

The Use of Geosynthetics in Mining Works

The use of geosynthetics in mining operations grows annually, as mining companies focus on the technical and economic advantages of geosynthetics. These polymeric materials enable more efficient barriers, stronger access roads, space-saving and safety-enhancing retaining structures and much more. This paper presents a summary of geosynthetics in mining works, with a particular emphasis on heap leach pads, tailings management,

evaporation ponds and mine closure activities. The benefits of geosynthetics for other applications, such as steeper dams, are also discussed. And most important, the water situation should always be taken into consideration, because quite often we have to operate in a water scarce environment and this reflects the importance of maintaining aquatic ecosystems in a healthy functioning condition.

Die Verwendung von Geokunststoffen im Bergbau

Der Einsatz von Geokunststoffen im Bergbau wächst jährlich, da Bergbauunternehmen zunehmend auf die technischen und wirtschaftlichen Vorteile von Geokunststoffen aufmerksam werden. Diese Werkstoffe ermöglichen effiziente Abdichtungen, sichere Zufahrtstraßen, platzsparende und stabile Böschungen und vieles mehr. Dieser Beitrag stellt eine Zusammenfassung der Einsatzmöglichkeiten von Geokunststoffen bei Bergbauaktivitäten vor. Er zeigt die konstruktiven und betriebsbedingten Anfor-

derungen an die einzelnen Komponenten bei Haufenauslaugungen und Aufbereitungsrückständen sowie kurz und knapp für andere Anwendungen, wie z.B. bei Verdunstungsbecken, Stilllegungen, Zufahrtstraßen oder steilen Dämmen. Der Wassersituation sollte dabei immer größte Bedeutung beigemessen werden, da die operative Tätigkeit oft in einer wasserarmen Umgebung stattfindet und die Erhaltung aquatischer Ökosysteme höchste Priorität hat.

1 Introduction

The daily mining rates, scale of single-site operations and costs associated with mining increase every year. Advances in extraction technologies have greatly increased recovery rates from ore bodies. Mine designs previously thought to be too big to be possible are achieved every year or two so that an average mine today is significantly larger than an average mine just ten years ago (1).

To construct on this scale, which is often necessitated by marketplace price points and competition for investor support, requires substantial engineering to make mines economically feasible and environmentally sound. Geosynthetic materials are one part of how mining companies achieve their goals. Up to 40% of the world's annual production of geomembranes are used by the mining industry (2), and for good reason. Heap leaching has grown substantially as a technique for extracting valuable material from ore. Ore heaps of 200 m are being constructed. Mountaintop and "valley leach" designs are implemented. Geosynthetic lining systems contain the pregnant solution so that it is not lost in seepage into soils and does not flow into local waterways. Gold, copper, nickel, uranium, and even rare earths are being heap leached. Geosynthetics contain the valuable reserves and isolate the waste (the tailings), thus providing economic and environmental advantages to the site. "Raincoat" liners keep stormwater out of ore heaps so that the pregnant solution is not diluted (Figure 1). Processing is more efficient this way. Also, geosynthetic lining systems protect

1 Einleitung

Die täglichen Abbauraten, die Größe der Einzelstandorte und die mit dem Bergbau verbundenen Kosten steigen jedes Jahr. Fortschritte bei Extraktionstechnologien haben die Rückgewinnungsraten von Erzkörpern stark erhöht. Bergwerksstandorte, die früher als zu groß angesehen wurden, werden jedes Jahr umfangreicher, sodass ein durchschnittliches Bergwerk heute deutlich größer ist als vor zehn Jahren (1).

Um in dieser Größenordnung zu bauen, was oft durch die Marktpreisentwicklung und die Wettbewerbssituation erforderlich ist, ist ein umfangreiches Engineering erforderlich, um Bergwerke wirtschaftlich und umweltverträglich zu machen. Geosynthetische Materialien tragen dazu bei, diese Ziele zu erreichen. Bis zu 40% der jährlichen Produktion von Kunststoffdichtungsbahnen in der Welt werden von der Bergbauindustrie genutzt (2) und das aus gutem Grund. Das Auslaugen von Haufen ist eine Technik zum Extrahieren von wertvollem Material aus Erz, Erzhaufen von bis zu 200 m Höhe werden gebaut. „Mountaintop“ und „Valley Leach“ Designs sind implementiert. Geokunststoffe halten die wertvollen Reserven zurück und isolieren die Abfälle (die Abraumhalden), bieten somit wirtschaftliche und ökologische Vorteile für den Standort. Gold, Kupfer, Nickel, Uran und sogar Seltene Erden werden ausgelaugt. Raincoat-Liner halten Regenwasser aus Erzhalten zurück, sodass die werthaltige Lösung nicht verdünnt wird (Bild 1). Auf diese Weise ist die Verarbeitung effizienter. Da die Wasserkosten in

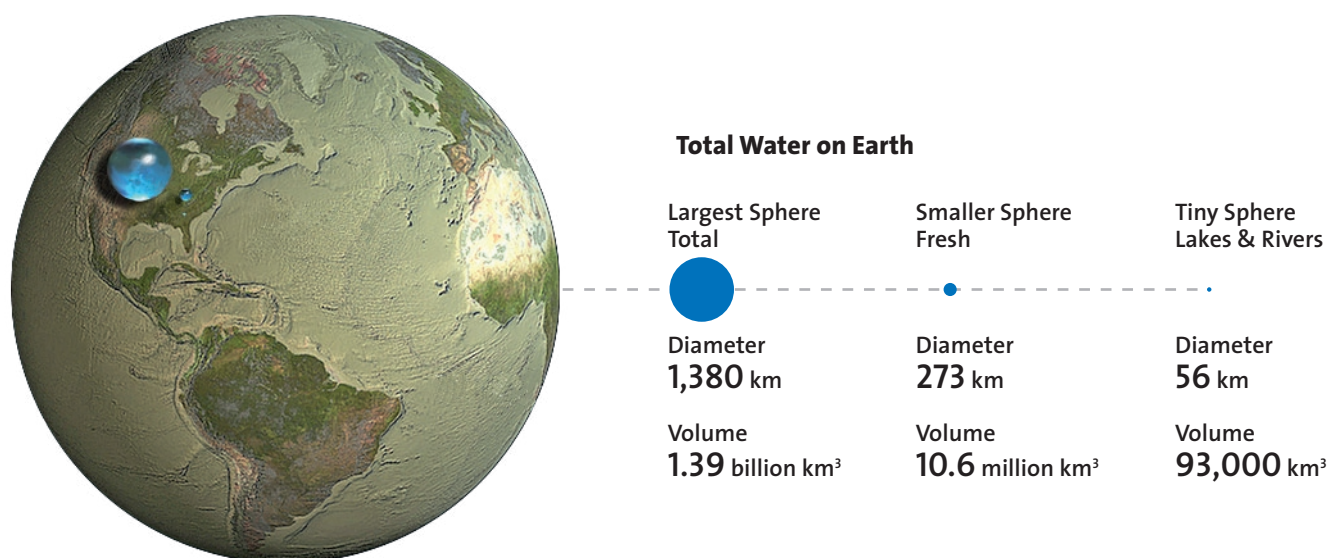


Fig. 1. The US Geological Survey (USGS) has created an infographic that concentrates all of the planet's fresh water in one (tiny) area (3, 4).
Bild 1. Der geologische Dienst der USA (USGS) hat eine Infografik zur Süßwassersituation auf unserem Planeten erstellt (3, 4).

water resources on site. With water costs in some regions having increased by 300% in the past five years, conserving water on remote mining operations significantly reduces expenses (1).

