

Dr. sc. techn. Markus Schwalt und Marc Riehm, Zürich/Schweiz

Neubau des Kraftwerkes Cotlan in der Schweiz

Maßarbeit am Bau unter schwierigen geologischen Bedingungen und engen Terminvorgaben

1. Einleitung

Die stillgelegte Textilfabrik Cotlan liegt im Herzen der Schweizer Berge im Kanton Glarus auf einer Höhe von 625 m ü.d.M. am Fluss Linth. Die Wasserführung der Linth wird durch die alpine Lage und das höherliegende Kraftwerk Linth-Limmern mit Stausee und Pumpspeicher geprägt.

Das zu dem ehemaligen Textilbetrieb der Firma Cotlan Textilfabriken AG gehörende Kraftwerk Cotlan hatte seine Lebensdauer erreicht und wurde vollständig durch einen Neubau ersetzt. Das alte Kraftwerk bestand aus einer Wasserfassung, einem offenen, auf einem Damm entlang der Linth geführten Oberwasserkanal, dem Krafthaus (Abb. 1 und 2) und einem teilweise unterirdisch geführten Unterwasserkanal mit Freispiegelabfluss. Zusätzlich führte ein Entlastungskanal das Überwasser, welches die Turbine nicht verarbeiten konnte, von dem Oberwasserkanal direkt in die Linth.

Die bestehende Fassung und der Triebwasserweg wurden zurückgebaut. Das Wasser wird nun direkt bei dem oberhalb liegenden Kraftwerk der Spinnerei Linth in einen neuen Triebwasserweg eingeleitet und in einer zweiten Stufe, dem neuen Kraftwerk Cotlan, genutzt.

Das neue Krafthaus wurde flussabwärts von dem alten an den Ort der bestehenden Rückgabestelle des Unterwasserkanales verlegt. Ein kurzer Unterwasserkanal dient der Rückgabe des Triebwassers in die Linth.

2. Übersicht über das Projekt

Das Wasser wird neu aus dem Unterwasserkanal des KW Spinnerei Linth abgenommen und von dort über ein Einlaufbauwerk mit Rechen und Schütz in den neuen Triebwasserkanal eingeleitet.

Das Kraftwerk der Spinnerei hat ein Einzugs-



Abb. 1: Oberwasserkanal mit Krafthaus rechts



Abb. 2: Altes Krafthaus (seitlich gesehen) mit Entlastung aus dem Oberwasserkanal in Richtung Linth. Rechts oben fließt der Oberwasserkanal zu, der Unterwasserkanal liegt hier unterirdisch und verlässt das Krafthaus linksseitig (in Richtung Norden).

gebiet von etwa 143 km². Die Mittelwasserführung der Messperiode 1967–2017 liegt bei 11,2 m³/s.

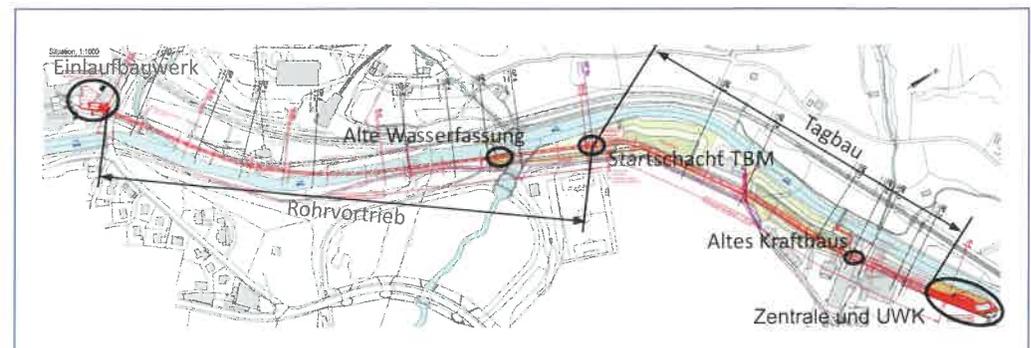


Abb. 3: Übersicht über das Projekt mit Fließrichtung von links nach rechts

Das sogenannte Einlaufbauwerk verfügt auch über eine Wasserschlosskammer, um kleinere Schwallerscheinungen in der Wasserführung zu dämpfen (Abb. 3).

