

Chromite Ore Mining in Kazakhstan – Experiences with Fibre-Reinforced Shotcrete

In the Donskoy Mine GOK in Chromtau/Kazakhstan, the TOO Schachtbau Kasachstan, a joint subsidiary of the German companies Schachtbau Nordhausen GmbH and Thyssen Schachtbau GmbH is driving a roadway in tricky geology with a small cross-section by means of New Austrian Tunnelling Method (NATM).

Apart from the application of suitable engineering, the innovative shotcrete with polymer fibre reinforcement and consistent quality assurance in particular contributes towards ensuring that requirements are fulfilled.

Erfahrungen mit faserbewehrtem Spritzbeton im kasachischen Chromerzbergbau – eine Bestandsaufnahme

Die AO TNK Kazchrome mit Sitz in Aktobe/Kasachstan ist einer der führenden Chromerzförderer der Welt. Bis zum Jahr 2020 hat das Unternehmen das Ziel, seine Jahresfördermenge auf den beiden in Chromtau befindlichen Schachtanlagen „Molodeshnaya“ und „10. Jahrestag der Unabhängigkeit Kasachstans“ von 3,7 auf 6,0 Mio. t zu erhöhen. Im Jahr 2009 war das Unternehmen auf der Suche nach einem verbesserten Ausbausystem für horizontale Strecken, da die geologischen Randbedingungen in einer Teufe von 880 m so kompliziert sind, dass das bisherige Ausbausystem dem anstehenden Gebirgsdruck nicht widerstehen kann.

Im Auftrag von Kazchrome wurde von den deutschen Bergbauunternehmen Schachtbau Nordhausen GmbH, Nordhausen, und Thyssen Schachtbau GmbH, Mülheim an der Ruhr, ein Konzept entwickelt, welches den Erfordernissen angepasst ist. Im Oktober 2012 wurde zwischen der Kazchrome und der TOO Schachtbau Kasachstan (SBK), Almaty/Kasachstan, einer gemeinsamen Tochter der beiden deutschen Bergbauunternehmen, ein Vertrag über die Errichtung einer Verbindungsstrecke auf der –480 m-Sohle in 880 m Teufe geschlossen.



Fig. 1. Chromite ore mine Donskoy GOK, Chromtau, Kazakhstan – distance between service shaft (left) and ventilation shaft (right) approx. 4.5 km.
Bild 1. Chromerzmine Donskoy GOK, Chromtau/Kasachstan. Die Entfernung zwischen Serviceschacht (l.) und Wetterschacht (r.) beträgt ca. 4,5 km.
Photo/Foto: SBK

1 Introduction

In 2009, the operator of the “10th Anniversary of the Independence of Kazakhstan” chromite ore mine in Chromtau, the AO TNK Kazchrome, was seeking an improved support system for horizontal headings in the 2nd construction section (Figure 1). The geological general conditions at a depth of 880 m are so complicated that the existing support system is no longer capable

1 Einleitung

Im Jahr 2009 war der Betreiber des Chromerzbergwerks „10. Jahrestag der Unabhängigkeit Kasachstans“ in Chromtau, die AO TNK KAZCHROME, auf der Suche nach einem verbesserten Ausbausystem für horizontale Strecken im 2. Bauabschnitt (Bild 1). Die geologischen Randbedingungen in einer Teufe von 880 m sind so kompliziert, dass das bisherige Ausbausystem dem an-

of withstanding the rock pressure that is created. On behalf of Kazchrome, the German mining companies Schachtbau Nordhausen GmbH, Nordhausen/Germany, and Thyssen Schachtbau GmbH, Mülheim a.d.R./Germany, devised a concept based on existing rock characteristic values, which ideally suits requirements. After a series of consultations and expert discussions, a contract was drawn up to set up a connecting heading on the –480 m level at a depth of 880 m in October 2012. The contract was agreed on between the AO TNK Kazchrome and the TOO Schachtbau Kasachstan (SBK), Almaty/Kazakhstan, a joint subsidiary of the two German mining companies (1).

In February 2011, the AO TNK Kazchrome company issued an invitation to attend a round table in Chromtau, for which representatives of many Russian and Kazak mining institutes turned up. Representatives of the two mentioned mining companies also attended from Europe. Those involved were briefed in advance on the parameters of the future heading as first and foremost knowledge on the geology represents an essential prerequisite for preparing the groundwork for mining in a proper fashion. The aim of the round table was to evolve technology designed to ensure the production of a heading guaranteeing a high rate of advance given extremely difficult conditions.

2 Geology of the roadway

Kazakhstan's chromite ore reserves are located on the southern fringe of the Urals. In contrast to other deposits, which i.e. like in South Africa – run for hundreds of kilometres as massive bands of the magmatic stratification, the Kasak reserves are present in lenticular shape. The surrounding rocks are gabbro amphibolites and serpentinitised perododites. Work on producing the heading takes place in fine grained rocks, which possess complicated fissure systems owing to their specific genesis. Numerous fissures bear testimony to prior intensive fault tectonics and a major stress potential in the rock. The original rock structure has been greatly disturbed resulting in fragmentation.

It is very problematic for ensuring that the technology is optimally harmonised if, e.g., five to ten different fissure systems are encountered at the working face, which are devoid of any clear orientation. The extreme pressure and temperature conditions during metamorphous accompanied by the simultaneous transformation of basic minerals have caused seritisation and chloritisation. The outcome is the rock stability has been substantially reduced. In these zones the rock is ground and worn down to such an extent that overbreaks are scarcely to be avoided. If water is present in these fault-riddled areas this creates an additional set of problems. The rock mass then disintegrates rapidly and convergences result. To master this situation, the rock requires to be precisely assessed during every round of advance, utmost flexibility as well as the application of innovative driving technologies and modern support systems. The conventional support system used by the client involving steel arches with stowing by hand, which had already been installed in parts of the –480 m level, revealed its inability to cope with the geological situation.

3 Support technology based on the NATM

A support concept with anchors and shotcrete in accordance with the New Austrian Tunnelling Method (NATM) was selected – a

stehenden Gebirgsdruck nicht widerstehen kann. Im Auftrag von Kazchrome wurde von den deutschen Bergbauunternehmen Schachtbau Nordhausen GmbH, Nordhausen, und Thyssen Schachtbau GmbH, Mülheim an der Ruhr, anhand der vorhandenen Gebirgskennwerte ein Konzept entwickelt, welches ideal den Erfordernissen angepasst ist. Im Oktober 2012 konnte zwischen Kazchrome und der TOO Schachtbau Kasachstan (SBK), Almaty/Kasachstan, einer gemeinsamen Tochter der beiden deutschen Bergbauunternehmen, ein Vertrag über die Errichtung einer Verbindungsstrecke auf der –480 m-Sohle in 880 m Teufe geschlossen werden (1).

Im Februar 2011 hatte das Unternehmen Kazchrome zu einem „Runden Tisch“ nach Chromtau eingeladen, an dem Vertreter vieler russischer und kasachischer Bergbauinstitute teilnahmen. Aus Europa waren Vertreter der beiden genannten Bergbauunternehmen anwesend. Im Vorfeld wurden alle Beteiligten über die Parameter der anstehenden Streckenauffahrung informiert, da vor allem die Kenntnis der Geologie eine wesentliche Grundlage für eine sinnvolle Bergbauplanung ist. Ziel dieses runden Tisches war es, eine Technologie zu erarbeiten, die eine Streckenauffahrung unter äußerst schwierigen Bedingungen bei gleichzeitig hoher Vortriebsleistung absichern sollte

2 Geologie des Auffahrungshorizonts

Die Chromitlagerstätten Kasachstans befinden sich am südlichen Rand des Ural. Im Gegensatz zu anderen Vorkommen, die – beispielsweise in Südafrika – als massive Bänder über hunderte Kilometer der magmatischen Schichtung folgen, liegen die kasachischen Lagerstätten in Linsenform vor. Die umgebenden Gesteine sind Gabbro-Amphibolite und serpentinierte Peridotite. Die Arbeiten zur Streckenauffahrung erfolgen also in feinkörnigen Gesteinen, die aufgrund ihrer spezifischen Genese mit komplizierten Kluftsystemen behaftet sind. Zahlreiche Klüfte weisen auf eine intensive vorausgegangene Bruchtektonik und ein großes Spannungspotential im Gebirge hin. Das ursprüngliche Gesteinsgefüge ist sehr stark bruchhaft gestört.

