

Wasserbauliche Herausforderungen beim Neubau des Wasserkraftwerkes Töging am Inn

Matthias Feldmann und Bernhard Ebner

Zusammenfassung

Nach einer rund 5-jährigen Planungsphase und einer daran anschließenden 4-jährigen Bauzeit wurde am 30. September 2022 das neue von der Verbund Innkraftwerke GmbH betriebene Wasserkraftwerk Töging eingeweiht (siehe Abb. 1). Die neue Kraftwerksanlage, die als größter Wasserkraftwerksneubau in Deutschland der letzten Jahre gilt, ersetzt das nebenanliegende in den 1920-er Jahren errichtete Kraftwerk, das in Zukunft als neue Standortzentrale des Betreibers fungieren soll.

Durch eine Stauziel- und Abflusserhöhung im Kraftwerkskanal wurde die installierte Leistung des neuen Kraftwerkes von den rund 84 MW des alten Kraftwerkes auf etwa 120 MW gesteigert. Die neue Kraftwerksanlage besteht aus einem dreifeldrigen Einlaufbauwerk, drei anschließenden Druckrohrleitungen aus Stahlbeton sowie einem Krafthaus mit drei tiefliegenden Kaplan-turbinen. Die Bruttofallhöhe beträgt etwa 31 m. Das neue Kraftwerk wird rund 700 GWh elektrische Energie pro Jahr produzieren, womit rund 200.000 Haushalte mit sauberer Elektrizität versorgt werden können.

Planung und Bau der neuen Kraftwerksanlage stellte die beteiligten Ingenieure vor eine Vielzahl von wasserbaulichen Herausforderungen. Die Vorgabe, den Weiterbetrieb der vorhandenen Anlage so lange wie möglich aufrechtzuerhalten, erforderte eine komplexe Bauablauf- und Baugru-benplanung. Der vielschichtige Baugrund mit mehreren gespannten Grundwasserleitern sowie die tiefe Lage der drei neuen Turbinen erforderten technisch anspruchsvolle Verbau- und auf den jeweiligen Bauzustand abgestimmte umfangreiche Wasserhaltungsmaßnahmen für die Teil-baugruben. Für die tiefe Krafthausbaugrube wurde eine ca. 70 m tiefe Einphasenschlitzwand mit einer vorgesetzten aufgelösten und rückverankerten Bohrpfahlwand gebaut. Aufgrund des hohen Grundwasserdruckes musste die Rezeptur der Schlitzwandsuspension hinsichtlich Einbau-barkeit genau austariert werden.

Um die Stillstandszeit des Kraftwerkbetriebes während der Errichtung des Einlaufbereiches mög-lichst kurz zu halten, wurde für die rechte Einlaufmauer ein Mauerkonzept aus T-förmigen Schlitz-wandelementen ausgeführt. Dies ermöglichte trotz großer Mauerhöhen von bis zu knapp 15 m den Verzicht auf zeitaufwendig herzustellende Rückverankerungen.



Abb. 1 Neues Kraftwerk Töging (links) mit altem Kraftwerk (rechts)

1 Allgemeine Information

Die neue Kraftwerksanlage in Töging wurde an der Stelle der ehemaligen Hochwasserentlastung des alten Kraftwerkes errichtet (siehe Abb. 2). Hierfür waren zu Beginn der Baumaßnahme der sogenannte „Energievernichter“ sowie die Entlastungsrohre und im weiteren Verlauf die Heberanlage am Oberwasserkanal rückzubauen. Als Sperrenbauwerk zum Oberwasserkanal verblieb zunächst lediglich der entsprechend verplombte Einlaufbereich.



Abb. 2 Baustelle des neuen Kraftwerks Töging neben dem alten Kraftwerk (Bild Verbund Innkraftwerke GmbH)

Das eng begrenzte Baufeld zwischen der zu erhaltenden alten Kraftwerksanlage und den Siedlungsflächen mit dem öffentlichen Weg auf der Westseite führte zu einer herausfordernden Planungsphase, in der zunächst ein optimales Kraftwerkskonzept mit drei tiefliegenden Kaplanstur-

binen ermittelt wurde, um anschließend die zahlreichen Herausforderungen, v.a. an der Schnittstelle zwischen Wasserbau und Geotechnik, planerisch zu bewältigen. Während der Ausführungsphase wurden hierbei die ausführenden Firmen eng eingebunden.

