

01
2021

KALI & STEINSALZ

Wertvolle Rohstoffe aus Deutschland



Die Notwendigkeit eines klimapolitischen Handlungskonzeptes



Christoph Wehner

Sehr geehrte Leserinnen und Leser,

im Februar dieses Jahres hat der VKS seine Positionen zur Bundestagswahl 2021 „Nachhaltig Handeln – Heimische Rohstoffe fördern“ (www.vks-kalisalz.de) an ausgewählte Bundesminister, Staatssekretäre, Ministerpräsidenten, Minister auf Landesebene, Bundestagsabgeordnete und weitere Funktionsträger versendet. Angesichts der politischen Weichenstellungen für ein nachhaltigeres und klimaneutrales Europa sowie der herausfordernden Situation am internationalen Kalimarkt war es uns wichtig, die existenzgefährdenden Herausforderungen klar zu benennen.

Bei den VKS-Positionen steht die anstehende Transformation der deutschen Wirtschaft (Stichwort Klimaneutralität in Europa bis 2050) mit seiner Energie- und Klimapolitik im Mittelpunkt (s. auch Editorial 03/2020). Hier bedarf es seitens der Politik dringend eines klimapolitischen Handlungskonzeptes für die Kali- und Salzindustrie, damit die Branche einen wirtschaftlich tragfähigen Dekarbonisierungspfad beschreiten kann.

In diesem klimapolitischen Handlungskonzept muss berücksichtigt werden, dass unsere energieintensive Branche die Zusatzkosten aus der Transformation am Markt nicht weitergeben kann. Unsere Branche muss mit konkreten Fördermaßnahmen unterstützt und einem umfassenden Carbon-Leakage-Schutz gestärkt werden. Soll insbesondere der Wechsel von Gas auf grünen Strom technisch gelingen und wirtschaftlich verkraftbar sein, benötigt die Branche grünen Strom in ausreichender Menge zu wettbewerbsfähigen Preisen („Industriestrompreis“) sowie Zuschüsse bei der Umrüstung. Ausländische Wettbewerber unterliegen keiner vergleichbaren CO₂-Bepreisung, deshalb gilt es diese Zusatzkosten vollständig zu kompensieren.

Eine solche Kompensation wird von Politik und Gesetzgebung derzeit nur unzureichend umgesetzt. Die im Rahmen des seit 01.01.2021 geltenden Brennstoffemissionshandelsgesetzes kürzlich beschlossene Carbon-Leakage-Verordnung bietet – trotz aller Versprechungen der Politik – keine ausreichende und angemessene Entlastung der im internationalen Wettbewerb stehenden Unternehmen der Kali- und Salzindustrie. Angesichts der stark gestiegenen CO₂-Preise ist auch dringend eine Entlastung der indirekten CO₂-Kosten im Rahmen des europäischen Emissionshandels notwendig („Strompreiskompensation“).

Mit den Möglichkeiten zur „Klimaneutralität in der Kali- und Salzindustrie“ befasst sich – am Beispiel der K+S AG – ein Beitrag in dieser Ausgabe. Nach meinem Dafürhalten wird sehr deutlich, was in der Vergangenheit geleistet wurde (konsequenter Einsatz von gasbetriebenen und hocheffizienten Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen) und wo die Schwierigkeiten, Grenzen und Forderungen bei der Dekarbonisierung liegen. Umso mehr ist das zuvor geforderte klimapolitische Handlungskonzept dringend notwendig.

Es grüßt Sie mit einem herzlichen Glückauf

Ihr

Christoph Wehner

INHALT

03 Editorial

04 Impressum

05 Abstracts

06 Gamrad-Streubel, Haase, Rudolph, Birk

Gesundheitsstudie im Untertagekalisalzbergbau (2017 – 2020)

14 Midden, Tebrügge

Klimaneutralität in der Kali- und Salzindustrie

22 Triebel, Flach

Sicherheitsaspekte von Sprengstoffen im Kali- und Steinsalzbergbau

28 Sommer, Kockx, Karsten, Wölk, Schmeisky, Gose

Biologische Bodenkrusten auf den Rückständen der IHS-Pilothalde in Zielitz

35 Nachrichten aus den Unternehmen

Titelbild: Auf dem Weg zur Sprengstoffproduktion bei MSW-Chemie GmbH, dem Sprengstoffwerk der K+S Gruppe
Quelle: Uwe Handke, K+S

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 8471069 0
Fax +49 (0)30 8471069 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 8471069 13

Redaktionsausschuss

Dr. Burkhard Dartsch,
REKS GmbH & Co. KG
Gerd Kübler,
K+S Aktiengesellschaft
Dr. Ludger Waldmann,
K+S Aktiengesellschaft
Christoph Wehner, VKS e. V.

Gestaltung

Alf Germanus, Grafische Erzeugnisse
Bonner Str. 58, 53332 Bornheim

Hinweis zu Rechten an Bildern, Grafiken u. a.

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

06 Gamrad-Streubel, Haase, Rudolph, Birk: Health Study in underground salt mining (2017 – 2020)

Occupational exposure limits (OEL) for nitrogen oxides (NOX) and diesel particulate matter measured as elemental carbon (EC-DPM) have been significantly reduced by German authorities. An extensive 5-year transitional action plan was developed to ensure compliance with these OELs. The health study as a part of this action plan investigated the impact of underground exposures on miners' health.

As the health study was designed cross-sectionally, potential associations of health effects with exposure should be determined by comparing specific effect biomarkers before and after the participants' shift. Underground work areas of participants were divided into two groups (maintenance and mining) in order to consider the different exposure levels.

Evaluation of medical data revealed no relevant differences between the three groups (surface production, underground maintenance, underground mining) and, in general, no evidence of adverse health effects due to exposure were found.

The final results indicate that exposures underground do not result in clinically relevant effects on the health of underground salt and potash miners.

14 Midden, Tebrügge: Towards a climate-neutral potash and salt industry – Decarbonisation scenarios exemplified by K+S

Climate protection is essential for the economy, politics and the society. Europe aims to be the first climate-neutral continent by 2050. In that context K+S analysed pathways for further decarbonisation of the potash and salt industry.

22 Triebel, Flach: Safety aspects of explosives in potash and rock salt mining

The safety-relevant properties of civil explosives are of outstanding importance for occupational safety – not only, but especially in underground mining. The historical development of civil explosives is clearly marked by major improvements in the safety of handling. Furthermore, the adaptation of the explosives properties to the respective application and the optimization of the costs are important drivers for new developments.

28 Sommer, Kockx, Karsten, Wölk, Schmeisky, Gose: Biological soil crusts on the Zielitz tailings pile cover

The covering of potash tailings piles aims at minimizing the rain induced brine formation. At the Zielitz site a new covering technique – the infiltration barrier system (IHS) – was developed. By adding insoluble compounds to the top layer of the tailings the water storage capacity and therefore the evaporation rate is improved. During field trials the growth of various photosynthetic active microorganisms and even small plants could be observed. These biological soil crusts can improve the evaporation rates at the surface, contribute to their stability and in the long term lead to soil formation, which finally facilitates settlement by higher plants.

Gesundheitsstudie im Untertagekalisalzbergbau (2017-2020)

Die Arbeitsplatzgrenzwerte (AGW) für Stickoxide (NOX) und partikelförmige Dieselmotoremis-sionen (EC-DME) wurden von den deutschen Behörden deutlich verschärft. Für die Einhaltung der Grenzwerte nach Ablauf einer fünfjährigen Übergangsfrist im November 2021 hat die K+S AG ein umfangreiches Maßnahmenpaket geschnürt. Die Gesundheitsstudie, welche diese Maßnahmen begleitete, untersuchte den Einfluss der Expositionen unter Tage auf die Gesund-heit der Bergleute.

Diese Studie war eine Querschnittsstudie und sollte durch den Vergleich spezifischer Effekt-Biomarker vor und nach der Schicht mögliche Zusammenhänge mit der Exposition aufdecken. Durch die Aufteilung der Arbeitsbereiche von Studienteilnehmern unter Tage in Instandhaltung und Gewinnung wurden hierbei auch die unterschiedlichen Expositionsniveaus betrachtet.

Die Auswertung der medizinischen Studiendaten ergab keine relevanten Unterschiede zwi-schen den Vergleichsgruppen Fabrik, Instandhaltung (unter Tage) und Gewinnung (unter Tage) und auch insgesamt keinerlei Hinweise auf gesundheitliche Beeinträchtigungen aufgrund der Exposition.

Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass Expositionen unter Tage keine klinisch relevanten Aus-wirkungen auf die Gesundheit von Salz- und Kalibergleuten unter Tage haben.

Health Study in underground salt mining (2017 – 2020) Occupational exposure limits (OEL) for nitrogen oxides (NOX) and diesel particulate matter measured as elemental carbon (EC-DPM) have been significantly reduced by German authorities. An extensive 5-year transitional action plan was developed to ensure compliance with these OELs. The health study as a part of this action plan investigated the impact of underground exposures on miners' health.

As the health study was designed cross-sectionally, potential associations of health effects with exposure should be determined by comparing specific effect biomarkers before and after the participants' shift. Underground work areas of participants were divided into two groups (maintenance and mining) in order to consider the different exposure levels.

Evaluation of medical data revealed no relevant differences between the three groups (surface production, underground maintenance, underground mining) and, in general, no evidence of adverse health effects due to exposure were found.

The final results indicate that exposures underground do not result in clinically relevant effects on the health of underground salt and potash miners.

Hintergrund und Ziel der Studie

Beschäftigte im Kali- und Steinsalzbergbau unter Tage sind mit Belastungen der Atemluft durch Abgase der verwendeten mobilen Maschinen und Fahrzeuge sowie in geringerem Ausmaß durch Sprengschwaden konfrontiert. In Deutschland wurden die Arbeitsplatzgrenzwerte (AGW) für Stickoxide (NOX) und partikelförmige Dieselmotoremissionen (EC-DME), gemessen als elementarer Kohlenstoff, seitens des Gesetzgebers neu bewertet. Dies bedeutet für Stickoxide eine Reduktion des AGW auf 2 ppm (NO) und 0,5 ppm (NO₂) sowie einen neuen AGW von 50 µg/m³ für EC-DME [1, 2, 3].

Der deutsche Bergbau konnte im Ausschuss für Gefahrstoffe (AGS), ein das BMAS beratender Ausschuss, eine fünfjährige Ausnahmegenehmigung bis Oktober 2021 (NOX) und Oktober 2022 (EC-DME) erwirken; zwischenzeitlich wurde die Frist auf Antrag der Branche Bergbau auf den 21. August 2023 verlängert. Für die zukünftige Einhaltung dieser verschärften Grenzwerte unter Tage setzt die K+S AG ein umfangreiches Maßnahmenpaket um, verbunden mit erheblichen Investitionen. Dieses umfasst unter anderem den Austausch von mobilen Maschinen und Fahrzeugen unter Tage durch Dieselfahrzeuge der neuesten Generation und durch Elektrofahrzeuge, durch den Einsatz emissionsärmerer Sprengstoffe, durch die Optimierung der Wetterführung sowie durch Veränderungen der Prozesse unter Tage wie z. B. im rückwärtigen Bereich.

Begleitet wurde dieses Maßnahmenpaket in den Jahren 2017 bis 2019 durch die Gesundheitsstudie („Epidemiologische Studie zu gesundheitlichen Effekten bei unter Tage Beschäftigten mit Exposition gegenüber Dieselmotorabgasen (EC-DME) und Sprenggasen (Stickstoffoxide)“) an den Standorten Zielitz und Werra.

Das Ziel der Gesundheitsstudie war es, zu bestimmen, ob sich untertägig Beschäftigte im Kalibergbau von nicht-exponierten Beschäftigten über Tage bezüglich physiologischer Parameter als Hinweis auf mögliche gesundheitliche Beeinträchtigungen unterscheiden. Dabei wurden Expositionen gegenüber Dieselaabgasen und Sprenggasen (Restsprengschwaden) betrachtet. Auf Basis wissenschaftlicher Erkenntnisse sollten Aussagen getroffen werden, ob sich hieraus mögliche Gesundheitsrisiken für die Beschäftigten ergeben.



Dr. Lisa Gamrad-Streubel
Chemikerin,
Senior Consultant



Lisa-Marie Haase
Toxikologin,
Senior Consultant



Dr. Katharina Rudolph
Biologin,
Senior Consultant



Thomas Birk
Epidemiologe,
Principal

Ramboll Deutschland GmbH,
beauftragtes Beratungsunternehmen zur Durchführung der Gesundheitsstudie an den Standorten der K+S AG

„Die Gesundheitsstudie“

Projektorganisation

Das Kernteam zur Bearbeitung des Projektes der Gesundheitsstudie bestand aus vier Projektmitgliedern: Ramboll Deutschland GmbH, das Institut für Prävention und Arbeitsmedizin der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung und Institut der Ruhr-Universität Bochum (IPA), das Institut für Gefahrstoff-Forschung der BG RCI (IGF) und die K+S AG. Die Berufsgenossenschaft Rohstoffe und chemische Industrie (BG RCI) beauftragte das Beratungsunternehmen Ramboll mit der Durchführung der Studie bei der K+S AG. Die sogenannte studiensteuernde Projektleitung bestand aus Vertretern der BG RCI, K+S AG und dem IPA. Darüber hinaus wurde aufgrund des wissenschaftlichen Charakters der Gesundheitsstudie ein Begleitkreis mit wissenschaftlichen Experten verschiedener, für das Projekt relevanter Fachrichtungen, berufen.

Die Qualitätssicherung für den medizinischen Bereich erfolgte durch Vertreter des IPA, für den Bereich der Expositionsmessungen durch Vertreter des IGF. Für die Analyse der Blut- und Urinproben wurde das unabhängige Auftragslabor Bioscientia in Ingelheim beauftragt.

Aufbau der Studie

Die Gesundheitsstudie ist eine Querschnittsstudie. Das bedeutet, dass die Studienteilnehmer an einem einzigen Tag sowohl vor als auch nach ihrer Schicht medizinisch untersucht wurden und die Exposition, welcher sie bei der Ausübung ihrer Arbeit ausgesetzt waren, an dem gleichen Tag während ihrer Schicht gemessen wurde (Abbildung 1).

Während der ca. 45-minütigen medizinischen Untersuchung vor ihrer Schicht unterzogen sich die Studienteilnehmer, die vorher eine entsprechende Einverständniserklärung abgegeben hatten, verschiedenen Untersuchungen. Zunächst wurden allgemeine Daten wie Alter, Gewicht, Körpergröße, Blutdruck und Puls aufgenommen. Darüber hinaus wurden Blut- und Urinproben der Studienteilnehmer gesammelt und für die Laboranalyse präpariert. Ein Teil der Urinparameter wurde direkt vor Ort bestimmt und dokumentiert. Vor der Blutentnahme führte der Studienarzt/die Studienärztin ein Aufklärungsgespräch mit den Studienteilnehmern. Darüber hinaus erfolgte eine Lungenfunktionsuntersuchung am Bodyplethysmographen und eine FeNO-Messung zur Bestimmung des NO-Gehalts in der Ausatemluft.

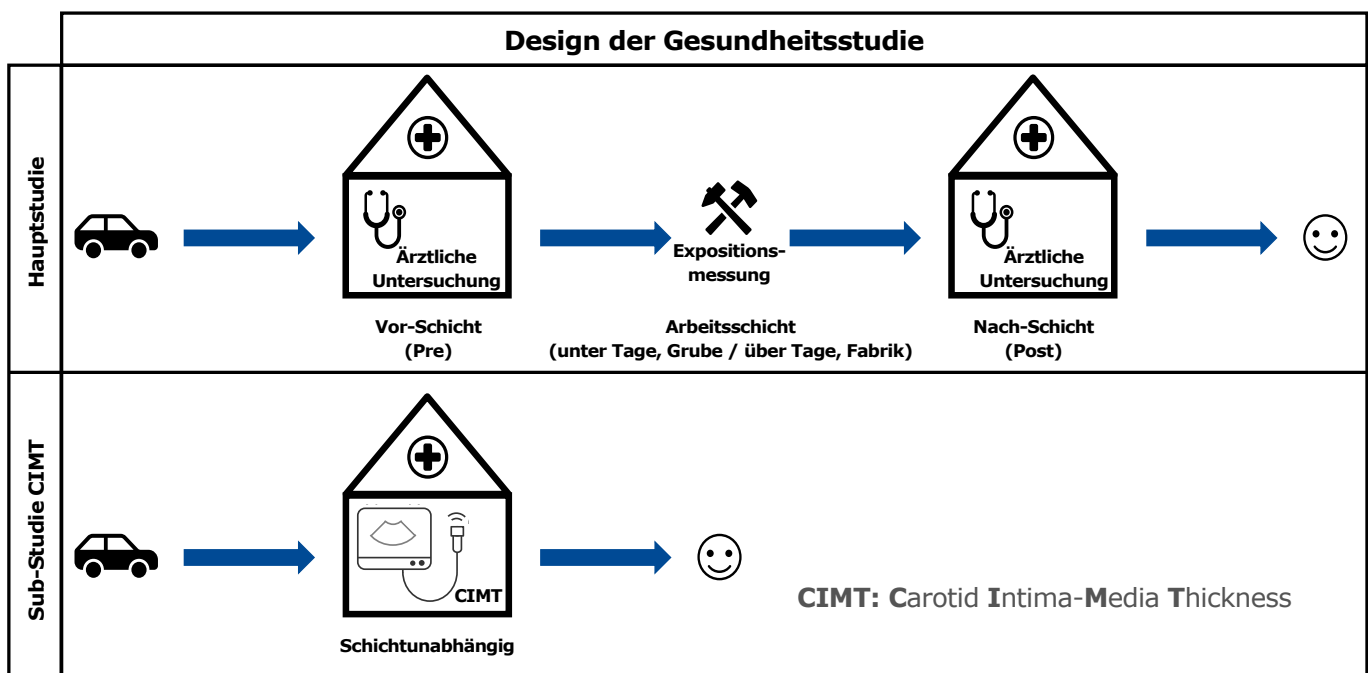


Abb. 1 Schematische Darstellung des Ablaufs der Gesundheitsstudie sowie der Untergruppe CIMT.