Der Triebwasserweg besteht aus einer 640 m langen, im Rohrvortrieb erstellten Rohrstrecke und einem ca. 520 m langen, geschlossenen Tagbaukanal in Ortbeton mit einer Gesamtlänge von 1160 m. Der Rohrvortrieb unterquert die Linth schleifend mit einer minimalen Überdeckung von ca. 2 m. Der Tagbaukanal durchfährt das Areal der Cotlan Textilfabriken AG.

Das Maschinenhaus wurde in Ortbetonbauweise erstellt (Abb. 5). Nach dem Durchströmen der doppelt regulierten Kaplan-Turbine fließt das Triebwasser durch den Unterwasserkanal in die Linth zurück. Im Bereich des neuen Maschinenhauses und der alten Wehrschwelle der Fassung wurde die Linth renaturiert.

Eine Ingenieurgesellschaft aus den Planern ILF Beratende Ingenieure AG Zürich und AF-Consult Baden hat Anfang 2015 das Projekt mit dem Auftrag übernommen, die Planung zu vervollständigen, auszuschreiben und den Bau auszuführen (Projektierung und Bauleitung). ILF war für den Großteil der Planung der baulichen Anlagen verantwortlich, insbesondere für die Baugruben und den gesamten Triebwasserweg, während AF-Consult die Zentrale und das Einlaufbauwerk bearbeitete. Die Bauleitung hatte ILF, die Elektromechanik wurde durch den Bauherrn (Cotlan AG) direkt betreut.

Der Terminplan war sehr eng gesetzt. Ab Januar 2015 wurde die Planung ergänzt. Zwischen April und Juni 2015 wurden die Ausschreibungsunterlagen erarbeitet und

