

KALI & STEINSALZ

03
2019

Wertvolle Rohstoffe aus Deutschland



Andres, König
Die neue EU-Düngeprodukte-Verordnung

Minkel
100 Jahre Kaliforschung

Kießling
E-Mission Zero

Eberhard
Geotechnische Erkundung einer untertägig
gesolten Kaverne im Grubenfeld Angersdorf
der ehemaligen Kaligrube Teutschenthal

HERAUSFORDERUNGEN DER BRANCHE



Sehr geehrte Leserinnen und Leser,

dass die Umsetzung der neuen Arbeitsplatzgrenzwerte für Stickoxide und partikelförmige Dieselmotoremissionen für den untertägigen Bergbau eine große Herausforderung darstellt, haben wir in der Kali & Steinsalz wiederholt dargestellt. Dies wird unter anderem am hohen dreistelligen Millionenbetrag der anstehenden Investitionen und den deutlichen Absenkungen deutlich. Für Stickstoffdioxid beispielsweise beträgt die Reduktion 90 % im Vergleich zur bisherigen Regelung.

Im November dieses Jahres wurde nun dem Ausschuss für Gefahrstoffe ein detaillierter Zwischenbericht der Aktivitäten und Maßnahmen zur Einhaltung der geänderten Arbeitsplatzgrenzwerte abgegeben. Es wurde deutlich, dass der Gesundheitsschutz der Beschäftigten oberste Priorität hat und dass sehr konzentriert, ernsthaft und wissenschaftlich fundiert an den verschiedenen Themenfeldern gearbeitet wird. Nach derzeitigem Kenntnisstand reicht trotz der bereits erreichten Fortschritte und der von den Unternehmen eingeleiteten Entscheidungen die derzeit geltende fünfjährige Übergangsfrist für den untertägigen Bergbau nicht aus. Die jeweils identifizierten Maßnahmen können – oft bedingt durch die Gegebenheiten am Beschaffungsmarkt – nicht in jedem Fall rechtzeitig umgesetzt werden. Wir werden Sie über den Fortgang der Aktivitäten in gewohnter Art und Weise informiert halten. So finden Sie in der heutigen Ausgabe der Kali & Steinsalz einen Beitrag der Glückauf Sondershausen Entwicklungs- und Sicherungsgesellschaft mbH (GSES) über diesbezügliche Optimierungsmaßnahmen.

Vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie wurden unlängst der Entwurf zum Geologiedatengesetz (GeolDG) vorgelegt und eine Verbändeanhörung durchgeführt. Das GeolDG soll das aus 1934 stammende Lagerstättengesetz ablösen und ist auch vor dem Hintergrund der Standortwahl für ein Endlager für hochradioaktive Abfälle zu sehen. Der Entwurf wird von der rohstoffgewinnenden Industrie kritisch bewertet, weil die auf Kosten der Unternehmen erarbeiteten geologischen Nachweis-, Fach- und Bewertungsdaten allesamt den Behörden zu übermitteln sind. Es erscheint zweifelhaft, ob bei operativ aktiven Bergwerken die Datenflut der Nachweis- und Fachdaten – insbesondere im Hinblick auf die Endlagersuche – zielführend verwendet werden kann. Kritisch anzumerken ist, dass es auch um hoch sensible Betriebs- und Geschäftsgeheimnisse geht (Rohstoffreserven, Wertstoffgehalte u.a.). Bei der vorgesehenen Veröffentlichung der schützenswerten Daten gilt es, einen für alle Seiten akzeptablen Abwägungsprozess zu implementieren und die verfassungsrechtlich garantierten eigentumsrechtlichen Positionen angemessen zu berücksichtigen.

Es grüßt Sie mit einem herzlichen Glückauf

Ihr

Christoph Wehner

03 Editorial

05 Abstracts

05 Impressum

06 Andres, König

Die neue EU-Düngeprodukte-Verordnung

10 Minkel

100 Jahre Kaliforschung

18 Kießling

E-Mission Zero

28 Eberhard

Geotechnische Erkundung einer untertägig gesolten Kaverne im Grubenfeld Angersdorf der ehemaligen Kaligrube Teutschenthal

38 Nachrichten aus den Unternehmen

Titelbild:

Beraubemaschine LF7HB des Herstellers GHH Fahrzeuge, Tier-4 final Motor mit Diesel-Partikelfilter und Ad-Blue-Einspritzanlage, GSES Sondershausen

Impressum

Kali und Steinsalz

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

VKS e. V.

Reinhardtstraße 18A
10117 Berlin
Tel. +49 (0) 30.847 10 69.0
Fax +49 (0) 30.847 10 69.21
info.berlin@vks-kalisalz.de
www.vks-kalisalz.de

Erscheinungsweise

dreimal jährlich in loser Folge
ISSN 1614-1210

Redaktionsleitung

Dieter Krüger, VKS e. V.
Tel. +49 (0) 30.847 10 69 13

Redaktionsausschuss

Natalya Akhapkina,
K+S Minerals and Agriculture GmbH
Dr. Burkhard Dartsch,
K+S Minerals and Agriculture GmbH
Uwe Handke, K+S Minerals and Agriculture GmbH
Gerd Kübler, K+S Aktiengesellschaft
Dr. Frieder Tonn, K+S Aktiengesellschaft
Dr. Ludger Waldmann, K+S Aktiengesellschaft
Christoph Wehner, VKS e. V.

Gestaltung

Dirk Linnerz
Mobil: +49 (0) 171.1448597
info@linnerz.com
www.linnerz.com

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 Andres, König: Revision of the EU Fertiliser Regulation

Fertilising products are subject to high legal standards and have to be approved by national or European law. In 2003 the European regulation on fertilising products was established for the first time to create a European internal market for fertilising products. The revision of that regulation in 2019 expands the scope from mineral fertilisers to organic and waste based products and sets new safety, quality and labelling standards that are also applicable for potash fertilisers.

10 Minkel: 100 Years of Potash Research

"Exactly 100 years ago, on 28 October 1919, the German potash companies founded the Potash Research Institute in Staßfurt. It was the beginning of organized, cross-plant potash research worldwide." With these words, Dr. Ludger Waldmann, Head of Research and Development at K+S, welcomed the 150 guests to the conference. Although the tasks and requirements have changed in the course of the last century, basic research, product development and better use of resources are as relevant today as they were before. Dr. Waldmann's opening words were followed by a welcoming speech of Dr. Burkhard Lohr, Chairman of the Executive Board. He emphasized that the expertise in the field of potash research had grown steadily over the past century and that this makes him confident that new solutions for future challenges will be found. With new product ideas and the development of innovative applications, potash research is making an important contribution to enable customers to increase their earnings and efficiency with K+S products.

18 Kießling: E-Mission zero

Underground mining of raw materials produces airborne hazardous emissions. Sources are diesel motor emissions, blasting and dust resulting from handling of solid backfill-materials. Recently lowered limits in safety and health legislation and conceivable regulations have a deep impact to producing

underground mines and the technologies in use. Actual air quality studies at VKS-member mines showed, that some mines will not comply with the upcoming limits for hazardous materials in the mine air by using the presently existing equipment and methods. Implementation of extensive changes is necessary. Within a short period machinery has to become replaced and technology has to change to comply with the health and safety legislation. Substantial investments are requested. The status of reconfiguration is presented for the mine "Glückauf Sondershausen", a medium-sized company.

28 Eberhard: Geotechnical survey of an underground leached salt cavern in the mining field Angersdorf of the former potash mine Teutschenthal

In the mining field Angersdorf of the former potash mine Teutschenthal three caverns were leached for NaCl extraction with a volume of about 1.1 million m³ in the Staßfurt rock salt below the mined Staßfurt potash seam. According to an expert's report of the second long-term safety verification, one of these brine-filled and inaccessible caverns had to be finally explored for further data. After excavation through an underground exploration well, geotechnical/geophysical measurements and rock-mechanical model calculations were used to demonstrate the long-term stability of the cavern.



TOBIAS ANDRES
Leiter EU-Büro Brüssel,
Verband der Kali- und
Salzindustrie e. V. (VKS)



DR. HANS-PETER KÖNIG
Regulatory Affairs,
K+S Aktiengesellschaft

DIE NEUE EU-DÜNGEPRODUKTE- VERORDNUNG

2003 wurde erstmals eine europäische Düngemittel-Verordnung beschlossen mit dem Ziel, einen europäischen Binnenmarkt für Düngemittel zu schaffen. Mit der neuen EU-Düngeprodukte-Verordnung aus dem Jahr 2019 werden der Anwendungsbereich der Verordnung von bis dahin mineralischen Düngemitteln auf organische und sekundärrohstoffbasierte Düngemittel ausgeweitet und zudem neue höhere Anforderungen für die Sicherheit, Qualität und Kennzeichnung von Düngeprodukten festgelegt, die auch für Kalidünger künftig gelten.

***Revision of the EU Fertiliser Regulation** Fertilising products are subject to high legal standards and have to be approved by national or European law. In 2003 the European regulation on fertilising products was established for the first time to create a European internal market for fertilising products. The revision of that regulation in 2019 expands the scope from mineral fertilisers to organic and waste based products and sets new safety, quality and labelling standards that are also applicable for potash fertilisers.*

Düngemittel unterliegen in Deutschland und Europa hohen rechtlichen Anforderungen und müssen durch nationales oder europäisches Recht zugelassen sein. Der folgende Artikel befasst sich mit der europäischen Düngeprodukte-Verordnung, ihrer im Jahr 2019 in Kraft getretenen Neufassung und den daraus folgenden Auswirkungen für die Kalidüngemittelindustrie.

Anfänge des europäischen Düngemittelrechts

2003 wurde erstmals eine europäische Düngemittel-Verordnung beschlos-

sen, mit dem Ziel einen europäischen Binnenmarkt für Düngemittel zu schaffen. Bis dahin erschwerten die zahlreichen – zum Teil unterschiedlichen – nationalen Vorschriften und Zulassungsverfahren den inner-europäischen Handel für Hersteller, Händler und Anwender, so dass sich der europäische Gesetzgeber aufgerufen sah, durch Harmonisierung den Warenverkehr zu vereinfachen. Düngemittel, die mit der seinerzeit geschaffenen europäischen Düngemittelverordnung (EG) 2003/2003 im Einklang waren und den Bestimmungen dieser Verordnung entsprachen,

konnten fortan als „EG-Düngemittel“ geführt werden und waren zum freien Verkehr innerhalb Europas zugelassen. Die EU-Mitgliedstaaten waren nicht befugt, das Inverkehrbringen dieser Düngemittel zu verbieten, zu beschränken oder zu behindern. Für die Wirtschaftsbeteiligten war dies eine wesentliche Erleichterung im innereuropäischen Warenverkehr, wenngleich Handelshemmnisse zum Teil bestehen blieben und mit der neuen Verkehrsfreiheit auch neue Herausforderungen unter anderem für die Marktüberwachung entstanden. Da einige Düngeprodukte in



Europa regional begrenzt sind, ist es zudem weiter möglich, Düngemittel auch nach nationalen Vorschriften in den Verkehr zu bringen; im Zuge der gegenseitigen Anerkennung ist dies gegebenenfalls auch grenzüberschreitend möglich.

Revision der europäischen Düngemittelverordnung

Im Rahmen des europäischen Kreislaufwirtschaftspaketes wurden ab 2015 die europäischen Düngemittelvorschriften überarbeitet. Düngemittel sollten demnach (neben 53 weiteren Maßnahmen) einen stärkeren Beitrag zur Kreislaufwirtschaft und einer nachhaltigeren Wirtschafts-

weise in Europa beisteuern. Hierzu hat die Europäische Kommission am 16. März 2016 vorgeschlagen, den Anwendungsbereich der europäischen Düngemittelverordnung von mineralischen Düngemitteln auf organische und sekundärrohstoffbasierte Düngemittel auszuweiten und zudem neue höhere Anforderungen für die Sicherheit, Qualität und Kennzeichnung aller Düngemittel festzulegen. Unter anderem sollten strenge Grenzwerte für Kadmium in Phosphatdüngern eingeführt werden. Nach über drei Jahren Verhandlung zwischen dem Europäischen Parlament – mit den dort befassten Ausschüssen für Umweltfragen, Gesundheit und

Lebensmittelsicherheit, Landwirtschaft und ländliche Entwicklung, Internationaler Handel –, dem Rat (=Vertretung der EU-Mitgliedstaaten) und der Europäischen Kommission einigten sich die Verhandlungsparteien im Jahr 2019 auf eine neue EU-Düngeprodukte-Verordnung. Die Verordnung (EU) 2019/1009 vom 5. Juni 2019 „mit Vorschriften für die Bereitstellung von EU-Düngeprodukten auf dem Markt und zur Änderung der Verordnungen (EG) Nr. 1069/2009 und (EG) Nr. 1107/2009 sowie zur Aufhebung der Verordnung (EG) Nr. 2003/2003“ wurde am 25. Juni 2019 im Amtsblatt der Europäischen Union veröffentlicht und gilt ab 16. Juli 2022

in allen EU-Mitgliedstaaten. Die Artikel 4 Absatz 3 und Artikel 14, 42, 43, 44, 45, 46 und 47 gelten ab dem 15. Juli 2019; die Artikel 20 bis 36 ab dem 16. April 2020. In der Kurzform wird die Verordnung als EU-Düngeprodukte-Verordnung bezeichnet.

Wichtige Bestimmungen und Neuerungen – Gültigkeitsbereich der Verordnung

Die Verordnung gilt für Düngeprodukte, d.h. für Nährstoffe, Bodenverbesserer, Substrate usw., also alle Stoffe, die geeignet sind, die Nährstoffaufnahme von Pflanzen und (Zucht-)Pilzen zu verbessern. Bestimmte Stoffe oder Anwendungen, die nicht diesem Ziel entsprechen, werden an verschiedenen Stellen der Verordnung ausgeschlossen. So ist beispielsweise festgelegt, dass Produkte, die unter das Pflanzenschutzrecht fallen, von dieser Verordnung ausgeschlossen sind. Hintergrund hierfür ist beispielsweise, dass Verbindungen als Düngemittel eingesetzt wurden, die zwar Nährelemente als Molekülbestandteil enthielten, aber nicht dazu geeignet waren, eine Düngewirkung zu erzielen, sondern eine fungizide Wirkung herbeiführten. So konnten aufwendige Zulassungsverfahren als Pflanzenschutzmittel umgangen werden.

Auch die Verwendung von Abfällen, die den „end of waste Status“ noch nicht erreicht haben, oder von Nebenprodukten ist zunächst ausgeschlossen. Abfälle müssen erst durch eine geeignete Aufbereitung und Qualitätskontrolle zu einem Düngeprodukt werden, das den qualitativen und agronomischen Anforderungen der Verordnung genügt; Nebenprodukte müssen ebenfalls solchen Anforderungen entsprechen. Damit wird erreicht,



dass Materialien, die gravierende Verunreinigung enthalten (z.B. Schwermetalle, organische Verbindungen etc.), nicht automatisch in Verkehr gebracht werden.

Neue Eingruppierung der Rohstoffe und der Produkte

In der neuen Verordnung werden die bewährten Typenbezeichnungen für Mineraldünger und die dafür zugelassenen Rohstoffquellen durch ein neues System ersetzt. Sieben „Produktfunktionskategorien“ (abgekürzt PFC) definieren die Anwendung des Düngeprodukts, d.h. ob es sich um ein Düngemittel, ein Kalkdüngemittel, einen Bodenverbesserer, ein Kultursubstrat, einen Hemmstoff, eine Biostimulans oder eine Düngeproduktmischung handelt. Je nach Anwendung werden größere oder kleinere Mengen des betreffenden Produkts in die Umwelt ausgebracht, so dass für jede PFC, teilweise für jede Untergruppe, Höchstgehalte für Schadstoffe und Pathogene spezifisch definiert wurden. Damit wird erstmals sichergestellt, dass durch ein EU-Düngeprodukt kritische Schadstofffrachten nicht überschrit-

ten werden oder davon pathogene Risiken ausgehen.

Die für die PFC zugelassenen Rohstoffe werden durch sogenannte Komponentenmaterialkategorien (abgekürzt CMC) definiert. Diese CMC legen Kriterien fest, anhand derer der Hersteller feststellen kann, ob ein Stoff oder Gemisch zur Herstellung von Düngeprodukten geeignet ist. Die Rohsalze aus dem Kalibergbau fallen in die CMC 1 „Stoffe und Gemische aus unbearbeiteten Rohstoffen“. Bisher gibt es in der Verordnung 11 CMC. Um die Kreislaufwirtschaft weiterzuentwickeln, müssen auch weitere Stoffe recycelt und wieder der land- und gartenbaulichen Nutzung zugeführt werden. Dazu werden zurzeit drei neue CMC für die so genannten STRUBIAS-Materialien (Struvite, Biokohlen und Aschen) erarbeitet.

Pflichten der Wirtschaftsakteure

Das Prinzip der Herstellerverantwortung wird mit dieser Verordnung weiter verfolgt. Es ist in der Verantwortung des Herstellers – bei importierter Ware die Verantwortung des Importeurs –, sicherzustellen, dass

das in Verkehr gebrachte Produkt den Anforderungen der Verordnung entspricht. Das bedeutet, Mindestgehalte, negative und jetzt neu auch positive Toleranzen sowie Schadstoffgrenzwerte müssen eingehalten werden und die eingesetzten Rohstoffe müssen den rechtlichen Anforderungen entsprechen. Dazu muss der Hersteller eine technische Dokumentation über den Herstellungsprozess erstellen, die Kontrollbehörden auf Verlangen vorzulegen ist und als Grundlage für das anschließende Konformitätsbewertungsverfahren dient. Abschließend stellt der Hersteller eine Konformitätserklärung aus, wie sie beispielsweise bei Elektrogeräten oder Baustoffen schon bekannt ist.