Dieser Ablauf wurde nach der Schicht wiederholt. Im Gegensatz zur Untersuchung vor der Schicht wurde bei den allgemeinen Daten jedoch nur Puls und Blutdruck aufgenommen und es erfolgte ergänzend eine ärztliche Untersuchung.

Während der ausgewählten Schicht trugen die Studienteilnehmer Geräte zur Messung der personenbezogenen Exposition gegenüber NO, NO₂, CO, EC-DME und A-Staub. Diese erhielten sie unmittelbar vor Schichtbeginn (nachdem sie sich umgezogen hatten) bei den Mitarbeitern des IGF. Für die Expositionsmessung der unter Tage Beschäftigten wurden die Messgeräte ebenfalls über Tage angelegt, um so die gesamte Schicht in der Messung abzudecken. Für den Ausgleich der Temperaturunterschiede über und unter Tage wurden die Geräte entsprechend vortemperierte. Neben den Expositionsmessungen wurden außerdem Messprotokolle geführt, die Auskunft über die Aufgabebereiche, die zeitlichen Abläufe, die Einsatzorte sowie der genutzten Fahrzeuge lieferten.

Ein Teil der Gesundheitsstudie war die CIMT¹-Untersuchung, welche an einer kleineren Gruppe von Studienteilnehmern erfolgte. Hierbei handelt es sich um eine Ultraschallmessung der Dicke der Halsschlagader. Diese Untersuchung wurde nicht an demselben Tag durchgeführt wie die reguläre Untersuchung, da es sich hierbei um einen Langzeit-Parameter handelt und daher kein direkter Bezug zu der gemessenen Exposition erforderlich war. Es wurde ein separater Termin für diese Untergruppe vereinbart.

In der Datenanalyse wurden die vor- und nach-Schicht-Werte der Biomarker verglichen (auch hinsichtlich des Expositionsniveaus), um Zusammenhänge zu identifizieren, die expositionsabhängige Gesundheitseffekte widerspiegeln oder vorhersagen könnten. Mögliche Langzeiteffekte wurden durch den Vergleich spezifischer Marker (Lungenfunktionsparameter, CIMT) mit Indikatoren der durchschnittlichen Expositionen analysiert.

Gesundheitliche Effekte

Die gesundheitlichen Endpunkte der Gesundheitsstudie waren hauptsächlich Biomarker für kardiovaskuläre Erkrankungen oder Risiken, Entzündungen und immunologische Reaktionen sowie Erkrankungen der Lunge und der Atemwege.

Informationen zu gesundheitlichen Effekten wurden aus Vorabfragebögen, die von den Studienteilnehmern selbst

auszufüllen waren und Fragen zum aktuellen und früheren Gesundheitszustand der Atemorgane sowie zum Tabakkonsum enthielten, einer von dem Studienarzt/der Studienärztin durchgeführten Anamnese, den Ergebnissen der medizinischen Untersuchungen und den Laboranalysen der Biomarker gewonnen.

Die zu untersuchenden Biomarker wurden im Rahmen einer zuvor durchgeführten Machbarkeitsstudie bestimmt. Im Folgenden gibt es eine Auswahl dieser Marker, welche auch als Schlüsselparameter definiert wurden:

Kardiovaskuläre Parameter:

Partielle Thromboplastinzeit (PTT), Thromboplastinzeit (TPZ; Quick), Thrombozyten, Blutdruck, Intima-media-Dicke (Langzeitparameter)

Entzündung und Immunantwort:

Clubzellprotein (CC16), C-reaktives Protein (CRP), Immunglobulin E (IgE), Interleukin-8 (IL-8), Interleukin-1 Beta (IL-1β), Interleukin-6 (IL-6), Myeloperoxidase (MPO), Tumornekrose-Faktor α (TNF-α), Neutrophile, NO in der Ausatemluft (FeNO)

Atemwegs-Parameter:

FEV₁, FVC

Expositionen unter Tage

Beschäftigte unter Tage sind, bedingt durch ihre Arbeitsumgebung, verschiedenen Gefahrstoffen in unterschiedlichen Konzentrationen ausgesetzt. So werden für die verschiedenen bergbaulichen Prozesse, die damit verbundenen Tätigkeiten und die Logistik eine Vielzahl (> 1.000 im Werk Werra und > 540 im Werk Zielitz) diesel- und elektrischbetriebener Maschinen eingesetzt. Lade- und Be- raubemaschinen sowie die Befahrungsfahrzeuge sind zum größten Teil dieselbetrieben. Die verschiedenen Arbeitsmaschinen, wie z. B. Sprenglochbohrwagen oder Ankerbohrwagen, werden zwar während des Arbeitsprozesses elektrisch betrieben, zum Umsetzen der Geräte werden jedoch auch Dieselmotoren eingesetzt.

Neben dieselbetriebenen Maschinen und Fahrzeugen sind Sprengungen eine weitere Expositionsquelle. Sprengungen werden zwischen den Schichten bei Abwesenheit der Beschäftigten in den Gewinnungsbereichen, ausgeführt, wobei es circa 120 Sprengungen pro Tag in der Grube Hattorf/Wintershall und 50 pro Tag in der Grube Zielitz gibt. Auf-

¹ CIMT: Carotid Intima-Media Thickness (dt.: Dicke der Intima-Media der Arteria carotis (Halsschlagader))

grund der besonderen Wetterführung unter Tage können Beschäftigte in der Regel allerdings auch dann exponiert werden, wenn sie nicht direkt mit dieselbetriebenen Maschinen in Kontakt kommen und obwohl die Sprengungen nur zwischen den Arbeitsschichten durchgeführt werden.

Während der Studie wurde die Exposition jedes Studienteilnehmers gegenüber ausgewählten Gefahrstoffen (NO, NO₂, CO, EC-DME und A-Staub) dieselbetriebener Maschinen und Fahrzeugen sowie Sprengungen durch personengetragene Messungen am Tag der jeweiligen medizinischen Untersuchung bestimmt. Dadurch wird eine direkte Beurteilung möglicher Zusammenhänge zwischen der Exposition und gesundheitlichen Effekten ermöglicht.

Studienpopulation sowie Ein- und Ausschlusskriterien

Die Größe der Studienpopulation wurde im Vorfeld der Gesundheitsstudie im Rahmen einer Machbarkeitsstudie ermittelt. Hierbei wurden Berechnungen durchgeführt, um die Anzahl der Studienteilnehmer zu bestimmen und so eine ausreichende Stärke der statistischen Zusammenhänge zwischen Exposition und gesundheitlichen Effekten zu gewährleisten. Auf dieser Grundlage wurde die zu erzielende Größe der Studienpopulation auf insgesamt 1.250 festgelegt (1.000 unter Tage Beschäftigte, 250 nicht-exponierte Produktionsbeschäftigte). Aufgrund dieser hohen Zielzahlen der Studienpopulation wurden mehrere Standorte der K+S AG berücksichtigt. Hierbei handelte es sich um die Produktionsstandorte Zielitz und Werra (Herfa, Hera, Hattorf, Wintershall).

Für die Teilnahme an der Gesundheitsstudie mussten die Studienteilnehmer bestimmte Kriterien erfüllen. Diese wurden während der Studienkonzipierung, vor Beginn der Studientätigkeiten, festgelegt und im Studienprotokoll beschrieben. Dementsprechend galt, dass Mitarbeiter aus den Grubenbetrieben zum Zeitpunkt der Studiendurchführung mindestens 1 Jahr ausschließlich unter Tage tätig waren und zuvor weniger als 1 Jahr in einem anderen (Nicht-Kali-) Bergwerk gearbeitet hatten. Mitarbeiter aus den über Tage Produktionsstätten mussten mindestens 1 Jahr in der Fabrik tätig gewesen sein und zuvor weniger als 1 Jahr unter Tage.

Darüber hinaus wurden potenzielle Studienteilnehmer mit chronisch entzündlichen Erkrankungen wie chronisch rheumatische Erkrankungen oder entzündliche Erkrankungen des Magen-Darm-Trakts ausgeschlossen. Studienteilneh-

mern mit akuten Krankheitssymptomen einer Erkältung oder Heuschnupfen wurde ein neuer Untersuchungstermin zugewiesen. Für Mitarbeiter über Tage galt außerdem, dass eine berufsbedingte Exposition gegenüber NO, NO₂, CO oder EC-DME ausgeschlossen werden musste, um an der Gesundheitsstudie teilnehmen zu dürfen.

Datenschutz und Ethische Prinzipien

Die Einhaltung datenschutzrechtlicher Bestimmungen war ein wichtiger Aspekt der Gesundheitsstudie. Maßnahmen, welche dies umsetzen sollten, wurden in Vorbereitung der Studiendurchführung in einem Datenschutzkonzept festgehalten. Dieses Konzept wurde in Abstimmung mit dem Datenschutzbeauftragten der BG RCI und der K+S AG erstellt. Es basiert auf dem Einsatz eines Treuhänders und der ausschließlichen Verwendung von pseudonymisierten Daten. Darüber hinaus wurde die Einhaltung der EU-Datenschutzgrundverordnung (EU DSGVO) bestätigt.

Für die Gewährleistung, dass während der Studiendurchführung ethische Standards eingehalten wurden und zum Erreichen wissenschaftlicher Anerkennung wurde die Gesundheitsstudie der Ethik-Kommission der Ruhr-Universität Bochum (RUB) zur Beurteilung vorgelegt. Es bestanden hinsichtlich der Einhaltung ethischer Standards keine Bedenken gegen das Untersuchungsvorhaben, infolge dessen wurde der Ethikantrag positiv entschieden.

Zeitlicher Abriss der Gesundheitsstudie

Die Gesundheitsstudie wurde in dem Zeitraum zwischen Ende 2016 und Anfang 2020 durchgeführt. Die Datenerhebung, welche die Dokumentation von Informationen aus den Vorabfragebögen, die medizinischen Untersuchungen und Expositionsmessungen umfasste, erfolgte zwischen August 2017 und Januar 2019 (*Abbildung 2*).

Bereits im Frühjahr 2017 wurde mit den Vorbereitungen zur Studiendurchführung begonnen. Dies umfasste die Aktivitäten zur Information der Mitarbeiter, die Erarbeitung der Studienunterlagen, die Vorbereitung der Standorte z. B. mit dem Aufstellen einer Containeranlage zur Generierung von Untersuchungsräumen und der Einweisung des medizinischen Personals. Die medizinischen Untersuchungen und Expositionsmessungen erfolgten zunächst am Werk Zielitz (Oktober 2017 – April 2018). Im Anschluss wurde die Studiendurchführung am Werk Werra fortgesetzt und dauert bis Januar 2019. Am Werk Werra bestand die Be-

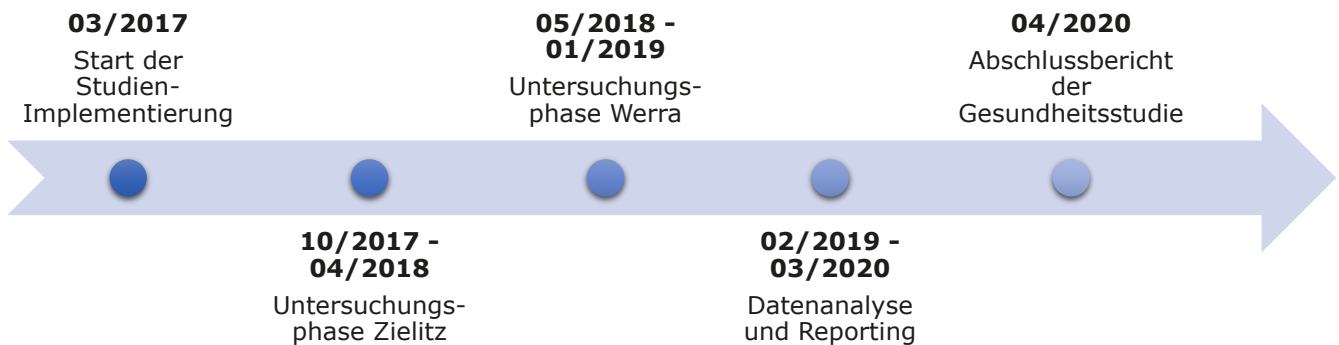


Abb. 2 Zeitlicher Gesamtüberblick der Gesundheitsstudie.

sonderheit, dass Studienteilnehmer von vier verschiedenen Standorten an der Gesundheitsstudie teilnahmen. Aus diesem Grund ist der medizinische und messtechnische Bereich inklusive Geräte, Ausrüstung und Personal in dem benannten Zeitraum vier Mal umgezogen. Beginnend am Standort Herfa (05 – 07/2018) erfolgte anschließend die Studiendurchführung am Standort Hera ab Juli 2018, am Standort Hattorf ab Oktober 2018, am Standort Wintershall ab November 2018 und abschließend im Januar 2019 erneut am Standort Herfa.

Im Anschluss an die Datenerhebung erfolgte die Analyse der erhobenen medizinischen und Expositionsdaten. Der Abschlussbericht der Gesundheitsstudie im Untertagesalbergbau enthält eine umfassende Beschreibung des Hintergrunds, des Studiendesigns, der Methodik sowie der erhaltenen Ergebnisse und dessen Interpretation. Er wurde im April 2020 an die BG RCI und die K+S AG übergeben.

Information der Mitarbeiter

Für das Erreichen der hohen Zielzahlen (1.000 unter Tage Beschäftigte, 250 über Tage Beschäftigte) war eine umfassende Information der Mitarbeiter und Werbung zur Teilnahme an der Gesundheitsstudie unerlässlich. Ein wichtiger Teil hierbei war die persönliche Information der Mitarbeiter beispielsweise durch Mitarbeiterversammlungen oder die Vorgesetzten. Darüber hinaus wurden zahlreiche Kanäle zur Information über die Gesundheitsstudie genutzt. So wurden Flyer verteilt und Poster an den Werken ausgehängen, ebenso gab es Mitteilungen und Statusmeldungen auf den Informationsbildschirmen (Ticker und K+S Live). Darüber hinaus gab es ein Werbevideo der Kommunikationsabteilung des Werkes Werra, in dem drei Mitarbeiter

über ihre Motivation zur Teilnahme an der Gesundheitsstudie sprechen. Dieser Beitrag mit dem Titel „Was hat dich motiviert an der Studie teilzunehmen?“ wurde im Intranet der K+S AG veröffentlicht.

Nach der Mitarbeiterinformation wurden die Studienunterlagen an die potenziellen Studienteilnehmer übermittelt. Mit dem Ausfüllen des Vorabfragebogens und dem Unterzeichnen der Einverständniserklärung konnten sich die Mitarbeiter zur Teilnahme an der Gesundheitsstudie anmelden.

Insgesamt meldeten sich 1.559 Mitarbeiter (Zielitz: 819, Werra: 740) zur Teilnahme an der Gesundheitsstudie an. Während der Studie erfolgte eine wöchentliche Information an die Projektbeteiligten mit Statistiken über den Rücklauf und den Stand der Untersuchungen.

