

Mining Engineering Aspects of Underground Waste Utilisation in Saliferous Formations Based on the Mine GTS Grube Teutschenthal

Backfilling of the cavities created by mineral extraction to support the surrounding rock is understood to be an integral part of mining engineering. In contrast to this, underground waste disposal/utilisation is often referred to as a post-mining use of the mine workings, although it requires the same technology and know-how as extraction mining, however with one small decisive difference – the “valuable” materials are not extracted

from the mine, but rather brought into it. This paper discusses the mining operations of GTS Grube Teutschenthal Sicherungs GmbH & Co. KG (GTS), Teutschenthal/Germany, focusing on how mineral waste is sustainably utilised to ensure the long-term stability of the underground mine workings, thus minimising surface subsidence and reducing the risk of sudden rock bursts and induced seismicity.

Bergtechnische Aspekte der untertägigen Abfallverwertung im Salinargebirge am Beispiel der GTS Grube Teutschenthal

Die Verfüllung der durch den Abbau entstandenen Hohlräume zur Stabilisierung des Gebirges wird als integraler Bestandteil des Bergbaus verstanden. Im Gegensatz dazu wird die untertägige Abfallentsorgung/Abfallverwertung oft als eine nachbergbauliche Nutzung der Grubenbaue bezeichnet, obwohl sie die gleiche Technik und das gleiche bergmännische Know-how wie der Gewinnungsbergbau erfordert, allerdings mit einem kleinen entscheidenden Unterschied – die „Wertstoffe“ werden nicht aus der Grube entnommen, sondern in sie eingebracht. In den nach-

folgenden Ausführungen werden die bergtechnischen Betriebs-tätigkeiten der GTS Grube Teutschenthal Sicherungs GmbH & Co. KG (GTS), Teutschenthal, betrachtet, wobei der Schwerpunkt darauf liegt, wie mineralische Abfälle nachhaltig verwertet werden, um die langfristige Stabilität der untertägigen Grubenbaue sicherzustellen und somit Absenkungen sowie die Gefahr von plötzlichen Brucherscheinungen der Grubenbaue mit erdbebenartigen Erschütterungen, sogenannten Gebirgsschlägen, an der Tagesoberfläche zu minimieren.

1 Overview – Utilisation of waste material in underground backfilling

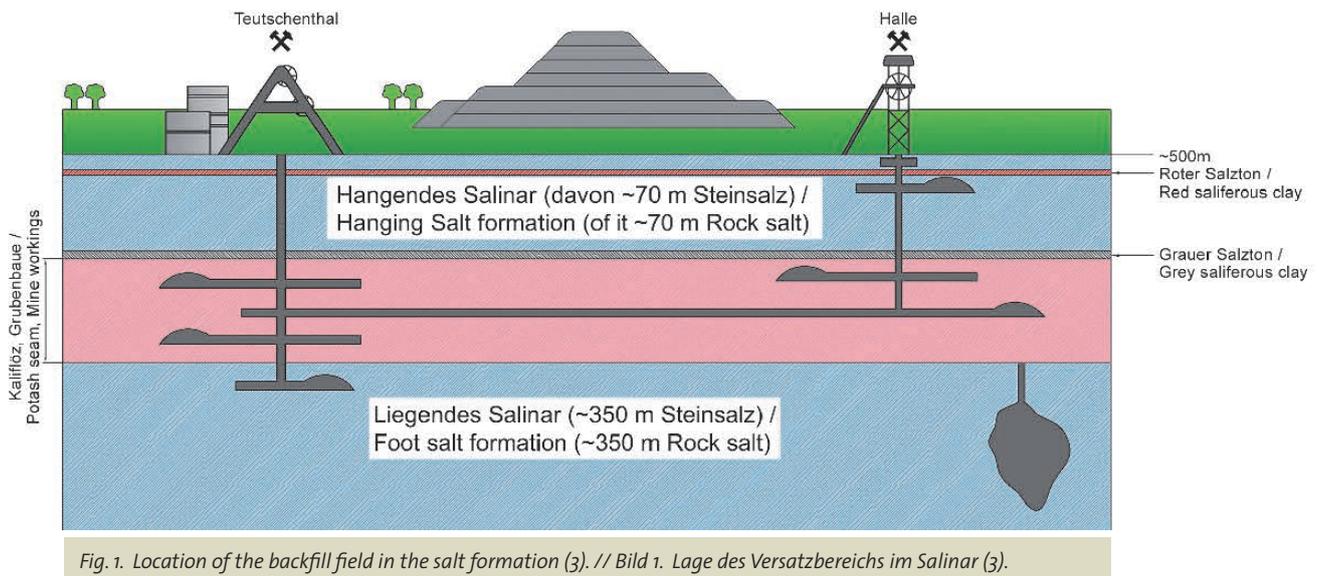
According to German Waste Management laws, waste that cannot be avoided or further reduced is primarily to be reutilised and only then disposed of if no reutilisation options exist. In this regard, special consideration must be given to reutilisation/disposal options that are free of aftercare and also harmless to the biosphere in the long term, e.g., in suitable underground mining facilities. This is especially true for mineral waste and residues from industrial thermal processes (waste incineration – also an element of recycling, and energy production). (1)

The geological barriers of the certain rock formations that enclose the mines located within them ensure complete isolation of the mine workings from the hydrosphere and biosphere, thus preventing pollutant mobilisation from the waste disposed in them over a long period of time. These underground

1 Übersicht – Verwertung bergbaufremder Stoffe unter Tage

Nach dem Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz (KrW-/AbfG) sind nicht vermeidbare oder (weiter) verminderbare Abfälle vorrangig zu verwerten und nur dann zu beseitigen, sofern keine Verwertungsmöglichkeiten bestehen. Dabei sind insbesondere nachsorgefreie und auch langfristig für die Biosphäre unschädliche Beseitigung- bzw. Verwertungsmöglichkeiten, beispielsweise in geeigneten untertägigen bergbaulichen Anlagen, zu berücksichtigen. Dies gilt vor allem für mineralische Abfälle und Rückstände aus industriellen thermischen Prozessen (Müllverbrennung – auch ein Element der Verwertung, und Energieerzeugung). (1)

Die geologischen Barrieren der entsprechenden Gebirgsformationen, die das darin befindliche Bergwerk umschließen, sorgen für eine vollständige Isolierung der Grubenbaue von der Hydro- und Biosphäre, wodurch das Schadstoffmobilisierungspotential der



facilities also offer favourable conditions in terms of resource/space utilisation and synergy potential with existing operational facilities. (2)

Figure 1 shows a simplified geological section through the protective saliferous formations of the Teutschenthal Anticline with the location of the mine workings of the three interconnected mining fields (Teutschenthal, Angersdorf and Salzmünde) of the GTS Grube Teutschenthal Sicherungs GmbH & Co. KG (GTS), Teutschenthal/Germany. Among other things, the geosystem, shown in Figure 1, has two clay layers, which represent good adaptability during tectonic events.

