

Tobias Pinkse, Robert Quensel, Alexander Lechner,
Dittmar Lack, Axel Stäubert, Heiner Marx

High Yield Potassium Extraction Reducing Impact on Nature (HYPERION) – a Vision into the Future of Global Potassium Extraction and Processing

The global importance of the potassium extraction and processing industry has been significant for over a century and will continue to be in future. Potassium is a vital resource for intensive agricultural land use and as such essential to improve food stock independence and localised food production. For the European Union (EU), the survival of the industry is crucial to retain independence from the main potash producing countries Canada, Russia and Belarus.

A sustainable continuation of the potassium industry that takes the general public view into concern should be established. Its typical challenges, such as risk of surface subsidence, pollution of surface and ground water as well as complex mine abandonment, should be addressed in a new vision of environmentally friendly yet economical potassium extraction and processing. In the methodology to be developed, simultaneously mining and backfilling of underground openings is a key factor, achieving highly efficient use of the available potassium resources within

Europe through high extraction ratios while minimising impact on the environment.

K-UTEAG Salt Technologies (K-UTEAG), Sondershausen/Germany, is developing backfill technology using, amongst others, magnesium based binder systems, to enable this vision. This paper focuses on the general principles of High Yield Potash Extraction (HYPE), the research and development progress made and initiatives to bridge the knowledge gaps in extraction methods using backfill, geomechanical performance and the applicable business models. K-UTEAG wishes to attract the interest of academic and industry parties to cooperate in this vision. It is the company's ambition to execute a research and development project, with partners from the EU and beyond, raising the technology readiness level of the HYPE technology. The ultimate goal of the proposed project, High Yield Potassium Extraction Reducing Impact On Nature (HYPERION), is to set a new standard in sustainable potassium extraction and processing.

Verminderung der Umweltauswirkungen durch erhöhte Kaliausbringraten (HYPERION) – Ein Blick in die Zukunft der globalen Kaligewinnung und -aufbereitung

Seit über hundert Jahren ist die Kaligewinnungs- und -aufbereitungsindustrie von globaler Signifikanz und wird es auch weiterhin bleiben. Kalium ist ein Schlüsselement für die intensive Nutzung landwirtschaftlicher Flächen und spielt damit eine wichtige Rolle für die unabhängige Herstellung lokaler landwirtschaftlicher Produkte. Um von den Hauptkaliproduzenten Kanada, Russland und Weißrussland unabhängig bleiben zu können, ist für die Europäische Union (EU) das Überleben der europäischen Kaliindustrie äußerst wichtig.

Das Ziel muss die nachhaltige Fortführung einer Kaliproduktion sein, die sowohl Bedenken ernst nimmt als auch die öffentliche Meinung einbezieht. Die hohe Wahrscheinlichkeit des Auftretens von Oberflächensenkungen, die mögliche Versalzung von Oberflächen- und Grundwasser, sowie der aufwändige Bergwerksrückbau sind bekannte Herausforderungen der Kaligewinnungs- und -aufbereitungsindustrie, die durch eine neue Herangehensweise, welche sowohl umweltfreundlich als auch wirtschaftlich sein will, behandelt werden müssen. Schwerpunkt der zu entwickelnden Methoden ist der zum Kalirohsalzabbau parallel durchgeführte Versatz der entstandenen Abbauhohlräume, wodurch die euro-

päischen Kaliressourcen aufgrund hoher Ausbringraten optimal genutzt werden können, was zu einer Minimierung der Umwelteinflüsse führt.

Für diese neue Herangehensweise entwickelt K-UTEAG Salt Technologies (K-UTEAG), Sondershausen, Versatztechnologien, die u.a. magnesiabasierte Bindersysteme nutzen.

Dieser Artikel behandelt die Grundlagen von High Yield Potash Extraction (HYPE) – „erhöhte Kaliausbringraten“, den Stand von Forschung und Entwicklung, sowie Initiativen, die Lücken bei versatzgestützten Abbaumethoden, Geomechanik und entsprechenden Wirtschaftsmodellen füllen. K-UTEAG will für diese neue Herangehensweise akademische und industrielle Partner gewinnen. Das Ziel ist ein gemeinsames Forschungs- und Entwicklungsprojekt mit Partnern auch außerhalb der EU, das zu einer Erhöhung des Entwicklungsstands der HYPE-Technologie führt. Das Hauptziel des vorgeschlagenen Projekts High Yield Potassium Extraction Reducing Impact on Nature (HYPERION) – Verminderung der Umweltauswirkungen durch erhöhte Kaliausbringraten – ist es, neue Maßstäbe für eine nachhaltige Kaligewinnung und -verarbeitung zu setzen.

1 Introduction

All plants need nutrients to grow which are normally extracted from the soil they reside in. An ever-growing world population requires vast and increasing amounts of food. All food is essentially sourced from agricultural land thereby depleting nutrients in soil through intensive land use and monocultures. To sustain the production of food these nutrients need to be replaced. Mankind has used different minerals, manure and wood ash to enhance the productivity of farmland since ancient times. The term potash originates from the use of ash from burning wood as a fertilizer in historic times. The Dutch word "potas" literally means "ash in (or from) a pot" and relates to the leaching of wood ash with hot water which, after subsequent evaporation, produces a potassium-rich crystalline product which can be used as a fertiliser (1). In modern times, potassium as a fertiliser is widely used. Global production of potassium is projected to grow from 39 mt in 2016 to 43 mt in 2019 (2). In comparison, annual demand for potassium as a fertiliser is approx. 33.5 mt in 2017 (all figures quoted as K_2O equivalent). It is the fastest growing fertiliser type with an expected growth rate of 2.6% globally until 2018 (3). These numbers demonstrate not only the growth potential of the industry but also the dominance of potassium use as a fertiliser in comparison to potassium as a resource for the chemical industry.

Since the first industrial potassium fertiliser production, that was founded in Staßfurt/Germany in 1861, the industry has been growing constantly. In 2015, 71 potash fertiliser production sites with a production of more than 20.000 t/a were operational globally, providing jobs to approx. 65.000 workers directly (4). Potassium extraction operations can be differentiated in three types: 4% of the global production of potassium fertilisers originates from solution mining, 26% from natural brines and 70% from traditional underground mines.

The environmental impact of the potassium industry is profound in many cases. Examples of this impact during the stages of ore extraction, ore processing and transportation of the product are amongst others:

- saline run-off from waste disposal stacks and tailing ponds (4);
- discharge, release and/or leakage of brines into soil and surface water (4);
- surface subsidence due to convergence of mine openings and mine collapse (5, 6); and
- extensive land use for disposal of beneficiation wastes (4).

An example of the impact of the potassium industry on surface water bodies are the complex legal proceedings and public opposition surrounding the potassium extraction operations of ICL Iberia Súría & Sallent (previously known as Iberpotash S.A.) in North-eastern Spain and K+S Kali GmbH in the German Werra region (7, 8, 9).

Apart from the environmental impact, potassium mining is also prone to severe incidents related to mine stability jeopardising the safety of underground workers and people living near potassium mines, while degrading invested capital. In the period 1995 to 2016, according to (10), eight mine col-

1 Einleitung

Um wachsen zu können, benötigen alle Pflanzen Nährstoffe, die sie normalerweise aus ihrem Mutterboden ziehen. Die weiterhin wachsende Weltbevölkerung benötigt eine enorme Menge an Lebensmitteln, welche ebenfalls zunimmt. Lebensmittel stammen ursächlich von landwirtschaftlichen Flächen. Durch intensive Landnutzung und Monokulturen werden der Erde Nährstoffe entzogen. Um fortgesetzt Lebensmittel produzieren zu können, müssen diese Nährstoffe der Erde wieder zugeführt werden. Schon seit der Frühgeschichte nutzt die Menschheit unterschiedliche Minerale, Dung und Asche, um den Ertrag von Feldern zu erhöhen. Der englische Begriff „potash“ hat seinen Ursprung in der historischen Praxis, aus Asche („ash“) in einem Topf („pot“) Dünger herzustellen. Das niederländische Wort „potas“ hat den gleichen Ursprung und bezieht sich auf den Vorgang des Auslaugens von Holzasche in einem Topf mit heißem Wasser. Durch Verdampfen des Wassers entsteht ein kalireiches kristallines Produkt, das als Dünger eingesetzt werden kann (1). In der Neuzeit ist Kalium ein weit verbreiteter Düngerbestandteil. Die weltweite Kaliproduktion betrug im Jahr 2016 39 Mio. t. Bis zum Jahr 2019 wird ein Anstieg auf 43 Mio. t prognostiziert (2). Der jährliche Bedarf ist im Vergleich dazu mit ca. 33,5 Mio. t im Jahr 2017 anzugeben (alle Zahlen auf Basis K_2O). Dieser Düngertyp zeigt somit global den am schnellsten wachsenden Marktanteil mit 2,6% bis zum Jahr 2018 (3). Diese Zahlen demonstrieren nicht nur das Wachstumspotential dieser Industrie, sondern auch die Überlegenheit in der Verwendung von Kali als Düngemittel gegenüber jener in der chemischen Industrie.