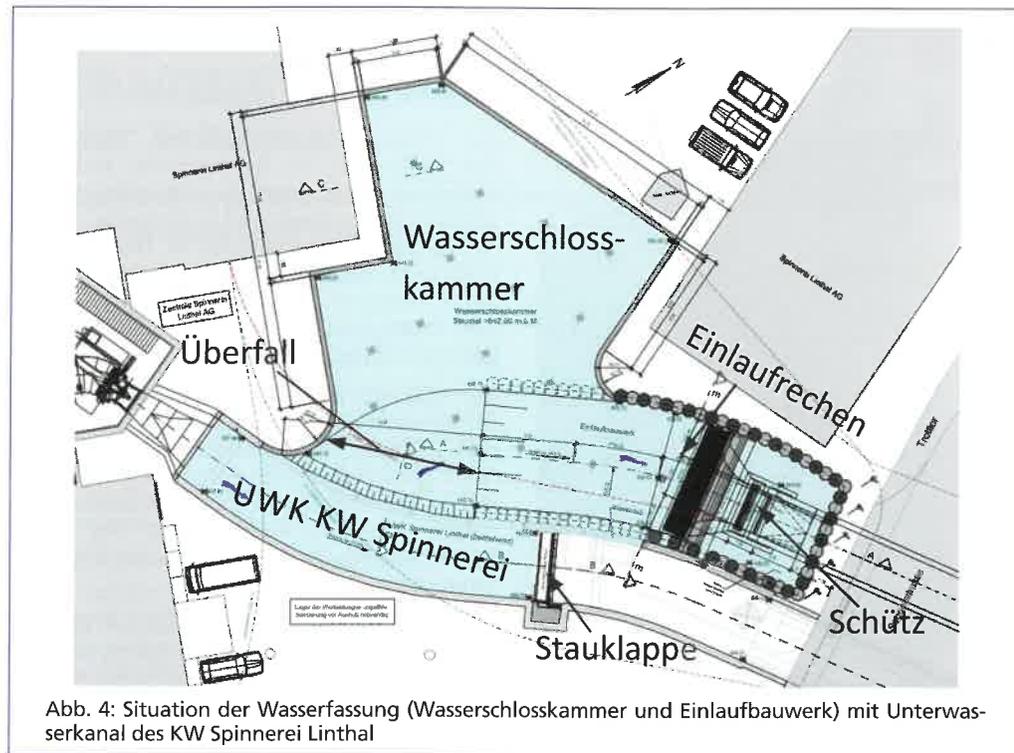


Abb. 4: Situation der Wasserfassung (Wasserschlosskammer und Einlaufbauwerk) mit Unterwasserkanal des KW Spinnerei Linth

Ende Juni 2015 an die Unternehmer zur Angebotslegung abgegeben. Die Übergänge zwischen Ausschreibungs- und Ausführungs-

phase waren fließend. Während der Angebotslegung wurden die ersten Ausführungspläne erstellt, damit der Baubeginn im Okto-

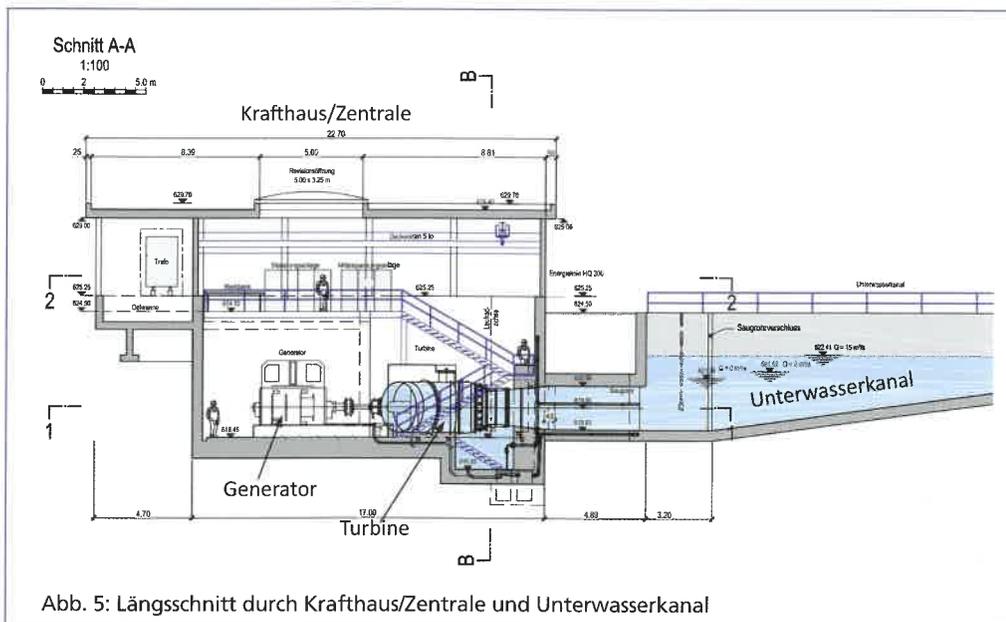


Abb. 5: Längsschnitt durch Krafthaus/Zentrale und Unterwasserkanal

ber 2015 erfolgen konnte. Im Zuge der Vergabe Verhandlungen ergaben sich Verspätungen von einem Monat, sodass die Bauarbeiten Mitte November 2015 begonnen werden konnten. Die Inbetriebnahme sollte Ende 2016 erfolgen.

