



Herstellen von Gefrierbohrungen sowie Durchführen von Gefrierarbeiten für Abteufen und Ausbauen der Schächte Nr. 1 und Nr. 2 des Kali-Bergwerks „Usolski Kali-Kombinat“, Russische Föderation

■ Kalibergbau in der Russischen Föderation

Kalidünger stellt das mit Abstand wichtigste Exportprodukt unter den Industriemineralen Russlands dar. Bis jetzt wird in Russland nur an einer einzigen Kalisalzlagerstätte abgebaut –

der sog. Verkhnekamskij-Lagerstätte in der Perm-Region. Hier lagern die zweitgrößten Kalisalzesreserven der Erde. Die Tiefe der flözartigen Kalisalzlagerung beträgt in dieser Region zwischen 380 und 500 m, davon werden 270 m der Überlagerung ab Tagesoberfläche als wasserführend klassifiziert.



Die untertägigen Bergbau-Tätigkeiten in dieser Region sind riesig. Eines der größten Probleme beim Aufschluss der untertägigen Vorkommen ist der Schutz des Schachtes vor Eindringen von Gebirgswasser und Absaufen des Bergwerkes. Traditionell werden Schächte in wasserführendem und nicht standfestem Gebirge mit dem Spezialverfahren „Gefrierschachtbau“ abgeteuft. So gewährleistet der um den Schacht herum gebildete Frostmantel während der Teufarbeiten u.a. die Schutzfunktion gegen Eindringen des Gebirgswassers. Nach dem Ein-

Geographische Aufteilung der russischen Objekte der Thyssen Schachtbau GmbH

bringen der permanenten Schachtauskleidung hat diese die schützende wasserdichte Funktion zu übernehmen.

Das Gefrierverfahren im Schachtbau hat sich seit Jahrzehnten bewährt und gilt als das sicherste „Sonder-Schachtbauverfahren“ unter den gegebenen Bedingungen. In der Region der Verkhnekamskij-Kalilagerstätte sind seit den dreißiger Jahren des vorigen Jahrhunderts 24 Tagesschächte abgeteuft worden, davon wurde nur ein Schacht im Zementationsverfahren erstellt, die restlichen sind mit Hilfe des Gefrierfahrens geteuft worden [1]. Dabei hat die Wahl des Abteufverfahrens den wesentlichen Einfluss auf den Erfolg des gesamten Vorhabens.

■ EuroChem – ein wachsendes Kali-Imperium

Das Moskauer Chemieunternehmen EuroChem hatte bereits im Jahre 2008 veröffentlicht, die für ca. 1,4 Milliarden US-Dollar erworbene Kalilagerstätte in der Permregion zeitnah zu erschließen und eine Bergwerksanlage mit Kaliaufbereitungsanlage zu errichten, um Kaliprodukte zu produzieren. Die geologischen Explorationstätigkeiten wurden seinerzeit unmittelbar durch EuroChem aufgenommen auf dem so genannten „Palashersky und Balakhontsevsky Feld der Verkhnekamsky Lagerstätte“. Die Kaliaufbereitungsanlage soll zunächst für eine jährliche Produktionskapazität von 2,5 Mio. t Kaliprodukten ausgelegt werden. Die Langfristplanung des zukunftssträchtigen Perm-Projektes der EuroChem umfasst sechs Mio. t Kaliumchloridproduktion jährlich. EuroChem ist als Stickstoff- und Phosphatdüngerhersteller bekannt, sein Kali-Engagement in der Wolgograd- und Permregion befindet sich im Aufbau.

■ Der Auftrag

Am 29. Juni 2010 vergab EuroChem an die THYSSEN SCHACHTBAU einen Auftrag zur Ausführung von Projektierungs-, Bohr- und Gefrierarbeiten für den neu zu bauenden Skipschacht und Serviceschacht des Usolski Kali-Bergwerks, das sich in der Permregion im mittleren Ural befindet. Damit konnte die THYSSEN SCHACHTBAU neben dem Projekt Gremjatschinskij in der Wolgogradregion seine partnerschaftliche Zusammenarbeit mit der EuroChem ausbauen und vertiefen. Mit diesem neuen Auftrag bearbeitet THYSSEN SCHACHTBAU nunmehr vier Gefrierschachtprojekte für EuroChem.

