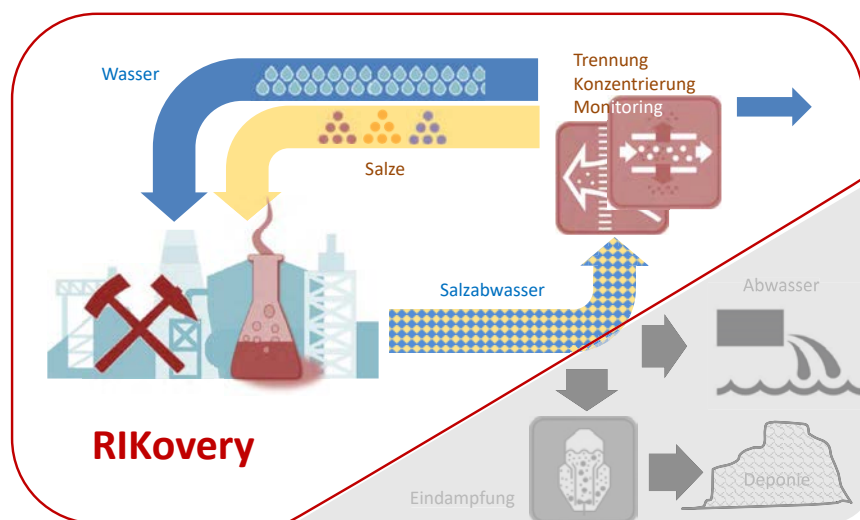


Abbildung 1: Wiederverwendung von salzenthaltenden industriellen Wasserströmen im Projekt RIKovery (gefördert vom BMBF)

Technische Herausforderungen und innovativer Lösungsansatz

Die technische Herausforderung bei der Behandlung von Haldenwässern liegt in der insgesamt hohen Konzentration an Salzen und ihrer komplexen Zusammensetzung, an der hauptsächlich Natrium-, Kalium-, Magnesium-, Chlorid- und Sulfationen beteiligt sind (siehe Tabelle 1).

Eine Aufbereitung der Haldenwässer durch einen Verdampfungsprozess ist zwar technisch machbar, stellt aber wegen des hohen Energieaufwandes und dem möglichen Entstehen von Mischsalzen eine große Herausforderung auch in Bezug auf eine weitere Wertstoffrückgewinnung und Wiedernutzung dar.

Verbindung	Konzentrationsbereich in g/L
KCl	30 – 35
MgCl ₂	45 – 90
MgSO ₄	75 – 80
NaCl	140 – 170
NaCl-Untersättigung	0 – 39%

Tabelle 1: Typische Zusammensetzung der Haldenwässer

Druckgetriebene Membranverfahren, wie die Umkehrosmose (engl. Reverse Osmosis, RO) oder die Nanofiltration, sind prinzipiell für die Aufbereitung leichtsalzhaltiger Wasser einsetzbar. Die Anwendungsgrenzen resultieren dabei insbesondere aus den osmotischen Drücken der Salzlösungen. RO-Membranen können praktisch alle gelösten Salze mit einem Rückhaltevermögen der Membran von mehr als 98% in Form einer konzentrierteren Lösung aus der ursprünglichen Lösung abtrennen und dementsprechend auf der anderen Seite salzfreies Wasser liefern. Neue Membranelemente und Energierückgewinnungssysteme machen den Einsatz dieses Verfahrens bis zu einem Druck von 120 bar technisch heute durchaus umsetzbar. Der osmotische Druck konzentrierter Haldenwässer kann jedoch bis zu 500 bar betragen, sodass die Anwendung der Hochdruckumkehrosmose (engl. High-Pressure Reverse Osmosis, HPRO) bei 120 bar hier keine weitere Konzentrierung der Salze bewirken würde.

