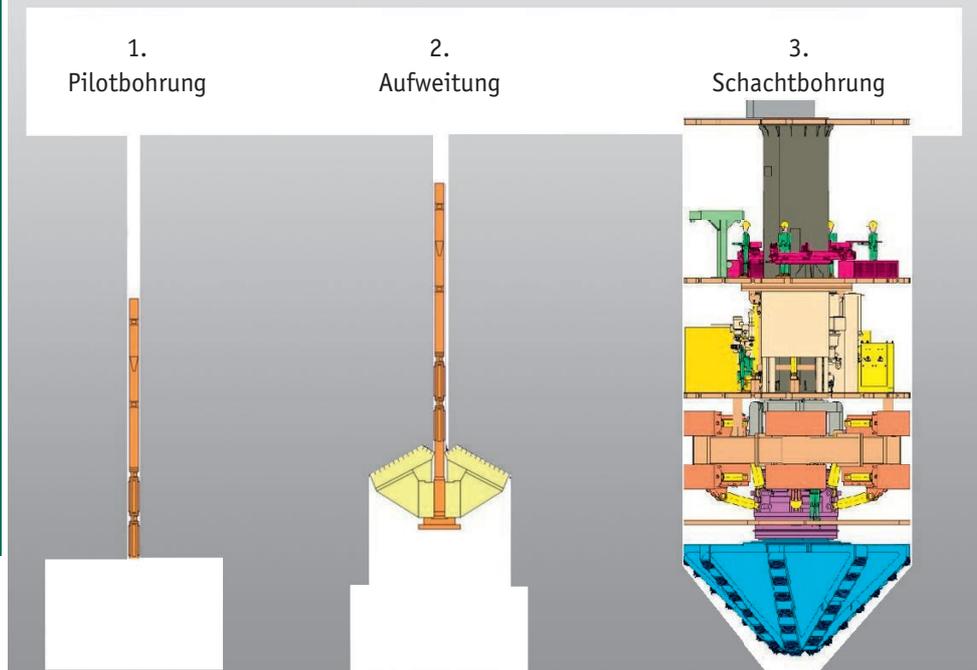


Phasen der Schachtbohrung



Die 3 Herstellungsphasen des Schachtbohrens auf Vorbohrloch

Mechanisieretes Schachtteufen

Die Herrenknecht AG hat in enger Zusammenarbeit mit der THYSSEN SCHACHTBAU GMBH und der Murray & Roberts Cementation eine neue Generation fortschrittlicher, leistungsstarker Schachtbohrmaschinen entwickelt. Mit ihnen können zukünftig Schachtbohrdurchmesser von bis zu 9,5 m realisiert werden. Das gewählte, leistungsfähige Maschinenkonzept erlaubt nahezu eine Verdoppelung der ehemals erzielten Teufgeschwindigkeiten. Das Maschinenkonzept wurde entsprechend der zum Teil widrigen Arbeitsbedingungen und Anforderungen des Schachtabteufens robust gehalten. Die Bedienung und der Betrieb der Schachtbohrmaschine sind am Standard ausgerichtet und erfordern vom Fachpersonal keine gesonderten Spezialkenntnisse.

Seit dem Jahr 1987 besteht zwischen THYSSEN SCHACHTBAU und Murray & Roberts Cementation, RSA, (ehemals RUC-Mining-Contractor), ein Dauer-Joint-Venture auf dem Gebiet der Schachtbohrtechnik. Dieses weltweit geltende Agreement wurde im Jahr 2014 um weitere 10 Jahre verlängert. Die Vereinbarung, welche sich vormals exklusiv auf das mechanisierte Schachtbohren auf Vorbohrloch beschränkte, wurde auf das Schachtbohren aus dem Vollen (Vollschachtbohren) erweitert.

Um noch leistungsfähiger auf dem Gebiet der Schachtbohrtechnik agieren zu können, hat das Joint Venture in Form eines gemeinsamen Arbeitskreises unter der technischen Leitung der Herrenknecht eine neue Schachtaufweitmaschine

konzipiert. Das Ergebnis ist ein Maschinenvortriebssystem, welches ab sofort für die Erstellung von Bohrschächten auf Vorbohrloch zur Verfügung steht. Die neue SBE-Technologie (Shaft Boring Machine for shaft Enlargement, Schachtaufweitmaschine) ist vornehmlich geeignet für das Abteufen von Schächten im Hartgestein. Herrenknecht ist führender Anbieter ganzheitlicher technischer Lösungen im maschinellen Vortrieb.

