

Electro-Mobility in Underground Mining

The market for machines and equipment in underground mining will experience significant growth in the coming years. Siemens AG in Nuremberg/Germany has spent years cultivating long-term and successful business relationships with a number of major vehicle manufacturers in the field of mobile mining technology. These relationships are the foundation for expansion of the company's portfolio to include diesel-electrical drive systems for underground

mining vehicles. The conversion from diesel-mechanical to diesel-electrical drive technology represents an important step toward reducing the overall costs of mining activities, complying with increased requirements for environmental standards, and improving work conditions. This development is part of a general trend of electrification, automation, and digitalization that has been emerging for some time in other sectors of industry.

Elektromobilität im Bergbau

Der Markt für Maschinen und Ausrüstungen im Untertage-Bergbau wird in den kommenden Jahren bedeutsam wachsen. Langjährige und erfolgreiche Geschäftsbeziehungen, welche die Siemens AG in Nürnberg mit einer Reihe großer Fahrzeughersteller im Bereich mobiler Tagebautechnik seit vielen Jahren pflegt, bilden die Grundlage für die Erweiterung des Portfolios in Richtung dieselektrischer Antriebssysteme für Untertage-Fahrzeuge. Die Umstellung von

dieselmechanisch auf dieselektrisch in der Antriebstechnik ist ein bedeutsamer Schritt, um die Gesamtkosten bergbaulicher Tätigkeit zu senken, erhöhten Anforderungen an Umweltstandards zu entsprechen und die Arbeitsbedingungen zu verbessern. Diese Entwicklung geht einher mit einem generellen Trend, der sich in anderen Industriebranchen bereits seit einiger Zeit deutlich abzeichnet: Elektrifizierung, Automatisierung und Digitalisierung.

1 Global market for underground mining equipment

1.1 General market assessment

According to a recent study (1) the underground mining equipment market was valued at 20 bn US\$ in 2015 and is expected to reach 33 bn US\$ by 2023 (Figure 1).

Based on the application of underground mining equipment the market is classified into coal mining, metal mining and mineral mining. Coal mining is the largest application segment for underground mining equipment and accounted 39% of revenue share in the global equipment market followed by metal mining with 32% and mineral mining with 29%.

Underground equipment in all market segments are expected to witness considerable growth particularly in emerging markets with rising population and urbanization.

As of 2016, the global underground mining equipment market is dominated by the longwall mining segment. In terms of volume, this segment contributed to a market share of over 73%. The remaining 27% are covered by room and pillar mining.

Asia-Pacific is the largest as well as fastest-growing regional market for mining equipment. Increasing mining activities in India, China and Australia are expected to drive the demand for underground activities.

Mining companies in developed markets such as North America and Europe are replacing their conventional machineries and equipment in order to match government regulations and improve their productivity.

1 Globaler Markt für Maschinen und Ausrüstungen im Untertage-Bergbau

1.1 Allgemeine Markteinschätzung

Einer aktuellen Studie zufolge (1) hatte der Markt für Maschinen und Ausrüstungen für den Untertage-Bergbau im Jahr 2015 einen Wert von 20 Mrd. US-\$ und wird 2023 einen Wert von 33 Mrd. US-\$ erreichen (Bild 1).

Generell kann man in Märkte für Kohlebergbau, Metallerzbergbau und Bergbau auf Mineralien unterscheiden. Auf den Kohlebergbau als größtes Anwendungssegment entfiel ein Umsatzanteil von 39% am globalen Maschinen- und Ausrüstungsmarkt, gefolgt vom Metallerzbergbau mit 32% und dem Bergbau auf Mineralien mit 29%. Die Marktforschung geht davon aus, dass in allen Segmenten ein beträchtliches Umsatzwachstum erwartet wird. Dies gilt insbesondere für Schwellenländer mit steigenden Bevölkerungszahlen und zunehmender Urbanisierung.

Eine Erhebung von Marktdaten aus dem Jahr 2016 zeigt, dass der globale Markt eindeutig vom Strebau dominiert wird. Volumenmäßig hatte dieses Segment einen Marktanteil von mehr als 73%. Auf bergbauliche Ausrüstungen, die im Kammer-Pfeiler-Bau zum Einsatz kommen, entfallen 27%.

Die Region Asien-Pazifik ist der größte, ebenso wie der am schnellsten wachsende regionale Markt. Aufgrund der Ausweitung der Bergbauaktivitäten in Indien, China und Australien wird erwartet, dass die Nachfrage nach Maschinen und Ausrüstungen für den untertägigen Bergbau zunehmen wird.

Revenues		2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Global Mining Market								
Underground Mining Equipment	US\$ Bn	22,2	23,7	25,3	27,0	28,8	30,7	32,7
Compound Annual Growth Rate (CAGR)	%	6,7%						
Coal Mining Market								
Underground Mining Equipment	US\$ Bn	8,6	9,2	9,7	10,3	11,0	11,7	12,4
Compound Annual Growth Rate (CAGR)	%	6,2%						
Metal Mining Market								
Underground Mining Equipment	US\$ Bn	7,1	7,6	8,1	8,7	9,3	9,9	10,6
Compound Annual Growth Rate (CAGR)	%	6,9%						
Mineral Mining Market								
Underground Mining Equipment	US\$ Bn	6,5	7,0	7,4	8,0	8,5	9,1	9,8
Compound Annual Growth Rate (CAGR)	%	7,0%						

Fig. 1. Global market for underground mining equipment.

