

Vertikalschachtbau am Pumpspeicherkraftwerk Vianden/Luxemburg

Die Kapazitäten des Pumpspeicherkraftwerks Vianden in Luxemburg werden erhöht. Teil der zu errichtenden Bauwerke ist ein vertikaler Druckschacht, der mit Hilfe eines von Herrenknecht und Edilmac dei F.lli Maccabelli S.r.l. neu entwickelten Raise Boring Rigs gebohrt wurde.

1 Neue Kapazitäten für das Pumpspeicherkraftwerk Vianden

Das Pumpspeicherkraftwerk (PSW) Vianden/Luxemburg wurde 1963/1964 mit 9 Maschinensätzen in Betrieb genommen und Mitte der 1970er Jahre um einen 10. Maschinensatz erweitert. Pumpspeicherkraftwerke dienen vornehmlich der Spitzenlastabsicherung. Wasser fließt von einem höher gelegenen Becken (Oberbecken) durch Pumpturbinen in ein niedriger gelegenes Becken (Unterbecken) und erzeugt auf diese Weise elektrischen Strom. Bei Bedarf, beispielsweise einem Überangebot auf dem Strommarkt, wird das Wasser wieder vom Unter- in das Oberbecken gepumpt. Das PSW Vianden verfügt mit den bisher 10 Maschinensätzen über eine Kapazität von 1.100 MW. Die Betreiberin, die Société Électrique de l'Our (SEO), erweitert die Kapazität um 200 MW durch die Installation eines 11. Maschinensatzes, der die vorhandenen Ober- und Unterbecken nutzt, aber über ein eigenes System von Wasserwegen sowie Ein- und Auslaufwegen verfügen wird.

Benjamin Künstle, Alexander Frey; Herrenknecht AG, Schwanau/Germany, www.herrenknecht.com

Mit dem Bau der Anlagen zur Unterbringung der 11. Maschine wurde die Arge PSW Vianden Los 1, bestehend aus den Firmen Züblin, Strabag und Jäger beauftragt. Der Auftrag beinhaltet unter anderem im Oberbecken einen Ein-/Auslaufurm mit sich unten anschließendem vertikalem Druckschacht (Bild 1).

2 Bau des Druckschachtes

Der Auftrag zur Erstellung des Druckschachtes erging durch die Arge Vianden an Edilmac dei F.lli Maccabelli S.r.l. Der Druckschacht reicht über 300 Höhenmeter vom Oberbecken bis auf das Krafthausniveau herab. Nach Durchlaufen eines vertikalen Krümmers verbindet ein 240 m langer, flach geneigter Druckstollen mit dem Krafthaus. Vertikalschacht, Krümmer und Druckstollen erhalten eine Stahlpanzerung, die auf den vollen möglichen Außenwasserdruck ausgelegt ist. Druckschacht und Stollen erhalten einen Innendurchmesser von 4,50 m.

Vertical Shaft Construction at the Pump Storage Plant Vianden/Luxembourg

The capacity of the pump storage plant Vianden in Luxembourg is to be increased. Part of the structures to be built is a vertical pressure shaft that was drilled using a newly developed Raise Boring Rig by Herrenknecht and Edilmac dei F.lli Maccabelli S.r.l.

1 New capacities for the pump storage plant Vianden

The pump storage plant (PSP) Vianden/Luxembourg was put into operation in 1963/1964 with 9 sets of machines and in the mid-1970s it was extended to include a 10th machine unit. Pump storage plants are primarily used for peak load protection. Water flows from an elevated basin (upper reservoir) through pump turbines into a lower-lying basin (lower reservoir) and thus generates electricity. When necessary, for example, when there is a surplus on the electricity market, the water is pumped from the lower to the upper reservoir. The PSP Vianden has a capacity of 1,100 MW with its 10 machine units. The operator, Société Électrique de l'Our (SEO), extends the capacity by 200 MW through the installation of an 11th machine unit, which uses the existing upper and lower basins, but has its own system of waterways and inlet and outlet structures.