THYSSEN SCHACHTBAU ist seit den 1970er Jahren in mehr als 50 Schächten involviert gewesen, die unter Anwendung des Schachtbohrens auf Vorbohrloch geteuft wurden und die eine kumulierte Gesamtteufe von nahezu 20 km aufweisen. Früher wurde dieser Schachtbohrmaschinentyp von der Firma Aker Wirth GmbH, Erkelenz, gebaut und geliefert.

Die in den achtziger und neunziger Jahren im Hartgesteinbergbau Australiens und Südafrikas durch das Joint Venture aus Murray & Roberts Cementation und THYSSEN SCHACHTBAU weiterentwickelte mechanisierte Schachtbohrtechnik auf Vorbohrloch erhielt die Bezeichnung „V-Mole-Technik“.

Der Begriff „V-Mole“ bezeichnet eine gestängelose Schachtbohrmaschine. Der Begriff wurde von den Schachtbauern eingeführt als Abkürzung für eine „Vertikale Mole“ (engl. mole = Maulwurf) im Gegensatz zu einer „Horizontalen Mole“, die im Tunnelbau als Bezeichnung für eine Tunnelbohrmaschine üblich ist.

Lichte Schachtdurchmesser von 5,5 m bis 8,2 m und durchschnittliche Schachtbohrmaschinen-Teufgeschwindigkeiten von 8,2 m/d mit Spitzenleistungen bis zu 37,5 m fertigen Schachtes pro Tag wurden realisiert. Herausragendes Beispiel ist das Abteufen der vier Tagesschächte für Jim Walters Resources, Inc. in Brookwood, Alabama, USA: Der in diesem Projekt erzielte Weltrekord im Schachtabteufen mit 494 m je Monat bei einem Schachtbohrdurchmesser von 7,0 m ist der V-Mole-Schachtbohrtechnik zu verdanken.

Die vier Schächte waren die ersten V-Mole-Schächte, die als Tagesschächte ausgeführt worden sind. Die vor diesem Projekt ausgeführten Bohrschächte waren allesamt Blindschächte oder Tieferteufprojekte. Ein weiteres Novum kam bei den vier Alabama-Schächten zum Einsatz: Erstmals wurde das Schachtbohren und das Schachtauskleiden gleichzeitig ausgeführt.

Auf dem Goldbergwerk Western Deep Levels der südafrikanischen Bergwerksgesellschaft Anglo American Corporation wurden unter Einsatz eines neuartig konzipierten Hartgesteinbohrkopfes Formationen von über 550 MPa Gesteinsdruckfestigkeit („Alberton Lava“ Formationen) in 3000 m Teufe erfolgreich durchbohrt. In diesem Projekt kam eine weitere Technologie erstmalig zum Einsatz: Eine systematische Split-set-Ankersicherung mit einer anschließend mittels Spritzbetonroboter aufgetragenen Schachtauskleidung aus Stahlfaserspritzbeton.

Der letzte tiefe Schacht, der mit dieser Verfahrenstechnik durch das Joint Venture geteuft wurde, ist der Schacht Sedrun II für den Gotthard-Basistunnel in der Schweiz mit einer Teufe von 800 m und einem Bohrdurchmesser von 7 m. Der Schacht wurde innerhalb von 12 Monaten schlüsselfertig erstellt und installiert.

■ Phasen der SBE-Schachtbohrtechnik

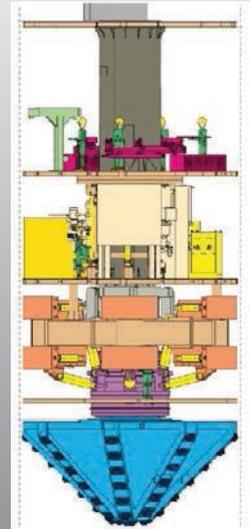
Das Abteufen eines Schachtes unter Anwendung des Schachtbohrens auf Vorbohrloch gliedert sich prinzipiell in drei Herstellungsphasen:

