

Expansion of Kirchbichl Power Plant in Tyrol – Challenges of foundation engineering

Erweiterung Kraftwerk Kirchbichl in Tirol – Herausforderungen an den Spezialtiefbau

TiwaG – Tiroler Wasserkraft AG sees itself as a driving force in the energy transition, pursuing the goals of the Tyrolean and Austrian energy strategies with a moderate, environment friendly expansion of hydropower. The projects are essentially aimed at expanding existing power plants so that they can be used more effectively, and additional hydropower potential can be developed. The Kirchbichl Power Plant is a good case in point. From 2017 to 2020, the power plant was made fit for the next decades as part of an extensive refurbishment and expansion project. The main project components are to improve flood security through the construction of an additional weir field, to adapt to enhanced environmental standards through the construction of a fish passage and a power plant for residual flow, and to increase the discharge of the power plant by installing an additional turbine. One of the challenges was the construction pits in the immediate vicinity of the existing system. The pit design with bored pile retaining wall and base seal with a jet grout slab has proven to be very effective.

Keywords renewable energy; hydropower; excavation pit; build in stock

1 Expansion of hydropower in the Tyrol

In the early 2000s, attention was increasingly turning to hydropower and its expansion in the Tyrol to meet the demands of the energy transition, which calls for a switch away from fossil fuels and towards the target of 100% renewable energy generation. This renewed focus on hydropower was underpinned by the Tyrolean Parliament and Tyrolean State Government's commitment to develop domestic hydropower resources. Since then, the state of Tyrol has set and approved several targets with a view to becoming self-sufficient in energy by 2050 [1].

The state-owned hydropower provider TiwaG (Tiroler Wasserkraft AG) developed numerous projects to expand hydropower capacity with the goal of ensuring optimum integration of existing power plants and taking advantage of free, unused hydropower potential. From the portfolio of power plant projects that emerged, the following schemes were identified for further development: the Kaunertal Expansion Project, Imst-Haiming Power Plant, Tauernbach-Gruben Power Plant, Kühtai Storage Power Station Scheme, Expansion of the Kirchbichl Power Plant, Schwarzach Expansion Project and the Upper Inn

Die TiwaG – Tiroler Wasserkraft AG versteht sich als treibende Kraft der Energiewende und verfolgt mit einem maßvollen und naturverträglichen Ausbau der Wasserkraft die Ziele der Tiroler und Österreichischen Energiestrategie. Die Ausbauvorhaben zielen dabei im Wesentlichen auf die Erweiterung und den Ausbau bestehender Kraftwerksanlagen. Somit können bestehende Kraftwerke besser genutzt und zusätzliches Wasserkraftpotenzial erschlossen werden. Besonders deutlich wird dies am Beispiel des Kraftwerks Kirchbichl. Von 2017 bis 2020 wurde die Kraftwerksanlage in einem umfangreichen Sanierungs- und Erweiterungsprojekt für die nächsten Jahrzehnte fit gemacht. Wesentliche Projektbestandteile sind die Verbesserung der Hochwassersicherheit durch den Neubau eines zusätzlichen Wehrfelds (Entlastungsbauwerk), die Anpassung an den ökologischen Standard mit der Errichtung einer Fischwanderhilfe und eines Dotierkraftwerks sowie die Erhöhung der Ausbaumassermenge mit dem Zubau eines zusätzlichen Maschinensatzes. Eine der Herausforderungen dieser Gewerke waren die Baugruben in unmittelbarer Nachbarschaft zur Bestandsanlage. Die Baugrubenumschließung aus Bohrpfehlen und die Sohlabdichtung mit einer DSV-Sohle haben sich hierfür bestens bewährt.

Stichworte erneuerbare Energie; Wasserkraftausbau; Spezialtiefbau; Bauen im Bestand

1 Wasserkraftausbau in Tirol

Die Wasserkraft und der Ausbau der Wasserkraft in Tirol wurde durch die Energiewende mit dem Ziel von 100% regenerativer Energieerzeugung und den Verzicht auf fossile Erzeugung bereits Anfang der 2000er-Jahre wieder verstärkt in den Vordergrund gerückt. Untermauert wurde dies durch Beschlüsse des Tiroler Landtags und der Tiroler Landesregierung, die heimischen Ressourcen der Wasserkraft zu nutzen. Mittlerweile wurden die Ziele mehrfach bestätigt und bis 2050 will das Land Tirol energieautonom sein [1].

Die TiwaG – Tiroler Wasserkraft AG entwickelte zahlreiche Projekte zum Ausbau der Wasserkraft mit dem Ziel, die vorhandenen Kraftwerksanlagen bestmöglich zu integrieren und freies, noch verfügbares Wasserkraftpotenzial zu erschließen. Aus dem Portfolio der Kraftwerksprojekte wurden schließlich die Vorhaben Ausbau Kaunertal, Imst-Haiming, Tauernbach-Gruben, Speicherkraftwerk Kühtai und Kraftwerk Kirchbichl-Erweiterung, Erweiterung Schwarzach und Gemeinschaftskraftwerk Inn (GKI) mit TiwaG als Anteilseigner (86%) weiterverfolgt. Eine Übersicht zu den Kennzahlen ist in der Tab. 1 und die

Tab. 1 Characteristics of Tiwag Expansion Projects
Tab. 1 Kennzahlen der Ausbauvorhaben der Tiwag

Project Project	Capacity [MW] Capacity [MW]	Power generation [GWh/a] Power generation [GWh/a]	CO ₂ reduction [t/a] CO ₂ reduction [t/a]
Kaunertal Expansion Project <i>Ausbau Kaunertal</i>	1015	787	300 000
Imst-Haiming <i>Imst-Haiming</i>	44	270	103 000
Tauernbach-Gruben <i>Tauernbach-Gruben</i>	27	85	32 000
Schwarzach Expansion Project <i>Erweiterung Schwarzach</i>	7	22	8 400
Upper Inn Joint Venture Hydropower Plant <i>Gemeinschaftskraftwerk Inn</i>	89	384 (share Tiwag)	146 000
Kühtai Storage Power Station Scheme <i>Speicherkraftwerk Kühtai</i>	130	216	82 000
Kirchbichl Power Plant Expansion <i>Kirchbichl-Erweiterung</i>	19	34	13 000
Total <i>Total</i>	1331	1 798	684 400