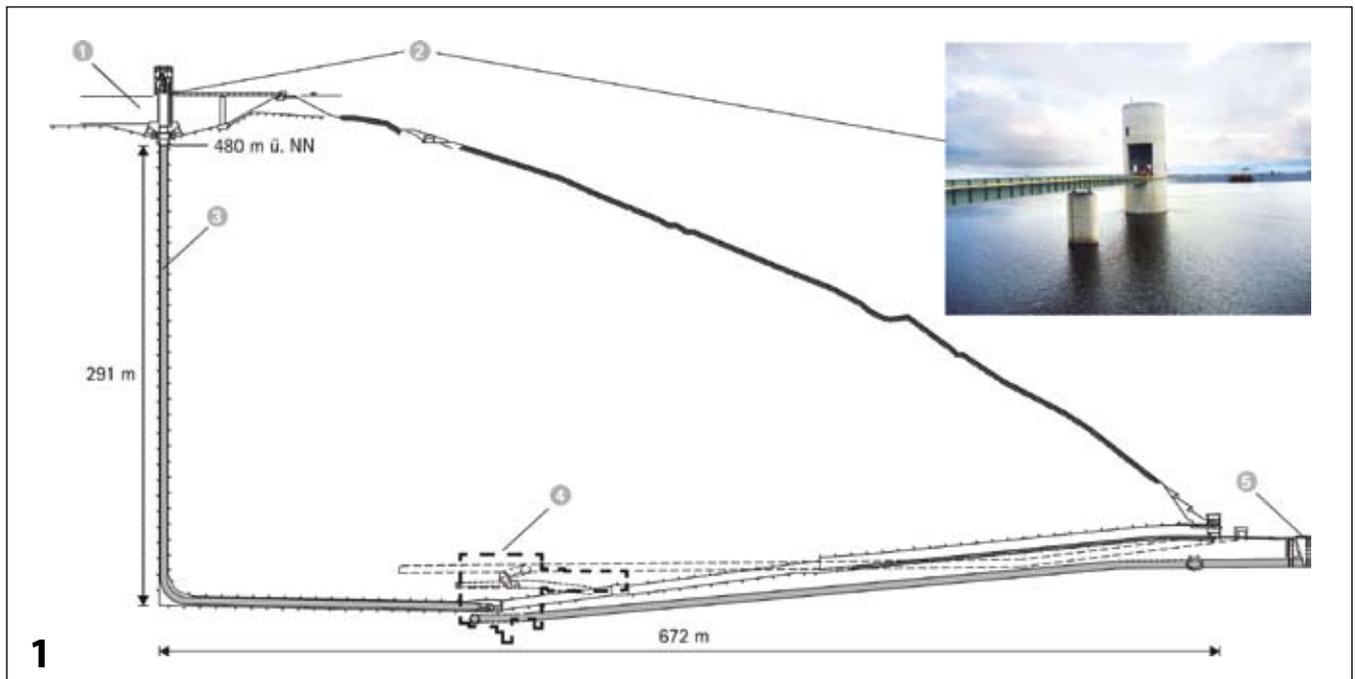
The construction of the facilities to accommodate the 11th

machine, was under the responsibility of the consortium PSW Vianden Los 1, consisting of the companies Züblin, Strabag and Jäger. The contract included, among others, the construction of an inlet and outlet tower in the upper reservoir, followed by a vertical pressure shaft (Figure 1).

2 The construction of the pressure shaft

The contract for the construction of the pressure shaft was awarded to Edilmac dei F.lli Maccabelli S.r.l. by the consortium Vianden. The pressure shaft extends to 300 m from the upper reservoir down to the powerhouse level. After passing through a vertical bend, a 240 m long, shallow inclined pressure tunnel connects to the power house. The vertical shaft, manifold and pressure tunnels are equipped with a steel armor, which is designed to accommodate the full, potential outside water pressure. The pressure shaft and tunnel will have an internal diameter of 4.50 m.

The project area is located in the clayey to silty fine sand of the Siegen and Ems steeps of the Lower Devonian, whereby



(1) Oberbecken, (2) Ein-/Auslaufbauwerk, (3) Vertikaler Druckschacht, (4) Maschinenkaverne, (5) Ein-/Auslaufbauwerk Unterbecken
 (1) Upper reservoir, (2) Inlet and outlet tower, (3) Vertical pressure shaft, (4) Machine cavern, (5) Inlet and outlet tower lower reservoir

Das Projektgebiet befindet sich in den tonigen bis feinsandigen Schluffschiefern der Siegen- und Ems-Stufen des Unterdevon, wobei von durchweg sehr geringen bis undurchlässigen Grundwasserhältnissen ausgegangen wurde. Laut Ausschreibungsunterlagen war der Einsatz des Raise-Boring-Verfahrens für den Bau des vertikalen Druckschachtes vorgesehen.