Die Nanofiltration (NF) ist dagegen ein potenziell geeignetes Verfahren, um mehrwertige Anionen (hier Sulfat) von den einwertigen Anionen (hier Chlorid) zu trennen. In

diesem Fall könnten die zu behandelnden Salzlösungen in einen sulfathaltigen Strom (Konzentrat) und einen chloridhaltigen Strom (Permeat) getrennt werden, was eine weitere, potenzielle Aufbereitung der Einzelströme vereinfacht, bzw. erst ermöglicht. Bei konventionellem Einsatz wird die Nanofiltration jedoch üblicherweise bei Drücken von nicht mehr als 42 bar, neuerdings vereinzelt auch 83 bar bis maximal 120 bar, betrieben. Der osmotische Druck der aufzubereitenden Salzlösungen, der zur effizienten Trennung von Ionen mithilfe der Nanofiltration jedoch deutlich höhere Betriebsdrücke erfordert, limitiert also auch hier den Einsatz dieses Verfahrens.

Bei der Vorwärtsosmose wird der hohe osmotische Druck der aufzubereitenden Ausgangslösungen genutzt, um die im 1. Schritt erforderliche Verdünnung zu erreichen. Dazu wird die Ausgangslösung, die auch als Zuglösung bezeichnet werden kann, auf einer Seite einer Membran geführt und jeweils eine der beiden schon aufgetrennten Salzlösungen aus dem 2. Schritt auf der anderen Seite der Membran. Aufgrund der unterschiedlich hohen Salzkonzentrationen kann nun Wasser durch die Membran in Richtung der höher konzentrierten Salzlösung (Zuglösung) treten und dadurch die Ausgangslösung, wie erforderlich, verdünnen. Die durch die Nanofiltration erhaltenen verdünnten Salzlösungen werden dagegen durch die Abgabe des Wassers aufkonzentriert und so für eine anschließende mögliche Rückgewinnung von Wertstoffen vorbereitet.

Die folgende Abbildung 2 zeigt das Prinzip der Vorwärtsosmose schematisch.

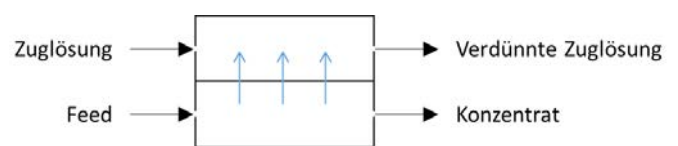


Abbildung 2: Prinzip der Vorwärtsosmose

Der Einsatz der Vorwärtsosmose ist insbesondere dann von großem energetischen Vorteil, wenn die eingesetzte Ausgangslösung mit dem hohen osmotischen Druck, also die Zuglösung, nicht selbst wieder im Prozess aufkonzentriert werden muss. Da dies auf den hier untersuchten Anwendungsfall zutrifft, ist die Anwendung der Vorwärtsosmose besonders vorteilhaft.

Um ein Prozesskonzept zu entwickeln, das dennoch auf energieeffizienten Membranprozessen basiert, wurden in Zusammenarbeit mit der TH Köln zahlreiche Vorversuche

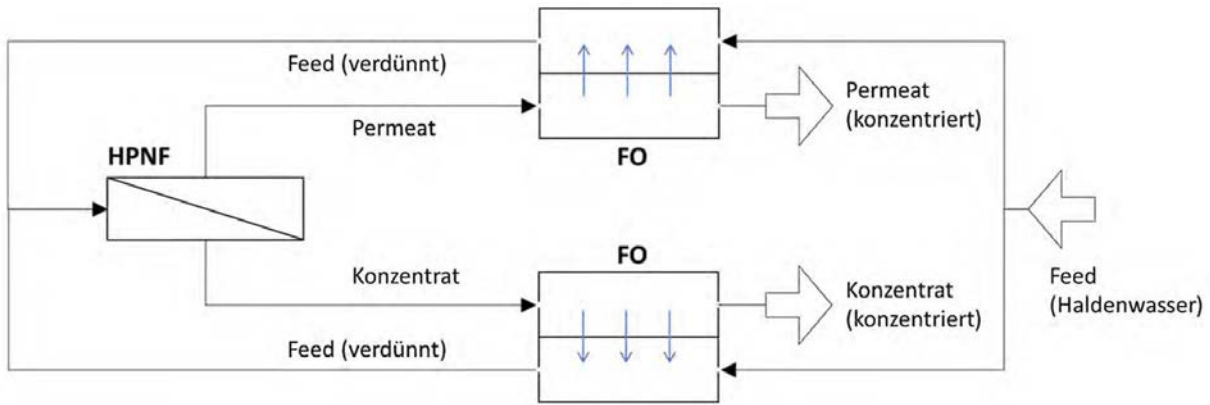


Abbildung 3: Kombination aus NF und FO zur Aufbereitung von Haldenwässern

durchgeführt, die zu folgendem innovativen Lösungsansatz führten, der sich in drei Prozessschritte gliedert:

