

# Trackless Loading and Transport Technology for Underground Mining

Underground ore mining, as currently practised around the world, would be unthinkable without trackless vehicles. This technology was first introduced into the mining industry on a trial basis some 60 years ago and its market potential has continued to grow in the intervening years. This can be attributed to the growing international demand for raw materials and also to the gradual transition from large-scale open-pit extraction to underground mining. This organisational structuring has created mines whose production rates are now comparable with that of the big opencast sites. These underground mines have been driving the innovation de-

velopment of trackless technology, a process that has also tended to highlight the significant problems associated with diesel-engine exhaust emissions. Repeated efforts have been made over the years, and this despite the poor quality of the diesel fuel occasionally supplied in various countries, to introduce a modified exhaust-gas technology designed to improve the emission values. These tests were accompanied by a re-examination of the propulsion systems that could potentially be used to drive underground loading and transport vehicles. The following paper discusses the current status of this development.

## Untertägige gleislose Lade- und Transporttechnik

Der untertägige Erzbergbau, wie er heute weltweit betrieben wird, ist ohne Gleislostechnik nicht mehr vorstellbar. Dabei ist diese Technik erst vor etwa 60 Jahren versuchsweise in Bergwerken eingesetzt worden. Das Marktpotential dieser Technologie ist in den Jahren gewachsen. Ursachen sind der weltweit steigende Bedarf an Rohstoffen und auch das Überführen von Großtagebauen in den Tiefbau. Aufgrund dieser organisatorischen Struktur entstehen Bergwerke, deren Förderraten vergleichbar sind mit denen von Großtagebauen. Sie trieben die Innovationsentwicklung der Gleislostechnik voran, auch wenn

diese bis dahin erhebliche Defizite in den Abgaswerten der Diesellaggregate aufwies. In den vergangenen Jahren wurden immer wieder Anstrengungen unternommen, trotz der mitunter nicht ausreichenden Dieselqualität in verschiedenen Ländern, eine Verbesserung der Abgaswerte mit einer modifizierten Abgasteknik zu erreichen. Gleichzeitig wurde im Zuge dieser Versuche auch ein Umdenkungsprozess in den möglichen Antriebstechnologien der Lader und Transportfahrzeuge angestoßen. Der vorliegende Beitrag beleuchtet den aktuellen Stand dieser Entwicklungen.

### Foreword

Underground ore mining, as currently practised around the world, would be unthinkable without trackless vehicles, generally referred-to as LHD (Load Haul Dump) technology. These machines were first introduced into the mining industry on a trial basis some 60 years ago. The development and refinement of this type of equipment was driven by mining companies that were seeking alternatives to the existing technology against a backdrop of increasing demands for higher loading and transport capacities in the ore mining sector. Of all the innovations put forward by equipment developers in the period immediately following the Second World War it was the technical solution proposed by brothers Eddie and Elmer Wagner in the years 1950 to 1963 that seemed to offer the greatest potential for practical application in the ore industry (Figure 1). The system in question involved fitting a special type of steering arrangement to trackless loading and transport vehicles. Two axles were attached to the machine via an articulated joint to produce a flexible vehicle with a pivot

### Vorwort

Der untertägige Erzbergbau, wie er heute weltweit betrieben wird, ist ohne Gleislostechnik – im allgemeinen Sprachgebrauch LHD (Load Haul Dump)-Technik – nicht mehr vorstellbar. Dabei ist diese Technik erst vor etwa 60 Jahren versuchsweise in Bergwerken eingesetzt worden. Auslöser für die Entwicklung und Optimierung dieser Technik waren Bergbaugesellschaften, die auf der Suche nach Alternativen zu vorhandenen Techniken waren, weil die Forderungen nach höheren Leistungen beim Laden und Transportieren im Erzbergbau lauter wurden. Neben zahlreichen Ideen von Entwicklern in den Jahren nach dem 2. Weltkrieg zeigte sich insbesondere die technische Lösung der Brüder Eddie und Elmer Wagner in den Jahren von 1950 bis 1963 für den praktischen Einsatz im Erzbergbau als vielversprechend (Bild 1). Es handelte sich dabei um eine besondere Lenkungsart gleisloser Lade- und Transportfahrzeuge. Man fügte zwei Achsen über ein Gelenk zu einem Fahrzeug zusammen, sodass auf diese Weise ein kurvengängiges Fahrzeug mit einer sogenannten Knicklenkung entstand. Die Möglichkeit, jede Achse über ein

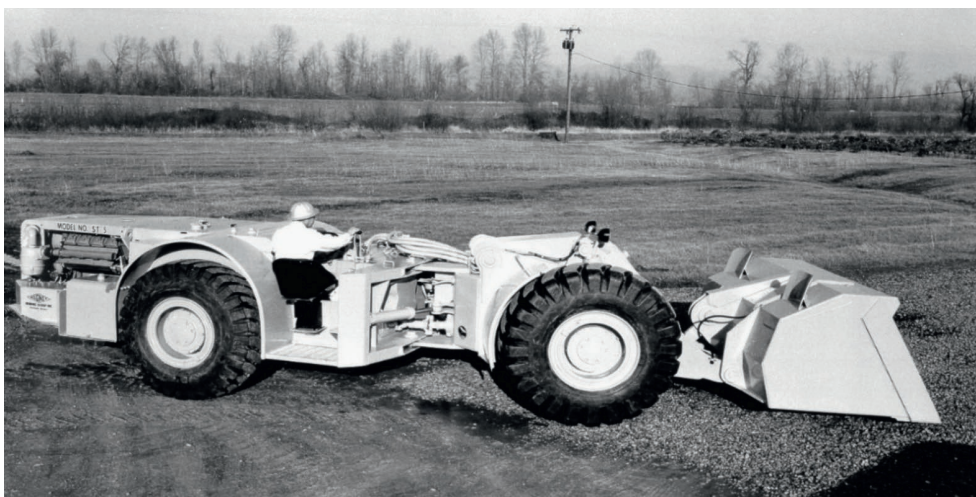


Fig. 1. The Wagner Scooptram ST-5 loader made its debut in 1963.