Bild 1. Globaler Markt für Maschinen und Ausrüstungen im Untertage-Bergbau. Source/Quelle: Siemens.

Latin America is also a prominent market for underground equipment and is expected to grow significantly through the next few years with rising mining activities predominantly in Chile, Peru and Brazil.

1.2 Global market for underground vehicles

The latest available market reports and equipment database (2, 3) consider about 950 underground hard rock mines in operation worldwide. Extrapolating the known data, it can be assumed that there are about 33,000 underground trucks, load haul dumpers (LHDs), drills and bolters in use. Wheel loaders (LHDs) comprise the largest single product group with around 13,500 units in operation, followed by mining trucks with an estimated 8,400 units and development/production drills and bolters with around 11,100 units. In terms of active units, LHDs are the most common type of mobile mining equipment utilized in underground hard rock mines.

In terms of the regional analysis, Asia has still a relatively small mobile equipment population, although it has the largest mineral production from underground operations. However this is going to be changed significantly in the foreseeable future with a number of new equipment manufacturers from China and other Asian countries coming up and entering the global market.

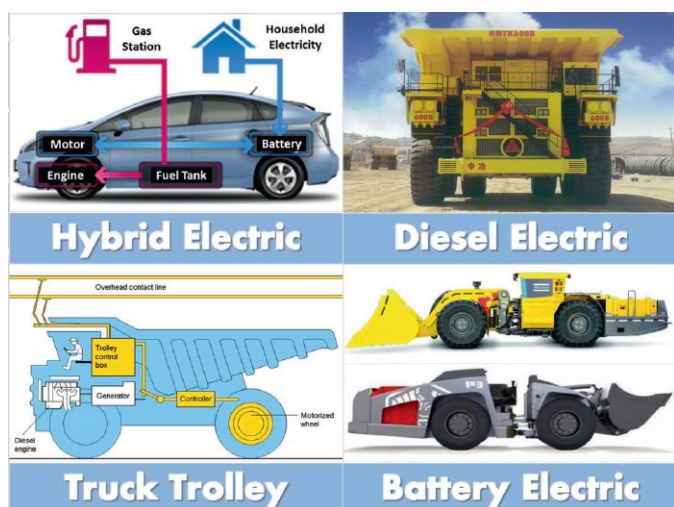
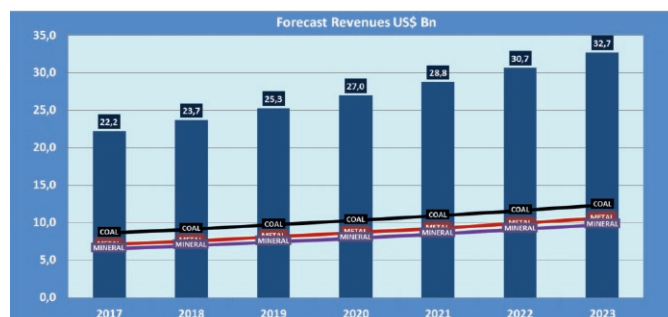


Fig. 2. Electro-mobility and drive train configurations.

Bild 2. Elektro-Mobilität und Antriebskonfigurationen.

Source/Quelle: Siemens



Bergbauunternehmen in entwickelten Märkten wie Nordamerika und Europa ersetzen ihre konventionellen Systeme und Anlagen, um einerseits den erhöhten Anforderungen an Umweltverträglichkeit, Nachhaltigkeit und Arbeitsschutz Rechnung zu tragen, und um andererseits die Produktivität und Effizienz ihrer Bergbauaktivitäten zu steigern.

Auch Lateinamerika ist ein wichtiger Markt für Untertage-Ausrüstungen und wird in den kommenden Jahren angesichts der zunehmenden Bedeutung des Bergbaus in dieser Region erheblich wachsen. Dies betrifft vorrangig die Länder Chile, Peru und Brasilien.

1.2 Globaler Markt für Untertagefahrzeuge

Die jüngsten verfügbaren Marktberichte und die aktuelle Datenbank für Bergbaumaschinen und -ausrüstungen (2, 3) gehen davon aus, dass weltweit rd. 950 untertägige Hartgesteinsbergwerke betrieben werden. Eine Extrapolation der bekannten Daten ergibt, dass in diesen Gruben rd. 33.000 Muldenkipper, Fahrlader, Bohrwagen und Ankersetzgeräte zum Einsatz kommen.

Fahrlader (Load Haul Dumper – LHDs) bilden mit etwa 13.500 betriebenen Einheiten die größte einzelne Fahrzeuggruppe, gefolgt von Muldenkippern mit schätzungsweise 8.400 Einheiten und Bohrwagen sowie Ankersetzgeräten mit zusammen genommen rd. 11.100 Einheiten. Unter den Fahrzeugen, die in untertägigen Hartgesteinsbergwerken zum Einsatz kommen, sind Fahrlader das am häufigsten verwendete Transportmittel.

Eine Analyse der Regionen zeigt, dass die Anzahl der datentechnisch erfassten mobilen Ausrüstungen in Asien nach wie vor verhältnismäßig klein ist, obwohl dort die Produktion von Kohle, Erzen und Mineralien im Untertage-Bergbau das größte Volumen erreicht. Diese Marktaufteilung wird sich jedoch in absehbarer Zeit mit dem Eintritt einer Reihe neuer Lieferanten und Hersteller aus China sowie aus anderen asiatischen Ländern in den globalen Markt signifikant ändern.