1. Verdünnung der zu behandelnden Salzlösungen, sodass diese einen osmotischen Druck aufweisen, der den Einsatz einer NF bei Drücken von 83 bis maximal 120 bar erlaubt.
2. Aufbereitung der verdünnten Lösungen mittels NF mit dem Ziel der Ionentrennung, sodass sich ein sulfathaltiger und ein chloridhaltiger Strom ergibt.
3. Konzentrierung der erhaltenen Einzelströme, durch die Vorwärtsosmose (engl. Forward Osmosis, FO).

Zur Aufbereitung von Haldenwässern werden die Membranverfahren Nanofiltration und Vorwärtsosmose daher derart kombiniert, wie es Abbildung 3 zeigt. Der Feedstrom (Haldenwasser) wird aufgeteilt und zwei FO-Einheiten zugeführt und dort so weit verdünnt, dass er durch eine Nanofiltration in ein chloridhaltiges Permeat und ein sulfathaltiges Konzentrat getrennt werden kann. Beide Teilströme werden anschließend in der FO wieder konzentriert.

Diese Prozesskombination aus Nanofiltration und Vorwärtsosmose ist neuartig und konnte bereits zum Patent (DE102022120661A1) angemeldet werden.

Experimentelle Arbeiten an der TH Köln zur Untersuchung der Machbarkeit der einzelnen Verfahren zeigten, dass die entwickelte Verfahrenskombination mit marktverfügbaren Membranelementen durchführbar ist. Die experimentellen Untersuchungen ergaben sogar, dass es möglich ist, das Permeat oder das Konzentrat der Nanofiltration bis zur Kristallbildung aufzukonzentrieren. Entsprechend der Salzzusammensetzung kristallisiert im Permeat Halit (NaCl) und im Konzentrat Epsomit ($\text{MgSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$) aus.

Die Abbildung 4 zeigt dem Prozess entnommene Kristallproben. Die experimentellen Untersuchungen zeigten jedoch auch, dass beim Einsatz realer Haldenwässer eine Vorbehandlung in Form einer Filtration und TOC-Abreicherung, zur Entfernung von Partikeln und organischen Verbindungen, zwingend erforderlich ist.

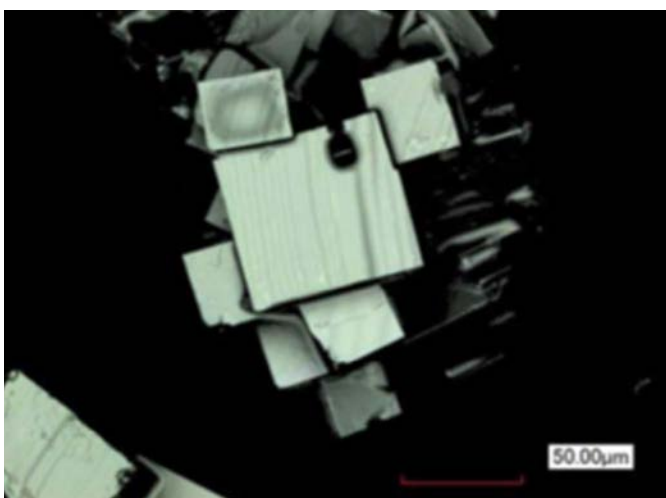


Abbildung 4: Kristalle im Permeat (NaCl) und im Konzentrat ($\text{MgSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$)



Abbildung 5: Pilotanlage zur Hochdruck-Nanofiltration

Weitere Untersuchungen im Pilotmaßstab

An der TH Köln wurden zwei Pilotanlagen (FO und Hochdruck-NF) entwickelt und gebaut, die größere Probenmengen an Haldenwasser im Technikum mit Membranelementen im industriell relevanten Maßstab mit dem beschriebenen Verfahrenskonzept aufbereiten können.