Bild 1. Wagner Scooptram ST- 5, Ersteinsatz 1963. Photo/Foto: Epiroc/Atlas Copco

steering system. The fact that each axle was driven by differential transmission resulted in a high degree of mobility even under very poor travelling conditions. Combining this arrangement with special mining-grade diesel engines served to create an LHD technology that is still being developed and refined to this day.

The market potential of this technology has increased over the years. This can be attributed to the growing international demand for raw materials and the gradual transition from large-scale open-pit workings to deep mining operations. This organisational structuring has created mines whose production rates are now comparable with that of the big opencast sites. All this has been driving the innovation development of trackless technology, especially the modernisation of load-haul-dump machinery whose diesel emission levels had been a persistent weak spot. Repeated efforts have been made over the years, and this despite the poor quality of the diesel fuel occasionally supplied in various countries, to introduce a modified exhaust-gas technology designed to improve the emission values. These tests also involved a re-examination of the propulsion systems that could potentially be used to drive underground loading and transport vehicles.

In the first decades of this century stagnating and shrinking commodities markets triggered a marked downturn in the demand for mining equipment and this market situation meant that producers cut their development efforts in this segment back to the barest minimum. The range of equipment on offer was also pared back considerably and the large variety of loading and transport vehicles available on the market was scaled down in an attempt to save on costs. This decision had long been overdue and was also an economic necessity, though it was not without its risks. The latter related mainly to the fact that customers were no longer able to put in orders for custom-built machines and so tended to turn to different suppliers – though they too were usually in no position to deliver special-purpose machinery as practically all the equipment manufacturers were now concentrating on building standard models.

The changing global demand for raw materials meant that after 2016 the major mining companies tended to expand their

Verteilergetriebe anzutreiben, erlaubte eine hohe Beweglichkeit auch bei sehr schlechten Fahrbahnverhältnissen. Die Kombination mit bergbautauglichen Dieselmotoren leitete für diese Technologie eine erfolgreiche, bis heute noch nicht abgeschlossene technische Entwicklung bei den Fahrladern und Dumpfern ein.

Das Marktpotential dieser Technologie ist in den Jahren gewachsen. Ursachen sind der weltweit steigende Bedarf an Rohstoffen und auch das Überführen von Großtagebauen in den Tiefbau. Aufgrund dieser organisatorischen Struktur entstehen Bergwerke, deren Förderraten vergleichbar sind mit denen von Großtagebauen. Sie trieben die Innovationsentwicklung der Gleislostechnik voran, insbesondere auch die Modernisierung vorhandener Lader und Dumper, die bis dahin erhebliche Defizite in den Abgaswerten der Dieselaggregate aufwiesen. In den vergangenen Jahren wurden immer wieder Anstrengungen unternommen, trotz der mitunter nicht ausreichenden Dieselqualität in verschiedenen Ländern, eine Verbesserung der Abgaswerte mit einer modifizierten Abgastechnik zu erreichen. Gleichzeitig wurde im Zuge dieser Versuche auch ein Umdenkungsprozess in den möglichen Antriebstechnologien der Lader und Transportfahrzeuge angestoßen.

In der ersten Dekade dieses Jahrhunderts lösten stagnierende und schrumpfende Rohstoffmärkte einen deutlichen Rückgang in der Nachfrage von Bergbauausrüstungen aus. Aufgrund dieser Marktsituation wurden Entwicklungen bei den Herstellern in diesem Segment auf ein Minimum zurückgefahren. Gleichzeitig erfolgte eine Bereinigung der Baureihenprogramme. Die große Typenvielfalt bei den Lade- und Transportfahrzeugen am Markt musste aus Kostengründen zurückgefahren werden. Diese Entscheidung war längst überfällig und auch aus ökonomischen Gründen notwendig, allerdings auch mit Risiken behaftet. Diese bestanden hauptsächlich darin, dass Kunden keine Sondermaschinenwünsche mehr anmelden konnten und dadurch zur Konkurrenz wechselten, obwohl diese auch keine Spezialmaschinen liefern konnte, da bei nahezu allen Herstellern der Standardmaschinentyp oberste Priorität hatte.

Ab 2016 wurde aufgrund der veränderten globalen Rohstoffnachfrage ein Investitionsschub von den Bergbaugesellschaften

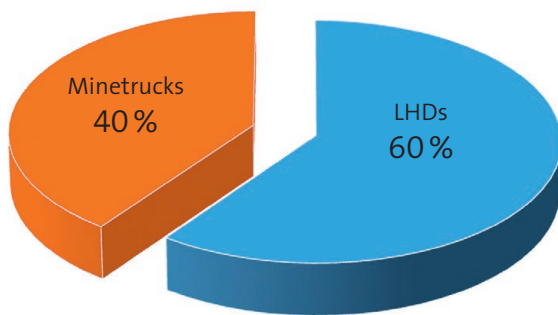


Fig. 2. Trackless vehicles for the international deep mining industry.  
Bild 2. Weltweit eingesetzte Gleislostechnik (unter Tage).  
Source/Quelle: M & R Consulting

investment efforts, though not every manufacturer and producer was able to respond to this by ramping up their production within a manageable timeframe. The ensuing market opportunities were to lead to significant changes at equipment manufacturing companies in the form of mergers and takeovers.

This new situation created a mood of optimism among all the market players, namely the mining companies and the manufacturers and suppliers of components and sub-assemblies for the haulage trucks and loaders.

### Current market situation

There are currently an estimated 25,000 trackless loading and transport vehicles operating in the deep-mining industry worldwide. About two thirds of these are LHDs and the rest are mining dump trucks (Figure 2). Machine size, which defines the transport capacity, can be up to 25 t in the case of LHD machines and as much as 65 t for dump trucks. Some of machines now being built in the dump truck category have capacities of as much as 100 t.