3. Technische Daten

- Installierte Leistung: 2,6 MW
- Ausbaudurchfluss: 15 m³/s
- Fallhöhe: ca. 19,60 m
- Wasserschlosskammer: Volumen 345 m³
- Einlaufbauwerk mit Rechen und Schütz
- Druckstollen (Mikrotunnel): Länge 640 m, D_i = 3,00 m
- Druckkanal (Tagbaukanal): Länge 520 m, Querschnitt Rechteck 3,00 m x 4,50 m
- Krafthaus mit doppelt regulierter Kaplan-Turbine
- Kurzer Unterwasserkanal und Rückgabe

4. Geologie und Hydrogeologie

Der Baugrund befindet sich in den Wechselablagerungen der Linth und der seitlichen Murgänge und Zuflüsse. Der Untergrund wechselt zwischen vorwiegend Bachschutt mit Blöcken von bis zu ca. 1,5 m Durchmesser und feinkörnigen Ablagerungen im Bereich der Zentrale. Der Bachschutt ist stark wasserführend und stellte aufgrund der großen Blöcke mit hohen Druckfestigkeiten eine beachtliche Herausforderung für Baugruben und Tunnelvortrieb dar. Der Grundwasserspiegel schwankt stark, vor allem in Abhän-

gigkeit von der Schneeschmelze. Die Bachsohle der Linth war weitgehend kolmatiert, sodass nur lokal in unmittelbarer Ufernähe mit zusickerndem Wasser aus der Linth zu rechnen war.

Die Baugruben der Zentrale, des Startschachtes und des Einlaufbauwerkes sowie der Rohrvortrieb befinden sich nahezu vollständig im Grundwasser, die Baugrube des Oberwasserkanales hingegen nur teilweise.

5. Bauarbeiten

5.1 Abhängigkeit vom Vortrieb des Kraftwerkes Rufi

Hinsichtlich des Ablaufes der Bauarbeiten bestand eine große Abhängigkeit zu dem Nachbarprojekt KW Rufi. Beim Bau des Oberwasserstollens des Kraftwerkes Rufi in Hätzingen – wenige Kilometer unterhalb des Kraftwerkes Cotlan – war die für das KW Cotlan vorgesehene Hydroschildmaschine bereits im Einsatz. Das Bauprogramm beruhte daher auf der Voraussetzung, dass der Vortrieb des KW Rufi innerhalb der Frist abgeschlossen wurde, um die Tunnelbaumaschine (TBM) anschließend zu bergen, zu überholen und für den Start im KW Cotlan zu installieren.

5.2 Einlaufbauwerk und Wasserschlosskammer

Einlaufbauwerk und Wasserschlosskammer wurden im Hof der Spinnerei Linth innerhalb der bestehenden Gebäude unter beengten Verhältnissen realisiert. Die Baugrube des Einlaufbauwerkes wurde mit einer



Abb. 6: Baugruben der Wasserschlosskammer und im Hintergrund jene des Einlaufbauwerkes während des Aushubes

überschnittenen Bohrpfahlwand und einer Sprießblage gesichert und befand sich wegen der größeren Tiefe im Grundwasser, jene der Wasserschlosskammer lag oberhalb des Grundwassers und wurde mit einer offenen Mikropfahlwand und Stabankern gesichert (Abb. 6).

Nach der Bergung der Maschine aus der Baugrube des Einlaufbauwerkes konnte endlich der Ausbau des Einlaufbauwerkes erfolgen, der nun unter höchstem Zeitdruck stand (Abb. 7). Mithilfe der tagesscharfen Planung der Bauarbeiten und des Stahlwasserbaues, einer ausgeklügelten Logistik und der Optimierung der Bauteile konnte das Einlaufbauwerk bis zum 15. Januar 2017 so weit fertiggestellt werden, dass eine erste Inbetriebnahme möglich war.

5.3 Oberwasserkanal – Rohrvortrieb

Der obere Teil des Oberwasserkanales wurde aus dem Startschacht, welcher ebenfalls mit Spundwänden und Sprießblage gesichert und abgedichtet wurde, mit einer Tunnelbohrmaschine (TBM) im Hydroschildmodus aufgeföhrt. Der Durchmesser der TBM lag bei 4 m, jener des Rohres bei 3,8 m außen bzw. 3,0 m innen (Abb. 8).