Studienresultate

Teilnehmerzahlen

Zur Teilnahme an der Gesundheitsstudie haben sich insgesamt 1.559 Mitarbeiter von K+S bereit erklärt, dies entspricht 43% der kontaktierten Mitarbeiter. 1.207 dieser Anmeldungen waren von Mitarbeitern der Grubenbetriebe (ZI: 682, WE: 525) und 304 von Mitarbeitern der Fabriken (ZI: 128, WE: 176). 48 Anmeldungen konnten aufgrund der benannten Einschlusskriterien leider nicht für die Gesundheitsstudie berücksichtigt werden.

Nach Abschluss der praktischen Studienphase an den beiden Werken Zielitz und Werra lag die Anzahl an Mitarbeitern, die an der Studie teilgenommen haben, bei

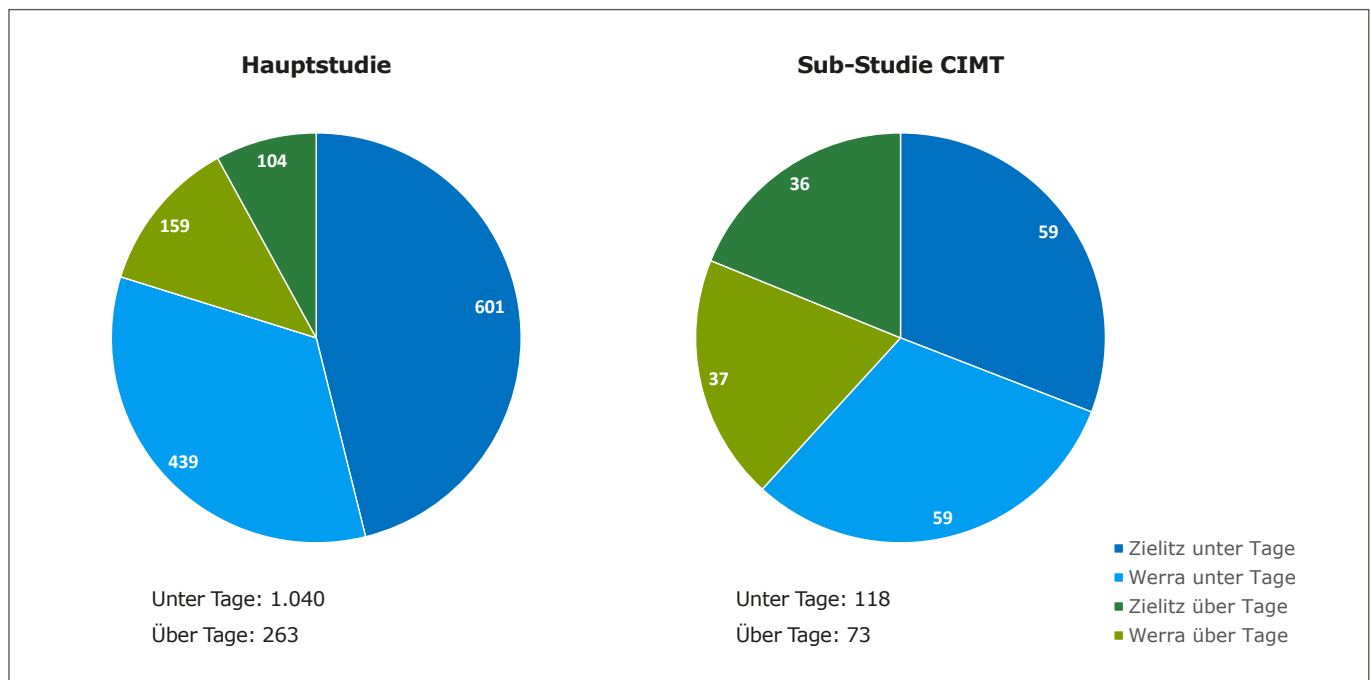


Abb. 3 Anzahl an Studienteilnehmern, die sich einer medizinischen Untersuchung unterzogen haben und deren personenbezogene Exposition während ihrer Schicht gemessen wurde.

1.040 Mitarbeitern der Grubenbetriebe (Zielitz: 601, Werra: 439) und 263 Mitarbeitern der Fabriken (Zielitz: 104, Werra: 159) (Abbildung 3). Abweichungen zu den Anmeldezahlen kommen dadurch zustande, dass einerseits vereinzelt Widerrufe erfolgten, andererseits konnten aus logistischen Gründen oder wegen Abwesenheit (z. B. Urlaub oder Krankheit) nicht alle angemeldeten Mitarbeiter zur Studie eingeteilt werden.

Im Rahmen der CIMT-Studie wurden insgesamt 191 Studienteilnehmer, davon 118 unter Tage und 73 über Tage Beschäftigte, untersucht.

Wichtig ist, dass die zuvor festgelegten Zielzahlen erreicht und sogar übertroffen wurden. Somit wurde ermöglicht, dass potenzielle statistisch signifikante Unterschiede der medizinischen Resultate zwischen den Expositionsgruppen erfasst werden können.

Exposition

Die personenbezogene Exposition der Studienteilnehmer wurde während der gesamten Arbeitsschicht gemessen. Für NO, NO₂ und CO wurden jeweils die Schichtmittelwerte zur Auswertung herangezogen. Für EC-DME und A-Staub

wurden die gemessenen Absolutkonzentrationen verwendet. Wie bereits erwähnt, wurden die Studienteilnehmer in drei Gruppen eingeteilt. Die über Tage Beschäftigten aus den Fabriken bildeten die Kontrollgruppe und hatten für alle gemessenen Gefahrstoffe erwartungsgemäß die niedrigsten Expositionen. Bei den unter Tage Beschäftigten wurde zwischen Instandhaltung und Gewinnung unterschieden. Für die Studienteilnehmer aus den Arbeitsbereichen der Instandhaltung, also diejenigen, welche im vorderen Teil der Gruben in der Nähe der Schächte arbeiten, wurde eine mittlere Exposition gemessen. Studienteilnehmer aus den Gewinnungsbereichen waren hingegen der höchsten Exposition ausgesetzt. Die zukünftig im Bergbau anzuwendenden Arbeitsplatzgrenzwerte werden für die gemessenen Substanzen teilweise überschritten insbesondere für EC-DME. Dennoch geht aus den erhobenen Daten hervor, dass im Allgemeinen ein Großteil der Studienteilnehmer Expositionen ausgesetzt ist, die noch unterhalb der AGW liegen. Dementsprechend liegen für die Instandhaltungsbereiche mehr als 80 % der Expositionsdaten für NO, NO₂ und EC-DME unter dem jeweiligen AGW. Für die Gewinnung liegt dies für mehr als 80 % (NO), 65 % (NO₂) und 40 % (EC-DME) vor. Der AGW für CO wird für keine Messung überschritten (Abbildung 4).

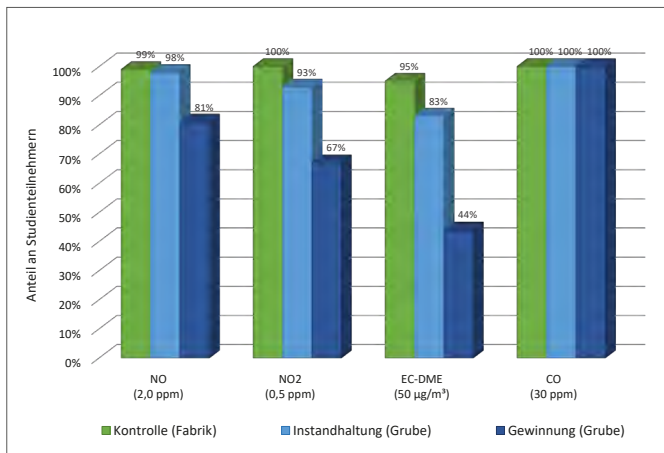


Abb. 4 Anteil an Studienteilnehmern, die bei einer Exposition unterhalb des jeweiligen zukünftig im Bergbau anzuwendenden AGW für NO, NO₂, EC-DME und CO gearbeitet haben.

Medizinische Ergebnisse

Die medizinischen Daten der Studienteilnehmer wurden entsprechend der drei Kategorien (kardiovaskuläre Parameter, Entzündung und Immunantwort, Atemwegs-Parameter), betrachtet und analysiert. Hierbei wurde erstens der Unterschied der Daten vor und nach der Schicht betrachtet, um akut auftretende Effekte des Gesundheitszustands der Studienteilnehmer nach Exposition zu ermitteln. Eine Ausnahme bilden die Ergebnisse der Lungenfunktion, da es sich hierbei um Langzeit-Parameter handelt. Es wurden lediglich die Daten der ersten Untersuchung analysiert, die Daten nach der Schicht dienen jedoch als interne Kontrolle. Zweitens erfolgte ein Vergleich der Daten zwischen den drei untersuchten Gruppen, insbesondere aber der Instandhaltung und Gewinnung mit der Kontrollgruppe aus den Fabriken. Dadurch sollte ermittelt werden, ob potenzielle Effekte zusätzlich von der Höhe der Exposition abhängen.

Die Analyse der medizinischen Daten hat insgesamt ergeben, dass die Ergebnisse beim Vergleich der Daten vor und nach der Schicht im Allgemeinen vergleichbar waren und keine systematisch auftretenden Unterschiede zu finden waren. Für vereinzelte Parameter traten zwar statistisch signifikante Unterschiede auf, diese waren aber unabhängig von der Exposition. Bis auf einzelne Werte von Parametern der Kategorie Entzündung und Immunantwort, die außerhalb des Referenzbereichs lagen, waren auch zwischen den Expositionsgruppen die Ergebnisse ähnlich. In der Kategorie der Atemwegs-Parameter traten ebenfalls keine

relevanten Unterschiede zwischen den Expositionsgruppen aus, allerdings wiesen Raucher grundsätzlich schlechtere Lungenfunktionswerte auf als Nichtraucher.

Schließlich hat die Analyse ergeben, dass der überwiegende Teil der medizinischen Daten innerhalb der Referenzbereiche liegt und nur selten abweicht und dass es keine konsistenten Zusammenhänge mit der Exposition unter Tage gibt, weder direkt nach der Schicht betrachtet noch abhängig von der Expositionshöhe.

Zusammenfassung

Die personenbezogenen Expositionsmessungen zeigen, dass die Studienteilnehmer in den Fabriken den geringsten und die Studienteilnehmer in den Gewinnungsbereichen der Grube den höchsten Expositionen ausgesetzt waren. Für EC-DME liegt ein Großteil der Messwerte aus der Gewinnung oberhalb des zukünftig im Bergbau anzuwendenden AGW. Bei den medizinischen Ergebnissen konnten trotzdem keine akuten Effekte ermittelt werden. Es gibt keine konsistenten Zusammenhänge zwischen den vor- und nach-Schicht-Werten sowie zwischen den drei Expositionsgruppen. Dementsprechend ist keine Abhängigkeit der medizinischen Ergebnisse von den Expositionen unter Tage erkennbar. Schlussfolgernd ist das Ergebnis der Gesundheitsstudie, dass es keine Hinweise auf eine akute oder chronische gesundheitliche Gefährdung der untertägig Beschäftigten im Kali- und Steinsalzbergbau gibt.

Ausführliche Beschreibungen und Interpretationen sind in dem Abschlussbericht der Gesundheitsstudie enthalten, dieser kann bei Interesse bei den Projektverantwortlichen der BG RCI oder bei der K+S AG angefragt werden.

LITERATUR

- [1] EU-SCOEL/SUM/53 (2014) Recommendation from the Scientific Committee on Occupational Exposure Limits for Nitrogen Dioxide.
- [2] EU-SCOEL/SUM/89 (2014) Recommendation from the Scientific Committee on Occupational Exposure Limits for Nitrogen Monoxide.
- [3] Ausschuss für Gefahrstoffe (AGS) der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA) (2006) Begründung zu Dieselmotoremissionen (DME) in TRGS 900 (Fassung v. 27.10.2020).

Klimaneutralität in der Kali- und Salzindustrie

Dekarbonisierungsmöglichkeiten am Beispiel der K+S AG

Fragen des Klimaschutzes und der Energiewende sind von zentraler Bedeutung für die Wirtschaft, Politik und Gesellschaft. Die deutsche und europäische Politik verfolgt bereits seit den 1990er Jahren eine ambitionierte Klimaschutzpolitik mit zahlreichen Maßnahmen zur Förderung der Energieeffizienz, dem Ausbau der Erneuerbaren Energien und der Einführung des EU-Emissionshandels. In den letzten Jahren hat die Diskussion um ambitioniertere Klimaziele deutlich an Fahrt aufgenommen. Das internationale Klimaschutzübereinkommen von Paris, gesellschaftliche Bewegungen wie „Fridays for Future“ und der „Green Deal“ der Europäischen Kommission münden darin, dass sich Deutschland, Europa und andere Staaten verstärkt zu dem Ziel der „Klimaneutralität bis 2050“ verpflichten. Neben den technologischen Möglichkeiten stellen dabei vor allem die praktische Umsetzung (z. B. Ausbau von erneuerbaren Energien und Stromnetzen sowie Aufbau von Speicherkapazitäten) sowie die Finanzierbarkeit erhebliche Herausforderungen dar, auf die Antworten gefunden werden müssen. Dabei stellt sich auch die Frage, welche Möglichkeiten der weiteren Dekarbonisierung für energieintensive Industrien wie beispielsweise die Kali- und Salzindustrie, die Stahlindustrie, der Chemie- und Pharmasektor sowie die Zementbranche bestehen, insbesondere wenn im intensiven internationalen Wettbewerb außereuropäische Anbieter weit hinter diesen Klimaschutzambitionen zurückbleiben und damit deutlich kostengünstiger produzieren.

K+S hat sich gemeinsam mit der FutureCamp Climate GmbH und der DECHEMA Gesellschaft für Chemische Technik und Biotechnologie e. V. im Rahmen einer Studie umfassend mit den CO₂-Reduktionsmöglichkeiten an den Kali- und Salzstandorten von K+S befasst. Dabei wurden anhand von vier verschiedenen Szenarien die CO₂-Einsparpotenziale und die damit verbundenen Kosten ermittelt.¹ Die folgenden Ausführungen geben einen Überblick über die vier Dekarbonisierungsszenarien, die zur Verfügung stehenden Technologien, notwendige Rahmenbedingungen sowie die daraus abgeleitete K+S-Klimastrategie.

Towards a climate-neutral potash and salt industry – Decarbonisation scenarios exemplified by K+S Climate protection is essential for the economy, politics and the society. Europe aims to be the first climate-neutral continent by 2050. In that context K+S analysed pathways for further decarbonisation of the potash and salt industry.

¹ Bei der Studie handelt es sich aufgrund des langfristigen Betrachtungszeitraums und dem sich dynamisch ändernden energiewirtschaftlichen und energiepolitischen Umfeldes lediglich um grobe Schätzungen auf Basis bestimmter derzeit plausibler Annahmen.

Aktuelle Situation und Stand der Technik²

Die deutsche Kali- und Salzindustrie zählt zu den energieintensiven Branchen und ist Teil des europäischen Emissionshandelssystems. Dabei ist insbesondere bei den weltweit gleich zum Einsatz kommenden Kaliaufbereitungsverfahren ein hoher Wärmebedarf zur Aufbereitung der Rohsalze durch Dampf und zur Trocknung der Salze nötig, um den Wertstoff vom übrigen Rohsalz zu trennen. Aufgrund dieses hohen und relativ konstanten Wärmebedarfes der Werke bieten sich zur Energieversorgung eigene Wärme- und Stromerzeugungsanlagen an. K+S setzt dabei auf hocheffiziente gasbetriebene Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen (KWK) zur effizienten Erzeugung von Strom und Wärme und verfügt damit im Vergleich zu den Hauptwettbewerbern aus Russland (Uralkali), Weißrussland (Belaruskali) und Kanada (Nutrien, Mosaic) über die weltweit energieeffizienteste Kaliproduktion.

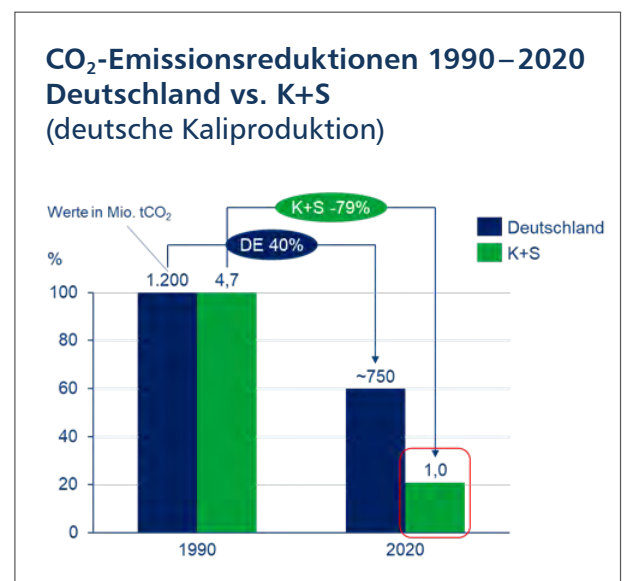
Durch die erheblichen Investitionen in moderne und hocheffiziente Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen, den damit verbundenen Brennstoffwechsel von Kohle auf Gas, durch Energieeffizienzmaßnahmen sowie Kapazitätsabbau konnte K+S die CO₂-Emissionen zwischen 1990 und 2020 bereits um rund 80% reduzieren. Damit hat K+S deutlich schneller die CO₂-Emissionen reduziert als andere CO₂-Verursacher in Deutschland (siehe Abbildung).