Für die optimale Abstimmung der Technologie ist es sehr problematisch, wenn an der aufgeschlossenen Ortsbrust z.B. fünf bis zehn unterschiedliche Kluftsysteme angetroffen werden, die keine klare Orientierung erkennen lassen. Die extremen Druck- und Temperaturbedingungen während der Metamorphose mit gleichzeitiger Umwandlung der basischen Minerale haben eine Seritizierung und Chloritisierung bewirkt. Die Folge ist eine stark herabgesetzte Standfestigkeit des Gebirges. Das Gestein ist in diesen Zonen so stark zermahlen und gegeneinander aufgerieben, dass Mehrausbrüche kaum vermeidbar sind. Eine weitere Problematik ergibt sich, wenn in diesen stark gestörten Bereichen zusätzlich noch Wasser auftritt. Dann löst sich der Gebirgsverband schnell auf, und es kommt zu Konvergenzen. Das Beherrschen dieser Situation erfordert eine präzise Einschätzung des Gebirges bei jedem Abschlag, höchste Flexibilität sowie den Einsatz innovativer Auffahrtechnologien und moderner Ausbausysteme. Das herkömmliche, vom Auftraggeber eingesetzte Ausbausystem aus Stahlbögen mit Handsteinverzug, welches bereits in einigen Bereichen der –480 m-Sohle realisiert worden war, zeigte sehr deutlich, dass es der geologischen Situation nicht gewachsen war.

novelty for the Kazak mining industry. The geological situation that was described posed special challenges on the driving technology, which had to be taken into consideration during the selection process:

- Only a minimum amount of ingressing water was permitted in conjunction with the applied machines and equipment. Water leads to further weakening of the rock given the prevailing rock conditions. The natural underground water already presents substantial difficulties so that an additional influx of water as a result of the applied technology should be avoided at all costs. Thus, when drilling takes place an air-water mix is used for flushing rather than water alone. However, it is not possible to avoid water entirely for industrial safety reasons as the dusts that occur during drilling are extremely hazardous to health.
- The blasting process was aimed at tackling the rock very gently as it had a tendency towards spalling. The application of detonating cord in the hole area enables the exact contour to be separated in a gentle manner. The aim of gentle blasting is to avoid spalls and reduce the rock masses and amount of supports. Owing to the highly fissured rock, however, lower efficiency results from the use of blasting. Nonetheless, by adjusting and optimising the blasting pattern to the local circumstances and the available explosives, it was possible to attain a highly satisfactory result.
- The support system must on the one hand, guarantee the safety of the workforce at the face during the driving phase and on the other, assure the stability of the roadway over a lengthy operating period as the main haulage tunnel (capital underground workings). A fibre-reinforced shotcrete shell was chosen as the bearing support system, rounded off by radial anchors. The shotcrete is placed by means of a manipulator in order to make sure that no member of staff must work in unsecured areas during the supporting phase.

3.1 Machines and equipment

The previously mentioned parameters were taken into account when selecting the machine park. At the same time, an average rate of advance of at least 90 m per month with a length of advance of 2 m in so-called excavation class 5 was secured with the selected engineering in conjunction with the necessary support technology. The premise during the selecting of the equipment was the required relatively small roadway cross-section of 13.7 m² in supported state. The client defined this cross-section in his technical remit in order to ensure that the excavated muck was kept to a minimum. A further challenge was posed by the extremely short period of six months between commissioning and the start of tunnelling, as most manufacturers have considerably longer delivery times for mining equipment for excavations with small profiles. Taken on a worldwide basis, the combination of highly specialised driving equipment and such small roadway cross-sections occurs relatively seldom. Ultimately, the equipment described as follows was provided after taking all specifications into consideration.

3.1.1 Drilling Rig

A two-arm drilling rig – Type Atlas Copco Epiroc Rocket Boomer 282 with telescopic booms and drill hammers of Type COP

3 Ausbautechnologie auf Basis der Neuen Österreichischen Tunnelbauweise (NATM bzw. NÖT)

Es wurde ein für den kasachischen Bergbau innovatives Ausbaukonzept mit Ankern und Spritzbeton nach der Neuen Österreichischen Tunnelbauweise (NÖT) ausgewählt. Die beschriebene geologische Situation stellte besondere Anforderungen an die Vortriebstechnologie, die bei der Auswahl zu beachten waren:

- Durch die eingesetzten Maschinen und Geräte darf nur ein minimaler Wassereintrag erfolgen. Wasser führt bei den vorliegenden Gesteinsverhältnissen zu einer weiteren Entfestigung des Gebirges. Das natürliche Gebirgswasser bereitet schon erhebliche Schwierigkeiten, ein zusätzlicher Wassereintrag durch die angewendete Technologie ist weitestgehend zu vermeiden. Deshalb kommt beim Bohren keine Wasserspülung, sondern eine Luft-Wasser-Gemisch-Spülung zum Einsatz. Ganz auf Wasser zu verzichten, ist aus Gründen der Arbeitssicherheit nicht möglich, da die beim Bohren anfallenden Stäube äußerst gesundheitsschädlich sind.
- Das Sprengverfahren wurde extrem schonend ausgelegt, da das Gebirge ohnehin zu Mehrausbrüchen neigt. Der Einsatz von Sprengschnur im Kranzbereich bewirkt ein schonendes Trennen der exakten Kontur. Ziel des schonenden Sprengens ist die Vermeidung von Mehrausbrüchen und die Reduzierung der Bergmassen und Ausbaumengen. Aufgrund des stark gestörten Gebirges ergibt sich allerdings als Nachteil der Sprengmethode eine geringere Effizienz. Durch Anpassung und Optimierung des Sprengschemas an die örtlichen Gegebenheiten und die verfügbaren Sprengmittel konnte aber ein sehr zufriedenstellendes Ergebnis erzielt werden.
- Das Ausbausystem muss zum einen die Sicherheit der Beschäftigten vor Ort in der Vortriebsphase und zum anderen die Standfestigkeit der Strecke über eine lange Betriebszeit als Hauptförderstrecke – kapitaler Grubenbau – absichern. Als tragendes Ausbausystem wurde eine faserbewehrte Spritzbetonschale gewählt, die durch Radialanker komplettiert wird. Der Spritzbetoneinbau erfolgt mithilfe eines Manipulators, um sicherzustellen, dass kein Mitarbeiter während des Ausbaus in ungesicherten Bereichen arbeiten muss.

3.1 Maschinenteknik

Die zuvor genannten Vorgaben wurden bei der Auswahl des Maschinenparks berücksichtigt. Gleichzeitig wird mit der ausgewählten Technik in Verbindung mit der notwendigen Ausbautechnologie eine durchschnittliche Vortriebsleistung von mindestens 90 m je Monat in der sogenannten Vortriebsklasse 5 mit einer Abschlagslänge von 2,0 m abgesichert. Prämisse bei der Auswahl der Geräte war der geforderte verhältnismäßig kleine Streckenquerschnitt von 13,7 m² im ausgebauten Zustand. Der Auftraggeber hat diesen Querschnitt in seiner technischen Aufgabenstellung so definiert, um eine Minimierung der abzufördernden Bergmassen sicherzustellen. Eine weitere Herausforderung stellte die äußerst kurze Zeit von sechs Monaten zwischen Beauftragung und Vortriebsbeginn dar, da die meisten Hersteller deutlich längere Lieferzeiten bei Bergbauausrüstung für kleinprofilige Vortriebe haben. Weltweit kommt die Kombination aus hochspezialisiertem Vortriebsequipment und derart kleinen Streckenquerschnitten verhältnismäßig selten vor. Letztlich wurde



Fig. 2. Atlas Copco Epiroc Rocket Boomer 282 face drilling rig.
Bild 2. Bohrwagen Atlas Copco Epiroc Rocket Boomer 282.
Source/Quelle: www.epiroc.com

1838 HD+ is deployed (Figure 2). Consequently, both the blast holes and the outer contour holes for gentle blasting as well as the radial anchors in the relatively small cross-section can be drilled. The installed air-water flushing system ensures that no excess water infiltrates the rock during the drilling process.

3.1.2 Loading equipment

The ITC Terex Schaeff 120 F4 header/loader was chosen for loading (Figure 3). It not only carries out loading as such into the vehicles provided by the client, it is also the technical unit for setting up the lattice arches.

3.1.3 Haulage

The client provides locomotives and mine cars as well as transportation for the loaded muck according to contract (Figure 4).

A three-way points system Type Maschinenbau Mark was commissioned to safeguard supplying empty cars and the removal of full ones on the single-track route (Figure 5). The points system located on the driving track is advanced in stages commensurate with tunnelling. In keeping with the quantity to be loaded, a train comprising five to seven cars is filled. The cars are switched on the three-way set of points in such a way that it is always possible for one car to be loaded by the header/loader.



Fig. 4. Locomotives and mine cars deployed at the Donskoy GOK mine for transporting loaded muck.
Bild 4. Die von Donskoy GOK für den Transport des geladenen Haufwerks eingesetzten Lokomotiven und Förderwagen. Photo/Foto: SBK

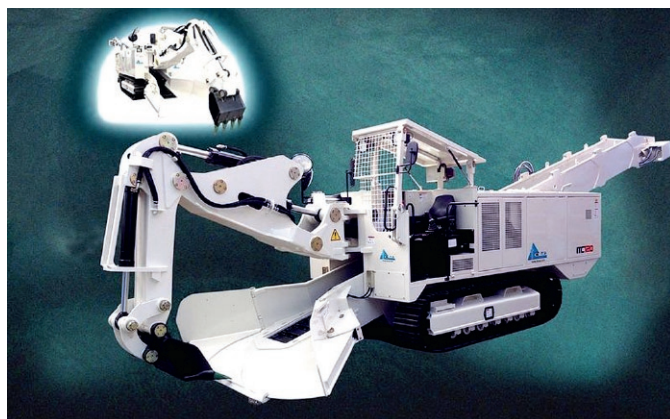


Fig. 3. Tunnel header/loader ITC Terex Schaeff 120 F4.
Bild 3. Tunnelladebagger ITC Terex Schaeff 120 F4.
Source/Quelle: www.itcsa.com

unter Berücksichtigung aller Vorgaben die nachfolgend beschriebene Ausrüstung zum Einsatz gebracht.