The majority of these machines are powered by diesel engines. There are significant regional differences in this respect and many shortcomings exist when it comes to the use of low-emission power units. This can be attributed to the different regulations that apply to exhaust emission values and to the inconsistent availability of high-quality diesel fuel.

The health risk posed by diesel emissions, which is very much part of the current public debate, has now become a global issue as far as working conditions in the deep mining industry are concerned.

### Drive systems

The following types of drive system are currently available for load-haul-dump machines:

- hydrostatic (diesel);
- hydrodynamic (diesel);
- electric (power cable);
- electric (power cable + battery);
- electric (battery); and
- diesel & storage battery (hybrid).

ausgelöst, der nicht von allen Herstellern und Zulieferern durch Produktionserhöhungen in einem überschaubaren Zeitfenster bewältigt werden konnte. Durch diese sich ergebenden Marktchancen erfolgten signifikante Veränderungen bei den Herstellern von Bergbauausrüstungen durch Übernahmen und Zusammenschlüsse.

Diese neue Marktsituation setzte alle Beteiligten – Bergwerksgesellschaften, Herstellerfirmen und Zulieferer von Bauteilen/Baugruppen für die Montage der Lader und Trucks – in eine Aufbruchstimmung.

### Aktuelle Marktsituation

In den untertägigen Bergwerken weltweit sind geschätzt etwa 25.000 gleislose Lade- und Transportfahrzeuge vorhanden. Diese Anzahl besteht zu circa zwei Dritteln aus Fahrladern, also LHD-Geräten, und etwa einem Drittel aus Minetrucks, sogenannten Dumpnern (Bild 2). Die Baugrößen, die das Transportvermögen umfassen, betragen bei den Fahrladern bis 25 t und bei den Dumpnern derzeit bis 65 t. Bei den Dumpnern wurden auch Geräte bis 100 t gebaut und eingesetzt.

Die Mehrzahl dieser Geräte wird mit Dieselmotoren betrieben. Dabei gibt es regional sehr große Unterschiede, bis hin zu Defiziten, wenn es um den Einsatz von emissionsarmen Motoren geht. Die Ursachen liegen in den unterschiedlichen Bestimmungen für Abgaswerte bei den Dieselmotoren und der Verfügbarkeit von hoher Dieselqualität.

Die in der Öffentlichkeit diskutierte Gesundheitsgefährdung durch Dieselabgase ist weltweit auch in den Untertagebetrieben ein wichtiger Punkt in der Betrachtung der Arbeitsplatzqualität geworden.

### Antriebsysteme

Die heute verfügbaren Antriebssysteme bei den LHD-Ladern sind:

- hydrostatisch (Diesel),
- hydrodynamisch (Diesel),
- elektrisch (Kabel),
- elektrisch (Kabel + Batterie),
- elektrisch (Batterie) und
- Diesel & Speicher (Hybrid).

Die Mehrzahl der Geräte wird nach wie vor von einem Dieselmotor angetrieben. Offensichtlich stellt diese Antriebsart die einfachste Lösung für die Bergwerke dar, trotz der markanten Nachteile wie wachsende wettertechnische Probleme, die in zahlreichen Ländern verfügbare eingeschränkte Dieselqualität und der daraus resultierende sehr begrenzte Betrieb von modernen Dieselmotoren.

Der Anteil der elektrisch betriebenen LHD-Lader mit Kabel ist nach wie vor gering, obwohl seit Jahren leistungsstarke Geräte mit technisch hochentwickelten Kabeltrommelsystemen angeboten werden (Bild 3).

Diese Erkenntnis ist auch bei den Herstellern von elektrisch über Kabel angetriebenen Ladern angekommen, denn die mit dieser Technik angebotene Anzahl an Fahrzeuggrößen wird deutlich kleiner. Eine derartige Entwicklung ist nicht nachvollziehbar, da die Anwender diese Technik mittelfristig dringend benötigen.

Most of these vehicles continue to be powered by a diesel engine. This type of drive system obviously constitutes the easiest solution for mine operators, in spite of significant drawbacks such as increasing ventilation problems and the low quality of the diesel fuel available in many countries, which in turn tends to impose real limitations on modern diesel engines.

Electric powered LHDs with trailing cables continue to represent a fairly small share of this market, though high-performance machines with technically highly-developed cable-reel systems have been available for a number of years (Figure 3).

Manufacturers of electric cable-supplied loaders have also come to realise this fact, as the number of vehicle models available with this system has markedly declined. Such a development is quite hard to understand as users will be badly in need of this technology in the medium term. The main argument against diesel engines is their emission value, as this factor will ultimately result in restrictions being imposed on their use in almost every country. Sales projections will also cause manufacturers to reduce or even suspend production across the model range, with the result that further development work in this field is unlikely to take place.

The development of lithium-based high-output batteries has opened up new possibilities in the field of drive systems for loaders and dumpers. A number of well-known manufacturers have already been quick to develop commercially viable machine concepts that can now be used to power high-performance loaders of up to 18 t and dump trucks of up to 50 t payload capacity (Figure 4).

The following types of drive system are currently available for the mine truck range:

- hydrostatic (diesel);
- hydrodynamic (diesel);
- electric (trolley wire); and
- electric (battery).

Apart from a few model exceptions, this segment of the market is also dominated by diesel technology. Electric powered vehicles fitted with trolley-wire systems are now seen as something of a rarity, though this technique was successfully employed for many



Fig. 3. Type LF 21HE electric loader with cable reel and 21 t payload capacity. // Bild 3. E-Lader mit Kabeltrommel LF 21HE mit 21 t Transportkapazität. Photo/Foto: GHH

Wichtigstes Argument gegen die Dieselmotoren ist der Emissionswert der langfristig in fast allen Ländern zu Zulassungsbeschränkungen führen wird. Außerdem werden die Hersteller aufgrund der Umsatzerwartungen die Aktivitäten bei diesen Baureihen drosseln bzw. einfrieren. Weiterentwicklungen sind dann kaum noch vorstellbar.