2 Elektromobilität und Elektro-Antriebstechnik im Untertage-Bergbau

2.1 Elektromobilität

Mit Elektromobilität werden mobile Transportsysteme und Fahrzeuge bezeichnet, die elektrische Energie als Antriebsmittel benutzen (Bild 2) (4). Einige Fahrzeuge sind mit Komponenten und Systemen ausgestattet, die dazu dienen, an Bord des Fahrzeugs Strom zu erzeugen, z.B. Hybridautos oder dieselektische Muldenkipper (Tagebau-Trucks). Andere nutzen extern erzeugte

2 Electro-mobility and e-drive systems in underground mines

2.1 Electro-mobility

Electro-mobility is a transport system based on vehicles that are propelled by electricity (Figure 2) (4). Some vehicles are equipped with technologies that make them capable of producing their own electricity, e.g. hybrid electric vehicles or diesel-electric trucks. Others utilise energy supplied by a source of electricity outside the vehicle. This includes battery electric vehicles as well as vehicles that do not store electrical energy such as trolley trucks.

2.2 Battery technology

The biggest obstacle on the way to electro-mobility in the mining industry is the current availability of powerful batteries. Mining trucks on their way from the loading point to the unloading point need a lot of driving energy while state of the art batteries offer insufficient energy storage capacities. What is more, batteries are still very expensive and they need loading times which makes it difficult to use them efficiently for underground mining haulage.

The situation is different when it comes to use accumulators to provide electrical energy for LHDs. LHDs operate typically within a limited working range of only a few meters with fluctuating demands of energy consumption. Working cycles with frequently changing phases of acceleration and braking enable the efficient use of battery technology. This is even more of importance as electrical energy can be recuperated during braking.

Although we have seen a tremendous progress in the development of battery technology in the last few years, leading experts do not expect a nationwide deployment of full electric cars. They estimate for 2030 that 30 % of the new cars are fully electric, 40 % dispose of a hybrid drive system and 30 % will be driven conventionally (5).

Transferred to the mining industry this means, an increasing number of applications of electrical drive systems for underground mobility can be expected.

LHDs will be progressively equipped with full-electrical systems, whereas underground mining trucks will be driven by hybrid systems, either diesel electrically or trolley assisted.

2.3 E-drive systems for LHDs

The market for underground mining vehicles is still in the beginning of a paradigm shift that will ultimately replace conventional diesel machines by electrically driven equipment. Especially LHDs with battery-powered drive systems are already available in the market. Mine operators who are already using electrical LHDs confirm that battery-powered machines are both reliable and outperform their diesel equivalents on a number of measures. Artisan 153 battery-powered LHD e.g. has three times of the horsepower of a diesel equivalent unit and more torque on top of that (7).

Electrically powered LHDs are running very well and have been absolutely critical to the success of the underground mines in accessing additional orebodies that are adjacent to their primary orebody.

Other examples for LHDs with enhanced battery applications are vehicle models which offer quick battery change strategies

elektrische Energie für ihr Antriebssystem. Dazu zählen batteriebetriebene Elektroautos oder Truck-Trolley-Systeme, die z.B. in Bussen oder Muldenkippern zum Einsatz kommen.

2.2 Batterie-Technologie

Die aktuell größte Hürde für den breiten Einzug von Elektromobilität in den Bergbau ist die begrenzte Leistungsfähigkeit verfügbarer Energiespeicher. Muldenkipper, die über weite Strecken vom Belade- zum Entladepunkt unterwegs sind, brauchen viel Antriebsenergie. Heutige Batterien verfügen jedoch nicht über genügend Kapazität zur Energiespeicherung, um diesen Anforderungen zu entsprechen. Hinzu kommt, dass Batterien immer noch sehr teuer sind und aufgrund der langen Ladedauer kaum effizient für den Materialtransport über lange Strecken im Bergbau eingesetzt werden können.

Diesbezüglich vorteilhafter stellt sich die Situation für elektrisch betriebene Fahrlader (LHDs) dar, die ihre Antriebsenergie aus Akkumulatoren beziehen. LHDs werden in der Regel in einem räumlich begrenzten Abbaubereich mit nur wenigen Metern Transportentfernung eingesetzt und haben einen im Vergleich zu Muldenkippern wechselnden Energiebedarf im Verlauf ihrer typischen Arbeitszyklen.

Arbeitszyklen mit häufig wechselnden Beschleunigungs- und Bremsphasen ermöglichen den effizienten Einsatz von Batterien zur Energiebereitstellung. Positive Effekte für die Gesamtenergiebilanz ergeben sich darüber hinaus aus der Möglichkeit, elektrische Energie beim Abbremsen zurückzugewinnen.

Auch wenn die Batterietechnologie in den vergangenen Jahren rasant weiterentwickelt wurde und auch zukünftig bedeutende Fortschritte zu erwarten sind, so gehen führende Experten dennoch nicht davon aus, dass reine Elektrofahrzeuge in naher Zukunft komplett das Straßenbild bestimmen werden. Sie erwarten vielmehr, dass im Jahr 2030 ca. 30 % der Neuwagen reine Elektrofahrzeuge sind, 40 % ein Hybridantriebssystem besitzen und darüber hinaus 30 % der Fahrzeuge mittels konventioneller Verbrennungsmotoren angetrieben werden (5).