Die Kalidüngerindustrie ist seit der Inbetriebnahme der ersten Kalifabrik im Jahr 1861 in Staßfurt konstant gewachsen. Im Jahr 2015 waren weltweit 71 Kalifabriken mit jeweiligen Jahreskapazitäten von mehr als 20.000 t in Betrieb. Geschätzte 65.000 Arbeiter sind darin beschäftigt (4). Die Kaligewinnung kann in drei unterschiedliche Verfahren eingeteilt werden: 4% der Weltproduktion werden durch Solungsbergbau gewonnen, 26% stammen aus natürlich vorkommenden Salzsolen und 70% werden traditionell durch Bergbau gefördert.

Die Auswirkungen der Kaliindustrie auf die Umwelt sind in vielen Fällen erheblich. Die folgenden Punkte geben eine Auswahl an Effekten, die während der Gewinnung, der Aufbereitung und des Transports auftreten können:

- salzhaltige Wässer von Halden und Absetzbecken (4),
- geplante oder unabsichtliche Abgabe von Salzlösungen in Boden und Untergrund sowie in Oberflächen- und Grundwasser (4),
- Oberflächenabsenkungen aufgrund der Konvergenz von Bergwerkshohlräumen oder Gebirgsschlägen (5, 6) und
- extensive Nutzung von Flächen für die Ablagerung von Aufbereitungsabgängen (4).

Ein Beispiel sind die rechtlichen und gesellschaftlichen Folgen aufgrund der Auswirkungen der Kaliindustrie auf Oberflächenwässer im Fall der Kaliwerke ICL Iberia Súría & Sallent (früher Iberpotash S.A.) im Nordosten Spaniens und K+S Kali GmbH im Werragebiet (7, 8, 9).

lapses and six mine floodings occurred. When considering the period since the beginning of industrial potassium extraction in the 19th century these numbers are of course much higher. Any incident related to the loss of mine stability can have a long-lasting impact on its surrounding, e.g. sinkhole scars in and around the city of Berezniki, Russia (11) and recently near the city of Stebnyk in Ukraine (Personal communication 2017). They may have been prevented with a more cautious design of the ore extraction layout so as to reduce the rate and extent of stress redistribution, fracture development in the hanging wall and consequent subsidence. In addition, the backfilling of mine openings with processing wastes would have been able to mitigate a multitude of risks connected to lacking mine stability (12).

Addressing the challenges faced by the global potassium extraction and processing industry is key for an environmentally friendly, socially acceptable and profitable future of potassium usage. The introduction of the proposed High Yield Potassium Extraction (HYPE) technology can alleviate the traditional burden of the industry to the natural environment. The HYPE technology is characterised by the efficient use of resources through high extraction ratios (ER)¹ enabled by extensive backfilling of mine openings. Solid and liquid wastes from potassium processing, traditionally dumped on waste disposal stacks or discharged into surface waters, can be used as source materials for a mine backfill mixture. An increase of the ER improves not only the resource extraction efficiency of a given ore body but also potentially enables the exploitation of ore bodies currently deemed uneconomical to mine. As the backfill stabilises the mine, safety performance is raised and the extraction of pillars becomes possible justifying any additional investment and operating costs related to the backfilling operation.

In the next paragraphs, the role of backfill in the proposed HYPE technology is elaborated, suitable mining methodologies are presented and the technology related to backfill production and placement is described. A project proposal named “High Yield Potassium Extraction Reducing Impact On Nature” (HYPERION) and its research themes are introduced thereafter in order to attract the interest of academic and industry parties to partner with K-UTEC AG Salt Technologies (K-UTEC), Sonderhausen/Germany, in further developing this vision of environmentally friendly yet safe and economical potassium extraction and processing. The ultimate goal of the project HYPERION is to implement the HYPE technology in an actual operation, initially as a demonstration project and eventually as an accepted new paradigm for the potassium extraction industry.

2 The role of backfill in HYPE technology

The resource grade of potassium ores is typically between 20 and 35 % in terms of K₂O share (13). As a result, a large percentage of the original ore will exit the beneficiation process as waste, either in solid form, e.g. sodium chloride and insolubles, or liquid form, e.g. magnesium chloride brine. The most common methods for disposing the processing wastes are dominated by disposal of

Zu den ökologischen Auswirkungen kommen im Kalibergbau verbreitet vorkommende Stabilitätsprobleme, die zu schweren Bergbauunfällen führen können. Dadurch werden die Sicherheit der Bergleute und der Bevölkerung gefährdet sowie investiertes Kapital vernichtet. In den Jahren 1995 bis 2016 sind acht Bergwerke zu Bruch gegangen und sechs abgeseifen (10). Natürlich liegen diese Zahlen weit höher, wenn man den Zeitraum seit dem Beginn der industriellen Kaligewinnung im 19. Jahrhundert betrachtet. Jeder Vorfall in Zusammenhang mit dem Verlust der Integrität des Bergwerks kann einen Langzeiteffekt auf die Umgebung des Kalibetriebs haben. Als Beispiel seien hier die Erdfälle in und um Berezniki in Russland genannt (11) und kürzlich in der Nähe der Stadt Stebnyk in der Ukraine (persönliche Kommunikation, 2017). Diese hätten unter Umständen durch eine umsichtiger Gestaltung der Abbauplanung vermieden werden können. Eine entsprechende Abbauplanung kann die bessere Verteilung von Spannungsspitzen berücksichtigen und deren Ausmaß reduzieren sowie die Rissentwicklung im Hangenden und die daraus folgenden Senkungserscheinungen beschränken. Darüber hinaus wäre der Versatz von Abbauhohlräumen mit Prozessabgängen in der Lage, viele weitere Risiken in Zusammenhang mit geringer Gebirgsstabilität zu minimieren (12).

Es ist erforderlich, auf die Herausforderungen der weltweiten Kaligewinnungs- und -verarbeitungsindustrie einzugehen, um eine umweltgerechte, durch die Bevölkerung befürwortete und wirtschaftlich sinnvolle Zukunft der Kalinutzung zu ermöglichen. Durch die Umsetzung von High Yield Potassium Extraction (HYPE) – eine Technologie mit erhöhter Kaliausbringrate – kann die Belastung der Umwelt durch die Kaliindustrie verringert werden. Der Grundgedanke der HYPE-Technologie ist die effiziente Nutzung von Ressourcen mittels hoher Ausbringrate¹, die durch den Versatz von Bergbauhohlräumen erreicht wird. Feste und flüssige Abgänge aus der Kaliaufbereitung, die ansonsten aufgehaldet oder in einen Vorfluter eingeleitet werden, sind die Ausgangsstoffe für die Bergversatzmischung. Eine Erhöhung der Ausbringrate führt nicht nur zu einer höheren Rohstoffnutzung, sondern sie ermöglicht auch den Abbau von Lagerstätten oder Lagerstättenteilen, die ansonsten nicht wirtschaftlich gewinnbar wären. Durch die stabilisierende Wirkung des Versatzes steigt die Grubensicherheit und ein Rückbau von Pfeilern wird möglich. Dadurch rechnen sich die durch die Versatzaktivitäten zusätzlich anfallenden Investitionen und Betriebskosten.

In den nächsten Kapiteln wird die Rolle des Versatzes für die HYPE-Technologie im Detail herausgearbeitet, passende Abbaumethoden werden vorgestellt und die Technologie wird in Hinblick auf Versatzherstellung und -einbringen erklärt. In weiterer Folge werden das Projekt „High Yield Potassium Extraction Reducing Impact On Nature“ (HYPERION) – Verminderung der Umweltauswirkungen durch erhöhte Kaliausbringraten – und die damit zusammenhängenden Forschungsthemen vorgestellt. Ziel ist es, das Interesse von Partnern aus Lehre und Industrie zu wecken und mit K-UTEC AG Salt Technologies (K-UTEC),

¹ The extraction ratio (ER) is defined as the ratio of the mined volumes to the total volume in a mine panel.

¹ Die Ausbringrate ist definiert durch das Verhältnis von abgebautem Volumen zum Gesamtvolumen eines Abbaubereichs im Bergbau.

solid wastes at the ground surface and discharge of liquid wastes into surface and ground water (4).

The return of solid processing wastes to underground mine openings is rare: only approximately 10 % of the global potassium extraction operations return processing wastes underground (4). The return of processing wastes to underground mine openings is not new though. Central-German potassium mines in the mid-20th Century returned up to 80 % of their solid processing wastes underground (14). The technology and practice of so-called flushing-backfill was developed to stabilise pillars, enable pillar extraction and lower the disposal volume of processing wastes at the ground service. The technology was pioneered by G. Spackeler and D. Fulda and researchers at the TU Bergakademie Freiberg as summarised by Rauche and Sitz (15). This practice was however largely abandoned after the introduction of highly mechanised mining methods forcing a move from elongated to square pillars in the room-and-pillar mining method. Challenging mining sequencing and the increased efforts required to isolate areas for processing waste placement in a square pillar configuration, made underground disposal of wastes largely uneconomical. As a result, most underground disposal operations in Central-Germany ceased before or in the 1970's (14). It is K-UTEC's ambition to reintroduce and further develop this practice, i.e. include solid and liquid wastes, to raise resource efficiency and lower the environmental impact in the global potassium extraction and processing industry.

