

Hydraulic Driven Piston Pumps for the Transport of Pastes and Slurries in the Mining Industry

More and more mines are using double piston pumps for conveying pastes, cakes and slurries. Stiff pastes are normally used for the stabilization of underground workings. Cement and ash are added to create a construction material with sufficient strength. For tailings and ore transportation above ground, slurries are produced and transported over long distances to deposits or preparation plants. In this article the author shows various job sites

around the world where different materials are pumped, providing the relevant information about the pastes and slurries that were pumped, information about the paste preparation plants, advantages of the paste systems and when to use which type of piston pump. The article bases on the author's presentation at the 3rd International Specialist Colloquium "Offset and Building Materials in Mining" on 5th October 2017 in Freiberg/Germany.

Pumpentechnik als Alternative zur herkömmlichen Förderung von Feststoffen

Immer mehr Bergwerke setzen inzwischen Doppelkolbenpumpen für den Transport von schlammförmigen oder zähflüssigen Massen – sogenannten Dickstoffen – ein. Untertage kommen derartige Konsistenzen beispielsweise beim Dickstoffversatz zum Einsatz, wobei Zement und Aschen für das Erreichen einer Steigerung der Stabilität gezielt zugesetzt werden. Produkte und Rückstände aus der Erzaufbereitung können als pastenförmige Massen aufbereitet leicht über große Distanzen hinweg zu weiterverarbeitenden Anlagen oder Deponien gepumpt werden. Im

Rahmen dieses Artikels werden verschiedene Anwendungsfälle aus aller Welt mit unterschiedlichen Fördermaterialien vorgestellt. Es wird gezeigt, wie die Fördergüter für den Transport vorbereitet werden und welche Vorteile das Pumpen gegenüber Alternativen mit sich bringt. Zudem wird aufgezeigt, für welchen Anwendungsfall welche Art von Pumpe geeignet ist. Die Veröffentlichung basiert auf dem Vortrag des Autors auf dem 3. Internationalen Fachkolloquium „Baustoffe und Versatz im Bergbau“ am 5. Oktober 2017 in Freiberg.

1 Introduction

The economy and the environment are subject to continued pressure. This pressure will increase further if resources – in particular, water and energy – continue to become scarcer and the demand continues to rise. This is to be expected.

Naturally, it would be ideal if industrially necessary transport tasks only consumed a small amount of water extracted from the environment as well as the smallest possible amount of energy.

However, this kind of technology or solution will only be used if it is able to compete economically with other alternative transport methods such as pumps, conveyor belt systems, rail and trucks, etc or if there is no alternative method. Today, the idea of there being no alternative is extremely improbable or even unthinkable. There are always alternatives, even if sometimes they are alternatives in name only.

Why pump transport?

- Horizontal and/or vertical transport;
- material mostly taken up only once;
- independent of weather;
- closed system;

1 Einleitung

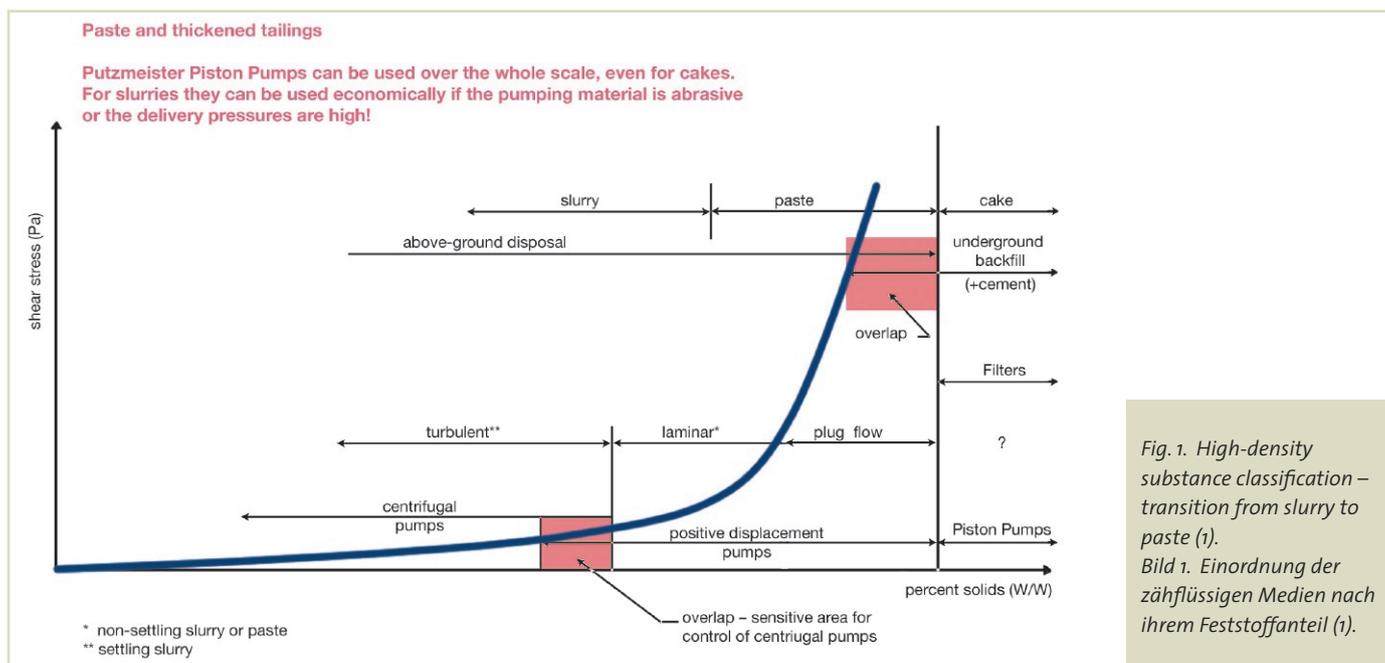
Unser Zeitalter ist geprägt von wachsendem Umweltbewusstsein und steigendem Druck auf die Wirtschaft. Es ist zu erwarten, dass der wachsende Bedarf an Rohstoffen vermehrt zu Problemen führen wird – gerade in Hinblick auf Wasser und Energieträger.

Um einer problematischen Situation vorzubeugen, steht es außer Frage, dass der Verbrauch von Wasser und Energie so gering wie möglich zu halten ist. Dies gilt entsprechend auch für logistische Aufgaben.

Wie auch immer eine Lösung aussieht, sie wird nur dann realisiert werden, wenn sie sich aus wirtschaftlicher Sicht gegen Alternativen behaupten kann oder es keine Alternativen gibt. Letzteres ist jedoch auszuschließen, da mit den heutigen Möglichkeiten immer andere Lösungen gefunden werden können, wenn auch zunächst nur theoretisch. Zu den verfügbaren Alternativen für den Transport eines Förderguts zählt etwa das Pumpen, die Bandförderung oder der Straßen- und Bahnverkehr.

Was spricht für die Pumpförderung?

- Förderung ist horizontal und vertikal möglich,
- Fördergut muss in der Regel nur einmal angefasst werden,



- possibility of transport over great distances;
- conveyance of large quantities;
- safe transport system for personnel;
- low environmental influence; and
- low cost/economical.