Übertragen auf die Bergbauindustrie bedeutet dies, dass Elektromobilität in zunehmendem Maß in über- und untertägige Grubenbaue Einzug halten wird, mit einem breiten Spektrum von Anwendungen und mit wachsender Zahl der eingesetzten elektrischen Antriebssysteme.

LHDs werden zunehmend rein elektrisch betrieben werden, während dieselektrische Antriebssysteme sowie Truck-Trolley-Systeme in immer größerem Umfang in Muldenkippern zum Einsatz kommen und auf diese Weise die Produktivitäts-, Energie- und Umweltbilanz im Bergbau verbessern.

2.3 Elektro-Antriebssysteme für Fahrlader

Der Markt für Fahrzeuge im Untertagebergbau steht am Beginn eines Paradigmenwechsels, bei dem konventionelle Dieselantriebe letztlich durch elektrisch betriebene Antriebssysteme ersetzt werden. Vor allem Fahrlader mit batteriebetriebener Antriebstechnik sind bereits am Markt erhältlich. Bergwerksbetreiber, die seit einigen Jahren elektrische Fahrlader einsetzen, bestätigen, dass batteriebetriebene Maschinen zuverlässig sind und die entsprechenden Dieselfahrzeuge in vielerlei Hinsicht übertreffen. Der batteriebetriebene LHD Artisan 153 z.B. bietet die dreifache



Fig. 3. Application examples for truck trolley systems.
Bild 3. Anwendungsbeispiele für Truck-Trolley-Systeme.
Source/Quelle: Siemens

(8). This enables a 24/7 operation with just two batteries. Manufacturers report these machines are emission and fossil fuel-free and consume 80% less energy than a diesel equivalent.

Which impact does the availability of battery-powered LHDs have for the future development of underground mines?

Mine operators stated that the useful life time of LHD's end when the engine has to be overhauled because of excessive maintenance costs. With the increasing usage of battery-powered LHDs there is no engine overhaul necessary and there is only very limited amount of scheduled maintenance required.

What is more, there are a number of mining companies which are currently planning future mine construction and operation in anticipation of retiring their ageing diesel fleets. They predominantly operate diesel equipment which will arrive their nominal lifetime very soon. In consequence, mine operators consider to replace their old diesel equipment by battery powered LHDs.

2.4 Truck trolley systems

Trolley systems use electrical energy which is sourced from a grid and transmitted directly to the drive system of any vehicle via an overhead catenary that is installed along the driveway. The power supply from the catenary line to the drive system takes place via a pantograph which is installed on top of the vehicle (Figure 3).

Truck trolley systems are proven technology and being used in a number of open pit mines, especially in Africa and North America. However there are also a few truck trolley systems in operation in underground mines.

One example is the Kiruna iron ore mine in Sweden. Other examples are in Canada Kidd Creek in Ontario and Hope Brook Gold in Newfoundland. They all use 35 and or 50 t Kiruna electric trucks equipped with trolley systems (9).

With increasing efforts of manufacturers and miners to develop all electric underground mines, truck trolley systems will play a more important role when it comes to design underground haulage systems. One of the reasons for this assumption is the limited availability to store electrical energy on board of the trucks in the foreseeable future.

Whereas battery technology is already available for LHDs, it will take longer until powerful storage systems will be available for underground trucks.

Antriebsleistung im Vergleich zu einem äquivalenten Dieselfahrzeug und zudem mehr Drehmoment (7).

LHDs mit Elektroantrieb laufen sehr gut und waren u. a. ausschlaggebend dafür, dass einige Bergwerksbetreiber dank verminderter Emissionen batteriebetriebener Fahrzeuge Erzkörper in die Abbauplanung einbeziehen konnten, die andernfalls wirtschaftlich nicht abbauwürdig gewesen wären.

Andere Beispiele für LHDs mit intelligenten Batterieanwendungen sind Fahrzeugmodelle, die mit Strategien für einen schnellen Batteriewechsel aufwarten (8). Dies ermöglicht es, derartig ausgestattete Fahrzeuge rund um die Uhr einzusetzen, an sieben Tagen in der Woche und mit nur zwei Batteriesätzen in abwechselndem Einsatz. Den Herstellern zufolge sind diese LHDs nahezu emissionsfrei unterwegs und verbrauchen 80% weniger Energie als ein äquivalentes Dieselfahrzeug.

Wie wirkt sich die Bereitstellung batteriebetriebener LHDs auf die zukünftige Entwicklung des Untertage-Bergbaus aus?

Nach Aussage von Bergwerksbetreibern endet die Nutzungsdauer von LHDs in der Regel dann, wenn der Motor aufgrund zu hoher Wartungskosten überholt werden muss. Beim Einsatz batteriebetriebener LHDs ist keine Überholung des Motors erforderlich, und es fallen nur planmäßige Wartungen in sehr geringem Umfang an.