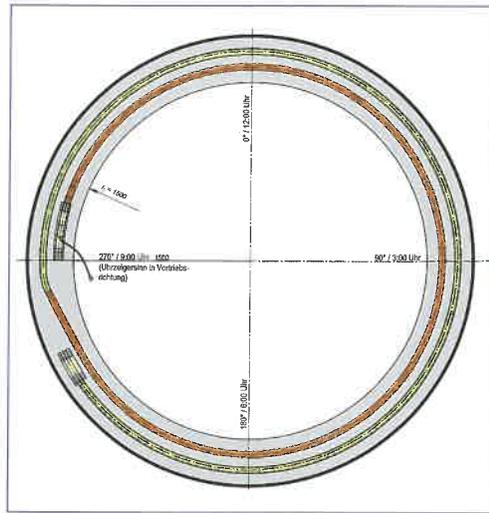


Abb. 8: Querschnitt des Rohres mit einem Durchmesser von 3,0 m innen und 3,8 m außen sowie einer Wandstärke von 40 cm

Die Herausforderung des Vortriebes lag darin, den extrem harten, grobblockigen und stark wasserdurchlässigen Bachschutt, der unter Auftrieb des Grundwassers stand, mit der geringen Überdeckung zu durchfahren. Die Gefährdungsbilder waren vor allem Tagbrüche mit Ausbläsern des Bentonits und ein Verkleben bzw. Blockieren des



Abb. 7: Schalung des Einlauftrichters mit Anschluss an das Rohr des Oberwasserkanales im Hintergrund

Schneidrades im Bereich der Linth-Unterquerung sowie große Blöcke, die weder abgebaut noch verdrängt werden konnten. Zudem fuhr die TBM beim Vortrieb für das KW Ruffi eine Verspätung von einem Monat ein, sodass der Vortrieb für das KW Cotlan, der betreffend Inbetriebnahme auf dem kritischen Weg lag, keinen zeitlichen Spielraum hatte. Unter diesen ungünstigen Voraussetzungen wurde der Vortrieb am 15. Juni 2016 mit einer teilweise überholten Maschine begonnen.

Der Vortrieb verlief etwa den Erwartungen entsprechend, zeitlich mit leichtem Vorsprung gegenüber den durchschnittlichen Vortriebsleistungen. Innerhalb der ersten 70 m des Vortriebes kam es aufgrund der geringen Überdeckung und des aufgelockerten Bodens zu einem Ausbläser und einem kleineren Tagbruch, was jedoch ohne größere Folgen für den Vortrieb blieb.

Zwischen Tunnelmeter (TM) 75 und 100 wurden der Durnagel, ein Seitenzufluss der Linth, und der Bereich der ehemaligen Wasserfassung unterquert, beide mit einer geringen Überdeckung von 2–3 m, jedoch ohne ernsthafte Probleme.

Kritisch wurde der Vortrieb ab TM 140 im Bereich unter der Linth, die auf einer Länge von 220 m schleifend zu unterqueren war. Dort war einerseits die Überdeckung gering und andererseits der Zugang zum Bohrkopf – bei Verkleben oder starker Blockigkeit – von außen aus dem Bachbett der Linth nur mit großem Aufwand möglich.

Über die ersten zwei Drittel der Unterquerung verlief der Vortrieb ohne größere Zwischenfälle. Am 15. Juli 2016, genau nach einem Monat Vortrieb, musste bei TM 325 festgestellt werden, dass ein Antriebsritzel des Bohrkopfes gebrochen war und bei näherer Untersuchung auch die weiteren drei Ritzel bereits Haarrisse aufwiesen. Da die Maschine schon älter war, waren die erforderlichen Ersatzteile nicht lagernd und mussten erst hergestellt werden. Dies führte zu einem längeren Stillstand bis zum Einbau und zur Weiterführung des Vortriebes. Am 20. August 2016 – nach etwa fünf Wochen Stillstand – konnte der Vortrieb mit allen Unsicherheiten, die der bevorstehende Untergrund noch barg, fortgesetzt werden. Die weitere Unterfahrung der Linth erfolgte

ohne größere Probleme, aber ein Aufholen der Verspätung war undenkbar.