Je nach PFC und eingesetzter Rohstoffe (CMC), d.h. je nach Risiko, das von dem Produkt ausgeht, erfolgt die Konformitätsbewertung durch eine interne Fertigungskontrolle (z.B. bei den klassischen Kalium- und Magnesiumdüngemitteln) oder aber unter Beteiligung einer externen Konformitätsbewertungsstelle (z.B. bei Kalkammonsalpeter oder Düngemitteln mit Hemmstoffen). Darüber hinaus sind die Hersteller verpflichtet, eine Regelung zur Rückverfolgbarkeit in Form einer Chargen- oder Produktnummer einzuführen, um im Fall von „Fehlproduktionen“ diese auch wieder zurückrufen zu können.

Auswirkungen für die Praxis

Auf die gesamte Branche – vom Hersteller bis zum Anwender – kommt eine erhebliche Umstellung zu. Die bewährten Düngemitteltypen mit ihren hohen Mindestgehalten wird es nicht mehr geben, dafür wird eine Vielzahl regionaler Produkte mit deutlich abgesenkten Mindestgehalten europaweit marktfähig sein. Die

Anwender stehen vor der Herausforderung, aus dieser Vielfalt und einem neuen Kennzeichnungssystem für sich das geeignete Produkt herauszusuchen. Für Hersteller sind die sehr umfassenden Kennzeichnungsvorschriften, unter anderem die Angabe von Inhaltsstoffen und Zutaten, die Zielkulturen mit Aufwandmengen und Ausbringungszeitpunkt, Lagerungshinweise bis hin zum CE-Kennzeichnen, eine Herausforderung für die Erstellung von Warenbegleitpapieren und Verpackungsmaterial. Darüber hinaus sind durch die Einführung positiver Toleranzen zu den bisher nur negativen Toleranzen enge Toleranzbänder entstanden, in denen sich die Produktion dann jeweils bewegen muss. Es ist davon auszugehen, dass in Zukunft anstatt des bekannten Kaliumchlorid-Standards mit 60 % K₂O unterschiedlich gekennzeichnete Kaliumchlorid-Produkte auf dem Markt sein werden.

Ausblick

Die Übergangsphase bis zum 16. Juli 2022 wird Hersteller und Importeure vor allem vor logistische Herausforderungen stellen, d.h. Rückverfolgbarkeitssysteme einrichten, die vorgeschriebenen technischen Daten vorhalten sowie Altverpackungen aufbrauchen, um dann nach dem Stichtag mit neuem Verpackungsmaterial zu starten. Aber auch das Marketing wird gefordert sein, zu erklären, wie bislang bewährte Produkte künftig zu erkennen und von „Neuprodukten“ zu unterscheiden sind. Der Anwender wird vor der Herausforderung stehen, altbewährte Produkte wiederzufinden bzw. das für seine Zwecke am besten geeignete Produkt aus einem deutlich größeren Angebot herauszufiltern.

KALIDÜNGER KURZ ERKLÄRT

- Kalium ist neben Stickstoff und Phosphor einer der wichtigsten Pflanzennährstoffe und essentiell für Wachstum und Entwicklung der Pflanze.
- Kalidünger verbessert die Stoffwechselprozesse in der Pflanze und wird sowohl in der konventionellen als auch ökologischen Landwirtschaft für unterschiedlichste Kulturen wie beispielsweise Kartoffel, Zuckerrübe, Soja, Raps, Sonnenblume, Weizen, Wein, Obst, Gemüse und Grünland eingesetzt.
- Eine bedarfsgerechte Kalidüngung führt zu höheren Erträgen in der Landwirtschaft und damit weltweit zu weniger Flächenverbrauch.
- Kalidüngung verbessert zudem die Wassernutzungseffizienz der Pflanze und trägt damit zu mehr Widerstandsfähigkeit der Landwirtschaft in den durch den Klimawandel zunehmenden Trockenperioden und Wassermangelgebieten bei.
- Kalium festigt das Zellgewebe. Dadurch wird Pilzen und Schädlingen das Eindringen erschwert. Kalium erhöht die Widerstandsfähigkeit gegen Frost.
- Für die optimale Nährstoffversorgung sind je nach klimatischen Bedingungen und Bodenbeschaffenheit der Pflanze weitere Nährstoffe wie Magnesium, Natrium und Schwefel durch Düngung zuzufügen.



Die Referenten der Fachtagung gemeinsam mit dem K+S-Vorstandsvorsitzenden; von links: Torsten Rest*, Jochen Brod*, Dr. Thomas Radtke*, Dr. Burkhard Lohr*, Dr. Armin Dietrich*, Dr. Ludger Waldmann*, Stefan Althöff*, Prof. Dr. Klaus Dittert, Institute of Applied Plant Nutrition an der Universität Göttingen, Prof. Dr. Gerald Ziegenbalg, IBZ Salzchemie GmbH & Co. KG, Dr. Martin Jetzki*

*K+S Aktiengesellschaft



GERLINDE MINKEL
Research & Development,
K+S Aktiengesellschaft

FACHTAGUNG 100 JAHRE KALIFORSCHUNG

GESTERN • HEUTE • MORGEN

„Genau vor 100 Jahren, am 28. Oktober 1919 wurde von den deutschen Kaliwerken die Kali-Forschungs-Anstalt in Staßfurt gegründet. Es war der Startpunkt der organisierten, werksübergreifenden Kaliforschung weltweit.“ Mit diesen Worten begrüßte der Leiter von Forschung und Entwicklung bei K+S, Dr. Ludger Waldmann, die 150 Gäste zur Eröffnung der Tagung. Auch wenn sich im Laufe des vergangenen Jahrhunderts die Aufgabenstellungen und Anforderungen geändert haben – Grundlagenforschung, Produktentwicklung und bessere Ressourcennutzung sind heute so aktuell wie damals. Dann folgte ein Grußwort des Vorstandsvorsitzenden Dr. Burkhard Lohr. Er betonte, dass die Expertise auf dem Gebiet der Kaliforschung im vergangenen Jahrhundert stetig gewachsen sei und dass ihn dies zuversichtlich auf die Erarbeitung neuer Lösungen für zukünftige Herausforderungen blicken lässt. Die Kaliforschung leiste mit neuen Produktideen und der Entwicklung innovativer Anwendungen einen wichtigen Beitrag, damit Kunden mit K+S-Produkten ihre Erträge und Effizienz steigern können.

100 Years of Potash Research Exactly 100 years ago, on 28 October 1919, the German potash companies founded the Potash Research Institute in Staßfurt. It was the beginning of organized, cross-plant potash research worldwide." With these words, Dr. Ludger Waldmann, Head of Research and Development at K+S, welcomed the 150 guests to the conference. Although the tasks and requirements have changed in the course of the last century, basic research, product development and better use of resources are as relevant today as they were before. Dr. Waldmann's opening words were followed by a welcoming speech of Dr. Burkhard Lohr, Chairman of the Executive Board. He emphasized that the expertise in the field of potash research had grown steadily over the past century and that this makes him confident that new solutions for future challenges will be found. With new product ideas and the development of innovative applications, potash research is making an important contribution to enable customers to increase their earnings and efficiency with K+S products.

Dr. Armin Dietrich, Leiter des K+S Analytik- und Forschungszentrums (AFZ) in Unterbreizbach, präsentierte in Wort und Bild eine kurzweilige und pointierte Zeitreise aus der Zeit der Gründerväter bis zur heutigen modernen Kaliforschung.

Ein wichtiger Meilenstein wurde im Vortrag von **Jochen Brod**, Leiter der Einheit Separation Technology im AFZ, erläutert. Die elektrostatische Trennung, bekannt als ESTA, wurde von K+S ab den 50er-Jahren entwickelt und seither kontinuierlich verbessert.

Auch Flotationsverfahren werden im AFZ weiterentwickelt, diese sind z.B. ein zentraler Verfahrensschritt in der neuen Kainitkristallisations- und Flotationsanlage (KKF) in Hattorf.

Der Kali- und Magnesiumdüngereinsatz ist das umsatzstärkste K+S-Kundensegment. Drängende Fragen der Agronomen zu zeitgemäßer Nährstoffversorgung von Pflanzen werden im AFZ unter verfahrenstechnischen und chemischen Aspekten untersucht. Welche Rolle spielen Form, Farbe und Formulierung? Der Refe-

rent **Stefan Althoff**, Mitarbeiter der Einheit Mechanical Processing, und seine Kollegen suchen unter der Leitung von Guido Baucke Antworten, um Spezialdünger pflanzenverfügbar, umweltgerecht und wirtschaftlich herstellen und applizieren zu können.

Prof. Dr. Klaus Dittert, Leiter des Institute of Applied Plant Nutrition (IAPN) an der Universität Göttingen und Professor für Pflanzenernährung und Ertragsphysiologie an der Georg-August-Universität Göttingen, referierte über neue Forschungen



150 externe und interne Gäste folgten der Einladung zur Fachtagung „100 Jahre Kaliforschung“. Links: Ansprache von Dr. Burkhard Lohr, Vorstandsvorsitzender und rechts: Beitrag von Dr. Armin Dietrich, Leiter AFZ, beide K+S Aktiengesellschaft.



Grußwort des Vorstandsvorsitzenden der K+S Aktiengesellschaft Dr. Burkhard Lohr.



Fachtagungsöffnung durch den Leiter Forschung & Entwicklung der K+S Aktiengesellschaft, Dr. Ludger Waldmann.

zu physiologischen Funktionen von Kalium und Magnesium im Pflanzenstoffwechsel. Gerade weil Klimawandel und Bevölkerungswachstum die Menschen dazu zwingen, Landwirtschaft auch in Regionen mit Trockenheit zu betreiben, sind Erkenntnisse zu Trockenstresstoleranz und den Einflussgrößen zur Optimierung der Wassernutzungseffizienz global wichtig. Wie vielfältig sich ein Mangel an Kalium in der Pflanzenzelle auswirkt, konnten die Zuhörer durch diesen Vortrag nachvollziehen. K+S und das IAPN sind durch eine Public-private-Part-

nership verbunden. Das IAPN schlägt eine Brücke von der Universität zum Unternehmen. Durch diesen Wissenstransfer können bei K+S Produkte weiterentwickelt und schließlich zur Marktreife gebracht werden. Gleichzeitig zeigt diese Partnerschaft, dass die Universitäten nicht die Forschung im Bereich der Produktentwicklung von Firmen übernehmen, aber offen sind für wissenschaftliche Kooperationen, weil beide Seiten davon profitieren.

Im Sinne des wissenschaftlichen Austausches gibt es auch Netzwerk-

partner innerhalb der Industrie. **Prof. Dr. Gerald Ziegenbalg**, Firmengründer der IBZ Salzchemie GmbH & Co. KG, arbeitet als Consultant weltweit im Rahmen der Rohstoffaufbereitung und übernimmt Auftragsforschung auch für Projekte der K+S. Er berichtete zu Fragestellungen der Kinetik, der Auflösung von Sylvin, Hartsalz und Carnallit, welche für K+S aktuell durch neue Einstapelungsvorhaben von besonderem Interesse sind. Mit aussagekräftigen 3-D-Scanner-Aufnahmen zeigte Ziegenbalg an Hartsalzblöcken die Veränderungen



Dr. Armin Dietrich, Leiter des AFZ, beleuchtet im Vortrag Meilensteine der Kaliforschung.



Die Teilnehmer nutzen die Kaffeepausen für Rückfragen und zum Gedankenaustausch. Von links: Dr. Sven Ziegenbalg, Dr. Dirk Schuch, beide von der IBZ Salzchemie GmbH & Co. KG und Dr. Thomas Radtke, K+S Aktiengesellschaft.

der Oberfläche im Laufe eines Langzeitversuches.

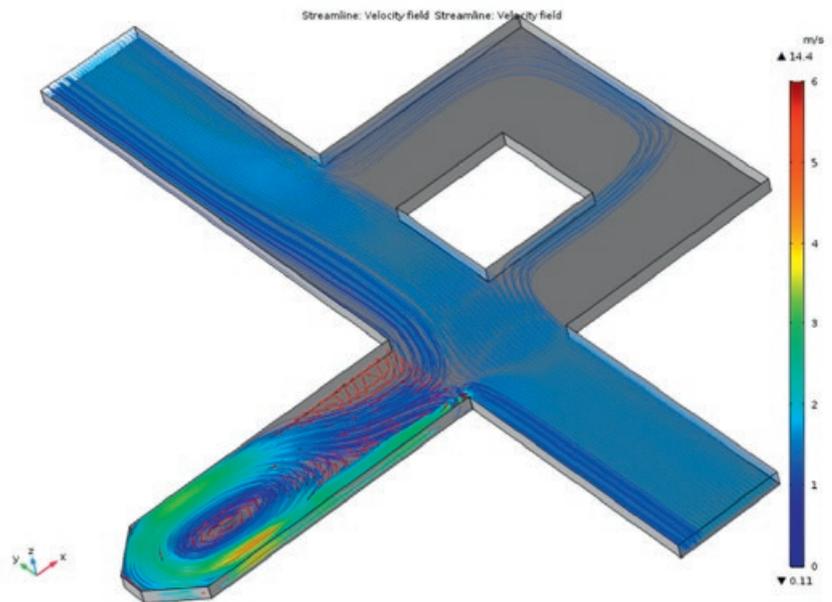
Im AFZ beschäftigen sich die K+S-Mitarbeiter der Abteilung „Chemische Verfahrenstechnik“ mit den Löse- und Kristallisationsprozessen von Kalirohsalzen. **Dr. Martin Jetzki**, Leiter der Einheit Chemical Engineering, begann seinen Vortrag mit Theorie und Formeldarstellungen, um die komplexen Abhängigkeiten der Berechnung auf dem Weg zum Fest-flüssig-Phasengleichgewichtszustand zu erklären. Es sind circa 100 Parameter zur Beschreibung der Wechselwirkungen eines hexären Systems erforderlich. Somit wird ein Abstraktionsgrad erreicht, der die Notwendigkeit von Datenbanken mit Modellparametern und einer entsprechenden Rechensoftware begründet. Dank einer eigenentwickelten Software konnte die aufwendige diagrammgestützte Prozessmodellierung stark beschleunigt werden. Mit dieser können neue Prozesse designt oder bestehende Prozesse optimiert werden, um neue Anwendungsgebiete für die Kaliforschung zu erschließen.

Dr. Thomas Radtke, Mitarbeiter der Einheit Chemical Engineering, stieg anschließend in die neuesten Entwicklungen der Prozesssimulation ein. Wenn sich Fragestellungen nur noch mehrdimensional beantworten lassen, kommt Prozesssimulation zur Anwendung. Oftmals können durch den Einsatz von CFD (Computational-Fluid-Dynamics-Simulation) Prozesse und Apparate effizienter und sicherer gemacht werden, weil die Ergebnisse ein qualitatives und quantitatives Optimierungspotential aufzeigen. Radtke zeigte dies an einem Beispiel: Die Bewetterung in Abbaunähe kann-

te durch eine Simulation dargestellt und optimiert werden. Letztlich konnte der bislang zu geringe Abtransport der Sprengstoffschwaden durch die Ermittlung des optimalen Standorts eines zweiten Lüfters verbessert werden. Künftig dürften Prozessmodellierungen ein wesentlicher Baustein für die Digitalisierung und Automatisierung in der K+S Gruppe werden.

Kaliforschung ohne Laboranalysen wäre undenkbar – ebenso wie Laboranalysen ohne Digitalisierung, denn die Laborprozesse werden immer komplexer und die Datenmengen immer größer. Das Zentrallabor der K+S Gruppe im AFZ unter der Leitung von **Torsten Rest** gliedert sich in sieben Fachabteilungen. In der RDA-Mineralphasenanalyse hat der Roboter für die Probenvorbereitung bereits in 2012 Einzug gehalten. Doch um noch mehr manuelle Arbeitsschritte, Sensoren, Analysengeräte und IT-Systeme miteinander abzustimmen, müssen diese über intelligente IT-Managementsysteme vernetzt sein. Die Anforderungen wachsen beständig, zum Beispiel mit der Online-Prozessanalysetechnik, oder durch die – bedingt durch das Monitoring von Luft, Boden und Wasser – stark steigenden Probenzahlen. Das zukünftige Labor 4.0 steht für eine intensive Mensch-Roboter-Kollaboration, um Arbeitsabläufe effizienter zu machen und Geräte auslasten zu können.

Nachdem die Fachtagung bereits viele Facetten der Kaliforschung beleuchtet hatte, wurde es Zeit, den Blick zu weiten und auf den globalen Rohstoffmarkt zu schauen. Welche Auswirkungen haben die sich verändernden Rohstoffströme auf Deutschland?



Strömungslinien, welche die Wetterführung in Abbaunähe darstellen.

Laugungsversuche



Sylvinit-Laugung mit Wasser

Dr. Volker Steinbach, Vizepräsident der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) und Lei-

ter der Abteilung „Energierohstoffe, Mineralische Rohstoffe“, brachte seine Bestandsaufnahme der Märkte mit.



Drei Kollegen von K+S Minerals and Agriculture GmbH im Gespräch, von links: Dr. Jürgen Aschenbrenner, Jessica Berneburg-Wächter und Dr. Stefanie Wegener.

Egal ob Eisenerz und Kohle oder Nickel und Seltene Erden, sie alle stiegen seit 2000 im Weltverbrauch und China wurde bis 2015 fast immer zum größten Importeur oder Verbraucher. Auch in der bergwerklichen Gewinnung von z. B. Seltenen Erden ist China Weltmeister, gefolgt von Australien und Vietnam. Deutschland bleibt ein Hauptimportland für Seltene Erden, vor allem wenn die Nachfrage nach Permanentmagneten für die Energiespeicherung, wie prognostiziert, noch zunehmen wird. Wichtige Fragen wie die Preisentwicklung der Batterierohstoffe und die Zuverlässigkeit der Lieferquellen bzw. die Beschaffungsrisiken versucht die BGR abzuschätzen. Denn so sehr

die einzelnen Rohstoffe variieren und Wertschöpfung künftig stärker in den Gewinnungsländern bleiben wird, die deutschen Bedarfe werden immer durch Importe gedeckt werden müssen. Mit diesem globalen Einblick in die Zusammenhänge zwischen Versorgungsrisiken, Lieferketten und Marktmacht wurde den Zuhörern deutlich, wie groß die weltweite Bedeutung des Bergbausektors bleiben wird.