Containment is not the only solution needed to keep mining operations competitive and viable. A vast range of geotechnical works is required for operational performance and environmental security. Geogrid reinforcement stabilises berms, embankments, crusher walls, and other soil structures. They support access roads so that 100 t payloads can pass daily for years on site without costly roadway failures. A mine can lose millions of US-dollars per day if an access road fails. Geotextiles provide separation of granular layers, filter stability in geotechnical constructions, and protection of other geosynthetics. In combination, these materials improve the recovery of valuable materials, isolate contaminated waste, keep sites open and make closure a more efficient and less costly endeavour. Geosynthetic solutions for the mining industry are engineered for long-term performance in all environments and with the chemical compatibility necessary to meet the economic and environmental goals of today's mining operations.

2 Applications

2.1 Heap leach

Without question, heap leach has become an enormous driver to the growth of mining operations around the world. 25 years ago, only about 3% of copper and gold supplies were produced through heap leaching. Today, the volume is surpassing 30% annually (1). Valuable chalcocopyrite copper, previously not considered economical in heap leach development, is now heap leached, as is nickel laterite, uranium, and rare earths. The growth of heap leaching is heavily tied to the massive scale on which mines are being built, with as much as 2 bn US\$ being invested in single sites. Heap leach stacks can near 200 m as operations look to more quickly prove site yield. Heap leaching accomplishes this – but only with the containment support of geosynthetics. Geomembranes and geosynthetic clay liners (GCLs) are used in lining system solutions as heap leach pad liners, pregnant solution trench liners, process-

einigen Regionen in den letzten fünf Jahren um 300% gestiegen sind, führt diese Wassererhaltung in abgelegenen Bergbaubetrieben zu einer erheblichen Kostenreduzierung (1).

Eindämmung ist nicht die einzige Lösung, die erforderlich ist, um den Bergbaubetrieb wettbewerbsfähig und rentabel zu halten. Für die Betriebsleistung und die Umweltsicherheit sind eine Vielzahl von geotechnischen Arbeiten erforderlich. Geogitterbewehrung stabilisiert Bermen, Dämme und andere Bodenstrukturen. Sie unterstützt Zufahrtstraßen, sodass Fahrzeuge mit 100 t Nutzlast jahrelang vor Ort ohne teure Fahrbahnausfälle täglich passieren können. Geotextilien ermöglichen die Trennung von körnigen Schichten, die Filterstabilität in geotechnischen Konstruktionen und den Schutz anderer Geokunststoffe. In Kombination verbessern diese Materialien die Wiedergewinnung von wertvollen Stoffen, isolieren kontaminierten Abfall, halten Standorte offen und machen die Schließung zu einem effizienteren und weniger kostspieligen Unterfangen. Für die Bergbauindustrie werden deswegen langfristige und nachhaltige, geosynthetische Lösungen entwickelt, um die wirtschaftlichen und ökologischen Ziele der heutigen Bergbaubetriebe zu erreichen.

2 Anwendungen

2.1 Haufenauslaugungen

Ohne Frage ist die Haufenauslaugung zu einem enormen Wachstumstreiber für die Bergbauaktivitäten auf der ganzen Welt geworden. Vor 25 Jahren wurden nur etwa 3% der Kupfer- und Goldvorräte durch Haufenauslaugung erzeugt. Heute übersteigt das Volumen jährlich 30% (1). Wertvolles Chalkopyrit-Kupfer, das bisher in der Haufenauslaugungsentwicklung nicht als wirtschaftlich angesehen wurde, wird nun, ebenso wie Nickel-Laterit, Uran und Seltene Erden, ausgewaschen. Das Wachstum der Haufenauslaugung hängt stark von der Größe des Bergwerks ab, wobei bis zu 2 Mrd. US-\$ in einzelne Standorte investiert werden. Zur Abdichtung werden Kunststoffdichtungsbahnen und geosynthetische Tondichtungsbahnen (GCLs) bei Auskleidungssystemlösungen und beim Abwassermanagement verwendet.

