

Exceptional problems for grouting in power station construction in exposed locations

Außergewöhnliche Aufgabenstellungen an die Injektionstechnik im Kraftwerksbau in exponierten Lagen

Power station construction has always posed very complex problems for engineers. The dimensions of such construction works, their geographical location and the effects on people and nature reflect not only the great public interest but also show how extensive and challenging the design and construction of such construction works can be. Grouting technology is a reliable partner for waterproofing, consolidation and prestressing measures in power station construction and in such exposed locations, provides special solutions for the particular local conditions. The following article describes through selected examples grouting solutions for the refurbishment and new construction of hydropower facilities, concentrating on the implementation of specialised civil engineering measures on international power station projects.

Keywords power station construction; grouting technology; waterproofing grouting; drilling and grouting technology

1 Introduction

This article reports on the implementation of grouting works in connection with current power station projects in exposed locations ranging from high mountains through karst regions to deserts. These exposed locations pose a particular challenge for grouting technology for the specific power project – on the one hand regarding the different geological conditions below ground, and on the other hand the climatic conditions and not least the different requirements for the effect to be achieved by grouting with the entire range of contract conditions of the relevant customer or client.

These challenges are illustrated with grouting works carried out in practice on various projects in recent years, with details of the aims of grouting, the process used and the result achieved regarding waterproofing in each case.

The examples clearly show that good planning and the most exact possible definition of the aims of grouting are important building blocks. And when findings from the performance of the works are also continuously fed back into the project and made use of, the procedure mostly leads to a very good result.

Der Kraftwerksbau konfrontiert Ingenieurwissenschaften seit jeher mit komplexen Aufgabenstellungen. Die Dimension solcher Bauwerke, deren geografische Lage sowie Auswirkungen auf Mensch und Natur spiegeln nicht nur das große öffentliche Interesse wider, sondern zeigen auf, wie umfangreich und zugleich anspruchsvoll an solche Baumaßnahmen in Planung und Ausführung herangegangen werden muss. Die Injektionstechnik ist dabei verlässlicher Partner für Abdichtungs-, Verfestigungs- und Vorspannmaßnahmen im Kraftwerksbau und geht als solcher auch in exponierte Lagen mit Sonderlösungen auf Basis der speziellen Randbedingungen. Der folgende Beitrag zeigt anhand ausgewählter Beispiele injektionstechnische Lösungen bei Sanierung und Neuerrichtung von Wasserkraftanlagen. Der Fokus liegt dabei auf der Umsetzung von Spezialtiefbau-Maßnahmen bei internationalen Kraftwerksprojekten.

Stichworte Kraftwerksbau, Injektionstechnik, Abdichtungsinjektionen, Bohr- und Injektionstechnik

1 Einleitung

Dieser Beitrag berichtet über die Ausführung von Injektionsarbeiten im Zusammenhang mit bestehenden Kraftwerksprojekten in exponierten Lagen. Diese können vom Hochgebirge über Karstgebiet bis hin zur Wüstenregion reichen. Diese exponierten Lagen stellen eine besondere Herausforderung an die Injektionstechnik in Bezug auf das jeweilige Kraftwerksprojekt dar – zum einen durch die unterschiedlichsten geologischen Untergrundbedingungen, zum anderen auch oftmals durch die klimatischen Verhältnisse und nicht zuletzt durch die verschiedenen Anforderungen an das zu erreichende Injektionsziel mit der gesamten Bandbreite an Vertragsbedingungen der jeweiligen Auftraggeber bzw. Bauherrn.

Diese Herausforderung wird anhand von praktisch durchgeführten Abdichtungsinjektionen an ausgeführten Projekten der letzten Jahre dargestellt. Es wird auf die jeweilige Anforderung an das Injektionsziel, das eingesetzte Verfahren und das erreichte Ergebnis in Bezug auf die Abdichtung eingegangen.

Dabei lässt sich sehr gut darstellen, dass eine gute Planung und eine möglichst genaue Definition des Injektionsziels wichtige Bausteine sind. Wenn darüber hinaus Erkenntnisse aus der Ausführung der Arbeiten auch laufend in das Projekt aufgenommen und eingearbeitet werden, führt die Vorgangsweise meist zu einem sehr guten Ergebnis.

TOPICS

2 Completed projects

2.1 Großer Mühltorfer See dam, Carinthia, Austria

The dam for the Großen Mühltorfer See reservoir is a gravity dam about 45 m high with a slightly curved crest length of about 430 m. The dam was built in 1954 to 1957 and serves the Reißeck-Kreuzeck power station group with a stored volume of 7.8 hm³ as an annual reservoir [1]. With the new construction of the cavern power station Reißeck II, the Malta group was also integrated. As part of this work, the reservoir was completely emptied in 2013 in order to carry out the necessary upgrading for pumped storage operation. The special feature of this dam is the exposed location at about 2,300 m above sea level and the access to the facility. When the refurbishment works were carried out, access was only up the existing Reißeck works funicular railway and the narrow-gauge mountain railway for about 7 km. The client and owner of this facility is the Verbund Hydro Power GmbH.

2.1.1 Planned measures

The waterproofing concept consisted of installing a new waterproofing membrane to the entire concrete surface

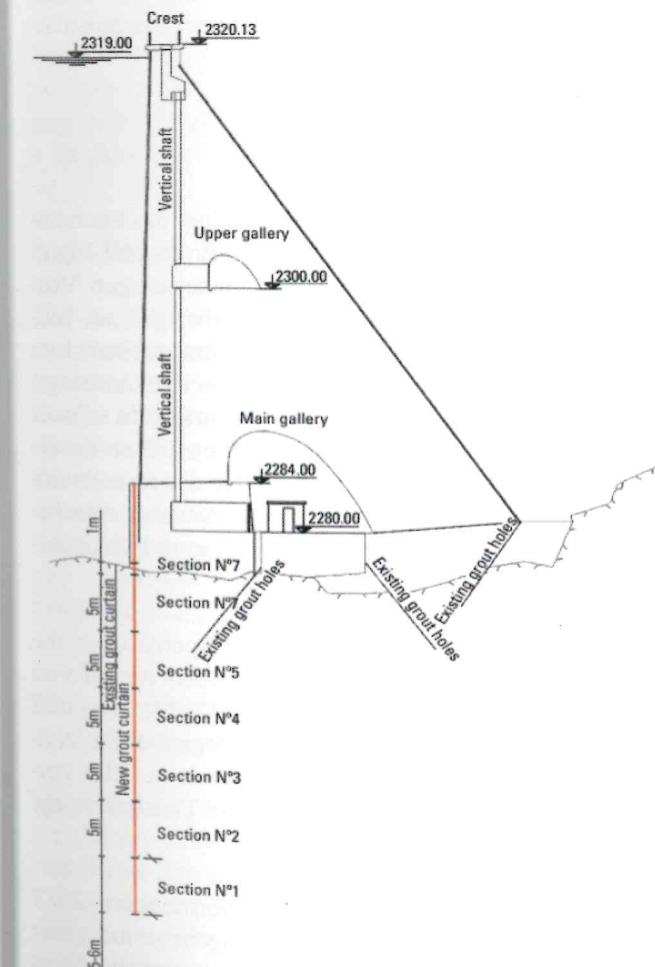


Fig. 1 Cross-section of the dam
Bild 1 Querschnitt der Sperre

2 Ausgeführte Projekte

2.1 Sperre Großer Mühltorfer See, Kärnten, Österreich

Die Sperre für den Großen Mühltorfer See ist eine ca. 45 m hohe Gewichtsmauer mit einer leicht gekrümmten Kronenlänge von ca. 430 m. Die Sperre wurde in den Jahren 1954 bis 1957 errichtet und diente der Kraftwerksgruppe Reißeck-Kreuzeck mit einem Speichervolumen von ca. 7,8 hm³ als Jahresspeicher [1]. Mit dem Neubau des Kavernenkraftwerks Reißeck II erfolgte der Zusammenschluss mit der Kraftwerksgruppe Malta. Dazu wurde der Stausee im Jahr 2013 vollkommen entleert, um die entsprechenden Ertüchtigungen für den Betrieb als Pumpspeicherwerk vornehmen zu können. Das Spezielle an dieser Sperre ist die exponierte Lage in einer Seehöhe von ca. 2.300 m und die Zugangsmöglichkeit zu dieser Anlage. Diese war zum Zeitpunkt der Ausführung der Sanierungsarbeiten nur über die bestehende werkseigene Reißeck-Standseilbahn und die ca. 7 km lange Höhenbahn erreichbar. Bauherr und Eigentümer dieser Anlage ist die Verbund Hydro Power GmbH.

2.1.1 Geplante Maßnahmen

Das Abdichtungskonzept bestand aus dem Aufbringen einer neuen Folienabdichtung an der gesamten Betonoberfläche der Wasserseite sowie der Ertüchtigung des bestehenden Dichtschirms in den Untergrund bis auf eine Tiefe von ca. 40 m. Für das Injektionsraster wurden Primärbohrungen im Abstand von ca. 8 m sowie Sekundär- und Tertiärbohrungen jeweils auf Lücke geplant, sodass sich im Endeffekt ein Bohrlochabstand von ca. 2 m ergibt. Der Ansatzpunkt der Injektionsbohrungen befand sich auf einem ca. 70 cm breiten Betonsockel (Vorboden) am Sperrenfuß der Wasserseite (Bild 1).