Hydraulic piston pumps and feed systems such as screw conveyors have been used in the industry for around thirty years. Over the course of time, silos and silo discharge technology as well as dosing and mixing technology have been added to these. Engineering and pipelines are often included in the package.

2 Basic principles

2.1 Transport of high density substances

High-density substances are a mixture of liquid and solid components. The mixtures differ in their characteristic physical and chemical properties, such as their specific weight, dry matter content, and maximum particle size. Stiffer mixtures with higher dry matter content are called paste. In individual cases, tests must be carried out to determine the dry substance content up to which a material can still be pumped, and to find out which delivery pressures and operating parameters are required (Figure 1).

The operators of industrial plants are increasingly being faced with the challenge of how to convey substances with a high content of solids over large distances to subsequent handling processes. Alternative conveyance options are available here, such as conveyors, screw conveyors or transport by truck or rail. There are limits to mechanical delivery systems both in plant planning and in plant design. It is easier to pump high-density substances in a closed pipeline using high-density solids pumps. This technology is low-noise and odour-free. The pipelines can be integrated into the existing plant. Today, delivery lines of many kilometres can be implemented, e.g. for the transport of ash, slag and tailings to disposal sites.

Hydraulic piston pumps can be used for this in a wide range of applications and can even pump highly viscous, solids-contain-

- Unabhängigkeit vom Wetter,
- Transport in geschlossenen Systemen,
- Transport über große Entfernungen möglich,
- große Fördermengen möglich,
- geringes Unfall- und Umweltrisiko und
- geringe Kosten.

Hydraulische Kolbenpumpen und andere Aufgabesysteme, wie etwa Schneckenförderer, finden bereits seit rd. 30 Jahren Anwendung im Bergbau. Im Lauf der Jahre kamen Elemente zur Beschickung von Silos oder zur Dosierung in Mischanlagen hinzu. Meist ist die ingenieurmäßige Auslegung und die Verrohrung Teil des fördertechnischen Auftrags.

2 Technische Grundlagen

2.1 Förderung von zähflüssigen Medien

Zähflüssige Medien sind in unserem Sinn dickflüssige Suspensionen, also die Mischung eines Feststoffs mit einer Flüssigkeit. Je nach genauer Zusammensetzung, insbesondere hinsichtlich des Feststoffanteils und der Korngrößenverteilung, können die chemischen und physikalischen Eigenschaften, z.B. die Dichte, verschiedener Suspensionen stark voneinander abweichen. Bei sehr hohem Feststoffanteil kann bereits von Pasten gesprochen werden. Mitunter müssen Voruntersuchungen durchgeführt werden, um den kritischen Feststoffanteil zu bestimmen, bei dem das Medium noch gepumpt werden kann. Auch gilt es die notwendigen Anlagenparameter vorab zu definieren (Bild 1).

Zahlreiche Industrieanlagen sind auf den Transport von dickflüssigen Medien angewiesen. Dem Betreiber einer solchen Anlage stellt sich dementsprechend die Frage, wie dies idealerweise zu realisieren ist. Neben Pumpenanlagen stehen alternativ auch Bandförderanlagen, Schneckenförderer sowie der Fahrzeugtransport auf Schiene oder Straße zur Verfügung. Die Pumpförderung mit Dickstoffpumpen bietet jedoch einige Vorteile. Es handelt sich um eine kontinuierliche Förderung in einem geschlossenen System, es werden somit keine Gerüche frei und die Geräuschart-



Fig. 2. Paste-like waste from bauxite processing. // Bild 2. Pastenartiger Schlamm als Rückstand aus der Aufbereitung von Bauxit.

ing media and extremely dry media. A dry substance content of up to 85% w/w is possible (Figure 2).

From a technical procedural point of view, this gives rise to a range of advantages.

2.2 Water requirement and energy consumption

The high solids content of the pumped material in the form of a paste, e.g., means that the water content is correspondingly small. This saves on resources due to the low consumption of water and results in a lower environmental burden. Moreover, the required energy is used mainly to convey the solids, and not to transport water.

For the conveyance of high-density substances to disposal sites, transport that uses a small amount of water has a range of advantages, especially for the disposal of fly ash, bottom ash and excavated material:

- reduced water requirement in comparison with slurry backfill;
- longer life of the disposal site;
- hardly any seepage water, which protects the groundwater;
- hardly any free water at the disposal site;
- no risk of dam failure;
- stabilisation of excavated material by means of evaporation;
- advanced reclamation; and
- for all of these reasons, better acceptance of mining among the public.

The conveyance of backfill material with a small water content underground has the advantage that increased strengths can be reached with a lower consumption of cement, if this is required.

2.3 Delivery pressure and delivery rate – long delivery sections

Thanks to the ongoing movement over the last few years towards larger delivery rates, delivery pressures of up to 150 bar at a delivery rate of 250 m³/h are now available for the hydraulic driven double piston pump series. Moreover, at a delivery pressure of 100 bar, a delivery rate of 400 m³/h is reached.

wicklung ist minimal. Notwendige Rohrleitungen können einfach in einem bereits existierenden System nachgerüstet werden, um so beispielsweise Asche, Schlacke oder sonstige Aufbereitungsrückstände zur Entsorgungsstelle zu transportieren.

Hydraulisch getriebene Kolbenpumpen sind prinzipiell für den Transport dickflüssiger Medien geeignet und können für Feststoffanteile bis zu 85 Gew.-% eingesetzt werden (Bild 2).

Diese Breite an Einsatzmöglichkeiten bietet eine großzügige Flexibilität in der Auslegung von Pumpanlagen.

2.2 Verbrauch von Wasser und Energie

Dank des für die Pumpförderung hohen zulässigen Feststoffanteils im Fördergut muss nur wenig Wasser zur Herstellung des Pumpmediums verwendet werden. Dies entlastet direkt die Umwelt und bedeutet gleichermaßen, dass die notwendige Energie für das Pumpen nicht übermäßig für den bloßen Transport von Wasser anfällt.

Auch hinsichtlich der Deponierung von Abfallstoffen hat ein geringer Wasseranteil während der Förderung zahlreiche Vorteile:

- geringerer Wasserverbrauch als beim gewöhnlichen Spülversatz,
- längere Verfügbarkeit einer Deponie,
- Schutz des Grundwassers durch Minimierung von potentiell Sickerwasser,
- nur geringfügige Bildung von Wasserlöchern,
- kein Risiko bezüglich eines möglichen Dammbrochs,
- Selbstverfestigung des Schlamms während der Verdunstung des Wassers,
- bessere Möglichkeiten zur Rückgewinnung und
- im Sinn aller bisher genannten Vorteile, höhere Akzeptanz bei der Bevölkerung.

Für einen Einsatz als Dickstoffversatz bedeutet ein geringerer Wasseranteil ebenso Festigkeitsvorteile, wodurch die Menge an zuzuschlagendem Zement sinkt.