Die THYSSEN SCHACHTBAU ist seit mehr als 100 Jahren auf dem Tätigkeitsfeld „Gefrierschachtbau“ tätig und konnte mit diesen Projekten ihr Können nun auch auf dem russischen Markt unter Beweis stellen.

Der Umfang des Auftrags setzt sich wie folgt zusammen:

- Erstellen der gesamten Projektdokumentation für die Genehmigungs- und Ausführungsphase
- Herstellen von 90 Gefrier- bzw. Temperaturmessbohrung mit einer jeweiligen Teufe von ca. 270 m für zwei Schächte
- Lieferung und Montage der Gefrieranlage für beide Schächte
- Betreiben der Gefrieranlage, Monitoring und Frostkörperberechnung für die Dauer der Teufarbeiten

Dabei waren von EuroChem strenge terminliche Vorgaben gestellt, die die Inbetriebnahme der Gefrieranlage für den 1. Juli 2011 vorsahen. Die Teufarbeiten werden durch ein russisches Unternehmen ausgeführt, das zu Sowjetzeiten den Bau von Raketenschächte sowie untertägigen Kavernen und Bunkern durchgeführt hat.

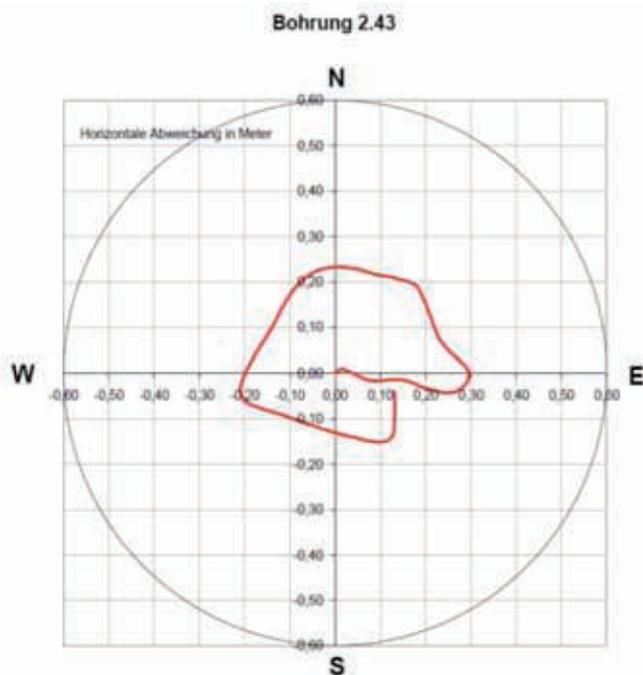
■ Das Projektieren

Mit den Projektierungsarbeiten wurde unmittelbar nach Auftragsvergabe begonnen und angepasst an Genehmigungs- und Bauablauf durchgeführt. Dadurch waren der zügige Baubeginn und der termingetreue Projektablauf sichergestellt. Die Projektierungsunterlagen wurden aufgrund der umfangreichen Kenntnisse und Erfahrungen streng nach russischen Projektdokumentationsvorgaben erstellt. Dadurch war neben dem zügigen Bau- auch der reibungslose Genehmigungsablauf möglich.

■ Die Bohrarbeiten

Alle Bohrgeräte und das gesamte Bohrequipment waren zum Zeitpunkt der Auftragsvergabe noch in Wolgograd eingelagert. Daher wurden die meisten Vorbereitungen und Reparaturen bereits vor Beginn der Transporte auf dem dortigen Lagerplatz durchgeführt. Die zur Instandsetzung erforderlichen Ersatzteile wurden aus Deutschland angeliefert.