The disposal of processing wastes in underground mine openings can be defined as one type of backfilling. The term backfill within the mining industry, however, can be applied to a wider range of operations in which materials, i.e. wastes or primary resources, are placed in underground mine openings. The intention of backfilling is to dispose waste but also to improve mine stability or as part of the mining sequence. The latter two are only possible when the backfill, after placement in a mine, reaches certain strength characteristics, i.e. such backfill should be able to support pillars, the hanging wall and/or mining equipment. In the HYPE technology, the placement of backfill material with certain strength characteristics allows the extraction of pillars otherwise left in a mine. Furthermore, the extraction of potassium ore otherwise unable to be mined due to particular geomechanical circumstances, e.g. brittle potassium ore at great depth, is possible using the proposed technology.

The use of backfill within the HYPE technology is first and foremost a matter of raising the safety performance of a potassium extraction operation. Safety in this sense applies to the safety of underground workers, people living and working near potassium mines, the (hydraulic) integrity of the mine and the sustained stability of the ground surface above an underground potassium mine.

The application of HYPE technology has the added value of minimising, or even eliminating, the discharge of waste materials into the biosphere common to the potassium industry. By combining solid and liquid waste materials from the beneficiation process with special binding agents, a backfill recipe can be developed, thus fulfilling the stated performance criteria.

Although the HYPE technology centres around returning processing wastes to the underground mine openings, a need for

Sondershausen, diese neue Herangehensweise einer umweltfreundlichen, sicheren und wirtschaftlichen Kaligewinnung weiter zu entwickeln. Das Hauptziel des Projekts HYPERION ist es, die HYPE-Technologie praktisch zu realisieren – anfangs als Demonstrationsprojekt und schlussendlich als ein allgemein anerkanntes neues Verfahren für die Kaligewinnungsindustrie.

2 Die Rolle des Versatzes in der HYPE- Technologie

Der Wertstoffgehalt von Kaliohsalzen, gemessen am K_2O -Anteil, liegt typischerweise zwischen 20 und 35 % (13). Daraus folgt, dass ein großer Teil des Kaliohsalzes den Aufbereitungsprozess als nicht weiter verwertbare Abgänge entweder fest, z.B. Natriumchlorid oder Unlösliches, oder flüssig, z.B. Magnesiumchloridlösung, verlässt. Die verbreitetsten Methoden für die Entledigung dieser Aufbereitungsabgänge sind die Aufhaltung der Feststoffe an der Erdoberfläche und das Einleiten der Flüssigkeiten in einen Vorfluter oder in tieferliegende Grundwässer (4).

Die Rückführung der festen Aufbereitungsabgänge in die untertägigen Hohlräume ist selten. Weltweit befördern nur ca. 10 % der Kalianlagen ihre Aufbereitungsabgänge wieder nach Untertage (4). Dabei ist die Rückführung der Aufbereitungsabgänge in untertägige Hohlräume nichts Neues. In der Mitte des 20. Jahrhunderts leiteten mitteldeutsche Kaliwerke bis zu 80 % ihrer festen Aufbereitungsabgänge nach Untertage (14). Die Technologie des sogenannten Spülversatzes wurde entwickelt und in die Praxis umgesetzt. Dadurch konnten Pfeiler stabilisiert, der Rückbau von Pfeilern durchgeführt und die Volumen der Aufbereitungsabgänge in der übertägigen Entledigung reduziert werden. Der Weg für diese Technologie wurde von G. Spackeler, D. Fulda und Forschern an der TU Bergakademie Freiberg bereitet und zusammenfassend von Rauche und Sitz beschrieben (15). Diese Methode wurde jedoch mit der Verbreitung von hochmechanisierten Abbauverfahren weitgehend aufgegeben, da diese eine Umstellung vom Langkammerbau zum Kammer-Pfeilerbau mit quadratischen Pfeilern bedeuteten. Die Herausforderungen an die Bergbauplanung wurden dadurch höher und durch den neuen Abbauszchnitt wurde der Aufwand zur Abgrenzung eines zu versetzenden Areals bedeutend größer, wodurch sich die Versatzmaßnahmen nicht mehr rechneten. Aus diesem Grund wurde der Versatz im mitteldeutschen Kalibergbau bereits vor 1970 und in den 1970er Jahren aufgegeben (14). Es ist das Bestreben von K-UTEC, diese Versatzmethode wieder einzuführen und weiterzuentwickeln, um damit die Ressourcenausnutzung in der weltweiten Kaligewinnungs- und -aufbereitungsindustrie zu erhöhen und deren Auswirkung auf die Umwelt zu minimieren.

Die untertägige Entledigung von Aufbereitungsabgängen kann als ein Versatztyp angesehen werden. Im Bergbaujargon umfasst der Begriff Versatz jedoch mehr. Sowohl Abfälle als auch eigens für den Versatz vorgesehene Materialien können in die untertägigen Bergbauhohlräume eingebracht werden. Der Zweck des Versatzes ist einerseits die Bereitstellung einer Entledigungsmöglichkeit für Abfälle aber andererseits auch eine Verbesserung der Grubenstabilität, wobei der Versatz hierbei ein Element der Abbaumethode sein kann. Um einen Einfluss auf die Stabilität der Grube ausüben zu können, muss der Versatz nach seiner Einbringung gewisse Anforderungen an die Festigkeit erfüllen können.

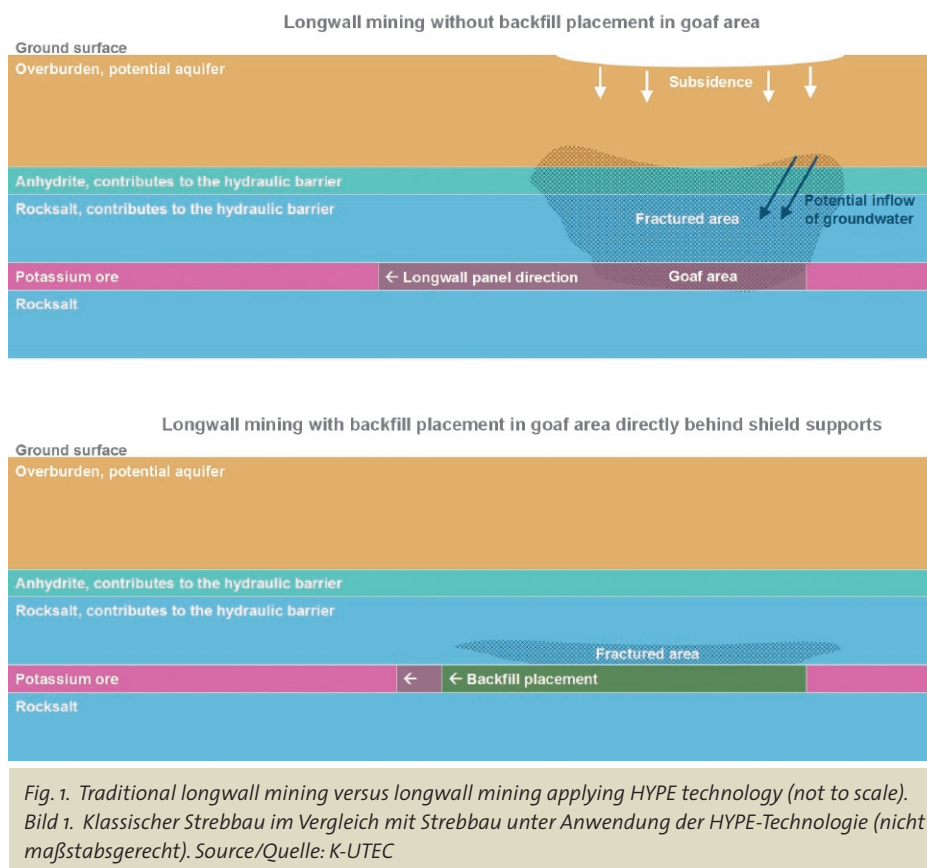


Fig. 1. Traditional longwall mining versus longwall mining applying HYPE technology (not to scale).
Bild 1. Klassischer Strebbau im Vergleich mit Strebbau unter Anwendung der HYPE-Technologie (nicht maßstabsgerecht). Source/Quelle: K-UTEC

above ground disposal remains. The development of a greenfield mine entails driving many kilometres of drifts and accesses producing tailings. These tailings cannot be used for backfill production as the volume of mine openings is initially simply too small necessitating the design and development of waste disposal stacks and/or tailings ponds. At a later stage during a mine's operation it might be possible to extract the wastes from these stacks or ponds to produce backfill material. Critical in the need for disposal facilities at the ground surface is also the volume balance of the mining and ore beneficiation processes, i.e. the volume of the mine openings versus the volume of the backfill as placed in mine openings.