These geological boundary conditions form part of the basis for the Langzeitsicherheitsnachweis (long-term proof of safety) provided by GTS and approved by the German mining authority and thus enable the safe underground utilisation of contaminated waste. The objective of this disposal is essentially to stabilise the rock mass by backfilling the cavities left behind after previous potash and salt mining, thereby counteracting the unfavourable rock mechanical properties of the carnallitic salt rock present in the surrounding rock. This obligation under German mining law to backfill is of significance with regards to the GTS Mine due to the extremely sensitive tachyhydrite-containing deposit rock and the previous under-dimensioning of the extraction pillars per today's standards.

A prerequisite for waste reutilisation with regards to backfilling is, however, the use of suitable waste materials, i.e., mineral wastes that can be effectively used for the long-term stability of the underground cavities due to their physical and chemical properties in accordance with German backfilling regulations.

At present, the GTS, a company of the German Geiger Group, receives waste material in particulate, filter cake, bulk as well as liquid form¹. This backfill material is either delivered directly from the waste-producing or waste treatment plants, e.g., Geiger Mineralstoffbehandlung, pre-conditioned and ready for

dort verwerteten Abfälle langfristig unterbunden wird. Auch im Bereich der Ressourcen-/Flächennutzung sowie des Synergiepotentials mit den bereits bestehenden Betriebseinrichtungen bieten diese untertägigen Anlagen günstige Voraussetzungen. (2)

In Bild 1 ist ein vereinfachter geologischer Schnitt durch das schützende Salinar des Teutschenthaler Sattels mit Lage der Grubenbaue der drei untereinander verbundenen Grubenfelder (Teutschenthal, Angersdorf und Salzmünde) der GTS Grube Teutschenthal Sicherungs GmbH & Co. KG (GTS), Teutschenthal, skizziert. Das in Bild 1 vereinfacht dargestellte Geosystem verfügt u.a. über zwei Tonschichten, die gute Anpassungsfähigkeiten bei tektonischen Ereignissen darstellen.

Diese geologischen Randbedingungen bilden einen Teil der Grundlagen für den Langzeitsicherheitsnachweis, der durch die GTS erbracht sowie durch die Bergbehörde bestätigt wurde und ermöglicht folglich die sichere untertägige Entsorgung schadstoffbelasteter Abfälle. Das Ziel dieser Entsorgung ist grundsätzlich die Stabilisierung des Gebirges durch die Verfüllung der nach dem Kali- und Salzabbau verbliebenen Hohlräume (versatztechnische Abfallverwertung), wodurch den ungünstigen felsmechanischen Eigenschaften des carnallitischen Salzgesteins entgegengewirkt wird. Diese bergrechtlich bestehende Versatzpflicht ist bei der GTS aufgrund des extrem empfindlichen, tachyhydrithaltigen Lagerstättengesteins und der nach heutigen Maßstäben Unterdimensionierung der Abbaupfeiler gegeben.

Voraussetzung für die versatztechnische Abfallverwertung ist allerdings die Nutzung stofflich geeigneter Abfallmaterialien, d.h. mineralische Abfälle, die aufgrund ihrer bauphysikalischen und chemischen Eigenschaften effektiv zur langfristigen Stabilität der untertägigen Hohlräume zum Einsatz kommen können (Versatzverordnung 2002).

Derzeit nimmt die GTS, ein Unternehmen der Geiger Unternehmensgruppe, Abfallmaterial in staubförmiger, filterkuchenartiger, stückiger sowie flüssiger Form entgegen¹. Das Versatz-

¹ The backfill materials are subject to intensive control and quality assurance in accordance with the GTS acceptance conditions for non-mining backfill materials. Particular attention is paid to physical properties and occupational health and safety parameters. Die Versatzbaustoffe unterliegen einer intensiven Kontrolle und Qualitätssicherung entsprechend den Annahmebedingungen der GTS für bergfremde Versatzstoffe. Dabei wird insbesondere auf bauphysikalische Eigenschaften und Parameter für den Arbeits- und Gesundheitsschutz geachtet.

backfilling or processed by GTS itself into a ready-to-use backfill material. Consequently, either in treated in accordance with approved recipes or untreated form as so-called direct backfill, and also depending on the physical properties, the material is conveyed underground as loose bulk material, a liquid suspension² or in big bags (4). This article focuses on the loose bulk materials that dominate the current backfill capacity and form the basis for the so-called drop and push stowing – a dry mechanical backfill technology.

2 Preparatory engineering tasks for backfilling

With the progressing backfill degree of the mining fields Teutschenthal and Angersdorf, the development work sometimes referred to as “dead work” must continuously open up new backfill areas that allow efficient trackless material conveyance and make operation as an underground waste utilisation plant technically feasible.

2.1 Excavation and enlargement activities

During a trial of the backfill operation in the early 1990s, the material was brought in using the compact track haulage system left behind by the decommissioned potash operation. The conveying capacity was about 100 t per shift, which was nowhere near the capacity required for economical operation. In a bid to significantly increase the conveying capacity, extensive enlargement and development work, such as widening of the main haulage drifts and the cavity necks (entry points to the mine cavities) were required, in order to create access cross-sections corresponding to the working height of the trackless large-scale equipment technology, thereby bringing the operation to a modern, high-performance level. (3) At the GTS, mechanical excavation technology with roadheaders is used primarily for these activities and in rare cases, conventional drilling and blasting technology.

Roadheaders (Figure 2) are the most commonly used cutting

material wird entweder direkt von den abfallproduzierenden Betrieben oder Abfallbehandlungsanlagen, z.B. die Geiger Mineralstoffbehandlung, einbaufertig vorkonditioniert vor Ort angeliefert oder über die GTS zu einem einbaufertigen Versatzbaustoff aufbereitet. Folglich wird das Material entweder in behandelter (nach zugelassenen Rezepturen) oder unbehandelte Form als sogenannter Direktversatz, je nach Materialeigenschaften als loses Schüttgut, Suspension² oder in Big Bags nach unter Tage gefördert (4). Dieser Artikel konzentriert sich auf die losen Schüttgüter, welche die derzeitige Versatzkapazität dominieren und die Grundlage für den sogenannten Sturz- und Stopfversatz bilden – eine trockene Vollversatztechnik.