- Phase 1: Erstellen der Pilotbohrung unter Anwendung der Richtbohrtechnik (von oben nach unten)
- Phase 2: Erstellen des Vorbohrlochs als Erweiterungsbohrung durch die Anwendung der Raisebohrtechnik (von unten nach oben)
- Phase 3: Teufen der Schachtbohrung mittels Schachtbohrmaschine durch Erweitern des Vorbohrlochs auf Schachtdurchmesser mit gleichzeitigem Einbau der Schachtauskleidung (von oben nach unten)

Die Anwendung des Verfahrens setzt voraus, dass der Schacht an seinem tiefsten Punkt unterfahren ist und unter Tage eine ausreichende Abförderkapazität für das Ausbruchsmaterial

Technische Spezifikationen der neuen Schachtbohrmaschine

Antriebsleistung:	4 x 400 kW
Drehzahl:	1,5 – 5 min ⁻¹
Drehmoment:	12.000 kNm
Vorschubkraft:	8300 kN
Bohrhub:	1000 mm
Bohrfortschritt, bis zu	4 m/d
Verspannkraft/ Zylinder (12 aktiv):	17.000 kN
24 Hydraulikzylinder, jeweilige Hubhöhe:	400 mm
Installierte elektrische Leistung:	880 kW
Gesamtgewicht, rund:	400 t



Herrenknecht Schachtbohrmaschine auf Vorbohrloch: Leistungsdaten und prinzipieller Aufbau

vorhanden sowie eine durchgehende Abwärtsbewetterung während der Teufarbeiten gegeben ist. Weiterhin wird eine durchgängige Standfestigkeit des Vorbohrlochs für die Dauer der Teufarbeiten des Bohrschachts vorausgesetzt.

Die SBE besteht grundsätzlich aus den gleichen Komponenten wie eine Tunnelbohrmaschine. Das Bohren und Einbringen der Schachtauskleidung erfolgt simultan. Die begrenzende Größe für die Teufe eines Bohrschachts liegt nicht in der Schachtbohrmaschine selbst, sondern in der technisch machbaren Teufe des zuvor zu erstellenden Vorbohrlochs von i. A. 1,8 m bis 2,4 m Durchmesser. Sofern für die Herstellung des Vorbohrloches Zwischensohlen vorhanden sind, kann die SBE Schächte mit unbegrenzter Teufe herstellen.

■ Maschinentechnische Ausrüstung des Vortriebssystems

Für die Erstellung eines Schachtes, bei dem die Schachtbohrtechnik auf Vorbohrloch zum Einsatz kommt, ist die nachfolgend beschriebene Abteufausrüstung erforderlich:

Über Tage

- Teufgerüst mit Seilscheibenbühne
- Schachtabdeckung mit Klappen
- Laserbühne mit Loteinrichtungen zum Überwachen der Vertikalität des Schachtbohrens
- Bühnenwinden mit etwa 40 t Nutzlast für die mehretagige Arbeitsbühne
- Eintrommel-Fördermaschine mit einer Nutzlast von etwa 6 t als „Kübelmaschine“
- Notfahrwinde bzw. Servicewinde mit etwa 3 t Nutzlast
- Kabel-Tragseil-Winde zum sukzessiven Abhängen und Mitführen von Schachtversorgungsleitungen

- Übliche Infrastruktureinheiten wie Elektrostation, Kompressoranlage, Betonmischanlage, Trockenbaustoffsilos, Büro- und Sanitäreinrichtung, Magazin- und Werkstattcontainer, Lagerplätze

Im Schacht

- Mehretagige Arbeitsbühne zum Einbringen der Schachtauskleidung
- V-Mole-Schachtbohrmaschine mit Bohrkopf und Gripper-einheit sowie mit Plattformen zum Einbringen der Schachtsicherung und Durchführung von Erkundungsbohr- und Injektionsarbeiten

Unter Tage in der Schachtunterfahrung

- Ladeeinrichtung zum Laden und Abtransport der Ausbruchberge
- Entstaubungsanlagen
- Abwasserpumpen zur Entsorgung des Gebirgs- und Brauchwassers