On these grounds, the HYPE technology development will need to include the design of waste disposal facilities without the mentioned challenges such as brine run-off. Using proper seals and managing the run-off from a stack will be the way forward for these (temporary) disposal facilities.

3 Suitable mining methodologies

It is envisaged that the proposed HYPE technology can be applied in the longwall mining, room-and-pillar mining and solution mining methodologies. Details of the use of backfill in these methodologies are presented hereinafter.

3.1 Longwall mining

Longwall mining (Figure 1) has been long recognised as a mining method attaining a high resource efficiency due to its high extraction ratio leaving only abutment pillars (16). However, in the potassium industry the method is rarely used. Historically only two potassium extraction operations used longwall mining, Al-

Damit ist er in der Lage, Pfeiler und Firsten zu stützen und Maschinen zu tragen. Mit der HYPE-Technologie wird der Rückbau von Pfeilern durch das Einbringen von Versatzmaterial mit festgelegten Festigkeitseigenschaften ermöglicht. Darüber hinaus wird der Abbau von Kalirohsalzen, die aufgrund geomechanischer Gegebenheiten – z.B. spröde Kalisalze in großer Tiefe – ansonsten nicht gewonnen werden können, realisierbar.

Der wichtigste Aspekt für die Anwendung von Versatz in der HYPE-Technologie ist die Erhöhung der Sicherheit in der Kaligewinnung. Dies umfasst die Sicherheit der Bergleute, die Sicherheit der Bevölkerung, die in der Nähe des Kalibergbaus lebt, die (hydrogeologische) Integrität des Bergwerks und die langfristige Stabilität des Geländes über dem Kalibergbau.

Die Anwendung der HYPE-Technologie führt außerdem zu einer Minimierung oder sogar einer Vermeidung der Abgabe von Abstoßmaterialien an die Biosphäre, wie sie ansonsten für die Kaliindustrie typisch ist. Die Kombination von festen und flüssigen Aufbereitungsabgängen

mit speziellen Bindern in zweckdienlichen Verhältnissen führt zu Versatzstoffen, welche die oben beschriebenen Anforderungen erfüllen können.

Obwohl der Schwerpunkt der HYPE-Technologie auf der Rückführung von Aufbereitungsabgängen in die untertägigen Abbauhohlräume liegt, bleibt die Notwendigkeit einer übertägigen Aufhaltung. Die Aus- und Vorrichtung eines Bergwerks erfolgt durch Abteufen von Schächten und Auffahren von Strecken, wobei taubes Material anfällt. Dieses taube Material kann nicht für die Herstellung von Versatz verwendet werden, da bei neu aufgefahrenen Bergwerken für Versatz verfügbare Hohlräume kaum vorhanden sind. Daher muss das taube Material aufgehaldet oder Absetzbecken zugeführt werden. Zu einem späteren Zeitpunkt während des Bergwerksbetriebs kann eine Herstellung von Versatz aus diesem aufgehaldeten Material erfolgen. Für die Abschätzung der Notwendigkeit übertägiger Entledigungsmöglichkeiten ist die Volumenbilanz ausschlaggebend. Eine Volumenbilanz setzt das im Bergbau für Versatz verfügbare Hohlraumvolumen ins Verhältnis mit dem Volumen der Aufbereitungsabgänge, die als Versatz in das Bergwerk eingebracht werden sollen.

Die HYPE-Technologie wird auf Basis der vorstehenden Argumentation die Auslegung der übertägigen Entsorgungsmöglichkeiten einbeziehen und sich dabei den genannten Herausforderungen, wie z.B. Haldenwässern, stellen. Mit guter Abdichttechnik und entsprechendem Haldenwassermanagement wird es möglich sein, diese (temporären) Entsorgungsanlagen zeitgemäß zu kontrollieren.

3 Geeignete Abbauverfahren

Es ist vorgesehen, die HYPE-Technologie im Strebbau, im Kammerrückbau und im Solungsbergbau zum Einsatz kommen zu

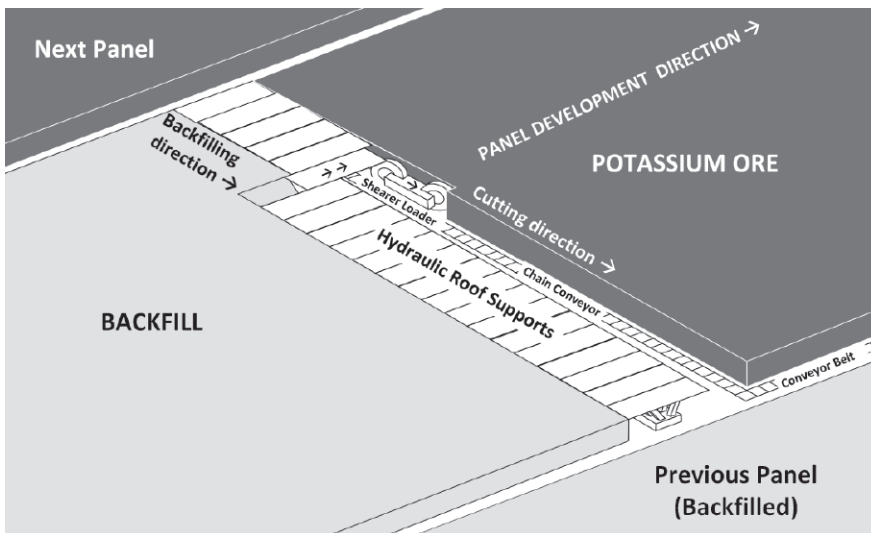


Fig. 2. Detailed view of the longwall mining using HYPE technology.
 Bild 2. Detaildarstellung eines Strebbaus unter Verwendung der HYPE-Technologie.
 Source/Quelle: K-UTEC

sace/France and Navarra/Spain. Currently, six mines in Belarus, operated by Belaruskali around Soligorsk, use longwall mining. The reason for the nearly non-existent use of this method for potassium extraction is two-fold (17):

1. The caving of the hanging wall, typical for the longwall method, can create pathways for groundwater to enter the mine. The flooding of a potassium mine with groundwater can lead to mine closure as known.
2. The brittle behaviour of some potassium ores, such as Carnallite, creates a rock-burst hazard due to the high peak stresses present at the longwall face.

The proposed HYPE technology will need to sufficiently mitigate the related risks. By using a backfill with certain strength characteristics, the hanging wall can be supported avoiding fracture development and consequent loss of its hydraulic integrity. In addition, the placement of quick setting backfill directly behind the longwall support shield should sufficiently lower the peak stresses at the mining face, and thus significantly lower the risk of rock-burst.

Applying the HYPE technology to longwall mining will not be without significant challenges. The backfill needs to be placed behind the shield support, fully filling the void between foot-wall and hanging wall. Furthermore, the backfill should be set fairly quickly in order for the hanging wall to be sufficiently supported before it collapses. Alternatively, the hanging wall behind the support shield should be supported during setting of the backfill mixture with a type of rear canopy.

These prerequisites will necessitate the development of new technological solutions. A more detailed view of the HYPE technology applied to the longwall mining method is presented in Figure 2.

3.2 Room-and-pillar

The extraction of potassium from underground mines, as opposed to solution mining, is the dominant extraction technology in use within the industry. The room-and-pillar method is used in approximately 70% of underground potassium extraction operations globally. In terms of mining layout both square and elongated pillars are used with the latter dominating (4). Being able to

lassen. Nachfolgend werden Details zur Versatzeinbringung bei diesen Abbauverfahren vorgestellt.