2.3 Systemdruck und Förderrate bei langen Förderwegen

Dank der jüngsten Entwicklungen hin zu immer größeren Fördermengen stehen heute bereits Technologien zur Verfügung, mit denen bei einem Druck von 150 bar Förderraten von 250 m³/h erreicht werden. Bei einem Förderdruck von 100 bar sind Fördermengen von 400 m³/h möglich.

Je nach Konsistenz des Förderguts können so problemlos Distanzen von vielen Kilometern bei horizontaler und bis zu 1 km in vertikaler Ausrichtung zurückgelegt werden (Bilder 3, 4). Bei Bedarf können mehrere Pumpen zur Erhöhung des Drucks und damit auch der Reichweite in Reihe geschaltet werden. Soll der Volumenstrom erhöht werden, können die Pumpen parallel miteinander verbunden werden.

3 Maschinentechnik

3.1 KOS-Serie – Pumpen mit S-Rohr

Bild 5 zeigt eine Pumpe der Bauart KOS. Bei diesen Pumpen wird das Fördergut dem System über einen Aufgabebehälter zugeführt. Während des Ansaugvorgangs wird dann das Gut in den Einlasszylinder eingesogen. Während des Ausstoßvorgangs wird



Fig. 3. Delivery line to site of placement of backfill material.
Bild 3. Horizontale Förderleitung.

Depending on the consistency of the material, this enables conveyance over a pump section of many kilometres horizontally and up to 1 km vertically (Figures 3, 4). If necessary, several pumps can be connected in a series to extend the achievable pumping distance. For greater delivery rates, pumps can be operated in parallel.

3 Machine technology

3.1 KOS series – pump with S-transfer tube

In the case of the KOS pump series (Figure 5), the material is placed into a hopper and, from there, sucked into the delivery cylinder during the intake stroke. The delivery stroke pushes the material into the delivery line through an S-transfer tube. At the end of each stroke, the S-transfer tube is switched over within 0.5 s (change-over phase) by means of powerful plunger cylinders, so that the next stroke cycle can start. The fast change-over time of the S-transfer tube means that there are only short interruptions in the output flow rate, which is advantageous with regard to pulsation.

3.1.1 Particle size – not sensitive to foreign bodies

The KOS pump with S-transfer tube has the major advantage of being able to pump particle sizes of up to 60 mm without incident. This enables many possibilities for paste composition and improves cost-effectiveness.

Due to its special design, the pump works without valves or any other narrowed sections. For the conveyed medium, this results in a constantly “clear passage” over the entire cross section of the pipe. This means that the machine is not sensitive to relatively large foreign bodies – which can be up to 70 % of the diameter of the pump’s pressure connection. Blockages are thus prevented, providing a high level of machine availability and minimizing downtime. The advantage of being able to pump larger particle sizes may be relevant, for example, when conveying coarse-grained crude ore for further processing. Naturally, fine ore and finely ground material can also be pumped. Furthermore,

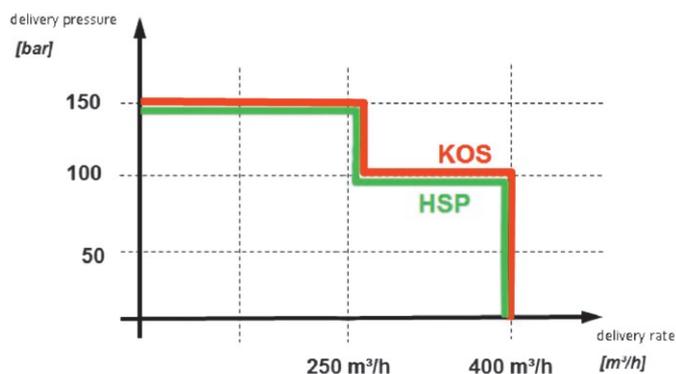


Fig. 4. Delivery rates and pressures of KOS and HSP pumps.

Bild 4. Förderraten und -drücke bei Pumpen vom Typ KOS und HSP.

im nächsten Schritt das Fördergut über ein S-Rohr in die Pumpleitung gedrückt. Innerhalb einer halben Sekunde wird das S-Rohr schließlich zum zweiten Zylinder gedreht, sodass auch hier der Hub ausgeführt werden kann. Durch die verhältnismäßig kurzen Wechselzeiten des S-Rohrs wird der Förderstrom insgesamt gleichmäßig, wodurch sich Druckstöße reduzieren lassen.

3.1.1 Unempfindlichkeit gegenüber Fehlkorn

Ein wesentlicher Vorteil der KOS-Pumpen ist ihre Unempfindlichkeit gegenüber verschiedenen Korngrößen. Körnungen bis 60 mm werden problemlos verarbeitet. Dies bedeutet eine hohe Flexibilität bei der Herstellung der Fördergüter, wodurch gleichzeitig Kosten eingespart werden.

Bei KOS-Rohrweichenpumpen wird auf Ventile gänzlich verzichtet. Somit gilt nach dem Motto „Rohr frei“, dass alles Fördergut keine Engstellen passieren muss und Verstopfungen vermieden werden. Die geförderten Partikel können im Einzelkorn bis zu 70 % des Durchmessers des Druckanschlusses der Pumpe messen, was beispielsweise für den Transport von vorgebrochenem Erz zu nachgeschalteten Aufbereitungsanlagen oder Kraftwerksaschen mit Fremdkörperanteilen bedeutsam ist. Somit sind Rohrweichenpumpen nicht nur flexibel hinsichtlich des Förderguts, sondern zeichnen sich auch durch sehr geringe Ausfallzeiten aus und sind wartungsarm.

3.1.2 Mehr Förderleistung – größere Maschinen

Den Anforderungen hoher Förderleistungen bei hohen Drücken wird das Modell KOS 25200 HP gerecht, das in Bild 6 dargestellt

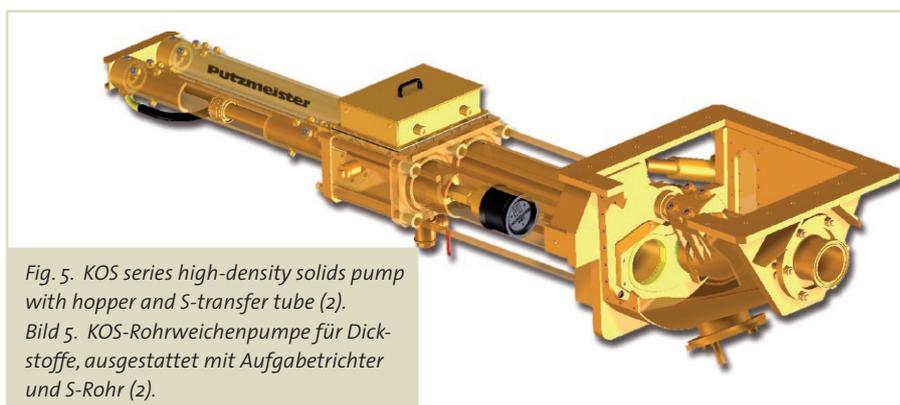


Fig. 5. KOS series high-density solids pump with hopper and S-transfer tube (2).
Bild 5. KOS-Rohrweichenpumpe für Dickstoffe, ausgestattet mit Aufgabetrichter und S-Rohr (2).