2.1.2 Ausführung der Bohr- und Injektionsarbeiten

Das Abteufen der Injektionsbohrungen erfolgte mit hochtourigen Sandvik-Kernbohrgeräten im Rotationsspülbohrverfahren mit Kerngewinn bis in Tiefen von 40 m. Zur Entnahme der Bohrkern wurden Doppelkernrohre mit einem Außendurchmesser von 46 mm und mit Längen bis 3.000 mm verwendet. Kürzere Bohrungen wurden mit Hilti-Betonbohrgeräten hergestellt.

Der vorwiegend als Augengneis zu beschreibende Felsuntergrund wurde ausschließlich mit diamantimprägnierten Verschleißkronen unterschiedlicher Matrizenhärte, angepasst an die Gebirghärte, durchörtert. Aufgrund steil fallender Kluft-/Schieferungslagen kamen ausschließlich geneigte Bohrungen zur Ausführung, sodass eine möglichst große Anzahl von Klüften mit einer Bohrung abgedeckt werden konnte.

Sowohl die Kernbohrungen als auch die nachfolgenden Felsinjektionen folgten dabei einem zuvor definierten

on the water side and repairing the existing grout curtain below ground down to a depth of about 40 m. A drilling pattern with primary holes spaced at 8 m and secondary and tertiary drilling in the gaps gave a final spacing of about 2 m. The starting point for drilling the grouting holes was a concrete toe slab about 70 cm wide at the foot of the dam on the water side (Fig. 1).

2.1.2 Drilling and grouting works

The holes were drilled with high-speed Sandvik core drills by rotary drilling with the mud flushing process with cores gained down to about 40 m. To extract the cores, dual casings with an external diameter of 46 mm and lengths of up to 3,000 mm were used. Shorter holes were drilled with Hilti concrete drills.

The rock mostly consisted of Augen gneiss and was exclusively drilled with diamond-impregnated bits with various matrix hardnesses to suit the rock hardness. Due to the steeply dipping fissuring/cleavage, all holes were inclined so that the largest possible number of fissures could be covered with each hole.

Both the core drilling and the subsequent rock grouting were carried out in the previously defined sequence of primary, secondary and tertiary passes. In order to grout the rock, sections 5 m long (called a grouting pass) were formed by expanding a hydraulic single packer, starting from the bottom of the hole. The grouting could thus be carried out with pressure and quantity criteria previously defined for this planned section.

In order to avoid damage to the rock from excessive grouting pressures, the maximum pressures were adapted according to the depth of each pass and the remaining rock overburden. After completion of a grouting pass, the packer was released and set at the next position. In order to be gentle to the transition from ground to structure, the formation surface was grouted with short passes and correspondingly low injection pressure. All grouting parameters were electronically recorded, evaluated and passed to the client for further processing and assessment of grouting success.

The grout used was a cement-based suspension stabilised with bentonite. Additives were used to achieve positive rheological properties with regard to workability. In selected areas, fine cement grout was also used.

2.1.3 Particular challenges

Due to the configuration of the dam structure, it was necessary to carry out all drilling and grouting work from the toe on the water side with a width of about 70 cm. In order to be able to manipulate the machinery simply and without additional devices in the available space with its exposure and difficulty of access, the entire length of the

Ablauf in Primär-, Sekundär- und Tertiärdurchgängen. Für die Injektion des Felsuntergrunds wurde im Bohrloch, beginnend vom Bohrlochtiefsten, ein ca. 5 m langer Abschnitt (eine sogenannte Injektionspasse) durch Ver-spannen eines hydraulischen Einfachpackers hergestellt. Die Beaufschlagung mit Injektionsgut konnte somit gezielt für diese planmäßige Bohrlochstrecke mit zuvor definierten Druck- und Mengenkriterien erfolgen.

Um schädliche Auswirkungen auf den Felsuntergrund durch zu hohe Injektionsdrücke zu verhindern, wurde entsprechend der jeweiligen Höhenlage der Injektionspasse und somit der verbleibenden Felsüberlagerung das maximale Druckniveau angepasst. Nach Abschluss einer Injektionspasse wurde der Packer entspannt und auf die nächsthöherliegende Packerstellung gesetzt. Für eine schonende Bearbeitung der Grenzfläche Untergrund/Bauwerk wurde die Aufstandsfläche mittels kurzer Injektionspasse und entsprechend geringem Injektionsdruck beaufschlagt. Sämtliche Injektionsparameter wurden elektronisch aufgezeichnet, ausgewertet und dem Bauherrn zur weiteren Bearbeitung und Beurteilung des Injektionserfolgs übergeben.

Als Injektionsgut kam eine mittels Bentonit stabilisierte Suspension auf Zementbasis zur Anwendung. Durch die zusätzliche Beigabe von Injektionshilfen konnten weitere positive rheologische Eigenschaften der Suspension im Hinblick auf dessen Verarbeitbarkeit erreicht werden. In ausgewählten Bereichen kamen auch Feinzementsuspensionen zum Einsatz.

2.1.3 Besondere Herausforderungen

Auf Grundlage der baulichen Beschaffenheit des Sperrerbauwerks war es erforderlich, sämtliche Bohr- und Injektionsarbeiten vom ca. 70 cm breiten wasserseitigen Vorfuß der Sperre zu bewerkstelligen. Hierbei galt es, hinsichtlich einer einfachen und möglichst ohne zusätzlichen Geräteeinsatz realisierbaren Manipulation der Leistungsgeräte, auf die exponierte und für Transportgeräte schwer erreichbare Lage der Bohr- und Injektionsplätze zu reagieren. Somit musste die gesamte Länge der wasserseitigen Aufstandsfläche mit einem entsprechenden Arbeitsgerüst versehen werden um die Bohr- und Injektionsarbeiten ausführen zu können (Bild 2).

Die ausschließliche Erreichbarkeit der Sperre über die Stollenbahn und dem daraus resultierenden Bedarf von mehrmaligen Be- und Entladevorgängen für Material und Equipment, erforderten einen hohen logistischen Aufwand. Die Geräteausrüstung musste somit auf die vorhandenen geringen Lichtraumprofile der Transportwege penibel abgestimmt werden.

Auch wenn die Arbeiten in den Sommermonaten 2013 ausgeführt wurden, muss man im Hochgebirge auf einer Höhenlage von über 2.300 m Seehöhe mit extremen Wetersituationen wie Unwetter oder Schneestürmen rechnen und darauf vorbereitet sein.



Fig. 2 Drilling work on the working scaffold
Bild 2 Bohrarbeiten auf dem Arbeitsgerüst

water-side standing area was provided with an appropriate working scaffold in order to be able to carry out the drilling and grouting work (Fig. 2).

Since the dam could only be reached on the tunnel railway, the resulting amount of loading and unloading of material and equipment resulted in laborious logistics. The machinery had to be carefully matched to the available structure gauge of the transport routes.

Even though the work was carried out in the summer months of 2013, it was still necessary to expect and be prepared for extreme weather situations or snowstorms at a height of more than 2300 m.

2.1.4 Result

The concept of membrane waterproofing on the water side and the repair of the grout curtain with appropriate grouting works turned out to be very successful. The Große Mühltal See was already used as an annual reservoir before the refurbishment. With the additional operation of Reißbeck II, the storage cycles have been reduced to months, weeks and hours and operation has been without problems so far. The total quantity of seepage water was reduced from 4.6 l/s (before the waterproofing) to 1.5 l/s with the reservoir full.

2.2 Višegrad power station, Republika Srpska, Bosnia Herzegovina

The Višegrad power station is located in Bosnia Herzegovina, about 2.7 km upstream of the town Višegrad in the Republika Srpska, about 10 km from the Serbian border. The structure consists of a gravity dam about 50 m high with a crest length of about 300 m and an integrated power station, which dams the River Drina over a length of about 20 km (Fig. 3). The power station was built in the years 1985 to 1989. The client is the MH Elektroprivreda



2.1.4 Ergebnis

Das Konzept mit der wasserseitigen Folienabdichtung und der Sanierung des Dichtschirms durch entsprechende Injektionsmaßnahmen hat sich als sehr zweckmäßig herausgestellt. Der Große Mühltal See wurde vor der Sanierung bereits als Jahresspeicher betrieben. Seit der Inbetriebnahme von Reißbeck II reduzieren sich die Speicherzyklen auf Monats-, Wochen- bis zu Stundenzyklen und konnten bisher problemlos betrieben werden. Die Gesamtsickerwassermenge wurde von 4,6 l/s (vor der Abdichtungsmaßnahme) auf 1,5 l/s bei Vollstau reduziert.

2.2 Kraftwerk Višegrad, Republik Srpska, Bosnien Herzegowina

Das Kraftwerk Višegrad befindet sich in Bosnien Herzegowina ca. 2,7 km flussaufwärts der Stadt Višegrad in der Republik Srpska, ca. 10 km von der serbischen Grenze entfernt. Das Bauwerk besteht aus einer ca. 50 m hohen



Fig. 3 Višegrad hydropower plant
Bild 3 Kraftwerksanlage Višegrad

Republike Srpske, a state electricity company of the Republika Srpska.

2.2.1 Problems due to the geology

The Drina runs through one of the well-known karst regions of Yugoslavia. The dam site itself was investigated with numerous boreholes and described by the geologists as one of the most complex structures in this region. The limestone has widely varied jointing with large caverns under the dam foundation area.