Im Folgenden werden einige für das Projekt des Kraftwerks Töging spezielle technischen Herausforderungen und Lösungen näher dargestellt.

2 Wasserbauliche Herausforderungen bei Planung und Bau des KW Töging

2.1 Baugrube für das Krafthaus

Ausgangslage

Die zwischen 2014 und 2017 planungsbegleitend durchgeführten Baugrunduntersuchungen auf dem Baufeld des zukünftigen Kraftwerkes Töging ergaben unter anderem, dass im Boden mit einer Wechschichtung aus gut durchlässigen Kies-/Sandböden und gering durchlässigen Tertiärmergeln insgesamt fünf für das Bauvorhaben relevante Grundwasserhorizonte vorhanden waren. Die verschiedenen Druckniveaus der Grundwasserstockwerke lagen zum Teil weit über dem vorhandenen Geländeniveau, wie z.B. das Druckniveau des für den Aushub der tiefen Krafthausbaugrube maßgebenden 5. Grundwasserstockwerkes mit ca. 8 m.

Der 5. Grundwasserhorizont in etwa 40 m Tiefe liegt im sogenannten Quarzkonglomerat, aus dem auch das Trinkwasser für die Region entnommen wird. Ein schädlicher Eingriff in diesen Grundwasserleiter durch die Baumaßnahmen war demnach zwingend zu vermeiden.

Untersuchte Baugrubenvarianten

Unter Zugrundelegung dieser Randbedingungen wurden im Rahmen der Entwurfsplanung verschiedene Baugrubenvarianten untersucht. Aufgrund einer erforderlichen Aushubtiefe von etwa 25 m wurde für alle Varianten das Verbauelement einer Schlitzwand angesetzt. Es wurde zwischen folgenden Varianten unterschieden:

- (1) keine Schlitzwand-Einbindung in das Quarzkonglomerat, ohne Grundwasserentspannung außerhalb der Baugrube
- (2) keine Schlitzwand-Einbindung in das Quarzkonglomerat, mit Grundwasserentspannung außerhalb der Baugrube
- (3) Schlitzwand-Einbindung in die dichte Schicht unterhalb des Quarzkonglomerats und Grundwasserentspannung im Inneren der Baugrube

Bei den Varianten ohne Einbindung der Schlitzwand in die dichtende Schicht unter dem Grundwasserleiter (Varianten 1 und 2) hätte die Baugrubensohle mit Auftriebspfählen (z.B. GEWI-Pfählen) in einem Raster von etwa 2 x 2 m rückgehalten werden müssen (siehe **Abb. 3**). Da keine Verbauelemente in den Quarzsotter hineinreichen sollten, hätte die Baugrube außerdem in mehrere Abschnitte unterteilt werden müssen, um die Sohldruckspannungen auf die Bodenplatte gering zu halten.