Das gesamte Bohrequipment wurde anschließend per LKW von Wolgograd nach Beresniki verbracht. Die Fahrstrecke zwischen dem Lagerplatz und der Baustelle betrug etwa 2.000 km. Fristgerecht, am 1. Oktober 2010, trafen mit einem Teil der Bohrmannschaft auch die ersten Geräte auf der Baustelle ein. Da die Standrohre am Schacht 1 bereits vorab durch einen russischen Subunternehmer eingebracht wurden, konnten bereits am 15. Oktober 2010 die Bohrarbeiten aufgenommen werden.

Die Gefrierbohrungen am Schacht 1 sollten mit einem Gefrierkreisdurchmesser von 17,0 m, bis zu einer Tiefe von 270,6 m erstellt und verrohrt werden. Dazu wurden insgesamt 41 Gefrierbohrungen und drei Temperaturmessbohrungen niedergebracht. Da sich im Bereich bis 120 m mehrere zur Trinkwassergewinnung genutzte Grundwasserleiter befinden, wurde eine technische Zwischenverrohrung eingebracht, die bis zu Tage zementiert wurde.

Zur genauen Lokalisierung des Überganges vom Deckgebirge zur Kalilagerstätte wurden aus einer der Bohrungen im Bereich von 262,6 m bis 272,6 m insgesamt 10,0 m Bohrkerne gewonnen, die durch die geologische Abteilung EuroChems ausgewertet wurden.

Bereits am 1. November 2010 schlug das bis dahin gute Wetter um und die Bohrarbeiten wurden durch Schnee und tiefe Temperaturen bis weit in den April hinein begleitet. Schneehöhen bis zu 2,0 m, Schneestürme und Temperaturen um -40 °C stellten sehr hohe Anforderungen an Menschen und Maschinen. Trotz dieser äußerst widrigen klimatischen Bedingungen konnten die Bohrarbeiten ohne temperaturbedingte Ausfallzeiten am Schacht 1 fristgerecht und zur vollsten Zufriedenheit des Auftraggebers abgeschlossen werden.

Direkt im Anschluss an die Arbeiten am Schacht 1 begannen die Arbeiten am zweiten Schacht. In nur drei Wochen wurde die gesamte Bohrausrüstung umgesetzt und bohrfertig gemacht. Am Schacht 2 sollten auf einem Gefrierkreisdurchmesser von 18,0 m 43 Gefrierbohrungen und drei Temperaturmessbohrungen mit einer verrohrten Teufe von 273,6 m geteuft werden. Da der Schacht 2 um 4,0 m höher lag als Schacht 1 wurde die technische Verrohrung hier bis 125,0 m eingebracht und zementiert. Auch am Schacht 2 wurden aus einer der Bohrungen aus dem Bereich von 265,6 m bis 275,6 m insgesamt 10,0 m Kerne gewonnen und durch EuroChem ausgewertet. Die Bohrarbeiten am Schacht 2 konnten deutlich vor dem projektierten Termin durch unser überdurchschnittlich motiviertes Bohrpersoneel, bestehend aus deutschen und russischen Fachkräften, fertiggestellt werden.

Zur Ausführung der Arbeiten kamen die beiden, bereits in Kotelnikovo eingesetzten, mit hydromechanischem Antrieb ausgestatteten und sehr wendigen Universalbohrgeräte vom Typ RB 50 auf LKW-Fahrgestell mit einer Mastverlängerung zum Einsatz. Der Vorteil dieser Geräte liegt in der sehr kompakten Bauweise bei gleichzeitig großer Hakenlast von 500 kN und einem Drehmoment von bis zu 31.580 N m am Kraftdrehkopf.

Die aufgesetzte Mastverlängerung erlaubt die Verarbeitung von Rohren bis zu einer Stücklänge von 12,0 m. Als Arbeits- und Gestängeplattform wurde eine flexibel zu montierende, bis zu 12,0 m lange Bühne mit integriertem Gestängelaufwagen verwendet. Durch das bewährte Baukastenprinzip der Arbeitsbühne stand für jeden Arbeitsschritt ein für das Bohrpersoneel und die Ausführung der Arbeiten sicherer und effektiver Arbeitsbereich zur Verfügung.