Continuous measurement of water losses showed a massive increase of leakage from 1.4 to 14 m³/s in a period of about 20 years. Detailed geophysical measurements showed that a sinkhole had formed about 200 m upstream of the dam, into which the water from the reservoir ran underground and reappeared in the riverbed further downstream in the form of altogether six spring holes (Fig. 4). These investigations made clear that the existing grout curtain under the dam was either not embedded deep enough into impermeable ground or had already been partially destroyed by the high flow speeds.

2.2.2 Planned measures

The remedial concept provided filling the sinkhole above the dam with about 25,000 m³ of gravel and sand material. This was intended to reduce the flow speed through natural sealing and thus create the preconditions for targeted cement grouting.

This was to be followed by drilling up to ten boreholes or grouting holes in the headwater immediately above the dam to a depth of about 240 m. Depending on the results of the investigation boreholes, particularly with regard to any fissuring or caverns encountered, these boreholes

Gewichtsmauer mit einer Kronenlänge von ca. 300 m sowie einer integrierten Kraftwerksanlage, die den Fluss Drina über eine Länge von über 20 km aufstaut (Bild 3). Die Kraftwerksanlage wurde in den Jahren 1985 bis 1989 errichtet. Bauherr ist die MH Elektroprivreda Republike Srpske, eine staatliche Elektrizitätsgesellschaft der Republik Srpska.

2.2.1 Probleme aufgrund der Geologie

Die Drina durchläuft eines der in Jugoslawien allgemein bekannten Karstgebiete. Die Sperrenstelle selbst wurde durch zahlreiche Erkundungsbohrungen aufgeschlossen und von den Geologen als eine der komplexesten Strukturen dieser Region bezeichnet. Es handelt sich um Kalkgesteine mit unterschiedlichsten Klüftungen bis hin zu großen Kavernen unter der Sperrenaufstandsfläche.

Laufende Messungen der Wasserverluste zeigten einen massiven Anstieg der Durchlässigkeit von 1,4 bis auf 14 m³/s in einen Zeitraum von ca. 20 Jahren. Detaillierte geophysikalische Messungen ergaben, dass sich ca. 200 m flussaufwärts der Sperre ein „Sinkhole“ im Karst ausgebildet hatte, in dem das aufgestaute Wasser im Untergrund versickerte und in Form von insgesamt sechs „Springholes“ im Unterlauf der Sperre wieder in das Flussbett zurückgeführt wurde (Bild 4). Mit diesen Untersuchungen war klargelegt, dass der bestehende Dichtschirm unter Sperre entweder zu wenig tief in das dichte Untergebirge geführt wurde oder durch die hohen Durchströmungsgeschwindigkeiten teilweise schon erheblich zerstört wurde.

2.2.2 Geplante Maßnahmen

Das Sanierungskonzept sah vor, das Sinkhole im Oberlauf der Sperre mit ca. 25.000 m³ Kies und Sandmaterial

were also to be filled with gravel and if necessary grouted according to a strictly specified grouting scheme. The entire waterproofing concept was to be accompanied by extensive monitoring including measurement of piezometers and invert water pressures, flow meter measurements and underwater camera surveying at the emergence locations of the springholes in the tailwater.

2.2.3 Implementation

For the filling of the sinkhole in the headwater, a floating conveyor belt about 200 m long was installed on pontoons with a downpipe of about 500 mm diameter down to just above the riverbed. This construction was to be used to fill about 25,000 m³ of gravel/sand. It however rapidly became apparent that the material was not carried away by the current in the magnitude expected. So the filling of the sinkhole had to be stopped after a quantity of about 1,600 m³.

Then a floating pontoon platform with a length of about 80 m was erected on the headwater side of the dam, from which altogether ten investigation boreholes were drilled to a depth of about 240 m (Fig. 5). In order to drill the holes, a casing with a diameter of about 150 mm first had to be set on the river bed about 50 k deep. Then the boreholes were drilled by the wire line process with a bored diameter of 122 mm. One of the boreholes was extended to a depth of about 170 m with a diameter of 500 mm in order to be able to undertake further filling with gravel and sand.

In the course of the filling, it became apparent that 122 mm diameter boreholes that had encountered karst cavities could also be filled with sand without problems. In this way, the boreholes were first filled with gravel and sand and then systematically grouted with cement/bentonite suspension according to the specified grouting scheme.



Fig. 5 Drilling platform on pontoons and core extraction with encountered karst cavities
Bild 5 Bohrplattform auf Pontons und Kernprobeentnahme mit angetroffenen Karsthöhlräumen

zu verfüllen. Dadurch sollte die hohe Strömungsgeschwindigkeit durch eine mögliche Verklausung (selbständige Abdichtung) reduziert werden, und somit die Voraussetzung für gezielte Zementinjektionen geschaffen werden.

In weiterer Folge war geplant; bis zu zehn Erkundungs- bzw. Injektionsbohrungen unmittelbar vor der Sperre im Oberwasser bis auf eine Tiefe von ca. 240 m abzuteufen. Je nach Ergebnis dieser Erkundungsbohrungen, besonders in Bezug auf vorhandene Kluftlagen bzw. angetroffener Kavernen, sollten diese Bohrungen auch mit Kiesmaterial verfüllt werden und gegebenenfalls nach einem streng vorgegebenem Injektionsschema injiziert werden. Begleitet wurde das gesamte Abdichtungskonzept durch umfangreiche Monitoring-Maßnahmen wie Messungen der Piezometer und Sohlwasserdrücke, Flowmetermessungen und Unterwasserkamera-Beobachtungen an den Austrittsstellen der Springholes im Unterwasser.

2.2.3 Ausführung

Für die Verfüllung des Sinkholes im Oberlauf wurde ein ca. 200 m lange, auf Pontons schwimmende Förderbandstraße errichtet und über dem erkundeten Sinkhole eine Verrohrung mit 500 mm Durchmesser bis kurz oberhalb der Flusssohle eingebaut. Über diese Konstruktion sollten 25.000 m³ Kies-/Sandmaterial eingefüllt werden. Es stellte sich jedoch sehr schnell heraus, dass der Abtransport des Materials durch die Strömung nicht in dem Maß erfolgte wie erwartet. So musste die Verfüllung des Sinkholes nach einer Menge von ca. 1.600 m³ abgebrochen werden.

In weiterer Folge wurde oberwasserseitig der Sperre eine schwimmende Pontonplattform mit einer Länge von ca. 80 m errichtet. Von dieser Plattform aus wurden insgesamt zehn Erkundungsbohrungen bis auf eine Tiefe von ca. 240 m abgeteuft (Bild 5). Für die Ausführung der Bohrarbeiten musste zuerst eine Leerverrohrung mit einem Durchmesser von ca. 150 mm bis auf die Flusssohle in ca. 50 m Tiefe abgestellt werden. Anschließend wurden die Bohrungen im Seilkernbohrverfahren mit einem Bohrdurchmesser von 122 mm hergestellt. Eine der Bohrungen wurde bis auf eine Tiefe von ca. 170 m mit einem Durchmesser von 500 mm aufgeweitet, um weiter Verfüllungen mit Kies und Sand vornehmen zu können.

Im Zuge der Verfüllungsarbeiten stellte sich dann heraus, dass Bohrungen, in denen eine Karsthohlraum angetroffen wurde, auch über den Bohrdurchmesser von 122 mm durch Einspülen von Sand problemlos verfüllt werden konnten. In dieser Weise wurden die hergestellten Bohrungen Zug um Zug zuerst mit Kies-/Sandmaterial verfüllt und anschließend nach dem vorgegebenen Injektionsschema mit Zement-/Bentonitsuspensionen systematisch injiziert.

Insgesamt wurden ca. 2.500 m Erkundungs-/Injektionsbohrungen hergestellt. Durch diese Bohrungen wurden in

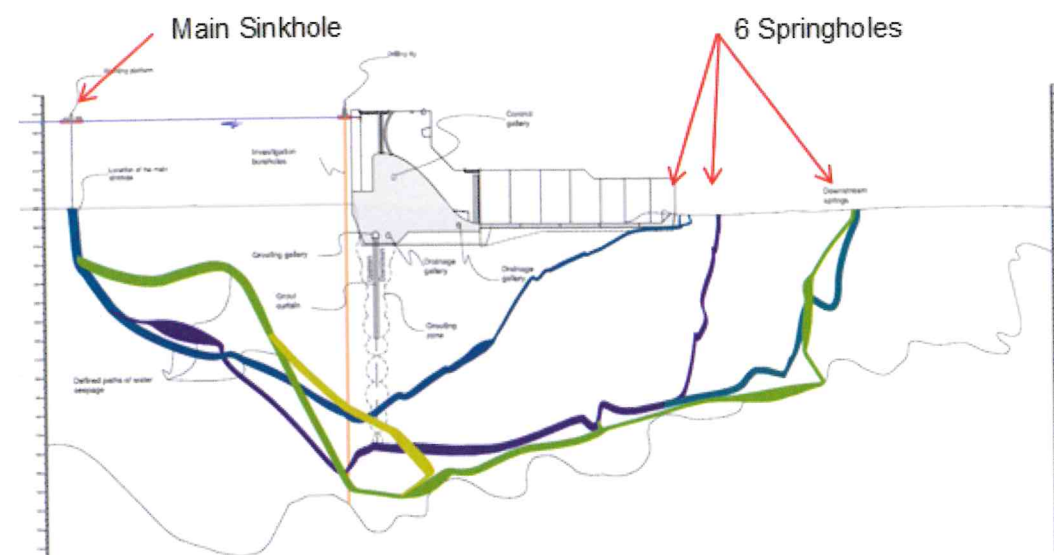


Fig. 4 Cross-section with passage of leaks
Bild 4 Querschnitt mit Verlauf der Durchlässigkeiten

Altogether about 2,500 m of investigation/grouting holes were drilled. Down these holes, a total of about 36,000 m³ of sand and gravel was filled and about 1,950 t. of cement/bentonite suspension was injected and sealed.