3.1.1 Bohrgerät

Im Einsatz ist ein zweiarmiger Bohrwagen vom Typ Atlas Copco Epiroc Rocket Boomer 282 mit Teleskoplafetten und Bohrhämmern vom Typ COP 1838 HD+ (Bild 2). Damit können sowohl die Sprengbohrlöcher und die Außenkranzlöcher für das schonende Sprengverfahren als auch die Radialanker im relativ kleinen Querschnitt gebohrt werden. Die installierte Luft-Wasser-Spülung sichert ab, dass während des Bohrprozesses nicht unnötig viel Wasser in das Gebirge eingetragen wird.

3.1.2 Ladegerät

Als Ladegerät wurde der Ladebagger ITC Terex Schaeff 120 F4 ausgewählt (Bild 3). Er übernimmt nicht nur das eigentliche Laden in die vom Auftraggeber bereitgestellten Bergewagen, sondern ist auch das technische Hilfsmittel für die Aufstellung der Gitterbögen.

3.1.3 Förderung

Die Bereitstellung von Lokomotiven und Förderwagen sowie der Transport des geladenen Haufwerks werden vertragsgemäß durch den Auftraggeber realisiert (Bild 4).

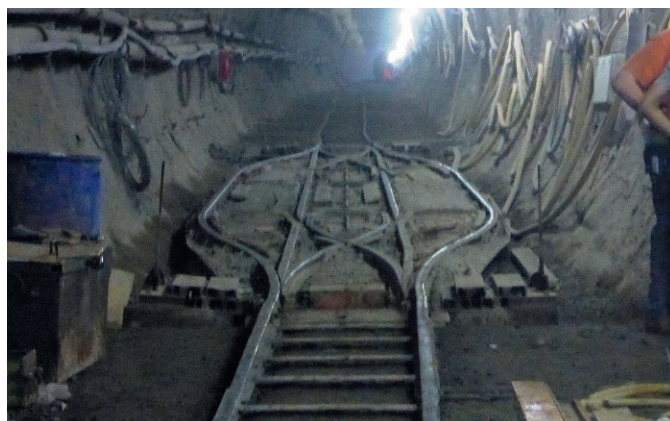


Fig. 5. Three-way points system Maschinenbau Mark.
Bild 5. Dreiwegeweiche System Maschinenbau Mark.
Photo/Foto: www.maschinenbau-mark.de



Fig. 6. Concrete mixing plant Type HA MP 1125/750 SM, Hartmann.
Bild 6. Betonmischanlage Typ HA MP 1125/750 SM, Firma Hartmann.
Photo/Foto: www.hartmann-betonmischanlagen.de

The header/loader and drilling rig travel over the central track of the points, as they have to be interchanged after the corresponding working steps.

3.1.4 Concrete production

The production of the shotcrete represents a particular challenge given the prevailing circumstances, such as availability and quality of the aggregates. In order to be able to fulfil the required strengths of a quality class C 25/30 fibre-reinforced shotcrete, the shotcrete is produced in a hall on the surface autonomously. Towards this end, a concrete mixing plant – Type Hartmann 1125/750 S – was assembled (Figure 6). It was set up in a hall on account of the extreme climatic conditions with very hot summers and very cold winters. It has to be ensured in terms of process technology that the temperature of the aggregates stays between +5 and +25 °C. The hall is accordingly completely thermally insulated and sealed. The client installed electric hot air heaters for the winter period, by means of which the mixing water can also be heated in order to make sure the boundary conditions for the fresh concrete are complied with.

The production of concrete underground is not possible owing to a lack of space. The application of the dry shotcrete method is not permitted owing to the restricted ventilation conditions on the –480 m level.

3.1.5 Concrete transport

Concrete remixer of Type BNM 4 made by Karl-H. Mühlhäuser GmbH & Co. KG (Figure 7) are deployed in order to carry the mixed and chemically retarded shotcrete to its point of installation (delay of up to 4 h). The trackbound and electro-hydraulically driven remixer have a capacity of 4.0 m³. However, they are only filled with roughly 3.1 m³ thanks to better processability and owing to the improved mix. Depending on the excavation class, two to three units per round of advance are needed.

3.1.6 Placing the shotcrete

An electro-hydraulic manipulator – Model Meyco Oruga made by Atlas Copco – is used to apply the concrete on the spot (Figure 8).

Um die Versorgung mit leeren und die Abförderung der gefüllten Vollwagen in der eingleisigen Strecke abzusichern, wurde eine Dreiwegeweiche (Typ Maschinenbau Mark) zum Einsatz gebracht (Bild 5). Diese auf dem Vortriebsgleis liegende Weiche wird taktweise dem Vortrieb folgend nachgezogen. Entsprechend der zu ladenden Menge wird jeweils ein Zug von fünf bis sieben Wagen beladen. Dabei erfolgt auf der Dreiwegeweiche der Wagenwechsel so, dass immer ein Wagen vom Ladebagger befüllt werden kann. Über das Mittelgleis der Weiche fahren Ladebagger und Bohrwagen, da diese nach den entsprechenden Arbeitsschritten getauscht werden müssen.

3.1.4 Betonherstellung

Die Herstellung des Spritzbetons ist unter den gegebenen Umständen wie Verfügbarkeit und Qualität der Zuschlagstoffe eine besondere Herausforderung. Um die notwendigen Festigkeiten eines faserbewehrten Spritzbetons der Güteklasse C 25/30 gewährleisten zu können, wird die Herstellung des Spritzbetons in einer übertägigen Halle in eigener Regie und Verantwortung realisiert. Zu diesem Zweck wurde eine Betonmischanlage vom Typ Hartmann 1125/750 S montiert (Bild 6). Die Anordnung in einer Halle erfolgte aufgrund der extremen klimatischen Schwankungen mit sehr heißen Sommern und sehr kalten Wintern. Prozesstechnisch muss abgesichert sein, dass die Temperatur der Zuschlagstoffe zwischen +5 und +25 °C bleibt. Die Halle ist daher komplett wärmedämmend und abgedichtet. Für die Winterzeit wurden vom Auftraggeber elektrische Warmluftheizer installiert, mit denen auch das Mischwasser geheizt werden kann, um die genannten Randbedingungen des Frischbetons einzuhalten.

Eine Betonherstellung unter Tage ist aus Platzgründen nicht möglich. Die Anwendung der Trockenspritzmethode erlaubt die eingeschränkte Bewetterungssituation auf der –480 m-Sohle nicht.

3.1.5 Betontransport

Um den frisch gemischten und chemisch verzögerten Spritzbeton zum Einbau zu transportieren (Verzögerung bis zu 4 h), sind Betonnachmischer vom Typ BNM 4 der Fa. Mühlhäuser im Einsatz (Bild 7). Die gleisgebundenen und elektrohydraulisch angetriebenen Nachmischer haben ein Fassungsvermögen von 4 m³. Aufgrund der besseren Verarbeitung und bedingt durch die optimale Mischung werden sie jedoch nur mit ca. 3,1 m³ befüllt. In Abhängigkeit von der Vortriebsklasse werden pro Abschlag zwei bis drei Einheiten benötigt.



Fig. 7. Concrete mixer Type BM4 Karl-H. Mühlhäuser GmbH & Co. KG.
Bild 7. Betonnachmischer Typ BM4, Firma Karl-H. Mühlhäuser GmbH & Co. KG. Source/Quelle: www.tunnelling-equipment.com



Fig. 8. Shotcrete manipulator Type Meyco Oruga.
Bild 8. Spritzbetonmanipulator Typ Oruga, Firma Meyco.
Photo/Foto: www.epircoc.com

A Sika Schweiz AG's synchronised chemical pump – Model Aliva 402.2 synchro – adds accelerator directly at the spraying nozzle. A concrete pump – Type 715 SE made by Putzmeister – caters for transporting the concrete from the remixer to the manipulator (Figure 9). The pump was set on an autonomously built and developed rail car in order to transfer the concrete from the remixer outlet to the pump receptacle.

Initially work had to be undertaken using an Atlas Copco, Meyco Altera concrete pump. However, this was then replaced by a Putzmeister 71 SE concrete pump enabling the throughput rate to be increased from 6 to a maximum of 18 m³/h. As a result, the time needed to install the shotcrete shell in a comparable section was reduced to a third.

Thanks to the shotcrete technology applied by SBK, shotcrete shells of 3 to 25 cm thickness can be accomplished. Shotcrete processing by the manipulator is undertaken for industrial safety reasons quite apart from the improved spraying rate. Thus, in the event of poor rock, in this way an initial securing layer can be placed safely without any member of the workforce having to venture into the unsupported area. After deployment the "spraying train" is driven to correspondingly equipped washing areas so that wear-intensive residual concrete can be removed from all the technology. This cleaning work has turned out to be extremely important and essential in practice and is thus carried out with appropriate care.