Bei beiden Schächten für das Palascherskij-Bergwerk bestanden sehr hohe Anforderungen an den Verlauf der Bohrungen. Daher wurden die Bohrungen unter Einsatz der MWD-Technologie (Measurement While Drilling) und mit einem externen, autark arbeitenden EMS (Elektronic Multi Shot) abgeteuft. Zeitweise kam auch ein Kreiselkompass-Messsystem zum Einsatz. Diese Messsysteme ermöglichen die erforderlichen Neigungs- und Richtungsmessungen auch innerhalb der schon verrohrten Bohrungen. Durch Einsatz dieser Technologien war es möglich den Bohrlochverlauf, anhand der übermittelten Daten über Richtung und Neigung der Bohrung, jederzeit in jede beliebige Richtung zu verändern und so die engen Toleranzvorgaben bei den Gefrierlochbohrungen genau einzuhalten.

Um Stillstandzeiten während der Bohrarbeiten zu minimieren, standen während der gesamten Bohrphase insgesamt sechs Bohrmotoren zur Verfügung, von denen sich in der Regel jeweils zwei Motoren in Wartung befanden. Durch dieses Rota-

tionsprinzip konnten Ausfallzeiten aufgrund von defekten Bohrmotoren ausgeschlossen werden. Zur Sicherstellung des störungsfreien Betriebs der Messeinrichtungen befanden sich ganztägig Serviceingenieure der Betreiberfirma und ausreichend Ersatzteile für die Geräte auf der Baustelle.

Zur Realisierung des erforderlichen Spülungsumlaufes standen vier Triplex-Spülpumpen (zwei je Bohranlage) mit einer Förderleistung von jeweils 1.500 l pro Minute zur Verfügung, die mit ihrem hydromechanischen Antrieb und allen zum Transport und Betrieb notwendigen Komponenten in 20-Fuß-Überseecontainern fest eingebaut wurden. Mittels einer kabelgebundenen Fernbedienung konnten die Pumpen vom Steuerstand der Bohranlagen aus bedient werden. Zum störungsfreien effektiven Betrieb der Triplexpumpen wurden Kreiselpumpen als Ladepumpen vorgeschaltet.

Die ständige Überwachung und Konditionierung der Bohrspülung wurde durch das Bohrpersonal in Zusammenarbeit mit einem russischen Spülungsservice vorgenommen. Dieser Spülungsservice lieferte auch die für die Zubereitung der Spülung vor Ort erforderlichen hochwertigen Spülungsmaterialien. Die Spülungsreinigung wurde durch Schwingentwässerer, einem Drei-Kammern Spülungstank und in das Spülungssystem integrierte Entsander vorgenommen. Da während der Bohrarbeiten mit Spülungsverlusten zu rechnen war, wurden jederzeit insgesamt circa 120,0 m³ Spülung in Vorratstanks und eine ausreichende Menge Stopf- und Zementationsmaterial bereitgehalten.

Wie auch im Wolgograder-Projekt von 2009 begannen diesmal die Bohrarbeiten wieder im Herbst und dauerten bis weit in den Winter hinein. Der Winter in der Perm-Region ist um einiges kälter, länger, strenger, schneereicher und unberechenbarer, als in Kotelnikovo. Die anspruchsvolle Aufgabe umfasste das Erstellen von 90 Gefrier- und Temperaturmessbohrungen innerhalb von neun Monaten, inklusive des Umbaus der kompletten Bohrausrüstung von einem Schacht auf den Anderen.