Dr. Ludger Waldmann beendete mit seinem Schlusswort den Vortrags- teil. Er betonte, dass sich die Kali- industrie veränderten Märkten und deren Bedürfnissen anpassen müsse und dass es gelte, die Chancen zu nutzen, die neue Technologien und

die Digitalisierung bieten. Zentral sei es dabei, die beteiligten Menschen mitzunehmen, um deren Engagement und Einfallsreichtum zu fördern. „Wenn die Kaliforschung mit allen internen Beteiligten und Partnern, den Politik- und Behördenvertretern, den Universitäten und Hochschulen sowie den Industriepartnern gut zusammenarbeitet, dann dürften unsere Nachfolger in 25 Jahren wieder der Tradition folgend das Jubiläum 125 Jahre Kaliforschung feiern.“

Anschließend lud er alle Gäste zum Tischerper-Buffer ein. Viele Teilnehmer nutzten die Gelegenheit, den Tag mit guten Gesprächen ausklingen zu lassen.



Gemütlicher Ausklang, von links: Dr. Ulrich Kleine-Kleffmann, Dr. Armin Dietrich, beide K+S Aktiengesellschaft, Dr. Uwe Wachsmuth, K+S Minerals and Agriculture GmbH und Dr. Martin Jetzki, K+S Aktiengesellschaft.



Dr. Laurent Schaible und Dr. Rainer Stax, beide K+S Aktiengesellschaft, diskutieren mit Frank Hunstock, dem ehemaligen Leiter Bergbau der K+S Aktiengesellschaft.

E-MISSION ZERO



12-Tonner Fahrlader LF12H und 35-Tonner Muldenkipper MK35 des Herstellers GHH Fahrzeuge, beide Fahrzeuge ausgerüstet mit Diesel-Partikelfilter und Ad-Blue-Einspritzanlage, GSES Sondershausen



DIPL.-ING. THOMAS KIESSLING
Technischer Geschäftsführer,
GSES

Bei der untertägigen Gewinnung von Rohstoffen entstehen durch den Einsatz von Dieselfahrzeugen und dem Umgang mit mineralischen Versatzstoffen Gefahrstoffemissionen. Die unlängst novellierten Grenzwerte für luftgetragene Gefahrstoffe, sowie die ausstehenden Novellierungen, sind umfangreich und haben tiefgreifende Auswirkungen auf die Grubenbetriebe. Messungen in den Mitgliedsbetrieben des VKS haben gezeigt, dass bei heutigem Stand der Technik künftig nicht alle Grenzwerte in allen Betrieben eingehalten werden können. Umfangreiche Maßnahmen sind erforderlich. Innerhalb weniger Jahre sind die Betriebe gefordert, ihre Technologie derart anzupassen, dass die Grenzwerte sicher eingehalten werden. Dafür sind umfangreiche Investitionen in technische und technologische Veränderungen erforderlich. Am Beispiel der Grube „Glückauf Sondershausen“ soll dargestellt werden, wie sich der Umsetzungsstand der Maßnahmen in einem mittelständischen Betrieb aktuell darstellt.

E-Mission Zero *Underground mining of raw materials produces airborne hazardous emissions. Sources are diesel motor emissions, blasting and dust resulting from handling of solid backfill-materials. Recently lowered limits in safety and health legislation and conceivable regulations have a deep impact to producing underground mines and the technologies in use. Actual air quality studies at VKS-member mines showed, that some mines will not comply with the upcoming limits for hazardous materials in the mine air by using the presently existing equipment and methods. Implementation of extensive changes is necessary. Within a short period machinery has to become replaced and technology has to change to comply with the health and safety legislation. Substantial investments are requested. The status of reconfiguration is presented for the mine “Glückauf Sondershausen”, a medium-sized company.*

Ausgangslage

Am 04.11.2016 wurden neue Arbeitsplatzgrenzwerte für Stickoxide in der Technischen Regel für Gefahrstoffe 900 (TRGS 900) veröffentlicht. Für Stickstoffmonoxid (NO) wurde ein AGW in Höhe von 2 ppm festgelegt. Zuvor lag der Grenzwert bei 25 ppm. Die Festlegung entspricht einer Absenkung um 92 %. Für Stickstoffdioxid (NO₂) wurde ein AGW in Höhe von 0,5 ppm festgelegt. Zuvor lag der Grenzwert bei 5 ppm. Somit entspricht die Festlegung einer Absenkung um 90 %. Die neu gefassten Arbeitsplatzgrenzwerte für Stickoxide gelten für den Bereich untertägiger Bergbau nicht vor dem 31.10.2021.

Für partikelförmige Dieselmotoremissionen (EC-DME) wurde am 30.11.2017 ein neuer Arbeitsplatzgrenzwert in der TRGS 900 in Höhe von 50 µg/m³, bezogen auf einatembaren Kohlenstoff, veröffentlicht. Bisher lag dieser Grenzwert bei 300 µg/m³. Die Absenkung beträgt dementsprechend 83 %. Der neu gefasste Arbeitsplatzgrenzwert für Dieselmotoremissionen, für den untertägigen Bergbau, gilt nicht vor dem 31.10.2022.

In den vergangenen Jahren hat sich ein stetiger Prozess der Grenzwertabsenkung für luftgetragene karzinogene, mutagene, erbgutverändernde und anderweitig gesundheitsgefährdende Gefahrstoffe etabliert. Eine Reihe karzinogener Stoffe wurde aus der strikten gesundheitsbasierten Grenzwertbetrachtung in die stoffspezifische Expositions-Risiko-Beziehung überführt (TRGS 910). Dabei kommen stoffspezifische Akzeptanz- und Toleranzkonzentrationen nach TRGS 400 als Beurteilungsmaßstäbe zur Anwendung, um die Dringlichkeit und Notwendigkeit von Schutzmaßnahmen zu bestimmen. Ziel ist die Einhaltung der Akzeptanzkonzentration am Arbeitsplatz. Arsen, Benzo(a)pyren, Blei, Benzol, Cadmium, Chrom-VI-Ver-

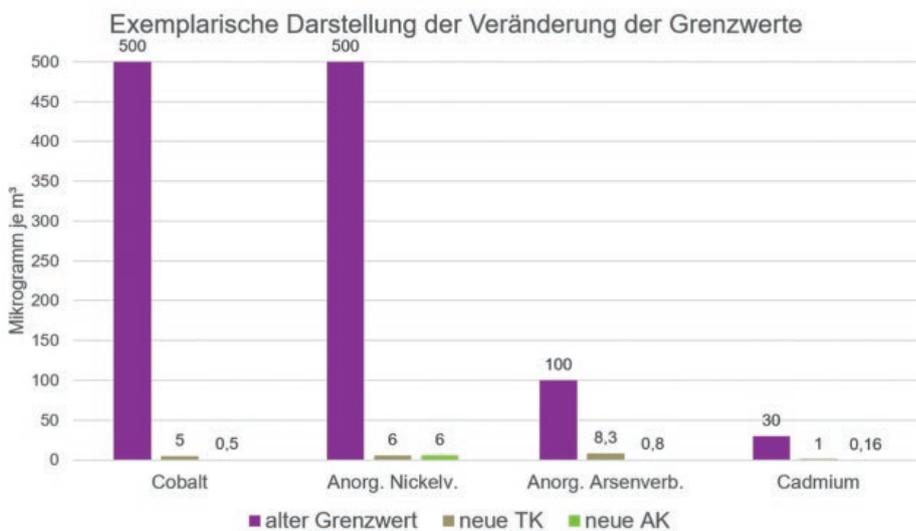


Abbildung 1: Darstellung der alten Grenzwerte gegen neue Toleranzkonzentrationen (TK) und Akzeptanzkonzentrationen (AK), Kießling 2019

bindungen, Cobalt, Nickeloxide, Dioxine/Furane und Cyanide unterliegen aktuell der Anwendung der Beurteilungsmaßstäbe. Damit einhergehend erfolgte eine Reduktion auf Akzeptanzkonzentrationen gegenüber den alten Arbeitsplatzgrenzwerte von bis zu einem Tausendstel (Abbildung 1). Relevant sind diese Veränderungen für alle Stufen der Metallver- und -bearbeitung in der gesamten Industrie, aber insbesondere für den übertägigen und untertägigen Umgang mit Versatzstoffen. Diese enthalten durchaus relevante Mengen der o.g. Gefahrstoffe. Beim Umgang mit den Versatzstoffen muss sichergestellt sein, dass die Konzentration der Gefahrstoffe für den Beschäftigten am Arbeitsplatz, unter den gesetzlich geforderten Konzentrationen bleibt. Diese Veränderungen erzeugten, zusammen mit der ausstehenden Absenkung der Stickoxid- und DME-Grenzwerte, einen Handlungsdruck, dem die Bergbautreibenden seit einigen Jahren versuchen nachzukommen. Tiefgreifende Veränderungen in die Technik und die Technologien sind für jeden Einzelnen erforderlich. Die GSES Sondershausen stellt sich dieser Herausforderung. Nachfolgend soll

ein Eindruck über die bisherigen Maßnahmen und deren Erfolge sowie das weitere Vorgehen vermittelt werden.

Tätigkeiten und Grubenfeld

Das Grubenfeld erstreckt sich auf ca. 12 km Länge und bis zu 5 km Breite in 500–1.000 m Teufe. Es ist über 2 Schächte mit je knapp 700 m Teufe erschlossen. Schacht 1, der ältere der beiden, wurde 1893 begonnen zu teufen. Seit 1896 laufen die Gewinnungsarbeiten auf Salze im Grubenbetrieb. Seit 1992 werden die Hinterlassenschaften der Kaligewinnung mittels bis zu 300.000 t p.a. bergbaufremder Versatzstoffe und bis zu 200.000 t p.a. Eigenversatz des Grubenbetriebes verwahrt. Es findet Abbau von Steinsalz im Sprengbetrieb sowie der Betrieb einer Untertagedeponie (Deponieklasse IV) statt. Mehrere Millionen m³ offene Grubenbaue sind durch ein Netz von mehr als 80 km Hauptstrecken miteinander verbunden. Dabei sind partiell Steigungen mit bis zu 25 % Einfallen zu überwinden. Über 30 Bergbaugroßgeräte und 70 Fahrzeuge bis zu 7,5 t Gesamtgewicht sind mit Dieselantrieb ausgestattet und kommen zum Einsatz.

Die Schichtbelegung beträgt auf den stärksten Schichten etwa 100 Mitarbeiter.

Analyse und aktuelle Maßnahmen zur Reduktion der Dieselmotoremissionen

Bei Neuanschaffungen im Bereich der mobilen Technik versucht die GSES, die jeweils beste verfügbare Abgasreinigungstechnologie zu erwerben. Eine Analyse der Investitionen zeigte, dass seit 2013 bereits 30 % der so genannten Großgeräte durch neue Maschinen, mit jeweils aktueller Dieselmotortechnologie, ersetzt werden konnten. 3 % des Maschinenbestandes konnten komplett elektrifiziert werden (Abbildung 2). Dieser Prozess wird durch Nachrüstungen alter Maschinen mit Partikelfiltern unterstützt. Damit konnte der, in der Grube messtechnisch ermittelte Partikelaustritt im Verlauf der vergangenen Jahre nachweislich um 30 % gesenkt werden. Die Stickoxidemissionen wurden teilweise um mehr als 50 % gesenkt. Diese Absenkraten sind jedoch auch im Kontext mit den ergänzenden und begleitenden Wettertechnischen Maßnahmen zu sehen. Für die Einhaltung der eingangs genannten Grenzwerte an allen Arbeitsplätzen sind für die Stickoxide noch bis zu 50 % Absenkung und die Dieselpartikel bis zu 60 % Absenkung gegenüber den derzeitigen Messwer-

Produktionsschritt	Technologie	Emissionen	Alternativen	Einfluss gesamt
Rohsalzgewinnung	Bohren	NO _x , CO, DME (Fahrbetr.)	0-Emission Antrieb	gering
Rohsalzgewinnung	Sprengen	NO _x	Schneiden	groß
Rohsalzförderung	LHD	NO _x , CO, DME	0-Emission Antrieb	groß
Firstsicherung	Berauben	NO _x , CO, DME	0-Emission Antrieb	groß
Firstsicherung	Ankerung	NO _x , CO, DME (Fahrbetr.)	0-Emission Antrieb	gering bis mittel
Firstsicherung	Mobile Fräse	NO _x , CO, DME	TSM, 0-Emission	groß
Förderung Versatz, UTD	LHD, Truck	NO _x , CO, DME	0-Emission Antrieb, Rohrleitungsförderung	groß
Einbau Versatz, UTD	LHD, Stapler	NO _x , CO, DME	0-Emission Antrieb	groß
Nebentätigkeiten, Infrastruktur	Stapler, LKW, PKW	NO _x , CO, DME	0-Emission Antrieb	mittel

Die Produktionsschritte 1 bis 6 sind in geringerem Umfang auch zur Vorbereitung von Versatz und UTD – Einlagerung erforderlich

Abbildung 3: Emissionsverursachende Produktionsschritte

ten erforderlich. Durch den Austausch weiterer Fahrzeuge wird die Flotte in naher Zukunft ihre Emissionen nochmals maßgeblich senken.

Im Rahmen des Optimierungsprogramms wurden die einflussreichsten emissionsverursachenden Produktionsschritte hinsichtlich der Stickoxid- und Dieselmotoremissionen analysiert und aufgelistet sowie hinsichtlich ihres Einflusses auf die Gesamtemission bewertet (Abbildung 3). Es erfolgte eine Suche nach Alternativen oder Lösungsansätzen, die in der Grube „Glückauf“ anwendbar sind. Dabei wurde deutlich, dass der Einsatz von emissionsarmen Dieselmotoren und ergänzend der Einsatz von Null-Emissions-Antrieben erforderlich sein werden, um die künftigen Grenzwerte sicher einzuhalten.

Lediglich 2 Produktionsschritte, der Sprengbetrieb und die Firstsicherung durch Fräsen, sind momentan durch vollelektrische Antriebe und quasistationären Betrieb substituierbar, wenngleich dies sehr hohe Investitionen erfordert und die Reichweite

und Flexibilität einschränken würde. Die Wirtschaftlichkeit dieser Maßnahmen ist besonders durch die zu erwartenden Abschreibungen auf die hohen Investitionen eine große Herausforderung. Darum entschloss man sich im Jahr 2016, das Fräsen der Firste durch eine mittlerweile erworbene vollelektrische Teilschnittmaschine zu gewährleisten. Die luftgekühlte Dieselfräse wird im Jahr 2020 durch eine neue Firstfräse mit Stage-V-Motor ersetzt. Für die Sprengarbeiten wurde beschlossen, die Sprengungen auf 2 wettertechnisch unabhängige Reviere (im Wechsel) aufzuteilen, um somit eine optimierte Auswitterung und die Einhaltung der künftigen Grenzwerte sicherzustellen. Die Summe dieser Maßnahmen zeigt messtechnisch nachweisbare Erfolge.

Für die übrigen analysierten Tätigkeiten bieten sich bei der GSES aufgrund der vielfältigen Arbeitsansatzpunkte, deren stetiger örtlicher Änderung und der großen Transportentfernungen derzeit noch keine Substitutionsmöglichkeiten, z.B. durch Einsatz von Stetigförder-

Stand Austausch / Umrüstungen Großgeräte

Fahrlader, Berauber, Muldenkipper, Big-Bag-Transporter, Firstfräsen, Sohlenfräsen

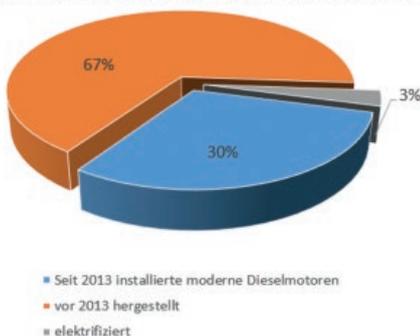


Abbildung 2: Installierte moderne Dieselmotoren Stand 2019

	Maßnahme	Umsetzung
1	Ersatz von Großgeräten durch Best Available Technology	fortlaufend
2	Ersatz von Spezialfahrzeugen und PKW	fortlaufend
3	Zeitschaltung & energetische Optimierung Lutten-/ Streckenlüfter	fortlaufend, ca. 30% umgesetzt
4	Verbesserung Wetterleitsysteme (Wettertore)	fortlaufend
5	Optimierung spezifischer Sprengstoffverbrauch	fortlaufend, durch Strossensprengungen
6	Erprobung alternativer Sprengstoffe (Emulsion)	geplant 2020
7	Organisatorische Maßnahmen (Arbeitszeitregime, Mehrfachnutzung meiden)	fortlaufend
8	Optimierung Transportwesen Versatztransport	2019 umgesetzt
9	Wettertechnische Schulung Personal	jährlich
10	Kontrollmessung DME und luftgetr. Gefahrstoffe	quartalsweise

Abbildung 4: Maßnahmen zur Reduktion der Konzentration an Stickoxiden und DME, Stand 2019

mitteln (Bandanlagen) anstelle von Fahrladern. Auch ist derzeit für die maschinellen Beraubearbeiten keine Substitution in Sicht. Somit ist insbesondere für die Tätigkeiten wie Berauben, Förderung mittels Fahrlader oder Truck und den Einbau von Versatz mit Fahrladern ein Null-Emissionsantrieb wünschenswert.

Ergänzend zum Austausch der Fahrentriebe stehen natürlich noch weitere Maßnahmen zur Auswahl, welche die Gefahrstoffkonzentrationen an den Arbeitsplätzen reduzieren können. Einen Überblick zum Maßnahmenkatalog der GSES gibt die Abbildung 4. Diese und weitere Maßnahmen sollten jeweils standortspezifisch abgestimmt und angewendet werden.