Zudem machte der extrem harte Bachschutt dem Bohrkopf durch hohe Abrasivität und entsprechenden Verschleiß zu schaffen. Es war unklar, ob er den verbleibenden Vortrieb noch ohne Revision durchstehen würde. Bei TM 400 erfolgte mit einer Überdeckung von ca. 7 m und mitten im Damm der Linth ein weiterer Überbruch, der durch zu große Fördermengen an Ausbruchmaterial festgestellt wurde. Die Größe des Überbruchs konnte nur grob auf der Basis des geförderten Ausbruchs auf 10–20 m³ abgeschätzt werden. Über dem Hohlraum lag ein Wanderweg, der sofort gesperrt wurde. Glücklicherweise hatte der Überbruch nicht bis zur Oberfläche durchgeschlagen. Der Vortrieb wurde ohne Verzögerungen fortgesetzt und der Verbruch später von oben verfüllt und injiziert. Im letzten Drittel des Vortriebes verbesserten sich die Vortriebsbedingungen dahingehend, dass das Material feinkörniger und weniger abrasiv wurde und dadurch gute Vortriebsleistungen ohne weitere Zwischenfälle erzielt werden konnten.



Abb. 9: Durchschlag der Tunnelbohrmaschine am 13. September 2016 in die Baugrube des Einlaufbauwerkes

Am 13. September 2016 konnten der Durchschlag in die Baugrube des Einlaufbauwerkes erzielt und einige Tage Verspätung aufgeholt werden (Abb. 9).

5.4 Oberwasserkanal – Tagbau

Der untere Teil des Oberwasserkanales wurde im Tagbau als Rechteckquerschnitt ausgeführt und musste auf den vollen Druckstoß von ca. 30 m ausgelegt werden (Abb. 10).

Der Kanal sollte robust, unterhaltsarm und dicht sein, was dazu führte, dass er in Längsrichtung fugenlos ausgeführt und zur besseren Rissverteilung durchgehend bewehrt wurde. Nur am oberen und unteren Ende des Rechteckkanales, im Anschlussbereich an die Zentrale und an den Rohrvortrieb, wurde je eine Dehnfuge eingebaut, um Längszugkräfte durch Schwinden und Abkühlung des Kanales nicht in die angrenzenden Bauwerke zu übertragen. Um bei Rissbildung in Längsrichtung die Risse fein genug zu verteilen, musste der Kanal daher auch in dieser Richtung bewehrt werden. Die Arbeitsfugen in Querrichtung wurden mit Injektionsfugenbändern und jene in Längsrichtung mit innenliegenden Fugenbändern ausgeführt,

um die geforderte Dichtigkeit zu erreichen. Bei Undichtigkeiten waren Nachinjektionen vorgesehen. Die Injektionen der Arbeitsfugen wurden im Dezember 2016/Januar 2017 ausgeführt, um das Schwinden des Betons und die Temperatursenkung abzuwarten. Der Bau erfolgte teilweise zwischen Gebäuden in sehr beengten Verhältnissen (Abb. 11).

5.5 Baugrube Zentrale

Weiter auf dem kritischen Weg lag die Fertigstellung und Ausrüstung der Zentrale. Im Zuge der Ausführungsplanung mussten aufgrund der laufenden Wassermessungen, die mit kurzer Vorlaufzeit gestartet wurden, Bemessungsgrundwasserstände und -hochwassermarken erhöht werden, was einen erheblichen Einfluss auf die Planung und Ausführung der Baugrube der Zentrale (Abb. 13) hatte.