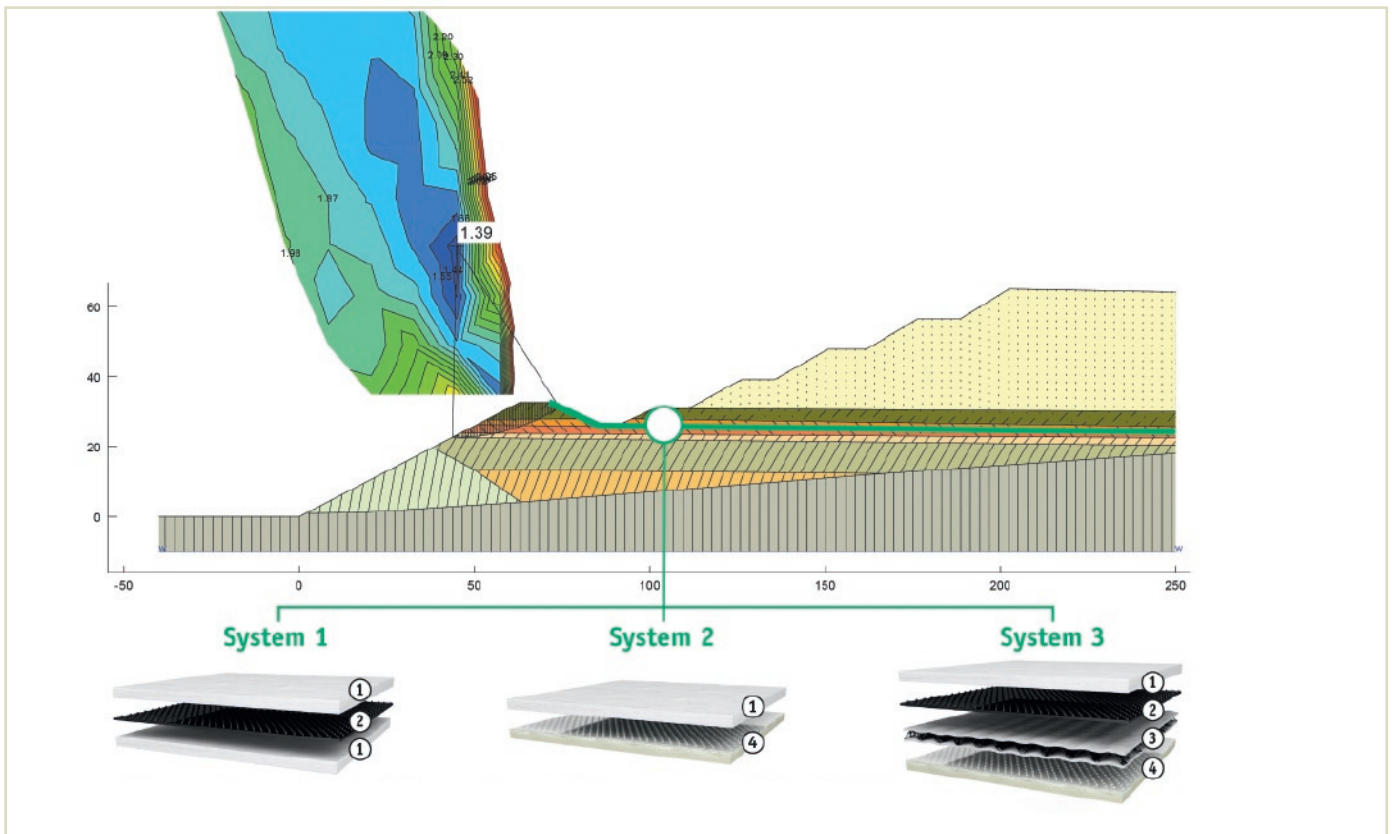


Fig. 2. Heap leach pad with four possible lining systems:
 1 nonwoven, 2 geomembrane,
 3 geosynthetic drainage mat,
 4 geosynthetic clay liner.

Bild 2. Vier mögliche Lösungen für ein Abdichtungssystem:
 1 Vliesstoffe, 2 Kunststoffdichtungsbahnen,
 3 geosynthetische Drainagematten,
 4 geosynthetische Tondichtungsbahnen.

ing pits, onsite water storage, “raincoat” covers over ore stacks to shed stormwater – rather than dilute the leach heap solution – and onsite wastewater management.

Geosynthetic lining solutions enable steep slope (including mountaintop) developments (Figure 2). Pregnant solution flows more easily from heaped ore, and valuable material is not lost in seepage into soils or local waters. Onsite water is managed more efficiently, which also improves site costs, as water and wastewater management is a major cost in mining. High-density polyethylene (HDPE) geomembranes feature exceptional chemical, stress crack and UV resistance. They have the durability and chemical compatibility to withstand aggressive mining heap leach solutions in stacks and solution trenches. Available texturing can enhance the frictional characteristics necessary for lining system slope stability. And for onsite water management and processing fluid containment, geomembranes are an economical and efficient solution. Geomembranes are not all that mining sites require. Nonwoven geotextiles provide long-term, robust protection of and frictional stability for geomembranes on difficult terrain and in tall ore stack scenarios. Additionally, composite lining solutions (geomembranes with geosynthetic clay liners, GCLs) provide dependable, efficient, long-term lining performance for improved heap leach economics and environmental performance in nearly all mining operations.

2.2 Tailings management

After an ore’s valuable deposit is extracted, what remains is

Geosynthetische Auskleidungslösungen (Bild 2) ermöglichen die Entwicklung von steilen Neigungen. Die werthaltige Lösung fließt leichter vom Erzhaufen ab und das wertvolle Material geht dann nicht als Sickerwasser in Böden oder lokalen Gewässern verloren. Vor-Ort-Wasser wird effizienter bewirtschaftet, da die Wasser- und Abwasserbewirtschaftung im Bergbau eine große Belastung darstellt. Kunststoffdichtungsbahnen aus Polyethylen (HDPE) zeichnen sich durch außergewöhnliche Chemikalien-, Spannungsriss- und UV-Beständigkeit aus. Sie haben die Beständigkeit und chemische Kompatibilität, um aggressiven Bergbaulösungen in Haufen und Lösungsgräben zu widerstehen. Die verfügbare Oberflächenbeschaffenheit der Kunststoffdichtungsbahnen kann die Reibungseigenschaften verbessern, die für die Stabilität des Auskleidungssystems erforderlich sind. Kunststoffdichtungsbahnen sind jedoch nicht alles, was Bergbaustandorte benötigen. Geotextilien bieten einen langfristigen, robusten Schutz und eine hohe Reibungsstabilität für Kunststoffdichtungsbahnen in schwierigem Gelände und bei hohen Haldenszenarien. Darüber hinaus können im Einzelfall Doppeldichtungslösungen (Kunststoffdichtungsbahnen mit geosynthetischen Tonauskleidungen, GCLs) eine noch effizientere und langfristige Abdichtungsleistung in nahezu allen Bergbaubetrieben bieten.

2.2 Aufbereitungsrückstände

Nachdem der Wertstoff eines Erzes gewonnen wurde, ist der Rest Abraum. Oft handelt es sich um einen hohen Prozentsatz des