Die Pilotanlage zur Hochdruck-Nanofiltration ist in Abbildung 5 dargestellt. Sie ist für Drücke bis 120 bar ausgelegt und mit einem Energierückgewinnungssystem nach neuestem Stand der Technik ausgerüstet, das den erforderlichen Energiebedarf minimiert.

Die Abbildung 6 zeigt die Pilotanlage zur Vorwärtsosmose. Die Anlage ist für den Batch-Betrieb ausgelegt, wobei in einem der Behälter die aufzubereitende Ausgangslösung vorgelegt wird und in dem anderen das Permeat der NF. Beide Ströme werden jeweils im geschlossenen Kreislauf durch das Membranelement gefahren, bis die gewünschte Aufkonzentrierung bzw. Verdünnung erreicht ist.

Im verbleibenden Projektzeitraum wird untersucht, ob es technisch und ökonomisch möglich ist, aus dem aufkonzentrierten Permeat-Strom Kochsalz in einer so hohen Qualität zu gewinnen, dass es aus den Abwässern zurückgewonnen und für technische Anwendungen wiedereingesetzt werden kann.

Dazu wird das erhaltene konzentrierte Permeat im K+S Analytik- und Forschungszentrum (AFZ) eingedampft und NaCl kristallisiert sowie die Qualität des gewonnenen Salzes analytisch hinsichtlich seiner chemischen Reinheit untersucht. Anschließend erfolgt bei Covestro die Untersuchung auf dessen Eignung als Edukt für die Chlor-Alkali-Elektrolyse.

Auf Basis der Ergebnisse der TH Köln und des AFZ erfolgt dann eine technische, ökonomische und ökologische Gesamtbewertung des neuen Verfahrenskonzeptes.



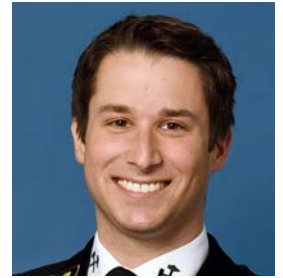
Abbildung 6: Pilotanlage zur Vorwärtsosmose

**Stromtrasse unter Tage – SuedLink
im Bergwerk der Südwestdeutsche
Salzwerke AG in Heilbronn –
Aktueller Fortschritt im Projekt**





**Lauritz
Albrecht-Vogelsang**
Projektleiter, SWS



Robby Schmidt
Bereichsleiter Steinsalz,
SWS

Die rund 700 km lange Höchstspannungsgleichstromübertragungsleitung SuedLink quert auf den letzten rund 16 km Trassenlänge den Ballungsraum Heilbronn – unter Tage, im bestehenden Steinsalzbergwerk der SWS AG. Es handelt sich um ein Projekt gemäß Bundesbedarfsplangesetz, welches durch die beiden Vorhabenträger TransnetBW und TenneT realisiert wird. Hierfür werden nicht nur zwei Schächte geteuft und neue Strecken aufgeföhren, sondern auch teils über 100 Jahre alte Bergwerksbereiche aufgewältigt. Es kommen drei verschiedene Kabelverlegevarianten zum Einsatz. Gut zehn Jahre nach den ersten Vorgesprächen und 5 Jahre nach Erhalt des Planfeststellungsbeschlusses soll SuedLink im Jahr 2028 in Betrieb gehen.

Underground power line – SuedLink in the mine of Südwestdeutsche Salzwerke AG in Heilbronn – Current progress in the project

The final 16 km of the 700 km-long SuedLink high-voltage direct current transmission cable will pass through – or more precisely beneath – the conurbation of Heilbronn/Germany and in doing so will follow a route through the existing rock salt mine operated by the salt mining company Südwestdeutsche Salzwerke AG (SWS). This energy scheme, which is being implemented under the Federal Requirements Planning Act, is being delivered by two project developers TransnetBW and TenneT TSO. The underground phase not only involves the sinking of two vertical shafts and the construction of new mine roadways but also the renovation of old sections of the mine that in some cases date back more than 100 years. Three different cable installation techniques are being used. SuedLink is scheduled to come into service in 2028 – some ten years or more after the first preliminary discussions took place and five years after the planning approval decision was reached.