Markus Midden
Bereichsleiter
Technologie und Energie,
K+S AG



Gerrit Tebrügge
Energiemanagement
und Elektrotechnik,
K+S AG



² Siehe auch Midden: „Energiemanagement bei K+S“, Kali und Steinsalz, 01/2018

Technologien zur Dekarbonisierung

Rund 75% der Gesamt-CO₂e-Emissionen³ bei K+S werden durch den Erdgaseinsatz in den Kraftwerken und Trocknungen verursacht. Etwa 3% der Gesamt-CO₂e-Emissionen entfallen auf den Fuhrpark, 8% auf den extern bezogenen Strom und 15% auf die extern bezogene Wärme. Da Erdgas bereits der CO₂-ärmste fossile Brennstoff ist und zudem die bei K+S installierten KWK-Kapazitäten bereits hohe Wirkungsgrade aufweisen, sind wesentliche CO₂-Reduktionspotenziale in der Zukunft überwiegend nur mit alternativen, kostenintensiven Brenn- und Kraftstoffen oder einer weitgehenden und investitionsintensiven Umstellung der Dampferzeugung auf strombasierte Verfahren (Power-to-Heat) bei gleichzeitigem Grünstromeinsatz⁴ zu erreichen. Im Rahmen der Studie wurden verschiedene Technologien nach dem für K+S höchsten Potenzial zur Emissionsminderung ausgewählt und die folgenden Technologien in den Szenarien berücksichtigt: Ausbau der Photovoltaik, Umstellung der Wärmebereitstellung auf Power-To-Heat, Einsatz synthetischer Brennstoffe in den eigenen Kraftwerksprozessen, Einsatz von Grünstrom für den Stromfremdbezug, weitere Abwärmenutzung, Heißgaserzeugung in zwei Stufen unter Einbindung eines elektrisch betriebenen Lufterhitzers, Dampf-/Brüdenkompression und die Umstellung des Fuhrparks auf Elektroantriebe.

Die CO₂-Einsparpotenziale in der Kali- und Salzindustrie liegen insbesondere im Bereich der Energieerzeugung und Energiebereitstellung. Dies ist ein wesentlicher Unterschied zu anderen Branchen, wo darüber hinaus Anpassungen der Produktionsverfahren oder des Produktes (z. B. Automobil) möglich sind. Zudem ist eine Substitution der essenziellen Rohstoffe Kali und Salz durch andere Rohstoffe nicht oder nur in sehr geringem Umfang möglich. Dies bedeutet, dass die Kali- und Salzindustrie in erheblichem Maße auf die energiewirtschaftlichen und energiepolitischen Rahmenbedingungen angewiesen ist, um weitere Dekarbonisierungsschritte vornehmen zu können.

Der Einsatz von Wasserstoff wurde ebenso ergebnisoffen geprüft. Da die direkte Nutzung von Grünstrom zur Wärmeerzeugung effektiver ist als die Zwischenumwandlung in Wasserstoff und zudem davon ausgegangen werden muss, dass grüner Wasserstoff zunächst nur für Branchen verfügbar sein wird, bei denen Wasserstoff direkt im Produktionsprozess verwendet wird, ist diese Technologie für den Einsatz in der Kali- und Salzindustrie zur Wärmeerzeugung derzeit nicht zielführend.

Darüber hinaus wurde der Einsatz von „Carbon Capture and Storage (CCS)“ sowie „Carbon Capture and Utilisation (CCU)“ geprüft. CCU: Eine Nutzung von CO₂ im Produktionsprozess wie beispielsweise in der chemischen Industrie ist nicht möglich und kann daher ausgeschlossen werden. CCS: Die Abtrennung von CO₂ und Speicherung in untertägigen Kavernen ist theoretisch möglich, allerdings gibt der rechtliche Rahmen hierfür derzeit keine Grundlage; zudem wäre eine Nutzungskonkurrenz zur Speicherung von Erdgas oder perspektivisch Wasserstoff untertage zu berücksichtigen.

Dekarbonisierungsszenarien

In der Studie wurden bestimmte Grundannahmen über die künftige Gas-, Strom- und CO₂-Preisentwicklung angenommen und anhand von vier verschiedenen Handlungsszenarien („Pfade“) die CO₂-Reduktionspotenziale und Kosten ermittelt⁵. Die Produktionsmengenentwicklung wurde bis auf das Ramp-up in Bethune (Kanada) sowie die Stilllegung in Unterbreizbach ab den 2030er-Jahren als konstant angenommen. In Pfad 1 wird die derzeitige energiewirtschaftliche Ausrichtung bei K+S fortgeführt ohne nennenswerte investitionsintensive Maßnahmen (unterstellt wird in allen Pfaden eine pauschale Energieeffizienzsteigerung im Bereich von 0,1 bis 0,4% pro Jahr). In Pfad 2 werden die bereits von K+S vorgesehenen Maßnahmen (KWK-Anlage im Werk Bethune/Kanada, weitere Elektrifizierung des untertägigen Fuhrparks) berücksichtigt. In Pfad 3 werden zudem

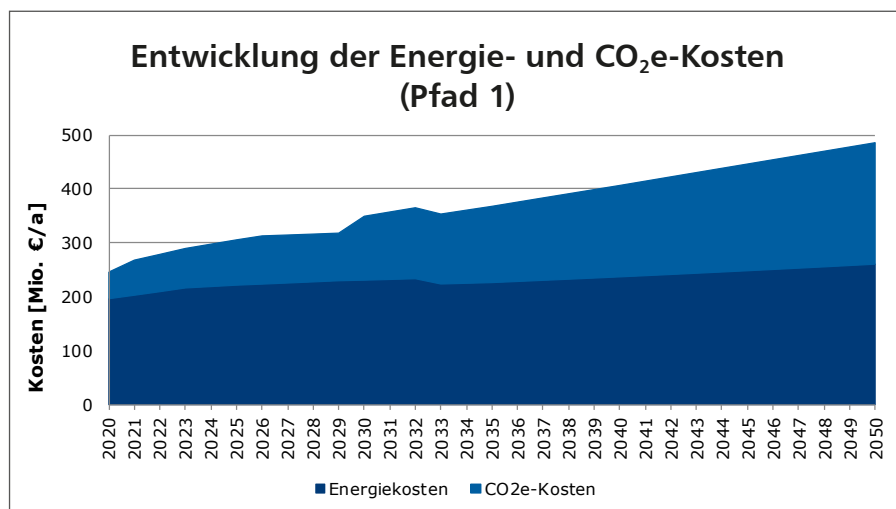
³ CO₂e = CO₂-Äquivalente; ⁴ Grünstrom = Strom aus erneuerbaren Energien; ⁵ Die Annahmen zur Preisentwicklung bei Gas, Strom und CO₂ entsprechen nicht zwingend den tatsächlichen Kosten bei K+S, da diese durch Entlastungen sowie Transaktionsmenge und -zeitpunkt abweichen können.

Pfad 1: Fortführung des Status Quo basierend auf Startbilanz 2019 („Status Quo-Pfad“)	Keine gesonderten CO ₂ e-Reduktionsmaßnahmen außer der angenommenen Effizienzsteigerung.
Pfad 2: Umsetzung bereits definierter Maßnahmen Fokus 2030 und Perspektiven 2050 („Effizienzpfad“)	Einbeziehung von CO ₂ e-Reduktionsmaßnahmen, die bereits angedacht (z. B. Bethune) oder in Umsetzung befindlich sind, ab dem Jahr der Wirksamkeit.
Pfad 3: Zusätzliche Umsetzung aktuell nicht geplanter Maßnahmen Fokus 2030 und Perspektiven 2050 („Forcierter Effizienzpfad“)	Einbeziehung von CO ₂ e-Reduktionsmaßnahmen, die bei Einführung festzulegender interner Instrumente über die im Pfad 2 enthaltenen Maßnahmen hinaus umsetzbar werden.
Pfad 4: Treibhausneutralität Fokus 2050 („Klimaneutralitätspfad“)	Einbeziehung aller Maßnahmen aus Pfad 3 und zusätzlich neue Technologien. Ggf. Ausweisung von Residualemissionen.

weitere bislang nicht eingeplante kostenintensive Maßnahmen zur CO₂-Reduzierung (z. B. erweiterte Elektrifizierung des untertägigen Fuhrparks bis 2050, Bau von Photovoltaikanlagen mit 240.000 m², Grünstrombezug aus dem öffentlichen Netz) berücksichtigt. Pfad 4 beinhaltet dann alle Maßnahmen, um bis 2050 klimaneutral zu werden (zusätzlich zu Pfad 3 kämen hinzu: Power-to-Heat/Elektrodenkessel, Wärmepumpe, Abwärmenutzung, Dampf-Brüdenkompression, Heißgaserzeugung mit elektrischem Luftherhitzer, Nutzung synthetischer Brennstoffe, Elektrifizierung der übrigen Fahrzeuge). Dabei wird unterstellt, dass ab 2035/40 Grünstrom in ausreichender Menge und zu entsprechenden Preisen zur Verfügung steht, um die Elektrifizierung der Wärmeerzeugung umzusetzen.

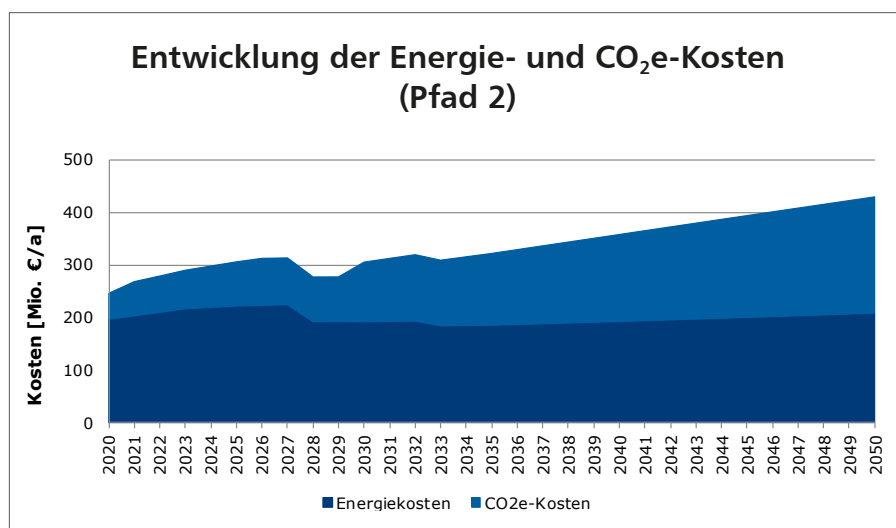
In der Studie wurden plausible Annahmen über die zukünftige Gas-, Strom- und CO₂-Preisentwicklung getroffen. Unter anderem wird ein CO₂-Preisanstieg auf 100 Euro bis zum Jahr 2050 angenommen; angenommen wird zudem

ein entsprechender CO₂-preisbedingter Anstieg der Erdgaspreise bis 2050 auf mehr als das Doppelte sowie ein Rückgang des Gesamtstrompreises aufgrund geringerer Umlagen, Abgaben und im Strompreis enthaltener CO₂-Kosten bei grünem Strom (der Arbeitspreis für Strom wird als konstant angenommen). Aus den Annahmen geht hervor, dass sich in Deutschland die Erdgaspreise und Strompreise langfristig annähern werden, jedoch Gas relativ auch dann günstiger bleiben wird, wenn sich der Strompreis bis 2050 sogar halbiert. Darüber hinaus ist festzustellen, dass Deutschland über deutlich höhere Energie- und CO₂-Preise als die Kali-Hauptwettbewerber in Russland, Weißrussland und Kanada verfügt und dies auch langfristig so bleiben wird, wenn politisch in Deutschland und Europa nicht deutliche Änderungen an der derzeitigen energiepolitischen Ausrichtung zu Gunsten niedrigerer Gas- und Strompreise vorgenommen werden. So ist beispielsweise aktuell der Gaspreis in Deutschland mehr als drei Mal so hoch wie in Kanada.



Die folgenden Darstellungen geben einen Überblick über die geschätzten CO₂-Reduzierungen sowie die Energie- und CO₂-Kostenentwicklung in den Pfaden 1 bis 4 von 2019 bis 2050.

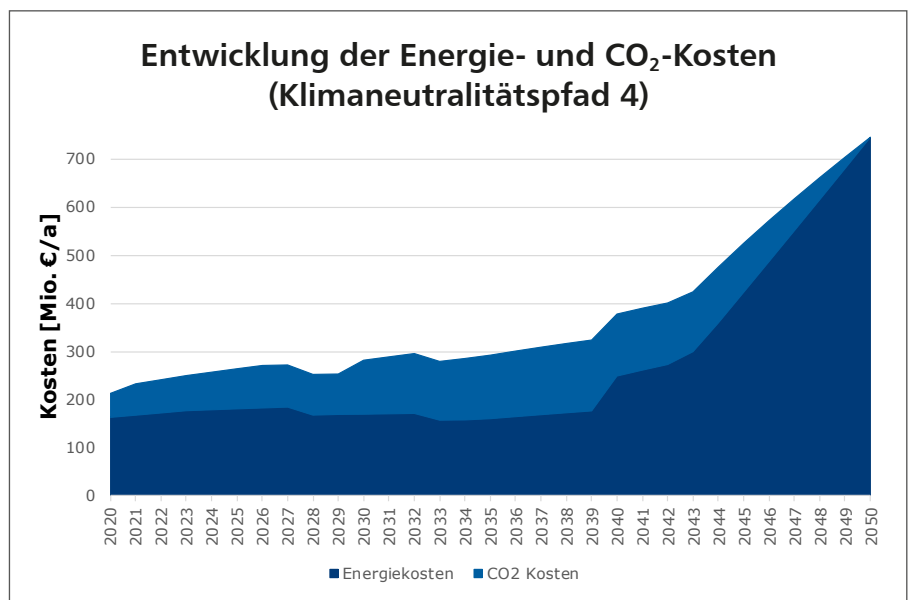
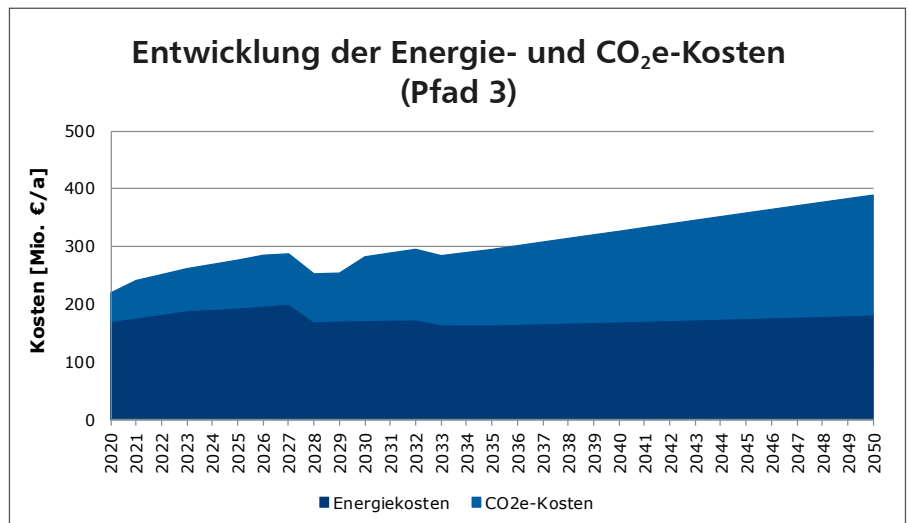
In **Pfad 1** (=„Status Quo-Pfad“; lediglich pauschale Energieeffizienzsteigerung, ohne weitere vorgesehene Maßnahmen) zeigt sich, dass die Energie- und CO₂-Kosten für K+S in den kommenden 10 Jahren um knapp die Hälfte steigen und sich bis 2050 sogar mehr als verdoppeln würden. Der entscheidende Kostenanstieg käme dabei aus den höheren CO₂-Kosten, denen aufgrund fehlender CO₂-Reduktionsmaßnahmen nicht entweichen werden könnte. Explizite Investitionskosten für Dekarbonisierungsmaßnahmen fallen nicht an.