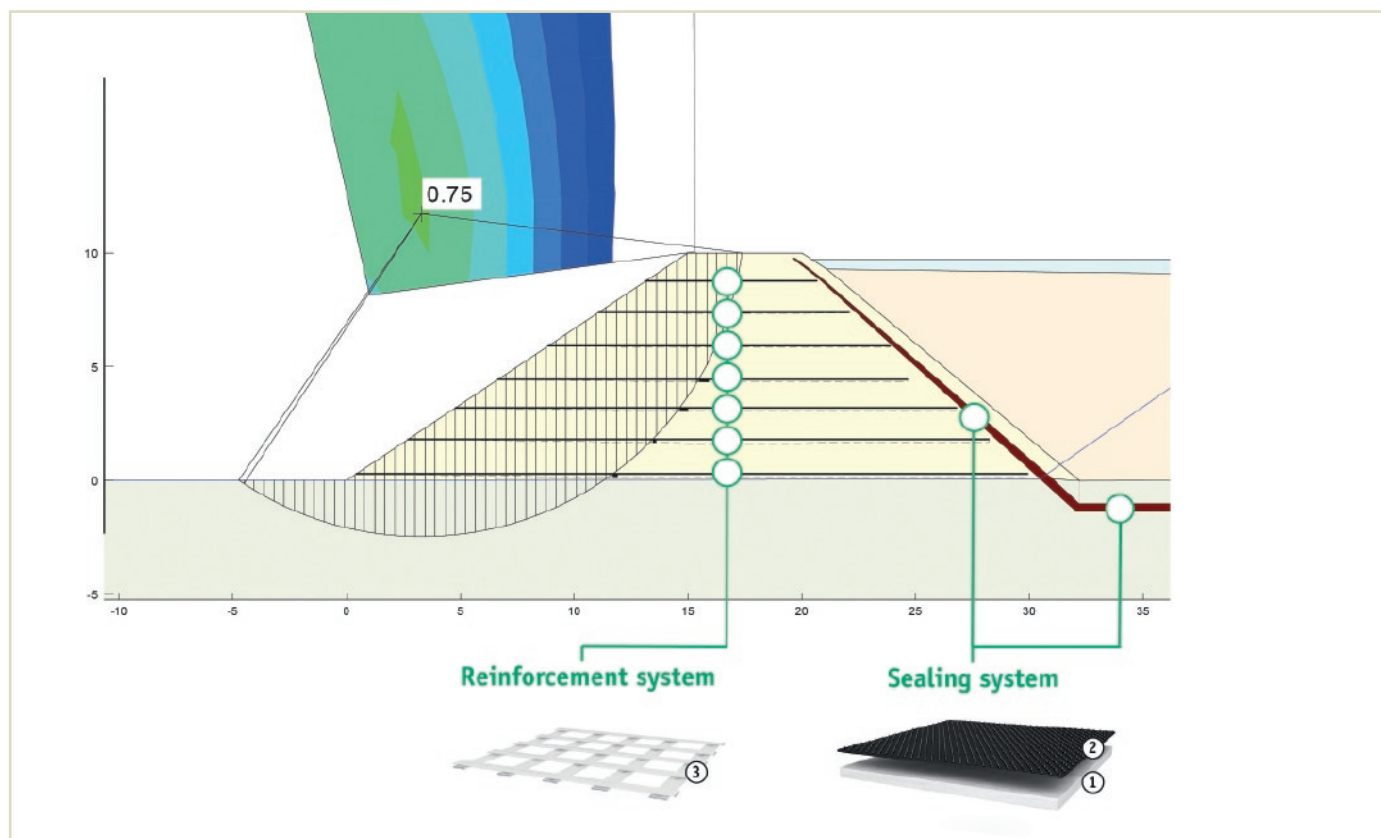


Fig. 3. Tailings pond with base liner and geogrid reinforced side dams:
1 nonwoven, 2 geomembrane, 3 geogrid,
4 geosynthetic clay liner.

Bild 3. Abdichtungssystem mit Geokunststoffen:
1 Vliesstoffe, 2 Kunststoffdichtungsbahn,
3 Geogitter, 4 geosynthetische Tondichtungsbahnen.

waste. Often, it is a high percentage of the ore handled at the mine. Potentially contaminated from the extraction process or containing environmentally harmful components, tailings must be isolated to prevent long-term environmental damage. Design engineers working on mines must allot significant space for proper containment of tailings. All or much of this area must be sealed with an impermeable geosynthetic, e.g., geomembrane, or composite lining system, e.g., geomembrane/geosynthetic clay liner (Figure 3). These sealing systems might protect the base and walls of an impoundment. Often, the surface of the tailings will be covered by a geosynthetic system after cell or mine closure. As mine sites increase in size, the engineering needed to properly contain the volume of tailings has intensified. This scaling up of containment frequently requires not just lining systems but reinforcement and sealing systems for perimeter berms on tailings pond. Weaker, earthen-only berms are at risk of saturation, erosion and failure. Furthermore, the increasing depth of tailings storage ponds requires stronger containment engineering design. The geosynthetics used must be durable and proven in aggressive environments over the long term. The depth of a tailings pond might exceed e.g. 50 m. In these cases, the contaminated, generally sludgy waste is too deep and hazardous for the lining and reinforcement system to be monitored. With the environmental security of the site relying on these environmental protection systems, the geosynthetics selected must be trusted. Here, geosynthetic solutions include HDPE geomem-

geförderten Erzes. Potentiell durch den Extraktionsprozess kontaminiert oder mit umweltschädlichen Bestandteilen behaftet, müssen Aufbereitungsrückstände isoliert werden, um langfristige Umweltschäden zu vermeiden. Die Ingenieure der Bergwerke müssen dabei viel Platz für die ordnungsgemäße Rückhaltung von Abraum vorsehen. Der gesamte oder ein großer Teil dieses Bereichs muss mit einem undurchlässigen geosynthetischen, z.B. Kunststoffdichtungsbahn, oder Verbundsystem, z.B. Kunststoffdichtungsbahn/geosynthetische Tonauskleidung, abgedichtet werden (Bild 3). Diese Abdichtungssysteme schützen üblicherweise die Basis und die Böschungen. Häufig wird auch die Oberfläche der Abraumhalden nach dem Schließen des Bergwerks mit einem geosynthetischen System bedeckt. Im Gesamtzusammenhang gesehen sind jedoch nicht nur Abdichtungssysteme erforderlich, sondern auch Bewehrungssysteme für Randbermen auf dem Absetzteil. Reine Erdbermen sind häufig von Sättigung, Erosion und Versagen bedroht. Die verwendeten Geokunststoffe müssen dabei generell in aggressiven Umgebungen langfristig funktionsfähig sein. Geosynthetische Lösungen umfassen hier Kunststoffdichtungsbahnen, geosynthetische Tondichtungen, Verbundsysteme, Geotextilien und Geogitterbewehrungen.

2.3 Verdunstungsbecken, Grubenschließung und andere geotechnische Strukturen

Die Verdunstung wird in einer Vielzahl von Bergbaubetrieben genutzt, um wertvolle Materialien von Wasser oder Solen zu