Mit der Entwicklung von leistungsstarken Batterien auf Lithium-Basis sind neue Möglichkeiten für Antriebe von Ladern und Dumpfern eröffnet worden. Von verschiedenen namhaften Herstellern wurde in sehr kurzer Zeit ein einsatzfähiges Maschinenkonzept zur Betriebsreife gebracht, in der Form, dass leistungsstarke Lader bis 18 t und Dumper bis 50 t Transportkapazität verfügbar sind (Bild 4).

Die heute auf dem Markt verfügbaren Antriebssysteme bei den Minetrucks sind:

- hydrostatisch (Diesel),
- hydrodynamisch (Diesel),
- elektrisch (Fahrdraht) und
- elektrisch (Batterie).



Fig. 4. The LH518 B battery-powered loader has a payload capacity of 18 t. Bild 4. Batterielader LH518 B mit 18 t Transportkapazität. Photo/Foto: Sandvik



Fig. 5. MT 42 Battery with 42 t payload capacity.  
Bild 5. MT 42 Battery mit 42 t Transportkapazität. Photo/Foto: Epiroc

years. Battery-powered systems can now be used on machines of up to 50 t payload capacity (Figure 5).

Though there are no specific figures available, there are thought to be around 10,000 diesel-powered mine trucks in service around the world, this comprising some 100 different model types.

### The diesel-free mine is a viable concept

Electric-drive cars have been on sale to the general public for quite some time. This technology, which is based on a combination of battery and electric engine, first became possible with the development of high-performance rechargeable battery systems, or more accurately accumulator power packs. This type of storage system is a well-known feature of mobile phones and computers and this is now the most commonly used technology in electric and hybrid vehicles. Modern power packs of this kind have very little in common with the lead-acid batteries previously fitted to the battery locos that used to be a common sight in the underground mining industry.

Manufacturers of lithium-ion batteries use different elements and metals in their production process. Significant here is that those systems that present a lower risk due to their specific chemical composition are now coming to the fore. The combination of lithium and iron is starting to play an increasingly important role in this area.

However, there is always a degree of risk present that these batteries can catch fire. Such events can be attributed, e.g., to manufacturing defects, to improper control of the charging/discharging and cooling process and even to mechanical damage caused by external influences.

It is therefore very important that routines are put in place to ensure the safety of personnel and equipment during underground operations, especially as far as battery fires are concerned. These include the deployment of rescue vehicles and ongoing staff training sessions.

The lithium ion-based batteries currently available for the underground mining industry can weigh up to 8 t and are capable of powering mine trucks of as much as 50 t payload capacity. At some mines the operating companies have taken advantage of this level of performance to replace the diesel power units on all their underground vehicles with electric drive systems, this including drill jumbos as well as loaders, trucks and supply ve-

Bis auf wenige Typen wird auch in diesem Segment der Markt von der Dieseltechnik dominiert. Elektrisch angetriebene Fahrzeuge über Fahrdraht sind als Exoten anzusehen, obwohl die Technik schon über einen langen Zeitraum erfolgreich eingesetzt wird. Möglichkeiten mit Batterieantrieb lassen sich zurzeit auf Baugrößen bis 50 t Transportkapazität anwenden (Bild 5).

Die Gesamtzahl der weltweit eingesetzten mit Diesel angetriebenen Minetrucks beträgt mit einer Grauzone ca. 10.000. Darin sind rd. 100 verschiedene Typen enthalten.

### Das Bergwerk ohne Dieselmotor ist möglich

In der breiten Öffentlichkeit ist der Elektroantrieb in einem PKW längst angekommen. Der Einsatz dieser Technik mit Batterie und Elektromotor wurde durch die Entwicklung von leistungsstarken Batterien, genauer gesagt durch Akkumulatoren erst möglich. Diese Speicher-Technologie ist aus dem Einbau bei Mobiltelefonen und Computern bekannt und wird heute in Elektro- sowie Hybridfahrzeugen am häufigsten eingesetzt. Moderne Bauarten von Akkumulatoren haben mit den Bleiakumulatoren der bekannten Akku-Lokomotiven, die in den Bergwerken eingesetzt werden, sehr wenige Gemeinsamkeiten.

Die Hersteller von Lithium-Ionenbatterien verwenden verschiedene Elemente/Metalle bei der Konstruktion. Es ist entscheidend, dass hierbei Systeme, die eine geringere Gefährdung durch eine bestimmte, chemische Zusammensetzung haben, immer mehr in den Vordergrund treten. Hierbei spielt die Kombination aus Lithium und Eisen eine zunehmende Rolle.

Ein In-Brand-Geräten kann aber grundsätzlich bei einer solchen Batterie nicht ausgeschlossen werden. Ursachen können z.B. Fehler bei der Fertigung, der Steuerung von Laden und Entladen, Kühlung, aber auch mechanische Beschädigungen durch äußerliche Einwirkungen sein.

Daher sind für den Untertageeinsatz, besonders bei Bränden von Batterien, Routinen für die Sicherheit von Personen und Materialien sehr wichtig. Hierzu zählen Rettungsfahrzeuge und die kontinuierliche Schulung aller beteiligten Personen.

