

01
2024

KALI & STEINSALZ

Wertvolle Rohstoffe aus Deutschland

ISSN 1614-1210

VKS

Verband der Kali- und Salzindustrie e.V.

Das Maß ist nicht nur bei den Bauern voll



Christoph Wehner

Sehr geehrte Leserinnen und Leser,

in den vergangenen Monaten kam es in Berlin und vielen Teilen Deutschlands und Europas zu zahlreichen Demonstrationen und Kundgebungen der Landwirtschaft. Diese Bauernproteste haben in der deutschen Bevölkerung eine hohe Aufmerksamkeit erfahren.

Es ging dabei nur vordergründig um die praktisch über Nacht beschlossene Streichung von Subventionen. Tatsächlich ist es der schon länger vorherrschende Eindruck permanent steigender gesetzlicher Auflagen, die Flut an Detailregulierungen und Überbürokratisierung, die von den Landwirten als mangelnde Wertschätzung, latentes Misstrauen und Gängelung empfunden werden. Hinzu kommen die auch staatlich getriebenen Preis- und Kostensteigerungen. Gefühlt ist für die Bauern das Maß voll.

Dieser Eindruck wird – in unterschiedlicher Ausprägung – von vielen, zum Teil auch in der Industrie, geteilt. Nicht zuletzt die Nachwirkungen der Corona-Pandemie, der russische Angriffskrieg und die damit verbundene Energiekrise sowie die Jahrhundertaufgabe „Transformation“ lassen bei vielen Betrieben die Unsicherheit und damit auch den Frust wachsen.

Die Präsidenten der führenden Wirtschaftsverbände haben deshalb Ende Januar dieses Jahres in einem Brief an Bundeskanzler Scholz ihre Sorge über die politische, gesellschaftliche und wirtschaftliche Entwicklung in Deutschland ungewohnt deutlich zum Ausdruck gebracht und ein umfangreiches Maßnahmenpaket gefordert, um Deutschland wieder auf Kurs zu bringen.

Eigentlich, so hätte man denken können, müssten seit der von Bundeskanzler Scholz ausgerufenen Zeitenwende – was gleichzeitig auch eine Rohstoffwende darstellen muss – die politischen Weichen in die richtige Richtung gestellt worden sein. Und ja, die Situation wurde erkannt und die richtigen Schlussfolgerungen wurden gezogen: weniger Abhängigkeit, mehr heimische Rohstoffgewinnung, resilientere Lieferketten.

Gleichwohl schlägt sich das bislang praktisch kaum in den gesetzgeberischen Aktivitäten nieder. Im Gegenteil: Nach wie vor halten Brüssel und Berlin an alten und neuen Gesetzgebungen fest, die die heimische Rohstoffgewinnung weiter erschweren. Die einzelnen Gesetzesinitiativen, sei es im Umweltbereich, in der Energie- und Klimapolitik, der Unternehmensberichterstattung oder neue Transparenzauflagen, haben, für sich genommen, sicherlich ihre Berechtigung und nachvollziehbare Begründungen. In der Summe führt dies allerdings in der aktuellen Phase und auch zukünftig zu einer erheblichen Mehrbelastung für die Rohstoffgewinnung, die den Rohstoffstandort Deutschland weiter schwächt und nicht stärkt.

Der auf EU-Ebene initiierte Critical Raw Materials Act hat mit dem Ansatz, bergbauliche Genehmigungsverfahren zu beschleunigen, zwar die richtige Stoßrichtung, für die meisten Rohstoffe ist dieser Rechtsakt allerdings – per Definition – gar nicht anwendbar, da er sich nur auf einige wenige Importrohstoffe bezieht, die vorwiegend für Elektromobilität und „grüne“ Technologien benötigt werden.

Was bei den rohstoffgewinnenden Betrieben ankommt, sind hingegen

- die zunehmenden umwelt-, natur- und wasserschutzrechtlichen Vorgaben, die die Genehmigungsfähigkeit von Bergbauaktivitäten erschweren und verzögern (dazu zählen auf europäischer Ebene FFH- und Vogelschutzrichtlinie, Wasserrahmenrichtlinie, Richtlinie bergbaulicher Abfälle, Richtlinie über die Umweltverträglichkeitsprüfung, Abfalldeponierichtlinie, Abfallverbringungsverordnung, Verordnung zur Wiederherstellung der Natur und auf nationaler Ebene Bundesnaturschutzgesetz, Bundesimmissionsschutzgesetz, Wasserhaushaltsgesetz, Oberflächengewässerverordnung, Verordnung über den Umgang mit wassergefährdenden Stoffen, Abwasserabgabengesetz, Chemikaliengesetz, Störfallverordnung, Kreislaufwirtschaftsgesetz, Deponieverordnung)
- der Wegfall von Entlastungen wie der Strompreiskompensation und das permanente Drehen an der CO₂-Preisschraube, die neben den ohnehin schon hohen Gas- und Strompreisen die Energiekosten noch einmal deutlich verteuern
- neue Transparenz-, Berichts- und Dokumentationspflichten, die Betriebe erfüllen müssen und mit denen zum Teil neue Haftungsrisiken einhergehen
- Unsicherheit darüber, in welche Richtung die angekündigte Novelle des Bundesberggesetzes für die heimische Rohstoffgewinnung gehen könnte
- die aktuelle Taxonomie-Gesetzgebung, die Investitionen in die Rohstoffgewinnung für den Finanzsektor eher unattraktiver macht
- die perspektivisch auf die Betriebe zukommenden neuen Regulierungen – wie die EU-Renaturierungsverordnung, die neue EU-Bodenmonitoringrichtlinie sowie die (zumindest für den Metallbergbau neu geltende) EU-Industrieemissionsrichtlinie – die dann zu einer Über- und Doppelregulierung zu bereits bestehenden bergbauspezifischen Gesetzgebungen führen.

Wir können uns daher dem Appell der großen Wirtschaftsverbände an Bundeskanzler Scholz nur anschließen: Es müssen dringend Maßnahmen ergriffen werden, die einen wirtschaftlichen Aufbruch in unserem Land fördern.

Der VKS und seine Mitglieder stehen hierzu der Regierung und dem Parlament für unseren Sektor mit konkreten Vorschlägen und Ideen als kompetenter Gesprächspartner gerne zur Seite. Die Betonung liegt hier auf „konkreten“ Vorschlägen. Allgemeine und immer wieder vorgetragene Forderungen (wie zum Beispiel Entbürokratisierung, Stärkung der Infrastruktur, schnelle Genehmigungsverfahren, Stärkung der Genehmigungsbehörden) sind gesamtwirtschaftlich richtig – müssen aber für unsere Branche passgenau ergänzt werden: Neben bezahlbaren Energiepreisen könnten das etwa eine generelle Priorisierung von Rohstoffprojekten im Rahmen von Abwägungsvorgängen oder Erleichterungen im Betriebsplanverfahren, wie die Möglichkeit von Anzeigeverfahren oder die Reduzierung von Gutachten- oder Modellierungsanforderungen sein. Dabei geht es nicht darum, die hierzulande geltenden hohen Sozial-, Arbeitsschutz, Umwelt- und Menschenrechtsstandards abzusenken!

Da – ähnlich wie bei den Bauern – das Maß gefühlt voll ist, braucht es jetzt sehr schnell ein politisches Handeln und ein gesellschaftliches Umdenken für die gesamte Rohstoffbranche und nicht nur für Lithium & Co. Ansonsten besteht die ernsthafte Gefahr, dass der Bergbau und die Rohstoffgewinnung künftig nur noch außerhalb Europas zu weitaus schlechteren Bedingungen erfolgen werden, die Abhängigkeit Deutschlands in der Rohstoffversorgung nochmals erhöht wird und das Know-how in Deutschland unwiderruflich verlorengeht.

Es grüßt Sie mit einem herzlichen Glückauf

Ihr



Christoph Wehner

INHALT

02 Editorial

04 Impressum

05 Abstracts

06 Andres

Ausblick Europawahl 2024

08 Sonntag, Schumann

Handkalimeter – Kalibrierung,
Validierung und Standardisierung

16 Vollmer, Nensel

Über den Gipfel der Halden und quer durch
die Grubenbaue: Drohnenvermessung
der Markscheiderei Werk Werra im Aufwind

30 Bischoff, Anders, Andres

Der Weltkalimarkt vor dem Hintergrund
geopolitischer Entwicklungen
und der EU-Sanktionspolitik

38 Knudsen

Entlasten – Beschleunigen – Modernisieren?

IMPRESSUM

Kali & Steinsalz

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

VKS e. V.

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

Erscheinungsweise

dreimal jährlich in loser Folge
ISSN 1614-1210

Redaktionsleitung

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

Redaktionsausschuss

Dr. Burkhard Dartsch,
REKS GmbH & Co. KG
Dr. René Randaxhe,
K+S Aktiengesellschaft
Prof. Dr. Silvio Zeibig,
K+S Aktiengesellschaft
Ole Richert,
K+S Aktiengesellschaft
Dr. Ludger Waldmann,
K+S Aktiengesellschaft
Christoph Wehner, VKS e. V.

Gestaltung

Alf Germanus Grafische Erzeugnisse
Bonner Str. 58, 53332 Bornheim

Hinweis zu Rechten an Bildern, Grafiken u. a.

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

Titelbild: Messungen mit dem Handkalimeter an der Firste der Grube Zielitz

© K+S AG

06 Andres: Outlook European elections 2024

The European elections will be held on 6–9 June 2024. A total of 720 Members of the European Parliament will be elected in the EU Member States. Also the President of the European Commission and EU Commissioners will be nominated, elected and approved in a subsequent procedure. The potash and salt industry calls for strong and competitive EU industrial policy.

08 Sonntag, Schumann: Handheld kalimeter – Calibration, Validation and Standardization

For the potash and rock salt industry the values of the crude salts are very important. To estimate the potash content of the crude salt, exploration wells are drilled into working faces. Material obtained is analyzed chemically in a lab. But these contents reflect only areas of future mining and are included in mid-term and long-term planning. For the daily mining the estimation of the potash content for the directly occurring crude salts is critical. Therefore, slot sampling and so called kalimeter measurements are carried out.

These kalimeter measurements are done by handheld kalimeters with area detectors. The radioactive radiation from the decay of the ^{40}K isotope is measured, allowing non-destructive conclusions concerning the content and distribution of potassium in the potash seam. These measurements provide the K_2O -content directly, without the need of a further analysis in the laboratory. Based on the results of the handheld kalimeter, decisions can be made if the material is recoverable. Further, the results of the kalimeter measurements are used for blending crude salts with different potassium contents and thus for optimization of following processing.

In addition, the K_2O -content and the amount of other valuable minerals (e.g. kieserite) are determined from slot samples (taken with a cutting mill). The sample

is sent to the lab for a chemical and mineralogical analysis. This process involves a time lag and the results are not available immediately.

The following article deals with the theoretical background, function, calibration, and validation during field tests of the handheld kalimeter.

16 Vollmer, Nensel: On top of residue piles and in inaccessible mining areas: Increased Drone surveying by the surveying department at Werk Werra

UAVs are indispensable in geodetic practice and have developed into a typical work device in 'daily surveying'. They prove to be powerful measurement systems and provide users with efficiency and safety. 3D data acquisition using UAS has steadily gained in importance in recent years. The variety of carrier platforms and different sensors offers a suitable hardware solution for every application. The market is still innovative. In addition to the offered hardware, a variety of commercial and free software products exist.

The progressive development of UAS and the associated opportunity to increase efficiency has also been recognized in the surveying department of K+S Minerals and Agriculture GmbH. Equipped with various system components and object-capturing sensors, UAS can capture high-precision data. The tasks are varied due to the progressive development and improvement of the devices. Users have access to modern information processing tools. Depending on the data sensors and the evaluation software, the measurement using UAS can provide a variety of results for many industries. In addition, a fusion of the data recorded with different sensor technologies is of increased interest.

In order to meet the increased demands in data acquisition and processing and at the same time the shortage of skilled workers, the surveying department relies on efficient and innovative technologies with

regard to autonomy. With the acquisition of UAS projects can be managed more economically and flexibly. UAS can capture comparable data in significantly shorter time frames, whereas traditional surveying methods require careful preparation, planning and measurement.

30 Bischoff, Anders, Andres: The global potash market and the impact of geopolitics and sanction regimes

The global potash market is currently characterised by strong dynamics and disruptions due to the geopolitical developments. The situation on the global agricultural markets, energy price peaks and, in particular, the political situation in Belarus and the Russian war against Ukraine have had a fundamental impact on the global potash market including a temporary increase of potash prices and a significant change in global potash trade flows. Moreover, energy shortage in Germany and Europe has led to the industry being classified as systemically relevant.

This article describes the development of the global potash market since 2020 and provides an outlook for the future development of the market.

38 Knudsen: Streamline – Accelerate – Modernize?

Approval of procedures for the extraction and processing of raw materials in the light of current legislative proposals

There seemed to be a broad consensus last year: Administrative procedures in Germany are in many cases too slow, sometimes too complicated and often inefficient. The German government has declared its intention to drive forward the reduction of bureaucracy. At the same time, the "Bund-Länder-Pakt" presented numerous proposals for speeding up approval procedures end of 2023. With regard to mining law procedures the Ministry of Economic Affairs shall implement the coalition agreement and "modernise" the Federal Mining Act.

GLÜCK AUF EUROPA!



POSITIONEN DER
KALI- UND SALZINDUSTRIE
ZUR EUROPAWAHL 2024

VKS
Verband der Kali- und Salzindustrie e.V.



Tobias Andres
Geschäftsführer/
Leiter Büro Brüssel
Verband der
Kali- und Salzindustrie e.V.

Ausblick Europawahl 2024

Vom 6. bis 9. Juni 2024 findet die Europawahl statt. Dabei werden europaweit 720 Abgeordnete für das Europäische Parlament gewählt. Deutschland stellt mit 96 Abgeordneten die größte Landesgruppe im Europäischen Parlament. Kleine EU-Länder wie Malta, Luxemburg oder Zypern sind mit jeweils 6 Abgeordneten vertreten. Nach der Wahl tritt das neu gewählte Parlament zu seinen konstituierenden Sitzungen zusammen. Es werden Fraktionen gebildet sowie Ausschüsse, Ämter und andere Positionen neu besetzt. Dem Parlament obliegt es dann, den neuen Präsidenten oder die neue Präsidentin der Europäischen Kommission zu wählen und später das gesamte Kollegium der Kommissionsmitglieder zu prüfen und zu bestätigen.

Outlook European elections 2024

The European elections will be held on 6–9 June 2024. A total of 720 Members of the European Parliament will be elected in the EU Member States. Also the President of the European Commission and EU Commissioners will be nominated, elected and approved in a subsequent procedure. The potash and salt industry calls for strong and competitive EU industrial policy.

Für die Bürgerinnen und Bürger in der Europäischen Union wie auch für die Kali- und Salzindustrie ist diese Europawahl von großer Bedeutung. Denn selten waren die Herausforderungen von außen und von innen für Europa so groß wie heute. Hinzu kommen hausgemachte Probleme, wie die zunehmende Bürokratisierung, die den Wirtschaftsstandort Europa zunehmend schwächen.

Es ist unbestritten: Die Europäische Union hat dem europäischen Kontinent Frieden, Freiheit und Wohlstand gebracht. Sie hat das Leben der Menschen im Alltag erleichtert. Die deutsche Kali- und Salzindustrie ist klar für ein starkes Europa. Es gilt die Errungenschaften der EU immer wieder zu unterstreichen und zu stärken – gerade in dieser Zeit. Dazu gehört auch, die Wettbewerbsfähigkeit der Industrie und heimischen Rohstoffgewinnung – als Grundlage des europäischen Wohlstands – wieder stärker in den Mittelpunkt des politischen Handelns zu stellen. Dies ist in den vergangenen Jahren in Brüssel aus dem Blick geraten.

Europa, und die europäische Industrie, stehen in einem intensiven weltweiten Wettbewerb. Die Mineralien Kali und Salz sind Schlüsselrohstoffe für die europäische Landwirtschaft, für Industrie und Verbraucher. Hochreine Salze für Impfstoffe und Infusionen, Salz für essenzielle industrielle Wertschöpfungsketten im Bereich Chemie, Glas, Textil und Metall, Kali als Hauptnährstoff für die Landwirtschaft, Speisesalz für eine ausgewogene Ernährung, Auftausalz für mehr Verkehrssicherheit im Winter und sichere Entsorgungsmöglichkeiten unter Tage. Ein starkes Europa braucht eine starke und wettbewerbsfähige Kali- und Salzindustrie.

Der Verband der Kali- und Salzindustrie e.V. hat hierzu seine Vorschläge in dem Positionspapier „GLÜCK AUF EUROPA!“ formuliert. Um die Wettbewerbsfähigkeit der Kali- und Salzindustrie zu stärken kommt es dabei auf drei Prioritäten an:

1.) Es bedarf einer ambitionierten Rohstoff- und Industriepolitik in Europa. Die Corona-Pandemie, der Russland-Ukraine-Krieg und geopolitische Spannungen mit China haben zu erheblichen Lieferkettenengpässen und Rohstoffknappheiten geführt – die Frage der Rohstoffsicherheit ist von herausragender strategischer Bedeutung geworden. Europa ist daher mehr denn je auf die Versorgung aus heimischer Rohstoffgewinnung angewiesen. Eine Hauptpriorität der neuen EU-Legislaturperiode

muss daher die Stärkung der heimischen Industrie und rohstoffgewinnenden Betriebe sein.

2.) Die Kali- und Salzindustrie zählt zu den energieintensiven Industrien und ist Vorreiter im Bereich Dekarbonisierung und Klimaschutz. Mittlerweile haben sich die hohen Kosten für Energie und Dekarbonisierungsmaßnahmen in Europa zu einem massiven Wettbewerbsnachteil gegenüber außereuropäischen Wettbewerbern entwickelt. Es ist daher dringender denn je, die Energiekosten in Europa nachhaltig zu senken, im internationalen Wettbewerb stehende Branchen zu schützen und die Betriebe bei ihrer Transformation hin zur Klimaneutralität zu unterstützen.

3.) In den vergangenen Jahren wurden die gesetzlichen Vorgaben und behördlichen Auflagen, und damit Genehmigungsverfahren für die rohstoffgewinnende Kali- und Salzindustrie, immer aufwendiger und langwieriger, ohne dass außereuropäische Wettbewerber vergleichbaren Standards unterliegen. In der Summe führen diese zusätzlichen Auflagen aktuell und auch zukünftig zu einer erheblichen Schwächung des Rohstoffstandorts Europa. In der kommenden EU-Legislaturperiode braucht es deshalb einen klaren Stopp für neue Auflagen, die die Rohstoffgewinnung schwächen. Überbordende Auflagen, Doppelregulierung und unverhältnismäßig hohe Vorgaben sollten korrigiert und abgebaut werden.

Die Aufgabe der europäischen Politik in den kommenden Jahren muss also sein, die eigenen Kräfte – und hier ist insbesondere die Wettbewerbsfähigkeit der Industrie und Rohstoffgewinnung in Europa gemeint – zu stärken, um den Herausforderungen von außen und innen auch in Zukunft Stand halten zu können. Der VKS steht hierzu im Dialog mit der europäischen Politik.