Joint Venture Hydropower Plant (GKI) with Tiwag as the majority shareholder (86%). Table 1 provides an overview of the key figures and Figure 1 shows the location of the projects. The implementation of these projects should result in the generation of an additional approx. 1800 GWh/a of environmentally friendly energy from a renewable source. While the Kaunertal Expansion Project and the Imst-Haiming and Tauernbach-Gruben power plants are still at different stages of the approval process, the GKI project, Kühtai Storage Power Station Scheme and

Lage der Vorhaben in Bild 1 dargestellt. Die Realisierung der Vorhaben ist verbunden mit einer Mehrerzeugung von ca. 1800 GWh/a umweltfreundlicher Energie aus erneuerbarer Quelle. Während sich die Vorhaben Ausbau Kaunertal, Imst-Haiming und Tauernbach-Gruben noch auf unterschiedlichen Stufen in Bewilligungsverfahren befinden, sind die Vorhaben GKI, Speicherkraftwerk Kühtai und Kirchbichl bereits in der Umsetzung bzw. kurz vor Fertigstellung. Nach heutigen Zeitplänen sollen alle Vorhaben bis Mitte der 2030er-Jahre umgesetzt wer-

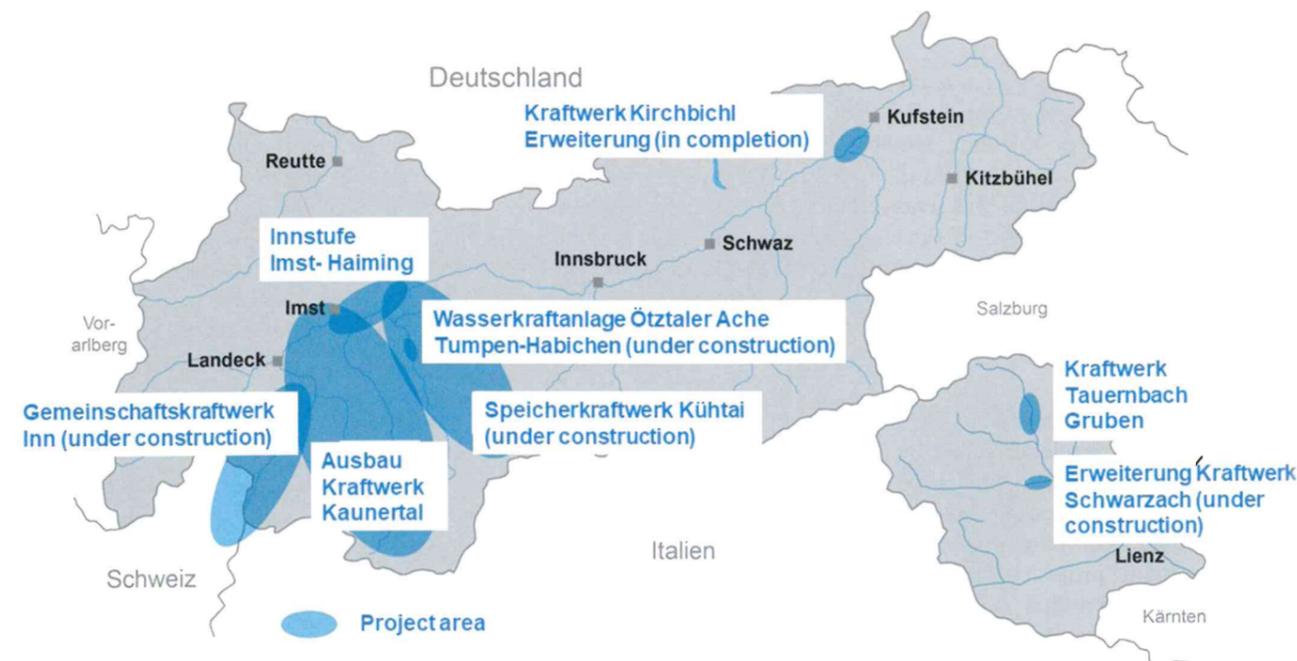


Fig. 1 Tiwag expansion projects
Bild 1 Ausbauvorhaben der Tiwag

Kirchbichl project are already underway or nearing completion. If the current timetable goes to schedule, all projects should be completed by mid-2030. The expansion plans also make provision for further optimising the utilisation of hydropower in existing facilities, while at the same time enhancing environmental standards in compliance with the European Water Framework Directive. Details about the expansion projects can be found at www.tiwag.at/Energiewende [2] and specifically about the Kühtai Storage Power Station Scheme at www.erneuerbareplus.at [3].

2 Expansion of the Kirchbichl Power Plant

2.1 Project description

Tiwag (Tiroler Wasserkraft AG) has operated the Kirchbichl Power Plant on the River Inn since its construction in the 1940s. To reflect changes in statutory requirements, measures were needed to allow the safe passage of fish and to connect aquatic habitats. The Kirchbichl Power Plant expansion project satisfies these new legal requirements, and also provides for the construction of an additional powerhouse and a residual flow power station on the orographic right bank, directly below the existing weir (Figure 2).

The project area is characterised by the existing Kirchbichl Power Plant and the striking omega-shaped loop of the River Inn. The loop is cut off by the Kirchbichl Power Plant and serves as the depleted reach (residual water section) of the power plant (which has been designed as a diversion power plant). During the almost 80 years that the power plant has been in operation, the loop has evolved to become a species-rich biotope with gravel bars and slack water zones. The existing diversion channel has given the loop of the river the characteristics of a tributary, making it one of the last habitats of its kind in the Tyrol to boast such a high level of biodiversity. To conserve and enhance this biotope, a minimum residual flow has been established to ensure that water remains in the loop of the River Inn throughout the year in future.