Die heute verfügbaren Batterien für den Bergbau unter Tage auf Lithium-Ionenbasis wiegen bis zu ca. 8 t und sind in der Lage, Minetrucks bis zu 50 t Transportkapazität zu versorgen. Diese Möglichkeiten nutzen Bergbaugesellschaften in einigen Gruben dazu, den Dieselantrieb bei allen Untertagefahrzeugen wie Bohrwagen, Ladern, Minetrucks und Versorgungsfahrzeugen durch einen Elektroantrieb zu ersetzen. Es wird sich zeigen, ob das der Einstieg in eine neue Antriebstechnik für den Untertagebetrieb wird. Voraussetzung wird sein, dass die erforderliche elektrische Infrastruktur vorhanden ist. Für zahlreiche kleinere laufende Bergbaubetriebe wird diese Investition wirtschaftlich schwierig, für Brownfield- und Greenfield-Projekte ist die Entscheidung für einen reinen Elektrobetrieb wahrscheinlicher.

Die Möglichkeiten von noch größeren Speicherkapazitäten bei kleineren Batteriedimensionen sind derzeit offensichtlich noch nicht ausgeschöpft.

### Fahrlader und Dumper

Weltweit werden die LHD Fahrlader nach Transportkapazität eingestuft. Entsprechend etwa nach dieser Einteilung:

hicles. It remains to be seen whether this heralds the dawn of a new kind of drive technology for underground mining operations. This will all depend on the necessary electrical infrastructure being made available. Such an investment would pose real economic problems for many of the smaller mining enterprises in operation at the present time, whereas for brownfield and greenfield projects the switch to all-electric power is much more likely.

Moreover, it is clear that the potential for obtaining even greater storage capacity from smaller-sized batteries has yet to be fully explored.

### Mobile loaders and dump trucks

The international classification system for load-haul-dump machinery is based on transport capacity, with the following categories in general usage:

- < 5.5 t;
- 5.5 t to < 8.5 t;
- 8.5 t to < 12 t;
- 12 t to < 15 t;
- 15 t to < 20 t; and
- 20 t and above.

The largest machines have a payload capacity of 25 t and are manufactured by the Sandvik company (Figure 6). Drive power is provided electrically via a cable reel system. Several machines from this model range have been operating successfully for a number of years at the LKAB-operated Kiruna mine in Sweden.

There are thought to be about 15,000 LHD machines in service worldwide, though this is very much a ballpark figure. This global fleet comprises around 200 different models. Most of these vehicles are powered by diesel engines. Cable-supplied electric loaders are being increasingly introduced in the smaller-capacity 5 to 14 t machine category. Standard models are now being used on a more frequent basis and even the typical hard-rock LHDs are being adapted to operate as soft-rock machines.

The latest developments in battery technology have marked a real turning point and battery-powered LHDs of up to 18 t capacity are now available on the market.

In the dump truck category the range of machines available can be broken down as follows:

- < 18 t;
- 18 t to < 26 t;
- 26 t to < 36 t;
- 36 t to < 56 t;
- 56 t to < 65 t; and
- 65 t and above.

Various manufacturers have already been conducting trials with machines of 80 to 100 t payload capacity. These vehicles have been fitted with three or more axles in an attempt to reduce the amount of load acting on the axles and tyres (Figure 7). However, the problem of tyre wear that affects three- and four-axle machines of this type cannot be solved unless steps are taken at the initial mine planning stage to ensure that the bend radii of the underground roadways are designed to accommodate vehicles

- < 5,5 t,
- 5,5 t bis < 8,5 t,
- 8,5 t bis < 12 t,
- 12 t bis < 15 t,
- 15 t bis < 20 t und
- 20 t und größer.

Die größten Geräte haben eine Transportkapazität von 25 t und werden von der Firma Sandvik gebaut (Bild 6). Der Antrieb erfolgt elektrisch über Kabeltrommel. Von dieser Baureihe sind einige seit Jahren erfolgreich im Bergwerk der LKAB in Kiruna/Schweden im Einsatz.

Die Gesamtzahl der eingesetzten LHD-Lader beträgt weltweit etwa 15.000 Geräte mit einer Grauzone. In dieser Menge sind ca. 200 verschiedene Modelle enthalten. Die Mehrzahl der Geräte wird von einem Dieselmotor angetrieben. Elektrisch über Kabel angetriebene Lader werden zunehmend in den kleineren Baugrößen eingesetzt etwa von 5 bis 14 t. Es werden verstärkt Standardtypen eingesetzt. Auch typische Hardrock-Baureihen werden auf sogenannte Soft-Rock-Versionen adaptiert.

Eine entscheidende Wende wurde nun mit der zur Verfügung stehenden Batterietechnik erreicht. Es sind heute LHD-Lader bis 18 t mit Batterie verfügbar.

Eine Größenordnung bei den Dumpern kann nach vorliegender Aufstellung erfolgen:

- < 18 t,
- 18 t bis < 26 t,
- 26 t bis < 36 t,
- 36 t bis < 56 t,
- 56 t bis < 65 t und
- 65 t und größer.

Bisher wurden einige Versuche mit Geräten von 80 bis 100 t Transportkapazität von verschiedenen Herstellern durchgeführt. Diese Typen hatten drei und auch mehr Achsen, damit die Belastung der Reifen und Achsen nicht zu groß wurde (Bild 7). Die Problematik im Reifenverschleiß bei drei und mehr Achsen ist nicht lösbar, wenn bei der Gesamtplanung eines Bergwerks die Kurvenradien nicht auf diese Technik abgestimmt sind. Die Dieselproblematik wird auch zum Umdenken in dieser Technik führen. Für die Bergbauunternehmen war besonders wichtig, dass die Abmessungen



Fig. 6. Electrically-powered LH 625iE mobile loader with 25 t payload capacity. // Bild 6. Elektrisch betriebener Fahrlader LH 625iE mit 25 t Transportkapazität. Photo/Foto: Sandvik



Fig. 7. MT 85 minetruck with diesel drive and 85 t payload.  
Bild 7. Minetruck MT 85 mit Dieselantrieb und 85 t Transportkapazität. Photo/Foto: Epiroc

of this kind. The problems associated with using diesel engines below ground will also force a rethink to this technology area. A key requirement as far as mining companies are concerned is that dump trucks should be able to pass through the existing roadway profiles without restriction.