Die mit einer Spundwand eingefasste Baugrube musste zwischen Ausschreibung und Ausführung daher neu auf die höheren Wasserstände dimensioniert werden, was eine verstärkte Verankerung der Spundwände erforderlich machte. Gleichzeitig drängten das Bauprogramm und der leicht verspätete

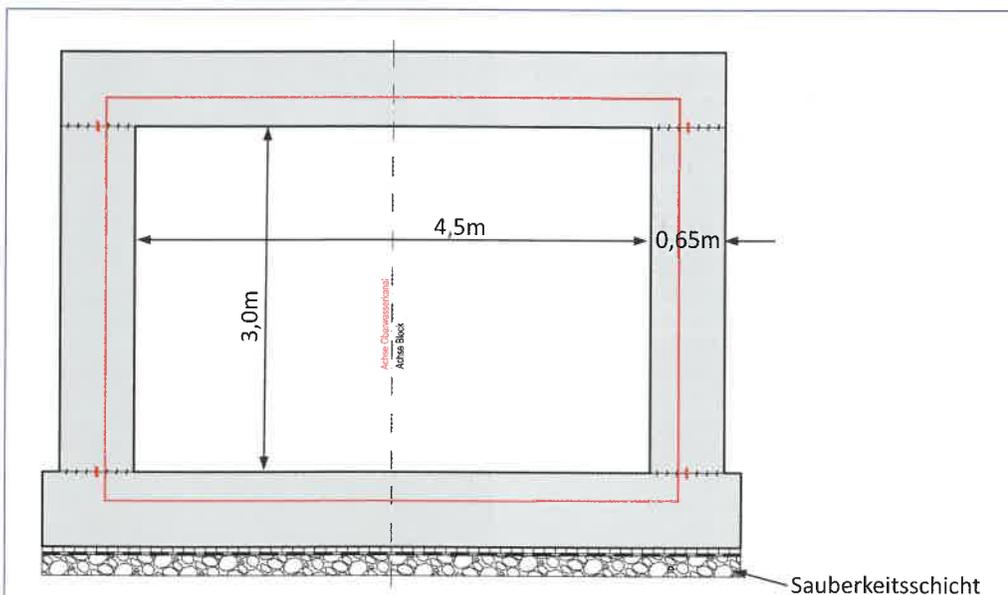


Abb. 10: Oberwasserkanal-Abschnitt mit Rechteckform – schwerer Typ mit rot eingezeichnetem umlaufendem Injektionsfugenband in der Blockfuge und Fugenbändern in den Arbeitsfugen zwischen Bodenplatte, Wand und Decke

Baustart darauf, die Baugrubensicherung zu vereinfachen, um die Bauarbeiten dadurch zu beschleunigen. Weitere Herausforderungen beim Versetzen

und Spannen der Anker bereitete eine feinkörnige Ablagerung in der bergseitigen östlichen Wand der Baugrube, deren obere Ankerlage nicht die gewünschte Vorspannkraft



Abb. 11: Oberwasserkanal bei der Durchfahrung des Cotlan-Areals mit beengten Verhältnissen – eine Aufnahme aus dem Bereich des alten Krafthauses

erreichte und – etwa über die halbe Baugrubenlänge – Zusatzanker verlangte. Eine Bauzeitverkürzung wurde durch eine Reduktion der Anker von drei auf zwei Ankerlagen erreicht. Dies war durch eine geschickte Positionierung der Ankerlagen und durch die Verdichtung der zweiten Ankerlage in einem horizontalen Abstand von 1 m möglich. Dabei wurde jeder zweite Anker um die Verankerungslänge verlängert. Trotz der gestiegenen Anforderungen konnte die Bauzeit der Zentralenbaugrube mithilfe der Optimierungen innerhalb der geplanten Termine und Kosten realisiert werden, sodass der Bau der Zentrale termingerecht in Angriff genommen werden konnte.

Der anschließende Bau und die Ausrüstung der Zentrale erfolgten unter großem Termindruck, jedoch ohne weitere Verzögerungen. Dies machte u. a. die große Erfahrung auf der Seite des Bauherren, der für die Ausrüstung zuständig war, möglich.