The Kirchbichl Power Plant was constructed between 1939 and 1941 and has been supplying the Tyrol with clean electricity ever since. During the expansion project, the performance and efficiency of the power plant was to be increased, plant safety improved, and the plant adapted to meet the latest environmental standards. There were three main components to the project. Firstly, to allow the safe passage of fish by redesigning a flow gauge in the loop of the River Inn and constructing a fish pass and a residual flow power station on the weir (see Figure 2). Secondly, to improve flood protection by widening the River Inn downstream of the weir and constructing a flood relief structure in the headrace channel for the power plant. And thirdly, to optimise the use of existing hydropower on site by increasing the design flow from 250 to 484 m³/s through the addition of a fourth machine

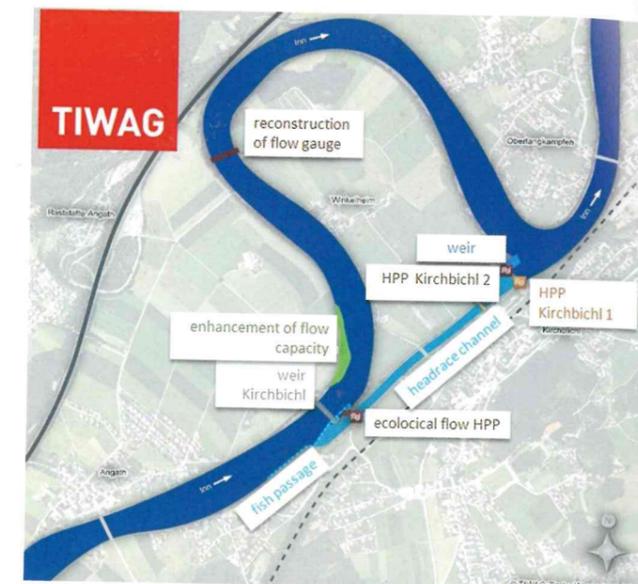


Fig. 2 General view over HPP Project Kirchbichl
Bild 2 Übersicht über das Projektgebiet Kraftwerk Kirchbichl

den. Durch die Ausbauvorhaben erfolgt an den Bestandsanlagen im Kontext der Umsetzung der europäischen Wasserrahmenrichtlinie durch Erhöhung des ökologischen Standards eine weitere Optimierung der Wasserkraftnutzung. Details zu den Ausbauvorhaben sind unter www.tiwag.at/Energiewende [2] oder speziell zum Vorhaben Speicherkraftwerk Kühtai unter www.erneuerbareplus.at [3] zu finden.

5 Kraftwerk Kirchbichl-Erweiterung

5.1 Projektbeschreibung

Die Tiwag – Tiroler Wasserkraft AG betreibt das Kraftwerk Kirchbichl am Inn seit dessen Errichtung in den 1940er-Jahren des vorigen Jahrhunderts. Infolge geänderter rechtlicher Gegebenheiten wurden Maßnahmen zur Herstellung der Fischpassierbarkeit und zur Vernetzung der aquatischen Lebensräume gesetzt. Die Erweiterung des Kraftwerks Kirchbichl trägt diesen rechtlichen Vorgaben Rechnung und sieht zudem die Errichtung eines zusätzlichen Krafthauses sowie die Errichtung eines Dotierkraftwerks am orographisch rechten Ufer, unmittelbar unterhalb der bestehenden Wehranlage, vor (Bild 2).

Das Projektgebiet ist geprägt durch das bestehende Kraftwerk Kirchbichl und die markante Omega-förmige Innschleife. Diese wird durch das Kraftwerk Kirchbichl separiert und stellt aufgrund der Bauweise des Kraftwerks als Ausleitungskraftwerk die zugehörige Restwasserstrecke dar. In den fast 80 Jahren des Betriebs der Kraftwerksanlage ist in der Innschleife ein artenreiches Biotop mit Schotterbänken und Stillwasserzonen entstanden. Durch die bestehende Ausleitung hat die Innschleife heute die Charakteristik eines Seitengewässers und ist somit eines der letzten Habitats dieser Art in

Tab. 2 Characteristics of HPP Kirchbichl Project
Tab. 2 Kennzahlen Projekt Kraftwerk Kirchbichl

Kirchbichl Power Plant	Stock	Enlarge-ment	Total
Capacity [MW]	21	16	37
Discharge [m ³ /s]	250	234	484
Annual Power Generation [GWh/a]	130	34	164

(16 MW Kaplan turbine). Despite the provision for a minimum residual flow all year round, these measures enable the standard power generation at the Kirchbichl Power Plant to be increased by 26% from 130 to at least 164 GWh/a (Tab. 2). As an additional measure, the roughly 1 km long headrace channel was to be refurbished with a new concrete lining.

The construction work was undertaken by master builders Bodner, who subcontracted the foundations to specialist civil engineering company Keller Grundbau. Work started in summer 2017 with the construction of enabling works and construction site facilities. The project milestones are shown in Figure 3.

Due to the legal requirement to complete the restoration of the River Inn loop by the end of 2018, the first elements of the project to be constructed were the residual flow power station and fish pass. The completed construction pit between the headrace channel and the Inn can be seen in Figure 4 and Figure 6. Despite the ambitious schedule, the work was completed on time in December 2018.

The main construction works involved the construction of the powerhouse for Machine 4 and the flood control structure in the vicinity of the existing power plant. The construction pit was excavated from January 2018 to November 2018. Concrete works for the powerhouse and the flood control structure were largely completed by April 2020. The new power plant was commissioned in

Tirol mit einer hohen biologischen Vielfalt. Zur Erhaltung und Aufwertung dieses Biotops wird zukünftig die Innschleife ganzjährig mit einer Mindestwasserführung beaufschlagt.