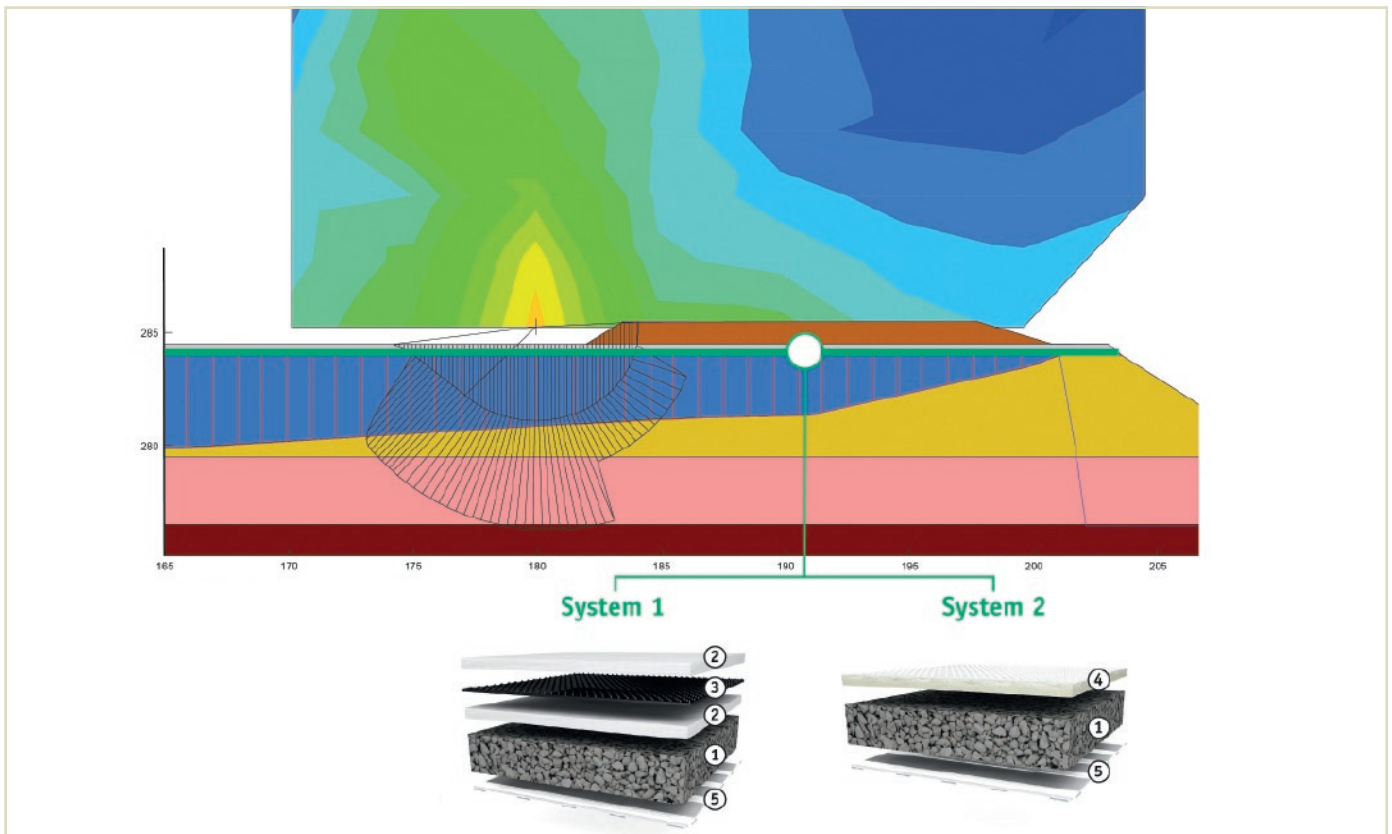


Fig. 4. Tailings pond cover with two different capping solutions: 1 gravel, 2 nonwoven, 3 geomembrane, 4 geosynthetic clay liner, 5 geogrid.

Bild 4. Oberflächenlösung mit Geokunststoffen. 1 Kies, 2 Vliesstoff, 3 Kunststoffdichtungsbahn, 4 Geosynthetische Tondichtungsbahn, 5 Geogitter.

branes, GCLs, geomembrane-GCL composite systems, nonwoven geotextiles and geogrid reinforcement.

2.3 Evaporation ponds, mine closure and other geotechnical structures

Evaporation is used in a variety of mining operations to separate valuable materials from water or brines. Diverse salts, e.g., can be extracted by evaporation. Lithium-rich brines may be concentrated through evaporation. These materials, when harvested from solar ponds, are then able to be refined into items used across a wide variety of industries, in agriculture, in food products, etc. For sites where remediation or isolation of a contaminant is a goal, the act of evaporation in an engineered pond can also be an effective solution, especially in the case of contaminated sediments. The evaporation process generally requires a significant scale to be more efficient and economical. Geosynthetic lining solutions are used to prevent the loss of valuable materials in seepage. They also provide strong environmental protection. The potentially aggressive nature of the material being mined by evaporation demands environmental care, especially with the concentrated masses that the evaporation process yields. In many situations, pregnant solutions are pumped into the engineered pond for multiple cycles until the pond has been filled with a sizable enough harvest to economically justify collecting it. The system will likely be exposed to both the material of interest and difficult environmental conditions for a considerable period of time

trennen. Verschiedene Salze können z.B. durch Verdampfen extrahiert werden. Lithiumreiche Solen können durch Verdampfung konzentriert werden. Diese „Rückstände“ werden dann weiterhin veredelt, um sie in einer Vielzahl von Industrien, in der Landwirtschaft, in Lebensmittelprodukten usw. zu verwenden. Die Verdampfung in einem Becken kann auch insbesondere im Fall kontaminierter Sedimente eine effektive Lösung darstellen. Der Verdampfungsprozess erfordert im Allgemeinen einen signifikanten Umfang, um wirtschaftlich zu sein. Geosynthetische Abdichtungssysteme werden eingesetzt, um den Verlust von wertvollen Materialien durch Versickern zu verhindern. Natürlich liefern sie auch einen Beitrag zum Umweltschutz, denn die „Rückstände“, die durch Verdampfung gewonnen werden, sind potentiell aggressiv und liegen oft in hochkonzentriertem Zustand vor. In vielen Situationen werden werthaltige Lösungen in mehreren Zyklen in den künstlichen Teich gepumpt, bis das Becken ausreichend mit Werthaltigem gefüllt ist, um das Gewinnen wirtschaftlich zu rechtfertigen. Langfristige Effizienz des Abdichtungssystems ist daher für ein Verdampfungsbecken von wesentlicher Bedeutung.

Die Lebensdauer einer Mine ist sehr unterschiedlich. Sie könnte nach sechs Monaten wegen eines schnellen Rückgangs der Marktpreise für Metalle geschlossen werden. Derselbe Standort könnte aber auch zehn Jahre später wieder eröffnet werden, wenn ein Preisanstieg den Standort erneut rentabel macht. Oder ein Bergwerk könnte 20 Jahre lang ohne Unterbrechung arbeiten. Gleicher-

before harvesting occurs. As such, long-term performance and durability are essential for an evaporation pond lining system.

The life of a mine varies widely. It could be shut after six months due to a swift decline in market prices for metals. That same site might be reopened ten years later when a rise in prices makes the site economically viable again. A mine might operate for 20 years with little interruption, but over the course of those years change three times the type of valuable ore it processes. Ownership of the site can transfer multiple times. The development of new extraction technologies might cause some long-closed facilities to be reopened so that ore can be further exploited. Whatever occurs during the active phase of a mine's life, the need for responsible closure is always present.

Mining activities involve significant disturbance of soils. Dangerous chemicals are used. Environmental threats will remain after operations cease. One of the most effective ways to improve the long-term safety of the site is to isolate what had been the mining zones, e.g., former heap leach or tailings storage facility, by installing a geosynthetic capping system (Figure 4). Geomembranes, geosynthetic clay liners, geotextiles and geocomposite drainage materials are used to cover, encapsulate and cleanly isolate contaminated soils. These systems eliminate infiltration of precipitation, prevent polluted runoff, allow clean soil to be installed on top to support healthy vegetation re-establishment.