■ Erstellen des Vorbohrloches mit Raisebohrtechnik

Vor dem Beginn der Bohrarbeiten wird in der Regel ein Vorschacht von etwa 10 m Teufe für die Montage der Schachtbohrmaschine erstellt. Schachtkragen und eventueller Wetterkanal werden im Allgemeinen parallel zum Vorschachteufen in offener Bauweise errichtet. Zur sicheren Anwendung und zum Betreiben der Schachtbohrmaschine ist die Erstellung einer Pilotbohrung erforderlich, die keine Abweichung von der vertikalen Sollachse von mehr als dem halben Durchmesser des Vorbohrloches (bei D 1,8 m = max. Abweichung 0,9 m) aufweisen sollte. Diese Vorgabe begründet sich in der Geometrie des Bohrkopfes der Schachtbohrmaschine: Bei einer größeren Abweichung des Vorbohrloches würde das Zentrum des Bohrkopfes nicht mehr in das Vor-

bohrloch einbinden. Die geringe Toleranzvorgabe erfordert eine kontinuierliche Vermessung und aktive Steuerung der Pilotbohrung; dies kann mit modernen Vertikal-Richtbohrsystemen während des Bohrens durchgängig erfüllt werden. Diese Systeme messen permanent in zwei Achsen die Neigung des Bohrloches und führen die erforderlichen Korrekturen des Bohrlochverlaufs simultan aus. Die Messdaten werden online zum Bohranlagen-Operator übertragen.

Die Erweiterung der Pilotbohrung auf Vorbohrlochdurchmesser erfolgt mithilfe einer leistungsstarken Raisebohranlage. Das Raisen verläuft gleichmäßig mit etwa 30 m/d; das erbohrte Material wird kontinuierlich am Bohrlochfuß geladen und abgefördert. Als Raisebohrgerät wird beispielsweise eine Raisebohranlage vom Typ Wirth HG 330 SP der Murray & Roberts Cementation eingesetzt.

Durch das Vorbohrloch erfolgen die Bewetterung des Schachtes in der Bauphase und das Abfördern des später durch die Schachtbohrmaschine gelösten Ausbruchmaterials durch die Schwerkraft zur Schachtfußkaverne bzw. Schachtunterfahrung.

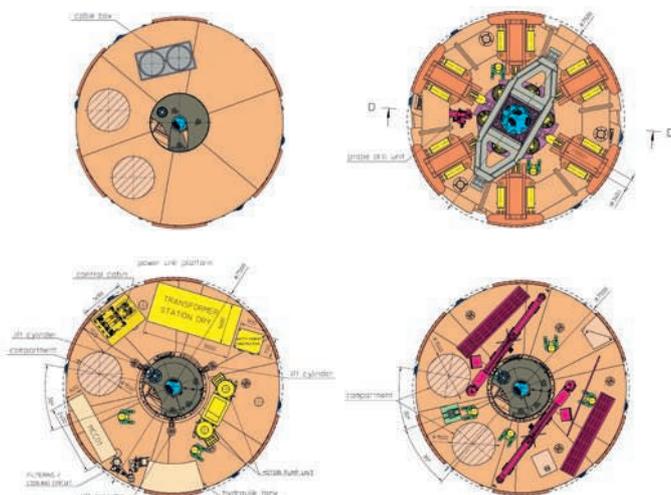
■ Die SBE-Schachtbohrmaschine

Die Schachtbohrmaschine besteht aus folgenden Hauptkomponenten:

- Bohrkopf
- Innenkelly mit Lagerung und Antrieb
- Aussenkelly mit Verspanneinrichtung in zwei Ebenen
- Steuerstand mit allen Bedien- und Anzeigeelementen
- Laserzieleinrichtung zur Vertikalsteuerung
- Sicherheitsplattform mit Spritzbetoneinrichtung und Ankerlafetten
- Vorauserkundungs- und Injektionsplattform