Alternativen zum Dieselantrieb

Wie bereits erwähnt, sollen die Emissionen der mobilen Maschinen unter Beibehaltung der Flexibilität dieser Arbeitsgeräte reduziert oder gänzlich vermieden werden. Kabelgebundene Fahrzeuge sind dafür nur sehr eingeschränkt nutzbar. Mit Anwendung der diesel-elektrischen Bohrwagen und

der elektrischen Teilschnittmaschine ist diese Option bei der GSES derzeit ausgeschöpft.

Die übertätig angewendeten Gasantriebe auf Basis von Erd- und Biogas wurden seitens der GSES untersucht. Derzeit ist deren Verwendung unter Tage nicht zulässig. Aufgrund des Verhaltens der Gase ist aus Sicht des Verfassers momentan keine Zulassung absehbar. Die Gase bzw. deren explosive Bestandteile sind schwerer als Luft und stellen unter Tage eine zusätzliche Gefährdung dar, welcher nicht einfach Rechenschaft zu tragen ist. Zusätzlich ist durch Begleitgase, welche verbrannt werden, mit unzulässigen Abwetterkonzentrationen zu rechnen. Weiterhin ist durch die im Vergleich zu Diesel deutlich geringeren Energiedichte der Gase eine Wirtschaftlichkeit fraglich. Die GSES hat deshalb diese Option für den untertägigen Einsatz nicht weiter verfolgt.

Akkumulatorgestützte Lösungen, sogenannte BEV (Battery Electric Vehicles), setzen sich über Tage immer weiter durch und könnten unter Tage eine gangbare Alternative zur Dieselantriebstechnologie bieten.

Antriebe mit Wasserstoff-Brennstoffzellen als Energielieferanten, sogenannte FCEV (Fuel Cell Electric Vehicles), werden mittlerweile als Alternative zu reinen BEV auch als Serien-PKW angeboten und umgehen den zeitraubenden elektrischen Aufladevorgang durch Nutzung von Wasserstoff als Energielieferant auf dem Fahrzeug. Ebenso wie für Erd- und Biogas ist ein Umgang mit Wasserstoff momentan im untertägigen Bereich nicht zugelassen. Jedoch wäre eine Ausnahmegenehmigung weit wahrscheinlicher, da Wasserstoff leicht flüchtig ist, sich sehr ähnlich zum Grubengas Methan verhält und in den Versatzbergwerken sicherheitstechnisch gut beherrscht wird. Es ist im Havariefall durch den Wetterstrom verlässlich auf eine Konzentration unter die Explosionsgrenze verdünnbar und lässt sich gut detektieren. Die Speichermedien auf den Fahrzeugen sind sicher und im Vergleich zu den ersten Prototypen der Tanks derart ausreichend dicht, dass die Fahrzeuge in Tiefgaragen parken dürfen und die Benutzung von Verkehrstunneln gefahrlos möglich ist [<https://emcel.com/de/brennstoffzellen-fahrzeuge-in-garagen/>].

Der Betrieb von Wasserstoff-Verbrennungsmotoren [keyou.de] wurde zum Recherchezeitpunkt mangels verfügbarer Daten nicht in Betracht gezogen.

Schlussfolgernd wurden als Alternative zu den Dieselantrieben von GSES, im Rahmen von zwei Studien, die Übertragbarkeit und Anwendbarkeit von BEV und FCEV im Grubenbetrieb geprüft und die Anforderungen an deren Anwendung formuliert [Huckels 2019; Schmitz 2019].

Modellrechnung mit batteriegetriebenen Fahrzeugen

In diesem Ansatz wurde unterstellt, dass alle 100 mobilen Maschinen im

Grubenbetrieb mit Batterie-Elektrischem Antrieb ausgestattet werden (BEV). Die Datenlage für derartige Fahrzeuge bis 7,5 t Gesamtgewicht ist zufriedenstellend, wenngleich wenige der marktverfügbaren Fahrzeuge ausreichend geländegängig sind. Für Arbeitsmaschinen über 7,5 t Gesamtgewicht wurden einerseits die Daten der verfügbaren kabelgebundenen Lösungen herangezogen, andererseits die (wenngleich auch schwache) Datenbasis der Bergbaumaschinenhersteller verwendet [Artisan 2019; Epiroc 2019; Sandvik 2019; Minemaster 2019; GHH Fahrzeuge 2019].

Insbesondere für die klassischen Großgeräte über 6 t Nutzlast ist die Datenlage sehr gering. Bisher wurden erst wenige Fahrzeuge eines Herstellers CE-zertifiziert [Epiroc 2019] und wenige Prototypen eines 14-Tonner-Fahrladers und eines 40-Tonner-Muldenkippers sind derzeit in Europa unter Tage in Anwendung. Diese Fahrzeuge verfügen über Akkumulatoren, welche bis zu 5 t wiegen und dementsprechend zu einem höheren Gesamtgewicht des Fahrzeuges führen. Gemäß Herstellerinformationen sind die Fahrzeuge in der Lage, 2–4 Stunden Arbeitsleistung mit einer vollen Batterieladung zu verrichten. Wenngleich dies bei den abzurufenden Leistungen sicher eine technologische Meisterleistung ist, muss dennoch erwähnt werden, dass diese Performance für bis zu 2 % Streckenanstieg/einfallen angegeben wird und demnach die Haltezeit der Batterie beim Einsatz im Gefälle der Grube „Glückauf“ wesentlich geringer sein wird. Für eine Fahrstrecke sind hier 150–200 Höhenmeter zu überbrücken. Somit ist mit mindestens zwei Batterie-wechseln je Schicht zu rechnen.

Daraus ergibt sich für die Anforderung, bis zu 100 Fahrzeuge im 3-Schichtbetrieb zu nutzen, der theoretische Bedarf für 108 Wechsel-

akkumulatoren, 3 Wechselstationen, 12 Ladegeräte für die Akkumulatoren der Großgeräte und 9 Schnellladegeräte für die weiteren Fahrzeuge. Dabei wurde beachtet, dass die derzeit vom Hersteller verwendeten Akkumulatoren nach der Nutzung eine Abkühlzeit vor dem Laden und nach dem Laden eine Abkühlzeit vor der Nutzung benötigen. Die dafür verwendeten Daten sind allerdings noch nicht ausreichend verifiziert.

Die sich aus den Herstellerangaben und Akkulaufzeiten ergebenden Lifetime-Kosten der Maschinen liegen momentan geringfügig über den Anschaffungskosten einer vergleichbaren dieselgetriebenen Maschine. Eventuell hebt sich dieser Aspekt durch den häufig proklamierten geringeren Wartungsaufwand der BEV durch geringere Bauteilanzahl auf. Inwiefern die Batterien beim untertägigen Einsatz, insbesondere bei den Temperaturen vor Ort, ihre angegebene Lebensdauer erreichen, kann derzeit nicht exakt vorhergesagt werden. Die Herstellerangaben der Batterien geben für die aktuell serienmäßigen Zellen eine Einsatztemperatur von maximal 40°C an. Die im Salzbergbau üblichen Temperaturen vor Ort und am Fahrzeug sind wesentlich höher. Entsprechend instabil ist die Basis für eine Wirtschaftlichkeitsberechnung.

Ein polnischer Hersteller ist derzeit im Prototypenstatus an der Erprobung von Natrium-Nickelchlorid-Batterien. Diese sollen auf Bohrwagen verwendet werden, um selbige batteriegetrieben umzusetzen und den Bohrbetrieb dann über Netzanschlusskabel zu gewährleisten. Die Batterien haben eine Kapazität von 125 kWh und können innerhalb von 40 Minuten von 20 % Ladestatus auf 80 % geladen werden [Minemaster 2019]. Ein Betrieb bis +50°C Umgebungstemperatur soll möglich sein. Sofern dies für größere Batterien

auch umsetzbar wird, wäre das eine wünschenswerte Entwicklung.

Die zu schaffende Infrastruktur für Ladestationen im Grubenbetrieb hat beachtenswerte Ausmaße. Am Beispiel der GSES wurde errechnet, dass sich die Netzanschlussleistung des Grubenbetriebes verdoppeln würde. Die wäre nur realisierbar, wenn ein ausreichendes Peak-Management (Spitzenlastverteilung) betrieben würde, um ca. 15 %-ige Lastspitzen zu vergleichmässigen. Insofern müssten die kommunalen Versorgungsbetriebe die Kapazität der Zuleitungen zum Bergwerk mindestens verdoppeln und das Bergwerk selbst sein Netz entsprechend ausbauen. Damit verbunden wären zusätzliche Schachtkabelinstallationen, Netzleitungsstraßen unter Tage, entsprechende Übergabe- und Trafostationen sowie die Erweiterung der Netzschutz- und Überwachungseinrichtungen. Im Falle der Grube „Glückauf“ ergibt sich das Erfordernis, drei Lastschwerpunkte mit mehreren Megawatt Anschlussleistung und diversen Kilometern Kabeltrasse zu schaffen. Eine Millioneninvestition. Die Treibstoffkosten, respektive die zu erwartenden Elektroenergiekosten der GSES, werden laut Modellrechnung ca. 20 % über den derzeitigen Kosten für den Dieserverbrauch liegen. Nicht berücksichtigt sind dabei die Kosten für Netz- und Transformationsverluste bis zur Ladestation und Kosten für eine eventuelle Kühlung der Ladestationen bzw. der Akkumulatorspeicherräume, da hierfür keine verlässlichen Daten vorliegen.

Nicht verschwiegen werden sollte die Thematik des Lösch- und Havariekonzeptes. Löschanlagen, welche in der Lage sind, einen Batteriebrand auf dem Fahrzeug zu löschen oder zumindest zu unterbinden, bis sich alle Beschäftigten aus dem Gefahrenbereich entfernt haben, müssen ver-

füßbar sein. Die derzeitige Datenlage dazu ist nicht sehr ausgeprägt. Investitionsseitig sollte in Betracht gezogen werden, dass derartige Löschanlagen eventuell auch für die Batterieladepunkte und Lagerstationen erforderlich sind.

Wasserstoff

Die Datenlage für Wasserstoff-Brennstoffzellen-getriebene Bergbaufahrzeuge oder Fahrzeuge bergbau-ähnlicher Leistungsklassen ist noch geringer als die Datenlage für BEV. Unter Tage ist derzeit nur eine Nutzung im Rahmen eines Pilotprojektes bekannt [Vehicle Projects Inc. 2009]. Übertägig laufen derzeit jedoch weltweit eine Reihe von vielversprechenden Pilotprojekten mit Fahrzeugen bis zu 40 t Gesamtgewicht (Emcel 2019; Nicola Tre 2019; Hyundai 2019). Es wurden die verfügbaren Daten aus diesen Projekten verwendet, um den Wasserstoffbedarf von fiktiven Wasserstofffahrzeugen zur Umrüstung der gesamten Flotte der Grube „Glückauf“ zu berechnen. Aufgrund der vielversprechenden Aussichten hat sich die GSES mit der FCEV-Technologie intensiv beschäftigt. Denn die Wasserstoff-Brennstoffzellentechnologie vereint eine Reihe von Vorteilen, die im Anwendungsfall die Nachteile eines rein batteriegetriebenen Fahrzeuges eliminieren können.

Die Betankung beispielsweise erfolgt ähnlich schnell wie bei Dieselfahrzeugen. Würden LOHC-Lösungen (LOHC = liquid organic hydrogen carriers) eingesetzt werden, wären die Handhabungskriterien ähnlich, im Vergleich zu Dieseltreibstoff, und der Umgang weit weniger gefährlich als für die Betankung mit flüssigem oder komprimiertem Wasserstoff. Dabei kommen kohlenwasserstoffbasierte Trägeremulsionen zur Anwendung, die mit Wasserstoff beladen sind. Bei Temperaturen von 250–320 °C

erfolgt zur Freisetzung des elementaren Wasserstoffes eine Dehydrierung des Trägermediums. Der dabei freigesetzte Wasserstoff, wird der Brennstoffzelle zur Verfügung gestellt und das Trägermedium gespeichert, um zu einem späteren Zeitpunkt wieder mit Wasserstoff beladen zu werden. Entsprechend ist, im Rahmen der Betankung des Fahrzeuges, eine Entleerung des benutzten LOHC-Trägermediums erforderlich. Dieses muss dann gesammelt und zur Tagesoberfläche zurückgeführt werden. Ein Straßen-LKW kann bei Beladung mit LOHC bis zu 12 t reinen Wasserstoff transportieren. Bezogen auf den derzeitigen Dieselumschlag ergibt sich eine Verdopplung des Mengenumschlages und das Erfordernis der Rückführung des verbrauchten LOHC-Trägermediums. Diese Vorgänge sind jedoch analog zum derzeitigen Dieseltransport recht überschaubar und benötigen wesentlich geringere Investitionen als der Netzausbau für mehrere Megawatt elektrische Anschlussleistung. Vorteilhaft ist der Erhalt der Flexibilität bei der Betankung der Fahrzeuge, welche erforderlichenfalls sogar mit Kanister „vor Ort“ vorstellbar ist.

Das Gewicht des gespeicherten Wasserstoffes auf dem Fahrzeug ist im Vergleich zu BEV wesentlich geringer. Mit 45–60 kg reinem Wasserstoff sollte selbst ein Großgerät mit 20 t Nutzlast problemlos 6 Stunden betrieben werden können. Selbst mit einer Brennstoffzelle an Bord sollte das Gewicht deutlich unter vergleichbaren BEV liegen.

Auch Brennstoffzellenfahrzeuge benötigen eine aufladbare Batterie. Die Brennstoffzelle arbeitet kontinuierlich und kann kurzen Lastspitzen, wie beim Fahrverkehr, nicht folgen. Dementsprechend arbeitet die Batterie als Puffer zwischen der Spannungserzeugung und dem Elektromotor. Selbstverständlich sind die für FCEV

benötigten Batterien wesentlich kleiner als bei BEV und benötigen insofern weniger Platz und haben im Vergleich ein deutlich geringeres Gewicht. Trotzdem besteht auch hier das Erfordernis eines brauchbaren Löschkonzeptes für die Batterie.

Die Emissionen eines Wasserstofffahrzeuges beschränken sich auf Wasserdampf und Abwärme, welche jedoch wesentlich unter dem Level eines derzeitigen Verbrennungsfahrzeuges liegen dürften.

Derzeit kann keine konkrete Wirtschaftlichkeitsberechnung einer FCEV-Umrüstung erstellt werden. Dazu fehlen die Anschaffungskosten der Fahrzeuge, zu erwartende Instandhaltungsaufwendungen und die Kosten für die Beschaffung des Wasserstoffes. Legt man die Kosten an den wenigen deutschen Wasserstofftankstellen zu Grunde, so würden sich im Vergleich zur derzeitigen Dieselerwendung ca. 40 % höhere Treibstoffkosten ergeben.

Energieautarkes Bergwerk

Die große Herausforderung, welche sicherlich derzeit auch noch der Zurückhaltung beim Einsatz von Wasserstofffahrzeugen über Tage zu Grunde liegt, ist die Verfügbarkeit von Wasserstoff. Bei vielen chemischen Produktionsprozessen wird elementarer Wasserstoff eher benötigt, als dass er anfällt. Ein technisch möglicher Weg ist die Herstellung von Wasserstoff durch Elektrolyse von Wasser mittels elektrischer Energie. Im günstigsten Fall kommt hierfür regenerative Energie zum Einsatz. Die GSES entwickelte darum die Vision vom „Energieautarken Bergwerk“ (Abbildung 5), welches sich über regenerative Energie selbst mit Elektroenergie zur Wasserstoffelektrolyse versorgt. Die Energieerzeugung ist somit vom öffentlichen Netz unabhängig und die Elektrolyse erfolgt nur bei Verfüg-

barkeit regenerativer Energien. Der erzeugte und gespeicherte Wasserstoff kann dann über Tage in Elektroenergie für den Grubenbetrieb, auch zum Laden der dortigen BEV, umgewandelt werden. Alternativ kann er zum Beladen des LOHC für die Versorgung der untertägigen FCEV verwendet werden.

BEV vs. FCEV

Der Vergleich zwischen batteriegetriebenen Fahrzeugen und brennstoffzellengetriebenen Fahrzeugen weist keinen klaren Gewinner aus (Abbildung 6). Jede Technologie hat ihre Daseinsberechtigung und je nach Anwendung überwiegen die jeweiligen Vorteile. Denkbar ist es, bei kleineren Fahrzeugen mit geringer Nutzlast oder zur Personenbeförderung vorerst auf die erprobten und zur Verfügung stehenden BEV zurückzugreifen. Sofern sich künftig die Speicherung von Elektroenergie auf Großgeräten nicht effektiver gestaltet, wäre hierfür die Brennstoffzellentechnologie die vorteilhaftere Variante. Jedoch

erfordern beide Technologien noch weiterführende Forschungs- und Entwicklungsarbeiten, Langzeittests im Grubenbetrieb und die Implementierung ausgereifter Havariekonzepte.

Hinsichtlich der Nachhaltigkeit muss für beide Optionen noch eine Optimierung erfolgen. Wenngleich bei Anwendung vor Ort keine gesundheits- oder umweltgefährdenden Emissionen entstehen, ist der Globale „Fußabdruck“ groß. Die installierte Akkumulatorkapazität in der Modellrechnung für die Grube „Glückauf“ würde ca. 12.000 kWh betragen. Die Herstellung dieser Erstausrüstung würde 2 Millionen Kilogramm CO₂ erzeugen, die Herstellung der im Lebenszeitraum erforderlichen Akkumulatoren ein Vielfaches davon. Zuzüglich des Bedarfs an seltenen Erden zur Herstellung der Brennstoffzellen, Elektrolyseanlagen und Akkumulatoren, welche in beiden Technologien zum Einsatz kommen. Nicht zuletzt die Entsorgungskosten in Höhe von derzeit durchschnittlich 3 €/kg für diese Art

von Akkumulatoren. Zur Erinnerung: pro Großgerät können bis zu 5 t Akkumulatoren verbaut sein. Eine sehr umfassende und fundierte Studie zur Nachhaltigkeit von BEV und FCEV ist beim Fraunhofer Institut erschienen [Fraunhofer ISE 2019]. Abbildung 7 aus dieser Studie verdeutlicht nochmals, dass eine nachhaltige umwelt- und ressourcenschonende Nutzung von BEV und FCEV nur möglich ist, wenn die Energie zur Stromerzeugung soweit wie möglich regenerativ ist und weiter an der Substitution seltener Erden in der Erzeugung der benötigten Komponenten geforscht wird.