2 Bergtechnische Vorbereitung der Versatzarbeiten

Mit dem Versatzgrad der Grubenfelder Teutschenthal und Angersdorf muss die Aus- und Vorrichtung fortlaufend neue Versatzbereiche erschließen, die eine effiziente gleislose Materialförderung ermöglicht und den Betrieb als untertägige Abfallverwertungsanlage technisch möglich macht.

2.1 Auffahrungs- und Nachrissarbeiten

Bei einer Erprobung des Versatzbetriebs Anfang der 1990er Jahre wurde das Versatzmaterial mit der vom stillgelegten Kalibetrieb hinterlassenen Lokfördertechnik in Kombination mit gleisloser Fördertechnik eingebracht. Die Förderleistung betrug etwa 100 t pro Schicht, was bei Weitem nicht die Kapazität für einen wirtschaftlichen Betrieb darstellte. Um die Förderleistung wesentlich zu erhöhen, waren umfangreiche Aus- und Vorrichtungsarbeiten wie die Profilaufweitung der Hauptförderstrecken sowie der Kammerhalse (Zugänge der Versatzkammern) erforderlich, um Befahrungsschnitte entsprechend der Arbeitshöhe der gleislosen Großgerätetechnik zu erschaffen und somit den Betrieb auf ein modernes, leistungsfähiges Niveau zu heben. (3) Zur Aus- und Vorrichtung kommt in erster Linie die schneidende Gewinnung mit Teilschnittmaschinen (TSM) zum Einsatz, in seltenen Fällen auch Bohr- und Sprengtechnik.

Teilschnittmaschinen (Bild. 2) sind die im Bergbau am häufigsten eingesetzten Schneidkopfmotoren zum Streckenvortrieb, insbesondere für Evaporitgesteine mittlerer Festigkeit. Das Arbeitsprinzip ist simpel – die Fortbewegung zur Ortsbrust erfolgt auf Raupenfahrwerken, die eine optimale Gewichtsverteilung, Manövrierfähigkeit sowie Vorschubkraft ermöglichen. Der am oberen Ende des schwenkbaren Auslegers angebrachte Schneidkopf setzt sich dann in Bewegung und fräst die Ortsbrust sektionsweise ab. Zu den Vorrichtungen zum Abfördern des geschnittenen Materials gehören Ladearme bzw. Frässscheibenlader, ein Kettenkratzförderer und ein schwenkbares Abwurförderband.



Fig. 2. Drift enlargement with a Roadheader AM 50.

Bild 2. Streckennachriss mit einer Teilschnittmaschine AM 50. Photos/Fotos: GTS

² In the period from 2005 to 2021, hydraulic backfill (pumpable, self-hardening suspension) was used.

Im Zeitraum von 2005 bis 2021 wurde Dickstoffversatz (pumpfähige, selbst erhärtende Suspension) betrieben.

head machines in mining for excavation/drift-ing, especially for medium-strength evaporite rock. The working principle is simple – the movement to the working face is based on crawler tracks, which enable optimum weight distribution, manoeuvrability and advance force. The cutting head mounted at the top of the pivoting boom is then set in motion and mills off the face section by section. The equipment used to discharge the cut material includes loading arms, a chain conveyor belt, and a pivoting discharge conveyor belt.

Key application advantages of these machines for the GTS are the increased ground safety and the flexibility in their mode of operation, i.e., easy relocation, as well as the possibility of rapid operational changes in terms of route profile, cross-section size and gradient.

The material discharged via the conveyor belt is then transported from the roadheader to an intermediate stockpile with the help of load, haul, dump machines (LHDs) or dump trucks. These so-called salt cuttings are either stowed as backfill material, used to cover the backfilled body or haulage way maintenance. On a project-related basis, the excavated salt cuttings are sent to an underground screening plant for the preparation of salt grit for internal projects. This extracted salt grit obtained through this is used, e.g., for the production of salt concrete for the safe long-term containment of critical mine workings. Figure 3 summarises the roadheader enlargement/excavation activities.

Ground safety is established concurrently with the development and backfilling activities. The roof is secured by means of systematic bolting in a fixed pattern. If necessary, the bolt insertion density is increased to always guarantee the safety of the crew and equipment. Furthermore, following German mining regulations and for reasons of safety, ergonomics and productivity, the roadheader is equipped with ventilation and dust suppression systems.

2.2 Ventilation and mine climate

As the mine workings evolve in the course of progressive excavation, the increasing degree of backfilling, increasing equipment technology, as well as in preparation for the backfilling of newly developed cavities, the ventilation system is subject to permanent alteration and adaptation.

The ventilation requirements and ventilation systems, e.g., mine fans, brattices, stoppings and seals, of underground waste utilisation operations in the saliferous systems are in many ways similar to those of regular salt extraction mines. Greater consideration is given in backfill mines however, to the gas and dust emissions associated with handling dry backfill material. The requirements for occupational health and safety and compliance with all occupational exposure limits require a complex gas, dust and ventilation measurement programme, which commences as part of the approval process for substances/material to be used. With regards to dust control, fogging and sprinkling systems as well as mobile dust-binding machines are used for dust control at the material handling points, in the tipples and backfill cavities.

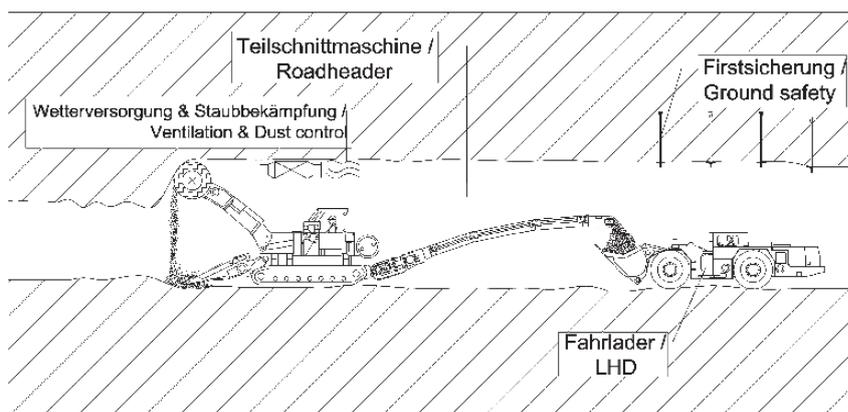


Fig. 3. Sketch summary of the enlargement/excavation activities.