Weitere Informationen zur Europawahl finden Sie hier: <https://elections.europa.eu/de/how-to-vote/de>

Das VKS-Positionspapier „GLÜCK AUF EUROPA!“ ist online hier verfügbar: <https://vks-kalisalz.de/kategorie/vks-positionen>

Handkalimeter – Kalibrierung, Validierung und Standardisierung

In der Kali- und Steinsalzindustrie ist der Wertstoffgehalt des Rohsalzes von entscheidender Bedeutung. Um die Kaliumgehalte (angegeben in % K_2O) bereits unter Tage im abzubauenen Rohsalz abschätzen zu können, werden Explorationsbohrungen ins Vorfeld gestoßen und die erbohrten Aufschlüsse der Kaliflöze chemisch analysiert. Neben den Nassbohrungen, kommen auch Bohrmehlbohrungen zum Einsatz, bei denen die Flözaufschlüsse über die Messung der einzelnen Bohrabschnitte (1,5 m) mittels Handkalimeter festgelegt werden. Diese ermittelten Wertstoffgehalte spiegeln in der Regel nur den Bereich des zukünftigen Abbaus wider und finden Verwendung in der Modellierung, als auch in der Mittelfrist- und Langfristplanung (Abbauplanung). Für den täglichen Abbau in den Gewinnungsrevieren ist hingegen vor allem die Abschätzung des Wertstoffgehaltes für das direkt anstehende Rohsalz entscheidend. Hier werden sowohl Schlitzbeprobungen als auch Kalimetermessungen zur Bestimmung des Wertstoffgehaltes durchgeführt.

Diese Kalimetermessungen werden ebenfalls mittels Handkalimeter mit Flächendetektoren durchgeführt. Gemessen wird die radioaktive Strahlung aus dem Zerfall des ^{40}K -Isotops, wodurch zerstörungsfreie Rückschlüsse auf den Kaliumgehalt sowie die Kaliumverteilung im jeweiligen Kaliflöz gezogen werden (*Abbildung 1 und Abbildung 2*). Die Messungen liefern dabei den K_2O -Gehalt, ohne dass eine weitere Analyse im Labor notwendig ist. Basierend auf den Kalimetermessungen kann entschieden werden, ob das Rohsalz förderfähig ist. Weiterführend werden die Ergebnisse der Kalimetermessungen zur Vergleichmäßigung der Rohsalzqualität (Vermischung unterschiedlicher Rohsalze) und somit zur Optimierung von weiteren Prozessschritten in der späteren Aufbereitung genutzt.

Bei den Schlitzproben (Probennahme mit einer Schneidfräse) werden neben dem K_2O -Gehalt weitere Wertminerale (z. B. Kieserit) bestimmt. Die Schlitzprobe wird ins Labor verschickt und bietet die Möglichkeit einer vollständigen chemischen sowie mineralogischen Analyse. Dieser Prozess beinhaltet einen zeitlichen Verzug und die Wertstoffergebnisse stehen dem Gewinnungsbetrieb nicht tagesaktuell zur Verfügung.

Der nachfolgende Artikel befasst sich mit dem theoretischen Hintergrund, der Funktionsweise, Kalibrierung und Validierung von Handkalimetern in Feldtests.



Karsten Sonntag
Dipl. Geologe
Leiter Produktionsgeologie
UB/MK, K+S Minerals and
Agriculture GmbH



Florian Schumann
B. Eng.
Mitarbeiter Prozess-
analysetechnik (PAT),
K+S Aktiengesellschaft,
K+S Analytik- und
Forschungszentrum

Handheld kalimeter – Calibration, Validation and Standardization

For the potash and rock salt industry the values of the crude salts are very important. To estimate the potash content of the crude salt, exploration wells are drilled into working faces. Material obtained is analyzed chemically in a lab. But these contents reflect only areas of future mining and are included in mid-term and long-term planning. For the daily mining the estimation of the potash content for the directly occurring crude salts is critical. Therefore, slot sampling and so called kalimeter measurements are carried out.

These kalimeter measurements are done by handheld kalimeters with area detectors. The radioactive radiation from the decay of the ^{40}K isotope is measured, allowing non-destructive conclusions concerning the content and distribution of potassium in the potash seam. These measurements provide the K_2O -content directly, without the need of a further analysis in the laboratory. Based on the results of the handheld kalimeter, decisions can be made if the material is recoverable. Further, the results of the kalimeter measurements are used for blending crude salts with different potassium contents and thus for optimization of following processing.

In addition, the K_2O -content and the amount of other valuable minerals (e. g. kieserite) are determined from slot samples (taken with a cutting mill). The sample is sent to the lab for a chemical and mineralogical analysis. This process involves a time lag and the results are not available immediately.

The following article deals with the theoretical background, function, calibration, and validation during field tests of the handheld kalimeter.



Abbildung 2: Praktische Messungen mit dem Handkalimeter an der Firste der Grube Zielitz.



Abbildung 1: Praktische Durchführung der Handkalimetermessung unter Tage an einem Stoß. Der K_2O -Gehalt der obersten Schicht an der Messfläche wird zerstörungsfrei bestimmt.

Das Element Kalium wird in der Natur als Gemisch dreier unterschiedlichen Isotope vorgefunden. Dabei ist von diesen nur das ^{40}K -Isotop mit einer natürlichen Häufigkeit von 0,0117 % und einer Halbwertszeit $\tau = 1,28 \cdot 10^9$ Jahren radioaktiv. Dieses zerfällt über unterschiedliche Zerfallswege entweder zu 89 % über den β -Zerfall unter Aussendung eines Elektrons zu ^{40}Ca , zu 11 % nach einem Elektroneneinfang zu ^{40}Ar mit Aussendung eines γ -Quants oder in untergeordneter Rolle über den β^+ -Zerfall ebenfalls zu ^{40}Ar . [1a, b, c, d] Ausgesendete γ -Quanten haben größere Halbwertsdicken, während die Reichweite der Partikelstrahlung der β -Teichen gering ist. Zurückzuführen ist dies auf die unterschiedlichen Wechselwirkungseigenschaften mit Materie und dem unterschiedlich ausgeprägten Teilchencharakter der Strahlung. Da durch dieses unterschiedliche Verhalten erschwert wird, über die Summe der gesamten Strahlung Rückschlüsse auf den Kaliumgehalt zu erhalten, wird bei der Messung mit den Handkalimetern mit zwei Detektoren gearbeitet. Ein Detektor misst einen Wert sowohl für die β - als auch für die γ -Strahlung. Der zweite Detektor, der sich hinter dem ersten und einer Abschirmplatte befindet, welche die β -Strahlung nahezu vollständig absorbiert, aber große Teile der γ -Strahlung passieren lässt (Abbildung 3), detektiert einen Wert nur für die γ -Strahlung. Mithilfe des Messwertes für die γ -Strahlung kann der Messwert für den ersten Detektor korrigiert wer-

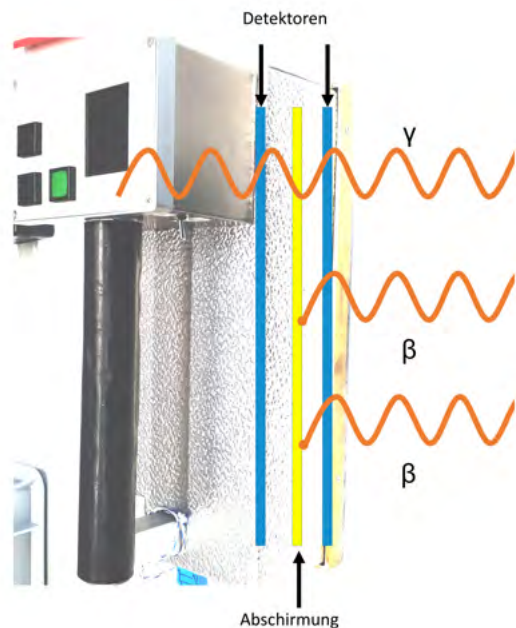


Abbildung 3: Schematischer Aufbau eines Handkalimeters. Der rechts dargestellte Detektor misst sowohl die β -Strahlung als auch die γ -Strahlung. Die Abschirmplatte ist so konzipiert, dass die β -Strahlung absorbiert wird, die γ -Strahlung aber teilweise passieren kann, sodass der linke nur γ -Strahlung detektiert.

den, sodass eine Zählrate für die β -Strahlung erhalten wird, die proportional zu dem Kaliumgehalt an der Messtelle ist.

Aufgrund der Eigenschaften der ausgesandten β -Strahlung des ^{40}K -Isotopes kann von einer Reichweite dieser Strahlung im Stoß – bei einer angenommenen Dichte desselben von ca. 2 g/cm^3 – von maximal 4 mm ausgegangen werden.^[1b, c, 4] Somit kann die durchgeführte Messung und dem daraus resultierenden Messwert ein definiertes Volumen zugeordnet werden. Wird dagegen die γ -Strahlung betrachtet, hat diese eine Halbwertsdicke von mehreren Zentimetern.^[3] Dies geht aus dem Absorptionsgesetz hervor, das im Folgenden näher betrachtet wird.

Für die γ -Strahlung gilt für die Intensität I im Abstand x mit dem Massenschwächungskoeffizient μ/ρ des absorbierenden Materials und dessen Dichte ρ :^[2]

$$I(x) = I_0 \cdot e^{-\frac{\mu}{\rho}\rho x}$$

Dabei ist der Massenschwächungskoeffizient μ/ρ für ein Material und eine Energie der Strahlung als konstant anzunehmen. Für β -Strahlung kann dieses Schwächungsverhalten von Strahlung allerdings nur als grobe Näherung angesehen werden.

Bei der Messung des Kaliumgehaltes direkt am Stoß wird das Messsignal über das gesamte Material erzeugt, die vorderen Schichten schirmen aber bereits die Strahlung aus den weiter hinten erzeugten Schichten ab. Dies kann über das Integral beschrieben werden. Somit folgt für die gesamte gemessene Strahlung am Stoß I_{ges} mit der betrachteten Dicke d :

$$\begin{aligned} I_{ges} &= \int_0^d I_0 \cdot e^{-\frac{\mu}{\rho}\rho x} dx \\ &= \left[\frac{I_0}{-\frac{\mu}{\rho}\rho} \cdot e^{-\frac{\mu}{\rho}\rho x} \right]_0^d \\ &= \frac{I_0}{-\frac{\mu}{\rho}\rho} \cdot e^{-\frac{\mu}{\rho}\rho d} - \frac{I_0}{-\frac{\mu}{\rho}\rho} \end{aligned}$$

Für die Annahme sehr großer Schichtdicken bei den Messungen unter Tage am Stoß kann dieses durch den Grenzwert für $d \rightarrow \infty$ beschrieben werden:

$$\lim_{d \rightarrow \infty} I_{ges} = \lim_{d \rightarrow \infty} \left(\frac{I_0}{-\frac{\mu}{\rho}\rho} \cdot e^{-\frac{\mu}{\rho}\rho d} - \frac{I_0}{-\frac{\mu}{\rho}\rho} \right) = \frac{I_0}{\frac{\mu}{\rho}\rho}$$

Für I_0 gilt weiterhin, dass es mit größeren Massenkonzentrationen γ linear größer wird. Die Konzentration kann über die Dichte wiederum in einen Feststoffgehalt umgerechnet werden und es gilt:

$$I_0 \sim \gamma = \omega \rho$$

Es folgt für den betrachteten Grenzfall:

$$\lim_{d \rightarrow \infty} I_{ges} = \frac{I_0}{\frac{\mu}{\rho}\rho} \sim \frac{\omega \rho}{\frac{\mu}{\rho}\rho} = \frac{\omega}{\frac{\mu}{\rho}}$$

Somit ist bei ausreichender Materialdicke die Intensität und der zu bestimmende Kaliumgehalt $\omega(\text{K})$ unabhängig von der Dichte des Materials.^[3, 4] Da ebenfalls die Massenschwächungskoeffizienten nur sehr gering für unterschiedliche Elemente variieren, kann über die gemessene Intensität auf den Kaliumgehalt $\omega(\text{K})$ geschlossen werden. Die dreidimensionale Betrachtung der Messgeometrie wurde bei diesen Betrachtungen nicht berücksichtigt.

Allerdings ist es wegen des exponentiellen Abfalls der Intensität der γ -Strahlung über die Entfernung der Strahlungsquelle zum Detektor unmöglich, dem erhaltenen Intensitätswert einen Kaliumgehalt zuzuordnen, da der Einfluss auf die insgesamt gemessene Intensität I_{ges} über die

Tiefe der Strahlungsquelle abnimmt. So können hohe Kaliumgehalte in größerem Abstand zum Detektor das gleiche Messsignal erzeugen, wie geringe Kaliumgehalte direkt an der Oberfläche.

Die Berechnung erfolgt anschließend über folgende mathematische Beziehung, wobei a , b und c Kalibrierkoeffizienten, $\beta\gamma$ das Signal des ersten Detektors für sowohl die β - als auch die γ -Strahlung beziehungsweise γ das Signal des zweiten Detektors für nur die γ -Strahlung sind:

$$a \cdot \beta\gamma + b \cdot \gamma + c = \omega(K)$$

Daraus ergibt sich eine Abhängigkeit des Kaliumgehaltes von den beiden unabhängigen Variablen $\beta\gamma$ und γ , also den beiden Messwerten. Mathematisch muss daher neben der Kalibration verschiedener Standards eine Kalibration des zweiten Detektors erfolgen, indem bei bekanntem Kaliumgehalt eine zur linearen Kalibriergeraden abweichende Strahlung auf den zweiten Detektor fällt. Dies kann darüber erfolgen, dass unterschiedlich dicke Kalibrierstandards genutzt werden, wobei mindestens eine 4 mm dicke Salzschrift mit der Dichte von 2 g/cm^3 Einsatz findet, oder indem die Betastrahlung eines Standards abgeschirmt wird, während die γ -Strahlung weiter zu großen Teilen auf den zweiten Detektor trifft.

Praktische Umsetzung der Kalibration

Zunächst mussten grubentaugliche Kalibrierstandards hergestellt werden. Eine Anforderung liegt dabei an handhabbarem Material, das sich nicht verändert und einen definierten Kaliumgehalt aufweist. Dazu wurden die Kalibrierproben mit unterschiedlichen Gehalten durch Mischen von Kaliumchlorid und Natriumchlorid dargestellt. Um ein Entmischen der Standards zu vermeiden, wurden die Salze zunächst aufgemahlen. Dabei wurde darauf geachtet, dass die Korngrößenbänder der beiden Komponenten möglichst identisch sind. Anschließend wurde die Mischung mithilfe einer Lecksteinpresse zu $5 \times 5 \times 5 \text{ cm}$ großen Würfeln gepresst, wovon wiederum mehrere in Kisten mit einem Sorelzement eingegossen und fixiert wurden (*Abbildung 4*). Die erhaltenen in Koffern fixierten Standards haben den Vorteil, dass sie verschleißbar sind und sie somit vor Staub geschützt werden können. Außerdem sind sie durch die Verwahrung in den Koffern transportabel und da die verpressten Würfel nicht fließfähig sind, ist eine Entmischung, wie bei losen Schüttungen, ausgeschlossen. Letzteres liefert auch den Vorteil, dass das gepresste Material eine ähnliche Dichte aufweist, wie das Material des Stoßes.

Auf diese Weise wurden Standards mit den Gehalten von ca. $\omega(\text{K}_2\text{O}) = 5\%$, 15% , 30% , und 45% mit einer Präzision



Abbildung 4: Beispiele für Standards für die Kalibration der Handkalimeter. Salzlecksteine mit unterschiedlichen K_2O -Gehalten die mithilfe eines Sorelzementes in Koffern fixiert wurden.



Abbildung 5: Fotografie der betrachteten Handkalimeter, von links nach rechts: HAKAM 31, HAKAM SZ 25, ELMIG.

von $\pm 0,2\%$ dargestellt. Sie können für unterschiedliche Kalimeter genutzt werden. Zur Kalibration des zweiten Kalibrierparameters b wird neben der Messung der Kalibrierstandards eine weitere Messung durchgeführt, wobei das Kalimeter auf einem der Standards platziert und die β -Strahlung des Standards durch eine zwischen Kalimeter und Standard platzierten 4 mm-dicken Aluminiumplatte abgeschirmt wird. Aluminium weist als Metall geringer Dichte den Vorteil auf, dass beim Durchtritt der β -Strahlung weniger Bremsstrahlung induziert wird, die die weitere Messung verfälschen könnte. Bei der Verwendung von Abschirmplatten aus Elementen höherer Ordnungszahlen, von denen weniger dickes Material zur Abschirmung der β -Strahlung nötig wäre, wird mehr Bremsstrahlung erwartet. Außerdem erfolgt zur Kalibrierung immer eine Messung mit den verwendeten Kalimetern nur mit der Aluminiumplatte auf einer möglichst kaliumfreien Oberfläche.

Aus den erhaltenen Kalibrierpunkten werden anschließend durch multiple lineare Regression optimierte Kalibrierparameter berechnet. Hierbei ist darauf zu achten, dass sich bei wechselnden Hintergrundbedingungen an unterschiedlichen Messorten der Parameter c ändern kann. Daher liefert die Messung nur bei ähnlichen Hintergrundbedingungen akzeptable Ergebnisse. Ändern sich die Hintergrundbedingungen aufgrund des Messortes, muss das Gerät neu kalibriert oder eine Korrektur des Ergebnisses durchgeführt werden.

Bei der Berechnung der Kalibrierparameter ist ebenfalls zu berücksichtigen, dass für eines der im folgenden betrachteten Geräte, das ELMIG-Gerät (siehe unten), der Kalibrierparameter c nicht variabel und $c = 0$ gesetzt ist, was bei einem großen Messbereich zu Abweichungen führen kann.

Validierung und Vergleich unterschiedlicher Handkalimeter

Bei K+S werden unterschiedliche Handkalimeter eingesetzt, wovon die drei Typen HAKAM 31, HAKAM SZ 25 und ELMIG im Folgenden miteinander verglichen werden (Abbildung 5).

Die Typen HAKAM 31 und HAKAM SZ 25 stammen vom Hersteller RGI, wobei das HAKAM 31 Zählrohre zur Detektion der Strahlung nutzt und im HAKAM SZ 25 Szintillatorkähler aus Kunststoff verbaut sind. Das dritte Gerät ELMIG vom Hersteller Fa. Weigel Elektronikbau GmbH beruht ebenfalls auf der Detektion mit Zählrohren.

Zur Validierung wurden zunächst mit hergestellten Kalibrierstandards Testmessungen durchgeführt, um die Standardabweichung von Wiederholungsmessungen in Abhängigkeit der Messzeit zu ermitteln. Dazu wurden zehn Messungen auf einem Standard mit einem K_2O -Ge-

halt von 5% durchgeführt. Die berechneten Standardabweichungen σ sind in Abbildung 6 veranschaulicht. Je länger die Messzeit gewählt wurde, desto geringer ist die Standardabweichung. Im Idealfall wird eine Proportionalität von σ zu $t^{-0,5}$ mit der Messzeit t erwartet. Für das HAKAM31 und das ELMIG wird dieses beobachtet, für das verwendete HAKAMSZ25 nicht. Im weiteren Verlauf konnte festgestellt werden, dass es bei Messungen mit dem verwendeten HAKAMSZ25 zu Ausreißern kam, was dessen Performance minderte. Allgemein zeigte sich, dass bei kurzen Messzeiten die Präzision für das HAKAMSZ25 am besten ist, gefolgt vom ELMIG und dem HAKAM 31. Diese Ergebnisse konnten durch Messungen anderer Standards mit K_2O -Gehalten zwischen 2,5% und 62% bestätigt werden.