6. Fertigstellung und Inbetriebnahme

Parallel zur Fertigstellung des Einlaufbauwerkes erfolgte die Fertigstellung und Ausrüstung der Zentrale und des Unterwasserkanales ohne weitere Zwischenfälle oder Verzögerungen. Neben dem Einlaufbauwerk waren auch noch der verbleibende Teil des Oberwasserkanales fertigzustellen und die Startbaugrube des Vortriebes zu verfüllen. Dies konnte natürlich erst ab Oktober 2016 erfolgen, nachdem die letzten Rohre des Rohrvortriebes eingeschoben und die Dehner und Pressen des Vortriebes ausgebaut waren. Ab Mitte Dezember 2016 wurde der Kanal schließlich noch teilweise zugeschüttet.

Die Fertigstellung beinhaltete zudem die Wiederherstellung des Platzes der Spinnerei Linthal im Bereich der Wasserschlosskammer und des Einlaufbauwerkes. Zudem musste die Decke des Einlaufbauwerkes selbst noch fertiggestellt werden. Ab April 2017 erfolg-



Abb. 12: Schließen des Oberwasserkanales nach der Fertigstellung des Rohrvortriebes

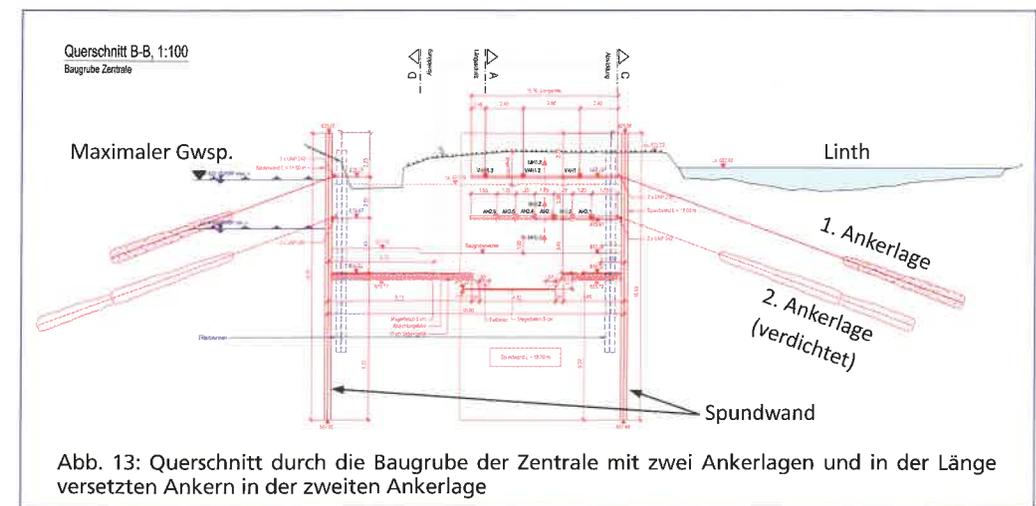


Abb. 13: Querschnitt durch die Baugrube der Zentrale mit zwei Ankerlagen und in der Länge versetzten Ankern in der zweiten Ankerlage

ten der Rückbau der alten Wasserfassung mit der Renaturierung des Flussbettes sowie sämtliche Geländegestaltungen, die vollständige Hinterfüllung des Oberwasser-Tagbaukanales sowie Belagsarbeiten und Restarbeiten.

7. Schlusswort

Dank der großen Anstrengungen aller Beteiligten – Unternehmer, Planer und Bauherr – und einer speditiven und konstruktiven Zu-

sammenarbeit aller konnte das Kraftwerk mit einem Monat Verspätung gegenüber den Ausschreibungsplänen am 1. Februar 2017 ans Netz gehen. Die Verspätung entsprach dem verspäteten Baubeginn, sodass insgesamt die Vorgaben an die Bauzeit eingehalten wurden.

Das Kraftwerk Cotlan ist das größte Kleinwasserkraftwerk an der Linth des schweizerischen Kantons Glarus und produziert seit der Inbetriebnahme zuverlässig sauberen Strom für etwa 3000 Haushalte.



Abb. 14: Krafthaus in Betrieb – vom Unterwasser gesehen mit Blick talaufwärts