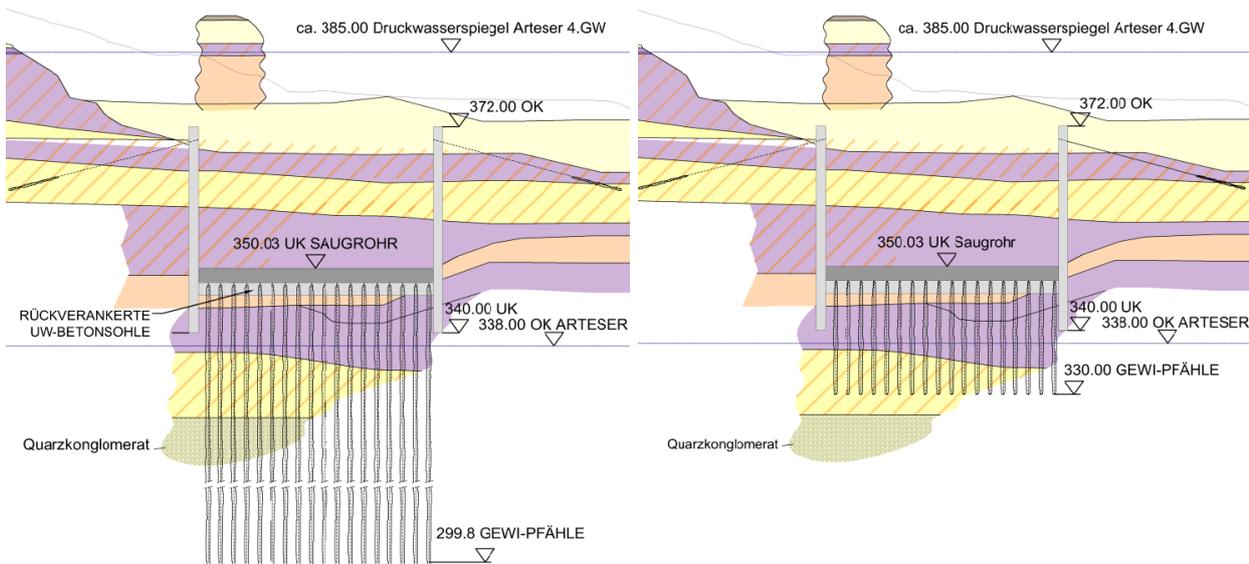


Abb. 3 Baugrubenvarianten mit tief bzw. mitteltief einbindenden GEWI-Pfählen

Durch eine Grundwasserentspannung außerhalb der Baugrube (Variante 2) hätten zwar die Auftriebskräfte und somit die erforderlichen Verankerungsmaßnahmen reduziert werden können, aber eine Unterteilung der Baugrube in mehrere Abschnitte wäre auch in dieser Variante erforderlich gewesen.

Unter der Annahme, dass unter dem Quarzkonglomerat eine durchgängig dichte Schicht vorhanden ist, bot sich die Option einer umlaufenden tief einbindenden Schlitzwand an (Variante 3; siehe Abb. 4). Durch Abpumpen des Grundwassers innerhalb der umschlossenen Baugrube könnte der Sohlwasserdruck auf ein sehr geringes Maß reduziert und die Baugrubensohle unverankert ausgebildet werden. Außerdem könnte die Baugrube einteilig ausgebildet werden, was wesentliche baubetriebliche Vereinfachungen mit sich brächte. Ferner würde durch den geschlossenen Schlitzwandkasten nicht nachteilig in den für Trinkwasserzwecke genutzten Grundwasserkörper eingegriffen.

Nachdem im abschließenden Baugrundgutachten von 2017 die Dichtschicht unterhalb des Quarzkonglomerats bestätigt werden konnte, wurde die Baugrubenvariante 3 mit tief einbindender Schlitzwand weiter ausgeplant und ausgeschrieben.

Um bei der Schlitzwandherstellung einen ausreichenden Gegendruck zum Grundwasserdruck zu erzeugen, hätte die Oberkante des Arbeitsplateaus auf Höhe des Grundwasserdruckniveaus liegen müssen. Dies entsprach im Baufeld des Kraftwerkes Töging einem Niveau von etwa 7 m über dem vorhandenen Geländeniveau. Um eine derartige Aufschüttung zu vermeiden, wurde die Möglichkeit der Erhöhung der Dichte der Schlitzwandsuspension untersucht. Dabei war zu berücksichtigen, dass die Dichte nur soweit erhöht werden kann, wie der Beton die Stützflüssigkeit ausreichend verdrängen kann. Nach ausführlichen Beratungen mit Baufirmen, Geräteherstellern und Suspensionsherstellern, sowie unter Berücksichtigung der Bestimmungen in DIN 1054 und 4126 wurde festgelegt, dass die Suspensionsdichte auf maximal $1,15 \text{ g/cm}^3$ erhöht werden darf. Mit dieser Suspensionsdichte konnte das Arbeitsplateau etwa 5 m tiefer gelegt werden, was den Baubetrieb wesentlich vereinfachte.