Auf Grundlage dieser Ergebnisse wurde für Validierungsmessungen in praktischen Feldtests unter Tage eine Messzeit von 2,5 min gewählt. Aufgrund der Geometrie der Geräte wurde ebenfalls festgelegt, dass die Handkalimeter in ihrer Längsachse parallel zur Schichtung im Kaliflöz ausgerichtet werden. Bezüglich der Breite ähneln sich die Kalimeter, während die Längen voneinander abweichen. Da die einzelnen Mineralien in den einzelnen Kaliflözbereichen tendenziell horizontal abgelagert sind, können die

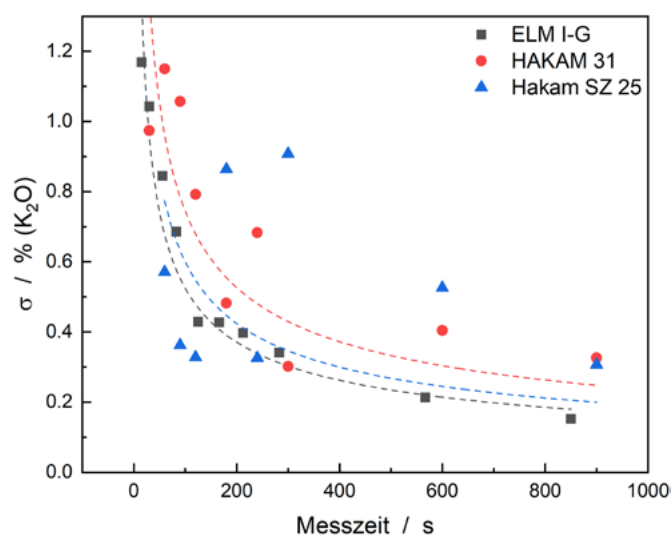


Abbildung 6: Ergebnisse zur Bestimmung der Standardabweichung für einen Standard mit einem $\omega(K_2O) = 4,9\%$ bei 10 Wiederholmessungen. Zur besseren Übersicht wurden die Standardabweichungen der Geräte über die Einzelwerte der Standardabweichungen bei Messzeiten von ca. 30 s, 1 min, 2 min, 3 min, 4 min, 5 min und 15 min proportional zu $t^{-0,5}$ extrapoliert. Bei Messungen mit dem genutzten HAKAM SZ 25 kommt es wegen Ausreißern zu Abweichungen vom theoretisch erwarteten Verlauf.

Ergebnisse auf diese Weise besser miteinander verglichen werden. Andernfalls würde das längere ELMIG weitere Schichten mitmessen, deren K_2O -Gehalte mit in die Mittelung einbezogen werden und somit eine Vergleichbarkeit der Messungen zwischen den Kalimetern erschweren.

In der Grube Hattorf-Wintershall wurden nach Kalibrierung für den erwarteten Messbereich vor Ort ein Versuchsstoß vorbereitet und an acht Profilen des Kaliflözes Hessen im Revier 3N Messungen durchgeführt. Jedes dieser Profile wurde in zwölf Messfelder unterteilt, die markiert wurden, damit alle Kalimeter möglichst dieselbe Fläche vermessen (Abbildung 7). Anschließend wurden die Messfelder mit Schlitzproben untersucht, wobei Probenmaterial aus bis zu ca. 5–10 mm Tiefe gewonnen wurde. Die Bestimmung der K_2O -Gehalte der Schlitzproben erfolgte mittels optischer Emissionsspektrometrie mit induktiv gekoppeltem Plasma (ICP-OES). Dabei wurde die Probenahme an dem längsten Handkalimeter, dem ELMIG, ausgerichtet. Bei den untertägigen Messungen mit den Handkalimetern herrschten Temperaturen von ca. 23 °C. Es konnte gezeigt werden, dass für den Feldtest die Messwerte des ELMIG und des HAKAMSZ25 mit einer mittleren Abweichung von 1,1% K_2O nahezu eine gleiche Genauigkeit aufweisen und das HAKAM31 mit 1,4% K_2O mittlerer Abweichung schlechter abschnitt. Durch die hergestellten Kalibrierstandards und die beschriebene Vorgehensweise konnten aber alle Handkalimeter unter den vorliegenden Messbedingungen Messwerte generieren, die eine Einschätzung über den K_2O -Gehalt des beobachteten Messpunktes zulassen.

Um die Ergebnisse unter anderen Messbedingungen zu überprüfen, wurde ein weiterer Feldversuch in der Grube Zielitz durchgeführt. An einem Profil des Kaliflözes Ronnenberg in sylvinitischer Ausbildung wurden Messungen bei 32 °C durchgeführt, die die Ergebnisse des Feldversuches HW weitestgehend bestätigen.

In der Grube Zielitz wurden zusätzlich Messungen des Kaliflözes Ronnenberg bei Temperaturen bis 48 °C vorgenommen. Es zeigten sich für die einzelnen Messfelder größere Abweichungen, die einerseits in einer engständigeren Schichtung der Minerale begründet sind, sodass nicht genau das Probenmaterial für die Referenzanalytik entnommen werden konnte, das mit den Kalimetern vermessen wurde. Andererseits könnten die größeren Abweichungen auch an den höheren Temperaturen liegen. Auffällig ist, dass sich die Zahl der Ausreißer für das HAKAMSZ25 bei den Versuchen häuften und vermehrt negative Abweichungen für dieses Gerät im Vergleich zur Referenzanalytik

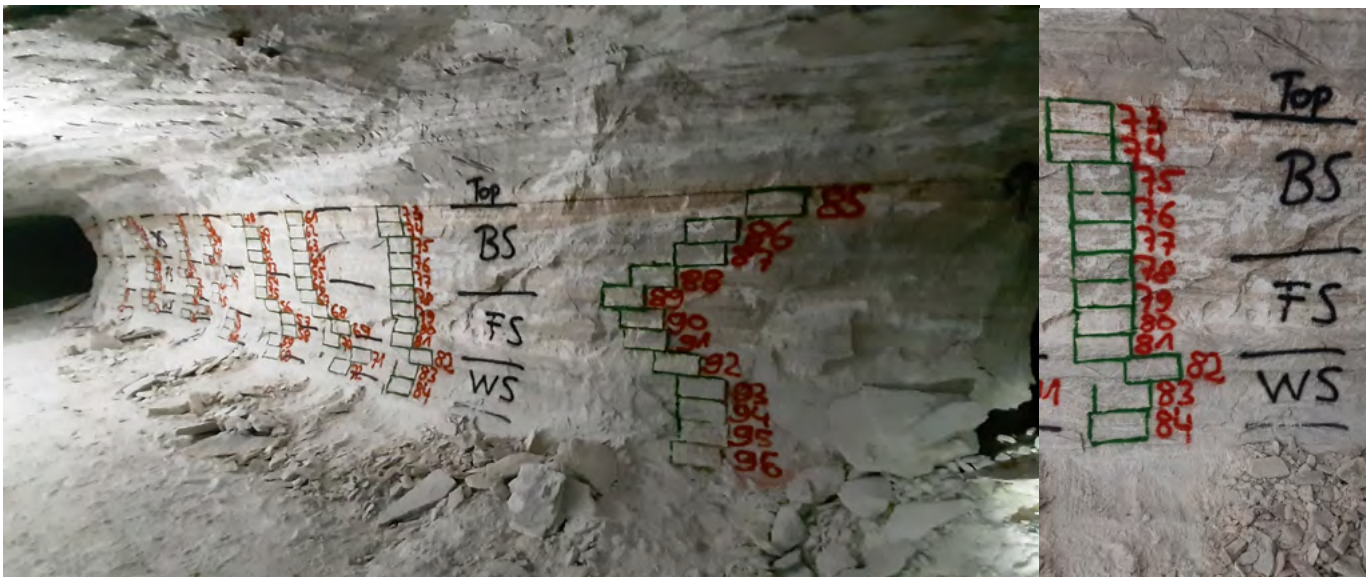


Abbildung 7: Testfeld des Feldversuches Grube HW, Revier 3N, Kaliflöz Hessen; links: Übersicht über die 96 Messfelder für den Versuch; rechts: Detailansicht für eines der betrachteten Profile.

beobachtet wurden. Versuche in einer Klimakammer bei 38°C mit den Kalibrierstandards bestätigten für die Geräte mit Zählrohren – das HAKAM31 und das ELMIG-Gerät –, dass sich nur geringfügig verschlechterte Präzisionen bei höheren Temperaturen ergeben, sodass die höheren Abweichungen der Zählrohrgeräte auf die Lithologie und die damit verbundene erschwerte repräsentative Probenahme zurückzuführen sind. Ebenfalls bestätigten die Klimaversuche die temperaturbedingte Häufung der Ausreißer für das HAKAMSZ25.

Mithilfe der erhaltenen Erkenntnisse wurden im Anschluss Kalibrierstandards für die Gruben Zielitz, Hattorf-Wintershall, Unterbreizbach und Neuhof hergestellt und eine vereinheitlichte Kalibriervorschrift entwickelt. Diese wurde in Schulungen an den einzelnen Standorten den Anwendern vermittelt, sodass zwischen den Werken eine Standardisierung bei der Erhebung dieser produktionsrelevanten Daten erarbeitet wurde.

Literatur

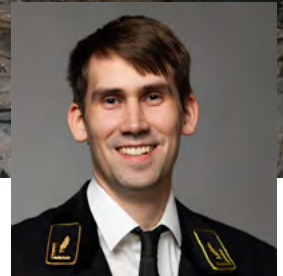
- [1a] A. F. Hollemann, E. und N. Wiberg, *Lehrbuch der Anorganischen Chemie*, 102. Auflage, 2007, Berlin, New York, 1272, 1884ff.
- [1b] A. Dietrich, *Kali- und Steinsalz, Neuere Entwicklungen im Bereich der K₂O-Online-Analytik*, (2003) 2, 18-25.
- [1c] E. Weps, *Kali- und Steinsalz, Radiometrische Kaliumbestimmung*, (1981), Juni, 177-183.
- [1d] H. Leutz, G. Schulz, H. Weninger, *Z. Phys.*, The Decay of Potassium-40, (1965), 187, 151-164.
- [2] H. Luig, A. M. Kellerer, J. Griebel, *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, Radionuclides*, 1. Introduction, (2012) Vol. 31, 55-87, Weinheim.
- [3] S. Vielhauer, *Kali- und Steinsalz, Quantitative Ermittlung der störenden Einflüsse bei der radiometrischen K₂O-Bestimmung*, (1967) Vol. 4, 12, 402-414.
- [4] S. Vielhauer, *Kali- und Steinsalz, Quantitative Ermittlung der störenden Einflüsse bei der radiometrischen K₂O-Bestimmung mittels Beta-Strahlenmessung an Kalisalzen*, (1969) Vol. 5, 4, 138-144.

Ausblick

Um einem erhöhten zukünftigen Bedarf an Handkalimetern nachzukommen, soll in enger Zusammenarbeit mit den Anwendern ein neuer, optimierter Handkalimetertyp entwickelt werden. Hierbei soll grundlegend auf die Detektion der Strahlung mit Szintillationszähler zurückgegriffen werden, da diese bei kurzen Messzeiten die präzisen Messergebnisse lieferten und besser verfügbar sind. Die Verfügbarkeit der bisher verbauten Zählrohre in den anderen Geräten ist wegen aktueller Lieferschwierigkeiten nicht mehr in ausreichender Menge gegeben. Die Nachteile eines höheren Gewichtes, dem Auftreten von Ausreißern und einer schlechteren Bedienbarkeit können dann in enger Zusammenarbeit mit möglichen Lieferanten abgestellt werden, sodass im Anschluss eine Handkalimetervariante verfügbar sein wird, die in der Praxis gut anwendbar, in größerer Stückzahl verfügbar ist und genaue Messergebnisse liefert.



Sophie Vollmer
Vermessungsingenieurin
Zentralmarkscheiderei
K+S Minerals and
Agriculture GmbH
(Werk Werra)



Johannes Nensel
Leiter Vermessung
Standort UB
K+S Minerals and
Agriculture GmbH
(Werk Werra)

Über den Gipfel der Halden und quer durch die Grubenbaue: Drohnenvermessung der Markscheiderei Werk Werra im Aufwind

Unmanned Aerial Vehicles/Systems (UAV/UAS) sind in der geodätischen Praxis nicht mehr wegzudenken und haben sich zu einem typischen Arbeitsgerät im „Vermessungsalltag“ entwickelt. UAS erweisen sich als leistungsfähige Messsysteme und ermöglichen Anwendern gleichermaßen Effizienz und Sicherheit. Die 3D-Datenerfassung mittels UAS hat in den letzten Jahren stetig an Bedeutung gewonnen. Die Vielfalt der am Markt verfügbaren Trägerplattformen und die Möglichkeit der Integration verschiedener Sensoren bietet für jeden Einsatzbereich eine passende Hardware-Lösung. UAS sind als Komplettsysteme bei zahlreichen Herstellern erhältlich, wodurch die Anwendbarkeit intelligenter Flugobjekte für die Industrie zunimmt. Der Markt ist nach wie vor innovativ, obwohl zwischenzeitlich einige wenige Systemanbieter den Markt dominieren. Neben der angebotenen Hardware existiert eine Vielzahl an kommerziellen und freien Softwareprodukten.

Die voranschreitende Entwicklung von UAS und damit verbundene Möglichkeit zur Effizienzsteigerung wurde auch in den Markscheidereien der K+S Minerals and Agriculture GmbH erkannt. Ausgestattet mit verschiedenen Systemkomponenten und objekterfassenden Sensoren, wie Kamerasysteme oder Laserscanner, erfassen diese Fluggeräte hochpräzise Daten und sind so zu einem Standardwerkzeug der Markscheiderei geworden. Die Aufgabenbereiche sind durch die immer fortschreitende Entwicklung und Verbesserung der Geräte vielfältig. Den Anwendern stehen moderne Informationsverarbeitungswerkzeuge mit automatisierten Mess- und Auswertevorgängen zur Verfügung, was eine hocheffiziente Datenverarbeitung ermöglicht. In Abhängigkeit der verwendeten Datensensoren (Payloads – Nutzlasten) und der Auswertesoftware kann die Vermessung mittels UAS eine Vielzahl an Ergebnissen für vielen Branchen liefern, beispielsweise Orthomosaik, texturierte 3D-Modelle, Multispektralaufnahmen, Thermalaufnahmen sowie kolorierte Punktwolken. Darüber hinaus ist auch eine Fusion, der mit unterschiedlichen Sensortechnologien aufgenommenen Daten, von gesteigertem Interesse.

Um den gestiegenen Anforderungen in der Datenakquise und -verarbeitung bei gleichzeitig einsetzendem Fachkräftemangel gerecht zu werden, setzt die Markscheiderei auf effiziente und innovative Technologien mit Hinblick auf Autonomie, Automatisierung beziehungsweise Teilautomatisierung. Mit der Anschaffung von UAS für die Markscheidereien über- und unter Tage am Werk Werra und Werk Zielitz können Projekte wirtschaftlicher und flexibler betreut werden. UAS können in deutlich kürzeren Zeitfenstern qualifizierte Daten erfassen, während traditionelle Vermessungsmethoden eine sorgfältige Vorbereitung, Planung und Messung erfordern. Über Tage liegt der Fokus auf der Flächenleistung des UAS, da hier großflächige Messgebiete im Bereich des Monitorings der Rückstandshalden befliegen werden müssen. Unter Tage konzentriert sich der Einsatz des UAS vor allem auf die Befliegung unzugänglicher Grubenbaue.

On top of residue piles and in inaccessible mining areas: Increased Drone surveying by the surveying department at Werk Werra

Unmanned Aerial Vehicles/Systems are indispensable in geodetic practice and have developed into a typical work device in 'daily surveying'. UAS prove to be powerful measurement systems and provide users with both efficiency and safety. 3D data acquisition using UAS has steadily gained in importance in recent years. The variety of carrier platforms available on the market and the possibility of integrating different sensors offers a suitable hardware solution for every application. UAS are available as complete systems from many manufacturers, increasing the applicability of intelligent flying objects to industry. The market is still innovative, although in the meantime a few system providers dominate the market. In addition to the offered hardware, a variety of commercial and free software products exist.

The progressive development of UAS and the associated opportunity to increase efficiency has also been recognized in the surveying department of K+S Minerals and Agriculture GmbH. Equipped with various system components and object-capturing sensors, such as camera systems or laser scanners, UAS can capture high-precision data and have thus become a standard tool in surveying. The tasks are varied due to the progressive development and improvement of the devices. Users have access to modern information processing tools with automated measurement and evaluation processes, which enable highly efficient data processing. Depending on the data sensors (payloads) and the evaluation software, the measurement using UAS can provide a variety of results for many industries, such as orthomosaics, textured 3D models, multispectral images, thermal images and colored point clouds. In addition, a fusion of the data recorded with different sensor technologies is of increased interest.

In order to meet the increased demands in data acquisition and processing and at the same time the shortage of skilled workers, the surveying department relies on efficient and innovative technologies with regard to autonomy, automation and partial automation. With the acquisition of UAS for the above and underground surveying at the Werra and Zielitz, projects can be managed more economically and flexibly. UAS can capture comparable data in significantly shorter time frames, whereas traditional surveying methods require careful preparation, planning and measurement. On one side the focus is on the area performance of the UAS, since large measuring areas have to be flown in the area of monitoring the residue piles. On the other side, underground operations of the UAS are mainly focused on the flight in inaccessible mining areas.

Technische Grundlagen von UAS-Systemen

Grundsätzlich bietet der Markt verschiedene UAS-Modellarten (*Abbildung 1*) an, welche in ihrer Funktion und Bauweise variieren. Jede Bauart hat systemspezifische Vor- und Nachteile und eignet sich damit für die unterschiedlichen Einsatzgebiete mehr oder weniger.

Starrflügler-Systeme, auch Flächen-UAS bezeichnet, erleben seit einigen Jahren eine stetige Zunahme in ihrer Verwendung. Diese Art von Drohnen ähnelt traditionellen Flugzeugen, da sie feste Flügel besitzen, um Auftrieb mithilfe der aerodynamischen Form der Flügel zu erzeugen. Flächen-UAS sind besonders für geradlinige Flüge oder lange Strecken geeignet und können auch bei höheren Windgeschwindigkeiten eingesetzt werden. Die aerodynamische Konstruktion ermöglicht oft eine schnellere Fluggeschwindigkeit wie auch längere Flugzeiten im Vergleich zu anderen Modellen.

Drehflügler-Systeme ermöglichen eine andere Herangehensweise an die Aufnahme von Messgebieten. Die bekanntesten Modelle sind Multi- oder Quadrocopter, welche den Auftrieb durch Rotoren erzeugen, die sich um die vertikale Achse drehen. Diese UAS sind agiler und können auch auf der Stelle schweben, haben jedoch eine geringere Einsatzdauer und Reichweite. Sie eignen sich besonders für präzise Manöver oder Anwendungen in engen Räumen. Die Fähigkeit in verschiedenen Höhen und Winkeln zu fliegen, ermöglicht ebenfalls einen Einsatz im Bereich von Luftbild- oder Schrägaufnahmen.

Eine neue Entwicklung in der Drohnentechnologie ist das VTOL-System (Vertical Take-Off and Landing), welches die Vorteile beider Modellarten vereint. Es ermöglicht das UAS senkrecht zu starten und zu landen wie bei Drehflügler-Systemen, bietet aber auch die Möglichkeit der schnelleren Flugeschwindigkeit durch die aerodynamische Bauart wie bei Starrflügler-Systemen. Diese Hybrid-Drohnen sind vielseitig einsetzbar und zeigen auch das Potenzial in der Entwicklung der Technologie.