■ Technische Highlights:

Bohrmeter Gesamt:	24.976,5 m
Verbaute Rohre Gesamt:	ca. 38.500 m
Verbrauch Zement:	ca. 1.950 t
Verbrauch Dieselkraftstoff:	ca. 630.000 l
Spülungsmaterialverbrauch:	ca. 400 t.
Außentemperaturen Winter / Sommer:	-40 °C / +40 °C

Das Bohrpersonal wurde in Turns eingeflogen. Ein örtliches Hotel diente als Unterkunft. Ein Catering versorgte das Personal mit Essen auf der Baustelle. THYSSEN SCHACHTBAU gelang es, mit ganz geringen Fehlzeiten (Ausfälle durch Krankheit von weniger als 1,5 Prozent und durch Unfälle von weniger als 0,34 Prozent der Arbeitszeit) eine extrem schwierige Baustelle



Abbildung 2: Die Bohrmannschaft am Tag der Beendigung der Bohrarbeiten

sicher zu führen. Besonders muss hier die konsequente Sicherheitsarbeit der Betriebsleitung erwähnt werden. Jede Tätigkeit ist in der Planung sicherheitstechnisch bewertet worden. Die hieraus gewonnen Erkenntnisse sind in Betriebsanweisungen festgelegt worden, mit denen das Personal unterwiesen wurde. Ständige Sicherheitstrainings durch erfahrene Bohrmeister haben das Programm abgerundet.

So konnten die Bohrarbeiten einen Monat vor der vertraglichen Frist erfolgreich abgeschlossen werden, was große Anerkennung auf Seiten des Auftraggebers gefunden hat.

■ Die Gefrierarbeiten

Der Auftrag sah vor, mit den Gefrierarbeiten beim ersten Schacht zu beginnen und um vier Monate zeitversetzt die Arbeiten beim zweiten Schacht aufzunehmen, um anschließend die Gefrierarbeiten für beide Schächte parallel fortzusetzen. THYSSEN SCHACHTBAU entschied daraufhin, eine zentrale Gefrieranlage zu errichten, mit der diese Gefrierarbeiten für beide Schächte gleichzeitig ausgeführt werden können. Der räumliche Abstand der beiden Schächte beträgt dabei circa 150 m bei einem Höhenunterschied von 6 m. Nach Auswertung der Planungsunterlagen für das Bergwerksgelände während der Teufphase wurde der ideale Standort für die Gefrieranlage ermittelt und in das Gesamtkonzept der übertägigen Einrichtungen eingegliedert. Dabei mussten unter Berücksichtigung der bestehenden und geplanten Infrastruktur die erforderlichen Gebäude mit Gründung, Energieversorgung sowie die Rohrleitungsverlegung von der Gefrieranlage zu den Schächten geplant werden. Um gegen die widrigen Witterungsverhältnisse vor allem im Winter gerüstet zu sein, wurde entschieden, die Kernkomponenten im Schutze einer Halle zu installieren. Die Rohrleitungen werden dabei von der Halle in unterirdischen Betonkanälen bis an die Schächte herange-



Blick auf die Gefrieranlage und auf das Teufgerüst von Schacht 1.

führt, wobei auch kurzfristige Änderungswünsche während der Bauphase seitens EuroChem umgesetzt wurden.

Zur Ermittlung der erforderlichen Kälteleistung wurde zunächst eine große Menge an geologischen und hydrologischen Daten ausgewertet. Mit den Ergebnissen als Ausgangswerte wurden umfangreiche Berechnungen zur Frostkörperstatik und Kältearbeit durchgeführt. Am Ende ergab sich die benötigte Kältespitzenleistung für den Gefrierprozess beider Schächte von 3.600 kW. Als Soletemperatur wurde $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ festgelegt.

Unter Einbeziehung der umfangreichen Erfahrungen der THYSSEN SCHACHTBAU aus mehr als 100 Jahren im Gefrierschachtbau sowie der Erkenntnisse aus dem Gremjatschinskij-Projekt (Bericht 17) wurde anschließend die Gefrieranlage projektiert, die Maschinenteknik weiterentwickelt und optimiert.