Hinzu kommt, dass derzeit eine Reihe von Bergbauunternehmen den Ausbau und Betrieb zukünftiger Bergwerke vor dem Hintergrund ihrer alternden Dieselfloten planen und damit für adäquaten Ersatz ihrer stillzulegenden Fahrzeuge sorgen müssen. Sie setzten bisher vor allem Fahrzeuge mit konventionellen Diesel-Antrieben ein, deren nominelle Lebensdauer bereits nach vier oder fünf Jahren abläuft. Bergwerksbetreiber erwägen deshalb, Fahrzeuge mit Verbrennungsmotoren durch batteriebetriebene Fahrzeuge zu ersetzen, die längere Laufzeiten erwarten lassen und somit positive wirtschaftliche Effekte bewirken.

2.4 Truck-Trolley-Systeme

Truck-Trolley-Systeme werden mit elektrischer Energie betrieben, die über eine entlang der Fahrstrecke installierte Oberleitung direkt zum Antriebssystem des Fahrzeugs geleitet wird. Die Stromübertragung von der Oberleitung zum Antriebssystem erfolgt mittels eines Stromabnehmers (Pantographen), der auf der Oberseite des Fahrzeugs installiert ist (Bild 3).

Truck-Trolley-Systeme für Muldenkipper haben sich über Jahrzehnte in der praktischen Anwendung vielfach bewährt und kommen in einer Reihe von Tagebauen zum Einsatz, vor allem in Afrika und Nordamerika. Aber auch in Untertage-Bergwerken werden vereinzelt Truck-Trolley-Systeme für Muldenkipper betrieben.

Ein Beispiel hierfür ist die Eisenerzmine Kiruna in Schweden. Weitere Beispiele sind in Kanada Kidd Creek in Ontario und Hope Brook Gold in Neufundland. In diesen Bergwerken werden elektrische 35 bzw. 50 t-Kirunatrucks eingesetzt, die mit Stromabnehmersystemen ausgestattet sind (9).

Maschinen- und Fahrzeughersteller sowie Bergwerksbetreiber streben zunehmend die vollständige Elektrifizierung untertägiger Abbau- und Transportprozesse an. Im Zuge der Entwicklung von Untertage-Fördersystemen wird daher die Bedeutung von Truck-Trolley-Systemen zunehmen. Diese Annahme gründet sich

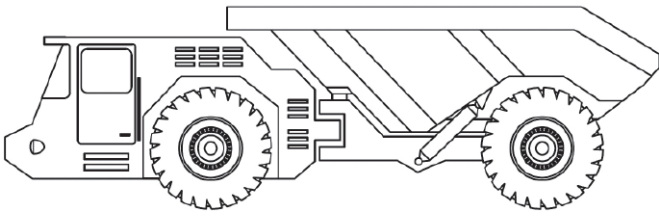


Fig. 4. Underground mining truck 60 t payload.
Bild 4. Untertage-Muldenkipper mit 60 t Nutzlast.
Source/Quelle: Siemens

Truck trolley assisted systems could be a reasonable alternative and efficient possibility to replace fuel based drive systems by electrical drive systems. Practical experiences, however, show how important it is to consider the implementation of a trolley system already in very early stages of underground mine planning.

3 Siemens e-drive systems for underground trucks

Mining truck electrification is part of a strategy Siemens specialists have come up with to improve conditions in underground (UG) mines – as well as to heighten productivity. To this end, Siemens engineers are currently working on developing a highly efficient electric drive system portfolio for UG mining vehicles. At the heart of these systems are electric components, which have been successfully applied for many years in a number of applications in the mining industry (Figures 4, 5, 6).

The solution will first be applied to an articulated UG haul truck with a payload of 60 t. In this particular application, four motors are used, each one driving one wheel. With this drive architecture, the speed and torque of each wheel can be controlled precisely. As a consequence, additional features are available like advanced slip/slide control and electrically supported steering, enabling more precise turns and reduced tire wear.

Testing will commence in mid-2017 at a mine in Western Australia. Initially the solution will be tested for six months above ground and then for another six months in an UG application. After the testing phase Siemens will move right into series production. All the while, the focus will be on a solution that can transport more tons per dollar, is safe for mine personnel, and contributes to overall mine productivity. The benefits for mine operators are significant.

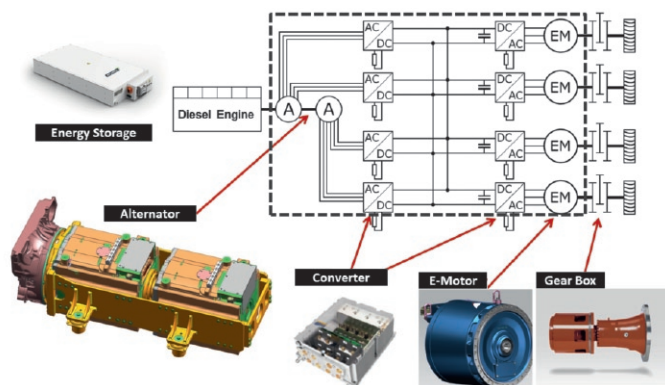


Fig. 5. Design of the Siemens electrical drive system for a 60 t underground mine truck.
Bild 5. Antriebsarchitektur für einen 60 t Muldenkipper.
Source/Quelle: Siemens

u.a. darauf, dass in absehbarer Zukunft nur eingeschränkt Möglichkeiten bestehen, elektrische Energie in Speichersystemen auf LKWs oder Muldenkippern verfügbar zu machen.