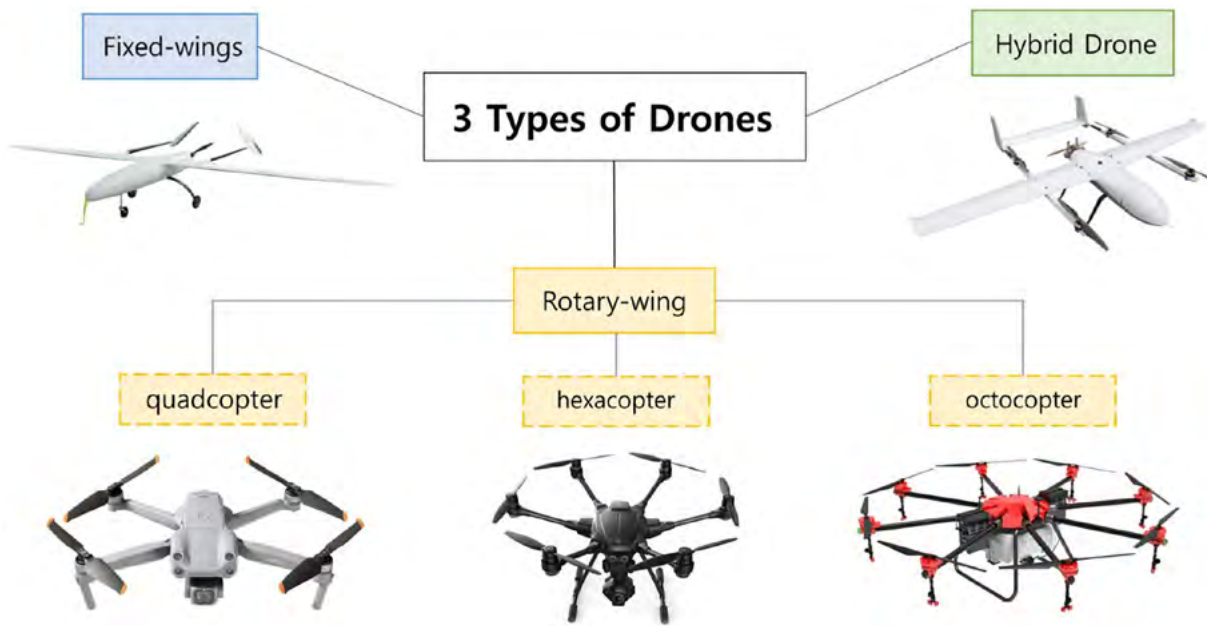


Abbildung 1: Drohnen-Typen

Über Tage – Einführung

Bei der K+S Minerals and Agriculture GmbH ist das effiziente Management der Rückstandshalden sowie die Überwachung von Umwelteinflüssen von entscheidender Bedeutung für die sichere und nachhaltige Lagerung des Rückstandsmaterials. Die Lagerung von festem Rückstand an der Tagesoberfläche sowie die Genehmigung zur Aufhaltung erfordert ein umfangreiches messtechnisches Konzept, welches sowohl die langfristige Standsicherheit des Haldenkörpers als auch die Auswirkungen auf die Umwelt berücksichtigt. Das turnusmäßige Haldenmonitoring ist somit ein wichtiger Bestandteil, um eventuelle Veränderungen frühestmöglich erkennen und so gegebenenfalls rechtzeitig geeignete Maßnahmen einleiten zu können. Diese Nachweise sind integraler Bestandteil der Genehmigung zur Aufhaltung und müssen regelmäßig erbracht werden, um die Einhaltung gesetzlicher Vorschriften gegenüber den zuständigen Behörden nachzuweisen.

Neben der Betreuung der Rückstandshalden werden durch die Markscheiderei Werk Werra auch weitere wegweisende Projekte unterstützt. Immer häufiger werden UAS eingesetzt, um Planungsunterlagen für Vorhaben der K+S zu erstellen. In den Fabriken der Standorte sind 3D-Daten in den Fokus gerückt, um die mit dem Transformationsprojekt „Werra 2060“ verbundenen Umbau- und Instandsetzungsmaßnahmen umfassend planen zu können. Das Messsystem wird für Spezialaufgaben auch außerhalb des Werkes Werra eingesetzt.

Im Rahmen des Umweltmonitoring erfolgen Befliegungen zur Planung von Renaturierungsmaßnahmen umliegender Gewässer sowie Wald- und Wiesenflächen und auch diverser Altbestände.

UAS der Zentralmarkscheiderei

Die Zentralmarkscheiderei setzt bereits seit 2016 auf den Einsatz von UAS. Der Hexacopter „Aibot X6“ der Firma Aibotix aus Kassel wurde angeschafft, um die Abdeckung eines Haldenteilbereiches vermessungstechnisch zu betreuen. Dabei wurde der Vorhabensbereich im Bauverfahren zur Baufortschrittskontrolle und in den Folgejahren hinsichtlich Setzungsüberwachungen wiederholt befliegen. Das UAS konnte vielfältig eingesetzt und Projekte wie Haldenabdeckungen und Haldenerweiterungen vollumfänglich vermessen werden. Mit weiteren Projekten und zunehmenden Flächengrößen stellte die Markscheiderei fest, dass das vorhandene System an seine Grenzen gerät. Durch die geringe Akkuleistung war eine Großbefliegung der Rückstandshalde aufwendig und nur über mehrere Tage realisierbar. Im Jahr 2021 versuchte die Markscheiderei daher ein System zu finden, welches den neuen Anforderungen gerecht werden kann und löste den Aibot X6 durch ein UAS von Quantum Systems ab.

Die Quantum Systems GmbH, einer der führenden Hersteller des VTOL-Systems, bietet mit der Trinity F90+ ein UAS mit einer Kombination aus Vielseitigkeit, Leistung

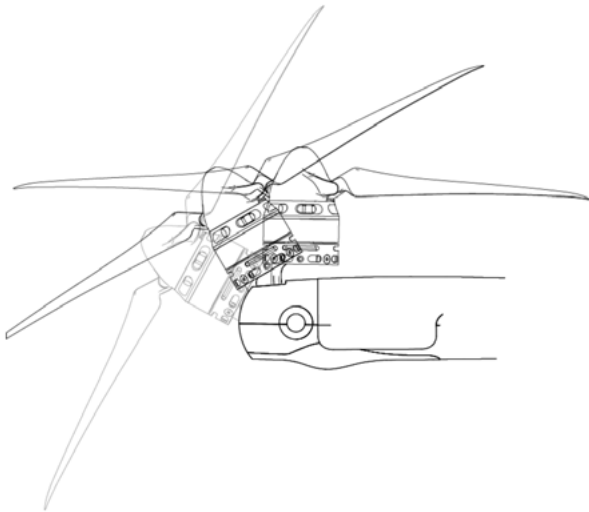


Abbildung 2: Automatische Transition der Rotoren

und Technologie. Herausforderung für die Auswahl eines geeigneten UAS war vor allem die Leistungsfähigkeit des Gerätes im Sinne großer Flächenleistung. Mit einem Abfluggewicht von 5,0 kg und einer maximalen Flugzeit von 90 Minuten unter optimalen Bedingungen erreicht die Trinity F90+ eine Flächenleistung von bis zu 700 Hektar pro Flug. Für eine Befliegung der Rückstandshalden, welche eine Flächengröße von bis zu 150 Hektar aufweisen, ist sie somit bestens geeignet, eine flächendeckende, hochauflösende und kolorierte Punktwolke zu erzeugen. Die Innovation der Drohne liegt in ihrer Fähigkeit, die Vorteile eines Multicopters als auch eines Starrflüglers zu vereinen. Dies wird durch die Funktion der automatischen Transition der Rotoren (Abbildung 2) erreicht, die es der Drohne ermöglichen, nahtlos zwischen vertikalem und horizontalem Flug zu wechseln.

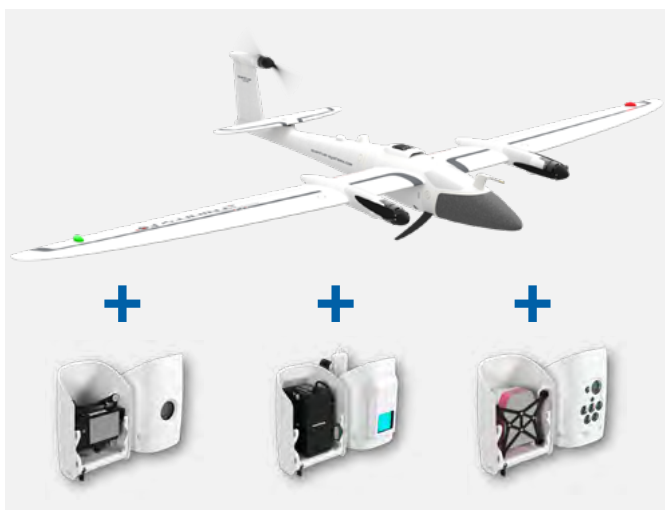


Abbildung 3: Trinity F90+ mit Payloads

Die Flexibilität der Trinity F90+ erweitert die Einsatzmöglichkeiten erheblich und macht das UAS zu einer äußerst vielseitigen Lösung für verschiedene Anwendungen. Ein weiterer Vorteil ist das integrierte Multiband-GNSS-Modul im Rumpf der Drohne, welches eine präzise Positionsbestimmung sowie Navigation ermöglicht, was vor allem bei Befliegungen im Bereich der Rückstandshalden von Vorteil ist. In Kombination mit der i-Base, einer GNSS-Referenzstation, gewährleistet das System eine zuverlässige und genaue Navigation, selbst in anspruchsvollen Umgebungen. Durch die zunehmenden Erfahrungen mit dem System konnten die Einsatzmöglichkeiten erheblich erweitert und verschiedene Anwendungsfälle durch die Markscheiderei getestet und evaluiert werden. Weiterhin besteht die Möglichkeit, die Drohne mit unterschiedlichen Payloads (Abbildung 3) auszustatten. Dazu gehört unter anderem eine Vollformatkamera, ein multispektraler Sensor sowie ein LiDAR-Scanner. Die verschiedenen Payload-Optionen ermöglichen die Erstellung hochwertiger Punktwolken und 3D-Modellen (Abbildung 5). Die Daten können auf verschiedene Arten je nach Anwendungsgebiet und Anforderung des Projektes weiterverarbeitet, analysiert und visualisiert werden.

Vorteile von Multicoptern gegenüber den Starrflüglersystemen ist die Manövrierfähigkeit in beengten Bereichen. Diesen technischen Vorteil macht sich die Zentralmarkscheiderei bei der Befliegung von Fabriken zum Nutzen und investierte Anfang 2024 in ein Multicopter-UAS. Der Quadrocopter DJI Matrice 350 RTK (Abbildung 4) kann neben seiner Manövrierfähigkeit und der Möglichkeit Inspektionsflüge durchzuführen auch Flächen von bis zu 200 Hektar pro Flug erfassen. Weiterhin können die verschiedenen Payloads, welche bereits für die Trinity angeschafft wurden, eingesetzt werden.



Abbildung 4: DJI Matrice 350 RTK

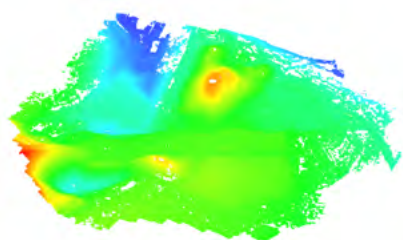
Mit dem UAS werden durch die Markscheiderei unter anderem folgende Ergebnisse (Abbildung 4) abgeleitet:

- Digitale 2D-Orthomosaik mit einer Lagegenauigkeit von ± 2 cm
- Digitale Geländemodelle (3D-Punktwolken) mit einer Höhengenaugigkeit von ± 3 cm
- Multispektralaufnahmen zur Detektion von Pflanzengesundheit, Feuchtigkeitsaustritten oder auch Wasserqualitäten
- Thermalaufnahmen zur Ableitung von Oberflächentemperaturen
- klassische Luftbilder zur Übersicht

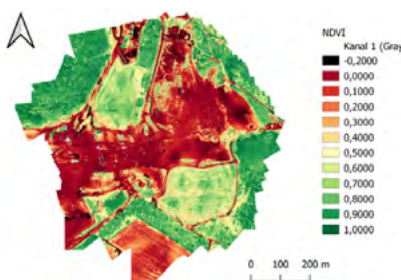
Rechtliche Grundlagen bei Drohnenbefliegungen

Die Befliegung von Rückstandshalden mit unbemannten Luftfahrzeugen erfordert umfangreiche rechtliche und sicherheitstechnische Überlegungen. Damit die Drohne innerhalb der rechtlichen Rahmenbedingungen operiert und potenzielle Gefahren minimiert werden können, ist daher eine umfangreiche Flugplanung nötig. Gemäß geltenden Vorschriften der Luftverkehrsordnung ist der Betrieb von UAS auf eine maximale Höhe über Grund (AGL) von 120 m begrenzt. Eine Befliegung der Rückstandshalde ist dadurch in der offenen Kategorie nur bedingt möglich, da die Höhe

aufgrund örtlicher Gegebenheiten nicht eingehalten werden kann. Um den rechtlichen Anforderungen gerecht werden zu können, hat die Markscheiderei eine Betriebsgenehmigung in der speziellen Kategorie beantragt, um diese Art von Befliegungen durchführen zu können. Die Genehmigung wird vom Luftfahrt-Bundesamt sowie dem Regierungspräsidium Kassel erteilt. Wesentliche Bestandteile sind die SORA-Risikobewertung, welche einen ausführlichen Bericht über die geplanten Einsätze, Einsatzorte, Risiken und Maßnahmen zur Risikominderung beinhaltet sowie das Betriebshandbuch, welches eine eindeutige Handlungsanweisung und einen klaren rechtlichen Rahmen vorgibt. Die neue Regelung im Rahmen der Betriebsgenehmigung (Abbildung 6) legt fest, dass die maximale Flughöhe des UAS auf 100 m über Haldentop begrenzt wird, um so eine Kollision mit bemannten Luftfahrzeugen zu verhindern. Weiterhin wurde die Drohne mit einem FLARM-Sender ausgerüstet, um auch für andere Luftraumteilnehmer sichtbar zu sein. Bereichsgrenzen der Fluggebiete wurden festgelegt, um eine sichere und effiziente Durchführung zu ermöglichen. Für einen sicheren und rechtskonformen Betrieb müssen die im Betriebshandbuch festgelegten Rahmenbedingungen eingehalten werden. Alle Fernpiloten müssen im Besitz des vom Luftfahrt-Bundesamt auszustellenden EU-Kompetenznachweis in der Kategorie A2 nach EU-Drohnenverordnung sein. Jährlich werden die Piloten in der Betriebsanweisung BA 31 806 „Umgang mit UAS“, die in Abstimmung mit der Arbeitssicherheit erstellt wurde, unterwiesen. Nur so können Risiken minimiert und ein sicherer Betrieb von UAS gewährleistet werden.



Punktwolke (Qube 240)



NDVI (MicaSense Altum PT)



RGB-Orthofoto (Sony RX1 RII)

Abbildung 5: Ergebnisse aus den UAS-Befliegungen

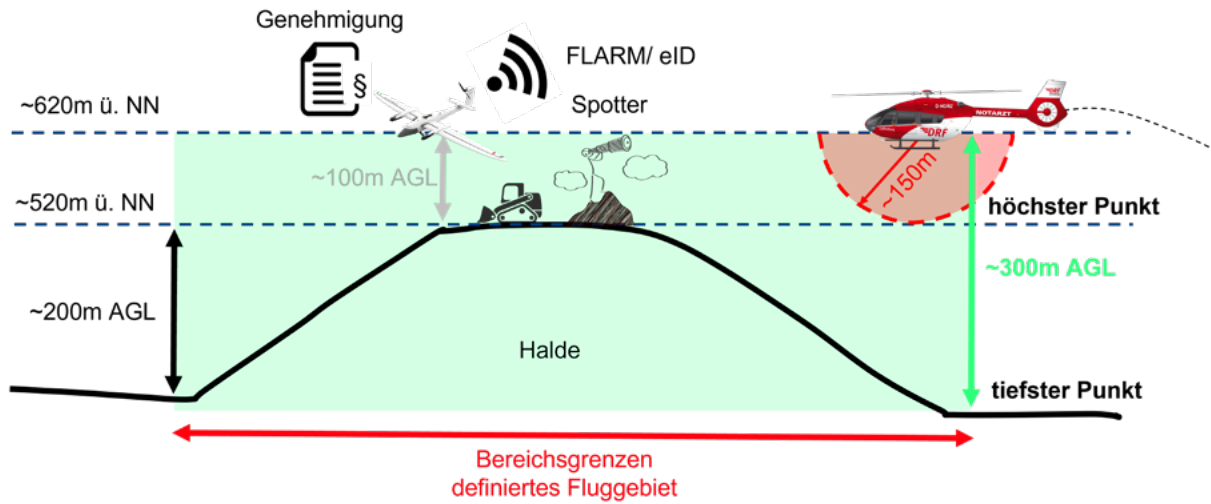


Abbildung 6: Schematische Darstellung der Bereichsgrenzen des Fluggebietes

Georeferenzierung und Passpunktverteilung

Die Vielseitigkeit und Flexibilität von UAS ermöglicht die Erfassung präziser und effizienter Daten in den verschiedenen Bereichen. Einen großen Einfluss auf die Qualität der Punktwolken hat die gleichmäßige Verteilung von Passpunkten in verschiedenen Höhen in und um das Messgebiet. Passpunkte dienen einerseits der Verknüpfung der Rohbildaufnahmen zu einem Bildverband und andererseits der Georeferenzierung der Punktwolken. Mit einer guten Passpunktverteilung wird eine potenzielle Verzerrung der resultierenden Punktwolke minimiert, wohingegen eine unzureichende Verteilung zu fehlerhaften Ergebnissen führt. Durch Integration von RTK/GNSS-Modulen im UAS kann die Genauigkeit in den Messdaten gesteigert werden.

Jedes Foto wird mit einer Positionsinformation versehen, womit bei der Befliegung Kamerapositionsgenauigkeiten von kleiner 10 cm erreicht werden können. Durch das Einmessen der Passpunkte mittels GNSS kann hier eine Genauigkeit von kleiner 3 cm erreicht werden.

Im Gesamtergebnis kann beispielsweise für die Halde Wintershall innerhalb drei Stunden Außendienst, zwei Stunden Innendienst und 10 Stunden automatisierter Auswertung eine Punktwolke mit einer absoluten Genauigkeit von kleiner 10 cm erzeugt werden. Das Orthomosaik in Abbildung 7 besteht dabei aus 1507 Einzelbildern, welche mit einer 42 MP Kamera aufgenommen wurden. Trotz der Flughöhe kann aufgrund der Kameraparameter ein hoher Detailgrad erreicht werden (*Detailaufnahme Abbildung 7*).