Das Kraftwerk Kirchbichl wurde in den Jahren 1939 bis 1941 errichtet und liefert seitdem sauberen Strom für Tirol. Im Zuge des Erweiterungsprojekts wird die Leistung und die Effizienz des Kraftwerks erhöht, die Anlagensicherheit verbessert und die Anlage an die ökologischen Standards angepasst. Die wesentlichen Projektbestandteile sind das Herstellen der Fischgängigkeit durch eine Umgestaltung einer Pegelschwelle in der Innschleife, die Errichtung einer Fischwanderhilfe und eines Dotierkraftwerks am Wehr (vgl. Bild 2). Daneben wird in die Verbesserung der Hochwassersicherheit durch eine Aufweitung des Inns im Unterwasser der Wehranlage und den Bau eines Entlastungsbauwerks im Nebenschluss beim Kraftwerk investiert. Den dritten wesentlichen Projektbestandteil stellt die optimierte Nutzung des vorhandenen Wasserkraftpotenzials am Standort, durch Erhöhung der Ausbauwassermenge von 250 auf 484 m³/s mit dem Zubau eines vierten Maschinensatzes (Kaplanrohrtrurbine mit 16 MW) dar. So kann am Kraftwerk Kirchbichl, trotz ganzjähriger Restwasserdotierung, das Regelarbeitsvermögen um 26% von 130 auf gut 164 GWh/a gesteigert werden (Tab. 2). Als weitere Maßnahme wurde der ca. 1 km lange Triebwasserweg mit einer neuen Betonauskleidung saniert.

Die Baumeistarbeiten wurden von der Fa. Bodner und die Spezialtiefbauarbeiten von der Fa. Keller Grundbau als Subunternehmer für die Baugruben durchgeführt. Die Bautätigkeiten starteten im Sommer 2017 mit der Herstellung der Erschließung und der Baustelleneinrichtungsflächen. Die Meilensteine zum Vorhaben sind im Bild 3 dargestellt.

Aufgrund der rechtlichen Verpflichtung, bis Ende 2018 die Gewässersanierung in der Innschleife umzusetzen,

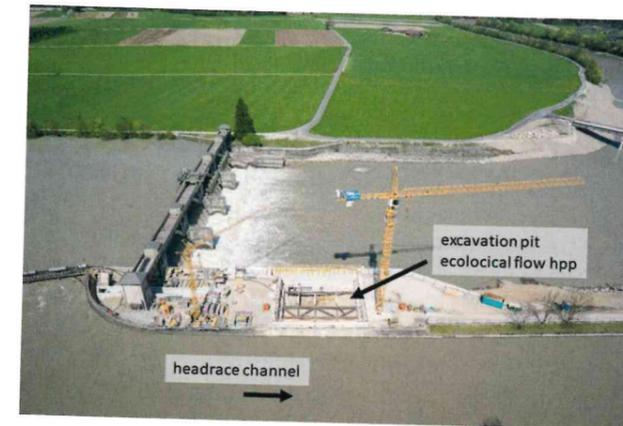


Fig. 4 Excavation pit at the weir
Bild 4 Baugrube am Wehr



Fig. 6 Finished excavation pit at the weir with bracings
Bild 6 Ausgehobene Wehrbaugrube mit Aussteifungen



Fig. 5 Kirchbichl Powerhouse and additional weir
Bild 5 Krafthaus Kirchbichl mit Entlastungsbauwerk

December 2020 following installation of the gates on the flood control structure and Machine 4. The project was completed on time and to budget at a total cost of 110 million euros. Figure 5 shows an overview of the new powerhouse and the flood control structure.

waren die ersten Bautätigkeiten die Errichtung des Dotierkraftwerks und der Fischwanderhilfe. Die fertige Baugrube zwischen dem Triebwasserkanal und dem Inn ist in Bild 4 und Bild 6 zu sehen. Trotz des ehrgeizigen Terminplans konnten die Arbeiten rechtzeitig im Dezember 2018 abgeschlossen werden.

Die Hauptbauarbeiten fanden im Bereich des bestehenden Kraftwerks mit dem Bau des Krafthauses für die Maschine 4 und dem Entlastungsbauwerk statt. Von Januar 2018 bis November 2018 erfolgten die Arbeiten zur Baugrube. Der Betonbau für das Krafthaus und das Entlastungsbauwerk wurde bis April 2020 weitestgehend abgeschlossen. Nach den Montagearbeiten für den Verschluss am Entlastungsbauwerk und der Maschine 4 ging das neue Kraftwerk im Dezember 2020 in Betrieb. Das Projekt wurde in der geplanten Zeit und zu den geplanten Kosten in Höhe von gesamt 110 Mio. Euro fertiggestellt. Eine Übersicht über das neue Krafthaus und das Entlastungsbauwerk ist in Bild 5 zu sehen.