Während batteriebetriebene LHDs bereits im Einsatz sind, wird es nach derzeitigem Stand der Technik noch lange dauern, bis leistungsfähige Energiespeichersysteme den wirtschaftlich vernünftigen Einsatz rein batteriebetriebener Untertage-Muldenkipper ermöglichen werden.

Truck-Trolley-Systeme könnten sich hier als vernünftige Alternative erweisen und eine effiziente Möglichkeit darstellen, rein dieselbetriebene Fahrzeuge durch dieselektrische oder komplett elektrische Antriebssysteme zu ersetzen.

Die praktische Erfahrung zeigt jedoch, wie wichtig es ist, sich bereits in sehr frühen Phasen der Bergwerksplanung sowohl im Tiefbau als auch für Tagebaue mit der Einführung von Truck-Trolley-Systemen zu beschäftigen, um deren effizienten Einsatz überhaupt erst zu ermöglichen.

3 Elektrische Antriebssysteme von Siemens für Untertage-Muldenkipper

Die Elektrifizierung von Muldenkippern ist Teil einer Strategie, mit der die Siemens AG die Umweltbedingungen in Untertage-Bergwerken verbessern will und zugleich einen Beitrag zur Steigerung der Produktivität bergbaulicher Prozesse leisten möchte. Zu diesem Zweck arbeiten Siemens-Ingenieure derzeit an der Entwicklung eines Portfolios hocheffizienter elektrischer Antriebssysteme für Untertage-Fahrzeuge. Den Kern dieser Systeme bilden elektrische Komponenten, die in der Bergbauindustrie seit vielen Jahren in einer Vielzahl von Anwendungen erfolgreich eingesetzt werden.

Eine dieser neuen Antriebslösungen soll zunächst bei einem Untertage-Muldenkipper mit einer Nutzlast von 60 t zum Einsatz kommen (Bild 4). Bei dieser Anwendung ist jeweils ein Elektromotor in jedem der vier Räder des Fahrzeugs untergebracht und treibt das Fahrzeug im Allradbetrieb elektrisch an (Bild 5).

Diese spezifische Antriebsarchitektur ermöglicht es, Geschwindigkeit und Drehmoment des Rads präzise zu steuern. Zudem sind zusätzlich Funktionen verfügbar, wie z.B. Anti-Schlupf-Regelung und elektrisch unterstützte Lenkung, wodurch eine präzisere Kurvenfahrt ermöglicht wird, mit dem Effekt, den Verschleiß der Reifen zu verringern.

Die ersten Praxistests des Prototyp-Fahrzeugs sind ab Mitte 2017 bei einem Bergbaubetreiber im Westen Australiens geplant. Dabei wird der 60 t-Muldenkipper zunächst einen Monat lang auf einer Teststrecke über Tage und dann weitere sechs Monate lang im untertägigen Betrieb getestet. Im Anschluss an die Testphase geht das Antriebssystem in die Serienproduktion, und es werden weitere Muldenkipper entsprechend umgerüstet.

Im Fokus stehen dabei technische Lösungen, die es dem Bergbautreibenden gestatten, die Gesamtkosten – Betriebs- und Investitionskosten – für den Materialtransport zu senken, die Arbeitsbedingungen für das Grubenpersonal zu verbessern und die Produktivität bergbaulicher Prozesse zu steigern. Die Vorteile für Bergwerksbetreiber sind beträchtlich.

Der Einsatz von Muldenkippern mit dieselektrischen Antriebssystemen im Vergleich zu Fahrzeugen mit rein dieselmechanischen Antrieben hat direkt zur Folge, dass weniger

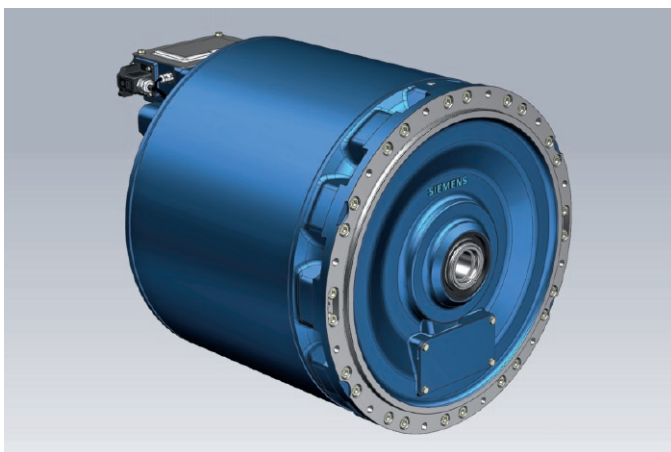


Fig. 6. Encapsulated high-efficient Permanent Magnet Motor (PEM).
Bild 6. Gekapselter hoch-effizienter Permanent Magnet Motor (PEM).
Photo/Foto: Siemens

The application of diesel-electric trucks create more favorable environmental conditions for machine operators and mine personnel, as a direct result of less heat and exhaust from diesel engines. Enhanced use of electrical drive systems for underground haulage will allow reducing the costs for mine ventilation significantly. This is the more of importance as mine ventilation systems normally operate 24 h/d, 365 d/a and account for 25 to 40% of the total energy costs of a mine operation. In absolute figures for an average mine, this would be about 20 to 30 m US\$ per year running costs for mine ventilation (6).