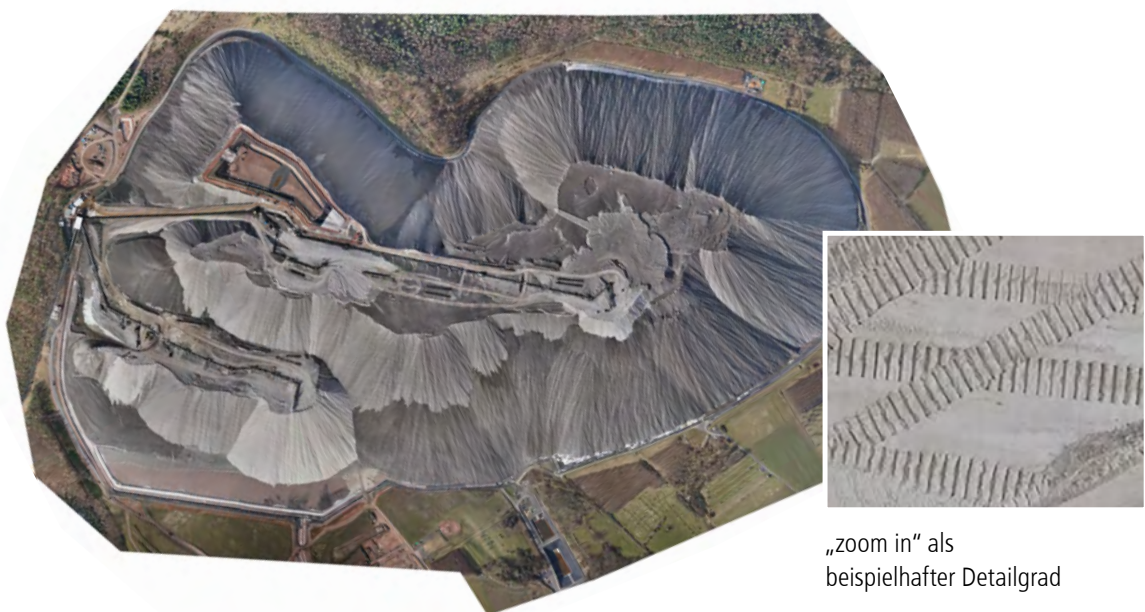


Abbildung 7: Befliegung der Halde Wintershall (Heringen)

„zoom in“ als beispielhafter Detailgrad



Abbildung 8: Befliegung mit der Elios 3

Unter Tage – Einführung

Die Standortmarkscheidereien der Grubenbetriebe haben ebenfalls im untertägigen Einsatz von UAS (*Abbildung 8*) ein enormes Potenzial gesehen. Ob videogestützte Inspektionsflüge oder die 3D-Erfassung unzugänglicher Grubenbaue, die Einsatzgebiete sind auch hier vielfältig.

Der Umgang mit 3D-Punktwolken ist schon lange Bestandteil bei der Bearbeitung markscheiderischer Fragestellungen. Mit dem Projekt „Wertstoffoptimierung und -steuerung in den Werken Werra und Neuhoof-Ellers“ (WSO/WSS) wurde an die Markscheidereien die Anforderung gestellt,

eine umfassende dreidimensionale Aufnahme der Abbaubereiche zu realisieren und flächendeckend 3D-Daten zur Verfügung zu stellen. Die Datengrundlage bilden kolorierte 3D-Punktwolken, welche in zahlreichen Aufgabenstellungen Anwendung finden. Beispiele hierfür sind: die Erstellung eines 3D-Grubenmodells (*Abbildung 9*), die Nachtragung des bergmännischen Risswerks, die Nachweisführung in Rückbauprojekten (Versatzgradermittlung), Monitoringaufgaben, Volumenangaben und Bohrplanungen für die Versatzwirtschaft, die Planung technischer Anlagen oder die Unterstützung der 3D-Lagerstättenmodellierung bestehend aus digitalisierten Schichtgrenzen oder koordinativ erfassten Bemusterungsstellen.

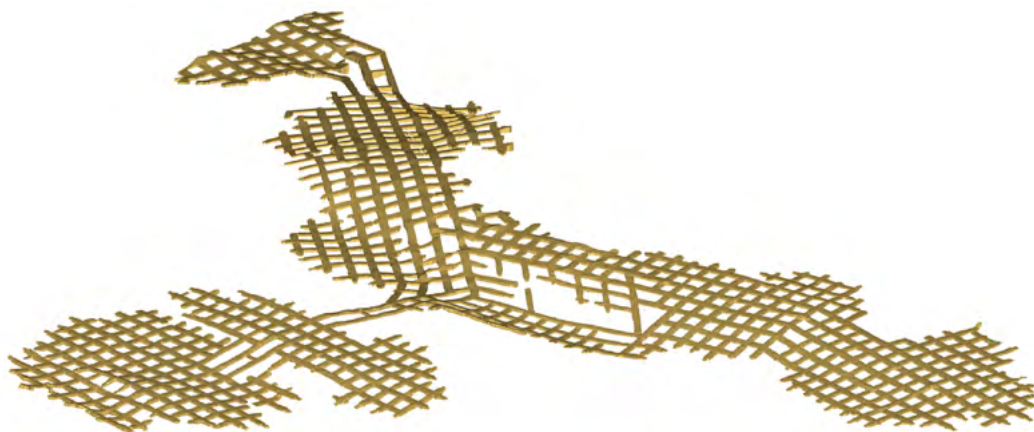


Abbildung 9: 3D-Grubengebäude Revier 1, Grube Unterbreizbach

Markscheiderische Standardaufgaben lassen sich durch den Einsatz autonomer Sensorsysteme optimieren. Ein erster Schritt in Richtung automatisierter Messwerterfassung erfolgte mit dem Einsatz eines Robotiksystems, bestehend aus der Roboterplattform „INNOK Heros Allrad 444“ sowie einem 3D-Laserscanner „RIEGL VZ-400i“. Die Sensorintegration des Laserscanners in das „Robot Operating System - ROS“ wurde auf Basis eines durch RIEGL entwickelten ROS-Treibers realisiert. Weiterhin verfügt das System mit einem zusätzlichen LIDAR-Scanner über eine aktive „Collision Avoidance“ (Kollisionsvermeidung), welche nach Hinderniserkennung die automatische Messfahrt unterbricht. Das Robotiksystem kann in bereits „bekannten“ Strecken eingesetzt werden und wiederkehrende Monitoringmessungen autonom durchführen oder Auffahrungsstände von Abbaufeldern anhand einer Wegpunktplanung automatisiert erfassen. Alle Messfahrten erfolgen bewusst im Stop-and-Go Modus und nicht kinematisch, um die geforderten Genauigkeiten für Monitoringprojekte in den Grundlagendaten zu gewährleisten. Die Grenzen des Robotiksystems zeigten sich im laufenden Betrieb schnell. Zum einen ist die Erzeugung hochpräziser 3D-Punktwolken im Stop-and-Go Verfahren zeitaufwändig und nicht immer erforderlich, zum anderen setzt der Einsatz des Robotiksystems befahrbare Strecken voraus. So sind beispielsweise abgeworfene Grubenbaue (abgesperrt durch Wall oder verbrochen), Sonderhohlräume (vorhandene Strosskanten) oder Hohlräume nach CO₂-Ausbrüchen aufgrund der Lage und Ausbruchshaufwerk nicht erreichbar.

Der Einsatz eines UAS zur Erkundung und Aufnahme von Grubenbauen ist ein innovatives und vielversprechendes Anwendungsgebiet. Neben einer effizienten mobilen Datenerfassung basierend auf dem Messprinzip „Simulta-



Abbildung 10: Funkfernbedienung (GCS-Ground Control Station) Elios 3

neous Localization and Mapping – SLAM“ ermöglicht ein solches System eine erhöhte Flexibilität und Sicherheit in der Durchführung von Vermessungsarbeiten. Als SLAM wird ein Verfahren der Robotik bezeichnet, bei dem ein mobiler Roboter gleichzeitig eine Karte seiner Umgebung erstellen und seine räumliche Lage innerhalb dieser Karte schätzen muss.

Systemanforderungen und Rahmenbedingungen

Die Verfahrensweise beim Einsatz eines UAS über Tage kann nicht simultan nach unter Tage übertragen werden, da dort andere Gegebenheiten und spezifische Herausforderungen berücksichtigt werden müssen. Bewährte Sensorik und Messmethoden, welche in der UAS-gestützten Vermessung über Tage weit verbreitet sind, stoßen unter Tage an ihre Grenzen oder sind ungeeignet.

Unter Tage ist kein Empfang von GNSS-Satelliten möglich, was die Navigation und Orientierung von UAS erschwert. Alternativ werden Indoor-Positionierungssysteme unter Verwendung einer IMU (inertial measurement unit – Trägheitsnavigationssystem) sowie eines LiDAR-Scanners in Verbindung mit SLAM-Verfahren genutzt.

Des Weiteren müssen UAS unter Tage ohne Tageslicht auskommen, weshalb photogrammetrische Messverfahren (Bildmessung) ungeeignet sind und auf LiDAR-Scanner gesetzt wird. Die UAS müssen zur sicheren Steuerung und Orientierung mit einer geeigneten Beleuchtung ausgestattet sein. Die Beleuchtung ist weiterhin erforderlich für die Aufnahme von Bildern und Videos, um gegebenenfalls eine Einfärbung der erzeugten Punktwolke anhand dieser Daten zu ermöglichen.

Das UAS muss unter den erschwerten Bedingungen sicher operieren können, was eine genaue Kenntnis der Umgebungsbedingungen und potenzieller Risiken wie das Aufkommen von Gasen, Staubentwicklung oder Wetterzug erfordert. Das UAS sollte so konstruiert sein, dass es gegen solche Umwelteinflüsse geschützt ist. Ein Notfallplan beziehungsweise ein „Bergekonzept“, sofern ein Flug nicht planmäßig verläuft, ist unumgänglich.

Aufgrund geringer Funkreichweite und Interferenzen unter Tage ist die Kommunikation mit der Drohne (Abbildung 10) auf bestimmte Distanzen begrenzt. Für den Einsatz von UAS unter Tage ist daher eine sorgfältige Planung unter umfassender Berücksichtigung spezifischer Herausforderungen notwendig, um präzise Ergebnisse bei sicherem Umgang zu gewährleisten.



Abbildung 11: Vorführung Exyn Aero DJ34

Die erzeugten 3D-Daten und das daraus abgeleitete Risswerk muss den Genauigkeitsanforderungen der Markscheider-Bergverordnung (MarschBergV) gerecht werden. Die MarschBergV regelt markscheiderische sowie sonstige vermessungstechnische Arbeiten im Zusammenhang mit bergbaulichen Tätigkeiten, wie beispielsweise dem Aufsuchen, Gewinnen und Aufbereiten von bergfreien und grundeigenen Bodenschätzen.

Marktüberblick

Die Digitalisierung von Produktionsabläufen wird als große Chance für den Bergbau gesehen, weshalb dreidimensionale Daten eine zunehmend wichtige Rolle einnehmen. Im unter Tage Bergbau ist der Einsatz von UAS bisher noch nicht sehr verbreitet. K+S beteiligt sich aktuell an dem EU-Forschungsprojekt „Nexgen SIMS“, in welchem unter anderem „Robotized Inspection“ ein Teilprojekt bildet. Im Rahmen des Teilprojektes wird der Einsatz von UAS zur autonomen Inspektion von Bereichen mit hohem Sicherheitsrisiko in Untertagebergwerken untersucht.

Die Markscheiderei setzt zunächst auf ein kommerzielles System, welches die zuvor genannten Anforderungen erfüllt. Die Unternehmen Emesent, Exyn, Leica und Flyability SA bieten UAS (Copter-Systeme) mit dazugehöriger Navigations- und Auswertesoftware an, die LiDAR- und SLAM-Technologie nutzen sowie speziell für unterirdische Vermessung konzipiert sind. Emesent und Exyn setzen auf

bewährte Drohnentechnik von DJI, die DJI Matrice 300. Leica und Flyability SA nutzen eine Eigenentwicklung als Flugplattform. Die Systeme von Emesent und Exyn ermöglichen einen autonomen Flug und erfassen die Umgebung vollautomatisch. Das UAS „BLK2Fly“ von Leica lässt ebenfalls einen autonomen Flug zu, jedoch kann manuell eingegriffen werden, was dem Anwender zusätzliche Sicherheit gibt. Die „Elios 3“ der Firma Flyability SA lässt sich hingegen nur manuell steuern.

Im Jahr 2022 erfolgte in den Gruben am Werk Werra eine Vorstellung der Systeme von Exyn (Abbildung 11) und Flyability SA, etwas später im April 2023 auch von Emesent. Die UAS von Emesent und Exyn haben nahezu identische Leistungsparameter. Beide Systeme nutzen eine identische Plattform mit einer Größe von 43x42x4 cm (LxBxH) und ermöglichen eine Flugzeit von etwa 15 min bis zum Akkuwechsel. Die Messeinheit besteht bei Exyn wie auch bei Emesent aus einem LiDAR „Velodyne Puck Lite“ mit einer Messreichweite von bis zu 100 m, einer Punktrate von 600.000 Punkte/Sek. und einer Messgenauigkeit von +/-2 cm. Des Weiteren lässt sich mittels einer HD-Kamera eine Kolorierung der Punktwolke vornehmen. Über ein Tablet wird in der jeweils herstellereigenen Software der autonome Flug geplant sowie eine Live-Kartierung vorgenommen. Mittels „Collision Avoidance“ wird der autonome Flug überwacht und Hindernisse werden umflogen.

TECHNIK UND ANWENDUNG

Das UAS Elios 3 von Flyability SA ist durch seine Größe von 49x38 cm (BxH) etwas kompakter und durch den umgebenden Kohlefaserkäfig vor Kollisionen bis 2 m/s geschützt. Das robuste IP-44-Design ermöglicht die Inspektion und Kartierung von Umgebungen unter Einflüssen wie Spritzwasser und Staub. Das System wird mit einer remote-Fernbedienung gesteuert. Die Messeinheit besteht aus einem Ouster OS0-32 Rev 6 mit einer Messreichweite von bis zu 50 m, einer Punktrate von 50.000 Punkte/Sek. und einer Punktgenauigkeit von +/-2 cm. Ein Upgrade auf den Ouster OS0-128 Rev 7 LiDAR ermöglicht 100 m Messreichweite und eine Punktrate von 1,4 Mio. Punkte/Sek. bei einer Punktgenauigkeit von +/-1 cm. Die Fernsteuerung ermöglicht eine Navigation bis in 500 m Entfernung, wobei ein Akku bis zu neun Minuten Flugzeit zulässt. Es erfolgt eine Echtzeitübertragung von Bildmaterial und Punktwolke zur Steuerung des Systems außerhalb der Sichtweite. Die Prozessierung und Georeferenzierung der Vermessungsdaten erfolgt in der Software „GeoSLAM Connect“, nach Übernahme „FARO Connect“.

Die autonomen Flugsysteme von Emesent und Exyn sind ausgereift und haben vielversprechende Endergebnisse/Punktwolken geliefert. Jedoch hat der autonome Flug viel Zeit in Anspruch genommen. Es konnte nicht jeder Grubenbau befliegen werden, da der voreingestellte und benötigte Freiraum für die „Collision Avoidance“ nicht immer gegeben war. Aufgewirbelter Staub beeinflusste die „Collision Avoidance“, sodass einzelne Flüge ergebnislos verliefen. Ein manueller Eingriff ist nicht möglich gewesen beziehungsweise lässt sich das UAS laut Hersteller nur schwer manuell steuern.

Die Elios 3 von Flyability SA ist kompakt und robust zugleich. Durch eine „Return-to-Signal“ Funktion navigiert das UAS auch automatisch bei Verbindungsabbruch entlang der zurückgelegten Flugbahn zurück in den Funkbereich. Es besteht die Aussicht auf die Kolorierung der erzeugten Punktwolken sowie mehr Möglichkeiten hinsichtlich Autonomie. Die von Flyability SA zur Auswertung herangezogene Software wird seit einiger Zeit am Standort Werra zur Prozessierung von Punktwolken genutzt, wodurch keine zusätzliche Software gekauft werden muss. So lassen sich Synergien hinsichtlich der Software nutzen und der Einsatz des UAS in den Auswerteprozess integrieren. Die Markscheidereien der Werke Werra und Zielitz investierten 2023 jeweils in ein System von Flyability SA (Abbildung 12).

Einsatz der „Elios 3“

Im Rahmen der Auslieferung erfolgte zunächst eine Pilotenschulung der potenziellen Anwender. In Abstimmung mit der Abteilung „Arbeitssicherheit“ wurde im Anschluss eine Gefährdungsbeurteilung für den Einsatz des UAS erstellt. Die bereits bestehende Betriebsanweisung BA 31 806 „Umgang mit UAS“ wurde um den unter Tage Einsatz erweitert und das zuständige Bergamt über den zukünftigen Einsatz informiert. Für den Betrieb von Drohnen gibt es europäische und nationale Regularien, die in der Bundesrepublik Deutschland gelten. Das Fliegen in Innenräumen ist hingegen grundsätzlich immer möglich, da es für Innenräume keine besonderen Auflagen gibt. In Abstimmung mit der Fachkraft für Arbeitssicherheit absol-

Technische Daten Elios 3

Hersteller:	Flyability SA (Paudex, Schweiz)
Typ:	Quadrocopter im Kohlefaserkäfig
Abfluggewicht:	2.3 kg
max. Flugzeit:	Inspektion: 12 min LiDAR: 9 min
Funkreichweite:	ca. 500 m (erweiterbar)
Payloads:	LiDAR, Wärmebildkamera, 4K-Kamera, Abstandssensor
LiDAR Genauigkeit:	Ouster OS0-32 Rev 6: ± 2 cm Ouster OS0-128 Rev 7: ± 1 cm



Abbildung 12: Flyability Elios 3

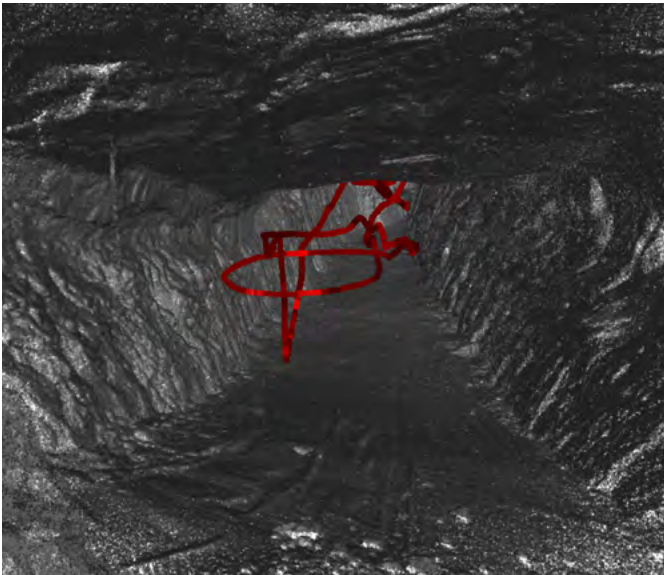


Abbildung 13: 3D-Punktwolke einer Strosse mit Flugbahn (Trajektorie)

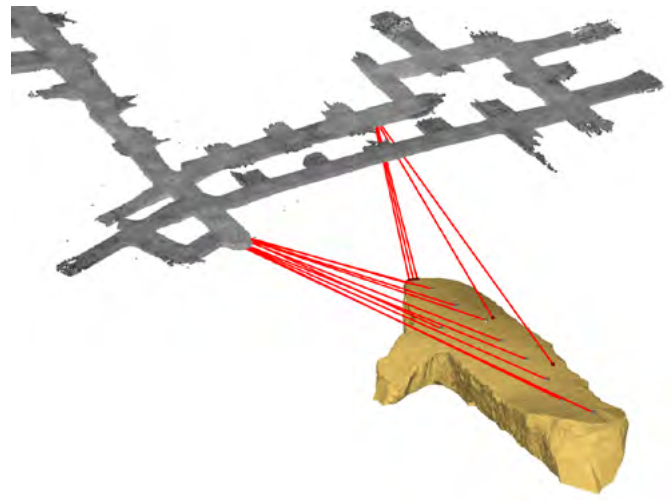


Abbildung 14: Planung von Befüllbohrungen (UTV-Versatz) für einen Kuppenhohlraum

vieren jedoch alle Piloten den EU-Kompetenznachweis in der Kategorie A1/A3 nach EU-Drohnenverordnung.