Feierliche Inbetriebnahme der Gefrieranlage am 22. August 2011. Foto Mitte unten: Technische Leitung des Auftraggebers und die Mitarbeiter der Thyssen Schachtbau GmbH vor der Gefrieranlagenhalle. Oben links: Vor der Soleleitung Richtung Schacht 1. Oben Rechts: In der Halle der Solepumpen vor dem symbolischen Start-Knopf.

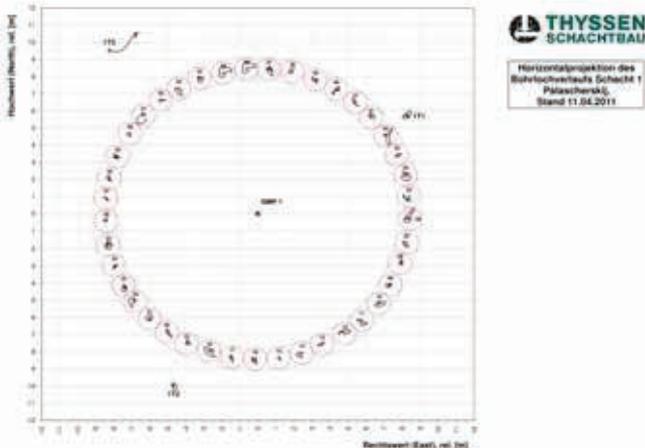


Grundlage der gesamten Konzeption war auch im Palascherskij-Projekt der Gedanke an einen hohen Vorfertigungsgrad der Gefrieranlage um einen zügigen Montageablauf vor Ort zu ermöglichen. Das bezog sich auf alle Komponenten, wie z.B. die Gefriermaschinen, die Rohrleitungssystem und die Energieversorgung.

Es wurden sechs Gefriermaschinen in Containerbauweise konzipiert, die komplett in Deutschland gefertigt und im Frühjahr 2011 zur Baustelle geliefert wurden. Auch das Rohrleitungssystem wurde mit all seinen Komponenten in Deutschland vorgefertigt und weitestgehend vorisoliert. Zur Unterverteilung der Energieversorgung mit 400 Volt kommen drei 20-Fuß-Container zum Einsatz, in denen die auftraggeberseitige Einspeisung angeschlossen und die Unterverteilung zu den Gefriermaschinen und Pumpen realisiert wurde.

Durch diese Maßnahmen war eine Art Baukastensystem im modularen Aufbau entwickelt worden, so dass der Montageaufwand vor Ort auf ein Minimum reduziert wurde und es THYSSEN SCHACHTBAU ermöglichte, die Inbetriebnahme noch vor dem vertraglich festgelegten und pönalisierten Termin durchzuführen. Nach acht Wochen Montage- und Inbetriebnahmearbeiten wurde dann am 22. August 2011 die Gefrieranlage durch EuroChem feierlich in Betrieb genommen. Letztendlich wurden 900 m Rohrleitungen, 3.500 m Elektro- und Datenkabel, fünf Solepumpen mit Filtern und sechs Gefriermaschinen installiert.