The search for alternative drive systems has become a priority issue in many mining regions because of the increased use of the block caving method, a practice that produces large quantities of material and requires a high concentration of loading vehicles.

Some manufacturers are currently producing battery-equipped LHDs and dump trucks for underground mines. An all-electric drive system with no trailing cable is certainly an attractive proposition. Time will tell whether this solution will be the one adopted by users. Hybrid drives are also available, these featuring a diesel engine and generator system that uses the electrical energy generated to feed a series of electric engines. Another option is to use a cable-supplied electric loader equipped with an on-board battery that enables the machine to flit from one workplace to another (Figure 8).

### Ventilation

The industry is currently witnessing a transition from large open-pit excavation to deep mining and this trend is set to continue. If diesel power is used exclusively at these new large-scale mining complexes, where production rates can exceed 100,000

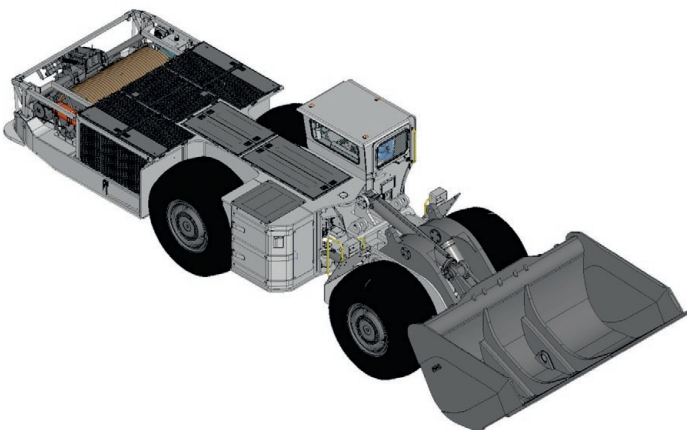


Fig. 8. LF 19 EB hybrid loader (cable + battery).  
Bild 8. Hybridlader (Kabel + Batterie) LF 19 EB. Photo/Foto: GHH

der Dumper ohne Einschränkungen in die vorhandenen Streckenquerschnitte passen.

Die Suche nach Alternativantriebsmöglichkeiten hat in vielen Bergbauregionen Priorität, weil auch der Anteil an Blockbruchbaubetrieben mit sehr großen Fördermengen mit der daraus resultierenden hohen Konzentration an Ladefahrzeugen zunimmt.

Zurzeit werden von einigen Herstellern LHD-Lader und Dumper mit Batterie in Bergwerken eingesetzt. Ein rein elektrischer Antrieb ohne Kabel ist verlockend. Es wird sich zeigen, ob dieser eingeschlagene Weg von den Anwendern angenommen wird. Darüber hinaus werden Hybridantriebe angeboten, die über einen Dieselmotor einen Generator antreiben und mit der erzeugten elektrischen Energie werden Elektromotoren gespeist. Eine weitere Möglichkeit bieten Elektrolader mit Kabel, die für das Umsetzen zu einem anderen Einsatzort eine Batterie mitführen (Bild 8).

### Bewetterung

Aktuell und in den nächsten Jahren werden Großtagebaue in den Tiefbau überführt werden. Diese neue Größendimension von Bergwerken mit Fördermengen von > 100.000 t/d werden bei einem reinen Dieselbetrieb erhebliche Vorkehrungen treffen müssen, um eine sogenannte Überdieselung der Grube zu vermeiden. Die möglichen Größen an Dieselleistung unter Tage können 10.000 kW und mehr betragen. Daraus ergeben sich schon bei der Planung des Bergwerks entsprechende Vorgaben hinsichtlich der Streckenquerschnitte und der Streckenlängen. Die aus den Bewetterungsanforderungen resultierenden Probleme bei herkömmlichen Antriebssystemen rücken verstärkt in die wirtschaftlichen Betrachtungen der Unternehmen. Die Problemlösung wird zunehmend anspruchsvoller, da Bewetterung und Klimatisierung sich als wichtige Faktoren in der Kostenrechnung der Bergwerke niederschlagen.

Die Basisdaten für einen Vergleich von Dieselmotor und Elektromotor sind nicht neu. Es ist bekannt, dass ein Elektromotor einen wesentlich höheren Wirkungsgrad von ca. 95 % gegenüber einem Dieselmotor von ca. 30 % hat. Das zeigt sich im Energieverbrauch, der bei einem Elektromotor nur etwa 12 % gegenüber einem Dieselmotor beträgt. Für den Bergbau kommt ein weiterer, wichtiger Faktor im Vergleich hinzu: die Wärmeabgabe der Motoren. Ein Elektromotor gibt nur etwa 15 % der Wärme von einem Dieselmotor an die Umluft ab. Diese Faktoren werden für die Kostenrechnung der Bergwerke zunehmend wichtiger. Hinzu kommen

t/d, stringent precautions will have to be put in place in order to prevent the mine from suffering a “diesel overload”. The amount of diesel power installed below ground can be 10,000 kW or more. This means that certain provisions have to be made at the mine planning stage with regard to the length and profile design of the roadways. The problems that conventional drive systems pose when it comes to meeting underground ventilation requirements are now having an increasing impact on the economic considerations of mining companies. This dilemma is becoming increasingly challenging, as ventilation and air conditioning are important factors in the cost calculations of underground mining operations.

The basic data for comparing diesel and electric engines are not new. It is well known that an electric engine operates at around 95% efficiency, much higher than the 30% usually achieved by a diesel unit. This is reflected in the energy consumption figure, with electric engines only requiring about 12% of the energy consumed by their diesel rivals. Heat emission levels are another major aspect from a mining industry viewpoint, with an electric engine only releasing into the surrounding air about 15% of the heat that is normally emitted by a diesel power unit. These factors are becoming increasingly important for a mine's operational cost accounting. Add to this the familiar conditions that apply in terms of the ventilation requirement per diesel-kilowatt. The expenditure on a mine's air conditioning system generally escalates as a function of working depth and rising rock temperature and the cost of providing ventilation to an expanding underground layout will increase as the workings go deeper.