Punktwolken ermöglichen eine wesentlich genauere dreidimensionale Abbildung der Geometrie aufgefahrener Grubenbaue. Die 3D-Daten dienen der Orientierung im Grubengebäude und bilden die Grundlage für Planungs- und Modellierungsaufgaben sowie die Dokumentation bergbaulicher Aktivitäten. Im Hinblick auf „Industrie 4.0“, branchenmäßig angepasst „Mining 4.0“, stellen Punktwolken und daraus abgeleitete Modelle die Grundlage für autonom fahrende Gewinnungsmaschinen dar. Dementsprechend vielfältig ist das Anwendungsgebiet für die 3D-Vermessung mittels UAS. Aus den 3D-Daten werden

unterschiedlichste Informationen gewonnen, die durch andere Abteilungen genutzt werden.

Insbesondere die Vermessung der aufgefahrenen Grubenbaue der Grube Unterbreizbach stellt die Markscheiderei oft vor große Herausforderungen. In den thüringischen Gruben des Werkes Werra sind neben dem Room-and-Pillar Abbau weitere Abbaufverfahren bergbehördlich zugelassen, die auf die spezifischen Lagerstättenverhältnisse angepasst sind, unter anderem Kuppenabbau, Kuppenstrossbau, Modifizierter Sylvinitabbau oder der CO₂-Weitungsbau. Die hergestellten Grubenbaue sind aus sicherheitstechnischen Gründen nicht betretbar. Das Aufmaß zur Nachtragung des Risswerks wird über den Einsatz des UAS

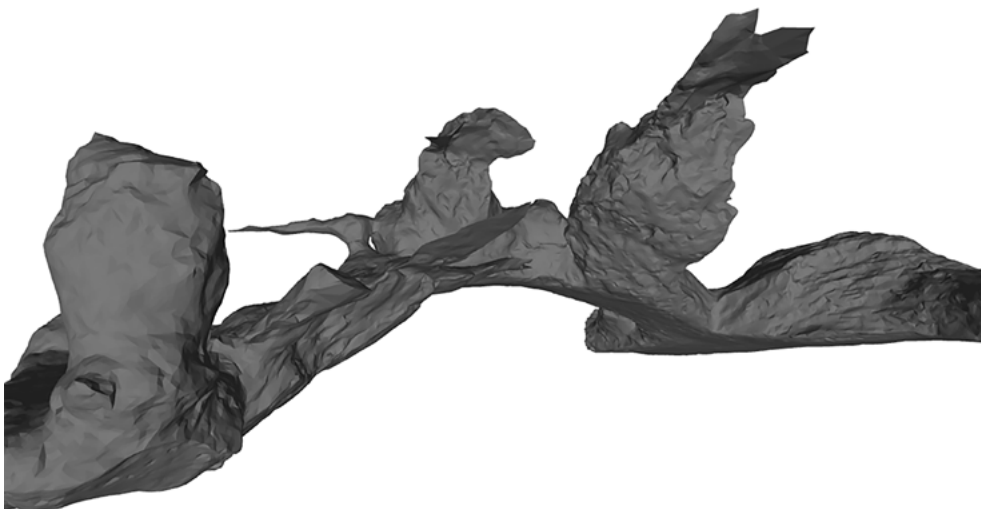


Abbildung 15: 3D-Modell von CO₂-Ausbrüchen im Revier 3, Grube Unterbreizbach

TECHNIK UND ANWENDUNG

realisiert (Abbildung 13). Oftmals werden die hergestellten Hohlräume für eine Nachnutzung durch die Versatzwirtschaft vorbereitet (Abbildung 14). Die Planung von benötigten Bohrungen oder Dammstandorten sowie die Berechnung des zur Verfügung stehenden Volumens erfolgt auf Basis der aufgenommenen 3D-Daten.

Im Weiteren reduzieren sich die Aufwältigungsarbeiten für das Aufmaß abgeworfener Grubenbaue. Mit dem UAS hat man am Standort die Möglichkeit ein Monitoring abgeworfener Grubenbaue aus gesicherten Bereichen heraus zu realisieren. Die Markscheideerei kann außerdem die durch CO₂-Ausbrüche entstehenden Hohlräume (Gasracheln) gefahrlos aufmessen (Abbildung 15). Ein Inspektionsflug dient oftmals der Aufklärung unklarer Sachverhalte in der Auffahrung von Sonderhohlräumen und liefert wertvolle Erkenntnisse zur qualifizierten Planung der weiteren Gewinnungstätigkeit.

Zuletzt wird die Drohne aufgrund Ihrer Kompaktheit und Bedienerfreundlichkeit auch zum sicheren Aufmaß des Bestandes in den Produktschuppen des Werkes Werra eingesetzt.

Das Postprocessing der aufgenommenen Daten erfolgt in der Software Faro Connect und beinhaltet die SLAM-Prozessierung, Georeferenzierung sowie Filterung der Punktwolke (Abbildung 16). Die Georeferenzierung kann über zwei verschiedene Methoden, Cloud-to-Cloud oder mit Passpunkten, realisiert werden. Im Cloud-to-Cloud-Verfahren wird zunächst eine Referenzpunktwolke mit einem Terrestrischen Laserscanner aufgenommen, registriert und georeferenziert. Anschließend wird die Punktwolke aus der Befliegung anhand von Geometrien im Überlappungsbereich (natürliche Features/Verknüpfungspunkte) bestmöglich am Referenzscan ausgerichtet. Werden zur Georeferenzierung Passpunkte genutzt, so müssen diese vor Flugbeginn angelegt und in den Flug einbezogen werden. Die Vermarkung von Passpunkten erfolgt am Stoß in Form von 20x20 cm großen retroreflektierenden Zieltafeln, die koordinativ bestimmt werden. Für eine qualitätsbewusste Auswertung sollten mindestens vier Passpunkte in der Örtlichkeit festgelegt werden. Liegt nach Auswertung eine validierte Punktwolke vor, so kann diese in festgelegten Austauschformaten exportiert und für die weitere Bearbeitung bereitgestellt werden.

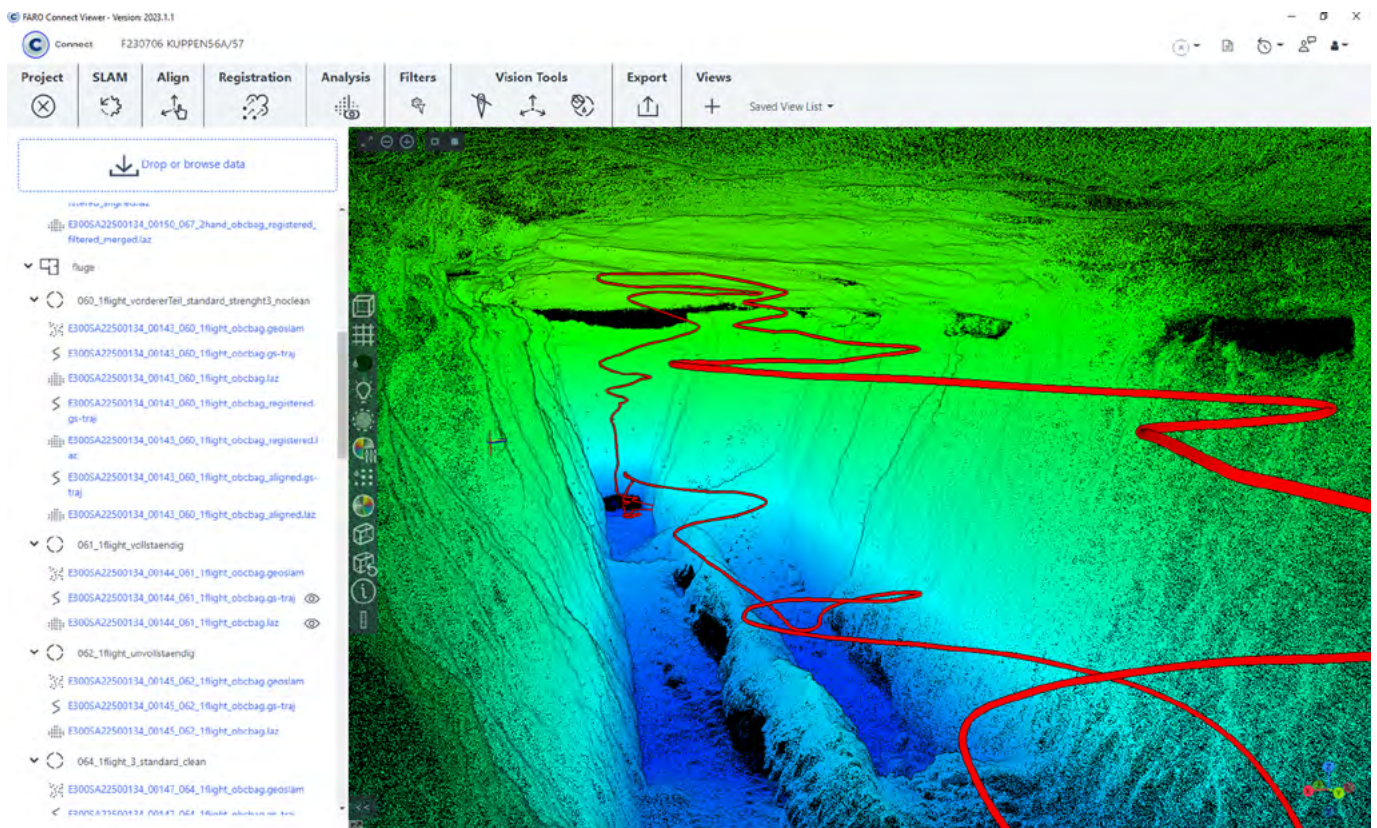


Abbildung 16: Softwareoberfläche FARO Connect, Auswertung einer Kuppenbefliegung



Abbildung 17: Blick in eine Strosse aus Sicht der Drohne



Abbildung 18: Blick auf Strosskante mit LAG-Bohrwagen aus Sicht der Drohne

Fazit

Die eingesetzte Technik und Sensorik im Gebiet der Drohnenvermessung befindet sich in ständiger Entwicklung. In der Zeit, in der Wettbewerb und Effizienz zum Erfolg des Unternehmens beitragen, werden neue Technologien immer wichtiger, um Geschäftsprozesse zu optimieren und zu verbessern. Die Drohnenvermessung ermöglicht eine andere Herangehensweise, die nicht nur Zeit und Ressourcen spart, sondern auch die Arbeitsabläufe verbessert. Eine wesentliche Effizienzsteigerung ist nicht nur durch die Verwendung neuer Messinstrumente, sondern auch durch angepasste Verfahren möglich.

Ein direkter Vergleich zwischen dem aktuell etablierten Haltenmonitoring mittels Terrestrischen Laserscanning und dem Einsatz von UAS verdeutlicht die betriebswirtschaftlichen Vorteile. Die Verwendung der Drohne kann hier wertvolle Daten liefern, und trägt nicht nur dazu bei, Kosten zu senken, sondern auch Inhalt und Qualität der erfassten Daten zu verbessern. Ein großer Vorteil ist die Erfassung multispektraler Daten, um den ständig wachsenden Anforderungen des Umweltmonitorings gerecht zu werden.

Literatur

- [1] Quantum Systems GmbH (2024) – Trinity F90 +, online verfügbar unter: <https://quantumsystems.com>
- [2] DJI (2024) – Matrice 350 RTK, online verfügbar unter: <https://enterprise.dji.com/de/matrice-350rtk>
- [3] Flyability SA (2024) – Elios 3, online verfügbar unter: <https://www.flyability.com/de/elios-3>
- [4] Exyn Technologies (2024) – ExynAero DJ34, online verfügbar unter: <https://www.exyn.com/products/exyn-aero-dj34>
- [5] Emesent (2024) – Hovermap, online verfügbar unter: <https://emesent.com/hovermap-series>

Die Grubenbetriebe haben erstmalig die Möglichkeit, Inspektionsflüge in unzugänglichen Bereichen durchzuführen. Neben dem Inspektionsflug ermöglicht die eingesetzte Technologie ein Mapping der Umgebung und lässt die Prozessierung einer 3D-Punktwolke zu. Die gewonnenen Daten sind von hohem Stellenwert, da die Lagerstätte sowie Hohlräume für die Versatzwirtschaft besser beplant und genutzt werden können. Aufwältigungsarbeiten abgeworfener Grubenbaue reduzieren sich auf ein Minimum und vermessungstechnische Arbeiten werden auf einem noch höheren Sicherheitsniveau durchgeführt.

Insgesamt lässt sich festhalten, dass durch die Markscheiderie mit dem Einsatz von UAS ein bedeutender Beitrag für das Unternehmen geleistet wird. Der Fokus liegt dabei stets darauf, den Aufwand zu minimieren und den Nutzen zu maximieren – ein Ziel, das durch den Einsatz von UAS in der Vermessung erreicht werden kann. Abschließend ist festzustellen, dass Drohnenvermessungen schnell, wirtschaftlich und sicher zu qualitativ hochwertigen Ergebnissen führen (Abbildung 17 und 18).

Der Weltkalimarkt vor dem Hintergrund geopolitischer Entwicklungen und der EU-Sanktionspolitik



Der Weltkalimarkt unterliegt seit einigen Jahren einer starken Dynamik. Die Entwicklungen an den weltweiten Agrarmärkten, die Preisausschläge auf dem Energiemarkt sowie insbesondere die politische Situation in Belarus und der russische Angriffskrieg gegen die Ukraine prägen das Marktgeschehen. Zwischenzeitlich gestiegene und stark volatile Kalipreise sowie eine fundamentale Änderung der weltweiten Kalihandelsströme waren Folge dieser geopolitischen Entwicklungen. Die drohende Energiemangellage in Deutschland und Europa hat zudem dazu geführt, dass die Branche als systemrelevant eingestuft wurde.

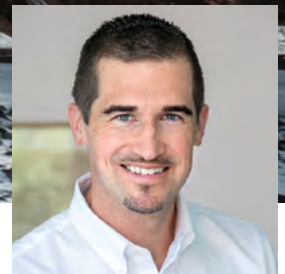
Vor dem Hintergrund dieser Ereignisse wird in diesem Artikel die Entwicklung des Weltkalimarktes seit dem Jahr 2020 dargestellt und ein Ausblick auf die zukünftige Entwicklung des Marktes gegeben.



Dr. Thore Sören Bischoff
 CSA Market
 Analytics & Optimization
 K+S Minerals and
 Agriculture GmbH



Stefan Anders
 CSA Market
 Analytics & Optimization
 K+S Minerals and
 Agriculture GmbH



Tobias Andres
 Geschäftsführer/
 Leiter Büro Brüssel
 Verband der
 Kali- und Salzindustrie e.V.

The global potash market and the impact of geopolitics and sanction regimes

The global potash market is currently characterised by strong dynamics and disruptions due to the geopolitical developments. The situation on the global agricultural markets, energy price peaks and, in particular, the political situation in Belarus and the Russian war against Ukraine have had a fundamental impact on the global potash market including a temporary increase of potash prices and a significant change in global potash trade flows. Moreover, energy shortage in Germany and Europe has led to the industry being classified as systemically relevant.

This article describes the development of the global potash market since 2020 and provides an outlook for the future development of the market.

Agrarmärkte stützen den Weltkalimarkt in 2020/2021

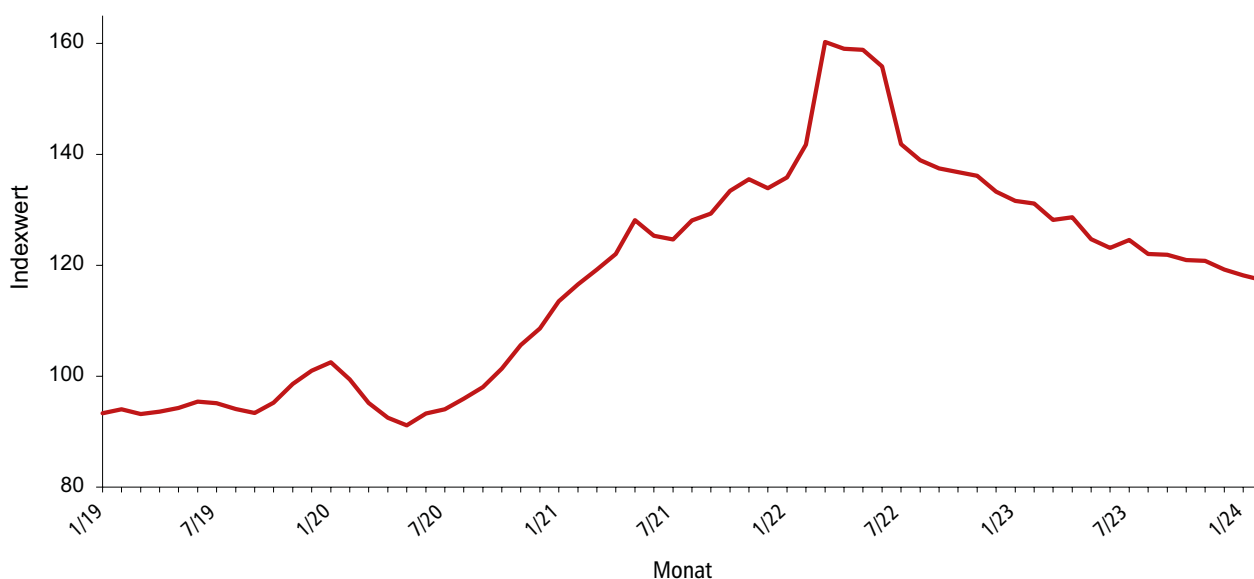
Zu Beginn der 2020er Jahre befand sich der Weltkalimarkt in einer Situation, die von starkem Wettbewerb und einer geringen Nachfrage auf den globalen Schlüsselmärkten geprägt war. Durch die Corona-Pandemie wurden bestehende Unsicherheiten über die Angebots- und Nachfrageentwicklung zunächst weiter verstärkt. In der zweiten Hälfte des Jahres 2020 verbesserten sich dann die landwirtschaftlichen Fundamentaldaten getragen von steigenden Preisen für landwirtschaftliche Produkte deutlich. Insbesondere in Brasilien erreichten die Margen der Landwirte historische Niveaus. Zudem sorgten verbesserte wirtschaftliche Rahmenbedingungen in der Landwirtschaft in China und Indien für eine Belebung der Nachfrage auch auf dem Kalimarkt. Der FAO Food Price Index als Indikator für die globale Entwicklung der Agrarpreise stieg allein in der zweiten Jahreshälfte 2020 um 22 % an und sollte auch in den beiden Folgejahren noch weiter anwachsen.