The same technology is applied to backfill any overbreak that might occur as a result of the geology in spite of the excavation class being individually adapted to the rock.

3.1.7 Further technological steps

As this article deals with the shotcrete technology at length, other technological steps are accorded short shrift at this point. After installing the initial support in the cleared round of advance, the steel lattice arches are positioned with the aid of the manipulator. They back up the static bearing function during the first 28 days until the concrete has reached its final strength. Once the round of advance has been provided with the technologically appropriate amount of concrete, the radial anchors are subsequently drilled and placed by means of the drilling rig.



Fig. 9. Concrete pump Putzmeister P 715 SE on rail car.
Bild 9. Betonpumpe Putzmeister P 715 SE auf dem Gleiswagen.
Photo/Foto: www.moertelmaschinen.de

3.1.6 Spritzbetoneinbau

Die Applikation des Betons vor Ort wird mittels eines elektrohydraulischen Manipulators, Modell MEYCO Oruga von Atlas Copco durchgeführt (Bild 8). Direkt an der Spritzdüse wird über eine synchronisierte Chemiepumpe Modell Aliva 402.2 synchro der Sika Schweiz AG Beschleuniger zugegeben. Den Betontransport vom Nachmischer zum Manipulator übernimmt eine Betonpumpe Typ 715 SE von Putzmeister (Bild 9). Um die Übergabe vom Nachmischerauslass in die Pumpenvorlage zu gewährleisten, wurde die Pumpe auf einen eigenkonstruierten und -entwickelten Gleiswagen gesetzt.

Während zu Beginn der Arbeiten noch mit einer Betonpumpe Atlas-Copco MEYCO Altera gearbeitet wurde, konnte durch den Umstieg auf eine Betonpumpe Putzmeister 71 SE die Durchsatzleistung von 6 auf maximal 18 m³/h erhöht werden. Die Zeit des Einbringens der Spritzbetonschale in einem vergleichbaren Abschnitt konnte dadurch auf ein Drittel reduziert werden.

Durch die von der SBK eingesetzte Spritzbetontechnologie werden Spritzbetonschalen von 3 bis 25 cm Stärke realisiert. Die Spritzbetonverarbeitung durch den Manipulator erfolgt neben der verbesserten Spritzleistung insbesondere auch aus Gründen der Arbeitssicherheit. Bei schlechtem Gebirge kann so gefahrlos eine Erstsicherung aufgetragen werden, ohne dass sich ein Mitarbeiter in den ungesicherten Bereich begeben muss. Der „Spritzzug“ wird nach dem Einsatz zu entsprechend hergerichteten Waschplätzen gefahren, sodass die komplette Technik von verschleißintensiven Betonresten gereinigt werden kann. Diese Reinigungsarbeiten haben sich in der Praxis als äußerst wichtig und notwendig erwiesen und werden dementsprechend gewissenhaft durchgeführt.

Sollte es trotz der individuell an das Gebirge angepassten Vortriebsklasse zu geologisch bedingtem Mehrausbruch kommen, wird dieser mit der gleichen Technologie verfüllt.

3.1.7 Weitere technologische Schritte

Da im Rahmen dieses Artikels detailliert auf die Spritzbetontechnologie eingegangen werden soll, sind an dieser Stelle die übrigen technologischen Schritte nur kurz zusammengefasst. Nach erfolgtem Einbau der Erstsicherung im ausgeräumten Abschlag erfolgt mithilfe des Manipulators das Stellen des Stahlgitterbo-



Fig. 10. Concrete remixer being loaded with fibre reinforced concrete.
Bild 10. Betonnachmischer beim Beladen mit faserbewehrtem Beton.
Photo/Foto: SBK

4 Shotcrete support

The applied shotcrete is a sand-gravel mix with grain sizes of 0 to 8 mm, which is placed on the surface being processed at high pressure. Shotcrete represents an important and necessary instrument for modern, underground operations owing to its special features such as, e.g., the installation process for developing roadways as well as the application of special materials and equipment. The application of shotcrete permits underground structures to be set up practically at random, wherever they may be needed. The geological conditions furthermore scarcely restrict the diversity of application of shotcrete structures.

The production of shotcrete does not differ in the method from that of normal concrete. The quality and consistency of the concrete can be regulated at any time by adjusting the water-cement ratio and adding various aggregates.

It is already evident during the offer processing and planning stages that the production and installation of a qualitatively high-grade shotcrete represents the technological solution's key to success. Consequently, particularly great importance was placed on corresponding equipment and the exact coordination of all working steps. Starting with the concrete mixing plant by way of selecting the remixer for transportation from the surface to the point of application (Figure 10) right up to the placing technology itself, all possibilities for guaranteeing the utmost quality were exhausted.

In the area around Chromtau there are difficulties in procuring the aggregates gravel and sand as well as cement and the necessary chemical additives to assure a sustained high quality. The presence of suitable sands and gravels at the producer's quarry, which comply exactly with specifications, does not actually signify that they will arrive at the construction site possessing the same quality. In some cases, the material is highly contaminated, which, e.g., is due to poorly cleaned loading areas on the trucks prior to loading. Order and cleanliness in producing and processing shotcrete represent an important prerequisite for the success of shotcrete technology. Owing to the high de-

gens, der in den ersten 28 Tagen, bis der Beton seine Endfestigkeit erreicht, die statische Tragfunktion unterstützt. Ist der Abschlag mit der technologisch vorgesehenen Menge an Beton versehen, werden mittels des Bohrwagens im Nachgang die Radialanker gebohrt und gesetzt.

4 Spritzbetonausbau

Der verwendete Spritzbeton ist eine Sand/Kies/Zement-Mischung mit Korngrößen von 0 bis 8 mm, die mit hohem Druck auf die zu bearbeitende Oberfläche aufgetragen wird. Aufgrund seiner Besonderheiten, wie z.B. des Einbauverfahrens beim Streckenausbau sowie des Einsatzes spezieller Materialien und Geräte, ist der Spritzbeton ein wichtiges und notwendiges Instrument für die modernen, untertägigen Arbeiten. Die Anwendung von Spritzbeton ermöglicht es, untertägige Konstruktionen orts- und zweckunabhängig nahezu überall zu errichten, wo sie gebraucht werden. Die geologischen Bedingungen schränken zudem kaum die Anwendungsvielfalt von Spritzbetonbauwerken ein.

Die Herstellung von Spritzbeton unterscheidet sich im Verfahren nicht von der von normalem Beton. Durch Anpassung des Wasser/Zement-Verhältnisses und Zugabe verschiedener Zuschlagstoffe ist jederzeit die Qualität und die Konsistenz des Betons regulierbar. Bereits während der Angebotserarbeitung und Planung zeigte sich deutlich, dass die Herstellung und der Einbau eines qualitativ hochwertigen Spritzbetons der Schlüssel zum Erfolg der technologischen Lösung sein würde. Daher wurde besonders großer Wert auf entsprechende Ausrüstung und die genaue Abstimmung aller Arbeitsschritte gelegt. Angefangen bei der Betonmischanlage über die Auswahl der Nachmischer für den Transport von über Tage zum Einsatzort (Bild 10) bis zur Einbautechnik selbst wurden alle Möglichkeiten für die Gewährleistung höchster Qualität ausgeschöpft. Im Gebiet um Chromtau bestehen bei der Beschaffung der Zuschlagstoffe Kies und Sand sowie des Zements und der erforderlichen chemischen Zusatzmittel Schwierigkeiten, dauerhaft hohe Qualität zu gewährleisten. Das Vorhandensein von geeigneten Sanden und Kiesen beim Hersteller, die in der Kiesgrube noch genau den Vorgaben entsprachen, heißt noch lange nicht, dass diese in der gleichen Qualität auf der Baustelle ankommen. Partiiell sind starke Verunreinigungen im Material festzustellen, die z.B. auf vor der Beladung schlecht gereinigte Ladeflächen der Lkw zurückzuführen ist. Ordnung und Sauberkeit bei der Spritzbetonherstellung und -verarbeitung sind eine wesentliche Voraussetzung für den Erfolg der Spritzbetontechnologie. Aufgrund der hohen Anforderungen durch die Projektvorgaben ist dies in einem Maß erforderlich, wie es im Bergbau sonst eher ungewöhnlich ist. Auch nach nunmehr mehr als vier Jahren Vortrieb ist eine ständige und flächendeckende Kontrolle der Vorgaben an die Lieferanten unerlässlich.

Zur ständigen Qualitätskontrolle des Spritzbetons selbst führt die SBK eine Eigenüberwachung nach deutschen Richtlinien und Bestimmungen durch. Hierfür wurde ein eigenes Prüflabor errichtet und in Zusammenarbeit mit externen Prüflaboren wird ein lückenloser Nachweis der hohen Qualität geführt.

4.1 Prüfung der Spritzbetonqualität

Gemäß den Vorgaben aus der täglichen Praxis in den Mutterhäusern Schachtbau Nordhausen GmbH und Thyssen Schachtbau

mands set by the project parameters, this is essential to an extent that is otherwise unusual in mining. Even now after four years of driving it is still necessary to check the specifications laid down for the suppliers on a permanent and comprehensive basis.