Bild 3. Skizzenhafte Zusammenfassung der Nachrissarbeiten. Source/Quelle: GTS

Wichtige Anwendungsvorteile dieser Maschinen für die GTS sind die erhöhte First- und Stoßsicherheit und die Flexibilität in ihrer Arbeitsweise, d.h. der einfache Standortwechsel, sowie die Möglichkeit der schnellen operationellen Änderung hinsichtlich des Streckenprofils, der Querschnittsgröße und Steigung.

Das über das Förderband abgeworfene Material wird anschließend mit Hilfe von Ladetransportfahrzeugen oder Muldenkippern von der Teilschnittmaschine zu einem Zwischenlager transportiert. Das Schnittsalz wird entweder als Versatzmaterial verstürzt oder bei der Überdeckung des Versatzes sowie zum Fahrbahnbau verwendet. Projektbezogen wird mit dem gewonnenen Schnittsalz eine untertägige Siebanlage zur Salzgrusaufbereitung für interne Projekte beschickt. Der so gewonnene Salzgrus wird beispielsweise für die Herstellung von Salzbeton für die langzeitsichere Verwahrung von kritischen Grubenbauen verwendet. Bild 3 fasst die TSM-Nachrissarbeiten zusammen.

Begleitend zur Vorrichtung und Versatztätigkeit wird die First- und Stoßsicherheit hergestellt. Die Firstsicherung erfolgt durch eine Systemankerung mit Gebirgsankern in einem festgelegten Raster. Bei Bedarf kann die Ankersetzdichte erhöht werden, um die Sicherheit für das Personal und Equipment stets zu gewährleisten. Weiterhin ist die Teilschnittmaschine gemäß den deutschen Bergbauvorschriften und aus Gründen der Sicherheit, Ergonomie und Produktivität mit Belüftungs- und Staubunterdrückungssystemen ausgestattet.

2.2 Wettertechnik und Grubenklima

Mit den Veränderungen im Grubengebäude im Zuge fortschreitender Aus- und Vorrichtung, dem zunehmendem Versatzgrad der erschlossenen Versatzblöcke, zunehmender Gerätetechnik sowie in Vorbereitung der Verfüllung neuer Versatzkammern, ist die Bewetterung einer permanenten Veränderung und Anpassung unterworfen.

Die Bewetterungsanforderungen und wettertechnischen Systeme, wie z.B. Grubenlüfter, Wettertore und Verschlüge, untertägiger Abfallverwertungsbetriebe im Salinargebirge ähneln in vielerlei Hinsicht denen eines Gewinnungsbergwerks. Größere Berücksichtigung findet in Versatzbergwerken die Gas- und Staubbelastung, die mit dem Umgang der Versatzbaustoffe verbunden ist. Die Anforderungen an den Arbeits- und Gesundheitsschutz und die Einhaltung aller Arbeitsplatzgrenzwerte erfordern



Fig. 4. The scaling machine in action underground.
Bild 4. Das Beraubefahrzeug im Einsatz unter Tage. Photo/Foto: GTS

2.3 Inspection, scaling, roof bolting and release of workings for backfilling

The visual and acoustic evaluation of the condition of the mine workings and the consequent establishment of ground safety are integral safety components of the excavation/development as well as backfill cycles. After the cavity-entries have been enlarged to a profile size suitable for the mining equipment, the safety conditions in the working to be backfilled must be inspected, scaled and bolted if necessary and then released for material transport. (5)

Scaling is the mechanical or manual removal of loose-hanging rocks that have become detached from the rock mass and have a tendency to fall suddenly. This mine safety component is paramount at the GTS as the excavation of the mining cavities dates back many decades, as a result of which, due to time-dependent geomechanical stress redistribution processes as well as convergences, areas in the roofs and ribs have deconsolidated and, in some cases, foliations have formed that pose a risk to the safety of personnel and the technology deployed. (5)

In addition to knowledge of the geological composition of the deposit rock and the in-situ rock mechanical stress conditions, the prerequisites for training as an employee authorised to scale at GTS include sound experience in underground mining and knowledge in handling the large-scale equipment used (Figure 4). This actively demonstrates the importance of ensuring and maintaining ground safety in the underground waste utilisation sector, similar to active mining operations.

Subsequently, depending on the geological and rock mechanical conditions and the intended use of the mine working, expansion plug bolts with lengths of 1,425 or 2,400 mm are systematically inserted into the roof. The anchors improve the intrinsic load-bearing capacity of the rock mass by preserving the stratified structure and supporting the formation of a bearing arch. After establishment of the ground safety, the cavity is released for further backfilling (Figure 5). These are described in detail below.

ein komplexes Gas-, Staub- und Wettermessprogramm, welches bereits im Rahmen der Genehmigung von einzusetzenden Stoffen beginnt. Zur Staubbekämpfung stehen an den Materialumschlagpunkten, in den Förderstrecken und Versatzkammern Benebelungs- und Berieselungsanlagen sowie mobile Staubbindemaschinen zur Verfügung.

2.3 Kontrolle, Sicherung und Freigabe der zu versetzenden Grubenbaue

Die visuelle und akustische Zustandsbewertung der Grubenbaue und die daraus folgende Herstellung der First- und Stoßsicherheit sind integrale Sicherheitskomponenten der Erschließungs- sowie Versatzzyklen. Nach dem Nachriss der Kammerhäse auf eine für die Bergbaugeräte geeignete Profilgröße, muss die sicherheitstechnische Situation in den zu versetzenden Hohlräumen kontrolliert, ggf. beraubt, geankert und anschließend für die

Materialförderung freigegeben werden.