In many of today's mines underground haulage and personnel transport is provided by vehicles that have been modified in some way from the standard all-terrain models in order that they can meet the operating conditions and safety requirements that apply below ground, this including having to cope with difficult roadway surfaces. The number of vehicles of this kind in service, and the diesel engines that power them, now have to be factored into the mine ventilation calculations. The time has therefore come for modern, pit-worthy vehicles with suitable drive systems to be introduced for transport operations of this kind. These machines have to be capable of ensuring a high level of operational reliability even under poor roadway conditions.

### Automation

The automation of loading and transport vehicles will become an increasingly important issue for mining companies in the coming years. Operating LHD machines with their special seating position is particularly demanding for the vehicle drivers. The same applies to the operators/drivers of dump trucks, who have to carry out their work over a full shift in machines with minimum ride comfort. Automatic vehicle management can make this kind of work much easier and more appealing as a profession (Figure 9).

At the same time, however, a high-tech automatic set-up of this kind demands a very high level of expertise on the part of the personnel involved, should breakdowns or disruptions occur. Special provisions also have to be made to prepare the underground infrastructure, this including measures to improve the quality of

die bekannten Auflagen für den Frischluftbedarf der installierten Dieselleistung. Mit steigender Teufe und Gebirgstemperatur wird der Aufwand für die Klimatisierung immer wichtiger. Die Kosten für die Bewetterung des vergrößerten Grubengebäudes durch die zunehmende Teufe nehmen zu.

Der untertägige Transport bzw. die Fahrung erfolgt in vielen Bergwerken mit Fahrzeugen, die mit kleinen Modifikationen vom Standard geländegängiger Fahrzeuge auf die untertägigen Gegebenheiten und Sicherheitsanforderungen abgestimmt sind, auch unter dem Aspekt der problematischen Fahrbahn. Die Anzahl derartiger Fahrzeuge mit den verwendeten Dieselmotoren muss mittlerweile auch in die Berechnung der Wettermengen einfließen. Daher ist es an der Zeit, auch für diese Einsatzfälle moderne bergbaurechte Fahrzeuge mit entsprechenden Antriebssystemen einzusetzen. Diese müssen in der Lage sein, bei problematischen Fahrbahnverhältnissen eine hohe Funktionsicherheit zu gewährleisten.

### Automatisierung

Das Thema Automatisierung von Lade- und Transportfahrzeugen wird in den nächsten Jahren immer wichtiger für die Bergbauunternehmen. Besonders das Bedienen von LHD-Ladern mit der besonderen Sitzposition stellt hohe Anforderungen an den Fahrer. Das gilt auch für die Bediener/Fahrer von Dumpern, die über den Zeitraum einer Schicht in den Geräten mit minimalem Federungscomfort ihre Arbeit verrichten. Hier könnte die Automatisierung eine erhebliche Arbeitserleichterung bringen und die Attraktivität für diesen Beruf steigern (Bild 9).

Dabei ist zu berücksichtigen, dass ein hochtechnisierter Automatikbetrieb sehr hohe Anforderungen bezüglich der Fachkenntnisse an das Personal im Fall von Störungen stellt. Gleichzeitig müssen die Vorkehrungen in der Untertagestruktur wie Fahrbahnqualität und Sicherung gegen Steinfall getroffen werden. Ein Automatikbetrieb sollte langfristig keine Laborbedingungen für den Untertagebetrieb einfordern, sondern zur Standardanwendung im Grubenbetrieb werden.

### Ausblick

Das Volumen bzw. der Markt für Lade und Transportfahrzeuge für den untertägigen Einsatz wird bis zum Jahr 2025 voraussichtlich



Fig. 9. Automated operation of LHDs and dump trucks with „AutoMine® Fleet“. // Bild 9. Automatischer Betrieb von LHD und Dumper mit „AutoMine® Fleet“. Photo/Foto: Sandvik



the travelling surfaces and prevent rockfalls. The introduction of an automated loading and transport system should in the long term not have to rely on laboratory-type conditions below ground but rather must become the standard application for the mining industry.

### Outlook

The market for mine loaders and transport vehicles is expected to grow by 6 to 7%/a between now and the year 2025, which equates to an increase in the number of machines operating below ground. This projection can mainly be attributed to the widespread transition from open-pit extraction to deep mining, though the growing global population and the resulting increase in demand for raw materials is also a key factor in this process. The markets of the future will be in Australia, Asia and North America. While the mining sector is showing positive signs of growth at present, this trend will be increasingly affected by a lack of qualified personnel. As many countries expend very little on technical skills training, access to modern technology – especially loading and transport machinery – is extremely restricted.

Mine operators have now fully come round to the idea of switching their vehicle fleet from diesel power to electric drive. Many of the criticisms frequently directed at electric-powered equipment over the years, such as lack of flexibility and high costs, are no longer sustainable given the development of innovative technology in the form of battery packs, electric engines and drive control systems (Figure 10).