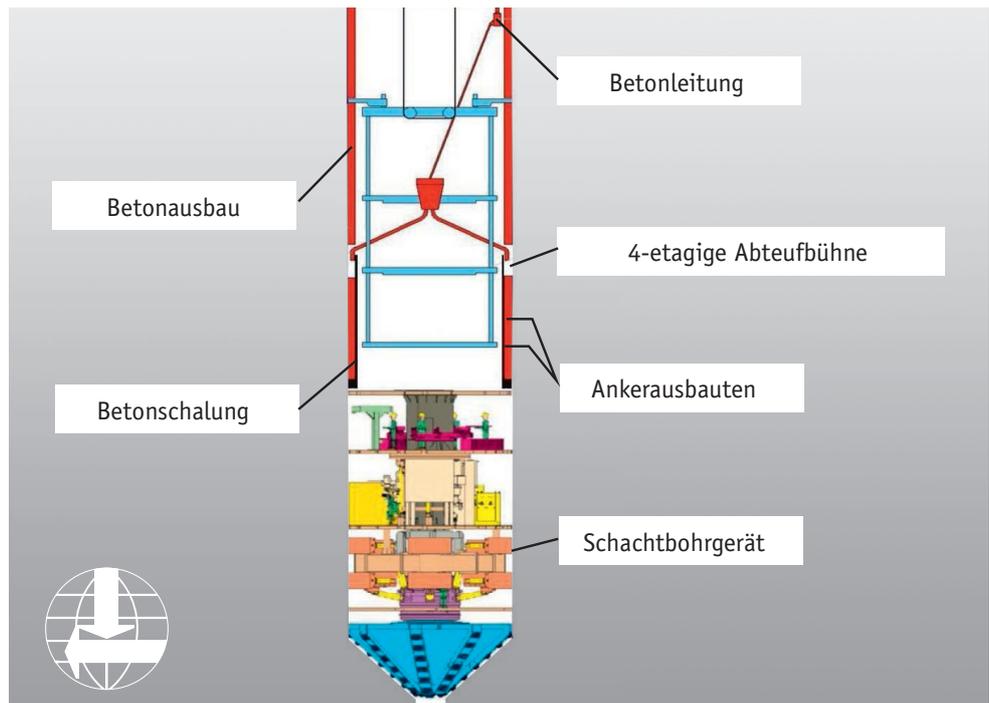
Der Bohrkopf ist mit Disken oder Hartmetall-Cuttern bestückt, die je nach Verschleiß aus dem Inneren des Bohrkopfes gewechselt werden. Die Aussenkelly wird über in zwei Ebenen angebrachten Verspannschildern kontrolliert hydraulisch verspannt und bildet das Widerlager für die Vorschubeinrichtung, die die Innenkelly mit dem drehenden Bohrkopf gegen die Bohrsohle drückt. Die Innenkelly wird mit einem Gelenkrahmen in der Aussenkelly geführt und kann durch Hydraulikzylinder in jede Richtung gesteuert werden. Hierdurch ist eine exakte vertikale Steuerung der Schachtbohrmaschine gewährleistet. Die Sollachse des Schachtes wird dem Maschinen-Operator mittels Laserzieleinrichtung permanent übermittelt.

Auf dem Deck oberhalb des Bohrkopfes ist die drehbare Ankerplattform angeordnet, von der mit zwei leistungsfähigen hydraulischen Bohrlafetten eine Systemankerung und eine



Herrenknecht Schachtbohrmaschine, Etagenansicht

Herrenknecht Schachtbohrmaschine auf Vorbohrloch:
Einbringen der permanenten
Schachtauskleidung



vollflächige Drahtnetzung eingebracht werden kann. Die Leistungsfähigkeit der Bohrlafetten ist auf die Hubhöhe und Bohrgeschwindigkeit der Schachtbohrmaschine abgestimmt, sodass ein kontinuierlicher Betrieb des Schachtbohrens und Schachtsicherns gewährleistet ist. Eine Trockenspritzeinrichtung ermöglicht auf der Schachtbohrmaschine eine unmittelbar nach dem Freilegen des Gebirgsstoßes kurzfristig erforderliche Sicherung der Schachtwandung. Die Maschine ist etwa 15 m hoch und weist ein Gesamtgewicht von ca. 350 t auf.

■ Mehretagiges Arbeitsbühnensystem

Die mehretagige Arbeitsbühne ist etwa 15 m bis 20 m oberhalb der Schachtbohrmaschine in den Seilen der Bühnenwinden hängend positioniert. Die mehretagige Arbeitsbühne folgt dem Vortrieb.