Abbildung 1: Sicherungsarbeiten in der Streckenaufföhren [Foto: SWS]

Im Rahmen der Bundesfachplanung wurde Ende 2020 beschlossen, die Stadt Heilbronn zu umgehen, indem die SuedLink-Trasse in die Grubenbaue des Verbundbergwerks Heilbronn-Kochendorf gelegt wird. Dadurch wird der gesamte industrielle Ballungsraum, die Bundesautobahn A6, sowie der Neckar in diesem Bereich konfliktarm unterquert. Die Initiative hierfür kam vom Umweltministerium des Landes Baden-Württemberg. Die als „SuedLink“ bezeichnete Höchstspannungsgleichstromverbindung (HGÜ) verläuft zwischen den Netzverknüpfungspunkten Brunsbüttel in Schleswig-Holstein und Großgartach in Baden-Württemberg. Die Spannungsebene beträgt 525 kV. Diese Stromleitung wird als Erdkabel verlegt und weist eine Übertragungsleistung von 2 GW auf. Die Nutzungsdauer beträgt mindesten 40 Jahre. Als erster Teil der Trasse überhaupt wurde der Abschnitt E3 „Bad Friedrichshall – Netzverknüpfungspunkt Großgartach“ am 25.05.2023 durch die Bundesnetzagentur planfestgestellt.

Aktueller Projektstatus

Seit der letzten Berichterstattung aus dem Juli 2023 hat sich einiges im Projekt SuedLink getan. Ein bedeutender Meilenstein wurde kurz vor Weihnachten 2023 mit der Vergabe der beiden Schachtbauwerke an eine Arbeitsgemeinschaft (ARGE) aus den Firmen Thyssen Schachtbau und Redpath Deilmann erreicht. Nach Vertragsunterzeichnung im Januar 2024 begann die ARGE unmittelbar mit den Planungsleistungen. Die vollständige Ausführungsplanung, inkl. Befahrungseinheiten für den Kabeleinbau und die Betriebsphase, ist Teil der Vergabe. Die schnellstmögliche Aufnahme der Ausführungsplanung ist auch geboten, denn der Terminplan ist ambitioniert. Im ersten und zweiten Quartal 2024 sind, nach Einrichtung der beiden Baustellen, die Arbeiten zur Präzementation des Baugrundes geplant. Hierzu werden um beide künftigen Schächte 120 m tiefe Injektionsschirme hergestellt, um in der Bauphase des Abteufens Wechselwirkungen mit anstehenden Grundwasserleitern zu verhindern.



Abbildung 2: Ankerbohrwagen in der Streckenauffahrung [Foto: SWS]



Abbildung 3: Versuchsaufbau Betonfertigteil-Trasse [Foto: SWS]

Unter Tage haben die Vortriebsarbeiten mit der Teilschnittmaschine Fahrt aufgenommen. Es wurde mit der ca. 1.830 m langen Auffahrung in Richtung des südlich gelegenen Schachtes in Großgartach begonnen. Gegenwärtig ist ungefähr ein Drittel der Strecke aufgefahren. Abschnittsweise wurde eine ungünstigere als die ursprünglich erwartete Geologie angetroffen, weshalb der Einbau von Sicherungsmitteln erforderlich wurde (siehe Abbildungen 1 und 2).

Für die Herstellung der untertägigen Grabenprofile soll eine weitestgehend vollautomatisch gesteuerte selbstfahrende Fräse zum Einsatz kommen. Anhand der geplanten Trassengradienten soll diese Maschine neben hohen Genauigkeiten auch schnelle Arbeitsfortschritte erzielen. Für Spezialquerschnitte wie Muffengruben oder Nacharbeiten kommen hingegen Tunnelbagger mit Anbauwerkzeugen zum Einsatz. Gegenwärtig findet neben der Finalisierung der Trassenplanung die Ausschreibung entsprechender Gerätetechnik statt.