The advantages of this technology can be summed up as follows:

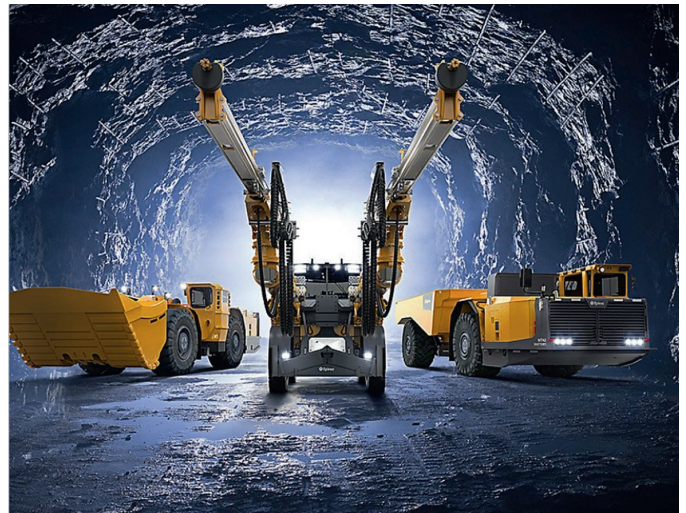
- emission-free operation;
- lower noise levels;
- reduced heat output;
- lower energy costs;
- possibility of energy recovery;
- significant savings on maintenance and repair;
- reduction in ventilation and air-conditioning costs; and
- savings in the profile dimensions of the mine workings.

This new generation of machinery requires far fewer drive-system components, which means that manufacturers of diesel engines, torque converters, gearboxes, shafts and axles, hydraulic pumps and engines will have to learn to adapt to a new business environment.

What is more, these innovative developments call for personnel with appropriate training, both at the manufacturing sites and at the mines, and these skills will not be available overnight. This means that an entirely new set of job profiles will have to be established within this market.

At present the manufacturers seem to be favouring different versions of the electric drive system, though the experience that will gradually be acquired in operating practice is likely to lead to standardisation in this area:

1. An electric engine operating through a gearbox drives one or both axles in an all-wheel drive system.



*Fig. 10. The diesel-free mine is a viable proposition.  
Bild 10. Das Bergwerk ohne Dieselmotor wird möglich.  
Photo/Foto: Epiroc*

um 6 bis 7%/a wachsen. Die Hauptursachen liegen in den zahlreichen Übergängen vom Tagebau zum Tiefbau, zudem spielt auch die wachsende Weltbevölkerung und der daraus entstehende zunehmende Bedarf an Rohstoffen eine wichtige Rolle in der Entwicklung. Die Märkte der Zukunft liegen in Australien, Asien und Nordamerika. Der derzeitige positive Trend in der Bergbauentwicklung wird zunehmend unter Mangel an qualifiziertem Personal leiden. Da in vielen Ländern nur wenig für die Ausbildung von Fachpersonal aufgewendet wird, ist der Zugang zu moderner Technologie besonders in der Lade- und Transporttechnik stark eingeschränkt.

Der Gedanke des Wechsels von dieselmobilen Fahrzeugen zu elektrischem Antrieb ist bei den Bergbaubetrieben angekommen. Die in den vergangenen Jahren häufig angeführten Kritikpunkte, wie mangelnde Flexibilität und Kosten, sind durch die innovative Technik der Batterien, Elektromotoren und Antriebssteuerungen nicht mehr haltbar (Bild 10).

Folgende Vorteile bietet diese Technologie:

- emissionsfreien Betrieb,
- geringere Lärmpegel,
- verminderte Wärmeabgabe,
- geringere Energiekosten,
- Energierückgewinnung,
- erhebliche Einsparungen bei Wartung und Reparatur,
- senken der Bewetterungs- und Klimatisierungskosten und
- Einsparungen bei der Querschnittsdimensionierung des Grubengebäudes.

Diese Gerätegeneration benötigt wesentlich weniger Bauteile für den Antrieb. Hersteller von Dieselmotoren, Wandlern, Getrieben, Achsen, Hydraulikpumpen und Hydraulikmotoren werden sich neu orientieren müssen.

Innovative Entwicklungen verlangen entsprechend ausgebildetes Personal bei den Herstellern und in den Bergwerken. Das wird kurzfristig nicht zu lösen sein. Es werden neue Berufsbilder entstehen, die sich am Markt etablieren müssen.

2. Each axle is driven by one engine or by two engines that are operated by an intelligent control unit.
3. Each wheel is driven by one of four electric engines, with the option of these being designed as wheel hub engines.

For the underground workforce the developments described above will lead to a marked improvement in the breathable air, while the working environment will also benefit greatly from a reduction in the noise and heat radiation levels.

Mines will also gain from significant opportunities to save energy on their ventilation systems. This fact will greatly facilitate the transition to deeper working levels.

The entire market has obviously been waiting for the innovations and technical solutions that are opening up thanks to the introduction of modern battery technology. This is a development that is likely to impact on all kinds of mobile equipment in the long term.

**Author / Autor**

Dipl.-Ing. Karl-Heinz Wennmohs, M & R Consulting, Witten

Zurzeit werden von den Herstellern unterschiedliche Varianten für den Elektroantrieb favorisiert. Langfristig wird es zu einer Vereinheitlichung bzw. Standardisierung kommen, wenn genügend Erfahrungen vorliegen:

1. Ein Elektromotor treibt über ein Getriebe eine Achse oder beide Achsen als Allradantrieb an.
2. Jede Achse wird von einem Elektromotor angetrieben oder von zwei Motoren, die über eine intelligente Steuerung betrieben werden.
3. Jedes Rad wird von einem der vier Elektromotoren angetrieben. Diese können auch als Radnabenmotoren konstruiert sein.

Für die Belegschaft wird diese Entwicklung eine deutliche Verbesserung der Atemluft bringen und auch eine wesentliche Steigerung der Arbeitsplatzqualität durch weniger Lärm und Wärmeabstrahlung bedeuten.

Für Bergwerke eröffnen sich neue Möglichkeiten, insbesondere durch spürbare Einsparungen an Energie bei der Bewetterung. Diese Tatsache wird den Gang der Abbaubetriebe in die Tiefe wesentlich erleichtern.

Offensichtlich hat der gesamte Markt auf Innovationen und technische Lösungen gewartet, die sich durch den Einsatz von modernen Batterien eröffnen. Diese Entwicklung sollte alle mobilen Geräte langfristig beeinflussen.