Kraftwerk Kirchbichl - Erweiterung

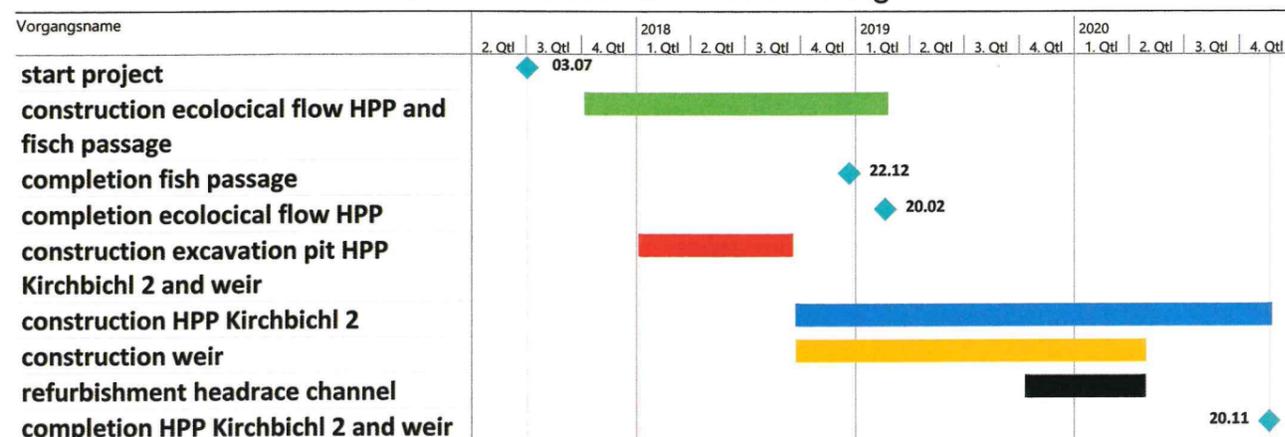


Fig. 3 Milestones project HPP Kirchbichl
Bild 3 Meilensteine Vorhaben Kraftwerk Kirchbichl

2.2 Foundation engineering

The focus here was to construct three technically sealed construction pits (one for the residual flow power station and two in the vicinity of the powerhouse). In this branch of engineering, the successful outcome of the work is largely dependent on having a clear understanding of the different geological and hydrological conditions. Intensive ground and laboratory investigations were undertaken during the submission phase to compile a detailed geotechnical report which formed the basis for tendering and construction. The foundation engineering works were carried out by Keller Grundbau.

The first step was to construct the foundations for the temporary bridge over the River Inn near the weir, which provided direct access to the construction site from the

5.2 Spezialtiefbau

Hierbei lag der Fokus in der Herstellung von drei technisch dichten Baugruben (eine am Dotierkraftwerk und zwei im Krafthausbereich) mit unterschiedlichen geund hydrologischen Verhältnissen, deren Kenntnis eine wesentliche Rolle zum Gelingen des Gewerks spielte. Bereits in der Einreichungsphase wurden intensive Boden- und Laboruntersuchungen durchgeführt, die dann in einem umfangreichen geotechnischen Bericht die Grundlage für die Ausschreibung und Ausführung bildete. Die Spezialtiefbauarbeiten wurden von der Fa. Keller Grundbau ausgeführt.

Als erste Maßnahme erfolgte die Gründung der neu zu errichtenden Behelfsbrücke über den Inn im Bereich des Wehrfelds. Diese ermöglichte die direkte Baustellenzufahrt von der Autobahn A12 zur Baustelle. Die Gründung der Pfeiler erfolgte hierbei mit Ortbetonbohrpfählen DN 1200 mit einer Bohrlänge von 24 m.



Fig. 7 Kirchbichl Powerhouse and additional weir, starting of foundation engineering works

Bild 7 Krafthaus Kirchbichl mit Entlastungsbauwerk, Beginn der Spezialtiefbauarbeiten

A12 Autobahn. The bridge foundations consisted of DN 1200 cast-in-place concrete piles with a bore length of 24 m.

The next step was to excavate the first (smaller) construction pit with an area of 550 m². This pit was in the area of the residual flow power station and fish pass in the immediate vicinity of the existing weir system and headrace. A DN 1200 secant pile wall with jet grout infill and structural bracing was constructed to form a watertight enclosure. The DN 1200 bored piles were cut with two large drilling rigs using the Kelly and grab methods to a depth of approx. 22 m below ground level and with a horizontal spacing of 1.5 m. Despite the confined site conditions, the tight schedule meant that two drilling rigs and one pressure grouter had to be accommodated at the same time, which presented quite a logistical challenge. Furthermore, the subsurface proved to be an enormous technical challenge right from the start due to blockages, unexpected rock fill with armour stone and concrete backfill from the original construction works undertaken in 1940.

Based on the existing local groundwater conditions and structural calculations – 12 m level difference – a low-lying grout slab was laid to form a horizontal sealing element. A particular feature of the construction pit was the need to discharge the asymmetric loading from the headrace into the sidewalls of the pit as there was no abutment on the opposite side of the River Inn. The engineers managed to ensure that the headrace and therefore the power plant remained in operation throughout the entire construction of the pit. Figure 6 shows the finished construction pit with the bracing.

Following the successful completion of this section of the foundations, focus turned to the actual power plant expansion. The excavation of the construction pits directly adjacent to the existing power station was without doubt the most demanding element of this part of the project. The engineers had to construct two technically sealed pits

Im Anschluss daran erfolgte die Herstellung der ersten (kleineren) Baugrube mit einer Fläche von 550 m². Dies betraf den Bereich Dotierkraftwerk und Fischwanderhilfe in unmittelbarer Nähe zur bestehenden Wehranlage und Triebwasserkanal. Als dichte Umschließung gelangte eine aufgelöste Ortbetonbohrpfahlwand DN 1200 mit DSV-Zwickelausfachung (DSV – Düsenstrahlverfahren) und statisch erforderlicher Aussteifung zur Ausführung. Die Herstellung der Bohrpfähle DN 1200 erfolgte mit zwei Großbohrgeräten nach dem Kelly- bzw. Greiferverfahren bis in eine Tiefe von ca. 22 m ab Geländeoberkante und einem Horizontalabstand von 1,5 m. Trotz der beengten Platzverhältnisse musste aufgrund des engen Terminplans mit zwei Bohrpfahlgeräten und einem DSV-Gerät gearbeitet werden, was vor allem eine logistische Herausforderung war. Außerdem erwies sich der Untergrund durch Blocklagen, nicht erwarteten Steinschüttungen aus Wasserbausteinen und Betonhinterfüllungen aus dem 1940 errichteten ersten Bauabschnitt auch gleich zu Beginn der Arbeiten als enorme technische Herausforderung.