Fig. 6. KKOS 25200 S-transfer tube machine.
Bild 6. KOS 25200 S-Rohrweichenpumpe.

in the power plant sector, fly and bottom ashes can be pumped without difficulty as a mixture.

3.1.2 Higher outputs – larger machines

The KOS 25200 HP (Figure 6) was developed in 2012/2013 in order to meet the demand for higher delivery rates at high delivery pressures. The technical data is as follows:

- delivery cylinder diameter: 560 mm;
- delivery cylinder length: 2,500 mm;
- delivery rate: 400 m³/h;
- delivery pressure: 100 bar;
- machine weight: 35 t; and
- drive output: 1,600 kW.

This makes the machine the most powerful in its class, with the world's largest S-transfer tube.

3.2 HSP series – seat valve pump

The HSP pump series has a pump head with hydraulically driven seat valves instead of a hopper and S-transfer tube (Figure 7). The appropriate cyclical opening and closing of the valves controls the material flow from its intake up to its introduction into the delivery line. This means that the machine is suitable for fine-grain material with a high solids content, such as finely ground tailings.

3.3 Pulsation damping

The Putzmeister Constant Flow function (PCF) is best proven for a double piston pump. This operating method enables an almost continuous output flow rate in applications that require a low-pulsation pressure curve (Figure 8).

The two delivery cylinders are driven separately from each other via their own hydraulic system, and a constant output flow rate with very low residual pulsation (max. +/- 8%) is achieved by

ist. Diese Pumpe ist weltweit die leistungsstärkste ihrer Klasse. Sie wurde in den Jahren 2012/13 entwickelt und zeichnet sich durch folgende technische Parameter aus:

- Durchmesser des Ansaugzylinders: 560 mm,
- Länge des Ansaugzylinders: 2.500 mm,
- Förderleistung: 400 m³/h,
- Förderdruck: 100 bar,
- Eigengewicht: 35 t und
- Ausgangsleistung: 1.600 kW.

3.2 HSP-Serie – Pumpen mit Sitzventil

Dickstoffpumpen der HSP-Serie (Bild 7) sind nicht mit S-Rohr ausgestattet, sondern verfügen über hydraulisch gesteuerte Sitzventile. Im perfekten Zeitspiel wird so das Fördergut über das jeweilige Öffnen und Schließen der Ventile in die Förderleitung überführt. HSP-Pumpen sind für Dickstoffe mit hohem Anteil an feinkörnigem Material geeignet, wie etwa nach dem Mahlprozess in der Rohstoffaufbereitung.



Fig. 7. HSP pump head with hydraulically driven seat valves. The wear parts (plate and seat) are available in different material pairings and geometric designs to be selected in accordance with the pumped medium. // Bild 7. Pumpe vom Typ HSP mit hydraulisch gesteuerten Sitzventilen. Je nach Fördergut können die Sitzventile in verschiedenen Geometrien und aus verschiedenen Materialien hergestellt werden.

3.3 Dämpfen von Druckstößen

Die Vermeidung oder quantitative Verminderung von Druckstößen entlastet jede Mechanik. Putzmeister stellt mit Pressure Constant Flow (PCF) eine optimale Technologie bereit, um eine möglichst gleichmäßige Druckkurve zu ermöglichen (Bild 8).

Die beiden Pumpzylinder werden getrennt voneinander hydraulisch angetrieben und erzeugen einen sehr gleichmäßigen Förderstrom mit Abweichungen von maximal ±8%. Dadurch können Stillstandszeiten vermieden und die Lebensdauer einer Anlage deutlich erhöht werden.

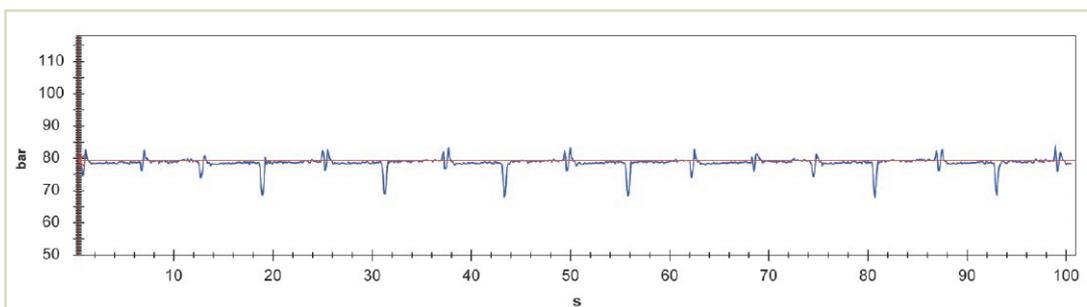


Fig. 8. Nearly pulsation-free delivery pressure curve.
Bild 8. Nahezu gleichmäßige Druckkurve auf der Förderseite.



Fig. 9. Scraper pig gate; damper; gate valve (left to right).

Bild 9. Molchschleuse, Dämpfer, Schieber (v.l.n.r.).

means of an appropriate control sequence. This reduces the transmission of power and the dynamic load of the delivery line and its mounting, which contributes to a lower risk of plant failure.

If the requirements placed upon pulsation damping are in the range of 30 %, pulsation dampers that work in accordance with the accumulator (vessel) principle might be used (Figure 9). These damping systems can be used for all double piston pumps.

3.4 Hydraulic power packs and control cabinet

Hydraulic packs of different sizes are used to drive the high-density solids pumps (Figure 10). The current power range is 75 to 1,600 kW. The hydraulic pumps are usually driven by electric motors, at low, medium or high voltage with speeds of 1,500 or 1,800 min^{-1} , depending on the design. Diesel engines are seldom used for industrial application. The in-line method is applied consistently for the positioning of the pump train, i. e. all hydraulic pumps are driven by one motor. This produces the highest possible level of flexibility for designing the pump train in line with the needs of the plant. It is also important to note that the hydraulic fluid reservoir is generally above the hydraulic pumps. This prevents cavitation and results in optimum intake conditions for the pumps.

The system is completed by a control cabinet and Programmable Logic Controller (PLC). These form the control and switching center for operating the high-density solids pump or pumping plant. The control cabinet is fitted with an operating panel that allows the operator to call up all relevant operating data. Standard features include fault logging and the possibility of connecting the control system up to a higher-level control room using various bus systems.

3.5 Systems engineering

As well as the actual pumping of high-density substances, a whole range of further steps and plant components play a significant part in the overall process. Here are just a few:

- storage of high-density substances using silo systems or a jumbo trough;
- preparation of high-density substances using centrifuges, mixers or shredders;
- pipeline systems with shut-off and diverter valves;

Sofern Druckstöße bis zu 30 % zulässig sind, kann auch mit standardmäßigen Luftspeichern eine Dämpfung sichergestellt werden (Bild 9). Diese sind für alle Doppelkolbenpumpen anwendbar.