2.2.4 Particular challenges

The client and consultant kept to the concept of filling with gravel material much too long. Large parts of the fill material were washed away again in the tailwater. Only with the use of targeted cement grouting could a significant reduction of the leaks be achieved. The use of modern concrete pumps with the injection of stable mortar pastes with UW compound additives was not possible due to the available infrastructure and the will of the client. In the view of the contractor, the waterproofing works would have been possible in a considerably shorter time with a better result.

2.2.5 Results

After a construction period of about 18 months, the waterproofing works were declared complete by the client, primarily for budgetary reasons. From the technical viewpoint, the karst cavities had been sealed to the extent that no further erosion was to be expected for the moment and the stability of the structure was no longer in question. From an economic viewpoint, further waterproofing was not continued since the ratio of the available water masses to the losses underground were only of slight significance. The measured permeability at this time was 4.47 m³/s and a reduction of flow by 70% of the initial value had been achieved by the remedial works.

2.3 Wadi Dayqah dam, Oman

The Wadi Dayqah dam was constructed for the Ministry of Regional Municipalities and Water Resources of the Sultanate of Oman and completed in September 2009. The structure is about 110 km south of Muscat, the capital of Oman. The Wadi Dayqah River is one of the last rivers in Oman with flow all year. The reservoir volume is about 100 m. m³ with a surface area of 350 ha. The barrier consists of two dams and was constructed both as a drinking water reservoir and for flood protection.

The main dam is a gravity RCC (Roller Compacted Concrete) dam with a height of about 75 m above the foundation level and a crest length of about 400 m, with a central flooding spillway at 172 m above sea level (Fig. 6). The side dam is a rockfill dam with an internal clay core, a height of about 50 m above foundation level and a crest length of about 360 m. The crest level is about 12 m higher than the main dam at 184 m a.s.l. After the first filling of the dam in 2010, significant permeability occurred at the foundation of the RCC dam and leaks in the rockfill dam and the ground beneath it. In the same year,

Summe ca. 36.000 m³ Sand und Kies im Untergrund verfüllt und mit ca. 1.950 t. Zement-/Bentonitsuspensionen injiziert bzw. abgedichtet.

2.2.4 Besondere Herausforderungen

Bauherr und Planer hielten viel zu lange an dem Konzept der Verfüllung mit Kiesmaterial fest. So wurden große Teile des verfüllten Materials im Unterlauf wieder ausgespült. Erst durch den Einsatz von gezielten Zementinjektionen konnte eine signifikante Reduktion der Durchlässigkeiten erzielt werden. Der Einsatz von modernen Betonpumpen mit dem Verpressen von stabilen Mörtelpasten mit UW-Compound-Zusätzen war aufgrund der vorhandenen Infrastruktur und auch dem Willen des Bauherrn nicht möglich. Aus Sicht des Auftragnehmers wären die Abdichtungsarbeiten in einem wesentlich kürzeren Zeitraum mit besserem Ergebnis möglich gewesen.

2.2.5 Ergebnisse

Nach einer Bauzeit von ca. 18 Monaten wurden die Abdichtungsarbeiten vom Bauherrn in erster Linie aus budgetären Gründen als abgeschlossen erklärt. Aus technischer Sicht waren die Karsthohlräume soweit abgedichtet, dass vorerst keine weiteren Erosionen zu erwarten waren und die Stabilität des Bauwerks nicht mehr in Frage gestellt wurde. Aus wirtschaftlicher Sicht wurde eine weitergehende Abdichtung nicht weiter verfolgt, da das Verhältnis der zur Verfügung stehenden Wassermassen zu den Verlusten im Untergrund nur noch von geringer Bedeutung war. Die gemessene Durchlässigkeit betrug zu diesem Zeitpunkt 4,47 m³/s und somit wurde eine Reduktion der Durchströmung um ca. 70% des Ausgangswerts vor den Sanierungsmaßnahmen erreicht.

2.3 Wadi Dayqah Dam, Oman

Der Wadi Dayqah-Damm wurde im Auftrag des Ministry of Regional Municipalities and Water Resources des Sultanats von Oman errichtet und im September 2009 fertiggestellt. Das Bauwerk befindet sich ca. 110 km südlich von Muscat, der Hauptstadt von Oman. Der Wadi Dayqah Fluss ist einer der letzten Flüsse im Oman, die eine ganzjährige Wasserführung aufweisen. Das Speichervolumen beträgt ca. 100 Mio. m³ über eine Oberfläche von ca. 350 ha. Die Stauanlage besteht aus zwei Sperrbauwerken und wurde sowohl als Trinkwasserreservoir als auch für den Hochwasserschutz errichtet.

Die Hauptsperre ist eine Gewichtsmauer, ein sogenannter RCC-Dam (Roller Compacted Concrete Dam) mit einer Höhe von ca. 75 m über der Aufstandsfläche und einer Kronenlänge von ca. 400 m mit einem zentralen Hochwasserüberfall auf einer Seehöhe von 172 m (Bild 6). Der Seitendamm ist ein Steinschüttdamm mit einer innenliegenden Tonkerndichtung, einer Höhe von

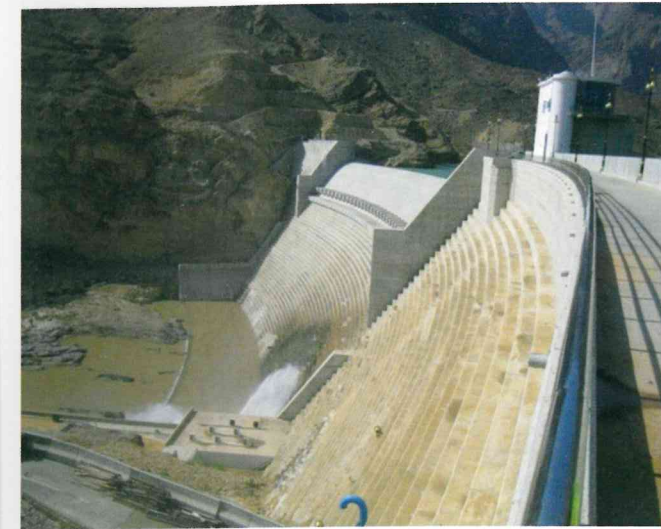


Fig. 6 Wadi Dayqah main dam (RCC) with flood spillway
Bild 6 Wadi Dayqah Hauptdamm (RCC) mit Hochwasserüberfall

Strabag Oman LLC. and Züblin Ground Engineering were awarded a contract by the Ministry for Water Resources to remedy the prevailing permeabilities for the entire facility

2.3.1 Geology

The geological conditions are very complex and consist of soft silts, clay and sandstones as well as embedded harder limestones. The rock formations are heavily fissured to the surface. In subsequent investigations, gypsum veins were also detected.

2.3.2 Investigation programme

At the start of the works, altogether 15 investigation boreholes were drilled at the side dam. Most of these were drilled from the dam crest down to a depth of about 80 m, with a few being extended to about 105 m due to the results. All boreholes were drilled by wire line core drilling with all cores being retrieved. Numerous tests were also carried out to determine the permeability of the ground (Lugeon tests).

2.3.3 Measures at the side dam – creation of a new grout curtain

In the course of constructing the side dam, a 10 m deep trench was dug in the foundation area, filled with compacted clay and continued upward with the dam filling as an internal sealing core. First the subsoil had been grouted with cement suspension in the form of a single-row grout curtain.

As specified in the contract for the remedial works, a new grout curtain was created in the form of a three-row drilling pattern in the axis of the dam, immediately next to the

ca. 50 m über Aufstandsfläche und einer Kronenlänge von ca. 360 m. Die Kronenoberkante liegt ca. 12 m höher als das Hauptbauwerk auf einer Kote von 184 m a.s.l. Nach der ersten Füllung des Stauraums im Jahre 2010 traten signifikante Durchlässigkeiten an der Aufstandsfläche der RCC-Mauer sowie Undichtigkeiten im Steinschüttdamm und dem darunter liegenden Untergrund auf. Im selben Jahr erhielt die Strabag Oman LLC. und Züblin Ground Engineering dem Auftrag vom Ministerium für Water Resources zur Sanierung der aufgetretenen Durchlässigkeiten für die gesamte Anlage.

2.3.1 Geologie

Die geologischen Verhältnisse vor Ort sind sehr komplex und bestehen aus weichen Schluffsteinen, Ton- und Sandsteinen sowie eingebetteten härteren Kalksteinen. Die Felsformationen sind bis an die Oberfläche stark geklüftet. In weiter durchgeführten Erkundungen konnten einzelne Gipsadern festgestellt werden.