Eine anhaltende Wiederbelebung der Nachfrage nach Kali war die Folge und in den Jahren 2020 und 2021 erreichten die weltweiten Absatzmengen der Kaliproduzenten vorher nie gesehene Niveaus von über 77 Millionen Tonnen pro Jahr. Dominiert wurde der Kalimarkt von den großen Anbietern aus Kanada, Russland und Belarus, die zusammen in den Jahren 2020–2021 einen Lieferanteil am Weltkalimarkt von über 65 % erreichten. Erste Verunsicherungen über eine stabile Angebotsentwicklung kamen im Jahr 2020 im Zusammenhang mit Protestaktionen in

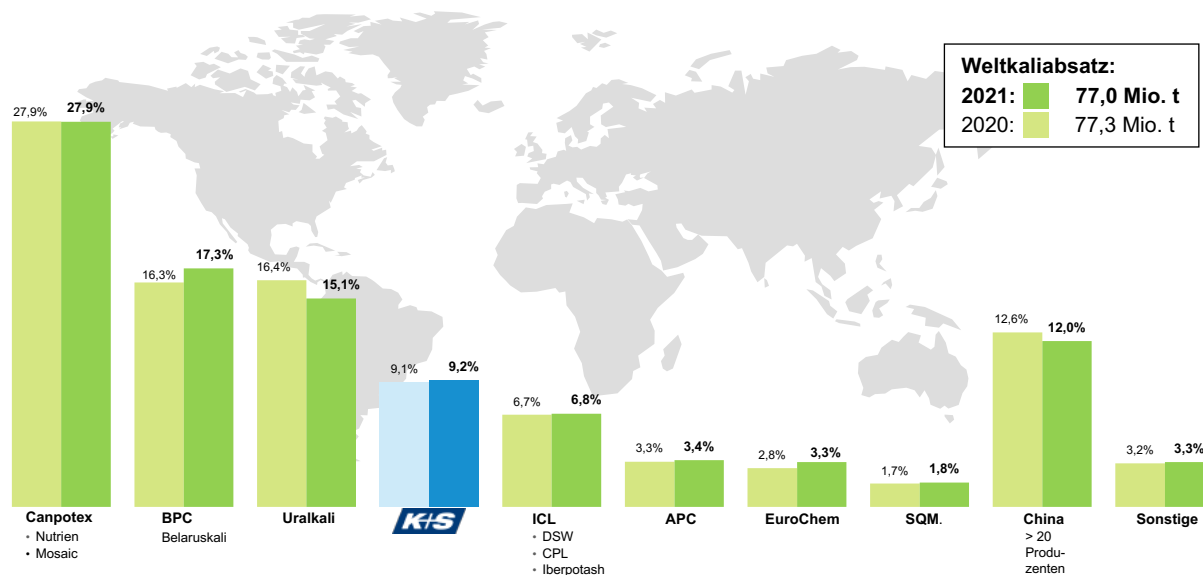
der Folge der umstrittenen Präsidentschaftswahl in Belarus auf. Der NPK-Produzent Yara als großer Abnehmer belarussischen Kalis verurteilte öffentlich die politische Gewalt und die Repressionen in Belarus und die Situation der Arbeiter bei Belaruskali. Die Produktion bei Belaruskali lief jedoch zunächst im Wesentlichen unbeeinträchtigt weiter.

Die anhaltend positiven Marktbedingungen setzten sich auch im Jahr 2021 fort und führten zu hohen Nachfragemengen und steigenden Preisniveaus auf den internationalen Kalimärkten. Canpotex, die Vertriebsorganisation der kanadischen Produzenten Nutrien und Mosaic, meldete bis September des Jahres ausgebucht zu sein. Zum gleichen Zeitpunkt musste der Anbieter Mosaic aufgrund eines deutlichen Anstiegs des Wasserzulaufs in den Abbaugebieten der Schächte Esterhazy K1 und K2 deutlich früher die dortige Produktion einstellen als geplant. Ursprünglich sollte die Produktion weitere neun Monate erfolgen, bis der Ersatzschacht K3 die beiden Schächte ersetzen sollte. Das Unternehmen rechnete mit einem Produktionsausfall von insgesamt etwa einer Million Tonnen. Durch die Wiederinbetriebnahme eines der anderen Werke von Mosaic (Colonsay) und eine Mehrproduktion von Nutrien, insbesondere auf dem Werk Vanscoy, konnte Canpotex aber seinen Weltmarktlieferanteil 2021 weiterhin bei knapp 30 % konstant halten. Auch die Produzenten aus Russland und Belarus partizipierten von der guten Nachfragesituation und Belaruskali erreichte trotz zunehmender Spekulationen über verschärfte Sanktionsmaßnahmen seitens der EU und den USA einen Lieferanteil von über 17 %. Von den bis dahin erhobenen Maßnahmen wurden die Aktivitäten von Be-

Entwicklung des FAO Food Price Index



Anbieterstruktur auf dem Weltkalimarkt 2020–2021



Notiz: Mengenangaben umfassen Kaliumchlorid, Primärproduktion Kaliumsulfat und Kalisorten mit niedrigerem K₂O-Gehalt, Quellen: IFA, Unternehmensdaten K+S, Schätzung.

Belaruskali und seiner Vertriebsorganisation BPC (Belarusian Potash Company) kaum eingeschränkt.

Doch die Erwartung strengerer Sanktionen führte zur Sorge über ein nicht ausreichendes Angebot an Kali und damit zu steigender Nachfrage, die auch die Preise weiter nach oben trieb. Zwischen Belarus und Russland gab es zu diesem Zeitpunkt erste Gespräche über den effektiven Transport von Kali und die Umleitung belarussischer Exporte über russische Häfen, falls der Zugang zum litauischen Hafen Klaipeda wegfallen sollte.

Die Mengenströme auf dem Weltkalimarkt blieben 2021 denen des Vorjahres sehr ähnlich und größere Verwerfungen sollten sich erst in den Folgejahren aufgrund der Sanktionspolitik der EU und den USA sowie in Folge des russischen Angriffskrieges gegen die Ukraine einstellen.

Sanktionen und Handelshemmnisse

Der Weltkalimarkt war über viele Jahre durch einen hohen Liberalisierungsgrad gekennzeichnet. Zölle und nicht-tarifäre Handelshemmnisse waren im weltweiten Handel mit Kalidüngemitteln weitgehend abgebaut. Sowohl die Kali-Exportländer als auch Kali-Importländer waren grundsätzlich an einem von Zöllen und nicht-tarifären Handelshemmnissen unbelasteten Handel interessiert. Diese Situation änderte sich sukzessive seit 2021 mit der schrittweisen Einführung von Sanktionen im Kalibereich gegen Belarus und der Sanktionspolitik gegen Russland.

Sanktionen Belarus

Die politische Entwicklung in Belarus – u. a. die nicht regulären Präsidentschaftswahlen 2020, die Unterdrückung der Opposition, die erzwungene Landung eines Passagierflugzeugs auf dem Minsker Flughafen im Mai 2021 und die staatlich mitorganisierten Schleuseraktivitäten in Richtung Europa – haben seit 2020 zu mehreren Sanktionsrunden der EU gegen Belarus und das Lukaschenko-Regime geführt.

Der belarussische Kaliproduzent Belaruskali zählt mit einem Weltmarktanteil von rund 17 % (2021) zu einem der weltweit führenden Anbieter von Kalidüngemitteln und ist eine wichtige (Devisen-) Einnahmequelle für das Lukaschenko-Regime. Die EU hat daher bereits 2020 über Sanktionen im Kalibereich gegen Belarus diskutiert. Die Forderung nach Sanktionen wurde dabei auch von der belarussischen Oppositionsführerin Tichanowskaja öffentlich mehrfach erhoben.

Obwohl sich zahlreiche EU-Mitgliedstaaten bereits sehr früh für restriktive Sanktionen im Kalibereich gegen Belarus ausgesprochen haben, wurde im Juni 2021 zunächst nur ein geringer Teil der belarussischen Kaliproduktpalette sanktioniert; das Standarddüngemittel MOP war davon zunächst ausgenommen. Dies war unter anderem dem Einstimmigkeitsprinzip der EU bei solchen Entscheidungen und den damaligen Bedenken einiger Mitgliedstaaten hinsichtlich der Düngemittelversorgung in der EU geschuldet (die weitere Entwicklung zeigte, dass wegfallende Einfuhrmengen aus Belarus und Russland durch die Kaligewinnung in Deutschland und andere Lieferanten ausgeglichen werden können); zudem bestand die Überlegung, dass sich

Belarus bei zu restriktiven Sanktionen möglicherweise noch stärker an Russland binden könnte. Diese ersten Sanktionen hatten somit mutmaßlich zunächst eher geringe Auswirkungen auf die Einnahmensituation von Belaruskali und die Finanzsituation des Lukaschenko-Regimes, zumal geringere Exportmengen zum Teil durch gestiegene Verkaufspreise kompensiert werden konnten.

Parallel zur EU haben die USA ebenfalls Sanktionen gegen die belarussische Kaliindustrie verhängt. Dabei wurde von den USA das Unternehmen Belaruskali sowie später auch die Exportgesellschaft BPC direkt sanktioniert und Geschäfte mit diesen Unternehmen untersagt. Diese Sanktionen hatten direkte Auswirkungen auf jegliche US-amerikanische Geschäfte mit Belaruskali und zum Teil auch indirekte Auswirkungen auf US-amerikanische Handelspartner. Darüber hinaus haben auch Kanada und das Vereinigte Königreich die Einfuhr von Kalidüngemitteln sanktioniert.

Deutliche Auswirkungen auf die Handelsströme des Weltkalimarktes waren aber erst ab dem 1. Februar 2022 spürbar, als die staatseigene Litauische Bahngesellschaft LTG die Lieferung von Kali aus Belarus in den Hafen Klaipeda eingestellt hat, über den Belaruskali etwa elf Millionen Tonnen für die Belieferung seiner Märkte umgeschlagen hatte. Der Aufsichtsrat der LTG hatte dafür gestimmt, der Kündigung des Vertrags mit Belaruskali durch die Regierung zu folgen und damit war der wichtige Hafen für den Transit in die Überseemärkte für Belaruskali gesperrt.

Die belarussischen Kalilieferungen aus den Kalibergwerken kamen damit zum Stillstand und Analysten spekulierten, dass Belaruskali die Produktion kurzfristig einstellen musste, was tendenziell zu Unsicherheiten und steigenden Preisen im Markt führen würde.

Als Reaktion auf die Beteiligung von Belarus am kurz danach ausgebrochenen russischen Angriffskrieg auf die Ukraine hat die EU in der Folge ihre Sanktionen gegen Belarus im Kalibereich am 2. März 2022 deutlich ausgeweitet, in dem auch das Standardkalidüngemittel MOP in die Sanktionsliste aufgenommen wurde und damit dessen Einfuhr und Transit in der EU verboten wurden.

Am 3. Juni 2022 hat die EU darüber hinaus zur Schließung möglicher Sanktionslücken und Umgehungsversuche Geschäfte mit Belaruskali, BPC sowie dem damaligen Generaldirektor von Belaruskali direkt sanktioniert. Die Sanktionen gelten jeweils für ein Jahr und wurden bislang vor Ablauf jeweils um ein weiteres Jahr verlängert.

Sanktionen Russland

Die EU hat aufgrund des russischen Angriffs auf die Ukraine am 24. Februar 2022 sowie der Annektierung der Regionen Donezk und Luhansk am 21. Februar 2021 umfassende Sanktionen gegen Russland erlassen. In bislang 13 Sanktionspaketen (Stand März 2024) wurden umfangreiche Wirtschaftsbereiche sowie insgesamt 1.718 Personen sowie 419 Einrichtungen in Russland sanktioniert. Diese betreffen zum Teil auch den russischen Kalisektor. Russland zählt mit einem Anteil von rund 15% (2021) zu den weltweit größten Anbietern von Kalidüngemitteln.

Die Einfuhren von Kalidüngemitteln aus Russland in die EU sind seit 10. Juli 2022 beschränkt auf eine jährliche Obergrenze von 837.570 Tonnen; diese Obergrenze orientiert sich an den Einfuhrmengen der Vorjahre und soll einen Umgehungshandel von Belarus über Russland in die EU verhindern. Das o. g. Einfuhrkontingent wurde im Zeitraum 10. Juli 2022 bis 9. Juli 2023 zu rund 14% ausgeschöpft. Für den Zeitraum 10. Juli 2023 bis 9. Juli 2024 gilt ein neues Einfuhrkontingent in gleicher Höhe von 837.570 Tonnen. Darüber hinaus wurden ab März 2022 von der EU russische Finanzinstitute sowie Einzelpersonen, die als Kremlnah eingestuft wurden – beispielsweise die Eigner bzw. Unternehmensleiter von Uralchem, Uralkali und EuroChem – sanktioniert.

Im Laufe des Jahres 2023 hat es von russischer und belarussischer Seite diplomatische Versuche auf internationaler Ebene gegeben, um die Sanktionen im Kali-Bereich zu lockern. Dabei wurden fälschlicherweise insbesondere die EU-Sanktionen für Düngemittelknappheiten und Versorgungsengpässe in Drittländern verantwortlich gemacht. Unterstützt wurden diese diplomatischen Vorstöße von großen Einfuhrländern wie Brasilien, die sich beispielsweise für die Öffnung des Transits über den vormals größten Ausfuhrhafen für Kalilieferungen aus Belarus (Klaipeda, Litauen) eingesetzt haben.

Die EU hat mögliche Aufweichungen der Sanktionen bislang abgelehnt und deutlich gemacht, dass die EU-Sanktionen gegen Russland weder die Ausfuhr von Lebensmitteln, landwirtschaftlichen Erzeugnissen und Düngemitteln noch Transaktionen in diesem Zusammenhang verhindern. EU-Spitzenvertreter haben immer wieder auch deutlich gemacht, dass Russland für die weltweite Nahrungsmittelkrise allein verantwortlich sei. Nahrungsmittel und Düngemittel sind von den EU-Sanktionen gegen Russland ausdrücklich ausgeschlossen. Es ist weiterhin gestattet, mit aus Russland stammenden Nahrungsmitteln und Düngemitteln zu

handeln und diese anzukaufen, zu befördern und ihre Erlangung sicherzustellen. Die Beschränkungen für die Einfuhr bestimmter Kalidüngemittel im Rahmen der EU-Sanktionen gelten nur für in die EU eingeführte Erzeugnisse und betreffen nicht ihre Ausfuhr in die Ukraine aus der EU oder aus Russland.

Die Sanktionspolitik gegen Belarus und Russland sowie die geopolitischen Entwicklungen haben in der Folge signifikant dazu beigetragen, dass sich der Weltmarkt und insbesondere die Handelsströme grundlegend geändert haben, wie in den folgenden Ausführungen deutlich wird.

Marktverwerfungen im Jahr 2022

Der Wegfall Klaipėdas als primärer Exporthafen von BPC und die Sanktionen der EU, der USA sowie anderer Länder und NPK-Produzenten gegen Belarus und Russland hatten unmittelbare Auswirkungen auf das Marktgeschehen und führten in großen Importmärkten zur Sorge über Lieferengpässe durch Produktionseinschränkungen, höhere Logistikkosten sowie steigende Preise.

BPC war zum einen dazu gezwungen, neue Exportrouten zu identifizieren und zum anderen den Wegfall von Exportmärkten wie der EU und den USA sowie den Verlust großer NPK-Kunden zu kompensieren. In der Folge begann Belarus mit dem Export von Kalidüngemitteln über russische Exporthäfen sowie über Bahnlieferungen nach China. BPC nutzte zu Beginn eine Vielzahl russischer Häfen im Norden und im Süden am Schwarzen Meer sowie Kaspischen Meer und kündigte den Bau eigener Häfen (z. B. in Murmansk) an. Für die russischen Anbieter Uralkali und EuroChem führten die Einschränkungen bei der Einfuhr von Kalidüngemitteln in die EU sowie die Sanktionen gegen Einzelpersonen und Finanzinstitute ebenfalls zu Herausforderungen des internationalen Handels mit Kali. Sowohl in Belarus als auch Russland sanken in den folgenden Monaten die Produktions- und Exportmengen von Kalidüngemitteln deutlich.

Dies hatte in der ersten Hälfte des Jahres 2022 zur Folge, dass in großen Importmärkten die Sorge um ein ausreichendes Angebot an Kali stieg und es beispielsweise in Brasilien zu Panikkäufen kam. Das geringere Angebot an Kali auf dem Weltmarkt, gestiegene Agrarpreise und die hohe Nachfrage in einigen Märkten führten anschließend zu einem starken Preisanstieg bei Kali, welcher im April und Mai 2022 seinen Höhepunkt erreichte.

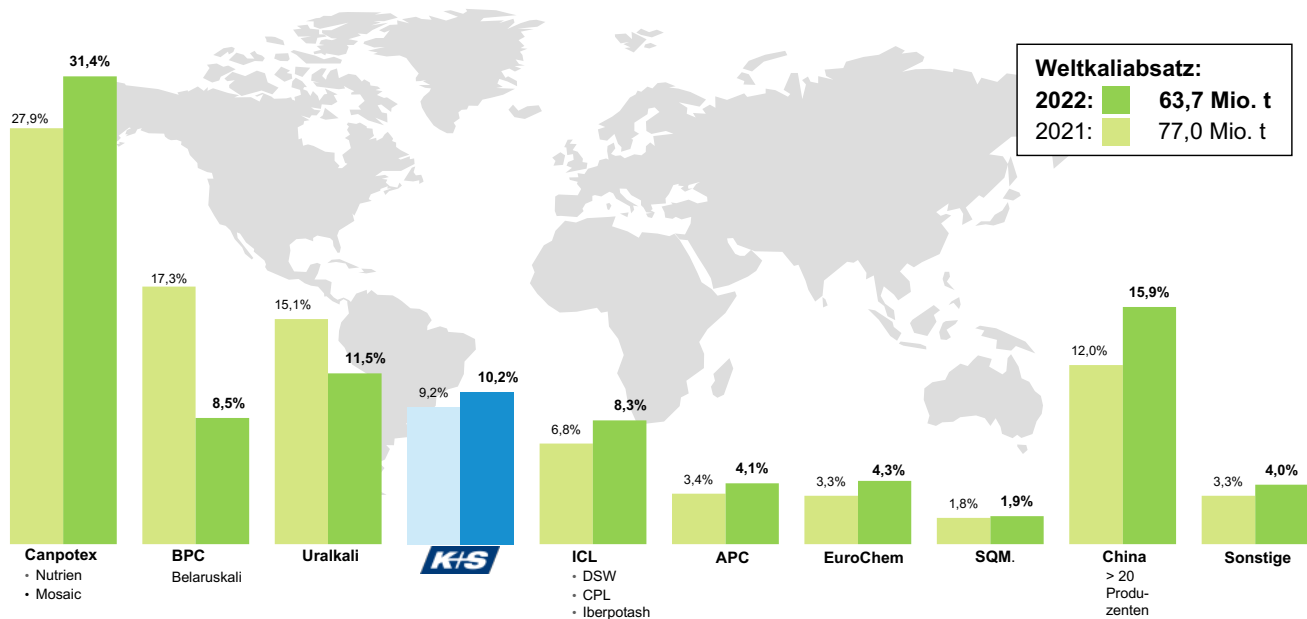
Eine Folge der Verknappung des Angebots aus Belarus und Russland waren Ankündigungen anderer Anbieter, ihre Produktionsmengen auszuweiten. Die kanadischen Unternehmen Nutrien und Mosaic, welche ca. 30% des Kali-Angebots auf dem Weltmarkt bereitstellen, kündigten an, ihre Produktionsmengen zu steigern. Das australische Unternehmen BHP, welches ebenfalls in Kanada ein zweistufiges Kali-Projekt mit insgesamt rund acht Millionen Tonnen Produktionskapazität plant, kündigte an, den Produktionsstart des Projektes vorzuziehen, um der volatilen Angebotssituation auf dem Weltmarkt zu begegnen. Parallel steigerten auch Anbieter aus Laos ihre Produktionskapazitäten. China als der weltweit größte Produzent von Kaliumsulfat schränkte zudem seine Exporte ein, um die inländische Versorgung sicherzustellen.