Auf Basis der örtlich vorhandenen und der statischen Berechnung zugrunde gelegten Grundwasserverhältnisse – Spiegeldifferenz 12 m – gelangte eine tiefliegende DSV-Sohle als horizontales Abdichtungselement zur Ausführung. Eine Besonderheit der Baugrube war, die asymmetrische Belastung aus dem Triebwasserweg in die Seitenwände der Baugrube einzuleiten, da auf der gegenüberliegenden Seite zum Inn kein Widerlager vorhanden war. Im gesamte Zeitraum der Herstellung der Baugrube konnte der Triebwasserweg und somit das Kraftwerk in Betrieb bleiben. Die fertige Baugrube mit den Aussteifungen ist in Bild 6 dargestellt.

Nach dem erfolgreichen Abschluss dieses Abschnitts erfolgte die Übersiedlung zur eigentlichen Kraftwerkserweiterung. Die Herstellung der Baugruben im direkten Anschluss an das bestehende Kraftwerk war die mit Sicherheit anspruchsvollste Aufgabe dieses Bauloses. Es stand die Herstellung von zwei technisch dichten Baugruben mit Grundflächen von bis zu 2300 m² an (Bilder 7, 8 und 9). Die Projektierung von Keller Grundbau sah eine aufgelöste Bohrpfahlwand mit DSV-Zwickelabdichtung, statisch erforderlicher Verankerung bzw. Aussteifung und eine DSV-Sohle tiefliegend bzw. hochliegend mit Rückverankerung – vor. Bei der Projektierung einer DSV-Sohle liegt das Hauptaugenmerk darin, bei Berücksichtigung einer erwartbaren Bohrabweichung von ca. 3% immer noch mit ausreichender Sicherheit eine Überschneidung der Einzelsäulen gewährleisten zu können.

Grundsätzlich gelangte als vertikales Abdichtungselement wie für die Baugrube des Dotierkraftwerks eine Kombination von Bohrpfählen und DSV-Säulen zur Ausführung. Die Herstellung der Bohrpfähle mit Durchmessern von bis zu 1200 mm erfolgte mit bis zu drei Bohrpfahlgeräten nach dem Kelly- bzw. Greiferverfahren bis in eine Tiefe von 30 m ab Geländeoberkante und einem Achsabstand von bis zu 1,6 m.

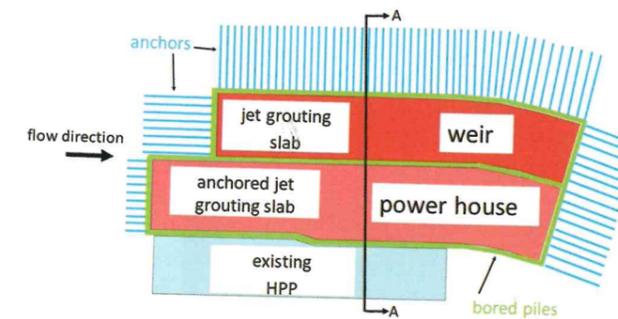


Fig. 8 Plan view of excavation pits at the existing hydropower plant
Bild 8 Grundriss der Baugruben am bestehenden Kraftwerk

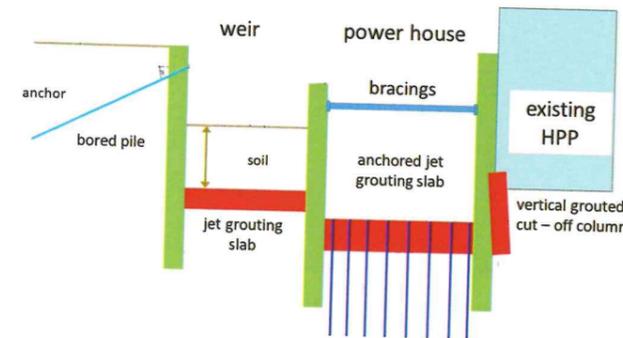


Fig. 9 Cross-section A-A of excavation pits
Bild 9 Querschnitt A-A durch Baugruben

with floor areas of up to 2300 m² (Figure 7, 8 and 9). Keller Grundbau designed a secant pile wall with grouted cut-off columns, anchors and bracing for structural stability, and a low- (with overlay) and high (without overlay)-lying jet grout slab with anchors. When designing the jet grout slab, the main focus was to guarantee with sufficient certainty the interlocking of the individual columns, while allowing for an anticipated drilling deviation of approx. 3%.

The vertical sealing element basically consisted of a combination of bored piles and jet grout columns, as used in the construction pit for the residual flow power station. Using the Kelly and grab method, up to three pile drivers were deployed to cut piles up to 1200 mm in diameter to a depth of 30 m below ground level and with a centre-to-centre distance between piles of up to 1.6 m.

Due to contractual specifications and technical requirements, it was necessary to measure and analyse the verticality of the pile elements before casting the concrete. This was done by sinking a wheeled inclinometer to the bottom of the borehole inside the casing. The drilling deviation data obtained determined both the arrangement and diameter of the jet grout columns. When it came to selecting the diameter of the jet grout columns, there were thus two deciding factors: the verticality of the bored piles and that of the jet grout columns. As with the bored piles, the verticality of the jet grout columns was measured with an inclinometer, which was inserted down to the end of the borehole after drilling and before inject-