3.4 Hydraulik- und Steuereinheit

Je nach Art der Anwendung bzw. der Größe der Dickstoffpumpe kommen verschiedene Hydraulikaggregate zum Einsatz (Bild 10). Diese reichen in ihrer Leistung von 7,5 kW bis 1.600 kW. Üblicherweise werden diese Aggregate elektrisch bei Nieder-, Mittel- oder Hochspannung angetrieben. Die Motoren drehen mit 1.500 min^{-1} oder 1.800 min^{-1} . Verbrennungsmotoren auf Dieselbasis finden eher selten Anwendung.

Der gesamte Hydraulikpumpenstrang wird in der Regel von einem Elektromotor angetrieben. Dabei sei darauf hingewiesen, dass der Hydrauliktank stets oberhalb der Hydraulikpumpen anzuordnen ist, um eine gleichmäßige Versorgung der Pumpen zu gewährleisten und Kavitation zu vermeiden.

Komplettiert wird das System durch eine Steuereinheit. Von hier aus werden die Pumpanlagen mithilfe von PLCs (Programmable Logic Controller) angesprochen und gesteuert. Der Steuerstand verfügt darüber hinaus über ein Interface, welches es dem Mitarbeiter erlaubt, wesentliche Daten abzurufen oder beispielsweise die Fehlerprotokolle einzusehen. Über BUS-Systeme kann zudem eine Wartensteuerung eingerichtet werden.

3.5 Komplexität der Systeme

Neben den bisher beschriebenen Dickstoffpumpen und ihren Auslegungskriterien müssen für die erfolgreiche Integration einer Pumpanlage natürlich noch zahlreiche weitere Komponenten und Gesichtspunkte berücksichtigt werden, beispielsweise:

- Zwischenlagerung des Förderguts, etwa in Silos oder Tanks,
- Aufbereitung des Förderguts, etwa mit Zerkleinerungsmaschinen oder Mischern,
- Rohrleitungssystem mit Absperr- und/oder Wegeventilen,
- Druckausgleichsmöglichkeiten für das Rohrleitungssystem,
- Möglichkeiten zur Reinigung der Rohrleitungen, etwa über Molchschleusen und
- Sensorik zur Überwachung der Anlagen und insbesondere der Füllstände.

4 Über Tage und unter Tage – Beispiele aus der Praxis

Je nach Gehalt an Wertmineral werden im Bergbau oft sehr große Mengen Gestein gefördert und aufbereitet, um eine bestimmte Menge des Zielrohstoffs zu erhalten. So etwa im Fall der Bulyanhulu Mine der Barrick Gold Corp. in Tansania, in der Erz mit



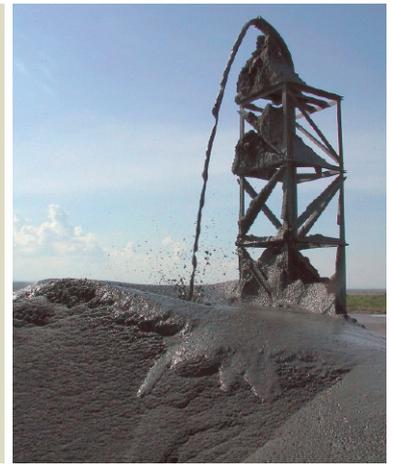
Fig. 10. Hydraulic pack, 400 kW power class.

Bild 10. Hydraulikeinheit (400 kW).



Fig. 11. Pumping plant (left);
and distribution tower at
disposal site (right).

Bild 11. Pumpeinheit (l.)
und Auslassturm (r.).



- pressure fluctuation dampers for pipelines;
- scraper pig gates for pipeline cleaning; and
- instruments with measurement sensors and fill level measurement.

4 Practical examples for surface disposal and underground usage of excavated material

Mining produces large quantities of excavated material, e.g., 1,000 kg of high-quality ore from the Bulyanhulu Mine in Tanzania contains just 8 g of gold. The ore is very finely ground to yield as much gold as possible.

Water is added to this excavated material to form a paste. Successful projects have been carried out for the mining of gold, silver, copper, lead, zinc, aluminium, tungsten, nickel, salt and coal.

4.1 Surface disposal of excavated material as paste

The Bulyanhulu Mine, owned by Barrick Gold Corp., has been pumping a paste with a 25.4 cm slump since 2001 (Figure 11). Two seat valve double piston pumps of the type HSP 25100 HP are used, both of which are driven by an HA 315 E hydraulic pack with 315 kW drive power. Each of the pumps can pump 700,000 m³/a. The pumping distance is approx. 2,500 m.

The silicate-containing material is extremely abrasive and has a Miller number of 197. The specific weight of the paste is 1,970 kg/m³, with a solids content of 75 % w/w. The D₅₀ value is less than 20 µm, and the maximum particle size is less than 200 µm.

Design data:

- delivery rate: 80 m³/h;
- delivery pressure: 80 bar.

4.2 Usage of tailings with cement for underground stabilisation

4.2.1 Backfilling of fine grained tailings at the Eti Bakir Copper Mine in Küre/Turkey

At the Eti Bakir Mine in Küre/Turkey, copper and pyrite concentrate is produced. The chalcopryite copper ore is crushed and milled by a rod and ball mill and then sent to the flotation process. The produced copper concentrate has 17 to 18 % copper content.

The tailings are quite heavy, with a specific gravity of approximately 3.87 t/m³ (Figure 12). A solid concentration of 80 to 85 % by weight can be achieved. The cement content is 8 to 9 % and

ca. 8 ppm Gold gefördert wird. Das Erz wird fein aufgemahlen, um über den Aufschluss möglichst viel des Edelmetalls gewinnen zu können. Durch die Beimengung von Wasser entsteht eine pumpfähige Paste.

Auch andere Rohstoffe konnten auf diese Art und Weise erfolgreich aufbereitet werden, nämlich Silber, Kupfer, Blei, Zink, Aluminium, Wolfram, Nickel, Salz und Kohle.

4.1 Endlagerung über Tage

In der bereits genannten Bulyanhulu Mine werden seit dem Jahr 2001 Dickstoffe mit zwei Doppelkolbenpumpen mit Sitzventilen vom Typ HSP 25100 HP über eine Entfernung von ca. 2.500 m gefördert (Bild 11). Die Pumpen werden mit einer Hydraulikeinheit vom Typ HA 315 E mit 315 kW angetrieben. Die Förderleistung einer jeden Pumpe liegt bei rd. 700.000 m³/a.

Das Ausbreitmaß des Dickstoffs liegt bei 25,4 cm. Das stark silikathaltige Material ist mit einer Miller-Zahl von 197 sehr abrasiv. Die Paste hat einen Feststoffanteil von 75 Gew.-% und eine Dichte von 1.970 kg/m³. Der D₅₀-Wert ist unter 20 µm, während die maximale Partikelgröße unter 200 µm liegt.

Technische Auslegung:

- Förderrate: 80 m³/h,
- Förderdruck: 80 bar.

4.2 Endlagerung unter Tage

4.2.1 Versatz im Kupfererzbergwerk Eti Bakir in Küre/Türkei

Das Bergwerk Eti Bakir im türkischen Küre baut auf Kupferkies mit Pyrit. Nach dem Abbau des Erzes wird dieses über Stab- und Kugelmühlen für die Flotation vorbereitet, wo anschließend ein Konzentrat mit ca. 17 bis 18 % Kupfer hergestellt wird.