Entwicklung der Grenzwertsituation für luftgetragene karzinogene Metalle und Auswirkungen auf den Grubenbetrieb

Im Kontext der Ausführungen zur Reduktion luftgetragener Gefahrstoffe im Bergbau soll auch die Entwicklung der Grenzwertsituation für die Gefahrstoffe, welche aus dem Versatzbetrieb mit bergbaufremden Abfällen resultieren, kurz erwähnt werden.

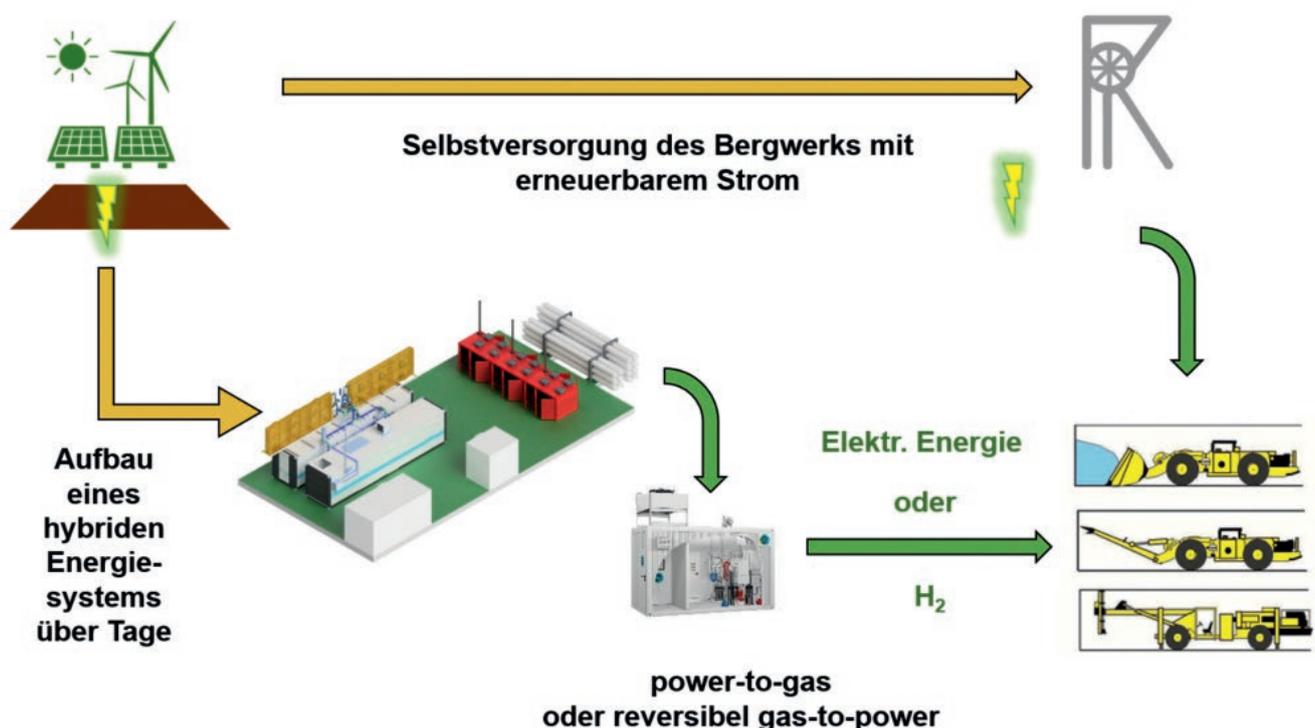


Abbildung 5: Vision – energieautarkes Bergwerk, Quelle GSES Sondershausen

	Elektrische Antriebe	Brennstoffzellen
Treibstoffkosten vs. Diesel	ca. 20% höher	ca. 40% höher (ohne P2G)
Investitionen in Energienetz unter Tage	Verdopplung der Anschlussleistung des Grubenbetriebes	Geringfügig unter Tage höhere Investitionen für P2G über Tage
Investitionen in Ladestationen, Tankstellen	3 Wechselstationen für ca. 110 Akkumulatoren und weitere 21 Ladestellen	1 Haupttankstelle, 1 Nebentankstelle, Transporteinheiten H2/LOHC
Weitere Investitionen	Kabelnetz, Trafostationen, Lastmanagement, Übernahmestationen Netz über Tage	P2G-Anlage, Speicher H2 über Tage und unter Tage, evtl. Speichermedium (LOHC)
Betankung	Akkuwechsel oder Ladezeit ?-Minuten	Wenige Minuten, auch Notbetankung möglich
Sicherheit, Löschkonzept	Bei akkubetriebenen Maschinen derzeit noch problematisch	Brandverhalten z.B. LOHC ähnlich Diesel, Löschanlage, mobile H2-Tanks brandsicher

Abbildung 6: Vergleich elektrischer Antriebe zu Wasserstoff-Brennstoffzellen, GSES 2019

Der Einfluss der geänderten bzw. neu erstellten Technischen Regeln für den Umgang mit Gefahrstoffen, welche üblicherweise in mineralischen Abfällen vorkommen (TRGS 400, TRGS 910, TRGS 561), erfordern eine Überarbeitung der Gefährdungsbeurteilung zum Umgang mit Gefahrstoffen. Etwa 35, vorrangig mineralische oder metallische, gesundheitsgefährdende Stoffe können in den untertägig verwendeten Versatzstoffen auftreten. Einige davon sind krebserregend oder erbgutschädigend. Andere verursa-

chen mittelfristig organische Schäden, wie beispielsweise freie kristalline Siliziumverbindungen.

Eine Überwachung dieser Stoffe findet bereits seit Einsatz von bergbau-fremden Abfällen statt. Für die Prognose der Höhe der Gefährdung, im Rahmen der Gefährdungsbeurteilung, hat sich die Staubgrenzwertprognose in Zusammenarbeit mit dem Institut für Gefahrstoffforschung der BG RCI (kurz IGF) bewährt. Das zugehörige Modell wird derzeit gemeinsam mit dem IGF durch einen Fachausschuss

des BDE (Bundesverband der Deutschen Entsorgungs-, Wasser- und Rohstoffwirtschaft e.V.) in Kooperation mit dem Verband der Kali- und Salzindustrie (VKS e.V.) novelliert. Dies erfolgt in enger Abstimmung mit dem FATIB (Fachausschuss für Technik im Bergbau, BMWi). Zielstellung sind die Berücksichtigung der Expositions-Risiko-Beziehung der sogenannten CMR-Stoffe (kanzerogen, mutagen, reproduktionstoxisch) sowie eine Prognose, welche im Versatzmaterial enthaltenen Stoffe den ausschlaggebenden Einfluss auf eventuelle Gefahren beim Umgang mit den Stoffen unter Tage haben. Im Ergebnis der Prognose werden für jedes Versatzgemisch, dessen Transportform und für jedes Bergwerk spezifisch Staubgrenzwerte in der Prognose festgelegt. Die Einhaltung der Grenzwerte wird mit personenbezogenen Messungen beim Umgang mit den Abfällen ermittelt, und bei Einhaltung der Staubgrenzwerte kann eine Gefährdung der Mitarbeiter sicher ausgeschlossen werden. Werden messtechnisch Abweichungen von der Prognose festgestellt, greift der Regelkreis nach Gefahrstoffverordnung. Aufgrund der Grenzwertverschärfung müssen die Messungen sicher angepasst und verdichtet wer-

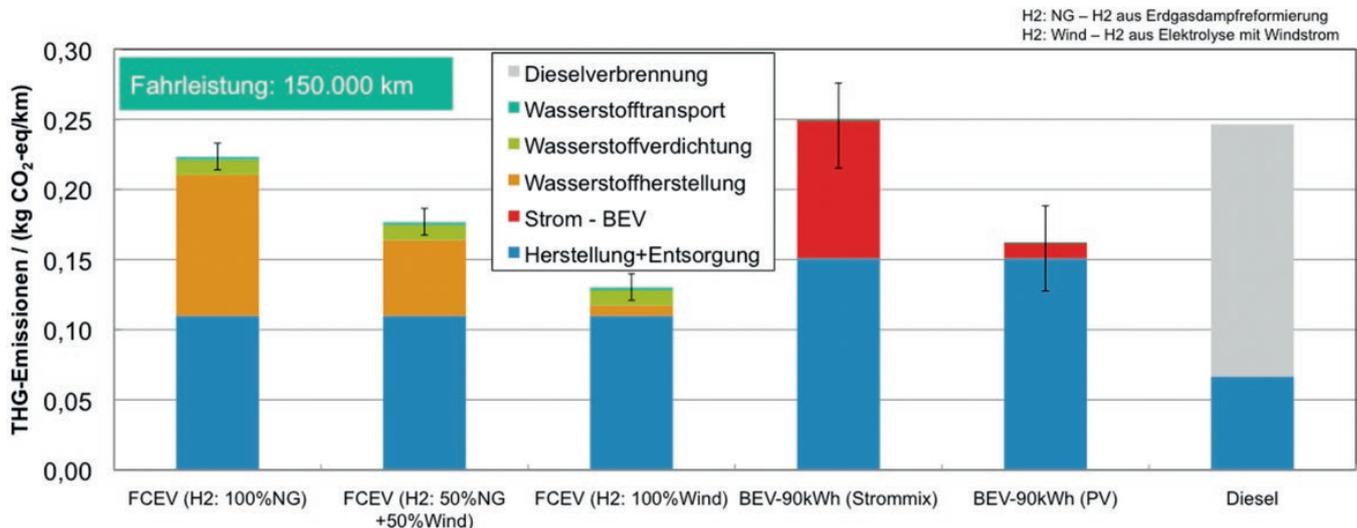


Abbildung 7: HG-Emissionen Fahrzeugbetrieb für 2020–2030 Vergleich mit Diesel-PKW (100 % fossiler Brennstoff), Quelle Fraunhofer

den. Das novellierte Staubgrenzwert-prognosemodell ermöglicht jedoch auch künftig mit vertretbarem Messaufwand eine Fortsetzung der Versatzarbeiten mit bergbaufremden Stoffen.

Zusammenfassung und Ausblick

Die Gesundheit unserer Mitarbeiter ist das höchste Gut und um es zu schützen, ist es erforderlich, die Emissionen von Gefahrstoffen stetig zu reduzieren.

Die novellierten und absehbar einzuhaltenden Grenzwerte erzeugen für viele Bergwerke eine anspruchsvolle Situation. Das bekannte Motto „Jede Grube ist anders“ lässt keine pauschalisierten Lösungen zu. Darum haben auch die Hersteller von Bergbaumaschinen innerhalb der kurzen Zeit, welche ihnen seit den Gesetzesänderungen zur Verfügung stand, noch keine flächendeckend brauchbaren und stets wirtschaftlichen Lösungen zur Hand. Die Unternehmen und Hersteller sind nun gemeinsam gefragt, teils fundamentale technologische Veränderungen vorzunehmen. Dies ist eine anspruchsvolle Aufgabe, auch unter dem Wirtschaftlichkeitsdruck der globalisierten Welt, die derzeit noch nicht flächendeckend mit den europäischen strengen Normvorgaben Bergbau betreibt. Der Bergbau war immer Treiber der Innovationen und scheut sich auch für die Emissionsreduktion nicht, neue Wege zu gehen. Trotz allem sind wir noch nicht am Ziel und benötigen noch etwas Zeit, um den Technologiewandel gemeinsam mit den Herstellern des Equipments erfolgreich umzusetzen.

Quellenangaben

[Artisan 2019] Artisan Vehicles, diverse Auskünfte, 2019
 [Epiroc 2019] Atlas Copco/ piroc, diverse Auskünfte, www.epiroc.com sowie persönliche Gespräche, 2019
 [BUNDESMINISTERIUM FÜR FORSCHUNG

UND BILDUNG 2019] Innotruck; <https://www.innotruck.de/mobile-ausstellung/exponatkatalog/wasserstoffspeicherung-mit-lohc/>, o.O., 2019 (Abgerufen 16.07.2019)

[CANYONE EQUIPMENT 2019] Muckmaster 3 TB. Online im Internet unter http://www.canyonequipment.com/admin/files/Muckmaster%20TEB%20Battery_BROCHURE.pdf (18.01.2019)

[Elektroniknet 2019] <https://www.elektroniknet.de/elektronik-automotive/elektromobilitaet/kooperation-von-man-hydrogenious-lohc-und-fraumes-167784.html>

[FARESIN INDUSTRIES 2019] Battery Telehandler. Im Internet online zu finden unter <https://www.faresindustries.com/Apps/WebObjects/Faresin.woa/wa/viewProduct> (2019)

[Huckels 2019] Huckels; Paschedag; Kießling: Randbedingungen für den Einsatz brennstoffzellenbetriebener mobiler Arbeitsmaschinen unter Tage, TH Agricola Bochum, Masterarbeit

[Hydrogenious Technologies GmbH 2018] o.A, Wasserstoff – Schlüssel zur Energiewende/Beispiele aus Nordrhein-Westfalen von der Herstellung bis zur Nutzung, Düsseldorf, 2018

[Hyundai Motor Deutschland GmbH 2018] Technisches Datenblatt Hyundai IX 35 Fuel Cell; Technisches Datenblatt NEXO; Ausstattungsdatenblatt IX 35 Fuel Cell; Ausstattungsdatenblatt NEXO

[Fraunhofer ISE 2019] Sternberg, A.; Hank, C.; Hebling, C. (Fraunhofer Institut für Solare Energiequellen), Treibhausgas-Emissionen für Batterie- und Brennstoffzellenfahrzeuge mit Reichweiten über 300 km, Freiburg, 2019, <http://www.ise.fraunhofer.de/de/presse-und-medien/news/2019/fraunhofer-ise-vergleicht-treibhausgas-emissionen-von-batterie-und-brennstoffzellenfahrzeugen.html>

[INTERNATIONAL MINING TEAM PUBLISHING LTD 2019] Aramine equips mini-loader L140B with battery change-out

system. Online im Internet unter <https://im-mining.com/2019/02/26/aramineequips-miniloader-l140b-battery-change-system/> (21.05.2019)

[KEYOU 2019] <https://www.keyou.de/technologie/> KEYOU Unternehmenspräsentation, Nachhaltig. Sauber. Kompromisslos. Der Verbrennungsmotor wird grün, 2019, sowie persönliche Auskünfte

[Linde Material Handling 2019] Diverse Auskünfte, www.linde-mh.com

[MACLEAN ENGINEERING & MARKETING CO. LIMITED 2019] FULL-FLEET ELECTRIFICATION THAT CONNECTS THE MINING CYCLE TO THE BATTERY CYCLE., 25.05.2019

[ORTEN ELECTRIC-TRUCKS 2019] Umrüstung Lkw. Im Internet online unter <https://www.electrictrucks.de/de/umruestung/lkw-7-5t.html> (14.01.2019)

[RDH-SCHARF 2019] Haulmaster 800, Liftmaster 600, Muckmaster 600, diverse Auskünfte

[SEIDEL 2018] Seidel, A. (Hydrogenious Technologies GmbH) Wasserstoff aus dem LOHC – Prozess zur Betankung von Brennstoffzellenfahrzeugen, Erlangen, 2018

[Schmitz 2019] Schmitz, Paschedag, Kießling: Randbedingungen für den Einsatz elektrisch betriebener mobiler Arbeitsmaschinen mit Akkumulatoren Speicher unter Tage, Masterarbeit TH Agricola Bochum

[Sandvik 2019] www.rock-technology.sandvik.com und diverse direkte Auskünfte, 2019

[SZ 2019] <https://www.sueddeutsche.de/auto/wasserstoff-brennstoffzellen-1.4306819>

[TALKE 2017] Talke, A. K.: Der Einfluss von ausgewählten Luftschadstoffen auf die Brennstoffzelle unter fahzeugnahen Betriebsbedingungen, Bremen, 2017

[Vehicle Projects Inc. 2009] o.A; Fuel-cell-Hybrid Mine Loader (LHD) Final Report, Golden, 2009

Abbildung 1: Übersicht der Grube Teutschenthal mit den Grubenfeldern Salzmünde, Teutschenthal und Angersdorf sowie der Lage der Gebirgsschlagfelder