Aufgrund der Vertragsvorgaben und technischen Anforderungen war es erforderlich, die Vertikalität der Pfahlelemente vor Beginn der Betonierarbeiten zu messen und auszuwerten. Hierfür wurde nach Abschluss der Bohrung innerhalb der Verrohrung ein Schlitten mit einem Inclinometer bis zur Endtiefe abgeteuf. Die daraus gewonnenen Daten bezüglich Bohrabweichung fanden dann ihren Niederschlag in der Anordnung der DSV-Zwickelsäulen sowohl was die Lage als auch den Durchmesser betraf. Für die Wahl des erforderlichen DSV-Säulendurchmessers gab es somit zwei Entscheidungskriterien: Zum einen die Vertikalität der Bohrpfähle und zum anderen die der DSV-Säulen. Wie bei den Bohrpfählen erfolgt die Messung der Vertikalität auch bei der Herstellung der DSV-Säulen mit einem Inclinometer, das nach Abschluss der DSV-Bohrung und somit vor Düsbeginn bis zur Endtiefe der Bohrung eingebracht wird. Die Auswertung und Visualisierung der Bohrlochverläufe erfolgte durch das von Keller Grundbau entwickelte Programm KCI (Keller Column Inspector). Hierbei wird auf CAD-Basis ein dreidimensionales Bild aufgrund der gemessenen Inclinometerdaten erstellt

Für die horizontale Abdichtung kamen unterschiedliche Systeme zur Anwendung. Im Bereich Entlastungsbauwerk entschied man sich für eine tiefliegende DSV-Sohle mit einer Sohlenstärke von bis zu 2,5 m.

Da in der Krafthausbaugrube die Spiegeldifferenz etwa 20 m beträgt, was eine Tiefenlage der DSV-Sohle nach dem Konzept des Entlastungsbauwerks über 30 m erforderlich machen würde, entschied man sich in diesem Bereich für eine rückverankerte, hochliegende DSV-Sohle mit einer Sohlenstärke von 3 m. Hierbei wurde zuerst die DSV-Dichtsohle hergestellt und anschließend die Rückverankerung mittels Gewi-Verpresspfählen mit Durchmessern von 50 und 63 mm ausgeführt. Hierbei wurde die bereits hergestellte DSV-Sohle durchörtert, der Gewi-Stahl eingebaut und das Bohrloch anschließend mit Zementsuspension verfüllt. Besonderes Augenmerk verlangte hierbei das exakte Nachverpressen der Auftriebspfähle in der DSV-Sohle, um einen vollständigen und lückenlosen Verbund zwischen GEWI Stahl und DSV-Sohle herzustellen und somit Wasserwegigkeiten zu verhindern.

Besonders anspruchsvoll gestalteten sich auch die Rückverankerungs- bzw. Aussteifungsmaßnahmen im Zuge des Baugrubenaushubs. Während es im Entlastungsbauwerk möglich war, Bauzeitanker (gegen das drückende Grundwasser) herzustellen, konnte die Abstützung der Hauptbaugrube aufgrund des Bestandsbauwerks nur durch massive Aussteifungselemente bewerkstelligt werden (Bild 10).

Sämtliche Spezialtiefbauarbeiten konnten termingemäß bis November 2018 fertiggestellt werden. Die Prognose der zu erwartenden Verformungen wurde mit Finite-Elemente-Berechnungen erstellt und während des Aushubs laufend mittels geodätischer und Inclinometer-Messun-

ing the grout. The KCI (Keller Column Inspector) program developed by Keller Grundbau was used to analyse and visualise the borehole alignment. This software generates a three-dimensional CAD drawing based on the data obtained from the inclinometer.

Different systems were used to provide the horizontal seal. In the area surrounding the flood relief structure, a low-lying jet grout slab with a slab thickness of up to 2.5 m was chosen.

Since the level difference in the powerhouse construction pit was around 20 m, which would require the jet grout slab to be located at a depth of over 30 m based on the design of the flood control structure, in this area it was decided to use an anchored high-level jet grout slab with a slab thickness of 3 m. In this case the watertight slab was constructed first and then the anchors were inserted using GEWI micropiles with diameters of 50 and 63 mm. This involved drilling through the jet grout slab, inserting the GEWI steel into the borehole and then filling the borehole with a cement suspension. Precise grouting of the micropiles in the slab was key to creating a complete, seamless bond between the GEWI steel and slab, thereby preventing water ingress.

The anchoring and reinforcement measures required during excavation of the pit proved particularly challenging. While temporary anchors could be installed in the flood control structure (to withstand groundwater pressure), due to the proximity of existing structures in the main construction pit, the only option here was to insert solid bracing elements (Figure 10).

All foundation engineering works were completed on time by November 2018. Finite element calculations were performed to predict deformations and continuously monitored during excavation by means of geodetic and inclinometer measurements. On completion of the final construction pit with a water level difference of just under 20 m, the success of the engineering solutions was borne out by the deformation of the sensitive existing structure and water ingress.

As a result, the new powerhouse could be constructed inside the watertight pit, enabling it to be commissioned on schedule in October 2020.

3 Summary

In order to meet the energy transition targets (CO₂-free, sustainable energy production), domestic hydropower is being expanded in the Tyrol in addition to energy efficiency and energy saving measures. The state-owned hydropower provider Tiwag – Tiroler Wasserkraft AG has a number of hydropower projects in the pipeline which aim to generate an additional 1800 GWh/a of renewable energy. While some projects are still at various stages of the approval process, five power plant projects are already

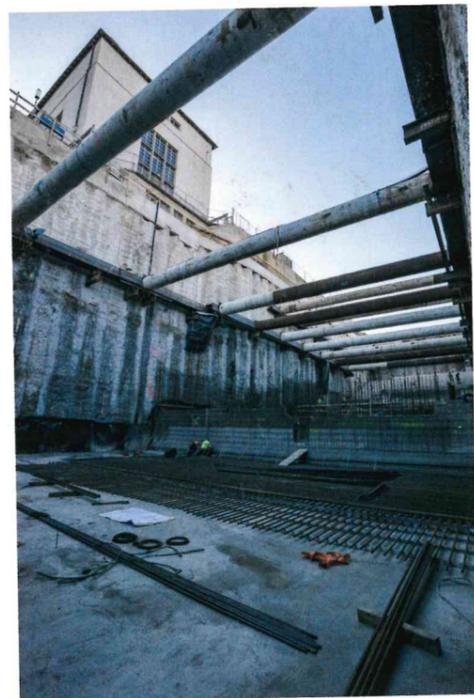


Fig. 10 Finished excavation pit with bracings
Bild 10 Endaushub Kraftwerksbaugrube mit Aussteifungen

gen überprüft. Nach dem Endaushub der Baugruben mit einer Wasserspiegeldifferenz von knapp 20 m zeigte sich der technische Erfolg der Maßnahmen, sowohl was Verformungen am empfindlichen Bestandsbauwerk als auch Wasserzutritte betraf.