3 Einsatz des Raise Boring Rigs

Nach dem Auftragseingang im April 2010 entwickelte Herrenknecht das Raise Boring Rig 550VF (Bild 2). Hierbei flossen die kundenspezifischen Vorgaben in die Auslegung des Rigs ein. Die erfolgreiche Werksabnahme fand am 5. Oktober 2010 statt. Begünstigt durch den kompakten, modularen Aufbau konnte das Rig mit wenigen Transporten vom Werk in Schwanau auf die Baustelle Vianden geliefert werden, wo es am 8. Oktober 2010 eintraf.

3.1 Beschreibung des Raise-Boring-Verfahrens

Beim Einsatz eines Raise Boring Rigs für ein Schachtbauwerk in standfestem Gebirge erfolgt im ersten Schritt der Aufbau des Rigs über dem Schachtansatzpunkt mittels Raupenfahrwerk oder Kran. Von hier startet die vertikale Pilotbohrung mit der Bohrkronen nach unten (Bild 3a). Bei Bedarf kann die Pilotbohrung auch in einem Winkel von bis zu 45° durchgeführt werden. Das Bohrklein wird während der Pilotbohrung durch ein Spülmedium (z.B. Wasser, Luft) ausgespült. Je nach Bohrtiefe werden sukzessive weitere Bohrgestänge eingebaut, bis die Zieltiefe, d.h. der bereits bestehende Tunnel oder die Kaverne angebohrt ist. Nach dem Erreichen der Zieltiefe wird die Bohrkronen der Pilotbohrung in der Kaverne demontiert und der Reaming Head (Aufweitungsbohrkopf) (Durchmesser typischerweise 1 bis 7 m) am Bohrstrang mon-

generally very low to impermeable ground water conditions was assumed. According to the tender documents, the raise boring method was selected for the construction of the vertical pressure shaft.

3 Applications of the Raise Boring Rig

After the contract was awarded in April 2010, Herrenknecht de-

veloped the Raise Boring Rig 550 VF (Figure 2). Here, customer-specific requirements were incorporated. The successful factory acceptance test took place on October 5, 2010. Favored by the compact, modular design, the rig could be delivered from the factory in Schwanau to the Vianden site with only a few transports where it arrived on October 8, 2010.



Das Raise Boring Rig 550 VF
 The Raise Boring Rig 550 VF

tiert. Das Rig zieht den Reaming Head am Bohrstrang nach oben (Bild 3b). Durch die Drehung des Bohrkopfes wird das Material abgebaut und fällt nach unten, von wo es abtransportiert wird. Der Schacht wird von unten nach oben im Durchmesser des Bohrkopfes auf das Zielmaß aufgeweitet.

Gegenüber dem konventionellen Schachtbau ist beim Einsatz eines Raise Boring Rigs die Sicherheit für das Personal signifikant erhöht, da es außerhalb des eigentlichen Schachtes arbeitet. Darüber hinaus können deutlich höhere Vortriebsgeschwindigkeiten erreicht werden. Die Schachtwandung fällt generell glatter aus bei einem gleichzeitig reduzierten Mehrausbruch. Das Schüttern auf einem unteren Level ist mit weniger Aufwand verbunden. Da weniger Personal für den Betrieb des Rigs benötigt wird als beim konventionellen Vortrieb, lassen sich hier bedeutende Kosteneinsparungen erzielen.

3.2 Ablauf der Bohrung in Vianden

Bei der Baustellenmontage musste das Baustellenteam im 45 m hohen Ein-/Auslaufturm das Raise Boring Rig 550VF unter deutlich beengten Platzverhältnissen montieren. Die Baustellenmontage war trotzdem bereits nach 3 Tagen abgeschlossen. Am 16. November 2010 konnte das Rig planmäßig in Betrieb genommen werden und die Pilotbohrung (Durchmesser 15"/381 mm) abgeteuft werden. Im Verlauf des nachfolgenden Reamings (Durchmesser 5.460 mm) wurden durchschnittlich 10 m/Tag erreicht (max. 18 m/Tag).

Bei den sich abwechselnden geologischen Bedingungen von

lockerem zu hartem Gestein mit maximalen Druckfestigkeiten von bis zu 130 MPa bewährte sich besonders die Maschinensteuerung, die einen störungsfreien Bohrvorgang sicherstellte. Mit 40 Bohrtagen wurde die Zeitplanung für Aufbau, Pilotbohrung, Aufweitbohrung und Demontage eingehalten. Am 18. Januar 2011 konnte der Vortrieb des 282 m langen Schachtes erfolgreich abgeschlossen werden (Bild 4a und 4b).