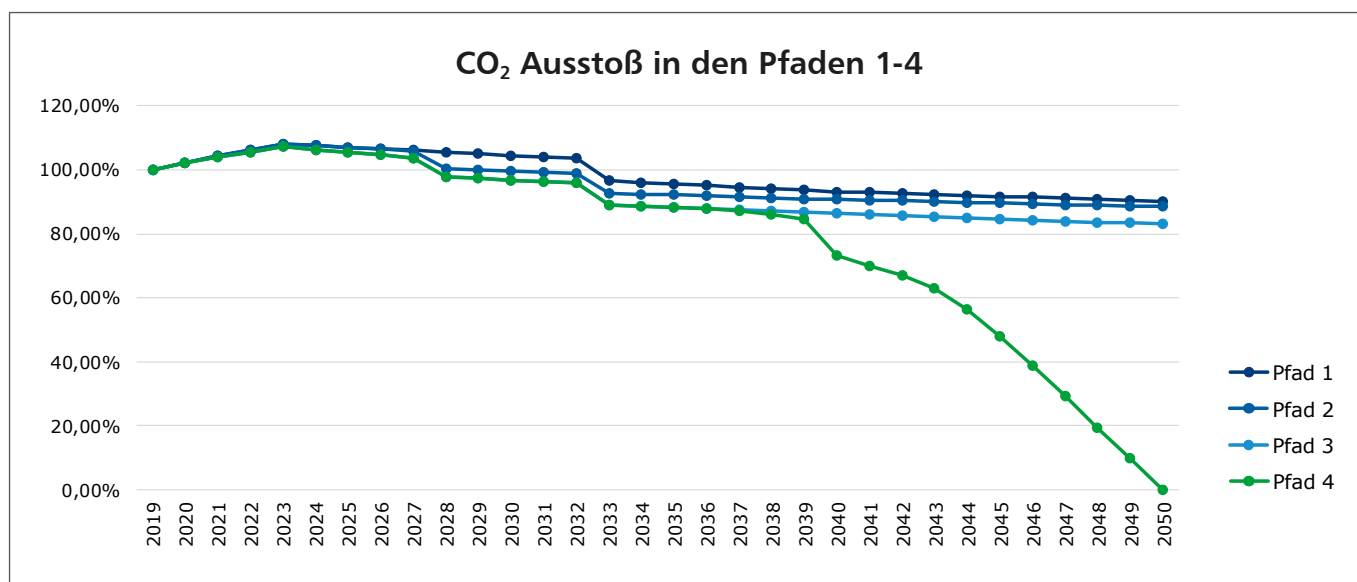


In **Pfad 2** wird durch die bereits vorgesehenen Maßnahmen (weitere Elektrifizierung der Fahrzeugflotte, Inbetriebnahme KWK-Anlage in Bethune/Kanada) eine Reduzierung des CO₂-Ausstoßes erzielt, was zu niedrigeren Energiekosten führt. Die Effizienzsteigerung fällt allerdings nicht so stark aus, dass damit die langfristig steigenden CO₂-Preise kompensiert werden könnten. Es käme daher bis 2030 zu einer Steigerung der Energie- und CO₂-Kosten um rund ein Viertel, bis 2050 um mehr als drei Viertel. Hinzu kämen Investitionskosten für die genannten Maßnahmen im unteren dreistelligen Millionen-Euro-Bereich.

In **Pfad 3** kommen zu den Maßnahmen aus Pfad 2 noch die oben im Text bereits genannten Maßnahmen hinzu. Dies führt zu einer CO₂-Reduzierung um rund 10% bis 2030 und um rund 25% bis 2050, korrigiert um die Ramp-up bedingten Steigerungen. Durch die CO₂-Reduzierung fällt der CO₂-Kostenanstieg entsprechend weniger stark aus als in den Pfaden 1 und 2. Insgesamt steigen in Pfad 3 die jährlichen Energie- und CO₂-Kosten bis 2030 um rund 20% und bis 2050 um knapp zwei Drittel. Zu den im Vergleich zu den Pfaden 1 und 2 niedrigeren laufenden Energie- und CO₂-Kosten kommen Investitionskosten im mittleren dreistelligen Millionen-Euro-Bereich hinzu.

Pfad 4 beschreibt den Einsatz aller notwendigen Technologien, um bis 2050 klimaneutral zu werden. Neben den Maßnahmen aus Pfad 3 umfasst dies im Wesentlichen die Umstellung von 80% der KWK-Kapazitäten auf Power-to-Heat-Anlagen zur Dampferzeugung ab 2035 bis 2050 sowie die Befuerung der übrigen 20%-KWK-Kapazität mit klimaneutral hergestellten synthetischen Brennstoffen. Zudem kommen die oben bereits genannten weiteren Maßnahmen wie beispielsweise die elektrische Vorheizung von Heißgas für Trockner und die Brüdenverdichtung zur Reduzierung des Strombedarfs der Power-to-Heat-Anlagen hinzu. Der Strombedarf aller Maßnahmen wird dabei mit Grünstrom gedeckt, für den pauschal ein entsprechender Preisaufschlag an-





genommen wird. Die Maßnahmen führen dazu, dass ab 2040 der CO₂-Ausstoß deutlich sinkt und 2050 keine CO₂-Emissionen mehr anfallen würden. Entsprechend laufen die CO₂-Kosten in diesem Szenario bis 2050 Richtung Null. Jedoch würden sich die laufenden Energiekosten aufgrund des massiv erhöhten Strombezugs mehr als verdreifachen auf über 700 Millionen Euro pro Jahr und damit förmlich explodieren. Zudem wären die Investitionskosten mit mehr als einer halben Milliarde Euro deutlich höher als in allen anderen Szenarien. Zu berücksichtigen ist in diesem Szenario, dass „grüner Strom in ausreichender Menge“ einen massiven Ausbau der erneuerbaren Energien und entsprechender Infrastruktur voraussetzt.

Rahmenbedingungen und internationaler Wettbewerb

Die Analyse zeigt, dass die größten CO₂-Einsparungen durch die wirtschaftliche Inbetriebnahme von KWK-Anlagen und die damit verbundene Umstellung auf Erdgas bereits in der Vergangenheit erfolgt sind und damit ein sehr hohes Effizienzniveau erreicht wurde. Weitere CO₂-Reduzierungen sind daher mit massiven finanziellen

Aufwendungen verbunden. Alle aufgeführten Szenarien führen zu deutlich höheren Kosten. So würden sich trotz einer Reduzierung der CO₂-Emissionen um 10% bis 2030 die laufenden Energie- und CO₂-Kosten um 20% erhöhen. Die Erreichung von Klimaneutralität – sofern Grünstrom in ausreichender Menge vorhanden wäre – würde die laufenden Kosten, neben den hohen Investitionskosten, mehr als verdreifachen. Die von zahlreichen Industrieverbänden erhobene Forderung nach einem einheitlichen günstigen Industriestrompreis ist daher folgerichtig und notwendig.

Die höheren Kosten können in energieintensiven Grundstoff- und Rohstoffindustrien, die im internationalen Wettbewerb stehen, nicht im Markt weitergegeben werden. Insbesondere wenn außereuropäische Wettbewerber wie im Falle der Kali- und Salzindustrie beispielsweise aus Russland und Weißrussland nicht über vergleichbare Standards und Kosten verfügen. Die Politik ist daher dringend aufgerufen, durch entsprechende Maßnahmen für faire Wettbewerbsbedingungen zu sorgen und dem bestehenden Carbon-Leakage-Risiko, und damit verbunden der Abwanderung von Produktion in außereuropäische Standorte mit niedrigeren Umwelt- und Klimaschutzstandards, entgegenzuwirken.

Die Analyse hat zudem gezeigt: Um Klimaneutralität zu erreichen ist neben politischen Maßnahmen zur Vermeidung von Carbon-Leakage eine umfassende Förderung der Investitions- und laufenden Kosten erforderlich. Die bisherigen Politikvorschläge sind aus Sicht der Kali- und Salzindustrie hierzu bislang nicht geeignet, da wichtige Entlastungen wie die Strompreiskompensation und Fördermöglichkeiten für die Branche derzeit nicht zur Verfügung stehen. Es bedarf daher dringend energiewirtschaftlicher und energiepolitischer Nachbesserungen, um eine wettbewerbsfähige Dekarbonisierung in der Kali- und Salzindustrie zu ermöglichen.

K+S-Klimastrategie

Die vorliegende Szenario-Analyse zeigt, mit welchen enormen technologischen, infrastrukturellen und vor allem auch wirtschaftlichen Herausforderungen die jeweiligen Pfade verbunden sind. Die Studie zeigt aber auch, dass in der Kali- und Salzindustrie trotz der erheblichen CO₂-Einsparungen in den vergangenen Jahrzehnten weitere CO₂-Reduktionen bis hin zur Klimaneutralität technologisch möglich wären, sofern geeignete Rahmenbedingungen bestehen.

K+S hat daher im Frühjahr 2021 ausgehend von bereits konkreten CO₂-Reduktionszielen eine eigene ambitionierte Klimastrategie verabschiedet. Diese umfasst Kurz-, Mittel- und Langfristziele. Mit zusätzlichen Klimaschutzmaßnahmen soll bis 2030 eine Reduktion der absoluten CO₂-Emissionen um 10% erreicht werden.

K+S unterstützt das Pariser Klimaabkommen⁶ und bekennt sich zur Klimaneutralität 2050. Zur Erreichung dieses Ziels bedarf es jedoch zwingend geeigneter energiewirtschaftlicher Rahmenbedingungen.

Mit dieser Strategie leistet K+S einen positiven Beitrag zur Stärkung des Klimaschutzes und positioniert sich im wettbewerbsintensiven Kalimarkt als Vorreiter im Bereich CO₂-armer Kalidüngemittel.

Zusammenfassung und Ausblick

K+S ist der Nachhaltigkeit verpflichtet. Die hiesige Kaliproduktion ist führend im Bereich der Energieeffizienz. Mit der durchgeführten Studie wurden weitere Dekarbonisierungsmöglichkeiten untersucht und Handlungsoptionen aufgezeigt. Die Studie hat vor allem auch gezeigt, welche enormen Herausforderungen mit der weiteren Dekarbonisierung verbunden sind. K+S ist bereit, weitere ehrgeizige Schritte zur Dekarbonisierung zu gehen. Mit der K+S-Klimastrategie wurde hierfür ein ambitionierter Grundstein gelegt.

Mit essenziellen Kali- und Salzprodukten trägt K+S zudem zu mehr Energieeffizienz auch in den nachgelagerten Branchen bei, beispielweise führt die bedarfsgerechte Düngung zu mehr Flächenproduktivität in der Landwirtschaft und damit weniger Energieeinsatz; Salz ist ein wesentlicher Grundstoff in zahlreichen Anwendungen der chemischen Industrie, die die Energieeffizienz erhöhen und im Bereich der Erneuerbaren Energien eingesetzt werden.

Die Transformation der Industrie kann nur gelingen, wenn von politischer Seite geeignete Rahmenbedingungen geschaffen werden. Ohne Grünstrom in ausreichender Menge und zu wettbewerbsfähigen Preisen ist Klimaneutralität nicht zu erreichen und die Abwanderung heimischer Industrien in Länder mit niedrigeren Umwelt- und Klimaschutzstandards zu befürchten. Es bedarf daher des engeren fachlichen Austauschs zwischen Wirtschaft und Politik sowie weitreichender regulatorischer Weichenstellungen, die die derzeitigen Belastungen zurückfahren und eine kostengünstige sowie wettbewerbsfähige Energieversorgung der Industrie ermöglichen. Dabei sollte die Politik stärker als bislang die Gesamtsumme der energiewirtschaftlichen Belastungen für die Industrie betrachten und entsprechende praxistaugliche Maßnahmen auf Basis eines klimapolitischen Handlungskonzepts für die Kali- und Salzindustrie umsetzen.

⁶ Anmerkung: Das Klimaübereinkommen von Paris ist ein globales Abkommen, mit dem Ziel die Erderwärmung bis Ende des Jahrhunderts auf deutlich unter 2°C zu begrenzen, angestrebt wird die Erwärmung bei unter 1,5°C zu halten.)



Prof. Dr. Rüdiger Triebel
Geschäftsführer
MSW-Chemie GmbH,
Langelsheim
Referatsleiter Bergbau
K+S Aktiengesellschaft,
Kassel



Dr. Frederik Flach
Leiter Labor/Entwicklung
MSW-CHEMIE GmbH,
Langelsheim

Sicherheitsaspekte von Sprengstoffen im Kali- und Steinsalzbergbau

Die sicherheitsrelevanten Eigenschaften von Spreng- und Zündmitteln sind von herausragender Bedeutung für die Arbeitssicherheit – nicht nur, aber insbesondere im Bergbau unter Tage. Die historische Entwicklung der Sprengstoffe ist maßgeblich von Verbesserungen zugunsten der Handhabungssicherheit geprägt. Weiterhin stellen die Anpassung der sprengtechnischen Eigenschaften auf den jeweiligen Anwendungsfall und die Optimierung der Kosten wesentliche Treiber für Neuentwicklungen dar.

Safety aspects of explosives in potash and rock salt mining The safety-relevant properties of civil explosives are of outstanding importance for occupational safety – not only, but especially in underground mining. The historical development of civil explosives is clearly marked by major improvements in the safety of handling. Furthermore, the adaptation of the explosives properties to the respective application and the optimization of the costs are important drivers for new developments.

Für den Kali- und Steinsalzbergbau sind hier insbesondere folgende Entwicklungen bei den Sprengstoffen zu nennen:

- um 1913 Einführung von Chlorat-Sprengstoffen
- ab 1960 Einführung von ANC-Sprengstoffen
- ab 2023 Einführung von Emulsionssprengstoffen

Gefördert durch den Mangel an Dynamit und Grundstoffen zur Herstellung von Ammonsalpetersprengstoffen in Krisen- und Kriegszeiten erlangten die Chlorat-Sprengstoffe Anfang des 20. Jahrhunderts wesentliche Bedeutung im Bergbau. Die anwendungstechnischen Eigenschaften konnten insbesondere bei der Gewinnung von Kali- und Steinsalzen überzeugen, sodass die Verbreitung im Kali- und Steinsalzbergbau in Deutschland schnell Einzug hielt (*Winter, 1928*).

Mitte des 20. Jahrhunderts erwiesen sich lose ANC-Sprengstoffe aufgrund ihrer sicherheitlichen und wirtschaftlichen Vorzüge als besonders gut geeignet für den Einsatz im Kali- und Steinsalzbergbau und führten dadurch zur sukzessiven Substitution der bisher eingesetzten Sprengstoffe (*Lück, 1964*).

Mit Ablauf der inzwischen verlängerten Übergangsfrist für die Anwendung der neuen Arbeitsplatzgrenzwerte für Stickoxide im Bergbau zum 21. August 2023 ergibt sich für viele Bergwerke, dass neben anderen umfangreichen und

meist sehr kostenintensiven technischen Maßnahmen auch emissionsarme Sprengstoffe eingeführt werden müssen. Die K+S Gruppe hat für die Bergwerke in Deutschland die Umstellung auf Emulsionssprengstoffe beschlossen und bereitet die Umsetzung vor.

Die Weiterentwicklung des von MSW-Chemie GmbH hergestellten ANC-Sprengstoffs (ANDEX, ANDEX2000, ANDEXLD) richtete sich primär auf die Reduzierung der toxischen Sprengschwadenbestandteile, jedoch ist es nicht möglich, Emissionswerte wie beim Einsatz moderner Emulsionssprengstoffe zu erreichen.

Der Sprengstoff ANDEXLD hat insbesondere für den Kali- und Steinsalzbergbau entscheidende anwendungstechnische Vorteile und bietet ein Höchstmaß an Sicherheit im Umgang. Das bestehende Sicherheitsniveau und der Arbeitsschutz stellen für K+S den mindestens einzuhaltenden Maßstab für zukünftig einzusetzende Sprengstoffe bzw. Sprengstoffsysteme dar.

Bei der Umstellung auf Emulsionssprengstoff sind die besonderen Anforderungen des Kali- und Steinsalzbergbaus zu berücksichtigen. Aus den langjährigen Einsätzen im Tunnelbau, in Bergwerken, die bereits gepumpte Emulsionssprengstoffe verwenden und anhand verschiedener Versuchseinsätze, konnte für K+S abgeleitet werden, dass die bestehende Technologie für die Verwendung im Kali- und Steinsalzbergbau angepasst werden muss (*Triebel, et al., 2020*).