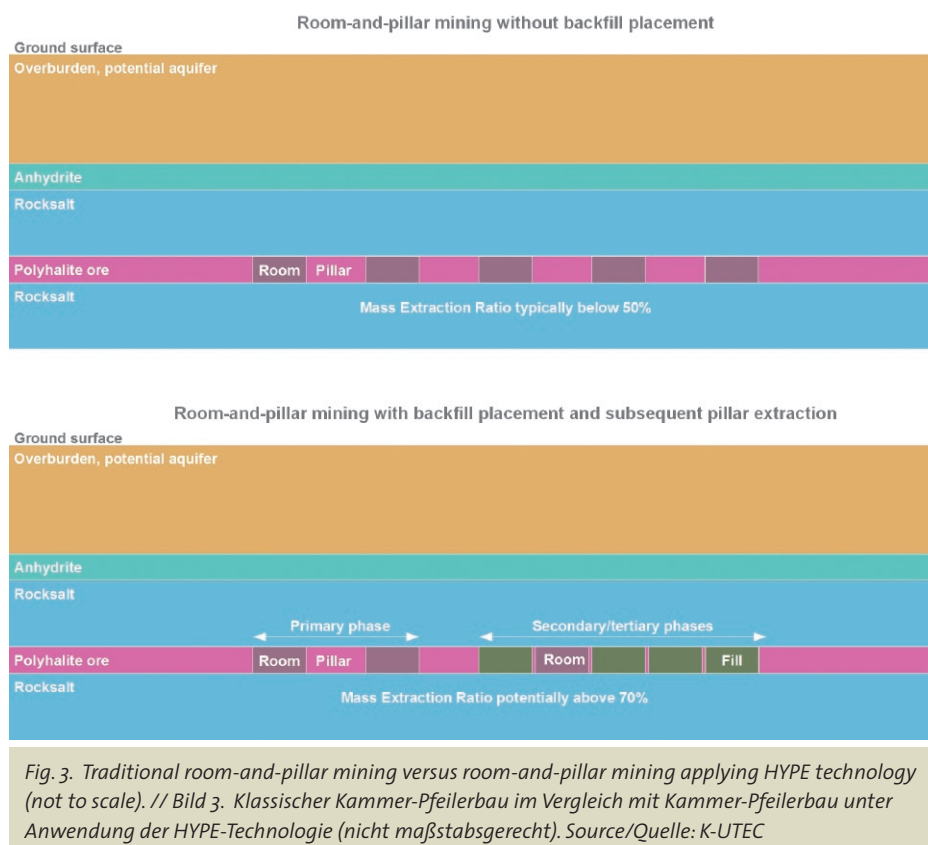
3.1 Strebbau

Durch die Technologie des Strebbaus (Bild 1) lässt sich eine hohe Ausbringrate erreichen, was einer hohen Lagerstättennutzung gleichkommt. Im Grunde verbleiben als einzig nicht abbaubare Lagerstättenteile die Pfeiler von Kopf- und Fußstrecken sowie die Bereiche um die Förderstrecken (16). Diese Abbaumethode wird in der Kaliindustrie jedoch selten angewendet. In der Vergangenheit bauten nur zwei Reviere Kali mittels Strebbau ab: Alsace/Frankreich und Navarra/Spanien. Aktuell verwenden sechs Bergwerke von Belaruskali in Weißrussland Strebbau zur Kaligewinnung. Es gibt zwei Gründe, warum der Strebbau im Kaliabbau nicht weiter verbreitet ist (17):

1. Der Verbruch der Firste, der für den Strebbau typisch ist, kann Fließwege für Grundwasser öffnen, über die dieses in das Bergwerk eindringen kann. Der Wassereintritt in ein Kali-Bergwerk kann bekanntermaßen zur Aufgabe des Bergwerks führen.
2. Das spröde Bruchverhalten mancher Kalierze, wie z.B. Carnallit, birgt die große Gefahr von Gebirgsschlägen, speziell am Abbaustoß mit hohen Spannungsspitzen.

Die vorgeschlagene HYPE-Technologie muss diese Risiken entsprechend berücksichtigen. Mittels festgelegter Versatzeigenschaften kann das Hangende gestützt werden. Dadurch wird die Rissbildungsneigung verringert und die hydraulische Integrität bleibt bestehen. Zusätzlich führt das Einbringen von schnell abbindendem Versatz in den abgebauten Hohlraum zu einer Verminderung der Spannungsspitzen am Abbaustoß und damit zu einer Reduzierung des Gebirgsschlagrisikos.

Vor einer Anwendung der HYPE-Technologie im Strebbau sind erhebliche Herausforderungen zu meistern. Der Versatz muss hinter dem Schildausbau eingebracht werden und dabei den gesamten Hohlraum zwischen Sohle und Firste füllen. Außerdem soll der Versatz relativ schnell abbinden, damit er die Firste vor dem Verbruch bewahren kann. Die Firste direkt hinter dem Schildausbau kann mit einer Schildverlängerung gestützt werden, solange der Versatz noch nicht abgebunden hat.



apply the HYPE technology to room-and-pillar mining will therefore be essential for its success. The backfilling of mine openings, with a setting backfill mixture reaching sufficient strength, is crucial to enable secondary/tertiary mining phases, i.e. mining of the pillars initially left in place. During the further development of the HYPE technology solutions must be found for the following specific challenges:

- Enabling backfill to completely fill a mine opening thus sufficiently supporting pillars and the hanging wall, i.e. through the use of fences or dams.
- Allow the physical extraction and backfilling operations to be operated in a coordinated fashion, i.e. not disturbing or restricting each other.
- Develop dam/fence construction methods that comply with climatic, i.e. ventilation, and economic limitations.

Similar to applying the HYPE technology in the longwall mining methods, the potential ER for room-and-pillar mining with backfill can be well above 70% as is shown in Figure 3.

3.3 Solution mining

Potassium extraction using solution mining technology is becoming increasingly important in the industry with such operations having been brought into production, e.g. K+S Bethune in Canada, or being planned, e.g. Danakil region in Ethiopia, in recent years. The solution mining method has, relatively to an underground mine, a lower capital intensity. However, its physical footprint at the ground surface is much larger. The surface area required for well pads, from which wells are drilled and operated, and for pipelines connecting the wells to the water and brine infrastructure, is significant and spans a large area. The mentioned

Will man diesen Voraussetzungen gerecht werden, ist die Entwicklung neuer Technologien notwendig. Eine detailliertere Darstellung der HYPE-Technologie im Strebau findet sich in Bild 2.

3.2 Kammer-Pfeilerbau

Der klassische Bergbau, im Gegensatz zum Solungsbergbau, ist die am weitesten verbreitete Abbautechnologie im Kalibergbau. Weltweit wird diese untertägige Kaligewinnungsmethode bei etwa 70% aller Bergbauanlagen angewendet. Die Pfeiler im Kammer-Pfeilerbau können, bezogen auf ihren horizontalen Querschnitt, quadratisch oder rechteckig-langgestreckt sein, wobei der rechteckig-langgestreckte Querschnitt überwiegt (4). Für einen Erfolg der HYPE-Technologie ist es unumgänglich, diese auf den Kammer-Pfeilerbau zu übertragen. Um sekundäre bzw. tertiäre Abbauphasen, d.h. den Rückbau von ansonsten zu belassenden Pfeilern zu ermöglichen, muss eine Versatzmischung eingebracht werden, die eine ausreichende Festigkeit erreicht. Um

die HYPE-Technologie weiterentwickeln zu können, ist es notwendig, Lösungen für die folgenden Herausforderungen zu finden:

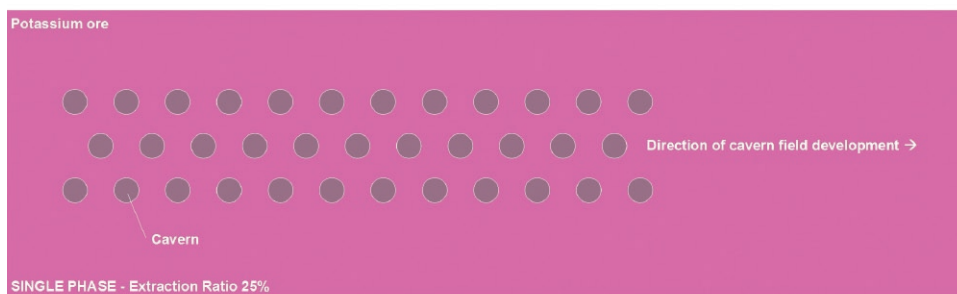
- Der Versatz muss den Abbauhohlraum vollkommen füllen, um die Pfeiler und das Hangende entsprechend stützen zu können. Dafür ist die Errichtung von Absperrbauwerken bzw. Dämmen notwendig.
- Die Abbau- und Versatzaktivitäten müssen aufeinander abgestimmt werden, sodass sie sich gegenseitig nicht stören und/oder in ihrer Produktivität einschränken.
- Es müssen Dammkonstruktionen entwickelt werden, die mit der Bewetterung kompatibel und gesamtwirtschaftlich sinnvoll sind.

Wie auch beim Strebau führt die Anwendung der HYPE-Technologie im Kammer-Pfeilerbau zu Ausbringraten, die weit über 70% liegen können. Dieser Umstand wird in Bild 3 verdeutlicht.