2.3.2 Erkundungsprogramm

Zu Beginn der Arbeiten wurden am Seitendamm insgesamt 15 Erkundungsbohrungen hergestellt. Die meisten Bohrungen wurden von der Dammkrone aus bis auf eine Tiefe von ca. 80 m abgeteuft, einige wurden aufgrund der Ergebnisse bis auf eine Tiefe von ca. 105 m verlängert. Alle Bohrungen wurden im Seilkernbohrverfahren mit durchgehendem Kerngewinn ausgeführt. Sämtliche Bohrkern wurden in Kernkisten gelagert, fotografisch dokumentiert und ausgewertet. Darüber hinaus wurden zahlreiche Tests zur Ermittlung der Gebirgsdurchlässigkeit (Lugeon-Tests) durchgeführt.

2.3.3 Maßnahmen am Seitendamm – Erstellung eines neuen Dichtschrims

Im Zuge der Errichtung des Seitendamms wurde ein 10 m tiefer Schlitz an der Aufstandsfläche ausgehoben und mit verdichtetem Ton aufgefüllt und als innenliegende Tonkerndichtung mit der Dammschüttung hochgezogen. Vorab erfolgt noch eine Injektion des Untergrunds in Form eines einreihigen Dichtschrims mit Zementsuspensionen.

Wie im Vertrag für die Sanierungsarbeiten festgelegt, wurde ein neuer Dichtschrin in Form eines dreireihigen Bohrrasters in der Achse des Damms unmittelbar neben dem bestehenden Dichtschrin ausgeführt. Jede Bohrreihe besteht aus Primärbohrungen mit 12 m Abstand und Sekundärbohrungen mit 6 m. Weitere Reduktionen der Bohrlochabstände ergeben sich durch Tertiär- (3 m), Quartär- (1,5 m) und, wo erforderlich, Quintärbohrungen mit einem Abstand von 75 cm.

Sämtlich Bohrarbeiten für die Herstellung der Injektionsbohrungen wurden mit einem Klemm-Raupenbohrgerät



Fig. 7 Grouting works to the side dam
Bild 7 Injektionsarbeiten am Seitendamm

existing grout curtain. Each row of holes consists of primary holes spaced at 12 m and secondary holes at 6 m. Further reductions of the hole spacings were provided by tertiary (3 m), fourth (1.5 m) and, where necessary, fifth stage holes with a spacing of 75 cm.

All holes for the grouting works were drilled with a Klemm tracked drill rig. The drilling method used was a water-powered down-the-hole hammer (Wassara drilling system). Unstable borehole zones were drilled as cores by the wire line process according in the sequence “drill, grout and drill again” (Fig. 7).

The holes were grouted according to the GIN method (Grouting Intensity Number) [2, 3], with the primary holes acting as test holes in order to optimise grouting pressures and volumes. Accordingly a grouting scheme with a GIN curve was specified and various grout mixes were selected for use.

2.3.4 Measures to the side dam – creation of new dam sealing

In the tendering phase, the contractor offered in addition to the grouting measures an alternative concept with the construction of a secant pile wall about 30 m deep in the dam axis. In the course of negotiating the contract, the pile depth was specified at 40 m and carried out according to the design of the contractor (Fig. 8).

The specification for the construction of the pile wall was a minimum thickness of 500 mm with a maximum permeability of 10^{-7} m/s. This was ensured by constructing individual secant piles with a bored diameter of 1070 mm and an axial spacing of 700 mm and an overlap of 800 mm. In order to maintain these requirements, an appropriate drilling template was erected on the dam crest. The verticality of each pile was also checked with a verticality measuring instrument from Jean-Lutz. The pile wall was constructed as primary and secondary



Fig. 8 Bored piling work to the side dam
Bild 8 Bohrpflararbeiten am Seitendamm

hergestellt. Als Bohrmethode kam ein wasserbetriebener Imlochhammer (Wassara-Bohrsystem) zum Einsatz. Instabile Bohrlochzonen wurden als Kernbohrung im Seilkernbohrverfahren nach der Methode „Bohren, Injizieren und Wiederaufbohren“ hergestellt (Bild 7).

Die Injektion der Bohrungen erfolgte nach der GIN-Methode (Grouting Intensity Number) [2, 3], wobei die Primärbohrungen als Testbohrungen dienten, um Injektionsdrücke und Injektionsvolumen zu optimieren. Demnach wurde ein Injektionsschema mit einer GIN-Kurve festgelegt und verschiedene Injektionsmischungen für die Ausführung ausgewählt.

2.3.4 Maßnahmen am Seitendamm – Erstellung einer neuen Dammdichtung

In der Angebotsphase offerierte der Unternehmer zusätzlich zu den Injektionsmaßnahmen ein alternatives Konzept mit der Erstellung einer ca. 80 m langen überschnittenen Pfahlwand bis auf eine Tiefe von ca. 30 m in Dammachse. Im Zuge der Auftragsverhandlung wurde die Pfahltiefe mit 40 m festgelegt und nach dem Entwurf des Unternehmers ausgeführt (Bild 8).

Die Spezifikation für die Ausführung der Pfahlwand war eine Mindeststärke von 500 mm mit einer max. Durchlässigkeit von 10^{-7} m/s. Dies wurde mit der Ausführung von überschnittenen Einzelpfählen mit einem Bohrdurchmesser von 1070 mm mit einem Achsabstand von 700 mm und einer Überlappung von 800 mm gewährleistet. Zur Einhaltung dieser Vorgaben wurde vorab eine entsprechende Bohrschablone an der Dammkrone errichtet. Zusätzlich wurde die Vertikalität jedes Pfahls mit einem Vertikalitätsmessgerät von Jean-Lutz überprüft. Die Herstellung der Pfahlwand erfolgte nach dem Verfahren Primär- und Sekundärpfähle, wobei für die Verfüllung der Primärpfähle eine Dichtwandmischung (Fertigmischung nach eigener Rezeptur) mit höherem Zementanteil verwendet wurde, um die Frühfestigkeit zu erhöhen und die nachfolgende



Fig. 9 Diamec 282 drill in the control passage of the dam
Bild 9 Bohrgerät Diamec 282 im Kontrollgang der Sperre

piles, with a sealing wall mix (ready mix to an in-house recipe) with a higher cement content being used to fill the primary piles in order to increase the early strength and so as not to delay the subsequent construction of the secondary piles. The uniaxial compressive strength of the sealing wall mix was between 1.22 and 2.12 MPa after 28 days.

2.3.5 Measures to the main dam – remediation of the grout curtain

At the main dam, several grouting holes were drilled from the dam crest of the left-hand flank and appropriately grouted. This succeeded in sealing a large part of the permeabilities at this location. In addition, further grouting holes were drilled from the left-hand control passage of the dam about 40 m into the subsoil.

The drilling works were carried out with a rotary drill rig Diamec 282 from Atlas Copco, also using the Wassara DTH hammer drilling system (Fig. 9). In parallel to this, water pressure tests (Lugeon tests) were carried out in order to be able to decide the further necessity of grouting measures. The permeabilities were generally very low, so only zones of high permeability were grouted.

2.3.6 Special challenge

Drilling and grouting works at average temperatures of 40°C were a special challenge for the specialist personnel. The grouting works could only be carried out sensibly with the use of cooled mixing water.

2.3.7 Result

After the completion of grouting works, the permeability could be reduced significantly from about 25 to about 2 l/s and presented to the client as a positive result.



Herstellung der Sekundärpfähle nicht zu verzögern. Die einaxiale Druckfestigkeit der Dichtwandmischung betrug nach 28 Tagen zwischen 1,22 und 2,12 MPa.

2.3.5 Maßnahmen an der Hauptsperre – Ertüchtigung des Dichtschirms

Am Hauptdamm wurden mehrere Injektionsbohrungen von der Sperrenkrone der linken Flanke aus abgeteuft und entsprechend injiziert. Damit konnte ein Großteil der Durchlässigkeiten an dieser Stelle abgedichtet werden. Zusätzlich wurden weitere Injektionsbohrungen aus dem linken Kontrollgang der Sperre bis ca. 40 m in den Untergrund hergestellt.

Die Bohrarbeiten wurden mit einem Rotationsbohrgerät Diamec 282 von Atlas Copco ebenfalls mit dem Wassara-Imlochhammer-Bohrsystem ausgeführt (Bild 9). Parallel dazu wurden Wasserabpressversuche (Lugeon-Tests) durchgeführt, um weitere Maßnahmen für die erforderlichen Injektionsmaßnahmen festlegen zu können. Die Durchlässigkeiten waren generell sehr gering, daher wurden nur noch Zonen mit höherer Permeabilität entsprechend injiziert.

2.3.6 Besondere Herausforderung

Bohr- und Injektionsarbeiten bei Durchschnittstemperaturen von 40°C war für das Fachpersonal eine besondere Herausforderung. Erst durch den Einsatz von gekühltem Anmachwasser konnten Injektionsarbeiten vernünftig durchgeführt werden.

2.3.7 Ergebnis

Nach Abschluss der Abdichtungsarbeiten konnte die Durchlässigkeit signifikant von ca. 25 auf ca. 2 l/s reduziert und dem Bauherrn als positives Ergebnis vorgelegt werden.