Sprengstoffauswahl

Die Auswahl des für den jeweiligen Anwendungsfall am besten geeigneten Sprengstoffs richtet sich nach vielen Kriterien, in der folgenden Tabelle sind die aus Sicht von K+S wichtigsten zusammengestellt. Die meisten davon sind direkt oder indirekt sicherheitlich relevant.

Kriterien und Anforderungen für die Sprengstoffauswahl

KRITERIUM	ANFORDERUNG
Abfälle und Ausschuss	Vermeidung / Minimierung von Abfall- und Spülmengen
Abläufe und Verwender	Nahtlose Integration der Prozesse, hohe Ladeleistung, gute Akzeptanz in der Belegschaft
Eignung für verschiedene Sprengloch-durchmesser und -längen	35 bis 60 mm; 7 bis 32 m
Eignung für verschiedene Sprengverfahren	Streckenvortrieb / Örter-Festen-Bau in der flachen Lagerung und Strosse mit vertikalen oder stark geneigten Sprengbohrlöchern
Flexibilität	Anpassung der Sprengstoff-Eigenschaften an die jeweiligen Erfordernisse (Dichte, Energieverteilung)
Gasförmige Emissionen	NOx und CO deutlich geringer als ANDEX LD
Gesundheitsgefährdende Inhaltsstoffe	Möglichst keine
Inertes Verhalten	Möglichst keine Empfindlichkeit gegenüber Verunreinigungen, keine Reaktion mit anderen Materialien
Initiierbarkeit, Zündweise	Mit elektrischen Sprengzündern, möglichst ohne Verstärkungsladungen
Innerbetrieblicher Transport	Förderung über Falleitung bzw. in Großgebinden oder Großbehältern
Investitions- und Betriebskosten	Insgesamt: Verbesserung der Wirtschaftlichkeit
Ladearbeiten	Ergonomisch, Vermeidung von elektrostatischer Aufladung
Lagerung	Produktstabilität über mehrere Monate auch bei hohen Temperaturen und bei Luftfeuchte
Logistik und Transportsicherheit	ADR Klasse 1.5 oder 5.1
Produktkritische Inhaltsstoffe und Rückstände	Möglichst keine
Qualifikation des Personals	Entsprechend den jeweiligen Anforderungen
Qualität des Sprengergebnisses	Optimales Lösen und Zerkleinern von Kali- und Steinsalzen
Qualitätssicherung	In Verantwortung des Herstellers
Rohstoffe	Verfügbarkeit, Qualität, Preisstabilität
Sprengtechnische Umsetzung	Mittlere Detonationsgeschwindigkeit, großes Schwadenvolumen
Sprengwirkung	Im Salzgestein: Schiebend
Trägerfahrzeug und Ladegerät	Geeignet auch für niedrige Lagerstättenbedingungen, Sprengstoffmenge ausreichend für Ladearbeit einer Schicht
Umwelteinfluss	Optimale Ressourceneffizienz
Verwendung	Möglichst einfaches Umfüllen und Laden mit Erreichung definierter Produkteigenschaften auch unter verschiedenen Temperaturbedingungen
Wasserfestigkeit	Für K+S nicht grundsätzlich erforderlich

Prüfverfahren

Die in der EU vorgeschriebenen Prüfverfahren für Sprengstoffe im Hinblick auf den Transport und die sichere Verwendung sind unter anderem in der harmonisierten Norm DIN EN 13631 Explosivstoffe für zivile Zwecke – Sprengstoffe beschrieben.

In diesem Zusammenhang sind hauptsächlich folgende Teile der Norm relevant:

DIN EN 13631 Explosivstoffe für zivile Zwecke – Sprengstoffe	
TEIL 1	Anforderungen
TEIL 2	Bestimmung der thermischen Stabilität
TEIL 3	Bestimmung der Reibempfindlichkeit
TEIL 4	Bestimmung der Schlagempfindlichkeit
TEIL 5	Bestimmung der Wasserfestigkeit
TEIL 10	Überprüfung der Zündweise
TEIL 16	Unter Tage – Nachweis und Messung von toxischen Schwadenbestandteilen

Normierte Prüfverfahren für die Zulassung von Sprengstoffen

Für Hersteller sind die Prüfungen bzw. die Einhaltung der normativen Anforderungen verpflichtend, da sie in die EG-Baumuster-Prüfbescheinigung bzw. in die Verwendungsbestimmungen der Zulassung des jeweiligen Sprengstoffs eingehen. Sie sind jedoch offensichtlich nicht allein hinreichend für eine umfassende Bewertung der zuvor aufgezählten anwendungsbezogenen Kriterien aus Sicht der Verwender.



BAM Reibapparat zur Bestimmung der Reibempfindlichkeit von Explosivstoffen
Quelle: OZM Research s.r.o.



BAM Fallhammer zur Bestimmung der Schlagempfindlichkeit von Explosivstoffen
Quelle: OZM Research s.r.o.

Aktuell beschäftigen sich verschiedene Sprengstoffhersteller nicht nur mit Emulsionssprengstoffen, sondern auch mit Sprengstoffen auf Basis von Peroxiden bzw. Perchloraten. Diese flüssigen bzw. pastösen Sprengstoffe emittieren aufgrund der Tatsache, dass als Sauerstoffträger insbesondere kein Ammoniumnitrat zum Einsatz kommt, keine Stickoxide. Für MSW und K+S kommen diese Sprengstoffe nicht in Betracht, vor allem da sie nach aktuellem Stand der Technik wesentliche Sicherheitsanforderungen bei der Herstellung, beim Transport, bei der Lagerung und bei der Verwendung nicht erfüllen.

Auch die zahlreichen anderen Sprengstoffarten, die im Bergbau bereits eingeführt sind oder waren, scheiden entweder aufgrund der Sicherheitsanforderungen oder aufgrund des nicht hinreichenden Minderungspotentials bei den Stickoxid-Emissionen, spätestens jedoch mit der nicht hinreichenden Eignung für den Anwendungsfall bei K+S aus.



Anforderungen für den Einsatz im Kali- und Steinsalzbergbau

Grundsätzlich ist es dringend zu empfehlen, dass im Zuge der Einführung neuer Sprengstoffe oder Sprengstoffsysteme umfassende Analysen und betriebliche Folgeabschätzungen bereits in der Planungsphase vorgenommen werden. Die folgenden Ausführungen beziehen sich auf die Einführung gepumpter Emulsionssprengstoffe in den K+S Bergwerken und umfassen nicht die Aspekte der Herstellung von Vorprodukten (Triebel, et al., 2020).

Die Einführung von Emulsionssprengstoffen unter Tage ist bei K+S und sicherlich auch in anderen Bergwerken mit dem Erfordernis einer grundlegenden Umstellung der Sprengmittellogistik verbunden. Daher müssen, in Abhängigkeit von standortspezifischen Anforderungen, passende Konzepte für den effizienten, produktschonenden und sicheren Transport ausgearbeitet werden. Definiert man als erste Schnittstelle für den Einsatz im Grubenbetrieb die Anlieferung über Tage, so sind geeignete Konzepte für den Umschlag, die Zwischenlagerung und den Schachttransport zu entwickeln. Die Möglichkeit der vertikalen Förderung der Emulsionsmatrix über eine Schachtleitung ist ebenso zu prüfen, wie der Transport in maßgeschnei-

erten Logistikeinheiten. Letztendlich muss für spezifische Varianten ggf. auch eine gezielte Anpassung der Produktformulierung an die Logistikkette berücksichtigt werden. Dies erfordert insbesondere eine umfassende Betrachtung in Hinblick auf die Sicherheit und die Produktqualität. Der Transport, die Lagerung und Umschlagvorgänge bis zur Befüllung der Mischladeeinheiten müssen so ausgelegt werden, dass Restmengen in Transportbehältern minimiert werden und bedarfsweise Reinigungsprozesse durchgeführt werden können. Insbesondere Verunreinigungen durch Restmengen können Kristallisationsvorgänge innerhalb der Emulsionsmatrix auslösen und damit zur Beeinträchtigung der Produktqualität sowie der Sicherheit führen. Grundsätzlich wird die Stabilität der Emulsionsmatrix für die Lagerung und Verwendung bei Temperaturen bis zu 50 °C über mehrere Monate vorausgesetzt.

Für das Laden der Bohrlöcher und die Sensibilisierung an der Verwendungsstelle muss zudem eine Anpassung der Mischladetechnologie erfolgen. Diese ist insbesondere durch den Einsatz in Gewinnungsbereichen mit geringen Lagerstättenmächtigkeiten begründet. Unter Berücksichtigung der entsprechenden Trägerfahrzeuge, die derzeit ausgewählt werden, sind Höhenbeschränkungen durch ein geeignetes Design zu kompensieren.

Darüber hinaus werden weitere wesentliche Anforderungen an die Mischladetechnologie gestellt. Das Laden der Sprengbohrlöcher ohne wesentliche Einflussmöglichkeiten des Sprengberechtigten auf die Rezeptur des Sprengstoffes ist als Verwenden im Sinne des SprengG zu betrachten. Dennoch müssen, neben der rechtlichen Anforderung der automatischen Dokumentation der geladenen Mengen, auch Grundsätze und Messgrößen zur Qualitätssicherung festgelegt werden. Es müssen ein Höchstmaß an Sicherheit sowie eine gleichbleibend hohe Produktqualität gewährleistet sein, sodass Sprengarbeiten definiert geladen und zuverlässige Sprengergebnisse erreicht werden. Der Grad und die Güte der Sensibilisierung der Matrix bestimmen maßgeblich die sprengtechnischen Eigenschaften des Emulsionssprengstoffs. Aus diesem Grund ist eine geeignete Vorrichtung zur Unterstützung des Ladevorgangs zwingend erforderlich. Die Vorrichtung muss eine ergonomische Führung des Ladeschlauchs ermöglichen und die exakte Einstellung der Rückzugsgeschwindigkeit gewährleisten, damit insbesondere lange horizontale, aber auch vertikale Sprengbohrlöcher mit definierten Mengen geladen werden können. Zur Vermeidung eines Dichtegradienten über die Bohrlochlänge muss die Matrix radial expandieren können, dies ist nur bei partiell gefüllten Bohr-

löchern, die mittels Schlauchrückzugseinrichtung geladen werden, möglich. Zudem ist eine intelligente Steuerungstechnik erforderlich, die Temperatureinflüsse und Dichtevorgaben berücksichtigt und für den Sprengberechtigten möglichst einfach und sicher zu bedienen ist.

Der Ladevorgang erfordert darüber hinaus eine exakte Festlegung und zeitliche Koordination der Arbeitsabläufe, da die Vermischung von Gassing-Reaktiv und Emulsionsmatrix zu einem Druckanstieg im Ladeschlauch führt. Bei längeren Betriebsunterbrechungen kann dies zu Störungen und im ungünstigsten Fall zum Bersten des Ladeschlauchs führen. Zur Vermeidung dieses Effektes muss der Ladeschlauch vor längeren Unterbrechungen freigespült werden. Der Spülvorgang ist so auszulegen, dass Rest- und Abfallmengen minimiert werden. Dies kann z. B., wie in den Einsätzen bei K+S bereits durchgeführt, durch rechtzeitiges Umstellen der Förderpumpe auf Spülwasser während des Ladens der letzten Bohrlöcher einer Sprengarbeit erreicht werden. Dabei muss allerdings auch gewährleistet sein, dass kein Spülwasser in das Bohrloch gepumpt wird, damit der Sprengstoff in seiner Zusammensetzung qualitativ nicht beeinträchtigt wird. Ein derartiger Vorgang kann nicht allein durch die Erfahrung des Sprengberechtigten wirtschaftlich und sicher gestaltet werden, es bedarf ebenso einer geeigneten technischen Unterstützung durch das Mischladesystem. Bei den anfallenden Spülmengen muss zudem die Einführung eines Recyclingkonzeptes geprüft werden.

Die saubere und exakte Dosierung ist grundsätzlich eine wesentliche Anforderung des Kali- und Steinsalzbergbaus. Bei den Ladetätigkeiten muss die Verunreinigung des Rohsalzes durch Emulsionsmatrix oder Reaktive vermieden werden. Produkte und Anwendungen in der Chemie oder Pharmaindustrie sowie im Futter- und Lebensmittelbereich erfordern die Gewinnung hochreiner Salze, die auch durch das Sprengstoffsystem nicht kontaminiert werden dürfen. Ebenso müssen der sichere Umgang mit Gefahrstoffen und die Arbeitssicherheit der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter gewährleistet werden.

Fazit und Ausblick

Die Einhaltung der zukünftig anzuwendenden, stark reduzierten Arbeitsplatzgrenzwerte für Stickoxide stellt für den Bergbau eine große Herausforderung dar. Die K+S Gruppe setzt vor allem aufgrund der Lagerstättenbedingungen auch zukünftig auf die Gewinnung mit Bohr- und Sprengarbeit und hat nach eingehender Prüfung der Ergebnis-

se von entsprechenden Versuchseinsätzen entschieden, Emulsionssprengstoffe in allen Bergwerken der Gruppe in Deutschland einzuführen. Die Vorbereitungen werden intensiv vorangetrieben und es ist eine Vielzahl von organisatorischen, logistischen und technischen Anpassungen erforderlich, bevor die Mischladetechnologie bei K+S eingesetzt werden kann. Voraussichtlich werden sich die Arbeitsabläufe im Sprengwesen für die Beschäftigten wesentlich ändern. Weiterhin müssen die hohen Anforderungen an die Produktqualität zur Sicherstellung der erforderlichen Emissionsreduzierung, aber auch die Anpassung der technologischen Prozesse an die Erfordernisse der K+S Bergwerke berücksichtigt werden.

Letztlich muss auch gewährleistet sein, dass durch Emulsionssprengstoffe, deren Einsatzstoffe und Restmengen keine Kontamination der Rohsalze erfolgt. Der Zeitbedarf für die Umstellung der Bergwerke ist erheblich, die K+S Gruppe ist mit MSW-Chemie einer der bedeutendsten Hersteller und mit den eigenen Bergwerken einer der größten Verbraucher von gewerblichen Sprengstoffen in Deutschland.

Die hohe Bedeutung der Sicherheitsaspekte zieht sich wie ein roter Faden durch die Kriterien und Anforderungen der Sprengmittelwirtschaft im Bergbau. Rückblickend hatten alle bedeutenden Umstellungen in den Sprengstoffsystemen der Kali- und Steinsalzbergwerke in Deutschland zum Anlass und zum Ziel, wesentliche Verbesserungen in der Arbeitssicherheit und im Gesundheitsschutz zu bewirken. Dieser Anspruch hat auch bei der kommenden Umstellung auf emissionsarme Emulsionssprengstoffe zur Einhaltung der Arbeitsplatzgrenzwerte für Stickoxide oberste Priorität. Für die erfolgreiche Einführung eines neuen und sicheren Sprengstoffsystems im Kali- und Steinsalzbergbau sind genau deshalb noch einige grundlegende Schritte und anwendungsgerechte Verbesserungen erforderlich.

LITERATUR

- DIN EN 13631-1:2005-07.** Explosivstoffe für zivile Zwecke – Sprengstoffe – Teil 1: Anforderungen. Deutsche Fassung EN 13631-1:2005.
- Lück, H. 1964.** Schießen mit neuen nitroglycerinfreien AN-Sprengstoffen. [Hrsg.] Kaliverein e. V. Kali und Steinsalz. 1964, Nr. 1.
- Triebel, R. und Flach, F. 2020.** Emulsionssprengstoffe für den Kali- und Steinsalzbergbau. [Hrsg.] Deutscher Sprengverband e. V. Sprenginfo 42. 2020, Nr. 2.
- Winter, M. 1928.** Miedziankit und seine Fabrikation in Langelsheim am Harz. [Hrsg.] Deutscher Kaliverein e. V. Kali und verwandte Salze. 1928, Nr. 11-13.



V. Sommer
Doktorandin
Universität Rostock,
Angewandte Ökologie
und Phykologie, Rostock



Dr. M. Kockx
Projektingenieur
INGENUM green GmbH,
Bottrop

Biologische Bodenkrusten auf den Rückständen der IHS-Pilothalde in Zielitz

Spontane Besiedlung durch Mikroalgen als erster Sukzessionsschritt der natürlichen Begrünung

Die Abdeckung von Rückstandshalden der Kaliindustrie dient der Verringerung der Entstehung salzhaltiger Wässer. Am Standort Zielitz wurde hierzu das Abdeckverfahren der Infiltrationshemmschicht (IHS) entwickelt. Hierbei führt die Zugabe unlöslicher Bestandteile zum Haldenrückstand zur Bildung einer wasserspeichernden Schicht, die wiederum die Verdunstungsleistung des Haldenkörpers erhöht. Im Rahmen eines Pilotversuches konnte die Besiedelung dieser Schicht mit verschiedenen photosynthetisch aktiven Mikroorganismen und sogar ersten höheren Pflanzen beobachtet werden. Diese Biokrusten können die Verdunstungsleistung der Abdeckschicht erhöhen, tragen zur Stabilisierung bei und führen langfristig zur Bodenbildung, was eine Ansiedlung höherer Pflanzen weiter begünstigt.