Auf die Verknappung des Angebots, eine starke Nachfrage und hohe Preise in der ersten Hälfte des Jahres 2022 folgte aufgrund des historisch hohen Preisniveaus ein Einbruch der weltweiten Nachfrage und rückläufige Preise in der zweiten Jahreshälfte. Dies löste wiederum Produktionseinschränkungen beim kanadischen Produzenten Mosaic aus, welcher die Produktion in seinem erst im August 2021 wieder in Betrieb genommenen Werk Colonsay einschränkte. Parallel zur rückläufigen Nachfrage versuchten zudem Russland und Belarus über neue Exportwege auf den Weltmarkt zurückzukehren. Da jedoch der Wegfall Klaipėdas als Exporthafen von Belarus und die Sanktionen gegen Belarus und Russland weiterhin bestanden, kennzeichnete sich der Weltkalimarkt zum Ende des Jahres 2022 durch eine geringe Nachfrage, ein stark gesunkenes Angebot aus Russland und Belarus und dem Bedarf nach einer Neuorientierung internationaler Handelsströme.

Herausbildung neuer Handelsströme im Jahr 2023

Zu Beginn des Jahres 2023 setzte sich in vielen Märkten zunächst der Preisrückgang bei Kali, induziert durch eine schwache Nachfrage, weiter fort. BPC nutzte in den ersten Monaten des Jahres noch eine Vielzahl russischer Häfen und begann seine Mengen auf dem Weltmarkt wieder auszubauen. Im Verlauf des Jahres bildeten sich die russischen Häfen in Bronka und St. Petersburg sowie Bahnlieferungen nach China als die wesentlichen Exportrouten von BPC heraus. Während es BPC gelang, den Export durch die Bahnlieferungen in die russischen Häfen und nach China monatlich weiter zu steigern, erholten sich die Exportmengen des russischen Anbieters Uralkali in den ersten Monaten

Anbieterstruktur auf dem Weltkalimarkt 2021–2022



Notiz: Mengenangaben umfassen Kaliumchlorid, Primärproduktion Kaliumsulfat und Kalisorten mit niedrigerem K2O-Gehalt, Quellen: IFA, Unternehmensdaten K+S, Schätzung.

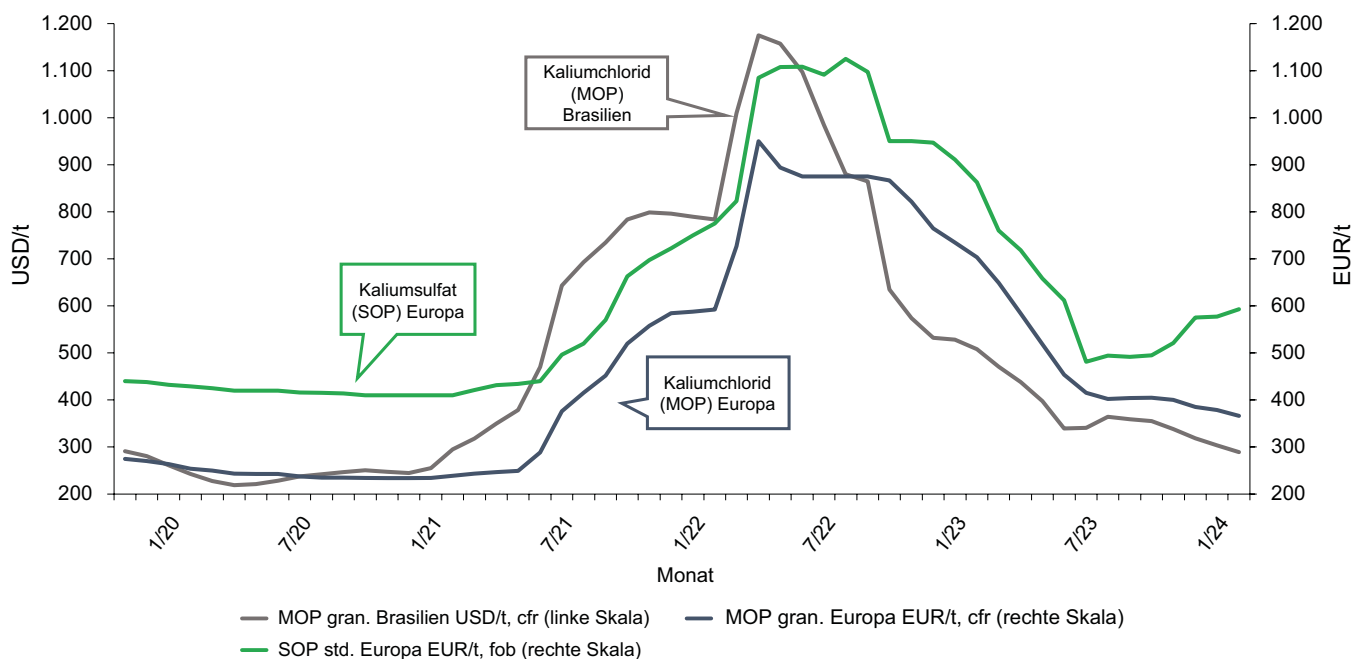
des Jahres 2023 nur langsam. Das Unternehmen kündigte jedoch an, in der zweiten Jahreshälfte wieder zu den Exportmengen der Vorjahre zurückzukehren.

Durch das wieder steigende Angebot aus Belarus und Russland sowie die anhaltend verhaltene Nachfrage setzte sich der negative Preistrend bis Mitte des Jahres fort. Erst ein durch Canpotex neu erzielter Vertragspreis für MOP Standard mit China in Höhe von USD 307 pmt schien eine Preisuntergrenze darzustellen und löste auch in anderen Märkten eine schrittweise Stabilisierung der Preise aus. In der Folge stieg aufgrund des wieder niedrigeren Preisniveaus auch die Nachfrage wieder an. Da jedoch Belarus und Russland in der zweiten Jahreshälfte schrittweise wieder zu historischen Produktions- und Exportniveaus zurückkehrten und Anbieter aus Laos ihre Produktionskapazitäten weiter ausbauten, hielt der entstehende Angebotsdruck die Kali-Preise auf niedrigem Niveau.

Im Laufe des Jahres 2023 bildeten sich dabei aufgrund der fortbestehenden Sanktionen der EU, der USA und anderer Länder jedoch im Vergleich zu 2021 neue Handelsströme heraus. Die EU sowie die USA fielen für Belarus als Exportmärkte komplett weg und auch der Export nach Indien blieb durch sanktionsbedingte Zahlungsschwierigkeiten

erschwert. Belarus ersetzte den Wegfall dieser Handelsbeziehungen primär durch deutlich gestiegene Exportmengen nach China sowie hohe Exporte nach Brasilien. Die russischen Anbieter konnten aufgrund der Einfuhrbeschränkungen russischer Kalidüngemittel weniger in die EU exportieren und auch die gelieferten Mengen in die USA zeigten sich leicht rückläufig. Stattdessen intensivierte Russland den Handel mit China und exportierte im Vergleich zum Jahr 2021 größere Mengen nach Brasilien und Indien. Neben den Importen aus Belarus und Russland sowie inländischer Produktion bildeten Importe aus Laos einen neuen wichtigen Teil der chinesischen Kali-Importe im Jahr 2023. Der Wegfall der Importe aus Belarus in die EU sowie die Importbegrenzungen russischer Kali-Düngemittel führten zunächst zur Sorge über eine ausreichende Kali-Versorgung in Europa. Die Versorgung konnte jedoch durch einen höheren Lieferanteil Deutschlands und leicht gesteigener Importe aus Kanada zuverlässig sichergestellt werden. Während neben hohen Exporten aus Belarus und Russland nach Brasilien auch kanadische Anbieter mehr nach Brasilien exportierten und damit den dortigen Wettbewerb intensivierten, reduzierte Deutschland den Export nach Brasilien und intensivierte stattdessen den Handel mit weniger wettbewerbsintensiven Ländern in Zentral- und Südamerika, Indien und Afrika.

Kalipreisentwicklung 2020–2024



Notiz: Darstellung monatlicher Durchschnittswerte, Quellen: FMB Argus Potash.

Ausblick auf das Marktgeschehen im Jahr 2024

Zu Beginn des Jahres 2024 haben die Anbieter aus Belarus und Russland wieder weitestgehend ihre historischen Produktions- und Exportniveaus erreicht und es haben sich neue Handelsbeziehungen etabliert. Diese zeichnen sich insbesondere durch eine Fokussierung von Belarus und Russland auf den Export nach Asien (insbesondere China), einen größeren Marktanteil von Laos in Asien, starkem Wettbewerb in Brasilien und eine Intensivierung der Versorgung in Nordamerika und Europa durch dort ansässige Anbieter aus. Es ist zu erwarten, dass dem wiedererstarkten Angebot auf dem Weltkalimarkt eine entsprechende Nachfrage gegenübersteht. Diese wird durch einen gestiegenen Düngemittelbedarf in vielen Regionen und eine gute Wirtschaftlichkeit der Düngung getrieben. Als Resultat ist davon auszugehen, dass sich der Markt im Jahr 2024 von den Verwerfungen der zwei Vorjahre erholen wird, sich die neuen Handelsströme aus Russland und Belarus etablieren und sich eine stabilere Preisentwicklung einstellen wird.

In der EU ist die Kaliversorgung vor allem durch die starke Rohstoffgewinnung in Deutschland gesichert worden. Große Kaliexport- und Importländer wie Kanada und Brasilien haben im Zuge der Entwicklungen der vergangenen Jahre die strategische Bedeutung von Kali erkannt und daher als „strategischen Rohstoff“ eingestuft. In Europa finden mittlerweile mit der in Brüssel vorgestellten EU-Düngemittelstrategie und dem sogenannten „EU Critical Raw Materials Act“ erste ähnliche Überlegungen statt. Es hat sich gezeigt, dass für eine verlässliche Versorgung der europäischen Landwirtschaft und Resilienz gegenüber geopolitischen Entwicklungen eine wettbewerbsfähige heimische Kaligewinnung unabdingbar ist. Für die deutsche und europäische Politik sollte daher die Stärkung der Wettbewerbsfähigkeit der heimischen Kaliindustrie prioritär sein, um Versorgungssicherheit und resiliente Lieferketten zu ermöglichen.

Entlasten – Beschleunigen – Modernisieren?



Dr. Björn Knudsen
Geschäftsführer, Justiziar
Verband der
Kali- und Salzindustrie e.V.

Genehmigung von Verfahren zum Rohstoffabbau und -verarbeitung im Lichte aktueller Gesetzesvorhaben

Im vergangenen Jahr schien es einen breiten Konsens zu geben: Verwaltungsverfahren in Deutschland sind in vielen Fällen zu langsam, teilweise zu umständlich und oft ineffizient. Die Bundesregierung hat erklärt, die Bürokratieentlastung voranzutreiben. Zugleich legte Ende 2023 der Bund-Länder-Pakt zahlreiche Vorschläge zur Beschleunigung von Genehmigungsverfahren vor. Bezüglich bergrechtlicher Verfahren ist das Wirtschaftsministerium beauftragt, den Koalitionsvertrag umzusetzen und das Bundesberggesetz zu „modernisieren“.

Streamline – Accelerate – Modernize?

Approval of procedures for the extraction and processing of raw materials in the light of current legislative proposals

There seemed to be a broad consensus last year: Administrative procedures in Germany are in many cases too slow, sometimes too complicated and often inefficient. The German government has declared its intention to drive forward the reduction of bureaucracy. At the same time, the "Bund-Länder-Pakt" presented numerous proposals for speeding up approval procedures end of 2023. With regard to mining law procedures the Ministry of Economic Affairs shall implement the coalition agreement and "modernise" the Federal Mining Act.

Das Bundesministerium der Justiz legte nun den *Entwurf eines Vierten Gesetzes zur Entlastung der Bürgerinnen und Bürger, der Wirtschaft sowie der Verwaltung von Bürokratie* (Viertes **Bürokratieentlastungsgesetz**, BEG IV) vor. Das BEG IV soll an das BEG III anschließen, das Anfang 2020 in Kraft getreten ist und neben einigen steuerrechtlichen Vereinfachungen auch Dokumentationspflichten reduzierte. Laut Angaben des BMWK sollte das BEG III eine finanzielle Entlastung der Unternehmen von insgesamt über einer Milliarde Euro erbringen. Das BEG IV soll mit einer Entlastung von rund 682 Millionen Euro zusammen mit anderen Maßnahmen, wie etwa dem Wachstumschancengesetz, zu einem Entlastungsvolumen von rund acht Mrd. Euro beitragen.

Mit Bezug auf die vorgesehene Änderung des Bundesberggesetzes wird auch durch das BEG IV eine – wenn auch minimale – Änderung des BbergG durchgeführt. Artikel 34 (Änderung des Bundesberggesetzes) ordnet an: *In § 3 Absatz 3 Satz 2 Nummer 2 Buchstabe b [...] werden vor den Wörtern „und die im Zusammenhang“ die Wörter „aus Bohrungen ab einer Teufe von 400 Metern“ eingefügt und wird das Wort „(Erdwärme)“ gestrichen.*

Laut Begründung (S. 85) werde dadurch klargestellt, *dass oberflächennahe Geothermie kein bergfreier Bodenschatz ist [und] dass es keiner Bergbauberechtigung und grundsätzlich auch keiner Betriebsplangenehmigung bedarf, wenn die Erdwärme aus Bohrungen bis zu 400 Meter Tiefe*

stammt. [...] Es bedarf keines Berechtsams für die oberflächennahe Geothermie, vielmehr ist sie ein Grundeigentümerbodenschatz, sodass kein Nutzungskonflikt mit anderen bergfreien Bodenschätzen im selben Feld entsteht, für die Berechtigungen im selben Feld zu beantragen wären. Ob dies eine reale Entlastung der – aufgrund unterschiedlicher Rechtsregime, Zuständigkeiten und technischer Standards – äußerst komplexen Genehmigungsverfahren für Geothermie-Projekte führen bedeutet, wird sich zeigen müssen.

Einen Schwerpunkt der „Bürokratieentlastung“ bilden Erleichterungen bei der Schriftform, die in zahlreichen Gesetzen durch die Textform – also auch einer digital lesbaren Form durch Schriftzeichen, die aber nicht notwendig verkörpert („Papierform“) sein müssen.

Für bergbauliche Verfahren relevant dürfte eine Änderung des Gesetzes über die Umweltverträglichkeitsprüfung (UVPG) sein: Artikel 10 schränkt die Beteiligung der Öffentlichkeit (geringfügig) ein und erlaubt in bestimmten Fällen eine Verkürzung der Äußerungsfrist. Zur Begründung heißt es hier: *Die kürzere Öffentlichkeitsbeteiligung kann dazu führen, dass auch die beantragte Zulassung schneller erteilt wird.* Es stellt ein, wenn auch sehr kleines, Beispiel dafür dar, dass die von der Kali- und Salzbranche immer wieder dargestellten prozeduralen Erschwernisse und Verzögerungen der Verfahren sich im Wesentlichen nicht aus dem „bergrechtlichen“ Bereich im engeren Sinne ergeben, sondern oft aus anderen Verfahrensvorschriften oder dem materiellen (Umwelt-)Recht ergeben.

Der BDI kritisiert den aktuellen Entwurf des Bürokratieentlastungsgesetzes deutlich. Er erklärt dazu unter anderem: *In einer Verbändeabfrage im Frühjahr 2023 haben insgesamt 57 Verbände 442 Vorschläge zur besseren Rechtssetzung und Bürokratieabbau unterbreitet. Insgesamt sind gerade einmal 11 der 442 Vorschläge im Entwurf eines Vierten Bürokratieentlastungsgesetzes adressiert.* Das schlechte Verhältnis der Bundesregierung, namentlich des Bundeskanzlers, zu den Spitzenverbänden der deutschen Wirtschaft dürfte sich mit dieser Kritik nicht verbessern.

Größeres Potential für Verbesserungen zugunsten von Wirtschaft und Bürgern wird im **Bund-Länder-Pakt** zur Beschleunigung von Planungs- und Genehmigungsverfahren (Beschluss vom 07.11.2023) gesehen. Darin seien insbesondere die Vorschläge zur Einführung einer Stichtagsregelung für die Berücksichtigung von Rechtsänderungen in laufenden Planungs- und Genehmigungsverfahren, mehr

vereinfachte Verfahren, Artenschutzstandards, Einführung von Zustimmungsfiktionen und Fristverkürzungen sowie verbesserte Möglichkeiten zum vorzeitigen Maßnahmenbeginn und für fakultative Erörterungstermine vielversprechende Ansätze. Interessant für bergbauliche Verfahren könnte unter anderem eine Übernahme der Erweiterung von Anzeigeverfahren sein, also etwa (geringfügigen) Änderungen bestehender Betriebspläne auf ein Regelverfahren zu verzichten und die Anzeige der Änderung ausreichen zu lassen, die als genehmigt gilt, sofern nicht die Behörde innerhalb einer bestimmten Frist widerspricht.

In diesem Zusammenhang kann auch die anstehende Änderung des Bundesimmissionsschutzgesetzes gesehen werden – dem „Standardverfahren“ bei Anlagengenehmigungen. Ein Grundsatz ist dabei die „Beschleunigung durch Priorisierung“, also die bevorzugte Bearbeitung bestimmter Verfahren (etwa der Verkehrsinfrastruktur). Ob und inwieweit dies für bergrechtliche Verfahren nutzbar gemacht werden kann, scheint aktuell offen. Europäische Vorgaben (u. a. der Critical Raw Materials Act) sehen Priorisierungen für bestimmte („Energiewende“-) Rohstoffe vor. Nicht nur diejenigen Rohstoffe, die nicht als „kritisch“ eingestuft sind, äußern hier die Sorge, dass eine Priorisierung bestimmter Verfahren zu einer Verlangsamung (oder Verschlechterung?) anderer Verfahren führen könnte.

Unterdessen bearbeitet das BMWK weiterhin, beauftragt durch den geltenden Koalitionsvertrag, eine „Modernisierung“ des **Bundesberggesetzes**: *Der aktuelle Koalitionsvertrag gibt vor, dass das Bergrecht des Bundes modernisiert werden soll. Hinsichtlich der heimischen Rohstoffförderung heißt es im Koalitionsvertrag, dass der heimische Rohstoffabbau erleichtert und ökologisch ausgerichtet werden soll¹.*

Inhalte eines denkbaren Eckpunktepapiers, das mögliche Neuerungen skizzieren könnte, sind nicht bekannt. Außer der auslegungsbedürftigen Formulierung im Koalitionsvertrag, dass der heimische Bergbau „erleichtert und ökologisch ausgerichtet“ werden soll, sind darüber hinaus keine politischen Grundentscheidungen zur Notwendigkeit und den Grundsätzen einer möglichen Änderung des Gesetzes bekannt. Dies gilt auch für die Frage, welche „Beschleunigungen“ oder „Entlastungen“ es speziell in bergrechtlichen Verfahren (vergleichbar denen des Bund-Länder-Pakts?) geben könnte. Es bleibt zu hoffen – und zu fordern – dass der politische Wille zu entlasten und zu beschleunigen ein unverzichtbarer Bestandteil einer möglichen Änderung des Bundesberggesetzes ist, wenn man dieses modernisiert.

¹ <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Downloads/Stellungnahmen/Modernisierung-Bundesberggesetz/Stellungnahmen-Modernisierung-Bundesberggesetz.html>



Verband der Kali- und Salzindustrie e.V.