Beim Berauben handelt es sich um das maschinelle bzw. manuelle Herunterreißen von Gesteinspartien, die sich aus der Gebirgsmasse gelöst haben und zum plötzlichen Herabfallen neigen. Diese Grubensicherheitskomponente steht bei der GTS im Vordergrund, da die Auffahrung der Abbaukammern bereits viele Jahrzehnte zurückliegt, wodurch sich aufgrund von zeitabhängigen geomechanischen Spannungsumverlagerungsprozessen sowie Konvergenzen Bereiche in Firste und Stößen entfestigt und teilweise Abschaltungen ausgebildet haben, die eine Gefahr für die Sicherheit des Personals und der eingesetzten Technik darstellen. (5)

Zu den Voraussetzungen für die Ausbildung zum beraubeberechtigten Mitarbeiter bei der GTS zählen neben den Kenntnissen der geologischen Beschaffenheit des Lagerstättengesteins und der in-situ gebirgsmechanischen Spannungsbedingungen auch fundierte Erfahrungen im Untertagebergbau und Umgang mit der eingesetzten Großgerätetechnik (Bild 4). Damit wird aktiv demonstriert, wie wichtig die Sicherstellung und Erhaltung der First- und Stoßsicherheit im Bereich der bergtechnischen Abfallverwertung ist, ähnlich wie bei aktiven Gewinnungsbetrieben.

Im Anschluss werden, abhängig von den geologischen und gebirgsmechanischen Verhältnissen und der Nutzungsart des Grubengebäudes, Spreizdübelanker mit Längen von 1.425 mm oder 2.400 mm systematisch in die Firste eingebracht. Die Anker verbessern die Eigentragsfähigkeit des Gebirges, indem der Schichtverband erhalten und die Ausbildung eines Traggewölbes unterstützt wird. Nach Herstellung der First- und Stoßsicherheit wird der Grubenbau für die weiteren versatztechnischen Arbeiten freigegeben (Bild 5). Diese werden konkret im Folgenden aufgezeigt.

3 Versatzverfahren

3.1 Fördertechnik

Die Schachtfördertechnik stellt die wichtigste technologische Infrastruktur der aktiven Rohstoffgewinnung dar, und das ist bei der untertägigen Verwertung in einem Versatzbergwerk nicht

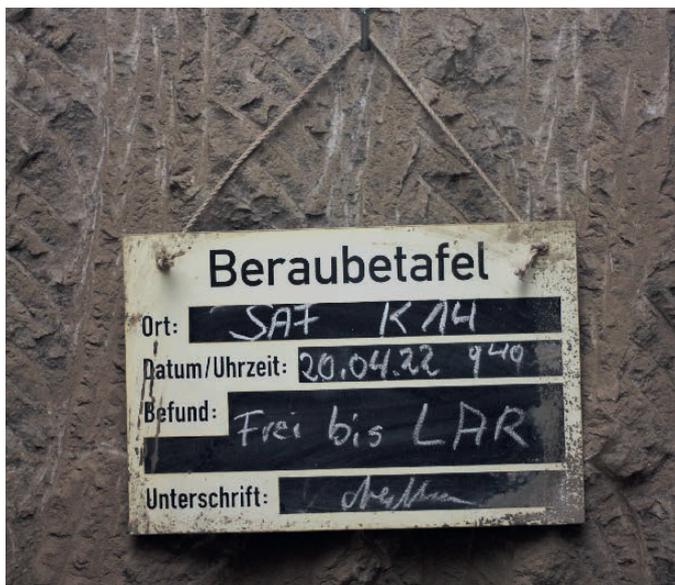


Fig. 5. A scaling board for the release of the backfill cavity.
Bild 5. Eine Beraubetafel zur Freigabe der zu versetzenden Kammer (LAR: Letzte Ankerreihe). Photo/Foto: GTS

3 Backfill method

3.1 Material conveyance technology

Shaft hoisting technology represents the most important technological infrastructure of active raw material extraction and this is no different for underground waste utilisation in backfill mines. The hoisting system in the Teutschenthal shaft, which was reconstructed in 1994 to improve the backfill performance, is driven by a 500 kW DC motor with thyristor control and operates completely automatic. The system supports a payload of 10 t in downward container conveying mode and has a maximum conveying speed of 8.5 m/s. The surface and underground internal container transport for the main conveyor system is carried out by a fully automated roller conveyor technology, which also acts as a buffer between the shaft conveyor system and the underground transport. (3)

As previously mentioned, the GTS receives waste material in various forms, which is then prepared for conveyance underground in treated or untreated form, depending on the material properties. The concept of skip-based bulk material conveyance from the surface to the excavated mine complexes is illustrated in figure 6.

When the backfill material reaches the shaft landing located in the stable Staßfurt rock salt, it is transferred into trucks with sliding-wall dump box and transported to the underground stopes.

anders. Die 1994 zur Verbesserung der Versatzleistung rekonstruierte Förderanlage im Schacht Teutschenthal wird von einem 500 kW Gleichstrommotor mit Thyristorsteuerung angetrieben und arbeitet vollautomatisch. Die Anlage hat 10 t Nutzlast im Containereinhängebetrieb und eine maximale Fördergeschwindigkeit von 8,5 m/s. Der über- und untertägige innerbetriebliche Containertransport für die Hauptförderanlage erfolgt durch eine vollautomatische Rollgangtechnologie, die zugleich als Puffer zwischen Schachtförderanlage und untertägigem Transport fungiert. (3)

Wie bereits erwähnt, nimmt die GTS Abfallmaterial in verschiedenen Formen entgegen, das entsprechend den Stoffeigenschaften in behandelter oder unbehandelter Form zur Förderung nach Untertage bereitgestellt wird. Das Konzept der absetzcontainerbasierten Schüttgutförderung von der Tagesoberfläche bis hin zu den ausgesalzten Abbaukomplexen ist in Bild 6 skizzenhaft dargestellt.

Beim Erreichen des im standfesten Staßfurt-Steinsalz befindlichen Füllorts wird das Versatzmaterial in LKW mit Schubwandmulde umgeschlagen und in die als Hohlräume verbliebenen früheren Abbaukammern transportiert.