Fig. 10 Aerial photo of the hydropower station
Bild 10 Luftbild der Kraftwerksanlage

2.4 Cathaleen's Fall Dam, Ireland

The Cathaleen's Fall dam is part of a hydropower station with an installed capacity of 45 MW and lies on the River Erne in Ballyshannon, in County Donegal in Ireland [4]. The owner and operator of the facility is the ESB (Electricity Supply Board) Group. Construction of the concrete gravity dam started in 1946 and was completed in 1955 (Fig. 10).

The dam crest is about 256 m long and between 10 and 27 m high. The dam construction consists of eleven blocks with vertical joints sealed with waterstops. In order to relieve flooding, there are three flood relief channels each with a width of 11 m at the right-hand flank.

Over the operating time of more than 60 years, leaks have appeared in the mass concrete of the gravity dam, especially at the working joints. The largest leaks occurred in the control passage next to the headwater side. In 2014, Züblin Spezialtiefbau Ges.m.b.H. received an order from ESB to repair the facility on the basis of grouting with Portland cement, fine cement and microfine cement as well as synthetic resin grouting.

2.4.1 Planned measures

The design intended extensive grouting of the area between control passage and headwater side over ten blocks. The intention was to treat as many horizontal joints and leaks as possible through targeted short holes from the control passage. Leaks were to be detected more accurately using water pressure tests and decisions made for the selection of grout mixes. In order to reduce unfavourable pressure conditions in the joints and at the foundation of the dam, which endanger the stability of the structure, appropriate drainage drilling was also provided.

2.4.2 Execution of drilling works

The restricted space in the control passage with a height of 2.1 m and width of 1.2 m and the possible drilling geometry of 360° demanded the use of a lightweight drill. A rotary drill DD200 from Hilti (Fig. 11) was used. The grouting holes were drilled as by rotary core drilling with

2.4 Cathaleen's Fall Dam, Ireland

Die Stauanlage Cathaleen's Fall ist ein Wasserkraftwerk mit einer installierten Kapazität von 45 MW und liegt am River Erne in Ballyshannon, in der Region Donegal in Irland [4]. Eigentümer und Betreiber der Anlage ist die ESB (Electricity Supply Board) Group. Die Errichtung der Gewichtsstaumauer aus Beton begann 1946 und wurde 1955 fertiggestellt (Bild 10).

Die Mauerkrone ist ca. 256 m lang und zwischen 10 und 27 m hoch. Die Sperrenkonstruktion besteht aus elf Blöcken mit Vertikalfugen und Abdichtung durch Fugenbänder. Zur Entlastung des Hochwassers sind an der rechten Flanke drei Hochwasserentlastungen mit einer Breite von jeweils 11 m angeordnet.

Über die Betriebszeit von mehr als 60 Jahren entstanden Durchlässigkeiten im Mass beton der Gewichtsmauer, speziell in den Arbeitsfugen. Die größten Durchlässigkeiten traten im Kontrollgang gegen die Oberwasserseite auf. 2014 erhielt Züblin Spezialtiefbau Ges.m.b.H. den Auftrag von ESB zur Sanierung der Anlage auf Basis von Injektionsarbeiten mit Portlandzement, Feinzement und Mikrofeinzementsuspensionen sowie Kunstharzinjektionen.

2.4.1 Geplante Maßnahmen

Die Planung sah umfangreiche Injektionen des Bereichs zwischen Kontrollgang und Oberwasserseite über zehn Blöcke vor. Dabei sollten mit gezielten kurzen Bohrungen aus dem Kontrollgang möglichst viele Horizontalfugen und weitere Fehlstellen behandelt werden. Mit der Durchführung von Wasserabpressversuchen sollten Durchlässigkeiten genauer erkundet und Festlegungen für die Auswahl der Injektionsmischungen getroffen werden. Zur Reduktion von ungünstigen Druckverhältnissen in den Fugen und der Aufstandsfläche der Sperre, welche die Stabilität des Bauwerks gefährden, sollten zusätzlich entsprechende permanente Drainagebohrungen angeordnet werden.

2.4.2 Ausführung der Bohrarbeiten

Die engen Platzverhältnisse innerhalb des Kontrollgangs mit 2,1 m Höhe und 1,2 m Breite sowie die Möglichkeit einer Bohrgeometrie von 360° erforderten den Einsatz eines leichten Betonbohrgeräts. Zum Einsatz kam ein Rotationsbohrgerät DD200 der Fa. Hilti (Bild 11). Die Injektionsbohrungen wurden als Rotationskernbohrungen mit einem Bohrdurchmesser von 46 mm mit Diamantbohrkronen hergestellt. Drainagebohrungen wurden mit einem Bohrdurchmesser von 86 mm abgeteuft.

Wegen der engen Platzverhältnisse auf der Dammkrone wurde für die Ausführung der vertikal von oben hergestellten Injektionsbohrungen ein leichtes Kernbohrgerät

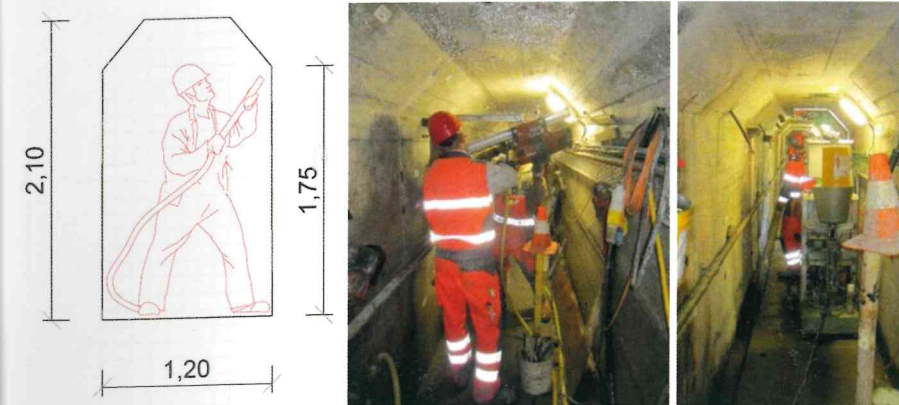


Fig. 11 Drilling work from the control passage (Hilti DD200)
Bild 11 Bohrarbeiten aus dem Kontrollgang (Hilti DD200)

46 mm diameter diamond bits. Drainage holes were drilled with a diameter of 86 mm.

Due to the lack of space on the dam crest, a lightweight drill DE 110 from Sandvik was used to drill the grouting holes vertically downward. Rotary core drilling with core extraction delivers exact results as drilling progresses regarding the existing structure of the concrete, location of working joints, cracks, defective locations and porosity as well as current water pressures.

2.4.3 Grouting holes in the flood spillway

Boreholes from the crest of the flood spillway in Blocks P to S were relocated into the control passage (Fig. 12). Upward drilling up to 7 m simplified the drilling process since laborious scaffold construction on the spillway was no longer necessary. This also ruled out the danger of flooding of the drilling platform. The grouting of the upward holes could only be carried out using lost grouting packers.

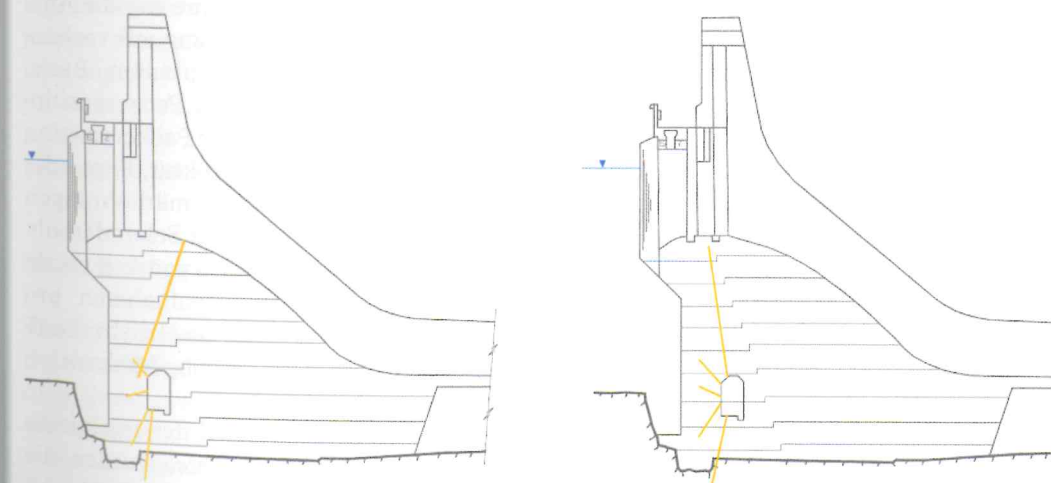


Fig. 12 Drilling work on the flood spillway (Blocks P to S): a) drilled from the surface as tendered; b) drilled from the control passage according to the alternative proposal

Bild 12 Bohrarbeiten im Bereich des HW-Überfalls (Blöcke P bis S): a) gemäß Ausschreibung von der Oberfläche aus gebohrt; b) gemäß Ausführungsvorschlag vom Kontrollgang aus gebohrt

DE 110 der Fa. Sandvik eingesetzt. Rotationskernbohrungen mit Kerngewinn liefern während der Ausführung der Bohrarbeiten exakte Ergebnisse der vorhandenen Strukturen des Betons, Lage der Arbeitsfugen, aufgetretene Risse, Fehlstellen und Porosität sowie aktuell anstehende Wasserdrücke.