3.3 Solungsbergbau

Die Verwendung der Solungstechnologie zur Kaligewinnung wird zunehmend wichtiger. In den letzten Jahren wurden entsprechende Anlagen neu in Betrieb genommen, z.B. K+S Bethune in Kanada, oder geplant, z.B. Danakil-Senke in Äthiopien. Verglichen mit dem klassischen Untertagebergbau ist der Investitionsbedarf im Solungsbergbau kleiner. Dagegen ist der Flächenbedarf größer. So sind große Areale für die Kavernenplattformen, von denen aus gebohrt und die Kaverne betrieben wird, sowie für die Rohrleitungen, welche die Kavernen mit der Fabrikinfrastruktur (Soleleitungen) und mit der Wasserversorgung verbinden, notwendig. Die Ausdehnung des Solfelds hängt hauptsächlich vom Abstand der einzelnen Kavernen untereinander ab, welcher wiederum abhängig von geomechanischen Faktoren, wie Kavernenstabilität und

Solution mining without backfill placement (35 caverns)



Solution mining with backfill placement and subsequent pillar extraction (35 caverns)

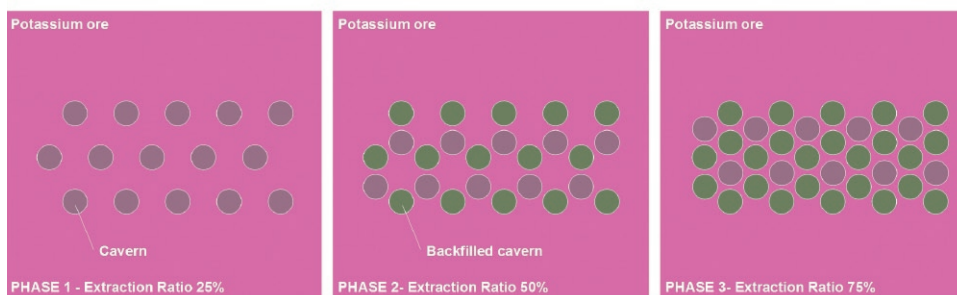


Fig. 4. Traditional solution mining versus solution mining applying HYPE technology (plan-view).
Bild 4. Klassische Solfeldgestaltung im Vergleich mit Solfeldgestaltung unter Anwendung der HYPE-Technologie (Draufsicht). Source/Quelle: K-UTEK

span is mainly governed by the distance between solution mined caverns, which in turn is an outcome of (geomechanical) cavern stability and subsidence predictions. The described potential impact of HYPE technology on the footprint of a solution mining operation is illustrated in Figure 4.

As with room-and-pillar mining, the HYPE technology can potentially enable pillar extraction. Aside from increasing the extraction efficiency of an ore body, backfilling of caverns also lowers the rate of operational footprint expansion over time. Lowering this rate decreases the yearly investment needed to expand the water and brine infrastructure and potentially makes it possible to drill multiple wells from a single well pad, further saving cost.

4 Backfill technology

The backfilling of voids created by mining is the core of the proposed HYPE technology. The success of the technology, thus, hinges on the performance of the backfill and consequently on the foreseen backfill mixture composition. As such, the prerequisites for the backfill composition are at least:

- the ability to accommodate most or all potassium processing wastes;
- a fitting volume balance of mine opening volume and total backfill volume;
- low-effort and low-cost backfill mixture production;
- suitable rheological behaviour of the mixture during transport;
- controllable setting behaviour of the mixture in terms of setting rate and exothermicity;
- sufficient development of strength and stiffness after placement in the mine openings;
- manageable solution potential of potassium ore rock;

Senkungsverhalten, ist. Der positive Effekt auf das Kavernenschema, der durch die HYPE-Technologie ermöglicht wird, ist in Bild 4 dargestellt.

Wie beim Kammer-Pfeilerbau ermöglicht die HYPE-Technologie den Pfeilerrückbau. Neben der höheren Ausbringrate führt der Versatz der Kavernen auch zu einem kleineren Flächenbedarf in einem festgelegten Zeitabschnitt. Dadurch kann der jährliche Kapitaleinsatz für die Leitungsinfrastruktur verringert werden. Außerdem ist es möglich, mehrere Bohrlöcher von einer Plattform aus zu bohren und damit weitere Kosten einzusparen.

4 Versatztechnologie

Der Schwerpunkt der HYPE-Technologie ist der Versatz der durch den Bergbau geschaffenen Hohlräume. Der Erfolg der Technologie hängt somit von der Effizienz des Versatzes und damit von der Versatzzusammensetzung ab. Die Grundvoraussetzungen, die an den Versatz gestellt werden, sind:

- die Möglichkeit die gesamten oder zumindest den größten Teil der Kaliaufbereitungsabgänge aufzunehmen,
- eine ausgeglichene Bilanz zwischen Bergbauhohlraum- und Versatzvolumen,
- Versatzherstellung mit geringem Aufwand und geringen Kosten,
- auf den Transport angepasste rheologische Eigenschaften der Versatzmischung,
- kontrollierbare Abbindeigenschaften der Versatzmischung, vor allem bezüglich der Abbindegeschwindigkeit und der Wärmetönung,
- ausreichende Festigkeits- und Steifigkeitsentwicklung nach dem Einbringen in den Abbauhohlraum,
- überschaubares Lösungspotential von Kaliumerzgestein,
- geringes Kriechvermögen der Versatzmischung nach dem Einbringen und
- langfristig gleichbleibende geotechnische Eigenschaften des Versatzes.

Aufgrund der entsprechenden Nachfrage konnte K-UTEK in den letzten Jahren Verarbeitungstechnologien für polymineralische Kalierze, die z.T. nur einen niedrigen Wertstoffgehalt aufwiesen, entwickeln. Darüber hinaus wurde mit Versatzmischungen komplexer Zusammensetzung viel Erfahrung gesammelt, da die Entsorgung dieser Abfälle durch Versatz in Mitteleuropa eine zentrale Rolle spielt. Der Kalibergbau hat in Mitteldeutschland eine mehr als 150 Jahre währende Tradition. Als Konsequenz des jahrzehntelangen Abbaus kam es zu Senkungen und der Notwendigkeit, viele Kalibergwerke stabilisieren zu müssen. Diese Sicherung von Kalibergwerken wird durch das Einbringen von Versatzmischungen, die auf sekundären Grund-

- limited creep behaviour of the backfill mixture after placement; and
- longevity of the backfill's geotechnical characteristics.

In recent years, mainly driven by market demand, K-UTEC has developed processing technologies for (low-grade) polymineralic potassium ores. Furthermore, during the last two decades, vast experience has been gained with the complex chemical systems of backfill mixtures through its pivotal role in the northern European waste management industry. The potassium mining heritage in Central Germany spans more than 150 years. Resulting subsidence has necessitated the stabilisation of several potassium mines. The stabilisation has been attained by backfilling these mines with backfill mixtures based on secondary resources from waste incineration plants, such as fly ashes and flue gas cleansing salts. Both these individual technologies, i.e. processing of (low-grade) polymineralic ores and complex chemical backfill systems, have been developed and implemented to a technology readiness level (TRL) 9².

The combination of both these experiences has led to the development of the proposed HYPE technology. This development has been strengthened by the performance of several fundamental and applied research projects in which potassium extraction and processing technologies, minimising environmental impact, have been developed. The key element of the HYPE technology is the production of a backfill mixture based on processing wastes and special binding agents. This mixture can be produced and transported to the mine with relative ease through the use of wet processes. Since a large part of the processing wastes from potassium ores are liquid, the production of a backfill slurry, comprising liquid wastes, solid wastes and binding agents, is the most logical process. The added benefit of a backfill slurry is the possibility of hydraulic transport and placement using pumps and pipelines.

The use of special binding agents enables full control over the setting properties of the backfill slurry both in setting time and final backfill strength. Several mineral binding agents are available for use in the HYPE technology, which can be primarily sourced from the industrial minerals industry. Further research into binding agents from secondary resources is underway to lower the cost for backfill production. Apart from the share of binding agents in a backfill mixture, the liquid processing wastes can be pre-processed in order to attain high strength backfill materials suitable for application in very deep mines. K-UTEC has been able to produce backfill mixtures from potassium processing wastes with a uniaxial compressive strength in excess of 10 MPa (18).

The production, transport and placement process for a backfill mixture based on potassium processing wastes will be site specific, however, it generally comprises the following steps:

1. Intermediate storage of processing wastes.
2. Optional pre-processing of liquid wastes by water extraction, i.e. evaporation, to produce a salt slurry as a basis for backfill production rather than a saline solution.

² As defined by the European Commission in "Technology readiness levels (TRL)", Horizon 2020 – Work Programme 2014-2015, General Annexes, Extract from Part 19 – Commission Decision C(2014)4995.

stoffen aus Müllverbrennungsanlagen wie Flugasche und Rauchgasreinigungsprodukten basieren, erreicht. So wurden zwei Technologien – die Verarbeitung von polymineralischen Erzen mit z.T. niedrigem Wertstoffgehalt und die Erstellung von Versatzsystemen mit komplexer Chemie – entwickelt und zur Anwendung gebracht, wobei ein Technologie-Reifegrad (TRL) 9 erreicht wurde².

Die Kombination dieser beiden Technologien führte zur Entwicklung der HYPE-Technologie. Die Weiterentwicklung wird unterstützt durch die Ausarbeitung von mehreren Forschungsprojekten, in denen Grundlagen und die Anwendung von Kaligewinnungs- und -aufbereitungstechnologien unter Verminderung der Auswirkungen auf die Umwelt untersucht werden. Der Schwerpunkt der HYPE-Technologie ist die Produktion einer Versatzmischung, die auf Aufbereitungsabgängen und speziellen Bindemitteln basiert. Diese Mischung kann relativ einfach hergestellt und transportiert werden, da es sich um eine Suspension handelt, die hydraulisch förderbar ist. Es bietet sich an, eine Versatzsuspension herzustellen, die aus flüssigen und festen Aufbereitungsabgängen und Bindemitteln besteht, da der größte Anteil der Abgänge aus der Aufbereitung von Kalierzen flüssig ist. Ein weiterer Vorteil einer Versatzsuspension ist die Möglichkeit, diese unter Verwendung von Pumpen und Rohrleitungen hydraulisch zu transportieren und einzubringen.