Trucks with diesel-electric drive systems are faster than diesel-mechanical trucks because the total efficiency of the diesel-electric drive system is higher. Thus, more power from the diesel engine is used for propelling the vehicle uphill, leading to higher speeds on grade.

Another advantage is higher productivity. The typical duty cycle for a haul truck in an UG mine consists of loading bulk material in the mine, transporting it uphill to the unloading point, depositing it at the unloading point, usually at the surface, and driving the empty haul truck back to the loading point for another round. With faster speeds come shorter cycle times, which means that more material can be transported in a given time. Productivity thereby gets a boost.

A further point is that diesel-electric drive systems require less maintenance – that makes more operating hours possible between scheduled downtimes. Availability is greater as a result. In total, Siemens engineers expect maintenance expenditures to be approximately 15% lower with diesel-electric haul trucks than with conventional diesel haul trucks. Together, the higher productivity and operating times will lead to reduced cost per ton for a productivity gain of about 10%.

In addition, diesel-electric drives are environmentally friendlier. Because the diesel engines are running at a constant speed, emissions of diesel exhausts are lower. Also, there are no bursts of noise coming from the engines. Furthermore, braking energy can be harnessed and stored for electric propulsion. An upshot of using diesel-electric drive systems is that operators can gain access to ore bodies that cannot be mined economically with conventional diesel-powered engines.

Wärme und weniger Schadstoffemissionen an die Umgebung abgegeben werden. Dadurch verringert sich der Aufwand für die Bewetterung untertägiger Grubenbaue.

Der verstärkte Einsatz von elektrischen Antriebssystemen für den Untertage-transport wird zu einer erheblichen Reduzierung der Kosten für die Grubenbewetterung führen. Dies ist umso wichtiger, weil Bewetterungssysteme in der Regel 24 Stunden täglich an 365 Tagen im Jahr in Betrieb sind und 25 bis 40% der Gesamtenergiekosten eines Bergbaubetriebs erzeugen. In absoluten Zahlen ausgedrückt sind das bei einem durchschnittlichen Bergwerk Betriebskosten in Höhe von 20 bis 30 Mio. US-\$ jährlich für die Bewetterung (6).

Muldenkipper mit dieselektrischen Antriebssystemen sind schneller als dieselmechanische Fahrzeuge, da dieselektrische Systeme höhere Wirkungsgrade erreichen. Daher kann ein größerer Teil der vom Dieselmotor bereitgestellten Leistung für den Antrieb des Fahrzeugs an Steigungen genutzt werden.

Ein weiterer Vorteil ist die höhere Produktivität. Der typische Arbeitszyklus eines Muldenkippers in einem Untertagebergwerk gestaltet sich beispielsweise wie folgt: Der Kipper wird untertägig beladen, transportiert das Material nach Übertage zum Entladeplatz, entlädt und fährt von dort zum Beladepunkt zurück. Ermöglicht das Antriebssystem höhere Fahrgeschwindigkeiten, insbesondere während der Aufwärtsfahrten in beladenem Zustand, dann verkürzt sich damit die Zykluszeit, sodass mehr Material pro Zeiteinheit transportiert werden kann. Dies hat eine Erhöhung der Arbeitsproduktivität zur Folge.

Ein weiterer Vorteil dieselektrischer Antriebssysteme resultiert aus der Tatsache, dass diese Systeme einen geringeren Wartungsaufwand verursachen. Dies führt zu verringerten Stillstandszeiten, wodurch höhere Betriebszeiten ermöglicht werden. Eine insgesamt größere Verfügbarkeit der Fahrzeugflotte ist das Ergebnis.

Die Siemens-Ingenieure gehen davon aus, dass die Wartungs- und Instandhaltungsaufwendungen beim Einsatz dieselektrischer Muldenkipper insgesamt rd. 15% geringer sind als beim Einsatz konventioneller Diesel-Muldenkipper. Zusammengefasst führen höhere Produktivität infolge größerer Fahrgeschwindigkeit und längere Betriebszeit der Kipper zu niedrigeren spezifischen Kosten und damit zu einem geschätzten Produktivitätszuwachs von etwa 10%.

Hinzu kommt, dass dieselektrische Antriebe umweltfreundlicher sind. Da die Dieselmotoren mit gleichbleibender Geschwindigkeit laufen, sind die Schadstoffemissionen insgesamt geringer. Auch die Belastung des Bedienpersonals durch Schallemissionen verringert sich, da Geräuschpegelspitzen entfallen, die infolge wechselnder Motorbelastung auftreten.

Elektrische Antriebssysteme haben den Vorteil, dass Bremsenergie nicht zwangsläufig ungenutzt bleiben muss, sondern bei entsprechender Auslegung des Systems gespeichert werden kann und dem elektrischen Antrieb zusätzlich zur Verfügung steht.

Generell lässt sich einschätzen, dass der Einsatz dieselektrischer Antriebssysteme Bergwerksbetreibern eine Reihe von Vorteilen bietet. Dazu zählen Verbesserungen im Fahrbetrieb.

Die elektrische Stromversorgung erlaubt einfaches und sanftes Anfahren und Anhalten sowie eine geringere Belastung von Fahrzeug und Fahrer dank präziser Drehmomentsteuerung.

Operation is enhanced. Electric power allows easy and smooth start/stop operations with less operator strain due to precise torque control. Electric drive trains feature a single-speed transmission, so there are no gear-shifting shocks. Softer/smooth driving also means less maintenance expenditures for the vehicle and road, thus a longer lifetime is possible with overall lower operating costs.