***Biological soil crusts on the Zielitz tailings pile cover** The covering of potash tailings piles aims at minimizing the rain induced brine formation. At the Zielitz site a new covering technique – the infiltration barrier system (IHS) – was developed. By adding insoluble compounds to the top layer of the tailings the water storage capacity and therefore the evaporation rate is improved. During field trials the growth of various photosynthetic active microorganisms and even small plants could be observed. These biological soil crusts can improve the evaporation rates at the surface, contribute to their stability and in the long term lead to soil formation, which finally facilitates settlement by higher plants.*

Co-Autoren: Prof. Dr. U. Karsten, Leiter der Abteilung Angewandte Ökologie und Phykologie, Universität Rostock, Rostock; Dr. A. Wölk, Umweltabteilung, K+S Minerals and Agriculture GmbH, Werk Zielitz, Zielitz; Dr. A. Schmeisky, Spezialist Haldenabdeckung, K+S Minerals and Agriculture GmbH, Kassel; Dipl.-Ing. N. Gose, Geschäftsführer, upi UmweltProjekt Ingenieursgesellschaft mbH, Stendal

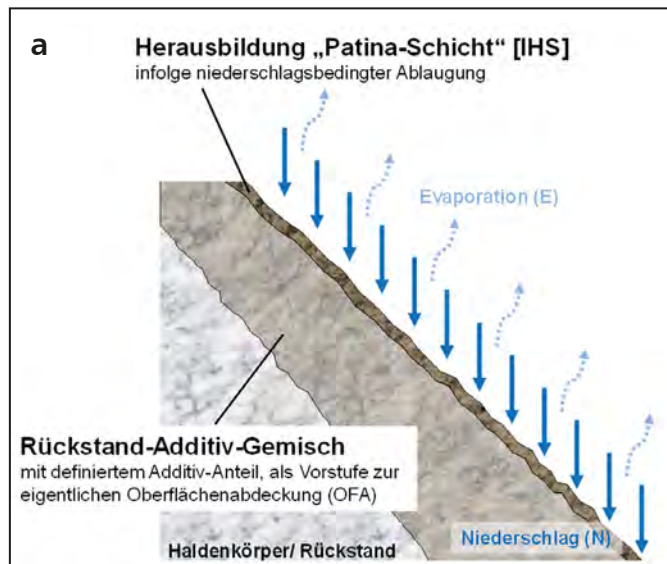


Abb. 1 Prinzip „Infiltrationshemmschicht“ (a, verändert nach [1]) und Pilothalde mit ausgebildeter Infiltrationshemmschicht (b)

Das Pilotvorhaben und die Infiltrationshemmschicht

Neben geeigneten Basisabdichtungssystemen als wirksame Barriere gegenüber der Infiltration von nahezu salzgesättigtem Haldenwasser in den Untergrund sowie Haldenwasserfassungssystemen zur Fassung und Ableitung des Haldenwassers (Entwässerungselemente, Haldenrandgraben) rücken in den letzten Jahren technische Lösungsansätze für Oberflächenabdeckungssysteme in den Fokus, welche den Niederschlagseintrag in den Haldenkörper signifikant begrenzen und somit das Entstehen des salzhaltigen Haldenwassers nachhaltig einschränken.

Der im Deponiebau etablierte und in den entsprechenden Regelwerken dokumentierte „Stand der Technik“ an Oberflächenabdichtungs- bzw. -abdeckungssystemen lässt sich aufgrund ihrer besonderen Eigenschaften (u. a. Böschungswinkel, Auflasten, Mechanik) nicht ohne weiteres auf die Rückstandshalden der Kaliindustrie übertragen. Ein innovativer technischer Ansatz der Oberflächenabdeckung stellt die Infiltrationshemmschicht (IHS, siehe Abb. 1) dar. Der Ansatz basiert auf der Beobachtung, dass auf nicht abgedeckten Oberflächen von Rückstandshalden sich im Laufe der Zeit durch niederschlagsbedingte Ablaugung der löslichen Bestandteile eine großflächige, mehrere Zentimeter starke Deckschicht aus den zurückbleibenden schwer- und unlöslichen (salzfreien) Bestandteilen des Rückstandsmaterials herausbildet. Dieser Effekt ist je nach Standortbedingungen (Lage, Klima, Haldenbetrieb) und Zusammensetzung des Rückstands (v. a. Anteil an schwer- und unlöslichen Anteilen im Rückstand) unter-

schiedlich stark ausgeprägt. Es konnte gezeigt werden, dass eine solche entsalzte Deckschicht eine Speicher- und Verdunstungswirkung besitzt und somit die Restinfiltration begrenzt [1].

Das ursprüngliche Konzept der Infiltrationshemmschicht als wirksame Oberflächenabdeckung besteht nun darin, den Prozess der Oberflächenalterung durch gezielte Zudosierung von geeigneten mineralischen Additiven zum Rückstandsmaterial zu forcieren. Die Additivzugabe kann im Zuge des Transports des frischen Rückstandes zur Aufhaltung über die Bandanlage erfolgen. Das Auftragen dieses Rückstand-Additiv-Gemisches erfolgt dann über den Absetzer auf Haldenoberflächen, die die Endkontur erreicht haben. Die Infiltrationshemmschicht als eigentliche Oberflächenabdeckung bildet sich anschließend durch die niederschlagsbedingten Ablaugungsvorgänge aus dem Rückstand-Additiv-Gemisch sukzessiv heraus, und setzt sich dann sowohl aus den schwer- und unlöslichen Bestandteilen des Rückstandsmaterials als auch aus den zudosierten Additiven zusammen.

Auf Grundlage dieser Überlegungen wurden im Jahr 2009 mit umfangreichen Laborversuchen zur Wirksamkeit der Rückstand-Additiv-Gemische und der sich daraus herausbildenden Infiltrationshemmschicht begonnen („Pilotvorhaben“), die am Standort Zielitz der K+S Minerals and Agriculture GmbH im Jahr 2012 in die Errichtung von Feldversuchen („Pilothalde“, u. a.) mündeten. Der Feldversuch „Pilothalde“ wurde über mehrere Jahre wissenschaftlich begleitet und aus Gründen des weiteren Erkenntnisgewinns im Jahr 2016 geordnet zurückgebaut.

Das zurückgebaute Rückstand-Additiv-Gemisch wurde als Haufwerk abgelegt (Länge ca. 100 m, Höhe ca. 2 m), so dass sich die Herausbildung einer Infiltrationshemmschicht des aus dem Rückbau gestörten Rückstand-Additiv-Gemisches erneut vollziehen konnte.

Unmittelbar vor dem Beginn des Rückbaus der Pilothalde wurde auf den entsalzten Oberflächen der Pilothalde an einzelnen Stellen ein „grüner Belag“ festgestellt. Vorrangig waren diese Funde im Bereich unter einer Wetterstation und unter Pegelrohren, die Vögel als Rastplatz genutzt hatten, lokalisiert. Dabei handelte es sich um junge biolo-

gische Bodenkrusten [2] (siehe Abb. 2). Dieser ungewöhnliche Fund gab den Anstoß für weitergehende Untersuchungen zur Anwendung biologischer Bodenkrusten für die Renaturierung von Kali-Rückstandshalden.

Biologische Bodenkrusten

Auf den ersten Blick erscheint eine Biologische Bodenkruste (Biokruste) in der Natur unscheinbar, doch mit dem Blick durch das Mikroskop wird klar, dass diese bodenbedeckende, lebendige Schicht eine hoch diverse Lebensgemeinschaft darstellt. Eine Biokruste besteht aus vielfältigen Mikroorganismen, wie Grünalgen, Cyanobakterien, Mikroplizzen, weiteren Bakterien und den urtümlichen Archaeen, sowie in älteren Stadien auch aus Moosen und Flechten. Die ökologische Bedeutung von Biokrusten ist vielfältig. Eine wichtige Eigenschaft ist die Bodenstabilisierung. Cyanobakterien, Grünalgen und Bakterien scheiden klebrige Polysaccharide (extrazelluläre Polysaccharide, EPS) aus, welche die Bodenpartikel zusammenkleben und auch die einzelnen Organismen miteinander zu einer teppichartigen Schicht verbinden. Dadurch wird der Boden vor Erosion durch Wind und Wasser geschützt und zusätzlich dessen Wasserhaltekapazität verstärkt [3].

Biokrusten besiedeln großflächig als dominante Vegetationsform die Trockengebiete der Erde, und leisten dabei einen großen Beitrag zur Primärproduktion und Biodiversität in den von höheren Pflanzen kaum besiedelten Gebieten [4]. Ein weiterer Lebensraum von Biokrusten stellen Primärhabitats dar, die z. B. nach Störungsereignissen entstehen. So sind Biokrusten eine der ersten Besiedler von neu entstehenden Flächen nach Gletscherrückgang [5], oder treten in anthropogen gestörten Gebieten auf [6]. Insgesamt stellt eine Biokruste eine widerstandsfähige Lebensgemeinschaft dar, die durch unterschiedliche Mechanismen an harsche Bedingungen wie z. B. Trockenheit, UV-Strahlung und extreme Temperaturen angepasst sind [4].

Somit war es nicht verwunderlich, dass biologische Bodenkrusten auch in der Umgebung von Rückstandshalden der Kali-Industrie gefunden wurden [7], an denen neben Trockenheit auch der Stressor Salinität eine wichtige Rolle spielt. Durch den Salzeinfluss, der in Mitteleuropa üblicherweise eher an den Küstengebieten vorzufinden ist, stellen diese Habitats einzigartige Lebensräume dar. So wurden in diesen Biokrusten mehrere, bisher unbekannte Arten von Grünalgen und Cyanobakterien entdeckt [8], die sich aufgrund dieser besonderen und extremen Bedingungen angesiedelt haben.

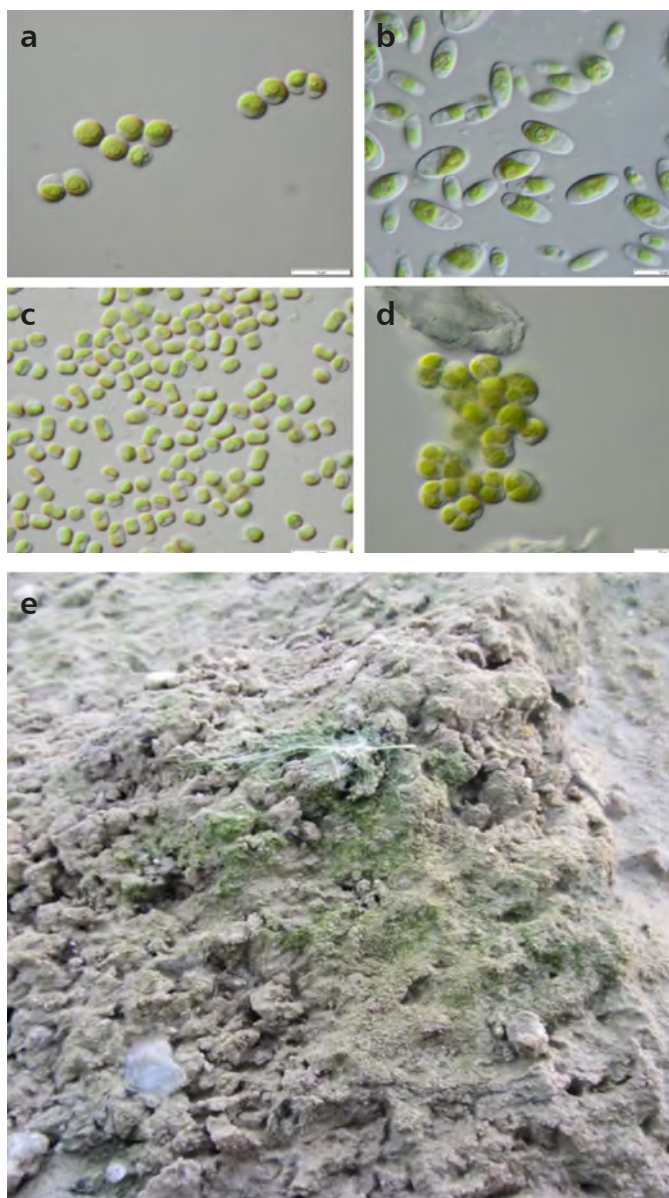


Abb. 2 Biokrustenfund auf der Pilothalde Zielitz (Plateau) Isolierte Grünalgenstämme (a: *Chlorella vulgaris*, b: *Chloroidium ellipsoideum*, c: *Stichococcus bacillaris*, d: *Chlorosarcinopsis* sp.) und Gesamtansicht der Biokruste (e). Abbildung verändert nach Sommer et al. 2019 [2]



Abb. 3 Biokrustenfund auf den Rückständen der Pilothalde Zielitz im November 2019. Gesamtansicht der Nordseite mit ausgebildeter Biokruste (a) auf der Pilothaldenflanke und am Fuße der Pilothalde (Pfeile); Detail der dunkelgrünen Biokruste am Fuße der Pilothalde (b); Detail der hellen Biokruste der Pilothaldenflanke (c)

Potentieller Einfluss einer Biokruste auf die IHS-Oberfläche

Die durch die IHS erreichte Verringerung der Infiltration könnte durch eine ausgebildete Biokruste weiter verstärkt werden. Die Biomasse der Mikroorganismen nimmt zunächst Niederschlagswasser schwammartig auf und verlangsamt so die Infiltration in darunterliegende Schichten. Das aufgenommene Wasser wird nun im nächsten Schritt in einer Vielzahl von Stoffwechselprozessen der Organismen physiologisch verwertet. Zu Beginn der Photosynthese, der zentrale Stoffwechselweg phototropher Organismen, wird Wasser zunächst gespalten, um Elektronen für Folgereaktionen zu gewinnen und Sauerstoff freizusetzen. Am Schluss der Photosynthesereaktionen wird ein weiterer Teil des Wassers in die Atmosphäre abgegeben. Durch diese biologische Evapotranspiration wird zusätzlich die Verdunstungsleistung der Fläche erhöht. Im Zuge der Photosynthese wird Kohlenstoff in Form von CO_2 aufgenommen und in die Biomasse eingebaut. Im Gegensatz zu der unbelebten IHS kann eine Biokruste also klimarelevantes CO_2 speichern, was einen deutlichen ökologischen Vorteil darstellt.

Mit der Zeit wachsen die Biokrusten auf der Oberfläche unter guten Bedingungen zu einer zentimeterdicken Schicht. Durch natürliche Abbauprozesse abgestorbener Biomasse werden wiederum Nährstoffe wie Stickstoffe und Kohlenstoff an den Boden abgegeben und so insgesamt der Anteil organischer Substanzen erhöht [9]. Somit stellt eine Biokruste den Startpunkt von Bodenbildungsprozessen dar und bereitet den Untergrund nach und nach für die Besiedlung mit höheren Pflanzen vor. Da Biokrusten auch auf anderen Standorten den ersten Schritt der Sukzession darstellen [9], könnten der Biokrustenbesiedlung auf der IHS mit der Zeit auch Gefäßpflanzen folgen.

Biokrusten auf den Rückständen der Pilothalde Zielitz 2019: Nachweis aktiver Biokrusten

Ende des Jahres 2019 wurden schließlich an einem Teil der Nordseite der Haufwerke der zurückgebauten Pilothalde erneut Biokrusten gefunden (siehe Abb. 3). Der Fund erstreckte sich auf der Nordflanke des Haufwerks über ca. 3,5 m. Dabei traten punktuell dunkelgrüne und augenscheinlich weiter ausgebildete sowie flächendeckende hellgrüne, dünne Biokrusten auf.