Abbildung 5: Anlieferung der Leerrohre [Foto: SWS]



Abbildung 4: Leerrohr-Einbau hinter Betonelementen [Foto: SWS]

Die versuchsweisen Aufbauten der verschiedenen Kabelverlegevarianten wurden abgeschlossen. Neben der Verlegevariante Kabelgraben (Vgl. Kali & Steinsalz 02-2023) wurde auch ein Abschnitt mit Betonfertigteilen errichtet und entsprechende Versuche zur Untersuchung der Verdichtungs- und Wärmeleitfähigkeits-Parameter durchgeführt (siehe Abbildungen 3 und 4). Die Trassenvariante mit Betonfertigteilen



Abbildung 6: Die Leerrohre werden in einem Gestell mittels Mobilkran in den Schacht gehoben [Foto: SWS]

FORSCHUNG UND ENTWICKLUNG

kommt überall dort zum Einsatz, wo aufgrund betrieblicher und logistischer Randbedingungen eine Überfahrbarkeit der Trasse nicht gewährleistet werden muss.

Logistische Prozesse stellen eine wesentliche Herausforderung im Projekt SuedLink dar. Großräumige Materialtransporte per Schacht sind nicht jederzeit möglich, da betriebliche Belange der laufenden Salzförderung diese einschränken. Umso wichtiger ist es daher die Abläufe der Logistik weitestmöglich voranzuplanen und entsprechende Konzepte aufzustellen. Aus diesem Grund wurden Probestrecken der später zur Anwendung kommenden Leerrohre und Betonfertigteile nach Untertage eingefördert. Auf diese Weise gewonnene Erkenntnisse fließen in die weitere Planung ein. Die Abbildungen 5 und 6 zeigen den Schachttransport von Leerrohrpaketen und Verwendung eines Transportgestells.

Baumaßnahmen an den neuen Schächten

Wie eingangs beschrieben befinden sich die Maßnahmen zur Herstellung der beiden neuen Schächte in vollem Gange. Am Standort Großgartach wurde damit begonnen 22 Kernbohrungen auf 120 m Teufe zu bringen. Mit dem Ziehen der Verrohrung wird dabei eine Mantelmischung eingebracht, um die Bohrlöcher formstabil zu halten. In die auf diese Art ausgebauten Bohrlöcher werden anschließend Manschettenrohre eingebaut. Durch diese wird im Folgenden, durch Einführung eines Doppelpacker-Systems, in verschiedenen Stufen Injektionsgut eingepresst. Der genauen Dokumentation von Verpressmengen und -drücken kommt eine große Bedeutung zu, um Rückschlüsse auf das Gebirgsverhalten vor und nach der Injektion schließen zu können. Auf diese Weise ist es möglich den Erfolg der Maßnahme (Unterbindung von Wasserzutritten beim Schachtteufen) vorab beurteilen zu können. Abbildung 7 zeigt den Bohrplatz. Im Hintergrund ist das bestehende Umspannwerk in Großgartach zu erkennen.

Regulär soll die Präzementation an beiden Schachtstandorten bis Ende Oktober diesen Jahres abgeschlossen sein. Im Anschluss erfolgt jeweils die Errichtung einer Verbauwand für das Vorschachtteufen. Hierfür wurde jeweils eine überschnittene Bohrpfehlwand gewählt. Am Schacht Großgartach wird diese rund 38 m tief sein.

Es schließen sich die Phasen Vorschacht- und Hauptschachtteufen an. Bei Erreichung gewisser Teufen sind bis zu vier Unterbrechungen für weitere Injektionsmaßnahmen (sog.



Abbildung 7: Bohrplatz auf der Schachtbaustelle Großgartach

Cover-Drilling) geplant. Hierbei werden von der Teufsohle aus sich überschneidende radiale Bohrungen hergestellt, welche, ähnlich der Präzementation, mit Injektionsgut beaufschlagt werden. Bei Erreichung der Steinsalzschieben werden sog. Ausbaufundamente gesetzt, auf denen sich der spätere endgültige Schachtausbau stützt.

Logistische Herausforderungen

Mit Herstellung und Anlieferung der rund 6.500 benötigten Betonfertigteile für etwa 6 Trassen-Kilometer wurde Anfang des Jahres die Firma Nordbeton GmbH beauftragt. Ab dem dritten Quartal 2024 werden die Elemente sukzessive im Heilbronner Werk angeliefert und nach Untertage verbracht. Die Herausforderung besteht insbesondere darin, die Teile während des laufenden Bergwerkbetriebes (Steinsalzförderung und Deponiebetrieb) an ihren späteren Bestimmungsort zu bringen. Der Schachttransport für die Betonfertigteile erfolgt im Werk Heilbronn über den zentralen Förderschacht Franken (siehe Abbildung 8).