Der Einsatz von speziellen Bindemitteln ermöglicht es, die Abbindeigenschaften so zu kontrollieren, dass Abbindezeit und Endfestigkeit des Versatzes einstellbar sind. Für die HYPE-Technologie sind unterschiedliche Bindemittel, die durch Industriemineralhersteller geliefert werden können, verfügbar. Es werden bereits Anstrengungen unternommen, diese Primärrohstoffe ganz oder teilweise durch Ersatzstoffe mit Bindemittelleigenschaften zu substituieren, um Kosten in der Versatzherstellung zu sparen. Damit höhere Festigkeiten der Versatzmischung für den Einsatz in großen Teufen erreicht werden können, ist es möglich, entweder den Bindemittelanteil zu erhöhen oder die flüssigen Aufbereitungsabgänge vorzubehandeln, d.h. sie einzudampfen. K-UTEC ist in der Lage, Versatzmischungen aus Kaliaufbereitungsabgängen herzustellen, die eine einaxiale Druckfestigkeit von über 10 MPa erreichen (18).

Die Technologie für Herstellung, Transport und Einlagerung der Versatzmischung aus Kaliaufbereitungsabgängen wird stark vom jeweiligen Standort abhängen, kann jedoch im Allgemeinen wie folgt gegliedert werden:

1. Zwischenlagerung der Aufbereitungsabgänge.
2. Optionale Vorbehandlung der flüssigen Aufbereitungsabgänge durch Wasserentzug, d.h. durch Eindampfen, um einen Salzbrei herzustellen, der dann statt der Salzlösung die Basis für eine Versatzherstellung darstellt.
3. Optionale Mahlung des Salzbreis zur Einstellung seiner rheologischen Eigenschaften.
4. Vermengung der flüssigen Aufbereitungsabgänge/des Salzbreis mit den festen Aufbereitungsabgängen.

² Wird definiert in: European Commission in "Technology readiness levels (TRL)", Horizon 2020 – Work Programme 2014-2015, General Annexes, Extract from Part 19 – Commission Decision C(2014)4995.

3. Optional milling of the salt slurry to control its rheological properties.
4. Mixing of liquid wastes/salt slurry with the solid wastes.
5. Hydraulic transport of the mixed waste slurry into the mine through pipelines.
6. Mixing of the waste slurry with binding agents at a suitable location either at the ground surface or in the mine close to the mine openings to be backfilled.
7. In case the binding agents are mixed with the wastes near the underground mine openings to be backfilled, a separate transport infrastructure for binding agents into the mine is needed.
8. Placement of the backfill mixture containing binding agents in the mine openings.
9. After setting of the backfill mixture, the shield support can be moved forward, in the case of longwall mining, or the pillars can be extracted, in the case of room-and-pillar and solution mining.

The design and implementation of the backfill production, transport and placement infrastructure will be largely site specific since final backfill properties

- are dependent on the ore body layout and consequential mining method;
- significantly influence the volume balance of backfill volume versus mine volume; and
- are governed by the availability of suitable binding agents which can be sourced locally.

The further development of the HYPE technology should, therefore, cover a fairly wide range of themes that produce an outcome which can be applied to the majority of ore body and mine types common in potassium extraction. This research will be part of the HYPERION project.

5 Project HYPERION

In Greek mythology Hyperion was one of the twelve Titans, son of the Earth (Gaia) and father to the Dawn (Eos). Similarly, project HYPERION is aimed to be the “Dawn” of a new era of environmentally friendly potassium extraction and processing befitting the current drive for resource efficiency and sustainable thinking in the mining industry.

No substitutes for potassium as an essential nutrient for all living beings – plants, animals, humans – exist (2). This underlines the importance to further drive sustainable thinking in the potassium extraction and processing industry. The ultimate goal of project HYPERION is, thus, to develop a new paradigm in which potassium is extracted and processed efficiently, profitably and without its current impact on the biosphere. The hypothesis to be tested in project HYPERION can be formulated as: “The use of a setting backfill should improve resource efficiency, lower environmental impact while maintaining profitability of a potassium extraction and processing operation.” The challenges, methods and aimed outcome of the project are described hereinafter.

5.1 Challenges

1. Raise the safety performance of underground potassium extraction:

5. Hydraulischer Transport der vermischten Aufbereitungsabgänge mittels Rohrleitungen ins Bergwerk.
6. Vermengung der Suspension mit Bindemitteln an einem vorteilhaften Standort entweder über oder unter Tage in der Nähe der Abbauhohlräume, die versetzt werden sollen.
7. Für den Fall der untertägigen Zumischung der Bindemittel in die Suspension ist eine unabhängige Transportinfrastruktur für die Bindemittel nach Untertage notwendig.
8. Einbringen der bindemittelhaltigen Versatzmischung in die Abbauhohlräume.
9. Nach dem Abbinden der Versatzmischung können im Fall des Strebbaus die Schilde nachgezogen und im Fall des Kammer-Pfeilerbaus oder des Solungsbergbaus die Pfeiler abgebaut werden.

Die Auslegung und der Einsatz der Versatzinfrastruktur für Herstellung, Transport und Einbringen werden stark von den standortbedingten Gegebenheiten abhängen, da die endgültigen Versatzeigenschaften

- auf der Gestalt des Kalivorkommens und der sich daraus ergebenden Abbaumethode beruhen,
- die Bilanz von Versatzvolumen zu Abbauhohlraumvolumen erheblich beeinflussen und
- sich aus der Verfügbarkeit von geeigneten und lokal verfügbaren Bindemitteln ableiten.

Die Weiterentwicklung der HYPE-Technologie sollte daher einen weiten Themenbereich abdecken, um Ergebnisse zu erhalten, die auf die meisten Salzkörper und Abbautypen der Kaliindustrie anwendbar sind. Diese Forschung wird ein Teil des HYPERION-Projekts sein.

5 Projekt HYPERION

In der griechischen Mythologie ist Hyperion als Sohn der Erde (Gaia) einer der zwölf Titanen und Vater der Morgenröte (Eos). In gleichem Sinn ist das HYPERION-Projekt der (Tages-)Anbruch für ein neues Zeitalter der umweltfreundlichen Kaligewinnung und -aufbereitung, passend zur aktuellen Gesinnung der Ressourceneffizienz und Nachhaltigkeit in der Bergbauindustrie.

Für alle Lebewesen – Pflanzen, Tiere, Menschen – ist das lebenswichtige Element Kalium ohne Alternative (2). Dies unterstreicht die Bedeutung des nachhaltigen Handelns in der Kaligewinnungs- und -aufbereitungsindustrie noch weiter. Das Hauptziel des HYPERION-Projekts ist es demnach auch, eine neue Herangehensweise zu entwickeln, mit der Kalium effizient, wirtschaftlich und ohne die zurzeit auftretenden umwelttechnischen Probleme gewonnen und aufbereitet werden kann. Die Hypothese, die durch das HYPERION-Projekt einer Prüfung unterzogen wird, kann folgendermaßen formuliert werden: „Die Verwendung eines abbindenden Versatzes verbessert die Nutzung von Ressourcen, reduziert die Auswirkungen auf die Umwelt und bewahrt die Wirtschaftlichkeit eines Kaligewinnungs- und -aufbereitungsunternehmens.“ Die Herausforderungen, die Vorgehensweise und das beabsichtigte Ergebnis des Projekts sind im Folgenden beschrieben.

5.1 Herausforderungen

1. Erhöhung der Effizienz bei Sicherheitsaspekten bei der untertägigen Kaligewinnung:

- Minimize risks related to mine collapse and subsequent sink-hole formation;
- eliminate the risk of personal injury by automated and remote extraction.

2. Lower the ecological footprint:

- Minimise or eliminate environmental risk to water resources;
- minimise surface subsidence related to potassium extraction.

3. Improve the potassium extraction efficiency:

- Significantly increase extraction ratios for underground mining of potassium ore;
- lower the energy consumption per ton of ore extracted;
- consider salt convergence and maintain the volume balance between backfill volume and voids volume in the mine.

5.2 Methods

1. Extraction technologies:

- Longwall mining without collapse of the hanging wall;
- continuous room-and-pillar mining with pillar extraction;
- solution mining minimising cavern convergence allowing pillar extraction;
- responsible waste disposal stack and tailings pond design.

2. Processing technologies:

- High recovery of valuable potassium minerals;
- processing of low-grade polymineralic potassium ores;
- attain high quality saleable primary and secondary products.

3. Emission management:

- State-of-art waste disposal stack design;
- backfill production based on processing wastes;
- backfill transport and placement.

4. Sustainability:

- Economic assessment and business modelling;
- apply an environmentally friendly mindset;
- use ethical reasoning benefitting society at large.

5.3 Outcome

1. Applicability:

- Matrix of suitable deposits and corresponding extraction technologies;
- database of potential deposits suitable for applying HYPE technology.