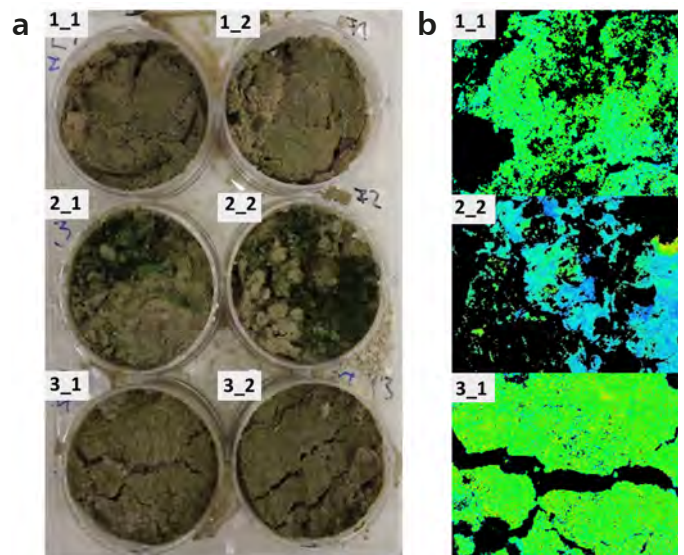


Abb. 4 Natürliche Biokrustenproben von den Rückständen der Pilothalde Zielitz (2019) umgesetzt in Kulturgefäße (a) und PAM-Imaging Bilder zur Darstellung der photosynthetischen Aktivität (b), wobei eine blaue Färbung für eine stärkere Aktivität steht als eine grüne Färbung, schwarz=keine Aktivität. Probe 1, 3: leicht grüne Biokruste, Probe 2: dunkelgrüne Biokruste.

Dass sowohl die hell- als auch die dunkelgrünen Bereiche photosynthetisch aktiv waren, konnte vor Ort mittels eines Fluoreszenz-Messgerätes (PAM 2000) über punktuelle Messungen der photosynthetischen Aktivität bestätigt werden. Dabei wurden die höchsten Werte an den kleinflächigen dunkelgrünen Biokrusten gemessen, die ganz leicht grünliche Fläche auf der Flanke des Haufwerks zeigte ebenfalls eindeutige Messwerte. Diese Felddaten belegen, dass dunkelgrüne sowie dünne, leicht-grünliche Biokrusten deutlich aktiv und vital waren. Für weitere Untersuchungen wurden möglichst ungestörte Proben entnommen und ins Labor gebracht. Dort wurden die Biokrusten in Kulturgefäße umgesetzt und die photosynthetische Aktivität unter kontrollierten Bedingungen gemessen, dieses Mal aber über eine definierte Fläche mittels PAM-Imaging (Abb. 4). Die Ergebnisse der PAM-Imaging-Messungen zeigten, ähnlich zu den Messungen im Feld, eine höhere Aktivität der dunkelgrünen Biokrusten (Abb. 4b, Probe 2_2) im Vergleich zu den jungen, helleren Biokrusten. Insgesamt konnte durch dieses Experiment Details der photosynthetischen Aktivität zweidimensional bildlich dargestellt und auch gezeigt werden, dass die Biokrusten das Umsetzen vom Feld in die Laborumgebung überlebt haben.

Biokrusten auf den Rückständen der Pilothalde 2020: Keimlingsfund zeugt von fortschreitender Sukzession

An der gleichen Stelle der Rückstände der Pilothalde wie im Vorjahr traten Biokrusten im Spätherbst 2020 erneut auf. Mittels eines Drohnenfluges konnte die Ausbreitung der Biokrusten nun genauer abgegrenzt werden (Abb. 5). Die Aufsicht-Aufnahme zeigt vorhandene Tierspuren, die sich entlang der Biokrusten-Fläche befinden. Vermutlich Rehe haben die Haufwerke an dieser Stelle überquert. Ähnlich zum Vorjahr traten erneut punktuell deutlich dunkelgrüne Biokrusten auf, wobei ein flächendeckend hellgrüner Bewuchs im ganzen Areal zu erkennen war. Die genaue Betrachtung der flächendeckenden Biokruste offenbarte ein neues Bild: einzelne, bis ca. 0,5 cm hohe Keimlinge bisher unbestimmter Gefäßpflanzen wuchsen auf der Oberfläche.

Es wurden Proben der Biokrusten entnommen und zur weiteren Bearbeitungen ins Labor gebracht, dabei wurden auch Bereiche mit Keimlingen ausgewählt. Die Proben wurden im Labor unter dem Stereomikroskop ausgewertet

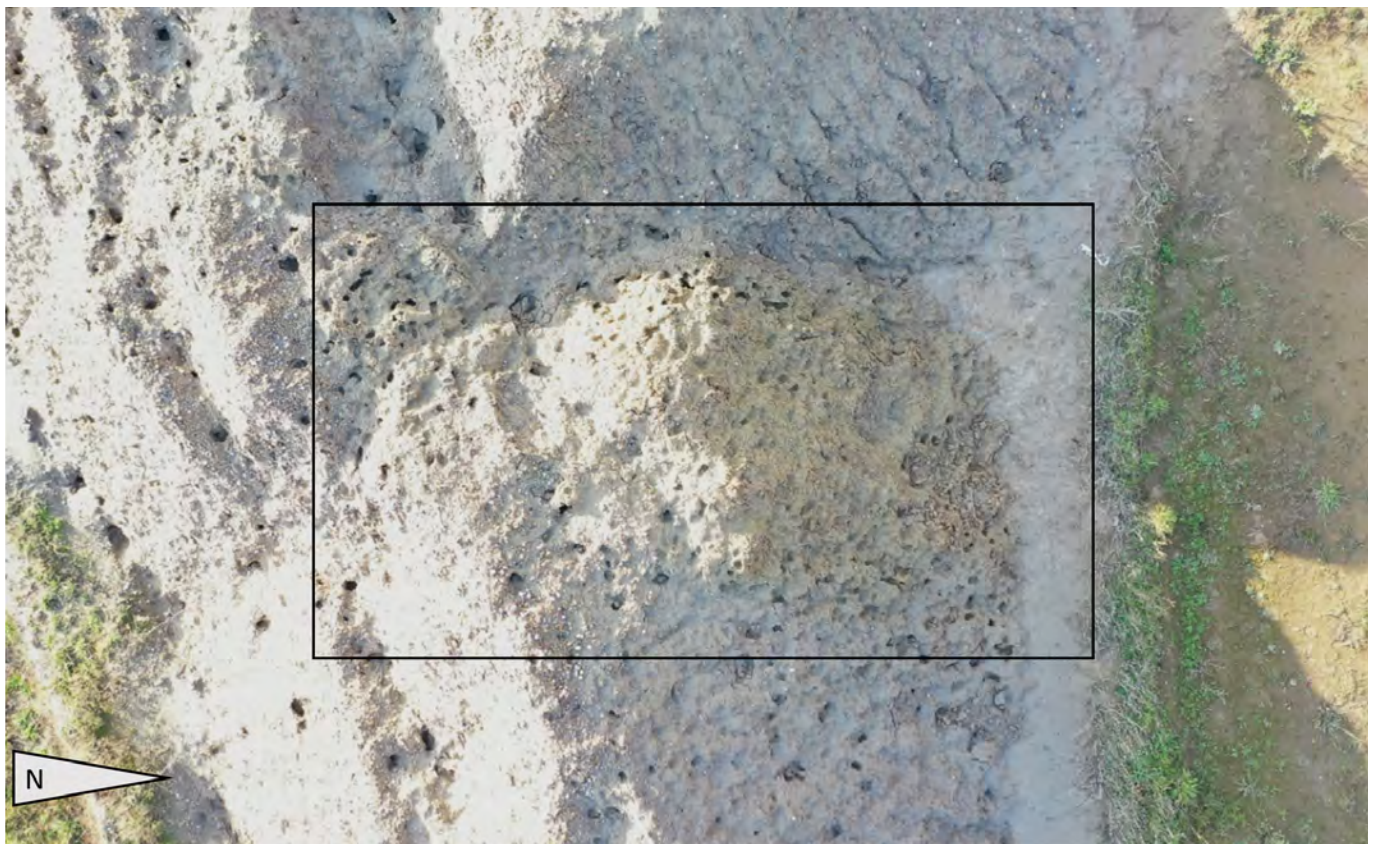


Abb. 5 Aufsicht auf den Biokrustenbewuchs (Rechteck) an den Rückständen der Pilothalde (2020). Tierspuren durchziehen die Rückstände in N-S-Richtung.

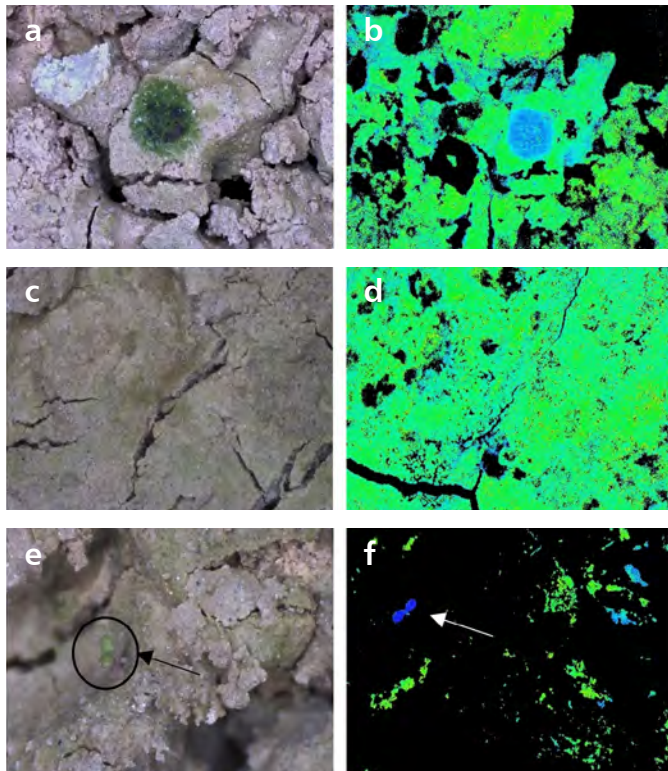


Abb. 6 Detailaufnahmen von Biokrusten der Rückständen der Pilothalde im November 2020. Binokularansicht (a, c, e): Abbildung der photosynthetischen Aktivität (Y(II)) mittels PAM-Imaging (b, d, f), wobei eine blaue Färbung für eine stärkere Aktivität steht als eine grüne Färbung, schwarz=keine Aktivität. Die Pfeile zeigen auf einen Keimling einer höheren zweikeimblättrigen Samenpflanze.

und die photosynthetische Aktivität mittels PAM-Imaging erfasst. Die Ergebnisse dieser Messung sind in Abbildung 6 dargestellt.

In den Bereichen der flächendeckenden Biokrusten ist eine mittlere Aktivität zu erkennen, während die dunkelgrünen punktuellen Biokrusten deutlich höhere Werte zeigten. Der Keimling war ebenfalls deutlich photosynthetisch aktiv.

Zusammenfassung und Ausblick

Insgesamt konnte über mehrere Jahre verfolgt werden, dass sich vitale Biokrusten auf der IHS der Haufwerken der ehemaligen Pilothalde spontan ansiedelten. Dies bestätigt die Lebensgemeinschaft Biokruste als ersten, natürlichen Sukzessionsschritt auf der IHS, wobei der Übergang in die nächste Entwicklungsphase bereits durch den Keimlingsfund angezeigt wurde. Somit stellt die Etablierung der Biokrusten den ersten Schritt von der unbelebten IHS-Oberfläche hin zur begrünter Rückstandshalde dar.

Folglich sind aufbauend auf den vorliegenden Ergebnissen weitergehende wissenschaftliche Untersuchungen vorgesehen. Im Vordergrund steht hierbei die Frage, ob großtechnisch durch gezielte Nährstoffzugabe auf entsalzten Haldenoberflächen biologische Bodenkrusten dauerhaft etabliert werden können. Ziel wäre es, die technische Oberflächenabdeckung mittels IHS durch ein biologisches System zu ergänzen, die an der IHS bereits nachgewiesene Verringerung des Haldenwassers möglicherweise durch Organismen zu verstärken und schließlich den ersten Schritt der natürlichen Sukzession großflächig einzuleiten.

LITERATUR

- [1] Kockx, M. Die Infiltrationshemmschicht als Oberflächenabdeckung für Rückstandshalden der Kaliindustrie, Technische Universität Clausthal, 2017.
- [2] Sommer, V.; Kockx, M.; Wölk, A.; Glaser, K. Von Vogelkot zu grünen Teppichen. *Biol. unserer Zeit* 2019, 49, 122–130, doi: 10.1002/biuz.201910671.
- [3] Gypser, S.; Veste, M.; Fischer, T.; Lange, P. Infiltration and water retention of biological soil crusts on reclaimed soils of former open-cast lignite mining sites in Brandenburg, north-east Germany. *J. Hydrol. Hydromechanics* 2016, 64, 1–11, doi:10.1515/johh-2016-0009.
- [4] Belnap, J.; Büdel, B.; Weber, B. Biological soil crusts as an organizing principle in drylands. In *Biological soil crusts: an organizing principle in drylands*; Weber, B., Büdel, B., Belnap, J., Eds.; Springer International Publishing: Switzerland, 2016 ISBN 978-3-319-30212-6.
- [5] Kastovská, K.; Elster, J.; Stibal, M.; Santrůcková, H. Microbial assemblages in soil microbial succession after glacial retreat in Svalbard (high arctic). *Microb. Ecol.* 2005, 50, 396–407, doi:10.1007/s00248-005-0246-4.
- [6] Szyja, M.; Büdel, B.; Colesie, C. Eco-physiological characterization of early successional biological soil crusts in heavily human impacted areas – Implications for conservation and succession. *Biogeosciences Discuss.* 2017, 155194, 1–22, doi:10.5194/bg-2017-369.
- [7] Sommer, V.; Karsten, U.; Glaser, K. Halophilic algal communities in biological soil crusts isolated from potash tailings pile areas. *Front. Ecol. Evol.* 2020, 8, 46, doi:10.3389/fevo.2020.00046.
- [8] Sommer, V.; Mikhailyuk, T.; Glaser, K.; Karsten, U. Uncovering Unique Green Algae and Cyanobacteria Isolated from Biocrusts in Highly Saline Potash Tailing Pile Habitats, Using an Integrative Approach. *Microorganisms* 2020, 8, 1667, doi:10.3390/microorganisms8111667.
- [9] Weber, B.; Büdel, B.; Belnap, J. *Biological Soil Crusts: An Organizing Principle in Drylands.*; Weber, B., Büdel, B., Belnap, J., Eds.; Ecological.; Springer International Publishing: Switzerland, 2016; ISBN 978-3-319-30212-6.

K+S GRUPPE

In der Pandemie auf Kurs geblieben

Durch umfangreiche Prävention und ein funktionierendes Krisenmanagement kommt K+S vergleichsweise gut durch die anhaltende Corona-Pandemie. Die Produktion konnte im Vergleich zum Vorjahr gesteigert werden. Dennoch belasteten die erforderlichen Maßnahmen im Zuge der Pandemie das Ergebnis mit rund 40 Mio. €.

Die Kalipreise erholten sich im Verlauf des Jahres 2020 nach den lange erwarteten Vertragsabschlüssen mit chinesischen Abnehmern schwächer als erwartet. Der milde Winter in Nordamerika und Europa wirkte sich darüber hinaus sehr negativ auf den Auftausalzabsatz aus. Hinzu kamen Einmalkosten in Verbindung mit der Restrukturierung der Verwaltung sowie Transaktionskosten im Zusammenhang mit dem Verkauf der Operativen Einheit Americas. All dies führte zu einem Rückgang des operativen Ergebnisses EBITDA auf 445 Mio. € (2019: 640 Mio. €), inklusive des nicht fortgeführten Geschäfts.

Personalien

Der Aufsichtsrat der K+S Aktiengesellschaft hat Herrn **Holger Riemensperger** (51) zum 1. April 2021 in den Vorstand des Unternehmens bestellt. Als Chief Operating Officer (COO) übernahm er die Verantwortung für die Steuerung und Weiterentwicklung der Kundensegmente ‚Landwirtschaft‘ und ‚Industrie+‘ sowie der Funktionen ‚Produktion und Technik‘, ‚Supply Chain‘, ‚Health, Safety, Sustainability, Quality & Management Systems‘.

Mark Roberts (57), bisheriger COO von K+S und CEO der amerikanischen Morton Salt, wird nach Abschluss des Verkaufs der Operativen Einheit Americas neue Aufgaben im Unternehmensverbund der Stone Canyon Industries übernehmen.

Die Fakultät für Energie- und Wirtschaftswissenschaften der TU Clausthal hat **Dr.-Ing. Rüdiger Triebel** zum Honorarprofessor für Sprengtechnik bestellt. Seit 2014 hat er einen Lehrauftrag am Institut für Bergbau. Er ist seit 2005 Referatsleiter Bergbau in der Unternehmensleitung der K+S Aktiengesellschaft und seit 2016 zusätzlich Geschäftsführer der MSW-Chemie GmbH, dem Sprengstoffwerk der K+S Gruppe. Prof. Dr. Triebel vertritt die Branche Bergbau auch in verschiedenen Gremien zu den Schwerpunkten Arbeitssicherheit und Gesundheitsschutz sowie zu Explosivstoffen.



Verband der Kali- und Salzindustrie e.V.