Mines are, in many respects, small cities. They require roads, water, power, waste management, food, safety, housing, etc. Access roads are especially integral to a mine's viability. Ore must move around and away from the site. Shipments of supplies must not be impaired. Site access delays of a single day can cost millions of dollars. Extended interruption in access to the site can threaten the mine's continued operation, as investors and mine owners might no longer consider it economically viable (1). The massive vehicles used in mining today require extremely strong roads. Haulers carry payloads of more than 100 t. For ore, oil sands, rock and coal operations, the roads must sustain repeated passings of these vehicles over years of mine activities. Geogrid reinforcement materials and separation geotextiles are used to redistribute the tensile forces within the road and prevent the mixing of fines and coarse aggregate. The increased road strength mitigates the risk of road erosion and rutting in wet or arid mining environments. These same reinforcement, separation and drainage control materials are used in various other geotechnical applications in mining. The difficult terrain that characterizes many sites requires a number of vertical or near vertical constructions to be built, such as to support crusher walls. Mechanically stabilized earth (MSE) walls, reinforced with geosynthetics, are a common and effective strategy. Also, there are embankments, abutments, operating pads beneath heavy equipment and cranes, and many other points at which soils must be reinforced to enable the little city that a mine is to function as designed.

3 Geosynthetic Solutions using the example of closure of coal combustion residual disposal facilities

3.1 Introduction

Coal is an important source of power throughout the entire world. Approximately 7 bn t of coal are mined and burned each year around the globe. The result of the combustion of these huge volumes of coal is the generation of power and the creation of coal

maßen könnte die Entwicklung neuer Extraktionstechnologien dazu führen, dass einige langfristig geschlossene Anlagen wieder geöffnet werden. Was auch immer eintritt, die Notwendigkeit einer verantwortungsvollen Stilllegung ist immer präsent.

Bergbauaktivitäten sind mit erheblichen Störungen des Bodengefüges verbunden. Gefährliche Chemikalien werden verwendet. Umweltbedrohungen bleiben auch nach dem Ende der operativen Tätigkeit bestehen. Eine der effektivsten Möglichkeiten zur Verbesserung der langfristigen Sicherheit des Standorts ist die Isolierung der ehemaligen Abbaugelände durch die Installation eines geosynthetischen Abdichtungssystems (Bild 4). Geokunststoffe werden im Allgemeinen verwendet, um kontaminierte Böden abzudichten, einzukapseln oder zu isolieren. Diese Systeme vermindern die Infiltration von Niederschlägen, verhindern das Abfließen von Verunreinigungen, ermöglichen das Einbringen intakter Böden, um eine gesunde Vegetationserneuerung zu unterstützen und vieles mehr.

Minenstandorte sind in vielerlei Hinsicht kleine Städte. Sie benötigen Straßen, Wasser, Strom, Abfallwirtschaft, Lebensmittel, Sicherheit, Wohnraum. Zufahrtstraßen sind besonders wichtig als Lebensader eines Bergwerks. Erz muss vom Gewinnungsort abtransportiert, Anlieferungen dürfen nicht beeinträchtigt werden. Verzögerungen können Millionen kosten, eine längere Unterbrechung des Zugangs kann sogar den weiteren Betrieb der Mine gefährden, da Investoren und Besitzer sie möglicherweise nicht länger für wirtschaftlich rentabel halten (1). Die Fahrzeuge, die heute im Tagebau eingesetzt werden, erfordern extrem widerstandsfähige Straßen, z.B. Dumper transportieren nicht selten Nutzlasten von mehr als 100 t. Für Erz-, Ölsand-, Gesteins- und Kohlebetriebe müssen diese Straßen über Jahre hinweg immer wieder von diesen Fahrzeugen befahren werden können. Geogitterbewehrungen und Trenngeotextilien werden verwendet, um die Zugkräfte innerhalb der Straße zu verteilen und die Vermischung von Feinanteilen und groben Zuschlagstoffen zu verhindern. Die daraus resultierende, erhöhte Festigkeit mindert das Risiko von Straßenerosion in Bergbaugeländen. Dieselben Bewehrungs-, Trennungs- und Filtrationsmaterialien werden in vielen weiteren geotechnischen Anwendungen im Bergbau eingesetzt. Das oft schwierige Gelände, das viele Standorte charakterisiert, erfordert eine Vielzahl an vertikalen oder nahezu vertikalen Konstruktionen. Mechanisch stabilisierte Böschungen und Wände, verstärkt durch Geokunststoffe, kommen hier zum Einsatz. Aber auch bei etlichen eher horizontalen Anwendungen, wie z.B. Widerlagern oder Aufstandsflächen unter schweren Geräten und Kränen, leisten Geokunststoffe hilfreiche Dienste.

3 Geosynthetische Lösungen am Beispiel der Verschließung von Kohleverbrennungsanlagen

3.1 Einführung

Kohle ist eine wichtige Energiequelle in der ganzen Welt. Ca. 7 Mrd. t Kohle werden jedes Jahr rund um den Globus abgebaut und verbrannt. Das Ergebnis der Verbrennung dieser riesigen Kohlevolumina ist vor allem die Erzeugung von Strom und die Erzeugung von Kohlenasche – ungefähr 20 % des Gewichts. Diese Asche ist oft sehr nützlich und vielleicht die größte (in Volumen) Recycling-Erfolgsgeschichte der Welt. Jedoch wird ca. die Hälfte der in der Welt erzeugten Kohlenasche nicht recycelt, sondern entsorgt.

ash – roughly 20% of the weight. This ash is often quite useful and is perhaps the largest (in volume) recycling success story in the world. However, approximately half of the coal ash generated in the world is not recycled and is disposed of. How coal ash is disposed varies widely, but the proper disposal is important to the health of the planet and to human health. Leachate from coal ash is high in heavy metals and can contaminate groundwater and potable water resources.

In recent years, there have been several failures of coal storage facilities worldwide. In December 2008 a failure at the power facility in Kingston, USA spilled 4,200,000 m³ of coal fly ash slurry into the Emory River. It was the largest fly ash release in the USA and over 1.4 bn US\$ have been spent on remediation. Other levee failures such as Mt Polley/Canada, MAL Aluminum/Hungary and the Samarco Brazil failure are other incidents. The US EPA regulations for coal ash storage, e.g., thus propose the most efficient and effective barrier system as a composite liner system using a primary geomembrane liner in combination with an approximately 500 mm thick compacted clay liner or a needle-punched geosynthetic clay liner, although other variations exist.