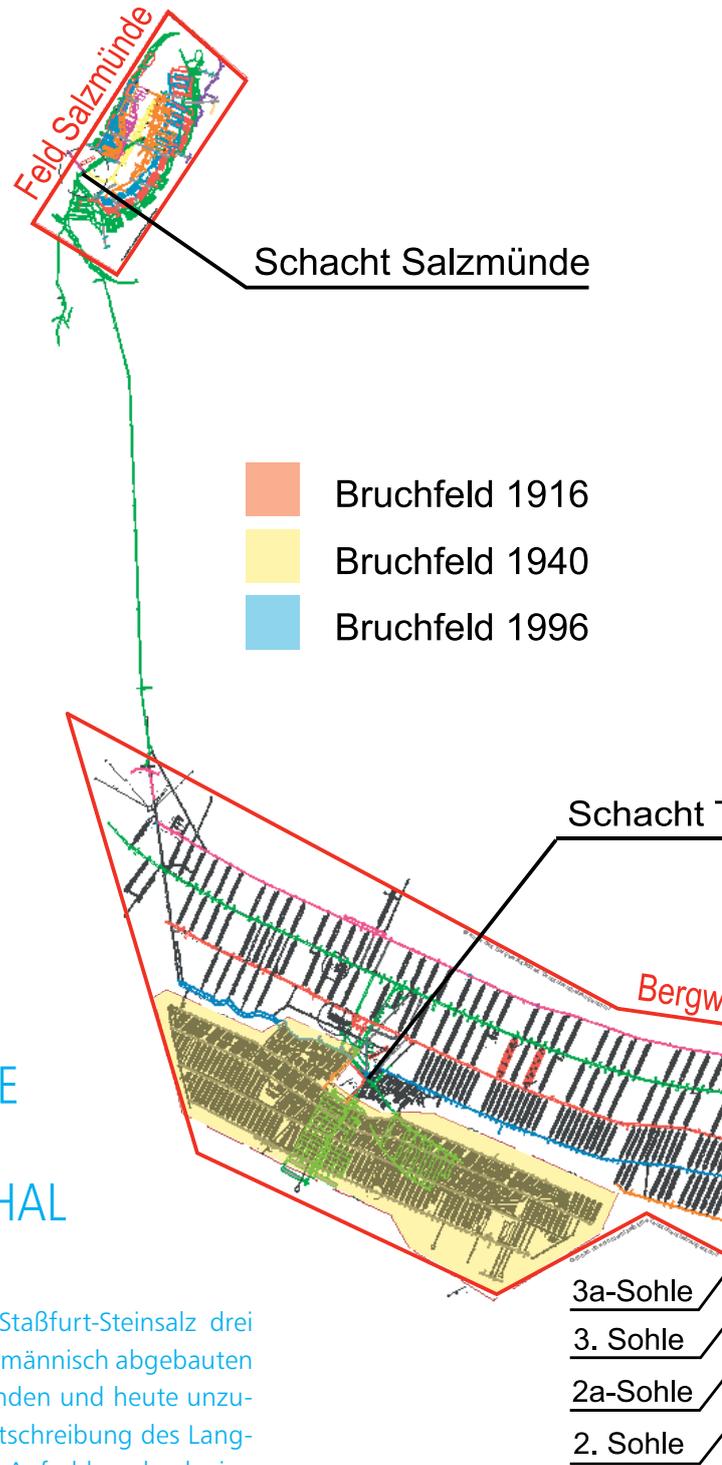


ACHIM EBERHARD
GTS Grube Teutschenthal
Sicherungs GmbH & Co. KG

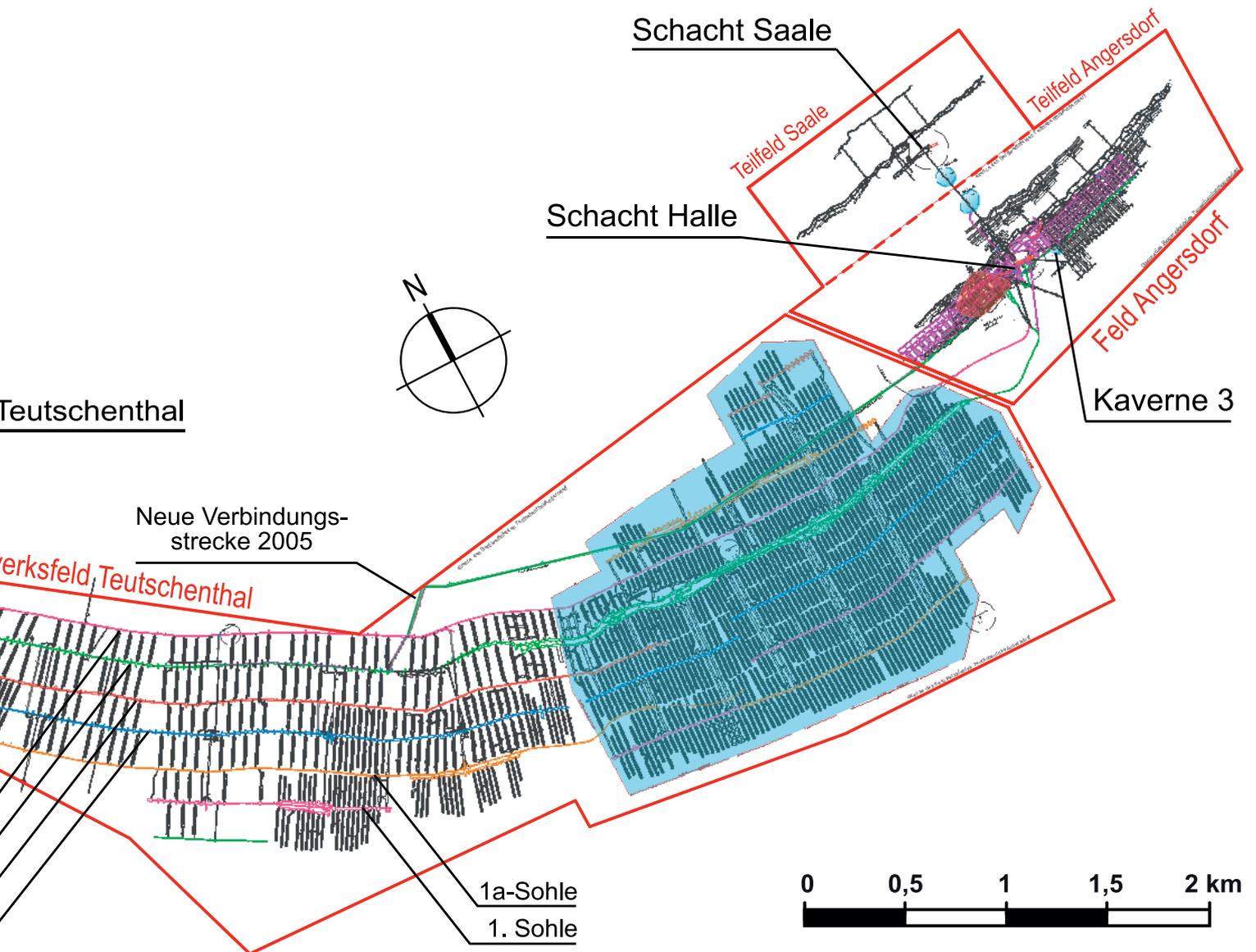
GEOTECHNISCHE ERKUNDUNG EINER UNTERTÄGIG GESOLTEN KAVERNE IM GRUBENFELD ANGERSDORF DER EHEMALIGEN KALIGRUBE TEUSCHENTHAL

Im Grubenfeld Angersdorf der Grube Teutschenthal wurden im Staßfurt-Steinsalz drei Kavernen mit einem Volumen von ca. 1,1 Mio. m³ unterhalb des bergmännisch abgebauten Kalilagers zur NaCl-Gewinnung gesolt. Eine dieser soleerfüllt stehenden und heute unzugänglichen Kavernen musste im Ergebnis des Gutachtens zur 2. Fortschreibung des Langzeitsicherheitsnachweises abschließend erkundet werden. Nach dem Aufschluss durch eine untertägige Erkundungsbohrung konnte mit umfangreichen geotechnischen/geophysikalischen Messungen sowie gebirgsmechanischen Modellrechnungen die langfristige Stand-sicherheit der Kaverne nachgewiesen werden.

Geotechnical survey of an underground leached salt cavern in the mining field Angersdorf of the former potash mine Teutschenthal In the mining field Angersdorf of the former potash mine Teutschenthal three caverns were leached for NaCl extraction with a volume of about 1.1 million m³ in the Staßfurt rock salt below the mined Staßfurt potash seam. According to an expert's report of the second long-term safety verification, one of these brine-filled and inaccessible caverns had to be finally explored for further data. After excavation through an underground exploration well, geotechnical/geophysical measurements and rock-mechanical model calculations were used to demonstrate the long-term stability of the cavern.



Grube Teutschenthal Übersicht



Einleitung

Die Grube Teutschenthal Sicherungs GmbH & Co. KG (GTS) betreibt westlich der Stadt Halle (Saale) in Sachsen-Anhalt das aus den Grubenfeldern Teutschenthal, Angersdorf und Salz-
münde bestehende Versatzbergwerk Teutschenthal (Abb. 1). Ziel der Versatzmaßnahmen in dem ehemali-

gen Kalibergwerk ist der Schutz der Tagesoberfläche durch die Schaffung langfristig geomechanisch stabiler Verhältnisse im Grubengebäude und im umgebenden Gebirge. Seit der Einstellung des Kalibergbaus im Jahr 1982 verblieben rund 15 Mio. m³ zumeist im Carnallit aufgefahrene, luftefüllt stehende Grubenhohl-

räume, die durch Konvergenz und Flutung des Teilfeldes Salz-
münde bis Anfang der 1990er Jahre auf 12,5 Mio. m³ reduziert wurden. Dieser restliche Hohlraum gilt aufgrund unzureichend dimensionierter Festen sowie des ungünstigen Entfestigungsverhaltens des Carnallitits als instabil, weshalb bereits 1916 im Grubenfeld

Angersdorf und 1940 im Grubenfeld Teutschenthal Gebirgsschläge auftraten. Die Notwendigkeit des Versatzes wurde im Jahr 1996 durch die GTS aufgenommen. Der Versatz wurde im Jahr 1996 nochmals verdeutlicht, als sich im besonders gefährdeten Ostfeld der Grube Teutschenthal ein weiterer schwerer Gebirgsschlag ereignete.

Derzeit sind bereits rund 75% der Abbaukammern im Grubenfeld Teutschenthal versetzt. Der Versatz erfolgt mit bergbau fremden mineralischen Abfallstoffen, die als Feststoff mit Großgeräten oder als hydraulisch pumpfähiger Dickstoff über Rohrleitungen in die Hohlräume eingebracht werden. Die Versattätigkeiten wurden 2016 auf das Grubenfeld Angersdorf ausgeweitet. Voraussetzung war

eine infrastrukturelle Erschließung dieses ehemals nur als Wetter- und Fluchtweg benutzten Feldes, welche ausführlich in [1] beschrieben wird.

Gemäß der Verordnung über den Versatz von Abfällen unter Tage (VersatzV) [2] erfordert das Einbringen mineralischer Abfallstoffe einen Langzeitsicherheitsnachweis (LZSN), mit dem in der Betriebs- und Nachbetriebsphase eine Beeinträchtigung der Biosphäre durch die eingebrachten Versatzstoffe ausgeschlossen wird. Der LZSN wurde im Jahr 2000 für das Grubenfeld Teutschenthal bestätigt und mit der 1. Fortschreibung (FS) 2006 auf das Feld Angersdorf erweitert. Mit der 2. FS im Jahr 2016 wurden das Grubenfeld Salzmünde einbezogen und für die komplexe Situation

der drei miteinander hydraulisch verbundenen und teilweise lösungserfüllt stehenden Grubenfelder ein Schließungskonzept erarbeitet.

Die 2. FS des LZSN 2000 enthält neben einem Konzept zur langzeitsicheren Abdichtung der fluiddruckbelasteten Schächte vor allem Maßnahmen zur Erhaltung der geologischen Barriereintegrität im Grubenfeld Angersdorf, die durch den Steinsalzabbau im Leine-Steinsalz und weitere Durchörterungen der Barrierschichten (z. B. Schneesalzquerschlag) sowie drei Solkavernen beeinträchtigt wird. Während zwei dieser Kavernen lösungserfüllt stehenbleiben können, wurde für die dritte Kaverne eine genauere Erkundung empfohlen.

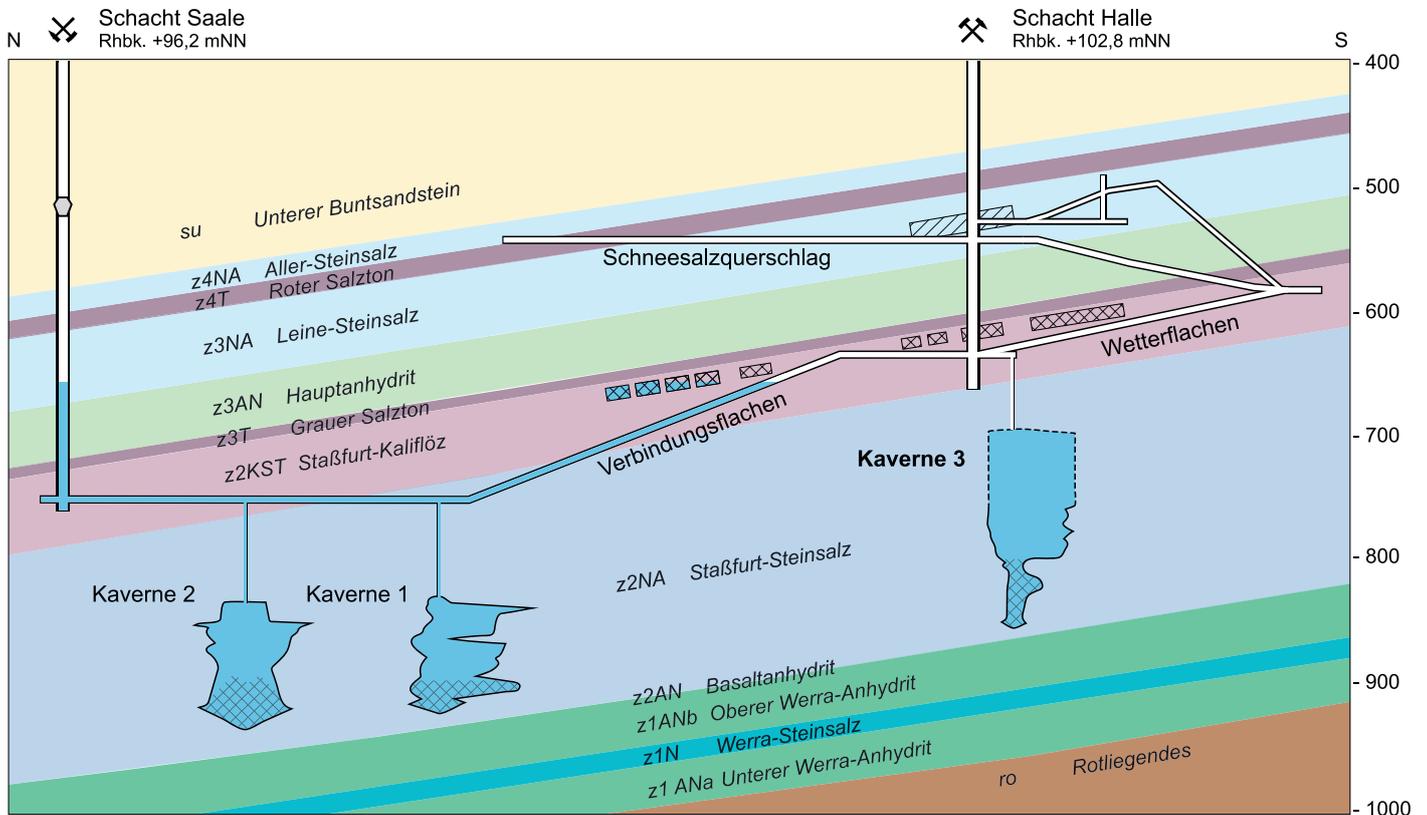


Abbildung 2: Geologischer Schnitt durch das Grubenfeld Angersdorf mit den Kavernen 1–3

Geologische und bergbauliche Situation im Grubenfeld Angersdorf

Das Grubenfeld Angersdorf liegt an der nordöstlichen Flanke des Teutschenthaler Sattels, der durch Salzanstau und die Kippung einer leistenförmigen Scholle des salinaren Untergrundes entstanden ist. Im Flankenbereich des Sattels tritt Zechstein entsprechend dem Staßfurter Normalprofil mit Abfolgen der Werra-, Staßfurt-, Leine- und Aller-Formation auf, die mit 7° bis 8° ungestört nach Norden einfallen (Abb. 2).

Die günstigen Lagerungsverhältnisse führten Anfang des 20. Jahrhunderts zum Aufschluss der Lagerstätte durch die Schächte Saale und Halle. Während der Schacht Saale lediglich für den Abbau vorgerichtet wurde, erfolgte über den südlich gelegenen Schacht Halle ab 1911 in ca. 740 m Teufe die Gewinnung von Kalisalzen aus dem rund 40 m mächtigen Staßfurt-Kaliflöz. Der Abbau im schwebenden und streichenden Kammerbau beschränkte sich auf einen mittleren, etwa 12 m hohen Lagerteil mit erhöhten Kaligehalten. Im Anschluss wurden die Hohlräume mit feuchten Fabrikrückständen teilversetzt. Aus dem Versatz austretende Laugen führten 1916 zu einem Gebirgsschlag und dem Verbruch des westlichen Abbaufeldes.

Mit Beendigung der Kaliproduktion im Jahr 1928 und der Errichtung eines Salinenbetriebs konzentrierten sich die bergmännischen Arbeiten auf die Gewinnung von Steinsalz aus dem 55 m mächtigen Leine-Steinsalz. Der Abbau erfolgte überwiegend in schwebend aufgefahrenen Langkammern mit leichter Firstwölbung. Die Kammern blieben unversetzt und bilden heute zur Verringerung der stattfindenden Konvergenzprozesse

den Schwerpunkt der Versatzaktivitäten im Grubenfeld Angersdorf.

Parallel zum Steinsalzabbau wurde 1963 eine solende Salzgewinnung im etwa 200 m mächtigen Staßfurt-Steinsalz aufgenommen, die 1965 mit dem Übergang vom Probe- in den Dauerbetrieb zur Einstellung der bergmännischen Gewinnung im Leine-Steinsalz führte. Ansatzpunkte der drei untertägigen Kavernen waren das Verbindungsflache zwischen den Schächten Halle und Saale (Sonden 1 und 2) sowie die 740-m-Kalisohle (Sonde 3). Bis zur Produktionseinstellung der zuletzt zwischen 1973–1978 betriebenen Kaverne 3 wurden aus den Kavernen rund 2,1 Mio. t NaCl gewonnen und ein soleerfüllter Hohlraum mit ursprünglich ca. 1,1 Mio. m³ Gesamtvolumen geschaffen.