The SBK executes self-monitoring in accordance with German guidelines and regulations to ensure that the shotcrete is subject to permanent control. Towards this end, a special test lab was set up and complete verification of the high quality is maintained in conjunction with external test laboratories.

4.1 Checking quality of the shotcrete

Quality assurance is to be guaranteed for all part-processes of driving the heading in keeping with the specifications prevalent in daily practice in the parent companies Schachtbau Nordhausen GmbH and Thyssen Schachtbau GmbH. As a consequence, the following test run documentation was produced for checking the quality of the shotcrete support:

- Testing the initial materials:
 - grading curves sand, gravel;
 - lab test cement;
 - production documentation concrete chemistry;
 - Chemical composition of the mixing water.
- Fresh concrete test:
 - slump;
 - concrete temperature.
- Ready-mixed concrete:
 - cube compressive strength;
 - cylinder strength;
 - in situ tests.

Samples (cubes) are taken for checking the strength of the freshly produced concrete when the raw material for each round of advance (support arch) was produced. The fresh concrete is left in a form for a day, which is covered with a wet cloth to avoid any moisture being lost. Subsequently the stripped cubes are first of all stored for six days in the water (water temperature 20 ± 3 °C) and then in air (air temperature also 20 ± 3 °C) until 28 days old. Once they have reached their final strength, the cubes are sent to an independent laboratory for the compressive strength check.

Core samples are taken directly from the sprayed wall after 28 days to check the solid concrete underground (Figure 11). The samples are processed in-house and prepared for testing in the lab. These cylinder samples are also subsequently sent to an independent laboratory for the compressive strength to be controlled.

All tests are executed in keeping with the specifications of the corresponding guidelines DIN EN 12350 (2), DIN EN 12390 (3), DIN EN 12504 (4) as well as the EFNARC Guideline for Shotcrete (5). Modern laboratory technology and calibrated and regularly tested measurement technology are available for undertaking all examinations.

All data collected within the scope of in-house and third-party monitoring are digitally processed, specified and being entered into special journals. Furthermore, a corresponding documentation is kept of the tests carried out with the freshly produced and solid concrete.



Fig. 11. Concrete core with 100 mm diameter and 100 mm in height prepared for concrete test – taken from shotcrete shell produced underground. // Bild 11. Für die Betonprüfung vorbereiteter Betonkern mit 100 mm Durchmesser und 100 mm Höhe. Photo/Foto: SBK

GmbH ist die Qualitätssicherung für alle Teilprozesse des Streckenvortriebs zu gewährleisten. Deshalb wurde für die Qualitätskontrollen des Spritzbetonausbaus folgende Prüflaufdokumentation erstellt:

- Prüfung der Ausgangsstoffe:
 - Sieblinien Sand, Kies,
 - Laborprüfung Zement,
 - Herstellungsdocumentation Betonchemie,
 - chemische Zusammensetzung Zugabewasser.
- Frischbetonprüfung:
 - Ausbreitmaß,
 - Betontemperatur.
- Fertigbeton:
 - Würfeldruckfestigkeit,
 - Zylinderdruckfestigkeit,
 - In-situ-Versuche.

Die Entnahme von Proben (Würfeln) für die Kontrolle der Festigkeit des frisch hergestellten Betons erfolgt bei der Herstellung des Rohmaterials für jeden Abschlag (Ausbaubogen). Der Frischbeton wird einen Tag in einer Form belassen, welche nass abgedeckt wird, um einen Feuchtigkeitsverlust zu vermeiden. Im weiteren Verlauf werden die ausgeschalteten Würfel zunächst für sechs Tage im Wasser (Wassertemperatur 20 ± 3 °C) und anschließend bis zum Erreichen eines Alters von 28 Tagen an der Luft (Lufttemperatur ebenfalls 20 ± 3 °C) gelagert. Nach Erreichen der Endfestigkeit werden die Würfel für die Druckfestigkeitskontrolle in ein unabhängiges Labor geschickt.

Für die Kontrolle des festen Betons unter Tage werden nach 28 Tagen direkt aus dem eingespritzten Stoß Bohrkerne entnommen (Bild 11). Die Bohrkerne werden im eigenen Labor bearbeitet und zur Prüfung vorbereitet. Auch diese Zylinderproben gehen im Anschluss für die Druckfestigkeitskontrolle in ein unabhängiges Labor.

Alle Prüfungen erfolgen nach den Vorgaben der entsprechenden Vorschriften DIN EN 12350 (2), DIN EN 12390 (3), DIN EN 12504 (4) sowie der EFNARC-Richtlinie für Spritzbeton (5). Für die Durchführung aller Überprüfungen stehen moderne Labortechnologien zur Verfügung.

4.1.1 Testing the fresh concrete on the surface in the mixing plant (shaft hall)

The fresh concrete in the mixing plant on the surface is tested for the following parameters:

- 1) Adherence to the concrete mix.
- 2) Checking the dosage of chemical additives:
 - a. retarder (MasterRoc HCA20);
 - b. plasticiser (Master Glenium).
- 3) Amount of reinforcing fibres used:
 - a. 4.8 kg/m³ polymer fibres;
 - b. up to 35 kg/m³ steel fibres.
- 4) Checking the concrete density.
- 5) Moisture of the aggregates sand and gravel.
- 6) Grain size distribution of aggregates sand and gravel.
- 7) Cement control (periodically per supplied batch).
- 8) Water-cement ratio.
- 9) Temperature of the fresh concrete.
- 10) Temperature of the surrounding air in the mixing plant hall.
- 11) Slump of fresh concrete.
- 12) Taking samples (cubes) for controlling the concrete strength.

4.1.2 Testing the characteristics of the solid concrete underground

The following parameters are checked underground prior to or during the processing of the shotcrete:

- 1) Dosage of chemical additives.
 - Accelerator (MasterRoc SA 167) – speeds up the setting and hydration process.
- 2) Temperature of the supplied concrete.
- 3) Temperature of the surrounding air on the spot.
- 4) Slump of the supplied concrete.

After processing the following tests are carried out underground in the early stage of hardening:

- 1) Proctor penetrometer:

In this case the force required to drive a nail into the shotcrete to a depth of 15 mm is measured. This method can be applied for determining the initial strength in the early stage of the setting process up to a limit value of approximately 1.2 N/mm².
- 2) Driving nails with the Hilti DX 450-SCT appliance:

Standardised nails are driven into the concrete by means of a propellant cartridge and a previously defined force. When the nails are removed the applied force is measured. The nail impaction method can be applied in the case of an initial concrete strength of up to approximately 2 N/mm². The ratio of the tensile force to the penetration depth represents the corresponding parameter to be checked.

Should the shotcrete strength be in excess of 10 N/mm², it is normally necessary to extract cylinder samples from the concrete mass.

The thickness of the placed shotcrete depends in keeping with the technology largely on the choice of the corresponding excavation class, which is established based on the prevailing rock conditions. If insufficient material for extracting core samples is available in the roadway – in excavation class 4 the shotcrete thickness e.g. only amounts to 5 cm – sprayed samples are

nik sowie geeichte und regelmäßig überprüfte Messtechnik zur Verfügung.

Alle im Rahmen der Eigen- und Fremdüberwachung gesammelten Daten werden digital erfasst, fixiert und zusätzlich in eigene Journale eingetragen. Außerdem werden Dokumentationsunterlagen zu den Versuchsdurchführungen mit frisch hergestelltem und dem festen Beton erstellt.

4.1.1 Prüfung des Frischbetons über Tage in der Mischanlage (Schachthalle)

Der Frischbeton an der Mischanlage über Tage wird auf folgende Parameter hin geprüft:

- 1) Einhaltung der Betonrezeptur.
- 2) Kontrolle der Dosierung der chemischen Additive:
 - a. Verzögerer (Master Roc HCA20),
 - b. Fließmittel (Master Glenium).
- 3) Menge der verwendeten Bewehrungsfasern:
 - a. Polymerfaser – 4,8 kg/m³,
 - b. Stahlfaser – bis zu 35 kg/m³.
- 4) Kontrolle der Betondichte.
- 5) Feuchtigkeit der Zuschlagstoffe Sand und Kies.
- 6) Korngrößenverteilung der Zuschlagstoffe Sand und Kies.
- 7) Zementkontrolle (periodisch pro Liefercharge).
- 8) Wasser/Zement-Verhältnis.
- 9) Temperatur des Frischbetons.
- 10) Temperatur der Umgebungsluft in der Mischanlagenhalle.
- 11) Ausbreitmaß des Frischbetons.
- 12) Entnahme von Proben (Würfeln) für die Betonfestigkeitskontrolle.

4.1.2 Prüfung der Eigenschaften des Festbetons unter Tage

Vor bzw. während der Verarbeitung des Spritzbetons werden untertage folgende Parameter kontrolliert:

- 1) Dosierung der chemischen Additive:
 - Beschleuniger (Master Roc SA 167): beschleunigt den Abbinde- und Hydratationsvorgang.
- 2) Temperatur des angelieferten Betons.
- 3) Temperatur der Umgebungsluft vor Ort.
- 4) Ausbreitmaß des angelieferten Betons.