Die Berge aus der Aufbereitung sind mit 3,87 t/m³ sehr dicht (Bild 12). Bei einem Feststoffanteil von 80 bis 85 Gew.-% und einem Zementanteil von 8 bis 9 % wird eine Dichte von 2,5 t/m³ im pumpfähigen Fördergut erreicht. Die maximale Partikelgröße beträgt 106 µm und der pH-Wert liegt bei 11,0 bis 11,5. Zum Einsatz kommt hier eine HSP 2180 HPS Sitzventilpumpe (Tabelle 1). Diese Doppelkolbenpumpe wird von einer PCF-gesteuerten Hydraulikeinheit mit 315 kW betrieben.

Das Leitungssystem besteht aus zunächst 830 m horizontaler Leitung über Tage, 290 m Fallleitung und schließlich weite-



Fig. 12. Cemented copper tailings paste.
Bild 12. Zementschlamm aus der Kupfererzaufbereitung.

the pH value is 11 to 11.5. The density of the paste is 2.5 t/m³. With a maximum grain size of 106 µm, the paste is best suitable for a HSP 2180 HPS seat valve pump (Table 1). The piston pump is driven by a hydraulic power pack with 315 kW and PCF control.

The pumping distance is 830 m horizontal above ground, 290 m vertical down and 380 m underground. Pumping up to 60 m³/h at a maximum delivery pressure of 50 bar, the 1,500 m can be achieved. For longer distances coming up in future, up to 80 bar at 60 m³/h can be achieved, and up to 150 bar at smaller output. The inner pipeline diameter is 142 mm.

The most important advantages of backfilling at the Eti Bakir Mine are the following:

- Backfilling of tailings underground reduces the costs of the surface tailings deposit area and the risk of embankment failure at the tailings deposit.
- The environmental control of the heavy metal pollution and acid mine drainage (AMD) is another advantage.
- Furthermore, the backfill operation is more favourable compared to rockfill and hydraulic fill in terms of operation costs.

The tailings are sent to a thickener (Figure 13). The thickener underflow is pumped to a surge tank and from there to disc filters. The tailings with a solid content of 88 to 91% by weight are transported by a conveyor belt over a weighing belt into a continuous

Grain size / Partikelgröße	(%)	Cumulative / Summe
+106 µ	4.90	100.0
+75 µ	7.74	95.10
+53 µ	14.43	87.36
+38 µ	31.42	72.93
+20 µ	27.36	41.51
-20 µ	14.15	14.15

Table 1. Particle size distribution for Eti Bakir tailings.
Tabelle 1. Korngrößenverteilung der Berge aus der Aufbereitung des Kupfererzbergwerks Eti Bakir.

re 380 m horizontal unter Tage. Der Förderdruck beträgt bis zu 50 bar, womit 60 m³/h Förderung über das 1,500 m lange System realisiert werden. Für ein künftig längeres Leitungssystem kann dieselbe Förderrate bei 80 bar beibehalten werden. Ein Druck von 150 bar ist bei geringerer Förderleistung ebenso möglich. Der Innendurchmesser des Förderrohrs beträgt 142 mm.

Die bedeutendsten Vorteile des untertägigen Bergeversatzes im Bergwerk Eti Bakir sind:

- geringere Kosten für die Übertagedeponierung und höhere Deponiesicherheit,
- geringere Schwermetallbelastung und weniger saure Haldenwässer sowie
- geringere Kosten als beim Spülversatz.

Die Berge aus der Flotation werden zunächst in einem Eindicker abgeschieden (Bild 13). Das eingedickte Material gelangt dann in einen Bunker und wird anschließend gefiltert. Der Schlamm hat einen Feststoffanteil von 88 bis 91 Gew.-%, wird über ein Bandsystem weitertransportiert und gewogen und gelangt schließlich in einen Mischer. Nun werden Wasser und Zement hinzugemischt. Das Ausbreitmaß beträgt schließlich 190,5 mm bis 203,2 mm. Abschließend wird das Material der Pumpe zugeführt.

Die Wahl der Pumpe fiel hier aufgrund der Feinheit des Materials wie bereits genannt auf eine Doppelkolbenpumpe mit Sitzventilen vom Typ HSP 2180 HPS mit einem Hydraulikaggregat HA 315 E-SP mit 315 kW Leistung und PCF-Steuerung zur Reduktion der Druckstöße. 60 m³/h werden bei 80 bar gefördert.

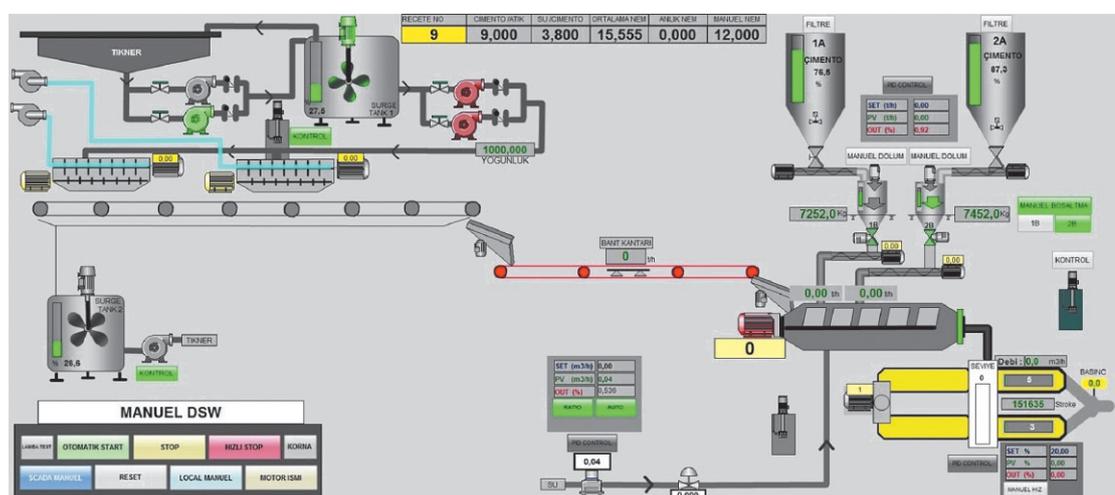


Fig. 13. Overview of the tailings preparation plant at Eti Bakir (Basic flow sheet).
Bild 13. Übersicht über die Bergeaufbereitung des Bergwerks Eti Bakir.



Fig. 14. Concrete-type backfill.
Bild 14. Betonartiges Versatzmaterial.



Fig. 15. Two KOS 25100 HP with combined material feed. // Bild 15. Zwei KOS 25100 HP in Redundanz mit gemeinsamem Aufgabetrichter.

mixer. There, cement and water are added and the paste with a slump of 7.5 to 8 inch (190.5 to 203.2 mm) is sent to the hopper of the piston pump.

Due to the fine-grained material, a seat valve pump of type HSP 2180 HPS for 60 m³/h at 80 bar (peak delivery pressure at smaller output is 150 bar), driven by a HA 315 E-SP with 315 kW motor and PCF control to reduce the pressure pulses, was chosen.