Nachbetriebsphase der Kavernen

Bereits während der Aussohlphase verursachten undichte Rohrtouren und Betriebshavarien in den Jahren 1977 und 1979 einen Austritt größerer Lösungsmengen, die sich im Anschluss unkontrolliert im Gebirge sowie in den Strecken ausbreiteten. Seit der Stilllegung der Kavernen tritt aus den vermutlich teilweise undichten Sondenköpfen konvergenzbedingt Sole aus, die zunächst das Teilfeld Saale flutete und im Verbindungsflachen bis in die nördlichen Kaliabbau des Feldes Angersdorf ansteigt. Entlang des Fließweges zwischen dem Sondenkopf 3 und Verbindungsflachen führte die austretende Sole in den Strecken zur Bildung ausgedehnter Lösungsschraume und dem Verbruch des Kalifüllortes Schacht Halle. Beim Kontakt mit Carnallit wandelt sich Sole in hochgesättigte Lauge und führt zu großflächigen Subrosionen. Die Soleauspressungen konnten erst

durch eine 1999 niedergebrachte Schrägbohrung in die Kaverne 3 zur gezielten Soleentnahme reduziert werden. Verschiedenen Berechnungen zufolge werden aus den Kavernen 1 und 2 jährlich zwischen 700 bis 1.000 m³ Sole ausgepresst. Die Auspressrate der Kaverne 3 betrug zuletzt rund 600 m³/a. Dies entspricht einer abgeschätzten Konvergenzrate von ca. -2,3 ‰/a.

Relevanz der Kaverne 3 im Langzeitsicherheitsnachweis

Die Relevanz der Kaverne 3 ergibt sich aus der komplexen gebirgsmechanischen und geohydraulischen Situation in Angersdorf. Sie besteht als Gesamtsystem aus den Komponenten Kaverne 3, Schacht Halle, Schneesalzquerschlag, Staßfurt-Kalilager Angersdorf / Gebirgsschlagfeld 1916 und den Abbaukammern im Leine-Steinsalz, wobei zumindest die tiefer liegenden Kaliabbau schon teilweise geflutet sind. Durch Modellrechnungen im Rahmen der 2. FS des LZSN konnten diese Situation simuliert und eine Standsicherheit der Kaverne 3 im fluiderfüllten Zustand nachgewiesen werden [3].

Diese Einschätzung aus der 2. FS LZSN basierte allerdings auf einer nur hypothetischen Kavernenkontur mit einem über die Solbilanz abgeschätzten, auspressbaren Lösungsvolumen. Ausgehend von der letzten Ultraschallvermessung während des Solbetriebes am 15.07.1976 wurde in den risslichen Darstellungen für die Phase der späteren Aussolung deshalb in den oberen Bereichen nur eine schematische, optimale zylindrische Geometrie angenommen. Für die Bewertung der Notwendigkeit erforderlicher Sicherheitsmaßnahmen (z. B. Leerpumpen und Verfüllung)

wurde eine detaillierte modelltechnische Einzelprüfung empfohlen, die abschließende Aussagen zur langfristigen Kavernenstabilität sowie zur Integrität der Hangendbarriere infolge von Soleauspressungen liefern sollte. Voraussetzungen dafür waren eine Kalibrierung des vorhandenen Modells und eine Bewertung der Salzscheibe im Dachbereich der Kaverne durch eine abschließende Hohlraumvermessung sowie geomechanische Spannungsmessungen in der hangenden Salzbarriere. Als Zugänglichkeit war die neue Erkundungsbohrung 2018 in die Kaverne 3 notwendig.

Realisierung der Erkundungsbohrung

Vor Beginn der Realisierung stand die Auswahl eines geeigneten Bohrsatzpunktes für die beabsichtigte Vertikalbohrung. Eine Erkundung über den alten Sondenkopf war aufgrund großflächiger Verbrüche auf der Kalisohle nicht realisierbar. Die Wahl fiel auf die Neuauffahrung einer im Bereich der östlichen Wetterstrecke (-525 mNN) innerhalb des Leine-Steinsalzes gelegenen Bohrkammer. Der Ansatzpunkt lag 19 m südlich der geometrischen Kavernenachse und 173 m oberhalb des vermuteten Kavernendaches. Für die Auffahrung mussten ein Reservegrubenlüfter umgesetzt und die Wetterstrecke auf 180 m Länge nachgerissen werden, jedoch bot sich als Synergieeffekt eine spätere Nutzung als Versatzstrecke an [4].

Die extern erstellte Ausführungsplanung sah für die Erkundung eine zweifach teleskopierte Kernbohrung im Seilkernverfahren mit Luftspülung vor. Die Bauleistung wurde nach einer öffentlichen Ausschreibung im November 2017 an die Bohrfirma H. Anger's Söhne vergeben und mit

Abschluss der Auffahrungsarbeiten im April 2018 aufgenommen. Für die Bohrarbeiten kam ein Kernbohrgerät

Diamec 282 mit jeweils 1,5 m langem HQ-Bohrgestänge, Seilkernrohr, Fänger und PDC-Kronen zur Anwendung

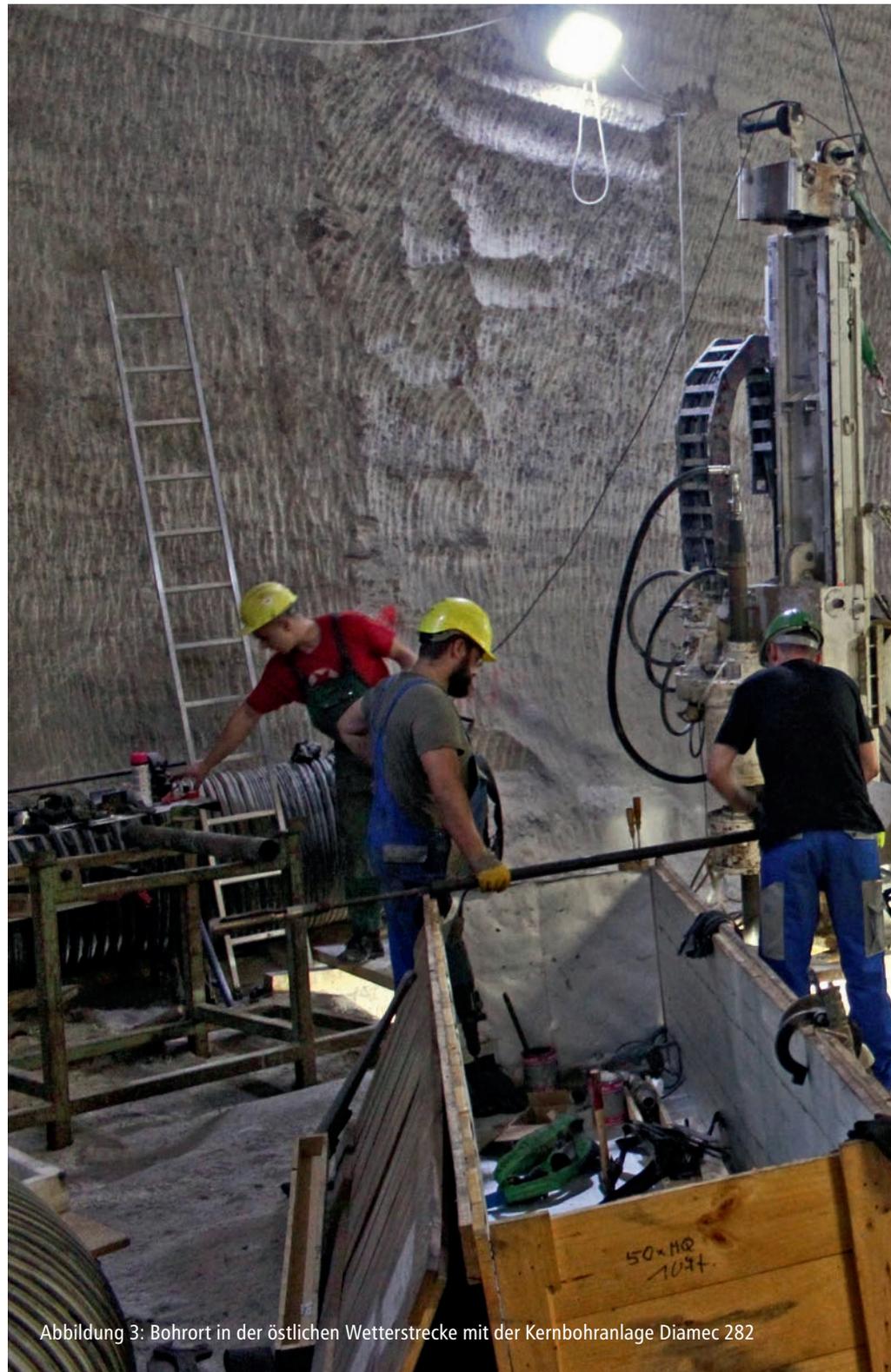


Abbildung 3: Bohrort in der östlichen Wetterstrecke mit der Kernbohranlage Diamec 282

(Abb. 3). Mit dieser Ausrüstung wurde bei der Durchbohrung des Leine-Steinsalzes eine Nettobohrgeschwin-

digkeit von 0,15 m/min erzielt, die sich im anschließenden Anhydrit auf ca. 0,03 m/min reduzierte. Die erzielte

Kernqualität war in beiden Gesteinen sehr gut. Erwartungsgemäß Schwierigkeiten bereitete der Graue Salzton.



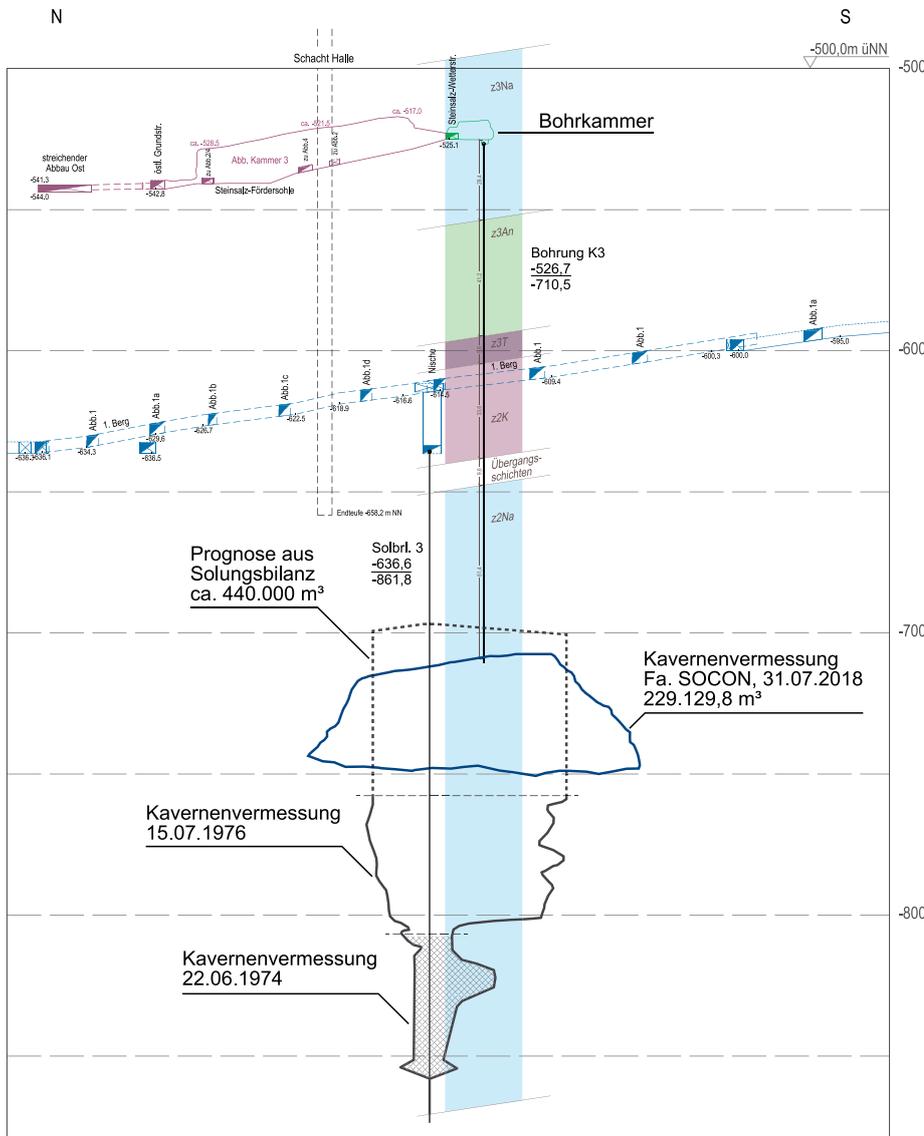


Abbildung 4: Angenommene Kavernenkontur und Ergebnis der Sonarvermessung

Die 13 m mächtige Tonschicht konnte nur nach mehrmaligem Ausbauen und Reinigen der Bohrkronen durchörtert werden. Im Anschluss wurde die erste Teleskopierung mit einem speziell angefertigten Hole-Opener von 101 auf 190 mm aufgeweitet und bis zur Unterkante des Grauen Salztons in einer Fußabdichtung aus Tonpellets temporär verrohrt.

Die zweite Teleskopierung umfasste

einen 90 m langen Abschnitt zwischen dem Staßfurt-Kaliflöz und dem ursprünglich in 174 m Teufe unterhalb der Bohrkammer vermuteten Kavernenhimmel im Staßfurt-Steinsalz. Die wieder im HQ-Durchmesser fortgeführten Bohrarbeiten verliefen problemlos, lediglich im Carnallit verursachte kavernöses Gebirge im Teufenbereich von 110 bis 120 m kurzzeitige Spülungsverluste. Das

nahende Kavernendach machte sich erst mit dem Anbohren gespannter lösungserfüllter Klüfte in 182 m Teufe bemerkbar, die in der Bohrung zu einem Soleanstieg bis 131 m Teufe führten. Mitte Juni erfolgte nach 183,8 Bohrmetern der Durchschlag in die Kaverne 3.

Nach der Durchführung der unten beschriebenen Messungen wurde das Bohrloch mit einer Kernbohrgarnitur SK6L unter Luftspülung auf 146 mm aufgeweitet. Dabei konnten Tagesleistungen bis 50 m erzielt werden. Der hohe Bohrfortschritt führte aber auch zur Ansammlung von Bohrklein hinter der Erweiterungsbohrkrone und machte auf den letzten Bohrmetern einen teilweisen Gestängeausbau zur Bohrkleinabfuhr erforderlich. Den vorläufigen Abschluss der Bohrarbeiten bildete der Einbau einer PVC-Schutzrohrtour im Vorfeld der echometrischen Hohlraumvermessung [5].

Messungen während der Erkundungsbohrung

Im Rahmen der Kavernenerkundung erfolgten mehrere Messprogramme, die als geophysikalische Verfahren optische Bohrlochscans zur strukturgeologischen Auswertung sowie eine echometrische Hohlraumvermessung umfassten. Als geotechnische Messungen wurden Hydrofrac-Tests zur Ermittlung des Spannungszustands in der Salzscheibe und ein Pumpversuch zur Bewertung der Lösungsbilanz im Kavernendach durchgeführt.

Die Bohrung schließt die lithologische Abfolge vom Liegenden des Leine-Steinsalzes über den Hauptanhydrit, Grauer Salztone und das Staßfurt-Kalilager mit den Übergangsschichten bis zum Hangenden des Staßfurt-Steinsalzes auf. Während der Bohrarbeiten wurden in beiden Teleskopierungen

durch die Fa. Terratec Geophysical Services optische Bohrlochscans zur Aufnahme der lithostratigraphischen Abfolgen durchgeführt, die teilweise signifikante Abweichungen mit mehreren Metern zum geologischen Vorprofil aufwiesen. Im Gegensatz zur ebenfalls durchgeführten Bohrkernaufnahme ermöglichte der Bohrlochscan eine sehr genaue Teufenzuordnung der Schichtgrenzen mit klar erkennbaren Schichtgrenzen.

Eine hohe Relevanz hatten die Spannungssondierungen zur Bestimmung der Minimalspannung in der hangenden Salzbarriere der Kaverne. Sie wurden durch das Institut für Gebirgsmechanik Leipzig (IfG) mittels einer über das Bohrgestänge eingeführten Hydrofracsonde durchgeführt. Im Teufenbereich zwischen 100 und 166 m waren fünf Messungen angesetzt, von denen wegen vorhandener lokaler Undichtigkeiten der Bohrlochkontur nur eine Messung im Carnallitit und zwei Messungen im Staßfurt-Steinsalz auswertbare Ergebnisse lieferten. Diese dokumentieren, dass die Steinsalzscheibe der Kaverne 3 weitgehend entlastet ist und die Einspannung nur noch 20 % des lithostratischen Drucks entspricht.

Überraschend war das Ergebnis der echometrischen Hohlraumvermessung. Bisher wurde für Kaverne 3 ein Volumen zwischen 390.000 und 440.000 m³ angenommen, das aus den bekannten Produktionsdaten und der letzten Sonarvermessung im Jahr 1976 abgeleitet wurde. Die heutige Kaverne weist nach der echometrischen Hohlraumvermessung von der Fa. SOCON Sonar Control ein Volumen von 229.129 m³ auf, erstreckt sich über einen Teufenbereich von 179 bis 222 m und hat einen maximalen Durchmesser von 120 m (Abb. 4).

Auf den Auswertungen ist zudem eine deutliche Hochlage im Kavernensumpf erkennbar. Als Erklärung wird angenommen, dass die Kaverne während der Betriebsphase in einzelnen Solphasen unkontrolliert in die Breite mit Ausbildung einer flachen Firste gesolt wurde. Diese war instabil, wie die gebirgsmechanischen Modellrechnungen zeigten. Deshalb kam es in der Nachbetriebszeit mutmaßlich durch Hochbrechen der Firste zur Ausbildung der heutigen, natürlichen Gewölbebildung, wobei erhebliche Verbruchmassen in den Kavernensumpf stürzten und den Sumpf verfüllten.