3.3 Charakteristika des Raise Boring Rigs 550 VF

Das RBR 550 VF ist eines der größten jemals eingesetzten Rigs dieser Art. Es zeichnet sich durch einen kompakten, modularen Aufbau aus und verfügt über einen leistungsstarken und hocheffizienten mittelfreien Antrieb. Das bei Herrenknecht vielfach bewährte frequenzrichter-gesteuerte Antriebskonzept ermöglicht eine variable Geschwindigkeits- und Drehmomentkontrolle. Das Rig ist ausgelegt auf Schachtlängen von bis zu 1.000 m. Das mechanisierte Bohrgestänge-Handling sorgt sowohl für effizientere Arbeitsabläufe als auch

3.1 Description of the raise boring procedure

When using a Raise Boring Rig for a shaft construction in stable rock, the handling of the rig, over the shaft starting point, takes place in a first step by means of a crawler track or crane. From here the vertical pilot hole starts with the drill bit facing downwards (Figure 3a). If necessary, the pilot hole can be carried out at an angle of up to 45°. The debris is flushed out during the pilot hole by a flushing medium (e.g. water, air). Depending on the drilling depth, additional drill rods are successively installed until the target depth is reached in the existing lower tunnel or cavern. The pilot hole drill bit is then removed and the reaming head (typically 1 to 7 m in diameter) mounted on the drill string. The rig pulls up the reaming head with the drill string (Figure 3b). Through the rotation of the reaming head, the rock is crushed and falls down where it is removed. The shaft is reamed from the bottom to the top by the diameter of the reaming head to the target dimension.

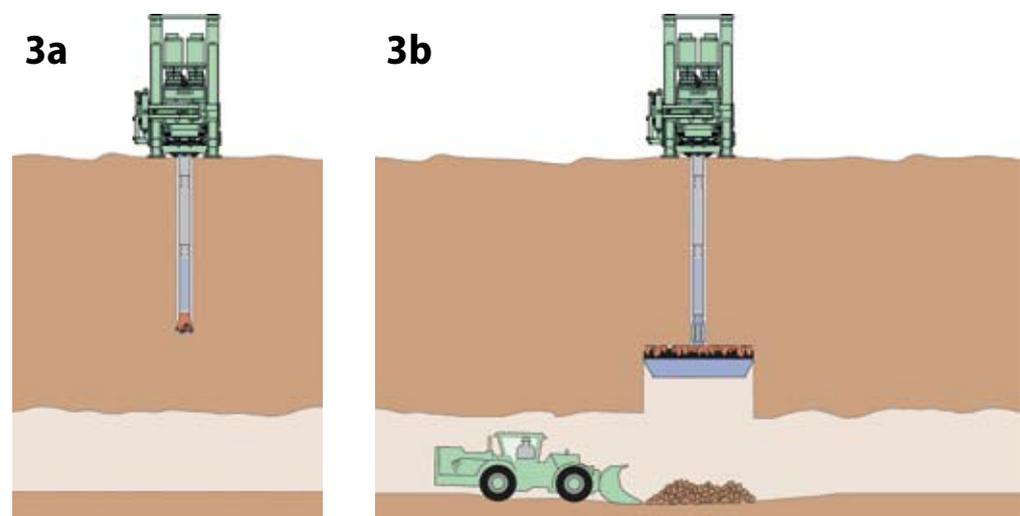
Compared with the conventional shaft sinking methods, the use of a raise boring method

significantly increases the safety of the personnel, since they work outside the actual shaft. In addition, significantly higher construction rates can be achieved. The shaft wall is generally smoother with a simultaneously reduced over-excavation. Dropping of the muck on a lower level is associated with less effort. Since fewer staff is needed to operate the rig than with conventional shaft sinking, significant cost savings can be achieved here.

3.2 Execution of the drilling in Vianden

During on-site assembly, the construction team had to mount the Raise Boring Rig 550VF in a 45 m high inlet/outlet tower under significantly confined space. Nevertheless, the on-site assembly was completed in 3 days. On November 16, 2010, the rig was put into operation as planned and the pilot hole (diameter 15"/381 mm) was drilled. In the course of the reaming (5,460 mm diameter), 10 m/day were achieved on the average (max. 18 m/day).