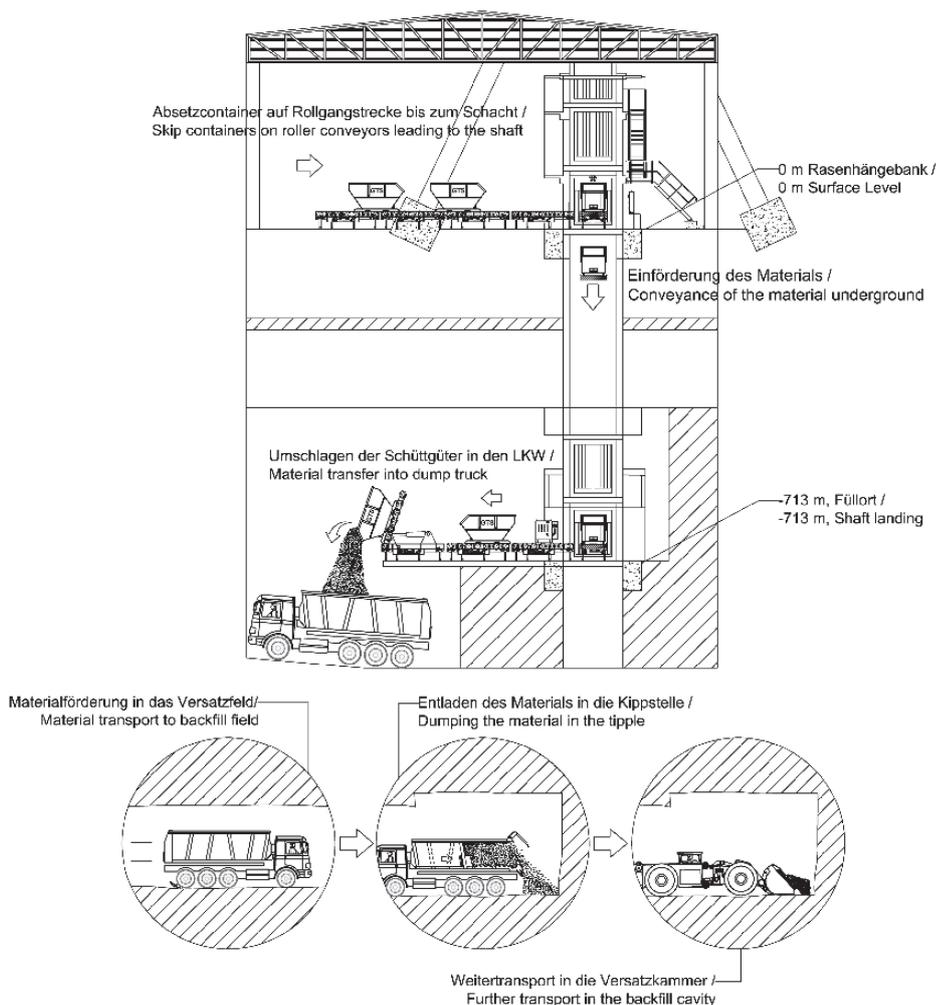
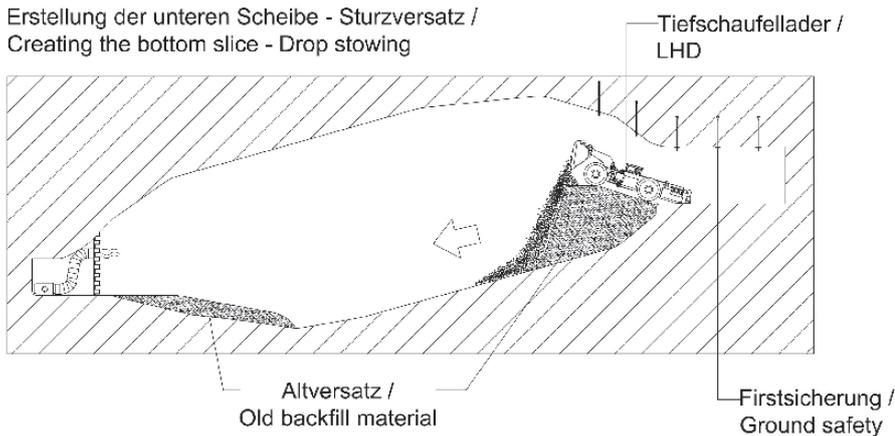


Fig. 6. Schematic illustration of the material conveyance.
Bild 6. Schematische Darstellung der Materialförderung. Source/Quelle: GTS

Erstellung der unteren Scheibe - Sturzversatz /
Creating the bottom slice - Drop stowing



Erstellung der oberen Scheibe - Stopfversatz /
Creating the top slice - Push stowing

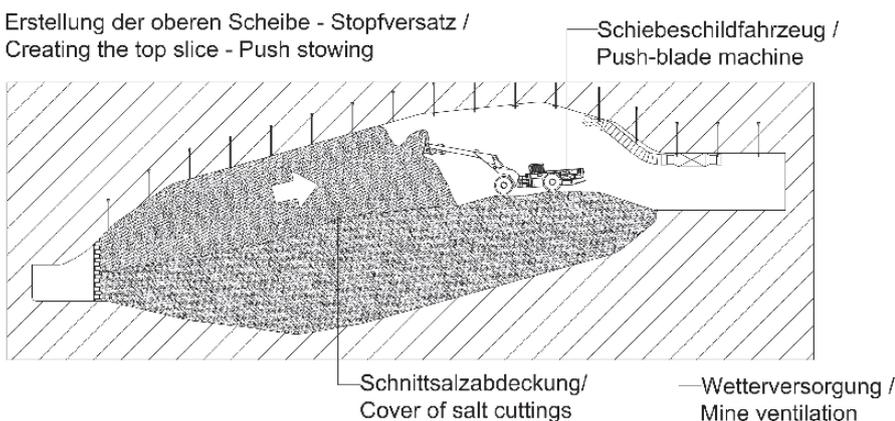


Fig. 7. Schematic depiction of the backfilling process.

Bild 7. Schematische Darstellung des Versatzverfahrens. Source/Quelle: GTS

3.2 Stowing and backfill processes

Considering the quality, quantity and engineering properties of the waste material as well as the extraction method used in the extraction phase, the so-called drop and push stowing backfill method proves to be the most suitable and currently dominant backfill method in the company. This two-stage backfilling process involves the use of gravity and mechanical thrust to compact backfill material. The excavations dip at an angle of about 8 to 9° parallel to the general dip of the deposit rock and have an average height of between 11 and 15 m, occasionally up to 20 m, (3) thus ensuring a greater drop height to the cavity-bottom and thus better compaction of the material. The optimal utilisation of the existing conditions increases the geomechanical load-bearing capacity of the material. Figure 7 shows a schematic representation of the process.

A fundamental prerequisite for placing the material is to check the ground safety in the excavation. As already mentioned, the mine workings to be backfilled are cavities that are decades old, thus requiring a daily check and, if necessary, the establishment of ground safety.