2. Economics:

- Economic evaluations for typical deposits with HYPE technology applied;
- business models enabling the HYPE technology.

3. Technology:

- Scientific foundations for developed technologies;
- numerical simulation of the proposed technologies;
- demonstration plant incorporating selected technologies.

- Minimierung der Gebirgsschlagwahrscheinlichkeit und des Auftretens der damit zusammenhängenden Senkungsercheinungen,
- Eliminierung von Personenschäden durch automatisierte und ferngesteuerte Gewinnungsmethoden.

2. Senkung des ökologischen Fußabdrucks:

- Minimierung oder Eliminierung der Umweltgefährdung in Hinblick auf Wasserreserven,
- Minimierung von Oberflächensenkungen, die auf Kaligewinnung zurückzuführen sind.

3. Erhöhung der Produktivität der Kaligewinnung:

- Deutliche Erhöhung der Ausbringrate bei untertägigem Abbau von Kalisalzen,
- niedrigerer Energieverbrauch pro gewonnene Tonne Kalisalz,
- unter Erwägung der Konvergenz wird die Bilanz zwischen Versatzvolumen und Abbauhohlraumvolumen beibehalten.

5.2 Vorgehensweise

1. Gewinnungstechnologien:

- Strebau ohne Verbruch des Hangenden,
- Langkammerbau mit Pfeilerrückbau,
- Solungsbergbau mit minimaler Konvergenz in den Kavernen und mit Pfeilerrückbau,
- verantwortungsvolle Auslegung von Halden und Absetzbecken.

2. Aufbereitungstechnologien:

- Hohe Gewinnungsrate wertvoller Kaliminerale,
- Aufbereitung polymineralischer Kalierze, auch mit niedrigem Wertstoffgehalt,
- Herstellung gut verkäuflicher primärer und sekundärer Produkte mit hoher Qualität.

3. Emissionsmanagement:

- Halden mit einer Auslegung nach dem neusten Stand der Technik,
- Versatzherstellung basierend auf Aufbereitungsabgängen,
- Versatztransport und -einbringung.

4. Nachhaltigkeit:

- Wirtschaftliche Bewertung und Modellierung,
- offenkundig umweltfreundliche Haltung,
- Verwendung ethischer Grundsätze, die der Gesellschaft insgesamt zugute kommen.

5.3 Ergebnis

1. Anwendbarkeit:

- Matrix mit geeigneten Lagerstätten und dazu passenden Gewinnungstechnologien,
- Datenbasis mit potentiellen Lagerstätten geeignet für eine Anwendung der HYPE-Technologie.

2. Wirtschaftlichkeit:

- Wirtschaftliche Bewertung typischer Lagerstätten unter Anwendung der HYPE-Technologie,
- Wirtschaftsmodelle, welche die HYPE-Technologie zulassen.

4. Policy:

- Guidance documents for policy makers;
- pro-active communication of the project's progress and outcome.

At the time of writing this paper, the HYPE technology is considered to have reached a TRL 4, making validation of the technology in a relevant industrial environment the next logical step. The aim for project HYPERION is to drive the HYPE technology to at least TRL 5 and possibly TRL 6 depending on the final project implementation and funding opportunities. Regardless of the latter, it is K-UTEC's ambition to pursue the HYPE technology and lower the environmental impact of potassium mining.

K-UTEC strongly believes in continuous improvement of existing potassium processing methodologies and coaching of the industry to stray from the "easy" path of using waste disposal stacks and the discharge of liquid wastes into surface waters. Nonetheless, the actual realisation of project HYPERION would significantly accelerate the market introduction of the HYPE technology.

3. Technologie:

- Wissenschaftliche Grundlagen für entwickelte Technologien,
- numerische Simulation der vorgeschlagenen Technologien,
- Demonstrationsanlage, die ausgewählte Technologien berücksichtigt.

4. Strategie:

- Lenkungsunterlagen für Strategieentwickler,
- proaktiver Informationsfluss zu Fortschritt und Ergebnissen des Projekts.

Zum Zeitpunkt des Verfassens dieses Artikels wird die HYPE-Technologie mit einem TRL 4 bewertet. Daraus folgt, dass die Validierung der Technologie in einer passenden technischen Umgebung der nächste Schritt ist. Das Ziel des HYPERION-Projekts ist es, die HYPE-Technologie auf TRL 5 oder sogar TRL 6 zu bringen, abhängig von der Projektumsetzung und den Fördermöglichkeiten. Unabhängig vom letzten Punkt ist es das Bestreben von K-UTEC, die HYPE-Technologie weiterzuentwickeln und den Einfluss des Kalibergbaus auf die Umwelt zu reduzieren.

Das Unternehmen vertraut auf eine stete Verbesserung der Kaliaufbereitungsverfahren und berät die Industrie entsprechend. Dadurch ist es möglich, Alternativen zur Aufhaltung von Aufbereitungsabgängen und zum Einleiten derselben in Oberflächenwässer aufzuzeigen. Dennoch würde die Realisierung des HYPERION-Projekts die Markteinführung der HYPE-Technologie signifikant beschleunigen.

References / Quellenverzeichnis

- (1) Sijs, N. van der: Geleend en uitgeleend. Amsterdam/Antwerpen, Uitgeverij Contact, 1998.
- (2) United States Geological Survey: Mineral Commodity Summaries 2017. Reston, Virginia, USA., 2017.
- (3) Food and Agriculture Organization of the United Nations: World fertilizer trends and outlook to 2018. Rome/Italy, 2015.
- (4) Rauche, H.: Die Kaliindustrie im 21. Jahrhundert. Springer Vieweg Verlag, 2015.
- (5) Whyatt, J.; Varley, F.: Catastrophic Failures of Underground Evaporite Mines. In: Proceedings of the 27th International Conference on Ground Control in Mining, Morgantown, West Virginia/USA, 2008.
- (6) Berest, P.; Brouard, B.; Feuga, B.; Karimi-Jafari, M.: The 1873 collapse of the Saint-Maximilien panel at the Varangeville salt mine. International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences, vol. 45, pp. 1025–1043, 45 (2008).
- (7) Rietman, L.: Akzo-partner moet zoutbergen meteen opruimen. Financieel Dagblad (FD), 24 Feb. 2016.
- (8) Reinhardt, L.: Wasserrechtliche Anforderungen an eine dauerhafte Lösung für die Salzabwasserproblematik in Werra und Oberweser. Institut für Deutsches und Europäisches Wasserwirtschaftsrecht, Trier, 2015.
- (9) Laskowski, S.: Weser- und Werra-Versalzung – Vereinbarkeit der Vorschläge Hessens an die FGG Weser mit europäischem und deutschem Wasserrecht. Rechtsgutachten. Hamburg/Kassel: Universität Kassel, 2015.
- (10) Kowalewski, O.; Spiewanowski, P.: Stock market response to potash mines disasters. IÉSEG School of Management, 2017.
- (11) Kramer, A. E.: A Russian City Always on the Watch Against Being Sucked Into the Earth. The New York Times, p. A10, 11-04-2012.
- (12) Stäubert, A.: Geomechanische Betrachtungen zur Wirkung von Spülversatz im Kalibergbau. In: Spülversatz im Salzbergbau, Technische Universität Bergakademie Freiberg, 2001, S. 125–148.
- (13) Kogel, J. E.: Industrial Minerals & Rocks: Commodities, Markets, and Uses. Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc. (SME), Colorado, 2006.
- (14) Michalzik, D. A.: Rückblick auf die Anwendung des Spülversatzes aus Rückständen der Kaliohlsalzverarbeitung im Kalibergbau. In: Spülversatz im Salzbergbau, Rektor der TU Bergakademie Freiberg, 2001, S. 17–31.
- (15) Rauche, H.; Sitz, P.: Spülversatz im Salzbergbau. Freiburger Forschungshefte, A 855 Bergbau und Geotechnik, Technische Universität Bergakademie Freiberg, 2001.
- (16) Hong, B. D.; Slatick, E. R.; Pantos, E. R.; McMillan, T.: Longwall Mining. Energy Information Administration, DOE, Washington DC, USA, 1995.
- (17) Minkley, W.; Lüdeling, C.: Longwall Caving in Potash Mining – Geomechanical Assessment of Damage and Barrier Integrity. In: ARMA-2016-407, 50th U.S. Rock Mechanics/Geomechanics Symposium, 26-29 June 2016, Houston/Texas, USA, 2016.
- (18) Marx, H.; Kaps, S.; Scherzberg, H.; Zimmermann, R.; Pinkse, T.; Lechner, A.: Komplexe Nutzung der Produktions- und Haldenabwässer aus dem Verbundwerk Werra. In: Internationales Symposium „Die Kaliindustrie im 21. Jahrhundert“, Erfurt/Deutschland, 2017.

Authors / Autoren

Tobias Pinkse M. Sc., Robert Quensel M. Sc., Dr.-Ing. Alexander Lechner, Dipl.-Chem. Dittmar Lack, Dr. Axel Stäubert, Dr. Heiner Marx, K-UTEC AG Salt Technologies, Sondershausen/Germany