3.2 Geomembranes

In coal ash applications, such as sedimentation or evaporation ponds, storage facilities, where typically very high loads occur, geomembranes are more commonly used. Typical raw materials for geomembranes are Linear Low Density Polyethylene (LLDPE), High Density Polyethylene (HDPE), Polyvinyl Chloride (PVC), Polypropylene (PP) and Ethylene Propylene Diene Terpolymer (EPDM). However, due to their high chemical resistance and physical properties mainly HDPE geomembranes are used. Additionally to the geomembrane properties other design issues must be taken into account, such as the effect of high stresses, the type of foundation and placed material under and on top of the geomembrane. The foundation conditions should be firm to minimize settlements during the service life of the facility. Otherwise stress and over-elongation of the geomembrane could occur, resulting into damage of the geomembrane. Subgrade surfaces should provide a smooth, flat, firm, unyielding foundation for the geomembrane with no sudden, sharp or abrupt changes or break in grade that can tear or damage the geomembrane and additionally be free of loose rock fragments, sticks, sharp objects or debris of any kind. Nonwovens can be used to protect against puncturing from soils. In many countries, landfills are first regulated by federal agencies through a rulemaking process. Typically, in the US geomembranes are made of HDPE and have a thickness of 1.5 mm in thickness and follow the GRI-GM13 specification (5).

However, other countries have higher requirements, e.g., Germany requires an HDPE geomembrane for landfills with a thickness of ≥ 2.5 mm and in other applications ≥ 2.0 mm. In the coal ash industry there are no specific regulations for barrier applications, so that the liner thickness is generally selected based on experience, anticipating ore loads, the grain size of the material placed on top of the geomembrane and the material underneath. HDPE should be used where

- an exposure to ultraviolet radiation occurs;
- high chemical resistance is required;

Wie Kohlenasche entsorgt wird, ist sehr unterschiedlich, aber die ordnungsgemäße Entsorgung ist wichtig für die menschliche Gesundheit und den Schutz unseres Planeten. Denn Sickerwasser aus Kohlenasche ist angereichert mit Schwermetallen und kann daher Grundwasser- und Trinkwasserressourcen verunreinigen.

In den letzten Jahren gab es weltweit mehrere Schadensereignisse in Zusammenhang mit Kohlelagerstätten. Bei einem Unfall im Kraftwerk Kingston (USA) im Dezember 2008 wurden 4.200.000 m³ Steinkohlenflugasche in den Emory River verbracht. Es war die größte Flugasche-Freisetzung in den USA und über 1,4 Mrd. US-\$ mussten für die Sanierung aufgewendet werden. Andere Ereignisse wie in Mt. Polley/Kanada, MAL Aluminium/Ungarn und die Katastrophe von Samarco in Brasilien waren weitere Vorfälle in diesem Zusammenhang. Die US-EPA-Vorschriften für die Lagerung von Kohlenasche schlagen z.B. als effizientes und effektives Abdichtungssystem eine Doppeldichtung vor, die aus einer primären Kunststoffdichtungsbahn im Verbund mit einer sekundären Tondichtung – entweder 500 mm Ton oder geosynthetische Tondichtungsbahn – besteht, obwohl natürlich auch andere Varianten existieren.

3.2 Kunststoffdichtungsbahnen

In Kohleascheanwendungen, wie auch in den eingangs genannten Anwendungen werden typischerweise sehr hohe Anforderungen an das Abdichtungssystem gestellt, hier werden daher häufig Kunststoffdichtungsbahnen eingesetzt. Typische Rohmaterialien sind Polyethylen mit niedriger Dichte (LLDPE), Polyethylen mit hoher Dichte (HDPE), Polyvinylchlorid (PVC), Polypropylen (PP) oder EPDM-Bahnen aus synthetischem Kautschuk. Aufgrund ihrer hohen chemischen Beständigkeit und physikalischen Eigenschaften werden jedoch hauptsächlich Kunststoffdichtungsbahnen aus HDPE verwendet. Zusätzlich zu den Rohstoffeigenschaften müssen auch andere Aspekte berücksichtigt werden, wie z.B. die Auswirkung hoher Spannungen, die Art des Auflagers oder das einzubringende Material unter bzw. auf der Bahn. Die Oberfläche des Untergrunds sollte eben und ausreichend fest sein, um Setzungen während der Lebensdauer zumindest zu minimieren. Schutzvliese können auf oder unter der Bahn verwendet werden, um Beschädigungen der Bahn auszuschließen. Typischerweise weisen die Bahnen eine Dicke von mindestens 1,5 mm auf und müssen z.B. die international anerkannte GRI-GM13-Spezifikation (5) erfüllen, die jedoch als Mindeststandard zu verstehen ist.

Andere Länder haben jedoch höhere Anforderungen, so ist z.B. in Deutschland eine Dicke von $\geq 2,5$ mm in Deponien und von $\geq 2,0$ mm in anderen umweltschutzrelevanten Anwendungen vorgeschrieben. In der Kohlenaschenindustrie gibt es häufig keine speziellen Vorschriften für Abdichtungssysteme, sodass sich die Auswahl an bestehende Standards anlehnt, aber zusätzlich an projektspezifischen Bedingungen ausgerichtet wird. Generell ist ihr Einsatz angezeigt, wenn

- eine Exposition gegenüber ultravioletter Strahlung auftritt,
- eine hohe chemische Beständigkeit erforderlich ist,
- eine langfristige Lebensdauer notwendig ist,
- eine hohe Spannungsrisssbeständigkeit wichtig ist,
- eine gute Leistung gegen Thermooxidation gefordert wird und
- eine hohe Durchstoßfestigkeit vorhanden sein sollte.

- long-term service life is expected;
- high stress crack resistance is important (typically important for HDPE);
- good performance against thermo-oxidation is needed; and
- high puncture resistance is requested.

3.3 Geosynthetic clay liners

GCLs are used in coal ash applications, similar to the use of a geomembrane and sometimes in combination with a geomembrane. In some applications the lining system can request a composite lining system with a geomembrane or a multi-component GCL. Due to the benefits GCL provide, they are more and more seen as an alternative to compacted clay liners in coal ash applications and in some cases a multi-component GCL can be an alternative to a geomembrane. However, the designer should consider site specific conditions – soil material, slope angle, interface friction – and specify relevant characteristics to ensure a long-term and safe design. Current standard GCL properties could be on the lower limit, e.g. GRI-GCL-3, so that increasing some GCL properties, e.g. mass per unit area of the geotextile and bentonite component, are occasionally recommended. The Geosynthetic Research Institute in Folsom/USA has published a white paper #5 (6) and a GRI-GCL3 (7) document and has made aware the necessity to consider several important topics, especially overlap separation under certain conditions of pre-hydrated GCLs. However, this topic can be solved by means of immediate soil coverage or an increasing