2.4.3 Injektionsbohrungen im Bereich des Hochwasserüberfalles

Bohrungen von der Krone des Hochwasserüberfalles in den Blöcken P bis S wurden in den Kontrollgang verlegt (Bild 12). Aufwärtsbohrungen bis 7 m vereinfachten den Bohrprozess, da dafür keine aufwendige Gerüstkonstruktion auf dem Hochwasserüberfall mehr nötig war. Außerdem wurde die Gefahr einer Überflutung der Bohrplattform im Falle eines Hochwassers ausgeschlossen. Die Injektion der nach oben gerichteten Injektionsbohrungen war nur durch den Einsatz von verlorenen Injektionspackern zu gewährleisten.

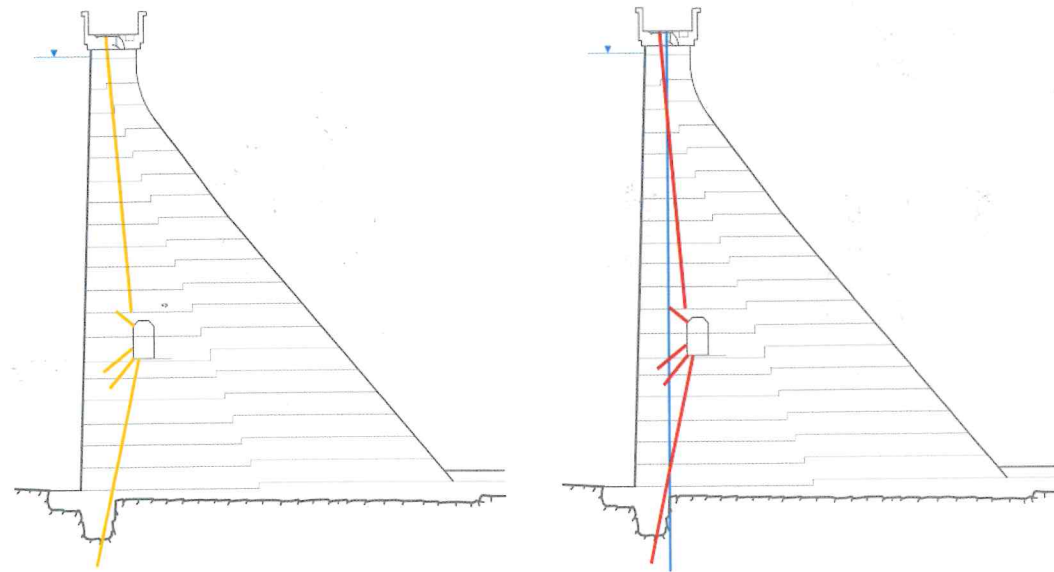


Fig. 13 Drilling work on the middle blocks: a) as tendered with primary and secondary holes (yellow); b) as carried out with primary and secondary holes (red)
Bild 13 Bohrarbeiten im Bereich der Mittelblöcke: a) gemäß Ausschreibung mit Primär- und Sekundärbohrungen (gelb); b) gemäß Ausführung in Primär- und Sekundärbohrungen (rot)

2.4.4 Drilling grouting holes from the dam crest

The secondary drilling from the control passage in the middle blocks between power house inlet structure and flood spillway were completely relocated to the crest of the dam and drilled from the surface. This decision considerably improved drilling performance and had a very positive effect on the construction time. The core drilling method used enabled drilling of grouting holes between the control passage and headwater side of the dam with appropriate accuracy. The length of the vertical secondary holes was about 30 m. The primary holes were drilled from the control passage as originally planned (Fig. 13).

2.4.5 Grouting works

The first step of each grouting measure was to analyse the extracted cores with regard to fissures, joints and permeable structures. Based on these findings, the packer positions were decided so that as far as possible, only one structure, joint or fissure would be treated with each packer position or grouting pass. The primary holes were spaced at 2 m, as were the secondary holes, resulting in a grouting hole spacing of 1 m. After evaluation of the grout take in each hole, a decision was made whether additional tertiary holes were needed (split spacing method).

While the power station had to remain in operation during the grouting works, the low-pressure grouting was carried out at the operating water level with very low grouting rates of about 2 l/min and grouting pressures of between 2 and 5 bar.

The general grouting sequence was from coarse to fine material, so light joints passing more water were treated with OPC (Ordinary Portland Cement) and microfine cement. The Sika Rodur 505/510 synthetic resin was in-

2.4.4 Injektionsbohrungen von der Sperrenkrone

Die Sekundärbohrungen vom Kontrollgang im Bereich der Mittelblöcke zwischen Kraftwerkseinlaufbauwerk und Hochwasserentlastung wurden zur Gänze auf die auf die Krone des Absperrbauwerks verlegt und von der Oberfläche aus gebohrt. Diese Entscheidung erhöhte die Bohrleistungen entscheidend und wirkte sich sehr positiv auf die Bauzeit aus. Die eingesetzte Kernbohrmethode ermöglichte es, die Injektionsbohrungen mit einer entsprechenden Genauigkeit zwischen Kontrollgang und Oberwasserseite der Sperre abzuteufen. Die Länge der vertikal hergestellten Sekundärbohrungen betrug ca. 30 m. Die Primärbohrungen wurden wie ursprünglich geplant vom Kontrollgang aus gebohrt (Bild 13).

2.4.5 Injektionsarbeiten

Der erste Schritt jeder Injektionsmaßnahme war die Analyse der entnommenen Bohrkern in Bezug auf vorhandene Klüfte, Fugen und durchlässige Strukturen. Basierend auf diesen Erkenntnissen wurden die Packerpositionen so festgelegt, dass möglichst mit jeder Packerposition bzw. Injektionspasse jeweils nur eine Struktur, Fuge oder Kluft behandelt werden konnte. Die Primärbohrungen hatten einen Abstand von 2 m, ebenso die Sekundärbohrungen woraus sich ein Injektionsabstand von 1 m ergab. Je nach Auswertung der Injektionsgutaufnahmen pro Bohrloch wurde entschieden, ob noch zusätzliche Tertiärbohrungen erforderlich sind (Split-Spacing-Methode).

Nachdem die Kraftwerksanlage während der Injektionsarbeiten weiter in Betrieb bleiben musste, wurden die Niederdruckinjektionen bei Betriebswasserspiegel mit sehr geringen Injektionsgeschwindigkeiten von ca. 2 l/min mit Injektionsdrücken zwischen 2 und 5 bar ausgeführt.

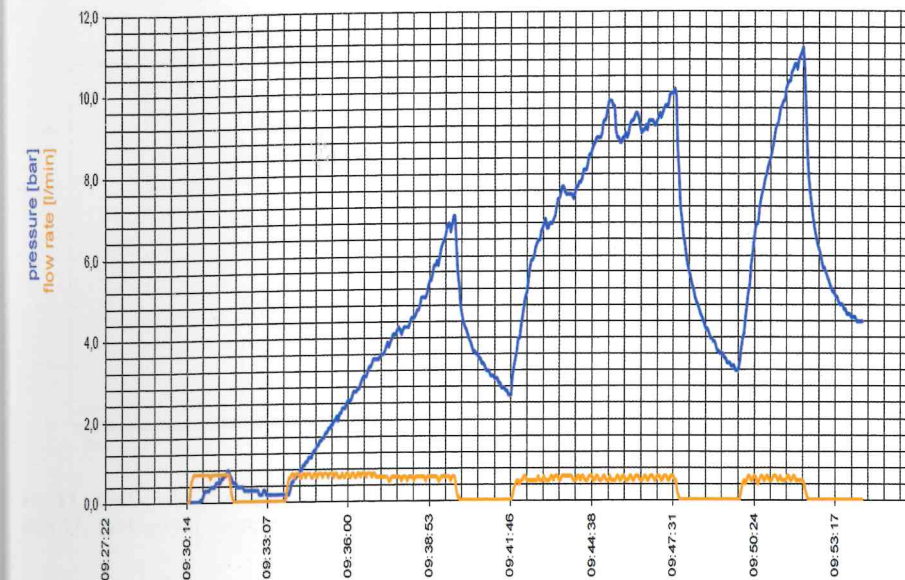


Fig. 14 Grouting diagram, pressure/quantity
Bild 14 Injektionsdiagramm Druck/Menge

jected to seal heavily leaking zones of higher permeability since these materials have more resistance against washing out and a shorter setting time.

2.4.6 Grouting data logging

The grouting machinery used was all equipped with fully automatic data recording and logging system, which precisely and continuously delivers grouting parameters such as pumping rate, grouting pressure and grout take volumes. The stop criteria for grouting were specified according to the GIN (Grouting Intensity Number) criterion [2, 3];

- Cement grouting: 40 l × pressure (in bar) with a pass length of 1.2 m and a max. quantity of 50 l per pass,
- Resin injection: 30 l × pressure (in bar) for a pass length of 1.2 m and a max. quantity of 40 l per pass.

Fig. 14 shows a grouting diagram of cement grouting (injection pressure in blue and pumping rate in red). The grouting pressure increases steadily until the stop criterion is reached. After every pumping stop, the grouting pressure falls and shows the effective grouting pressure (at-rest pressure) used for the stop criterion.