To create the first backfill slice, the backfill material is picked up from the tipple by an LHD (BAT's LTF 10) (Figure 6 bottom right), transported into the backfill cavity and then stowed over the backfill edge (Figure 8). As the material continues to be placed, the resulting embankment or subgrade is gradually advanced all the way to the end of the mine cavity with a vertical difference of approximately 4 m parallel to the excavation roof

3.2 Einbring- und Versatzverfahren

Unter Berücksichtigung der Qualität, der Menge und der bauphysikalischen Eigenschaften des Abfallmaterials sowie der in der Gewinnungsphase angewandten Abbaumethode erweist sich das sogenannte Sturz- und Stopfversatzverfahren als die am besten geeignete und derzeit im Unternehmen dominierende Versatzmethode. Bei diesem zweistufigen Versatzverfahren handelt es sich um die Ausnutzung von Schwerkraft und mechanischer Schubkraft zum verdichteten Einbau von Versatzstoffen. Die Abbaukammern fallen in einem Winkel von etwa 8 bis 9° ein, parallel zum generellen Einfallen der Lagerstätte und haben eine mittlere Höhe zwischen 11 und 15 m, selten bis zu 20 m, (3) sodass eine größere Abwurfhöhe zur Kammer- sohle und damit eine bessere Verdichtung des Materials gewährleistet wird. Die optimale Ausnutzung der vorgefundenen Randbedingungen erhöht die geomechanische Tragfähigkeit des Materials. Bild 7 zeigt eine schematische Darstellung des Vorgangs.

Grundvoraussetzung für das Einbringen des Materials ist die Überprüfung der Firstsicherheit in der Versatzkammer. Wie bereits erwähnt, handelt es sich bei den zu verfüllenden Kammern um Jahrzehnte alte Hohlräume, sodass eine arbeitstägliche Überprüfung und ggf. Firstsicherung erforderlich sind.

Zur Erstellung der ersten Versatzscheibe bzw. der Sturzscheibe wird das Versatzmaterial von einem Ladetransportfahrzeug (BAT LTF 10s) aus der Kippstelle aufgenommen (Bild 6 unten rechts), in die Versatzkammer transportiert und im Anschluss über die Versatzkante verstürzt (Bild 8). Mit dem weiteren Einbau des Materials wird die entstehende Böschung bzw. das entstehende Planum ca. 4 m parallel zur Kammerfirste bis zum Kammerfuß schrittweise vorangetrieben (Bild 7 oben). Durch die großen Abwurfhöhen zur Kammer- sohle und die damit verbundene Fallgeschwindigkeit erzielt der Versatz bereits beim Verstürzen eine gute Selbstverdichtung³ (6). Das häufige Überfahren mit dem Ladetransportfahrzeug verdichtet die untere Scheibe weiterhin, sodass sich überdurchschnittlich gute Festigkeitswerte⁴ im Versatzkörper erzielen lassen. (3)

Mit dem weiteren Einbau des Materials wird auf dem Versatzkörper eine Salzsicht aufgebracht, um Feuchtigkeit zu entziehen und somit eine gute Befahrbarkeit für die Großgeräte zu

³ Aufgrund des erhöhten Risikos der Staubexposition beim Umgang mit diesem Verfahren sind die Fahrerkabinen aller versatztechnischen Fahrzeuge mit SEKA-Filterssystemen und Kabinenluftversorgung versehen.

⁴ Das gebirgsmechanische Tragverhalten des eingebauten Versatzmaterials wird mittels dynamischer Lastplattenversuche regelmäßig in allen Grubenfeldern der GTS geprüft – je nach Versatzfortschritt wurden im Messprogramm 2021 Verdichtungs- werte von 40 bis 170 MPa (dynamischer Verformungsmodul) nachgewiesen.

(Figure 7 top). Due to the large drop heights to the base of the cavity and the associated fall speed, the backfill already achieves good self-compaction when stowed³. (6) The frequent driving-over with the LHDs continues to compact the lower slice, thus allowing above-average material strength⁴ values to be achieved in the backfill body. (3)

As the material continues to be placed, a layer of salt is spread on the backfill body to remove moisture and thus ensure good traction for the large equipment. In addition, the application of a 10 to 20 cm thick salt layer reduces the emission of dusty substances into the mine air.

Alternatively, the material can be discharged directly into the backfill cavity by means of the sliding-wall dump box of the trucks (Figure 6 bottom middle). One advantage of the sliding wall trough is that only a minimal clearance height is required for unloading.

After the lower slice has been produced, the upper slice is backfilled flush with the excavation roof. With the help of a push-blade machine constructed on the basis of a scaling machine, the deposited backfill material is pushed until right beneath the roof with an adjustable pressing element (Figure 7 bottom, Figure 9). (3) Due to the high vehicular mass and the thrust generated by the engine, the backfill material is compacted extremely well, and a near-complete backfill is realised in the excavation cavity.

For the construction of the backfill cavity closure to separate the material from the other pit areas, salt cuttings or masonry are used exclusively.

4 Other relevant mining-related facilities

4.1 Maintenance of the heavy-duty machinery

Work in underground waste utilisation is characterised by the use of high-performance large-scale equipment technology (Figures 2, 4, 8, 9) – an indispensable prerequisite for stowing thousands of tonnes of backfill material year after year. Normally, repair and maintenance work on these vehicles is carried out in the underground workshop, as transporting them above ground would be time-consuming and cost-intensive. However, if the situation requires it, the parts to be repaired must first be disassembled to the correct size and weight according to the size of the pit cage and the maximum payload of the shaft hoisting system before transport to the surface can be possible.

³ Due to the increased risk of dust exposure when using this method, the operator's cabs of all backfilling vehicles are equipped with SEKA filter systems and cabin air conditioning.

⁴ The rock mechanical load-bearing behaviour of the backfill material installed is regularly tested by means of dynamic load plate tests in all mining fields of the GTS – subject to backfill progress, compaction values of 40 to 170 MPa (dynamic deformation modulus) were verified in the 2021 measurement programme.



Fig. 8. LHD (LTF 10) driving a full shovel into the backfill cavity.

Bild 8. Ladetransportfahrzeug LTF 10 mit voller Schaufel fährt in die Versatzkammer. Photo/Foto: GTS

gewährleisten. Außerdem verringert das Aufbringen einer 10 bis 20 cm starken Salzsicht die Emission von staubförmigen Stoffen in die Grubenwetter.