3.3 Geosynthetische Tondichtungsbahnen

Auch geosynthetische Tondichtungsbahnen werden in Kohlenasche-Anwendungen verwendet, mitunter in Kombination mit einer Kunststoffdichtungsbahn, oder sie werden aufgrund der Vorteile verdichteten Tonlagen vorgezogen. Der Design-Ingenieur sollte jedoch standortspezifische Bedingungen – Bodenmaterial, Böschungsneigungen, Reibungsparameter, etc. – berücksichtigen, um eine langfristige und sichere Konstruktion zu gewährleisten. Das Geosynthetic Research Institute in Folsom/USA hat Regularien veröffentlicht (6), in denen entsprechende Produkt- und Designstandards (7) festgelegt sind. Eine interessante Alternative für Kohleascheanwendungen sind PE-beschichtete geosynthetische Tondichtungsbahnen. Auf der Gewebeseite ist dabei eine gering durchlässige und gasdichte Polyethylen-Beschichtung fest aufgebracht. Diese Produkte eignen sich insbesondere bei Vorhandensein von aggressiven Flüssigkeiten, welche die Leistung des Bentonits beeinflussen könnten, insbesondere wenn dieser nicht in hydratisierter Form vorliegt. Weitere Vorteile sind:

- Wurzelbarriere,
- Austrocknungsbarriere,
- Schutz gegen Bentonit-Erosion bei hohen Wassersäulen und unten liegenden, kiesigen Böden,
- geringere Permeabilität,
- Schutz gegen Ionenaustausch und
- Gasbarriere.

overlap for these types of products. An interesting alternative for coal ash applications are multicomponent GCLs. By adding an extruded polymer coating to the needle-punched GCL this product type is suitable to more coal ash applications, particularly in presence of aggressive liquids which might influence the performance of the bentonite, especially if not hydrated. Further advantages of extruded polymer coated barriers are

- prevention of root penetration;
- increasing resistance against desiccation;
- bentonite piping resistance under high water gradients;
- lower permeability;
- barrier against ion exchange; and
- gas barrier.

3.4 Soil reinforcing geogrids

In coal mines, geogrid applications (Figure 5) include base course reinforcement and stabilization, reinforcement of slopes and retaining walls and reinforcement of tailings ponds cover layers. Where the bearing capacity of soils is insufficient or shear characteristics too low to be stable for planned slope inclination or loadings, the geogrid reinforcement helps to bridge the gap to reach sufficient stability and safety. The geogrid structure should provide stiff apertures. This influences the ability for lateral confinement of the aggregate which interlocks in the apertures. The greater the aperture stability of the geogrid the better is the lateral restraint provided for the granular material.

The interaction with the aggregate is one of the main principles for geogrid reinforcement. As a result of the interlocking mechanism the geogrid absorbs stresses from the soil and increases safety and serviceability. For optimal absorption of the stresses the geogrid needs to provide high strength at low strain. The greater the tensile modulus at low strain, the lower the resulting strain and finally deformation in the structure. The ultimate tensile strength is affecting the level of available tensile strength at low strain as well as the increase in ultimate strength results in the same rate of increase at low strain.

In structures where the geogrid is utilized to provide sufficient stability and safety as determined by a structural analysis, the long-term behaviour of the product becomes decisive. Different raw materials and manufacturing processes influence characteristics like creep behaviour, robustness against installation damage and chemical/biological influences. Those values directly influence the long-term design strength of a product which is considered in the stability analysis. Products with equivalent ultimate strength will usually differ in their resulting long-term design strength.

References / Quellenverzeichnis

- (1) Smith, M. E.: Emerging Issues in Mining Containment. Keynote lecture from Geosynthetics 2013, IFAI, Long Beach, California/USA.
- (2) Christie, M.; Smith, M. E.: A Brief History of Heap Leaching. Proceedings of 25th Annual GRI Conference 2013, Geosynthetic Institute, Folsom, Pennsylvania/USA.
- (3) USGS (2016): <https://water.usgs.gov/edu/earthhowmuch.html>
- (4) Legge, K.: Lessons learnt from 1000 design reviews: Raw truths and blatant lies, Landfill conference 2017, KZN, South Africa.
- (5) GRI-GM13 Test Methods (2016), Test Properties and Testing Frequency for High Density Polyethylene (HDPE) Smooth and Textured Geomembranes”, Geosynthetic Institute, Folsom, PA, USA.



Fig. 5. Application of geogrids in mining operations.
Bild 5. Anwendung von Geogittern im Bergbau.

3.4 Geogitter als Bewehrungselemente

Im Kohlebergbau ermöglichen Geogitteranwendungen (Bild 5) den Bau steiler Stützkonstruktionen, von Dämmen auf weichem Untergrund oder von Zufahrtstraßen auf schlecht tragfähigen Böden. Durch die Interaktion mit dem Boden durch Reibung und Verzahnung nehmen Geogitter Spannungen auf, die vom Boden selbst nicht schadlos aufgenommen werden können. Dadurch erhöhen sie sowohl die Standsicherheit als auch die Lebensdauer der Erdbauwerke.

Die Verzahnung des nicht-bindigen Bodens mit den Gitteröffnungen stellt dabei eines der wichtigsten Prinzipien dar. Denn dadurch wird eine seitliche Verschiebung des Schüttmaterials verhindert und Bodenverformungen werden folglich minimiert. In Kombination mit einer hohen Dehnsteifigkeit des Geogitters wird letztlich die Sicherheit und Gebrauchstauglichkeit des Erdbauwerks erhöht.

Das Zugkraft-Dehnungs-Verhalten eines Geogitters bestimmt seine Zugkraftaufnahme bei geringer Dehnung. Auf diese Weise verringert eine Bewehrung die Bildung von Spurrinnen, Horizontalverformungen, Rissen oder anderen Versagensmechanismen, die in Zufahrtstraßen oder anderen bewehrten Erdkörpern/-bauwerken vorkommen können. Unterschiedliche Rohstoffe und Herstellungsverfahren beeinflussen zudem Eigenschaften wie Kriechverhalten, Robustheit gegen mechanische Einbaubeschädigungen und Beständigkeit gegen chemisch-biologische Angriffe.

- (6) GRI White paper # 5 (2005b) In-Situ Separation of GCL Panels Beneath Exposed Geomembranes, Geosynthetic Institute, Folsom, PA, USA.
- (7) GRI-GCL3 (2005) Standard Specification for “Test Methods, Required Properties, and Testing Frequencies of Geosynthetic Clay Liners (GCLs), Geosynthetic Institute, Folsom, PA, USA.

Authors / Autoren

Dipl.-Geol. Dipl.-Wirtsch.-Ing. Andy Post, Gebietsleiter Subsahara-Afrika, Dipl.-Ing. Kent v. Maubeuge, Marketingdirektor und Produktmanagement, NAUE GmbH & Co. KG, Espelkamp