Als abschließende Maßnahme wurden rund 5.000 m³ Sole zur Absenkung des Solestands im Gebirge bzw. in der Kaverne abgepumpt. Zielstellung waren die Schaffung eines Puffervolumens und ein Verzicht auf einen Fortbetrieb der bestehenden Solehaltung über die Schrägbohrung von 1999. Mit einer mittleren Förderrate von 7,7 m³/h wurden rund 5.467 m³ Sole gehoben und der Pegel von 131 m auf 180 m Teufe gesenkt. Aus der Diskrepanz zum gemessenen Kavernenhohlraum, der bis zur Teufe von 180 m nur ein Volumen von ca. 945 m³ aufweist, ergeben sich durch den Pumpversuch Hinweise auf erhebliche Lösungsspeicher im konturnahen Gebirgsbereich der Kaverne.

Langzeitsicherer Bohrlochverschluss

Mit der Durchörterung des Salzpakets zwischen den Abbaukammern im Leine-Steinsalz bis zu der im Staßfurt-Steinsalz befindlichen lösungserfüllten Solkaverne stellt die Erkundungsbohrung einen direkten hydraulischen Kurzschluss in der salinaren Hangendbarriere dar. Entsprechend hoch waren die Anforderungen

an den Verschluss des Bohrlochs nach Abschluss der Erkundungsarbeiten: Dieser musste mindestens das Leine-Steinsalz abdichten, standsicher sowie dicht gegenüber den langfristig auftretenden Fluidrücken sein und aus einem langzeitbeständigen, einfach zu verarbeitenden Baustoff bestehen [6].

Vor dem Verwahrungsbeginn erfolgte ein Versuch zum Ziehen der mittlerweile festsitzenden temporären Verrohrung, die sich nur über eine Links-Rechts-Verbindung an der Oberkante des Grauen Salztons lösen ließ. Im Anschluss wurde im Hangenden des Staßfurt-Steinsalzes ein Schlauchpacker gesetzt und mit einer Filterkies-Glimmermischung zusätzlich abgedichtet (Abb. 5). Die anschließende Bohrlochzementation erfolgte im Kontraktorverfahren über eine 2“-Zementationsleitung und umfasste sechs, bis in den Bohrkeller reichende Zementationsabschnitte. Insgesamt mussten rund 2.300 l Baustoff in die Bohrung eingebracht werden. Zementationsverluste bis 49 % verursachten die bereits bekannten Kluftzonen im Carnallitit, die teilweise durch gezieltes Einbringen von Splitt als Stopfmittel frühzeitig abgedichtet wurden.

Als Zement bewährte sich der in einem Mischungsverhältnis von 1:1 mit gesättigter Magnesiumchloridlösung angesetzte Brucitbaustoff Ecopiren 5. Im Vergleich zu ebenfalls geeigneten Magnesiabindern zeichnet sich Ecopiren in seiner Handhabbarkeit durch eine langsamere Abbindezeit und geringere Wärmeentwicklung aus.

Gebirgsmechanische Modellierung

Mit den aus der Erkundungsbohrung erzielten Untersuchungsergebnissen



Abbildung 5: Setzen des Schlauchpackers zur Vorbereitung des langzeitsicheren Bohrlochverschlusses

konnte das vom IfG für das Grubenfeld Angersdorf erstellte geomechanische 3D-Scheibenmodell aktualisiert werden. Es bildet einen bis zur Tagesoberfläche reichenden Ausschnitt des Grubengebäudes im Bereich des Schachtes Halle mit allen relevanten bergbaulichen Auffahrungen ab. Damit waren die großräumige Simulation der mutmaßlich stattgefundenen Entwicklung während der Solung und der nachfolgenden Standzeit

der Kaverne 3 sowie eine langfristige Prognose von Spannungs- und Verformungsprozessen möglich [7]. Für die Prognose wurde eine zweistufige Vorgehensweise gewählt. Ausgehend von einem verkleinerten Testmodell wurden zunächst detailliert das plastische Verformungsverhalten der Solkaverne 3 sowie des Nahbereichs während der Aussolung und die Bildung einer Bruchglocke in der Nachbetriebsphase untersucht. Dafür musste ein zwei-

teiliges Kavernenmodell entwickelt werden, das als Unterteil dem Zustand der 1976 zuletzt vermessenen Kaverne und als Oberteil der aktuellen Sonarvermessung entspricht. Durch anschließende Simulationsrechnungen bis zum Jahr 2018 konnte die Annahme einer unkontrollierten Breitsolung mit Firstverbruch und dem Verfüllen des unteren Kavernenteils mit den Bruchmassen verifiziert werden. Eine langfristige Prognose

u. a. der zeitlich zu erwartenden Senkungen an der Tagesoberfläche, der Kavernenkonvergenz und der daraus resultierenden Belastungen im überlagernden Hauptanhydrit sowie eine mögliche Überzugswirkung auf den Schacht Halle lieferte das 3D-Scheibenmodell.

Die Analyse der Spannungs- und Verformungsentwicklung um Kaverne 3 zeigt, dass sich ein stabiler Gleichgewichtszustand mit konstant bleibenden bzw. wieder zunehmenden Einspannungen einstellt. Plastische Scherverformungen $> 0,1 \%$ (Schädigungen) bleiben auf den Konturbereichen der Hohlräume begrenzt. Die Firststabilität der „sekundären“ Firste ist nach dem ursprünglichen Firstverbruch durch die natürliche Gewölbebildung gegeben. Im Langzeitprozess wird das Haufwerk im Sumpf durch die weitere Konvergenz kompaktiert und hochgepresst, bis der Hohlraum weitestgehend mit dem Haufwerk erfüllt ist, sich dessen Konvergenzrate weiter reduziert und somit niedriger ist als in früheren Abschätzungen.

Infolge der bergbaulichen Einwirkungen ist das Minimalspannungskriterium im Aller-Steinsalz oberhalb der Leine-Steinsalzabbaue für einen (hypothetischen) hydraulischen Teufendruck von ca. 5,9 MPa in einem 100 m breiten Streifen verletzt. Dies entspricht den Ergebnissen früherer Analysen, weshalb ein Versatz der Abbaue im Leine-Steinsalz zur Wiederherstellung und dem langfristigen Integritätserhalt zwingend erforderlich ist.

Schlussbetrachtung

Im Ergebnis der Arbeiten zum LZSN der Grube Teutschenthal war die Kaverne 3 frühzeitig als wesentlicher technogener Schwachpunkt für die

Planung durchzuführender Sicherungsmaßnahmen im Grubenfeld Angersdorf identifiziert worden. Aufgrund der Komplexität der bergbaulichen bzw. geologischen Situation sowie fehlender Daten zur aktuellen Situation konnte bisher keine abschließende Bewertung durchgeführt werden. Mit den zur Erkundung der Kaverne 3 planungsgerecht durchgeführten Bohrarbeiten sowie den geomechanischen und geophysikalischen Untersuchungsergebnissen wurde der notwendige Kenntnisstand erreicht. Die aktualisierten numerischen Modellrechnungen des IfG weisen nach, dass die reale Kavernengeometrie aus geomechanischer Sicht erheblich stabiler als die bisher angenommene ist und eine Standsicherheit der Kaverne 3 grundsätzlich gegeben ist. Gleichzeitig ist die Auspressrate infolge Konvergenz geringer, als bisher angesetzt.

Mit der 2. FS des LZSN der Grube Teutschenthal [8] liegt gleichzeitig ein behördlich genehmigtes Schließungskonzept vor, das der Situation der hydraulisch miteinander verbundenen Grubenfelder mit teilweise gefluteten Grubenhohlräumen Rechnung trägt. Ausgehend von der Szenarienanalyse unter Berücksichtigung der im Grubengebäude vorhandenen Lösungen sowie möglicher Löseprozesse, des potentiellen Speicherraums und der Migrationswege im Grubengebäude wird dort auf Basis von numerischen Modellrechnungen gezeigt, dass sich mit Realisierung des geplanten Sicherungskonzepts sowie des im Grubengebäude insgesamt vorhandenen Speichervolumens für Lösungen kein Lösungsdruck entwickelt, der die hydromechanische Integrität der natürlichen und technogenen Barrieren gefährden könnte.

Literatur

- [1] FILLINGER, E. & MÄNZ, K. (2015): Infrastrukturelle Erschließung des Grubenfeldes Angersdorf der Grube Teutschenthal. In: Kali & Steinsalz, H. 2, S. 22–29; Berlin.
- [2] BMU (2002): Verordnung über den Versatz von Abfällen unter Tage (Versatzverordnung–VersatzV) vom 29.07.2002; Berlin.
- [3] IfG (2016): Bestandsanalyse Kaverne 3, Bewertung Zustand / Sicherungsmaßnahmen. 2. FS LZSN vom 30.06.2000 für das Grubengebäude der GTS. Institut für Gebirgsmechanik GmbH; Leipzig.
- [4] EBERHARD, A. (2015): Entwicklung eines technischen Konzeptes zur bergmännischen Aus- und Vorrichtung einer Solkaverne unterhalb eines Kali-Abbaureviers für Versatzmaßnahmen. Masterarbeit TU Clausthal; Clausthal-Zellerfeld.
- [5] KELLERBAUER, S. (2019): Schlussbericht Aufwältigung und Erkundung der Kaverne 3 im Grubenfeld Angersdorf. Dr. Kellerbauer Geologie und Geotechnik; Marktschellenberg.
- [6] IfG (2017): Gebirgsmechanische Stellungnahme zur Machbarkeit einer langzeitsicheren Abdichtung der geplanten Erkundungsbohrung für Kaverne 3. Abdichtungskonzept. Institut für Gebirgsmechanik GmbH; Leipzig.
- [7] IfG (2019): Abschließende Gebirgsmechanische Bewertung/Sicherungsmaßnahmen Kaverne 3, Gebirgsmechanische Modellierung, Zwischenbericht. Institut für Gebirgsmechanik GmbH; Leipzig.
- [8] IfG (2016): Abschließende Analyse und Bewertung der langzeitigen gebirgsmechanischen Entwicklung. 2. FS LZSN vom 30.06.2000 für das Grubengebäude der GTS. Institut für Gebirgsmechanik GmbH; Leipzig.

K+S Gruppe

UMSATZ UND ERGEBNIS ÜBER VORJAHR

K+S hat den Umsatz im dritten Quartal 2019 um 8 % auf 905 Mio. € gesteigert. Das EBITDA verdoppelte sich im gleichen Zeitraum auf 81 Mio. €. Höhere Preise und eine gestiegene Absatzmenge im Kundensegment Landwirtschaft waren für die positive Entwicklung ausschlaggebend.

In der operativen Einheit Europe+ stieg der Umsatz im dritten Quartal um 9 % auf 621 Mio. € und das EBITDA erreichte 67 Mio. € (Q3/18: 22 Mio. €). Auch in der operativen Einheit Americas verbesserte sich der Umsatz um 4 %, während das EBITDA um 12 % niedriger im Vergleich zum Vorjahr ausfiel.

K+S rechnet für das Gesamtjahr 2019 mit einer leichten Umsatzsteigerung. Für das EBITDA wird unter Berücksichtigung dieser Effekte eine Steigerung auf rund 650 Mio. € (2018: 606 Mio. €) erwartet. Unverändert sollte sich der bereinigte Freie Cashflow gegenüber dem Vorjahr deutlich verbessern und erstmals seit 2013 wieder positiv ausfallen (2018: -206 Mio. €).

MFS AFRICA UND K+S INVESTIEREN IN AKORION

K+S und das südafrikanische Fintech-Unternehmen MFS Africa investieren über ein gemeinsames Joint Venture in Akorion, einen Anbieter für digitale landwirtschaftliche Innovationen in Uganda. Ziel ist es, die von Akorion entwickelte, digitale Handelsplattform „EzyAgric“ weiter auszubauen. Diese ermöglicht Kleinbauern in Afrika einen deutlich besseren Marktzugang und zugleich effiziente Abläufe entlang der Wertschöpfungskette für Agrarprodukte.

Neben Beratungsdienstleistungen bringt K+S sein landwirtschaftliches

Anwendungswissen in dieses Netzwerk ein und liefert über den lokalen Partner Grainpulse die benötigten Düngemittel für die Kleinbauern.

MFS Africa plant, auf der Grundlage seines digitalen Zahlungssystems, die „EzyAgric“-Technologie auf eine panafrikanische Ebene zu bringen. K+S und MFS Africa sind zu gleichen Teilen Partner eines neu gegründeten Joint Ventures. Über dieses Gemeinschaftsunternehmen haben die Partner nun in Akorion investiert. Akorions „EzyAgric“ verbindet Kleinbauern über ein Netzwerk von Agenten mit Lieferanten, Abnehmern und Händlern und hilft ihnen damit, Erträge und Haushaltseinkommen zu verbessern.

K+S BÜNDELT GESCHÄFT IN K+S MINERALS AND AGRICULTURE GMBH

K+S hat einen weiteren Schritt auf dem Weg zu „One K+S“ vollzogen: Die Tochtergesellschaften K+S KALI GmbH und esco – european salt company GmbH & Co. KG sind jetzt in einer Gesellschaft mit dem neuen Firmennamen K+S Minerals and Agriculture GmbH zusammengefasst worden. Bereits im Juli hatte K+S die Entsorgungs- und Logistikaktivitäten in der K+S KALI GmbH zusammengefasst.

Die Gesellschaft K+S Minerals and Agriculture GmbH ist zum 31. Oktober 2019 in das Handelsregister eingetragen worden. Geschäftsführer sind **Alexa Hergenröther** und **Bastian Siebert**.

Personalien

Dr. Burkhard Lohr (56) wird bis Juni 2025 weiterhin Vorsitzender des Vorstands der K+S Aktiengesellschaft sein. Der Aufsichtsrat der Gesellschaft hat in seiner Sitzung am 22. August 2019 das noch bis 31. Mai 2020 laufende Mandat um fünf Jahre verlängert. Gleichzeitig wurde auch das noch bis 11. Mai 2020 laufende Mandat von

Finanzvorstand **Thorsten Boeckers** (44) um fünf Jahre bis Mai 2025 verlängert. Das noch bis Ende September 2020 laufende Mandat von **Mark Roberts** (56), Chief Operating Officer, kann aus formalen Gründen erst im Herbst des laufenden Jahres verlängert werden.

K+S Minerals and Agriculture GmbH

DIE ERNÄHRUNG VON MORGEN NACHHALTIG SICHERN

Wachsende Bevölkerungszahlen, der Klimawandel und ein weltweit verändertes Konsumverhalten rücken die nachhaltige Ernährungssicherung als drängende Herausforderung unserer Zeit immer stärker in den Fokus. Es gilt Allianzen zwischen Industrie, Forschung und Start-up-Szene zu knüpfen und innovative Geschäftsmodelle voranzutreiben.

Auf Einladung von K+S kamen zu diesem Thema am 28. November der niedersächsische Minister für Wirtschaft, Arbeit, Verkehr und Digitalisierung, Dr. Bernd Althusmann, sowie weitere Stakeholder aus Politik, Wissenschaft und Wirtschaft sowie Start-up-Unternehmen am K+S-Standort Sigmundshall bei Hannover zusammen. Gleichzeitig markierte die Veranstaltung den Startschuss für den Aufbau des neuen Innoparks von K+S in Sigmundshall. Insbesondere um Ideen für die Landwirtschaft und die Ernährung von morgen zu entwickeln, wird K+S diesen Innovationspark aufbauen.

ENTSCHEIDUNG DER FGG-MINISTERKONFERENZ

K+S begrüßt die am 15. August 2019 von der Ministerkonferenz der Flussgebietsgemeinschaft (FGG) Weser getroffene Entscheidung, dass die

Salzabwasserfernleitung an die Oberweser durch kosteneffizientere alternative Maßnahmen ersetzt wird. Damit kommt der Einstapelung von Salzabwässern unter Tage die zentrale Bedeutung zu. Die FGG Weser schafft Klarheit für die Entsorgung, nachdem bereits seit längerer Zeit feststeht, dass die Versenkung Ende 2021 beendet wird.

K+S sieht sich darin bestärkt, in der dauerhaften Einstapelung unter Tage einen erfolgsversprechenden Weg für die umweltschonende und sichere Entsorgung von Produktionsabwässern entwickelt zu haben. Mitte August war vom Regierungspräsidium in Kassel die vorübergehende Speicherung von Produktionsabwässern in einem stillgelegten Grubenfeld genehmigt worden.

Wacker Chemie AG

Salzbergwerk Stetten

Carmen Sautter hat mit sofortiger Wirkung die Funktion als Leiterin Qualitätsmanagement im Salzbergwerk Stetten der Wacker Chemie AG übernommen. Sie übernimmt die Aufgabe zusätzlich zu Ihrer bisherigen Tätigkeit als Leiterin des Entsorgungsfachbetriebs am Standort Stetten. Sautter ist bereits seit 15. Januar 2019 im Unternehmen und verfügt unter anderem über langjährige Erfahrung im Bereich Umweltschutz.

Mit Wirkung zum 01. Januar 2020 wird **Andre Sträßner** neue Aufgaben innerhalb des Wacker-Konzerns übernehmen und die Funktion des Technischen Leiters im Salzbergwerk Stetten der Wacker Chemie AG antreten. Sträßner war seit mehr als 11 Jahren im Werk Burghausen der Wacker Chemie AG beschäftigt, zuletzt in leitender Funktion im Bereich Medien/Energie.



Verband der Kali- und Salzindustrie e.V.

Herausgeber
Verband der Kali- und Salzindustrie e. V.
Reinhardtstraße 18A
10117 Berlin
Tel. (030) 847 10 69.0
Fax (030) 847 10 69.21
E-Mail: info.berlin@vks-kalisalz.de
www.vks-kalisalz.de