Nach der Verarbeitung werden im frühen Stadium des Erhärtens folgende Versuche unter Tage durchgeführt:

- 1) Proctor-Penetrometer:

Gemessen wird hierbei die Kraft, die für den Nageleinschlag in eine Tiefe von 15 mm in den Spritzbeton notwendig ist. Diese Methode ist für die Feststellung der Ausgangsfestigkeit im frühen Stadium des Abbindevorgangs bis zu einem Grenzwert ca. 1,2 N/mm² anwendbar.
- 2) Einschlag von Nägeln mit dem Gerät Hilti DX450-SCT:

Mit dem Gerät werden genormte Nägel mittels Treibpatronen und einer vorab vorgegeben Kraft in den Beton geschossen. Beim Ausziehen der Nägel wird die aufzuwendende Zugkraft gemessen. Die Methode des Nageleinschlags ist bei einer Anfangsbetonfestigkeit bis zu ca. 2 N/mm² anwendbar. Der entsprechende zu kontrollierende Parameter ist das Verhältnis der Zugkraft zur Eindringtiefe.

produced in correspondingly prepared boxes. Core samples are then taken at an appropriate time from the hardened shotcrete.

Testing the effective fibre content can take place in two different ways. For the first method, a standardised sample is shattered by mechanical means so that the individual fibres can be counted. The second method consists of demixing a previously defined amount of fresh concrete. The fibre content is then controlled by extrapolation and comparison with the desired quantity.

4.1.3 Importance of the tests

The large number of tests and their frequency indicate the high value attached to quality control. This important part-process for roadway driving is carried out with the same precision and conscientiousness from the first blast to the final round of advance. Only in this way is it possible to ensure lasting high quality.

4.2 Improving the shotcrete technology during the driving phase

A major demand on the part of the client relates to the monthly performance target. A roadway driving rate of 100 m per month in excavation class 4 – length of advance 2.50 m – has to be ensured technologically. There are good findings with the application of steel fibres, which replace classical reinforcing matting, from practice and assessing previous projects. It is not possible to save any substantial amount regarding the material but saving time at least is assured. This steel fibre technology had not been applied in Kazak mining until the project began. Thus, the

Beträgt die Festigkeit des Spritzbetons über 10 N/mm², ist im Regelfall die Entnahme von Zylinderproben aus der Betonmasse erforderlich.

Die Dicke des eingebauten Spritzbetons hängt gemäß Technologie maßgeblich von der Wahl der entsprechenden Vortriebsklasse ab, die anhand der aktuellen Gebirgssituation festgelegt wird. Ist nicht genügend Material zur Entnahme von Bohrkernen in der Strecke vorhanden – in der Vortriebsklasse 4 beträgt die Spritzbetondicke z.B. nur 5 cm – werden Spritzproben in entsprechend angefertigten Kästen hergestellt. Aus dem erhärteten Spritzbeton werden dann zu den festgelegten Zeitpunkten Kerne entnommen.

Die Überprüfung des effektiven Fasergehalts kann auf zwei Arten erfolgen. Bei der ersten Methode wird ein genormter Probekörper mechanisch zertrümmert, um die einzelnen Fasern auszuzählen, die zweite Methode umfasst die Entmischung einer ebenfalls definierten Menge an Frischbeton. Der Fasergehalt wird dann durch Hochrechnen und den Vergleich mit der Soll-Menge kontrolliert.

4.1.3 Wichtigkeit der Prüfungen

Die Vielzahl der Prüfungen und deren Häufigkeit zeigen den hohen Stellenwert, welcher der Qualitätskontrolle zugeordnet wird. Dieser wichtige Teilprozess des Streckenvortriebs wird vom ersten Anschuss bis zum letzten Abschlag mit gleicher Präzision und Gewissenhaftigkeit umgesetzt. Nur so ist eine gleichbleibend hohe Qualität abzusichern.



Fig. 12. Geometry of the fibres – made of polymer (left) and steel (right).
Bild 12. Geometrie der Polymer- (l.) und Stahlfasern (r.). Photo/Foto: SBK

procurement of suitable steel fibres was initially a logistical problem. Ultimately, fibres from Belarus, obtained via the distributor Kaspj Plus, were utilised. These fibres are distinguished by very high form stability. With a length of 30 mm and a diameter of 0.75 mm, the fibres possess a very rigid form and are less elastic when confronted with mechanical constraints.

However, the desired form stability in particular unfortunately causes a great deal of wear on machines and equipment. The steel fibres get entangled in the concrete hoses and caught in the machines so that the latter become clogged. Material wear affecting the concrete pump, the hoses, the concrete belt conveyors and all pieces of equipment coming into contact with concrete also rose drastically during the period of application. Apart from the costs for necessary repairs, the outage times during concreting operations have a huge impact. As a result, an intensive search for alternatives commenced.

Slowly it dawned that it might well be better to use polymer fibres for producing the shotcrete (Figure 12). The client had to be assured that the quality of the placed shotcrete would not suffer through switching to polymer fibre reinforcement.

4.2.1 Comparing the shotcrete alternatives

4.2.1.1 Steel fibre shotcrete

For the project, steel fibre reinforced shotcrete is applied for driving the Donskoy GOK roadway:

- Minimum concrete strength:
 - cylinder compressive strength 25 N/mm²;
 - cube compressive strength 30 N/mm².
- Fibre dosage: steel fibre/concrete 35 kg/m³.

Concrete production is carried out on the surface in the described hall. The steel fibres are added to the concrete mixer immediately after the actual mixing process. The mixing time with the added steel fibres amounts to a further 1 to 2 min. The ready concrete is carried by belt conveyor to the concrete remixer. This is transported to the –480 m level via the shaft cage and carried to the working face via a locomotive. A concrete pump and manipulator are used to place the shotcrete on the sidewalls. The accelerator is added to the concrete directly at the spraying nozzle. Tests on concrete cubes provided compressive strengths of

4.2 Verbesserung der Spritzbetontechnologie in der Vortriebsphase

Eine wesentliche Forderung des Auftraggebers ist die monatliche Leistungsvorgabe. Eine Streckenvortriebsleistung von 100 m je Monat in der Vortriebsklasse 4 (Abschlagslänge 2,50 m) ist technologisch abzusichern. Aus der Praxis und der Auswertung früherer Projekte gibt es gute Erfahrungen mit dem Einsatz von Stahlfasern, welche die klassischen Bewehrungsmatten ersetzen. Eine wesentliche Kosteneinsparung auf der Materialseite kann damit nicht erreicht werden, aber eine Zeitersparnis ist garantiert. Diese Stahlfasertechnologie wurde im kasachischen Bergbau bis zum Beginn des Projekts noch nicht eingesetzt, sodass die Beschaffung geeigneter Stahlfasern anfangs eine logistische Herausforderung war. Zum Einsatz kamen letztlich Fasern aus Weißrussland, die über den Händler Kaspj Plus bezogen wurden. Diese Fasern zeichnen sich durch eine sehr hohe Formstabilität aus. Mit einer Länge von 30 mm und einem Durchmesser von 0,75 mm sind die Fasern sehr starr in ihrer Form und wenig elastisch gegenüber maschinellen Zwängungen (Bild 12).

Gerade diese gewünschte Formstabilität bedingt aber leider einen sehr hohen Verschleiß an Maschinen und Geräten. Die Stahlfasern verhaken sich in den Betonschläuchen und setzen sich in den Maschinen fest, sodass diese verstopfen. Auch der Materialverschleiß an der Betonpumpe, den Schläuchen, den Betonförderbändern und allen betonberührenden Ausrüstungsgegenständen stieg während der Einsatzzeit drastisch. Neben den Kosten für die notwendigen Reparaturen fallen vor allem die Ausfallzeiten bei den Spritzbetonarbeiten stark ins Gewicht. Deshalb wurde intensiv nach Alternativen gesucht.

Es reifte die Überlegung, Polymerfasern für die Herstellung des Spritzbetons zu verwenden. Gegenüber dem Auftraggeber war abzusichern, dass die Qualität des eingebrachten Spritzbetons durch die Umstellung auf Polymerfaserbewehrung in keiner Weise beeinträchtigt wurde.

4.2.1 Vergleich der Spritzbetonvarianten

4.2.1.1 Stahlfaserspritzbeton

Für die Streckenauffahrung Donskoy GOK kommt gemäß Ausbauprojekt ein stahlfaserverstärkter Spritzbeton zum Einsatz:

- Mindestbetonfestigkeiten:
 - 25 N/mm² Zylinderdruckfestigkeit,
 - 30 N/mm² Würfeldruckfestigkeit.
- Faserdosierung: 35 kg Stahlfasern pro m³ Beton

Die Betonherstellung erfolgt übertägig in der beschriebenen Halle. Die Stahlfasern werden unmittelbar nach dem eigentlichen Mischvorgang in den Betonmischer zugegeben. Die Mischzeit mit inkludierten Stahlfasern beträgt nochmals 1 bis 2 min. Über ein Förderband erfolgt die Förderung des fertigen Betons in den Betonnachmischer. Dieser wird über den Schachtkorb auf die –480 m-Sohle transportiert und mittels Lokomotive zur Ortsbrust gebracht. Der Spritzbetonauftrag auf den Streckenstoß erfolgt mittels Betonpumpe und Spritzmanipulator. Unmittelbar an der Spritzdüse wird dem Beton der Beschleuniger zugeführt.