2.4.7 Grouting of dry crack

The last grouting measure was the mechanical sealing of the so-called dry cracks. This is a horizontal crack running through several blocks on the air side of the dam. Observation of the crack over several years documented seasonal opening and closing, with a permanent deflection of about 1.5 mm in the last ten years (Fig. 15). This crack was also sealed and mechanically joined with synthetic resin injected at low pressure. Fig. 16 shows the grouting work with synthetic resin (Rodur 510).

Der generelle Injektionsablauf erfolgte von groben zu feinen Injektionsmaterialien; so wurden leichte und höher wasserführende Fugen mit OPC (Ordinary Portland Cement) und Mikrofeinzement behandelt. In weiterer Folge wurden Kunstharzinjektionen mit Sika Rodur 505/510 zur Abdichtung von stark wasserführenden Zonen hoher Durchlässigkeiten eingesetzt, da sich diese Materialien durch eine hohe Resistenz gegen Auswaschungen und einer kurzen Abbindezeit auszeichnen.

2.4.6 Injektionsdatenaufzeichnung

Die eingesetzten Injektionsgeräte wurden alle mit einem vollautomatischen Datenerfassungs- und Aufzeichnungssystem ausgerüstet, das präzise und kontinuierlich Injektionsdaten wie Pumprate, Injektionsdruck und Injektionsvolumen liefert. Die Abbruchkriterien für die Injektionsarbeiten wurden nach dem GIN-Kriterium (Grouting Intensity Number) [2, 3] festgelegt;

- Zementinjektionen: 40 l × Druck (in bar) bei einer Passenlänge von 1,2 m und einer max. Menge von 50 l/Passen,
- Kunstharzinjektionen: 30 l × Druck (in bar) für eine Passenlänge von 1,2 m und einer max. Menge von 40 l/Passen.

Bild 14 zeigt ein Injektionsdiagramm einer Zementinjektion (Injektionsdruck in blau und Pumprate in gelb). Der Injektionsdruck steigt stetig bis das Injektionskriterium erreicht wird. Nach jedem Pumpenstop fällt der Injektionsdruck ab und zeigt den effektiven Injektionsdruck (Ruhedruck), der für das Abbruchkriterium angewandt wird.

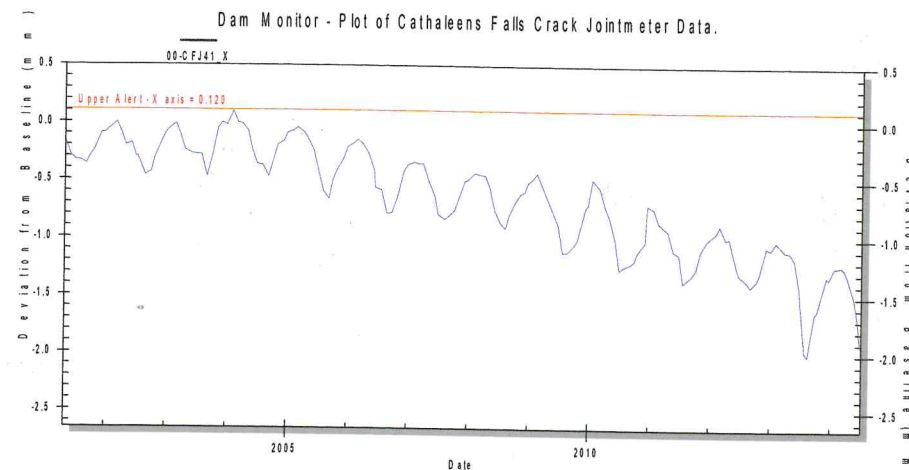


Fig. 15 Annual deflection of the dry crack
Bild 15 Jährliche Verformung des Dry Cracks

2.4.8 Results

After an operating period of over 60 years, the mass concrete of the Cathaleen's Fall Dam showed leaks, particularly in the horizontal working joints. These joints were sealed in the course of the refurbishment with low-pressure grouting based on cement and microfine cement suspensions as well as synthetic resin. The entire work could be completed in autumn 2014. The diagram in Fig. 17 shows how successful the performed grouting works were in reducing the permeabilities.

3 Summary

The projects presented in this article are a sample of numerous completed project carried out all over the world for the maintenance and operation of hydropower plants and demonstrate the high effectiveness of targeted grouting measures for waterproofing. The wide potential of the applied technologies provide a good overview, how the stringent requirements for grouting technology can be



Fig. 16 Injection of the dry crack with synthetic resin
Bild 16 Injektion des Dry Cracks mit Kunstharz

2.4.7 Injektion des Dry Cracks

Die letzte Injektionsmaßnahme war die kraftschlüssige Verbindung des sogenannten Dry Crack. Dabei handelte es sich um einen über mehrere Blöcke verlaufenden Horizontalriss an der Luftseite der Sperre. Bei der Rissbeobachtung wurde über mehrere Jahre ein saisonales Öffnen und Schließen dokumentiert, wobei eine bleibende Verformung von ca. 1,5 mm in den letzten zehn Jahren zu verzeichnen war (Bild 15). Dieser Riss wurde ebenfalls abgedichtet und mit Niederdruckinjektionen auf Kunstharzbasis kraftschlüssig verbunden. Bild 16 zeigt die Injektionsarbeiten mit Kunstharz (Rodur 510).

2.4.8 Ergebnisse

Nach einer Betriebszeit von über 60 Jahren wies der Massenbeton des Cathaleen's Fall Dam Undichtigkeiten vor allen in den horizontalen Arbeitsfugen auf. Diese Fugen wurden im Zuge der Sanierung durch Niederdruckinjektionen auf Basis von Zement und Feinzementsuspensionen

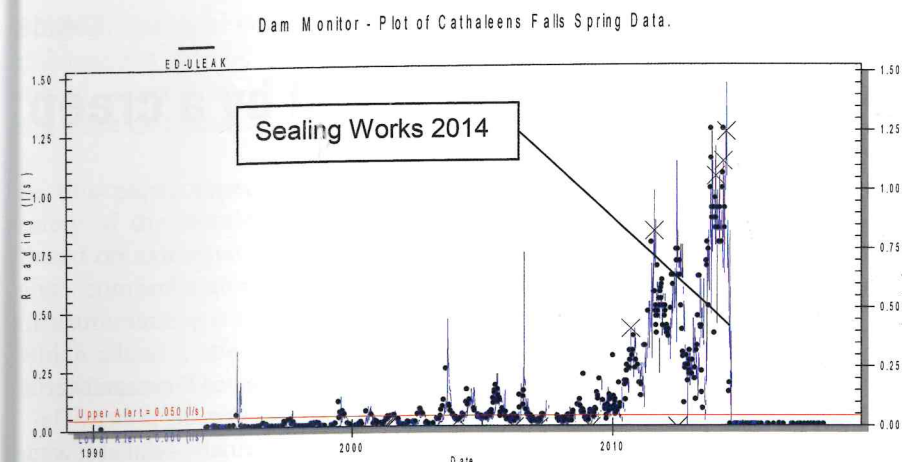


Fig. 17 Leak on the downstream side of Block U; the results of sealing work can be clearly seen
Bild 17 Leckage auf der stromabwärts gelegenen Seite von Block U; die Ergebnisse der Abdichtungsarbeiten sind deutlich zu erkennen

fulfilled under extreme conditions like high mountains, special geological conditions or climatic challenges.

References

- [1] Kogler, K.; Hechenbichler, J.; Gabriel, P. (2019) *Injektionsmaßnahmen im Talsperrenbau/Grouting measures in dam construction* in: Geomechanics and Tunneling 12, No. 2, pp. 129–140. <https://doi.org/10.1002/geot.201800069>
- [2] Lombardi, G. (1985) *GIN Principle Revisited* in: International Water Power and Dam Construction, London.
- [3] Lombardi, G.; Deere, D. (1993) *Grouting design and control using the GIN principle* in: International Water Power and Dam Construction, London.
- [4] Kogler, K.; Hechenbichler, J., Gabriel, P. (2018) *Dam Sealing: Flexible application of grouting and experiences gained from completed projects* in: The International Journal on Hydropower & Dams 25, No. 4

Authors



Ing. Kurt Kogler (corresponding author)
kurt.kogler@gmx.at
Züblin Spezialtiefbau Ges.m.b.H.
Donau-City-Straße 9
1220 Vienna
Austria



Dipl.-Ing. Johann Hechenbichler
johann.hechenbichler@zueblin.at
Züblin Spezialtiefbau Ges.m.b.H.
Donau-City-Straße 9
1220 Vienna
Austria

How to Cite this Paper

Kogler, K. S.; Hechenbichler, J. (2021) *Exceptional problems for grouting in power station construction in exposed locations*. Geomechanics and Tunneling 14, No. 2, pp. 142–157. <https://doi.org/10.1002/geot.202100005>

This paper has been peer reviewed. Submitted: 8. February 2021; accepted: 3. March 2021.

Zitieren Sie diesen Beitrag

Kogler, K. S.; Hechenbichler, J. (2021) *Außergewöhnliche Aufgabenstellung an die Injektionstechnik im Kraftwerksbau in exponierten Lagen*. Geomechanik und Tunnelbau 14, H. 2, S. 142–157. <https://doi.org/10.1002/geot.202100005>

Dieser Aufsatz wurde in einem Peer-Review-Verfahren begutachtet. Eingereicht: 8. Februar 2021; angenommen: 3. März 2021.