Innerhalb der mehretagigen Arbeitsbühne ist für das Einbringen der Schachtauskleidung entweder eine Ortbeton-Umsetzschalung oder eine Spritzbeton-Roboter-Einrichtung integriert. Umsetzschalungen mit einer Betonblocksatzhöhe von etwa 9 m Höhe wurden im australischen Schachtbohrprojekt „Oryx-Mine“ erstmalig erfolgreich zum Einsatz gebracht. Grundsätzlich kann die Auskleidung des gebohrten Schachtes mit allen im Schachtbau möglichen Ausbausystemen erfolgen, da die Schachtauskleidung unabhängig von dem Betrieb der Schachtbohrmaschine erfolgt. Für tiefe Schächte hat sich der Betonausbau bewährt: Dieser kann als Ortbeton mit einer Umsetzschalung, aber auch als Gleitusbau mit einer Gleitschalung oder als Spritzbeton mit und ohne Bewehrung eingebaut werden.

Auf der mehretagigen Schachtarbeitsbühne sind zusätzlich Speichermagazine der Versorgungsleitungen installiert. Je nach Form und Typ der geforderten Schachtauskleidung ist ein Betonsilo mit Remixer zur Aufnahme des in der Betonfallleitung verstärkten Betons angeordnet.

Die Montage der Schachtbohrmaschine erfolgt in dem etwa 10 m tiefen Vorschacht. Lediglich der Bohrkopf und die untere Verspannebene stehen im Vorschacht. Die Maschine bohrt sich nach der Installation schrittweise in das anstehende Gebirge ein und die Teufeinrichtung wird sukzessiv ergänzt. Sobald die komplette Vortriebseinrichtung im Schacht installiert ist, werden die Schachtabdeckung und das vormontierte Teufgerüst auf den Schacht montiert.

Die vom Bohrkopf der Schachtbohrmaschine gelösten Ausbruchberge verströmen in das Vorbohrloch. Bis zum Erreichen der Schachtunterfahrungsstrecke laufen das Schachtbohren sowie das Schachtauskleiden kontinuierlich und parallel. Schachtbohrleistungen von täglich etwa 15 m bis 20 m werden mit der neuen Herrenknecht-Schachtbohrmaschine angestrebt bei Schachtbohrdurchmessern von bis zu 11,5 m. Nach dem Durchschlag der Schachtbohrmaschine in die Unterfahrungsstrecke wird die Maschine in ihrer Endstellung geparkt, in ihre Einzelteile zerlegt und abtransportiert.

■ Vorzüge der Schachtaufweitmaschinenteknik

Das Schachtaufweitbohrverfahren gehört weltweit zu den leistungsfähigsten Schachtabteufverfahren; der Weltrekord

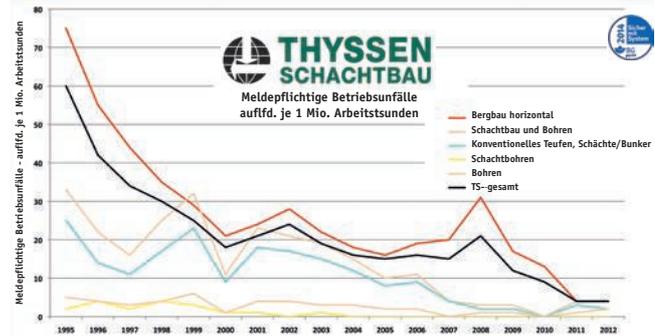
im Schachtabteufen wird durch das mechanisierte Schachtbohren auf Vorbohrloch gehalten. Die Vorteile dieser Schachtbohrtechnik – gegenüber der konventionellen Schachtabteufmethodik unter Einsatz der Bohr- und Sprengarbeit oder alternativ im Vergleich zu anderen mechanischen Löseverfahren – sind die hohe Abteufgeschwindigkeit, hohe Präzision hinsichtlich Vertikalität und Kreisform des Schachtquerschnittes, der daraus resultierenden Ressourcenschonung sowie die nahezu erschütterungsfreie Gebirgsbehandlung. Der Teufzyklus verläuft kontinuierlich und wird nicht durch Zeiten für Sprenglochbohren oder Auswettern von Sprenggasen unterbrochen. Aus technischer Sicht bringt die Anwendung dieses Verfahrens viele Vorteile:

- Hohes Arbeitssicherheitsniveau des Teufvorgangs aufgrund hohen Mechanisierungsgrades
- Humane Arbeitsbedingungen der Teufmannschaft
- Keine Sprengarbeit und dadurch weder Erschütterungen im Schachtbereich noch eine Belastung der Wetterführung durch Sprengschwaden
- Kontinuierlicher Arbeitsprozess mit der Folge hoher Schachtbohrteufraten, etwa 8 m/d bis 15 m/d fertiger Schacht
- Hoher Parallelisierungsgrad der Vortriebs- und Ausbaurbeiten
- Zerstörungsfreie und beinahe rissfreie Herstellung des Gebirgsausbruches
- Geringer Mehrausbruch und geringerer Bedarf, damit ökonomischer Einsatz von Sicherungs- und Auskleidungsmitteln
- Frühestmögliche Inbetriebnahme und Refinanzierung des Schachtprojektes

■ Herrenknecht-Maschinenteknik

Um in Zukunft moderne, effiziente und sichere Bergbauprojekte durchzuführen, müssen Bergbauunternehmen neue Wege beschreiten. Hierbei unterstützt sie Herrenknecht mit innovativer Maschinenteknik. Bei der Erschließung tief gelegener Lagerstätten oder der Entwicklung einer unterirdischen Mineninfrastruktur müssen Bergbauunternehmen heute sowohl sichere und attraktive Arbeitsplätze für ihre Mitarbeiter schaffen als auch ihre Abbauleistung erheblich steigern.

Die perfekte Lösung dafür bietet der maschinelle Schachtbau: Herrenknecht erweitert kontinuierlich ihr facettenreiches Produktportfolio, um den Bedürfnissen ihrer Kunden gerecht zu werden. Hierbei kann Herrenknecht auf ihr branchenübergreifendes technisches Know-how zurückgreifen. Tunnelbauverfahren und -technologien finden zunehmend auch im neuen Geschäftsfeld des Bergbaus Eingang.



Unfallkennzahlen des mechanisierten Schachtbohrens auf Vorbohrloch (gelb) im Vergleich zu übrigen Bergbau

Mit dem Einsatz der Schachtabsenkanlage steigt die Gesamtleistung dank der gleichzeitigen Ausführung von Arbeitsabläufen und damit auch der Kapitalwert des Projekts. Herrenknecht hat in enger Zusammenarbeit mit THYSSEN SCHACHTBAU und Murray & Roberts Cementation eine neue Generation fortschrittlicher, leistungsstarker Schachtbohrmaschinen entwickelt.

■ Resümee

Der Aufschluss von Lagerstätten bis zur Erreichung der geplanten Produktionsförderrate des Bergwerkes ist mit sehr langen Vorlaufzeiten und hohen Vorfinanzierungsvolumina verbunden. Insofern sind Techniken zum schnellen und effizienten Aufschluss von Lagerstätten notwendig. Die Schachtbohrtechnik auf Vorbohrloch kann zur Erreichung dieses Ziels einen wichtigen und maßgeblichen Beitrag leisten: Durch die Reduzierung der Schachtabteufzeit um 25 % bis 30 % bei Einsatz der SBE-Schachtbohrtechnik im Vergleich zur konventionellen Schachteuftechnologie verkürzt sich die Zeit bis zur Inbetriebnahme eines Bergwerkes signifikant.

Neben der Wirtschaftlichkeit sind ein hohes Niveau der Arbeitssicherheit und eine deutliche Verbesserung der Arbeitsbedingungen im Schacht weitere Vorteile des Schachtbohrverfahrens.

THYSSEN SCHACHTBAU und Murray & Roberts Cementation sind bereit, ihren Kunden durch die Anwendung innovativer, mechanisierter Schachtbohrmethodik ein Höchstmaß an Leistung zur Verfügung zu stellen. Die Herrenknecht-SBE ist eine zu diesem Zweck in Kooperation konzipierte Schachtaufweitungsmaschine, die ab sofort zum Einsatz kommen kann.

Eduard Dorn · dorn.eduard@ts-gruppe.com
 Rudolf Makosch · makosch.rudolf@ts-gruppe.com
 Hubertus Kahl · kahl.hubertus@ts-gruppe.com
 Norbert Handke · handke.norbert@ts-gruppe.com