Alternativ lässt sich das Material mittels der Schubwandmulde der LKW direkt in die Versatzkammer entladen (Bild 6 unten Mitte). Ein Vorteil der Schubwandmulde besteht darin, dass zum Entladen nur eine geringe freie Höhe benötigt wird.

Nach Herstellung der unteren Scheibe wird die obere Scheibe firstbündig verfüllt. Mit Hilfe eines auf Basis einer Beraubemaschine konstruierten Schiebeschilffahrzeugs wird das abgelegte Versatzmaterial mit dem verstellbaren Schiebelelement bis unter die Firste gedrückt (Bild 7 unten, Bild 9). (3) Durch die hohe Eigenmasse und die vom Fahrzeug erzeugte Schubkraft wird das Versatzmaterial sehr gut verdichtet und ein annähernder Vollversatz in der ehemaligen Abbaukammer realisiert.

Für die Errichtung des Kammerverschlusses zur Abtrennung des Materials von den übrigen Grubenbereichen werden ausschließlich Schnitzsalz oder Mauerwerk verwendet.



Fig. 9. A push-blade machine.

Bild 9. Ein Schiebeschilffahrzeug. Photo/Foto: GTS

4.2 Mine rescue service

In German mining law and in accordance with the criteria of the Mine Rescue Service Directive, no distinction is made between underground mining operations and underground waste utilisation plants with regard to the formation of or connection to an operational mine rescue service. This is due to the similar hazard potential that can emanate from fires, gases and fumes. The core components of the rescue centre at the Teutschenthal site are the mine rescue teams, which, in addition to comprehensive local knowledge of the operation, possess the know-how of the necessary measures to rescue members of the workforce caught in dangerous situations. Essential equipment for the emergency services includes emergency rescue vehicles, breathing apparatus, mobile firefighting systems, wireless and wired communications, dam construction materials and rescue cages.

5 Conclusion

As is evident from the preceding chapters, the fundamental peculiarities of underground mining are equally characteristic of underground waste utilisation – both require similar excavation and conveyance technology, extensive occupational health and safety measures, as well as mining expertise. In this sense, all the underground miners of the GTS deserve a special “Glückauf” (a traditional German miners’ greeting) as they head into the mine to make an important contribution to safety and environmental protection in the region (Figure 10).



Fig. 10. At the shaft landing, St. Barbara, patron saint of miners, is honoured with a statue. // Bild 10. Am Füllort wird die heilige Barbara, Schutzpatronin der Bergleute, mit einer Figur gewürdigt. Photo/Foto: GTS

References / Quellenverzeichnis

- (1) Thomé-Kozmiensky, K. J. (2011): Planung und Umweltrecht. Band 5, Verlag Karl Thomé-Kozmiensky.
- (2) Schmidt, H.-D.; Lack, D. (2014): Aufbereitung von Filterstäuben für den Untertageversatz.
- (3) Grube Teutschenthal Sicherungs GmbH & Co. KG (2005): Grube Teutschenthal – 100 Jahre Kali- und Versatzbergbau. Grube Teutschenthal Sicherungs GmbH & Co. KG.
- (4) Schmidt, H.-D.; Mänz, K. (2013): GTS Grube Teutschenthal Sicherungs GmbH & Co. KG.
- (5) Interne Unterlagen, Fotoarchiv der GTS, 1995–2022.
- (6) Langefeld, O. (2018): Tiefbau I & II. Institut für Bergbau, TU Clausthal.

4 Sonstige relevante bergtechnische Einrichtungen

4.1 Instandhaltung der Großmaschinen

Die Arbeit in der untertägigen Abfallverwertung zeichnet sich durch den Einsatz von leistungsfähiger Großgerätetechnik aus (Bilder 2, 4, 8, 9) – eine unabdingbare Voraussetzung, um Jahr für Jahr Tausende von Tonnen Versatzmaterial einbauen zu können. In der Regel erfolgen Reparatur- und Wartungsarbeiten an diesen Fahrzeugen in der unter Tage eingerichteten Werkstatt, da der Transport nach Übertage zeitaufwendig und kostenintensiv wäre. Wenn es aber die Situation erfordert, müssen die zu reparierenden Teile zunächst auf die richtige Größe und das richtige Gewicht entsprechend der Größe des Förderkorbs und der maximalen Nutzlast der Schachtförderanlage zerlegt werden, bevor ein Transport nach Übertage möglich wird.

4.2 Grubenrettungswesen

Im deutschen Bergrecht wird hinsichtlich der Bildung bzw. des Anschlusses zu einer einsatzfähigen Grubenwehr nach den Kriterien der Richtlinie für das Grubenrettungswesen keine Unterscheidung zwischen untertägigen Gewinnungsbetrieben und Abfallverwertungsanlagen getroffen. Dies ist auf das ähnliche Gefährdungspotential zurückzuführen, das von Bränden, Gasen und Dämpfen ausgehen kann. Hauptbestandteile der Rettungsstelle am Standort Teutschenthal sind die Grubenwehrtruppe, die neben der umfassenden Ortskunde des Betriebs über das Know-how der notwendigen Maßnahmen zur Rettung von in Gefahrensituationen geratenen Belegschaftsmitgliedern verfügen. Zu den für die Einsatzkräfte wesentlichen Ausrüstungsgegenständen gehören Einsatzfahrzeuge, Regenerationsgeräte, mobile Feuerlöschsysteme, drahtlose und drahtgebundene Kommunikationsmittel, Dammbaumaterialien sowie Rettungskörbe.

5 Fazit

Wie aus den vorangegangenen Kapiteln ersichtlich, sind die grundlegenden Besonderheiten des Bergbaus ebenso für die untertägige Abfallverwertung charakteristisch – beide erfordern ähnliche Auffahrungs- und Fördertechniken, umfangreiche Maßnahmen zum Arbeits- und Gesundheitsschutz sowie Bergbaukompetenz. In diesem Sinne gebührt allen Bergleuten der GTS ein besonderes Glückauf als sie in das Bergwerk einfahren, um zur Bergsicherung und zum Umweltschutz in der Region einen wichtigen Beitrag zu leisten (Bild 10).

Authors / Autoren

Yusuf Jinadu M. Sc., Mine Foreman, Dipl.-Ing. Lucas Kempe, Mine Operations Manager, GTS Grube Teutschenthal Sicherungs GmbH & Co. KG, Teutschenthal