4.2.2 Coarse backfill at a Chinese coal mine

A concrete-type backfill is being introduced to a Chinese mine (Figure 14). This stiff material with a maximum particle size of 25 mm is first pumped for 850 m above ground, then conveyed 410 m vertically downwards through a steel pipeline feed in a borehole, and then pumped approximately a further 1,000 m below ground. A delivery pressure of 70 bar is required for this distance.

Two KOS 25.100 HP pumps, each driven by an HA 500 E, are used for this (Figure 15). One pump is in active use while the other is on standby, to ensure redundancy.

The KOS S-transfer tube pump has the advantage of being able to pump particle sizes of up to 50 mm without difficulty. This enables many possibilities for paste composition and improves cost-effectiveness. The aim is to prevent mining subsidence.

Design data:

- delivery rate: 150 m³/h;
- maximum delivery pressure: 100 bar.

Increased cost-effectiveness and safety below ground are factors in favour of the use of high-density solids pump backfilling. Below are some advantages of high-density solids pump backfilling with cement:

- environmentally acceptable due to no need for surface disposal sites;
- less mining subsidence;
- improved geomechanical control of excavation voids;
- increased work and operational safety below ground;
- uninterrupted delivery path in pipelines, personnel do not have to touch the excavated material;
- very little or no residual water in the mined areas;
- no exhaust gas pollution from backfilling vehicles;
- improved ventilation due to no weather creep; and
- reduced risk of pit fires.

4.2.2 Betonversatz in einem chinesisches Kohlebergwerk

Eine betonartige Mischung mit einer maximalen Korngröße von 25 mm wird in einer nicht näher genannten chinesischen Mine als Versatz verwendet (Bild 14). Dieses recht steife Medium wird zunächst übertägig um 850 m gepumpt, gelangt dann über ein 410 m langes, stahlgefüttetes Bohrloch in den Untergrund und schließlich über weitere 1.000 m Rohrleitung zu seinem Einsatzort. Ein Druck von 70 bar ist bei dieser Strecke notwendig.

Zum Einsatz kommt hier eine Pumpe vom Typ KOS, Modell 25.100 HP (Bild 15), angetrieben mit einem Aggregat HA 500 E. Die Wahl der Pumpe fiel auf die KOS-Reihe mit S-Rohr, da diese Pumpen problemlos mit Grobkorn bis 50 mm arbeiten können und so bei der Herstellung des Versatzmaterials größere Toleranzen für mehr Flexibilität sorgen. Eine baugleiche Pumpeinheit wird als Redundanz vorgehalten.

Technische Auslegung:

- Förderrate: 150 m³/h,
- Förderdruck maximal: 100 bar.

Mit dem Versatz werden Bergsenkungen vermieden. Durch das Abstützen des Gebirges wird weiterhin auch die Sicherheit unter Tage erhöht. Neben Kostengesichtspunkten sprechen auch folgende Gründe für einen Pumpversatz mit Dickstoffen und zugesetztem Zement:

- umweltfreundlich, da keine übertägige Deponierung notwendig ist,
- kontinuierliches Einbringen des Versatzes,
- Arbeitskräfte kommen nicht in direkten Kontakt mit dem Versatzmaterial,
- kein Austreten von Wässern aus dem Versatzgut,
- keine Abgasentwicklung wie bei herkömmlichem Transport mit Dieselfahrzeugen,
- Vermeidung von Schleichwetterwegen und
- geringeres Risiko einer Brandentwicklung.

4.2.3 Versatz im Salz

Überall auf der Welt werden zunehmend auch in untertägigen Kali- und Steinsalzbergwerken die Grubenräume mit Salzbeton oder einer Mischung aus MgCl₂, MgO und Filterstäuben wieder-gefüllt. Hierfür sind bereits zahlreich Pumpanlagen über oder auch unter Tage installiert.



Fig. 16. Pumping facility for underground recovery plant in Unterbreizbach/Germany. // Bild 16. Pumpstation für den Versatz unter Tage auf dem Bergwerk Unterbreizbach.

4.2.3 Backfilling in potash and salt mining

At home and abroad, there is an increasing trend for the voids created by the below-ground mining of potash and salt to be re-filled with salt concrete or a suspension of $MgCl_2$ solution, MgO binder, and filter dust to stabilise the rock. Above or below ground, appropriate silos and mixing plants with downstream pumping facilities are installed to convey pumpable material into the voids that need to be filled.

Since 2004, selected domed voids have been filled with material at the Unterbreizbach below-ground recovery facility (UTV) of K+S Kali GmbH (Figure 16). The delivered materials and binders are stored in an above-ground silo. From there, a closed delivery line is used to pneumatically convey them below ground and into the silos of the high-density substance facility.

In the mixer of the underground plant, the materials are combined with a salt solution and aggregates on the basis of a specific recipe in order to create a hydraulically pumpable suspension, which is fed into a receiver container. Hydraulically driven seat valve piston pumps are used to pump the suspension through a DN 125 delivery line and into the selected voids, where the material quickly solidifies.

Due to the fine-grained material, three HSP 2180 HP piston pumps were chosen. The pumps are made of stainless steel to avoid corrosion. To reduce pressure drops that arise during pumping due to cylinder change-over, the plants are fitted with the PCF system.

4.2.4 Pumping fly and bottom ash at the Kogan Creek Power Station, Queensland/Australia

With 750 MW, the Kogan Creek Power Station is the largest single-unit power station in Australia. 2.8 mt of hard coal will be burnt each year. The local mine is approximately 4,000 m away from the power plant and with reserves of 300 mt there is enough coal for the next 100 years.

The pumping system was commissioned in 2007 (Figure 17). The fly and bottom ash with a maximum grain size of 50 mm are pumped over a distance of 5,500 m into a prepared and lined ash cell.

Seit dem Jahr 2004 werden auf dem Bergwerk Unterbreizbach der K+S Kali GmbH gezielt ausgewählte Grubenräume versetzt. Die hierfür untertägig installierte Anlage zeigt Bild 16. Das Versatzmaterial samt aller benötigten Zuschlagstoffe wird übertägig in Silos vorgehalten. Die Stoffe werden von dort pneumatisch zur untertägigen Zwischenlagerung gefördert. In einer Mischanlage werden die Stoffe dann unter Einhaltung einer speziellen Rezeptur mit definiertem Salzgehalt zusammengeführt. Das nun pumpfähige Fördergut wird in ein nächstes Zwischenbehältnis überführt. Drei Sitzventilhubkolbenpumpen vom Typ HSP 2180 HP pumpen das Material dann über eine 125er Rohrleitung in die Grubenräume, wo es schnell aushärtet.

Die Wahl fiel hier auch aufgrund der Feinheit des Versatzmaterials auf diese Bauart von Pumpe. Zur Vermeidung von Korrosion wurden die Pumpen aus Edelstahl hergestellt. Ein PCF-System mindert die Druckstöße ab.