Wie eingangs erwähnt werden Großgebilde wie die Leerrohrpakete (bspw. Maschinenteile und andere Großkomponenten) über den einige Kilometer außerhalb gelegenen Schacht Konradsberg eingefördert. Dies ist der einzige Schacht für den Transport von Komponenten, welche das Maß einer Europalette übersteigen. Die Auslastung ist hoch und die übertägige Zwischenlagerfläche sehr begrenzt, weshalb die gesamte Materiallogistik für das Projekt SuedLink just-in-time zu erfolgen hat.



Abbildung 8: Transport der Betonfertigteile über Schacht Franken
[Foto: SWS]

Neben diesen externen Materialien bestehen auch interne Materialströme, die es zu organisieren gilt. Für die Bettung und Verfüllung der Trassenabschnitte ist die Bereitstellung von entsprechenden Materialien erforderlich. Diese fallen zwar unter Tage in recht großen Mengen an, müssen jedoch zentral aufbereitet und an die jeweiligen Einbauorte verteilt werden. Im Rahmen des Qualitätsmanagements müssen sämtliche Chargen vor dem Einbau auf die Einhaltung der geforderten Eigenschaften geprüft und freigegeben werden.

Planungsstand Kabelverlegung

Die projektbegleitende Planung für die untertägige Trasse, sowie für die Kabelverlegung in den Schächten, befindet sich in einer fortgeschrittenen Phase. Der gesamte Aufbau der Kabeltrasse erfolgt anhand einer festgelegten Gradienten, da die Toleranzmaße für Abweichungen in der Lage der Kabel sehr gering sind.

Aus den bereits beschriebenen Versuchen resultieren Erkenntnisse für den optimalen Verdichtungsgrad der Bettungs- und Verfüllmaterialien. In Verbindung mit den o.g. Trassierungsvorgaben ergaben sich auf diese Weise Einbauvorgaben für die verschiedenen Trassenabschnitte. Bspw. darf Bettungs- und Verfüllmaterial nur anhand einer definierten Korngrößenverteilung eingebaut werden. Die Herausforderung besteht darin, dass unter Tage zur Verfügung stehende Material (Bergeversatz bzw. Schneidsalz) entsprechend aufzubereiten. Neben der Einstellung einer Sieblinie zur Korngrößenverteilung ist ebenfalls ein gewisser Wassergehalt zur Erzielung der vorgegebenen Verdichtungsmaße erforderlich.

Ausblick

Im Herbst 2024 wird die Vergabe für die nördliche Streckenauffahrung zum zukünftigen Schacht Kochendorf erfolgen. Gegenwärtig läuft das entsprechende Ausschreibungsverfahren. Die besondere Herausforderung bei der Auffahrung dieser ca. 1.680 m langen Strecke liegt darin, dass das Steinsalzlager verlassen wird. Der Vortrieb wird nach Durchörterung einer Übergangszone aus Residualgebirge, Sulfatschichten und Dolomiten überwiegend im Muschelkalk erfolgen. Dies wird Mannschaft und Material einiges mehr abverlangen als die Auffahrung im reinen Steinsalz. Neben verschiedenen Ausbauklassen wird daher insbesondere mit abdichtenden Gebirgsinjektionen gerechnet.

Nach Abschluss der Planungen für die untertägige Kabeltrasse (Kabelgräben bzw. Betonfertigteil), wird dieses Leistungspaket vsl. Anfang des Jahres 2025 ebenfalls ausgeschrieben werden. In das Leistungsspektrum fallen hier, neben dem präzisen Einbau des Leerrohrsystems, auch die Materialaufbereitung und das Herstellen von Sonderbauwerken (überfahrbare Muffengruben und diverse Einbau- und Kontrollschächte).

Die Maßnahmen zur eigentlichen Kabelverlegung werden in einem vergleichsweise kurzen Zeitraum hauptsächlich im Jahr 2027 stattfinden. Hier wird nicht die SWS AG federführend sein, sondern die durch TransnetBW beauftragte Firma NKT, welche die Kabel herstellt, liefert und einbaut.



Verband der Kali- und Salzindustrie e.V.