Somit konnte das neue Krafthaus innerhalb der dichten Baugrube hergestellt werden, sodass die Inbetriebsetzung, wie geplant, im Oktober 2020 erfolgen konnte.

6 Zusammenfassung

Zur Erreichung der Ziele der Energiewende (CO₂-freie, nachhaltige Energieproduktion) wird in Tirol, neben Maßnahmen zur Effizienzsteigerung und Energieeinsparung, der Ausbau der heimischen Wasserkraft verfolgt. Mit den Kraftwerksvorhaben der Tiwag – Tiroler Wasserkraft können zusätzliche 1800 GWh/a an regenerativer Erzeugung erzielt werden. Während einige Vorhaben in verschiedenen Bewilligungsphasen stecken, konnte bei fünf Kraftwerksprojekten der Bau gestartet werden. Das Kraftwerksprojekt Kirchbichl-Erweiterung ist hierbei schon am weitesten fortgeschritten und befindet sich vor der Fertigstellung. Wie allgemein bei Kraftwerksbauten zu erwarten, waren für das Vorhaben Kirchbichl-Erweiterung einige Herausforderungen zu meistern. Mit insgesamt drei komplexen Baugruben, war der Spezialtiefbau ein wesentlicher Faktor zur erfolgreichen Abwicklung des Vorhabens. Mit der Wahl von Bohrpfählen mit DSV-Zwickelausfächung als Baugrubenumschließung und einer DSV-Sohle als horizontale Baugrubenabdichtung konnte bei allen drei Baugruben auf die spezifischen An-

underway. The most progress has been made on the Kirchbichl Power Plant, the expansion of which is now almost complete. As to be expected with power plant constructions, the Kirchbichl Power Plant Expansion project had to overcome several challenges along the way. With no less than three complex construction pits, the foundation engineering was a major factor in the successful completion of this project. The use of bored piles with jet grout infill columns to enclose and retain the construction pits and a jet grout slab as a horizontal seal meant that all three pits were able to satisfy the specific requirements. Due to the close proximity of existing structures such as the headrace channel and the powerhouse, it was particularly important to ensure minimal deformation of the pit retaining walls. The tolerances specified both for deformation and tightness of the construction pits were adhered to, thereby creating the basis for a continued successful implementation of the project.

Authors



Prok. Dipl.-Ing. Werner Hautz
werner.hautz@keller.com
Keller Grundbau GesmbH
Regionalleiter AT-West
Andechsstraße 65
6020 Innsbruck
Austria



Dr.-Ing. Johann Neuner (corresponding author)
johann.neuner@tiwag.at
Tiwag – Tiroler Wasserkraft AG
Leiter Abteilung Wasserkraftplanung
Eduard-Wallnöfer-Platz 2
6020 Innsbruck
Austria

How to Cite this Paper

Hautz, W.; Neuner, J. (2021) *Expansion of Kirchbichl Power Plant in Tyrol – Challenges of foundation engineering*. Geomechanics and Tunneling 14, No. 2, pp. 175–183.
<https://doi.org/10.1002/geot.202000054>

This paper has been peer reviewed. Submitted: 18. December 2020; accepted: 17. January 2021.

Zitieren Sie diesen Beitrag

Hautz, W.; Neuner, J. (2021) *Erweiterung Kraftwerk Kirchbichl in Tirol – Herausforderungen an den Spezialtiefbau*. Geomechanik und Tunnelbau 14, H. 2, S. 175–183.
<https://doi.org/10.1002/geot.202000054>

Dieser Aufsatz wurde in einem Peer-Review-Verfahren begutachtet. Eingereicht: 18. Dezember 2020; angenommen: 17. Januar 2021.

forderungen reagiert werden. Aufgrund der Nähe zu den Bestandsanlagen, wie dem Triebwasserweg oder dem vorhandenen Krafthaus, war vor allem auf ein geringes Verformungsverhalten der Baugrubenumschließung zu achten. Die vorgegebenen Toleranzen hinsichtlich Verformung und auch Dichtheit der Baugruben konnten jeweils eingehalten werden. Somit war die Grundlage für eine weitere erfolgreiche Projektabwicklung geschaffen.

References

- [1] Energie Tirol (2021) *Beratung – Forschung – Förderung* <https://www.tirol2050.at> (last visited 19 Feb. 2021)
- [2] Tiwag – Tiroler Wasserkraft (2021) <https://www.tiwag.at/Energiewende> (last visited 19 Feb. 2021)
- [3] Tiwag – Tiroler Wasserkraft (2020) *Projekt Speicherkraftwerk Kühnthal*, <https://www.erneuerbareplus.at> (last visited 19 Feb. 2021)

KELLER global strength and local focus

Unser Leistungsspektrum:

- Gründungen
- Bestandssicherungen
- Umwelttechnik
- Hochwasserschutz
- Baugrubensicherungen
- Unterfangungen
- Hang- und Böschungssicherungen
- Unterirdisches Bauen

Keller Grundbau Ges.m.b.H.
Guglgasse 15, BT4a / 3. OG -
1110 Wien
t: +43 1 892 35 26
e: info.at@keller.com

Wien · Linz · Eben im Pongau (Salzburg) · Innsbruck · Dornbirn · Söding (Graz)

www.kellergrundbau.at

in [linkedin.com/company/keller](https://www.linkedin.com/company/keller)
youtube.com/c/KellerGroup