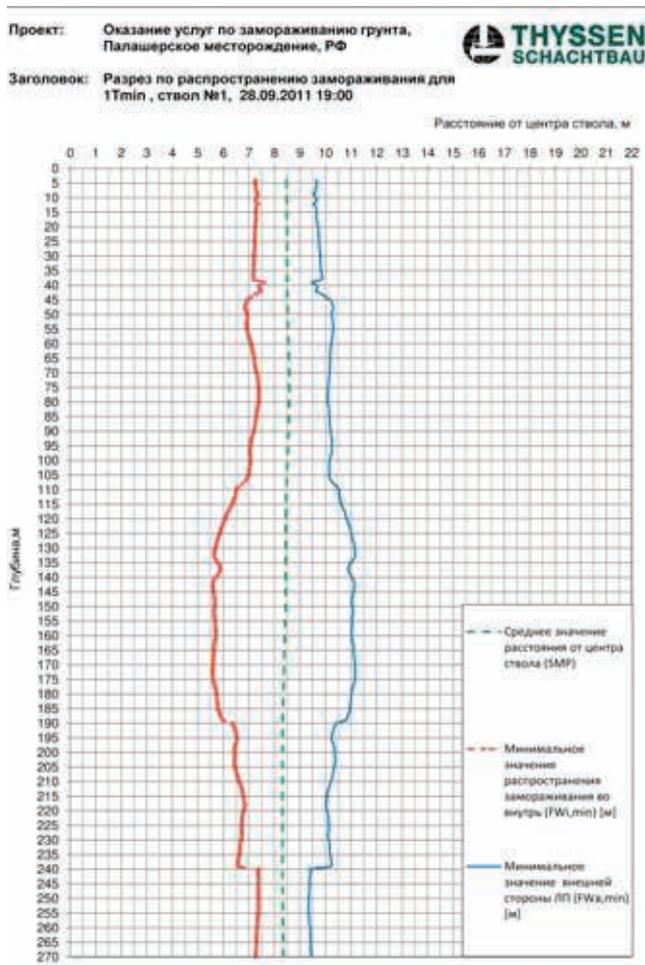
Beim Einsatz der Messtechnik zur Überwachung von Gefrierprozess und Frostkörperwachstum setzt die THYSSEN SCHACHTBAU auf bereits bewährte Systeme, insbesondere der Temperaturerfassung mittels Lichtwellenleitern. Dieses System kam zum ersten Mal bei dem Gremjatschinskij-Projekt zum Einsatz und wurde weiter optimiert. Es ermöglicht auch in Palascherskij Messungen der Gebirgstemperatur je Meter Teufe, so dass ein sehr detailliertes Temperaturprofil über die



Soleköpfe im Gefrierkeller am Schacht 1.



Eis auf den Solepumpen.



Gefrierschachtteufe erstellt wird. Es wurde in seiner Genauigkeit weiter verbessert, so dass die auf diesen Messwerten basierende und von THYSSEN SCHACHTBAU durchgeführte Frostkörperberechnung ein noch höheres Maß an Präzision erreicht. Unter Einbeziehung der realen Gefrierrohr- und Temperaturmessrohrabstände ergibt sich ein sehr scharfes Bild des IST-Zustands des Frostkörpers und die Prognose für den weiteren Aufbau lässt sich dadurch auf wenige Prozent Abweichung durchführen.

Alle Messwerte laufen am zentralen Steuerstand zusammen und ermöglichen zu jeder Zeit eine optimale Steuerung der Gefrieranlage. Entsprechend zügig kann der Frostkörper aufgebaut und mit den Teufarbeiten begonnen werden. So konnte EuroChem bereits am 1. Oktober den ersten befüllten Kübel der Teufeinrichtung ziehen und damit einen weiteren Meilenstein im Palascherskij-Projekt erreichen.

Aufgrund des fein justierten Gefrierprozesses wird es außerdem möglich sein, eher als geplant mit den Gefrierarbeiten am Schacht 2 zu beginnen. Der zeitliche Abstand zwischen den Gefrierstarts der beiden Schächte wird sich um circa 25 Prozent verringern. Somit ist der Teufbeginn am Schacht 2 für den 1. Januar 2012 avisiert.

Das Resümee

Durch den hochengagierten Einsatz aller Beteiligten konnten die Arbeiten termingerecht und zur vollsten Zufriedenheit EuroChems durchgeführt werden. Für THYSSEN SCHACHTBAU zeichnete sich das Projekt nicht nur durch erfolgreiche, wenn auch oftmals alles abverlangende Arbeit in ursprünglicher Gegend vor dem Uralgebirge aus. Auch das partnerschaftliche und freundliche Verhältnis mit EuroChem stellt eine große Motivation dar, bei der schnellstmöglichen Inbetriebnahme des Bergwerkes mitzuwirken.

[1] OLHOVIKOV, Ju. P. „Projektieren und Erfahrungen des Betriebens der Kalischächte“, Gornij Journal Nr. 10, 2008

Tim van Heyden
Rolf Krause
Eduard Dorn