Prüfungen am Betonwürfel ergaben Druckfestigkeiten von mindestens 33,0 N/mm². Die Durchschnittswerte lagen bei 36,0 N/mm², Höchstwerte wurden mit bis zu 46,0 N/mm² gemes-

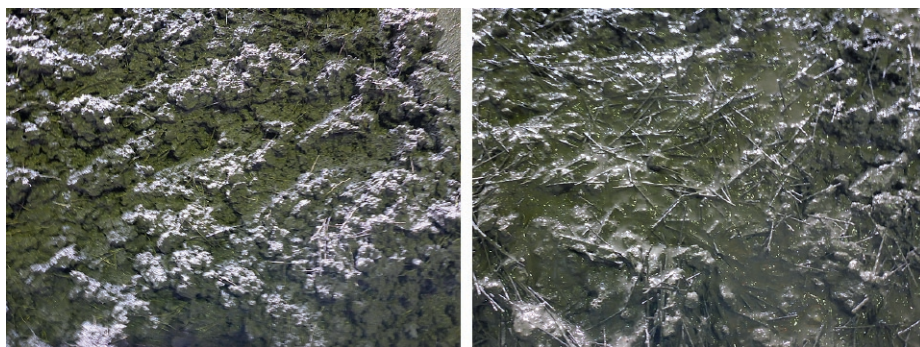


Fig. 13. Sprayed on concrete shell – with steel fibres (left) – and polymer fibres (right). // Bild 13. Aufgespritzte Betonschale, links mit Stahl- und rechts mit Polymerfasern. Photo/Foto: SBK

at least 33.0 N/mm². The average values amounted to 36 N/mm², peak values of up to 46.0 N/mm² were measured. The required minimum cube compressive strength of 30 N/mm² was thus substantially exceeded.

4.2.1.2 Polymer fibre reinforced concrete

As in the case of steel fibre reinforced shotcrete a concrete mix of C 25/30 with a cement proportion of 450 kg/m³ of concrete was applied. The processing during mixing is exactly identical.

Various makes can be used as fibre reinforcement. In on-site tests two different types of polymer fibres from two manufacturers were applied – the one was CONCRIX A-50 mm and the other BASF MasterRoc FIB SP 540. The dosage in each case was 4.8 kg/m³ of concrete.

In similar fashion to steel fibre reinforced shotcrete, the compressive strength tests on the concrete cube must register strengths of at least 30.0 N/mm² and at least 25.0 N/mm² on the cylinder. The compressive strength tests were undertaken and documented by an accredited test lab in Aktobe.

The outcome was that it could be proved that from a static point of view it is possible to apply polymer reinforced shotcrete without diminishing the long-term bearing capacity. The compressive strength tests produced results equivalent to the test samples with steel fibre reinforcement.

On the basis of these results and findings, agreement was reached with the client to switch from steel to polymer fibre reinforced shotcrete (Figure 13). Long-term observation completely backed up all recognitions and expectations.

4.2.1.3 Advantages of polymer fibres

The advantages of applying polymer fibres are obvious taking the example of the SBK roadway driven in Chromtau. Outstanding processing characteristics combine with an above-average decreased maintenance requirement for machines, lines and equipment. Thanks to the substantially lower aggressivity of the polymer fibres, cables, hoses and ducts are capable of being used a great deal longer. In this way, it is possible to cut down the expensive and time-consuming repair and service breaks for the concrete pump and manipulator.

Furthermore, by reducing the volume of rebound it was possible to optimise fibre and concrete consumption. The build-up of the complete layer thickness can effectively be accomplished in a shorter period of time.

The static properties of the shotcrete shell and the entire support system are not influenced negatively in any aspect. The results of the tests carried out by the manufacturers under lab

sen. Die geforderte Mindestwürfeldruckfestigkeit von 30 N/mm² wurde also übertroffen.

4.2.1.2 Polymerfaserbewehrter Beton

Wie beim stahlfaserbewehrten Spritzbeton wird eine Betonrezeptur C 25/30 mit einem Zementanteil von 450 kg/m³ Beton verwendet. Die Verarbeitung beim Mischen ist exakt die gleiche.

Als Faserbewehrung können verschiedene Fabrikate zum Einsatz kommen. In den Tests vor Ort wurden zwei verschiedene Typen Polymerfasern von zwei Herstellern verwendet: zum einen CONCRIX A-50 mm und zum anderen MasterRoc FIB SP 540. Die Dosierung betrug jeweils 4,8 kg/m³ Beton.

Analog zum stahlfaserbewehrten Spritzbeton müssen die Druckfestigkeitsprüfungen am Betonwürfel mindestens Festigkeiten von 30,0 N/mm² und am Zylinder mindestens 25,0 N/mm² aufweisen. Die Druckfestigkeitsprüfungen wurden durch ein akkreditiertes Prüflabor in Aktobe durchgeführt und dokumentiert.

Im Ergebnis konnte nachgewiesen werden, dass aus statischer Sicht die Anwendung des polymerfaserbewehrten Spritzbetons ohne Verminderung der dauerhaften Tragfähigkeit möglich ist. Die Druckfestigkeitsprüfungen zeigten äquivalente Ergebnisse zu den Prüfkörpern mit Stahlfaserbewehrung.

Infolge dieser Ergebnisse und Erfahrungen wurde mit dem Auftraggeber der Umstieg von stahl- auf polymerfaserbewehrten Spritzbeton vereinbart. Die Langzeitbeobachtung hat alle Erkenntnisse und Erwartungen voll bestätigt (Bild 13).

4.2.1.3 Vorteile der Polymerfasern

Die Vorteile der Anwendung von Polymerfasern liegen am Beispiel des Streckenvortriebs der SBK in Chromtau auf der Hand. Hervorragende Verarbeitungseigenschaften gehen einher mit einem überdurchschnittlich gesunkenen Wartungsaufwand an Maschinen, Leitungen und Geräten. Kabel, Schläuche und Lutten bleiben aufgrund der erheblich geringeren Aggressivität der Polymerfasern um ein Vielfaches länger verwendbar. Gerade die teuren und zeitaufwändigen Reparatur- und Wartungspausen an Betonpumpe und Manipulator können so vermindert werden.

Durch eine Senkung des Rückprallvolumens konnte zudem der Faser- und Betonverbrauch optimiert werden. Der Aufbau der kompletten Schichtstärke kann effektiv in einem kürzeren Zeitraum erfolgen.

Die statischen Eigenschaften der Spritzbetonschale und des gesamten Ausbausystems werden in keinem Punkt negativ beeinflusst. Die Ergebnisse der durch die Hersteller unter Laborbedingungen durchgeführten Tests konnten in der Praxis durchgehend bestätigt werden. Durch eine homogenere Verteilung der Fasern

conditions could be completely confirmed in practice. Thanks to homogenous distribution of the fibres in the concrete owing to their lower weight, it was even possible to observe a tendency to increase the final strength.

The significantly reduced risk of injury resulting from protruding fibres in the ready, placed concrete must also not be forgotten. Whereas previously a number of accidents or mishaps caused by injuries through fibres had occurred, e.g. punctures in working gloves or grazes. This risk was practically eliminated after switching to polymer fibres.

So far it has not been possible to come up with any definitive conclusions with regard to the long-term stability of the support system. However, it can be safely said that a long service life can be anticipated thanks to the resistance of the fibres to corrosion and alkali. The reduction or rather elimination of creeping currents also signifies a massive gain for industrial safety and health protection. Since the polymer fibres have been used there has been no damage of any kind to service cables or power circuits caused by protruding fibres.

Seen from the economic viewpoint it must be stressed that the absolute material costs for the polymer fibres per tonne are admittedly higher but thanks to the lower dead weight of these fibres compared to steel fibres, a greater amount of material is incorporated per kilogram of concrete. This is of significance for the static absorption capacity of flexural tensile forces in the shotcrete. The dosage of polymer fibres per cubic metre of shotcrete can be reduced to a seventh or a tenth in comparison to steel fibres. Thus, by applying polymer fibres, the same static bearing capacity is attained as with steel fibres possessing a lower fibre dosage.

For the current Donskoy GOK roadway driving project initially concrete mixes with a steel fibre proportion of 35 kg/m³ of concrete were applied. After the switch a polymer fibre proportion of only 4.8 kg/m³ of concrete for an equivalent mix was required. As the material costs for polymer fibres are some ten times higher than for the steel fibres, the final costs for producing 1.0 m³ of shotcrete are practically identical for both types of fibre.

5 Conclusion

If one considers industrial safety and health protection for the workforce when coming into contact with the fibres prior to and during the mixing process as well as at the completed shotcrete shells, in contrast to steel fibres the polymer fibres do not present any potential injury hazards to workers. The application of polymer fibre reinforced shotcrete is neutral in terms of cost compared to a material with steel fibres.