If these attributes are not enough, the use of diesel-electric drives has the potential to create a better atmosphere for mine personnel. Staff can work more efficiently because the UG environment is improved as a result of less heat and exhaust from diesel engines.

Requirements for replacement machinery in UG mines are viewed as the primary market driver for diesel-electric systems. As machinery ages, it requires more and more maintenance and repair. At some point, it simply becomes uneconomical to keep operating it. While at the moment the focus of diesel-electric solutions for UG mines is on haul trucks, Siemens plan is to extend the portfolio to also include LHDs and other UG vehicles like drilling machines. The experience gained with diesel-electric drives in UG haul trucks will be extended to the other equipment.

The drive system platform follows a modular approach, meaning it can be applied to various vehicles in different power and size classes. Portfolio elements include encapsulated electric motors and generators, converters, optional energy storage solutions, as well as vehicle control hardware and software including Siemens' patented control features. What is more, the drive components are based on well-proven Siemens traction technology and specifically engineered to withstand the harsh environmental conditions in UG mining applications. On top of that, diesel-electric vehicles can also operate with trolley lines or batteries – both of which are impossible for pure diesel trucks.

The market for underground mining equipment in the upcoming years is going to become quite substantial. Siemens already enjoys longstanding relationships with major equipment manufacturers to drive the next steps of developing and installing diesel-electric systems in UG mining equipment.

The integration of diesel-electric drives into UG mining equipment is seen as the first step to complete electrification of UG mines. By taking steps toward electrification now, operators can start benefiting from increased productivity and lower maintenance costs, as well as adhere to environmental standards and – most importantly – create a safer work environment for UG mine employees.

References / Quellenverzeichnis

- (1) Underground Mining Equipment Market 2016-2023. Credence Research Inc.
- (2) Market Analysis: Underground-Mining Mobile Equipment. E&MJ, Sept. 2012, basierend auf der schwedischen Raw Materials Group (RMG) und The Parker Bay Co, USA.
- (3) Market Analysis and Forecast: Loading & Hauling Equipment. The Parker Bay Company, Dez. 2015.
- (4) Systems and Perspectives of Electro-Mobility. Chalmers University of Technology, 2014, Göteborg.
- (5) Was die neuen Elektroautos taugen. Spiegel 8/2017.

Elektrische Antriebsstränge besitzen einen ausreichend großen Drehzahlstellbereich, sodass Stellbereichswechsel über Schaltvorgänge des Getriebes nicht erforderlich sind. Dadurch ist ein vergleichsweise sanftes Fahren möglich, was zudem gleichbedeutend ist mit niedrigeren Wartungskosten für Fahrzeug und Fahrwege. Dies führt zu einer längeren Lebensdauer der Maschinen bei gleichzeitig verringerten Betriebskosten.

Darüber hinaus führt die Verwendung dieselektrischer Antriebe zu besseren Arbeitsbedingungen. Das Bedienpersonal unter Tage ist geringeren Umweltbelastungen ausgesetzt, da aufgrund reduzierter Abwärme- und Schadstoffemissionen bessere Umgebungsbedingungen gewährleistet werden können.

Im Zuge von Modernisierung und Neubeschaffung mobiler Fahrzeugtechnik für den Materialtransport in untertägigen Grubenbauen werden zukünftig zunehmend dieselektrische Antriebssysteme nachgefragt werden.

Während derzeit der Fokus ingenieurtechnischer Lösungen für dieselektrische Antriebssysteme auf Untertage-Muldenkipper gerichtet ist, plant Siemens bereits, zukünftig auch Fahrlader sowie Bohrwagen mit effizienten Antriebssystemen auszurüsten. Erfahrungen und Know-how, welche mit der prototypischen Entwicklung und Realisierung des derzeitigen 60 t-Trucks gewonnen werden, fließen dann in diese Entwicklung mit ein.

Die Plattform für diese Antriebssysteme ist modular aufgebaut, sodass sie für verschiedene Fahrzeuge unterschiedlicher Leistungs- und Größenklassen verwendet werden kann. Das Portfolio umfasst gekapselte Elektromotoren (Bild 6) und Generatoren, Umrichter, optionale Energiespeicherlösungen sowie Hardware und Software für die Fahrzeugsteuerung inklusive der patentierten Steuerungsfunktionen von Siemens.

Die Antriebskomponenten basieren zudem auf der bewährten Traktionstechnologie von Siemens und sind speziell für die rauen Umgebungsbedingungen im Untertagebergbau ausgelegt. Darüber hinaus können dieselektrische Fahrzeuge auch über Truck-Trolley-Systeme oder unterstützend durch Batterien betrieben werden, was bei dieselmechanischen Antrieben nicht möglich ist.

- (6) de Souza, E.: Cost saving strategies in mine ventilation. Queens University, Ontario/Kanada, 2015.
- (7) More Battery-powered Options for LHDs. E&MJ, Januar 2017.
- (8) Scooptram ST7 Battery: Underground loader. www.atlascopco.com.
- (9) Atlas Copco Goes „Green“ for Improved Underground Air Quality. <http://www.womp-int.com>.

Author / Autor

Dr.-Ing. Roland Grafe, Senior Sales Manager Mobile Mining, Siemens AG, Nuremberg/Germany