4.2.4 Pumpen von Flug- und Bettasche im Kogan Creek Kohlekraftwerk, Queensland/Australien

Mit 750 MW Leistung ist das Kohlekraftwerk Kogan Creek das leistungsstärkste einblöckige Kraftwerk in Australien. Jährlich werden hier 2,8 Mio. t Kohle verbrannt. Die zugehörige Kohlegrube befindet sich in unmittelbarer Nähe zum Kraftwerk, rd. 4 km entfernt, und bietet mit Reserven in Höhe von 300 Mio. t eine Reichweite von über 100 Jahren.

Die Pumpeinheit (Bild 17) zur Förderung der Kraftwerksaschen wurde im Jahr 2007 installiert und befördert die Verbrennungsrückstände über ca. 5,5 km bis zu einer vorbereiteten Aschegrube.

Kontinuierlich wird die Asche zu einer pumpfähigen Suspension aufbereitet und der Aufgabe der Pumpeinheit zugeführt. Über die Schwerkraft fällt die Mischung dann in den Ansaugbereich der Pumpe.

Bei einer maximalen Korngröße von immerhin 50 mm fiel die Wahl für diesen Anwendungsfall auf eine KOS 25.100 HP-Doppelkolbenpumpe mit einem 500-kW-Antrieb und einer angeschlossenen 150er Rohrleitung. Eine zweite Anlage dient als Redundanz. 152 m³/h werden maximal gefördert. Zur Vermeidung von Sedimentation und dadurch bedingten Verstopfungen in der



Fig. 17. Redundant ash preparation and pumping plant at Kogan Creek.
 Bild 17. Herstellung einer pumpfähigen Suspension mit Kraftwerksasche im Kohlekraftwerk Kogan Creek, einschließlich Pumpeinheit und Redundanz.

The ash slurry is mixed by a continuous mixer, and then fed into an intermediate hopper before flowing into the hopper of the piston pump by gravity.

One KOS 25.100 HP double piston pump with concrete valve, driven by a 500 kW power pack, pumps up to 152 m³/h ash slurry through a 150 mm diameter pipeline into the pit. The necessary speed in the pipeline was calculated to be 2.35 m/s to avoid sedimentation and blockages.

Normal operation provides for approximately 100 m³/h. Sedimentation does not occur at this lower delivery rate due to the very close control of the density. Solids content up to 65% are present with strict control methodology in place to monitor the ratio between fly ash and bottom ash. The density of the slurry is 1.42 t/m³ and the pH value is between 9 and 11. The slurry is very abrasive but not corrosive.

To reduce pressure peaks in the long pipeline, the machine is equipped with a pressure peak damping system. One pumping system is working while the other system is on stand-by.

The big advantage at the deposit is that the material levels itself and it is not necessary to drive in the ash with graders or trucks. The high-density slurry dries very quickly, and it is possible to walk over it after three days.

5 Summary and outlook

Hydraulic piston pumps for the transport of solids are an alternative to mechanical delivery systems. They can pump high-density substances with a high content of solids and large particles or foreign bodies. The advantages are lower water and energy requirements for the delivery job. In recent years, the limits of machine performance have been pushed higher and higher, larger machines have been developed, and new fields of application have been opened up.

All types of metal mines and coal mines use piston pumps for conveying paste and slurries to deposits above ground, underground for backfill and for transport in preparation plants as well as dewatering of mines.

Rohrleitung wurde eine notwendige Fördergeschwindigkeit von 2,35 m/s errechnet.

Im Normalfall reicht eine Förderrate von 100 m³/h aber bereits aus, um Sedimentation zu vermeiden. Dabei ist es wichtig, die Dichte und das Mischungsverhältnis aus Flug- und Bettasche ständig zu überwachen. Der Feststoffgehalt beträgt rd. 65%, die Dichte 1,42 t/m³ und der pH-Wert schwankt zwischen 9 und 11. Die Mischung ist äußerst abrasiv aber nicht korrosiv.

Zur Verminderung von Druckstößen ist die Anlage mit einer Dämpfereinheit ausgestattet.

Ein großer Vorteil dieser Mischung ist, dass sie zum einen schnell aushärtet und es nach drei Tagen bereits möglich ist, die Flächen zu betreten, und andererseits die eingespülte Masse nicht nachbearbeitet werden muss, da sie sich selbst auf der Deponie nivelliert.

5 Zusammenfassung und Ausblick

Hydraulische Hubkolbenpumpen stellen in vielen Fällen eine geeignete Alternative zu anderen mechanischen Förderarten dar. In einfach aufbereiteter Form können Feststoffe als Dickstoffe mit hohem Feststoffanteil gepumpt werden, auch wenn gröbere Körnungen enthalten sind. Die Vorteile liegen bei einem geringen Wasser- und Energieverbrauch.

In den vergangenen Jahren wurde die Technologie stets weiterentwickelt. Die Grenzen der Machbarkeit sind angestiegen. Dank größerer und leistungsfähigerer Maschinen sind auch neue Anwendungsfelder hinzugekommen. So kann inzwischen Fördergut über 1.000 m mit einer einzelnen Maschine gehoben werden – eine Leistung, die noch vor einiger Zeit undenkbar schien. Somit kann die Pumptechnik auch interessant für jene Bergwerke werden, deren Schächte an ihre Leistungsgrenzen kommen. Denkbar wäre hier z.B. die Förderung von Rohkohle.

Hubkolbenpumpen sind inzwischen in verschiedenen Metallergzfördernden Bergwerken im Einsatz. Aber auch Kohlebergwerke nutzen diese Pumptechnik, um Versatz unter Tage einzubringen, Berge zu übertägigen Deponien oder Güter zu nachgeschalteten

Pushing the limits of pumping, with regard to machine size and machine performance, e.g., a vertical delivery height of 1 km with a single machine, new possibilities that were previously unheard of in this form are now available. Even the conveyance of raw coal to enhance insufficient shaft capacities is possible.

There is no other technology that can rival this method with regard to meeting this combination of requirements of maximum particle size, output and solids content.

Acknowledgement

The permission to publish results and photographs from Eti Bakir Mine, Plutonic Gold Mine, K+S Kali GmbH and Kogan Creek is greatly appreciated.

References / Quellenverzeichnis

- (1) Jewell, R.: Paste and Thickened Tailings – A Guide. Page 6; ISBN 0-9756756-4-8.
- (2) Zey, W.: Putzmeister High Density Solids Pumps: Design & Application. Page 10, DHW Waiblingen, 1999.

Anlagen zu transportieren. Auch die Sumpfung der Gruben kann so durchgeführt werden.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die hier beschriebene Technik eine sehr vorteilhafte Alternative darstellt, Feststoffe zu transportieren. Die bereits heute verfügbaren technischen Möglichkeiten und die Flexibilität der Systeme stellen andere Förderoptionen in den Schatten.

Danksagung

Für die Erlaubnis zur Verwendung von Anlagendaten und Abbildungen der einzelnen Anlagen geht besonderer Dank an die Bergwerke Eti Bakir Mine, Plutonic Gold Mine, die K+S Kali GmbH und das Kohlekraftwerk Kogan Creek.

Author / Autor

Dipl.-Ing. Peter Peschken, Putzmeister Solid Pumps GmbH, Aichtal/Germany