In technical and static terms both alternatives are equivalent. Similarly, the application of polymer fibre reinforced shotcrete exerts no negative influence on the stability of the roadway support. The polymer fibres furthermore possess the advantage that they are resistant to corrosion. The considerably lower wear on machines, which the polymer respectively plastic fibres in the shotcrete exert on the characteristics of the support given an identical effect, represents a substantial advantage.

Polymer fibre reinforced shotcrete is innovative and state of the art in technological terms. In the case of the roadway project in Chromtau in conjunction with the client, it was possible to

im Beton aufgrund ihres geringeren Gewichts konnte sogar eine Tendenz zur Erhöhung der Endfestigkeit beobachtet werden.

Nicht zu vergessen ist auch die signifikant verringerte Verletzungsgefahr durch hervorstehende Fasern im fertigen, aufgetragenen Beton. Während zuvor bereits einige Unfälle oder Beeinträchtigungen durch Verletzungen an den Fasern aufgetreten waren, z. B. Stiche durch Arbeitshandschuhe oder Abschürfungen, existiert dieses Risiko nach dem Umstieg auf Polymerfasern praktisch nicht mehr.

In Bezug auf die Langzeitstabilität des Ausbaus können noch keine bestätigten Aussagen getroffen werden. Allerdings kann mit Sicherheit davon ausgegangen werden, dass eine lange Lebensdauer durch die Korrosions- und Alkalibeständigkeit der Fasern zu erwarten ist. Auch die Reduktion bzw. Eliminierung von Kriechströmen bedeutet einen massiven Gewinn für die Arbeitssicherheit und den Gesundheitsschutz. Seit der Verwendung der Polymerfasern kam es zu keinerlei Schäden an Medien- und Energieleitungen, die durch abstehende Fasern verursacht wurden.

Aus wirtschaftlicher Sicht bleibt festzustellen, dass die absoluten Materialkosten für die Polymerfasern pro Tonne zwar höher sind, durch das geringe Eigengewicht der Fasern aber eine im Verhältnis zu Stahlfasern größere Materialmenge je Kilogramm Beton eingebracht wird. Dies ist maßgebend für das statische Absorptionsvermögen von Biegezugkräften im Spritzbeton. Die Dosierung von Polymerfasern je Kubikmeter Spritzbeton kann im Vergleich zu Stahlfasern auf ein Siebtel bis ein Zehntel der Masse reduziert werden. Mit der Verwendung von Polymerfasern erzielt man also durch gewichtsmäßig geringere Faserdosierung die gleiche statische Tragfähigkeit wie bei Stahlfasern.

Für das aktuelle Projekt Streckenauffahrung Donskoy GOK wurden zu Beginn Betonrezepturen mit einem Stahlfaseranteil von 35 kg/m³ Beton verarbeitet. Nach der Umstellung auf Polymerfasern wurden nur noch 4,8 kg/m³ Beton für eine gleichwertige Rezeptur benötigt. Da die Materialkosten der Polymerfasern etwa zehnmal höher sind als für Stahlfasern, sind die Endkosten für die Herstellung von 1,0 m³ Spritzbeton für beide Faserarten also annähernd gleich.

5 Fazit

Betrachtet man die Arbeitssicherheit und den Schutz der Gesundheit der Mitarbeiter beim Kontakt mit den Fasern vor und während des Anmischvorgangs sowie bei fertiggestellten Spritzbetonschalen, gehen von den Polymerfasern im Gegensatz zu Stahlfasern keine Verletzungsgefahren für die Beschäftigten aus. Die Verwendung von polymerfaserbewehrtem Spritzbeton ist im Vergleich zu einem Werkstoff mit Stahlfasern kostenneutral.

Technisch und statisch sind beide Varianten gleichwertig. Ebenso hat die Anwendung polymerfaserbewehrten Spritzbetons keinen negativen Einfluss auf die Standfestigkeit des Streckenausbaus. Die Polymerfasern besitzen zudem den Vorteil, dass sie korrosionsbeständig sind. Einen erheblichen Vorteil stellt der deutlich geringere Verschleiß der Maschinen dar, den die Polymer- bzw. Kunststofffasern im Spritzbeton bei vergleichbarer Wirkung auf die Eigenschaften des Ausbaus verursachen.

Polymerfaserbewehrter Spritzbeton ist innovativ und entspricht technologisch dem neusten Stand der Technik. Beim Vortriebsprojekt in Chromtau konnte gemeinsam mit dem Auftrag-



Fig. 14. Completely developed roadway including capital track and water channel (otr, covered) // Bild 14. Fertig ausgebaute Strecke inkl. Hauptfördergleis und Wasserseige. Photo/Foto: SBK

achieve an improvement in the results of the project that was optimal for both contractual partners by applying modern, future-oriented technologies (Figure 14). It was possible to accomplish an internationally novel method in keeping with the latest state of the art with the client in Kazakhstan under sophisticated conditions.

6 Review and Outlook

The client TNK Kazchrome based in Aktobe is one of the world's leading chromite ore producers. Altogether, the company employs a workforce in excess of 18,000. By 2020, the company intends increasing its annual output from the two mines located in Chromtau "Molodeshnaya" and "10th Anniversary of the Independence of Kazakhstan" from 3.7 to 6.0 mt.

All in all, there is still a great potential for possible orders for SBK. The client is planning a total length for the roadway network of 15 km on the -480 m level (depth 880 m). Currently, further horizontal headings are also foreseen on the -560 m level (depth 1,060 m) located beneath. In the long term, it is planned to develop the "10th Anniversary of the Independence of Kazakhstan" mine down to a depth of 1,560 m.

In conjunction with international partners such as the SBK and by applying progressive, state of the art technologies in Kazakhstan, the manifold and ambitious targets of the client Kazchrome (ERG) will be achieved within the predicted timespans.

geber eine für beide Vertragspartner optimale Verbesserung des Projektergebnisses unter Einsatz moderner, zukunftsweisender Technologien erreicht werden (Bild 14). Eine international neue, dem aktuellen Stand der Technik entsprechende Methode konnte mit dem Kunden in Kasachstan unter anspruchsvollen Bedingungen realisiert werden.

6 Rückblick und Perspektive

Der Auftraggeber TNK Kazchrome mit Sitz in Aktobe ist einer der führenden Chromerzförderer der Welt. Insgesamt beschäftigt die Firma über 18.000 Mitarbeiter. Bis zum Jahr 2020 hat das Unternehmen das Ziel, seine Jahresfördermenge auf den beiden in Chromtau befindlichen Schachtanlagen „Molodeshnaya“ und „10. Jahrestag der Unabhängigkeit Kasachstans“ von 3,7 auf 6,0 Mio. t zu erhöhen.

Insgesamt liegt noch ein großes Potential an möglichen Aufträgen vor der SBK. Der Auftraggeber plant eine Gesamtlänge des Streckennetzes von 15 km auf der -480 m-Sohle (Teufe 880 m). Aktuell sind auf der darunterliegenden -560 m-Sohle (Teufe 1.060 m) ebenfalls weitere horizontale Auffahrungen vorgesehen. In der langfristigen Entwicklung ist der Ausbau des Bergwerks „10. Jahrestag der Unabhängigkeit Kasachstans“ bis auf eine Teufe von 1.560 m geplant.

In Zusammenarbeit mit internationalen Partnern wie der SBK und durch Anwendung fortschrittlicher Technologien auf dem Stand der Technik in Kasachstan werden die vielfältigen und ambitionierten Ziele des Auftraggebers Kazchrome (ERG) innerhalb der vorgesehenen Zeiträume zu erreichen sein.

References / Quellenverzeichnis

Erstabdruck dieses Beitrags:

Schmidt, O.; Dorn, E.: Chromite Ore Mining in Kazakhstan – Experiences with fibre-reinforced Shotcrete. In: GeoResources Journal Heft 2/2018, pp. 31–40. Online: <https://www.georesources.net/download/GeoResources-Journal-2-2018.pdf>

Schmidt, O.; Dorn, E.: Erfahrungen mit faserbewehrtem Spritzbeton im kasachischen Chromerzbergbau – eine Bestandsaufnahme. GeoResources Zeitschrift Heft 4/2017, S. 34–43. Online: <https://www.georesources.net/download/GeoResources-Zeitschrift-4-2017.pdf>

1) Hübscher, S.; Stangl, F.; Hoppe, E. (2015): Kasachstan: Streckenauffahrung in großer Teufe und schwierigem Gebirge für Chromerzbergwerk. In: GeoResources, Heft 1/2015, S. 53–58. Online verfügbar unter <https://www.georesources.net/download/GeoResources-Zeitschrift-1-2015.pdf>

2) DIN EN 12350.

3) DIN EN 12390.

4) DIN EN 12504.

5) EFNARC-Richtlinie für Spritzbeton.

Authors / Autoren

Dipl.-Ing. Olaf Schmidt, Projektleiter, stellv. Generaldirektor, und Dipl.-Ing. Eduard Dorn, Generaldirektor, TOO SCHACHTBAU Kasachstan, Almaty/Kasachstan