With the constantly changing geological conditions of loose to hard rock with maximum compressive strengths of up to



Das Raise-Boring-Verfahren mit Pilotbohrung (3a) und anschließendem Reaming (Aufweitbohrung) (3b)

The raise boring method with pilot hole drilling (3a) and following reaming (3b)



Durchbruch des RBR 550 VF am 18. Januar 2011
Breakthrough of the RBR 550 VF on January 18, 2011

für eine höhere Sicherheit des Personals beim Ein- und Ausbau der Bohrgestänge.

4 Zusammenfassung und Ausblick

Das Raise Boring Rig 550 VF hat sich bereits bei seiner Premiere in Vianden mit hoher Zuverlässigkeit bewährt. Der Druckschacht für den 11. Maschinensatz des Pumpspeicherkraftwerks Vianden wurde schnell und sicher aufgefahren. Die Inbetriebnahme des 11. Maschinensatzes ist für das dritte Quartal 2013 vorgesehen. Unmittelbar nach dem Einsatz in Luxemburg schließt sich für das Raise Boring Rig 550 VF die nächste Bohrung an: ein Belüf-

tungsschacht (Durchmesser 4.760 mm, Tiefe 280 m) für den Tunnel einer Umgehungsstraße in Bozen/Italien. Auf der Baustelle in Bozen bewährte sich das Raupenfahrzeug des RBR 550 VF, womit der hier schwer zugängliche Einsatzort gut erreicht werden konnte.

Das maschinelle Auffahren von Schächten mittels Raise Boring Rig bietet sich für eine Reihe von Anwendungen an: Belüftungsschächte, Schächte zum Schüttern oder zum Erztransport, Förderschächte, Versorgungsschächte (Energie, Wasser, Luft) sowie Druckschächte für Wasserkraftwerke wie im hier beschriebenen Fall. 



130 MPa, the machine control system proved to be particularly favorable, ensuring a failure-free boring process. The time schedule for assembly, pilot boring, reaming and disassembly was met after 40 drilling days. On January 18, 2011 the drilling of the 282-m long shaft was completed (Figure 4a and b).

3.3 Characteristics of the Raise Boring Rig 550 VF

The RBR 550 VF is one of the largest rigs of its kind ever used. It is distinguished by a compact, modular design and has a powerful and highly efficient center-free drive. Herrenknecht's proven variable frequency controlled drive concept allows for variable

speed and torque control. The rig is designed for shaft lengths of up to 1,000 m. The mechanized drill pipe handling ensures more efficient operations as well as greater safety of personnel during installation and removal of drilling rods.

4 Summary and outlook

The Raise Boring Rig 550 VF has already proven itself in its premiere in Vianden with high reliability. The pressure shaft for the 11th machine unit of the Vianden pump storage plant was quickly and safely excavated. The commissioning of the 11th machine unit is scheduled for the third quarter of 2013. After its use in Luxembourg the next task for the Raise Boring Rig 550 VF is at hand: a shaft (4,760 mm diameter and 280 m depth) for the ventilation of the tunnel bypass in Bolzano/Italy. At the construction site in Bolzano the crawler unit of the RBR 550 VF proved its worth, in that the location with its difficult access conditions could be easily reached.

The mechanical excavation of shafts using the raise boring method is ideal for a variety of applications: Ventilation shafts, ore and waste passes, hoisting shafts, supply shafts (energy, water and air) and pressure shafts for hydroelectric power plants, as in the case described above. 

Datentabelle: Raise Boring Rig 550 VF Vianden	
Pumpspeicherkraftwerk Vianden /Luxemburg	
Bauherr	Société Electrique de l'Our S.A.
Kunde/Maschinebetreiber	Edilmac dei F.lli Maccabelli S.r.l./Italien
Schachttiefe	282 m
Schachtdurchmesser	5.460 mm
Pilotbohrung	15"/381mm
Vortriebsstart	16. November 2010
Durchbruch	18. Januar 2011
Bester Vortriebswert (Reaming)	18,2 m am 12. Januar 2011
Gesteinsfestigkeit bis zu	130 MPa

Data Table: Raise Boring Rig 550 VF Vianden	
Pump storage plant Vianden /Luxembourg	
Client	Société Électrique de l'Our S.A.
Customer/machine operator	Edilmac dei F.lli Maccabelli S.r.l./Italy
Shaft depth	282 m
Shaft diameter	5,460 mm
Pilot hole	15"/381mm
Drilling start	11/16/2010
Breakthrough	01/18/2011
Best reaming rate	18.2 m at 01/12/2011
Rock strength up to	130 MPa