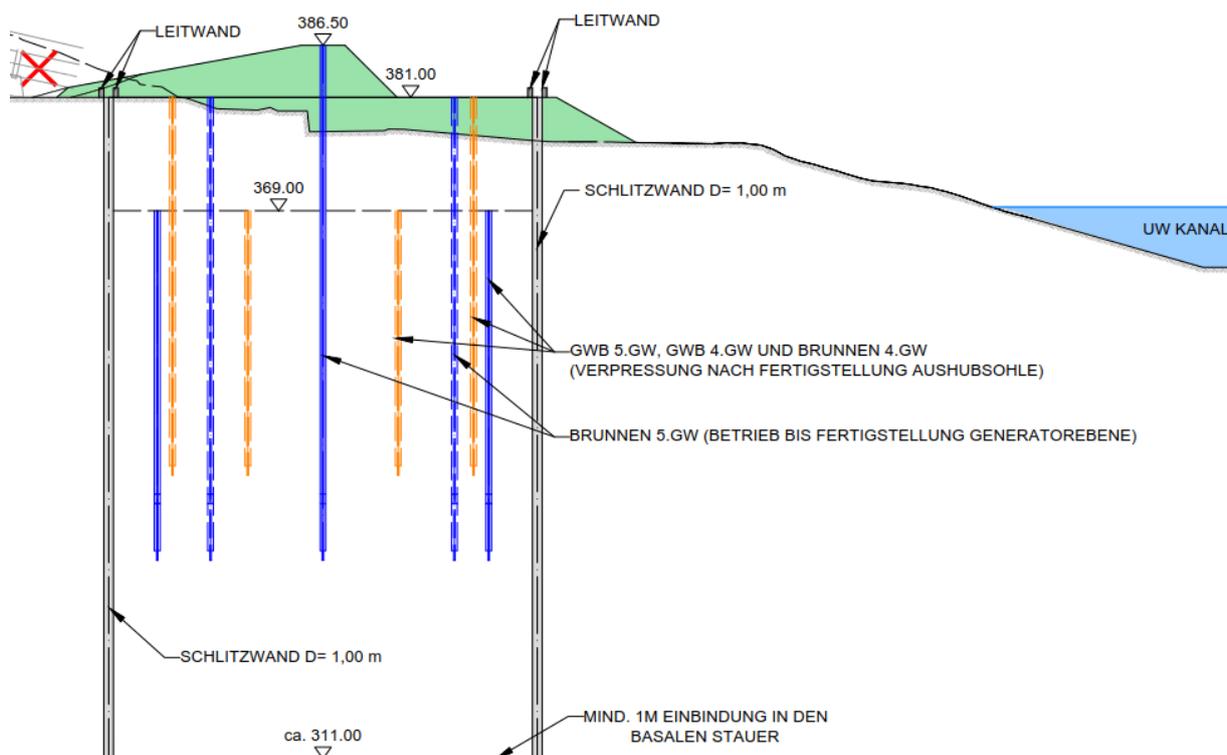


Abb. 4 Baugrubenvariante mit tief einbindender Schlitzwand und Wasserhaltungen innerhalb der Baugrube

Ausgeführte Variante

Die mit der Bauausführung beauftragte Firma entwickelte aus der Variante 3 ein leicht abgewandeltes Baugrubenkonzept mit einer zweisehaligen Lösung, die eine Trennung zwischen Dichtfunktion und statischer Wirksamkeit vorsah. Als äußere Wand diente eine 70 m tiefe in den Grundwasserstauer einbindende (unbewehrte) Dichtwand. An deren Innenseite wurde als statisch tragendes Element eine aufgelöste Bohrpfehlwand mit Großbohrpfählen mit einem Durchmesser von $d = 1,20$ m angeordnet, welche über einen Ringrost ausgesteift wurde (siehe Abb. 5).



Abb. 5 Ausgeführte Baugrube mit Ringrost (Bild Firma Porr GmbH)

2.2 Wasserhaltung Baugrube

Verbunden mit der Planung und der Herstellung der Baugruben war die Konzeption der Wasserhaltungsmaßnahmen während der Baugrubenzeit.

Die Wasserhaltungsmaßnahmen dienten zum Trockenlegen der Baugruben, zur Stabilisierung der Aushubsohlen (Aufbruchsicherheit) sowie zur Gewährleistung der Standsicherheit der Baugrubenumschließungen.

Im Bereich der tiefen Krafthausbaugrube waren geschlossene Wasserhaltungsanlagen für drei, z.T. artesisch gespannte Grundwasserhorizonte erforderlich. Der 5. Grundwasserhorizont als trinkwasserführender Leiter galt dabei als besonders schützenswert. Der Eingriff in diesen Grundwasserhorizont erfolgte daher ausschließlich im Schutze des in den Stauer einbindenden Dichtwandtroges. Hydraulische Verbindungen zwischen dem 5. Grundwasserhorizont und den überliegenden Grundwasserhorizonten waren in jedem Fall zu vermeiden. Unter Berücksichtigung dieser Vorgaben wurde in der Krafthausbaugrube ein engmaschiges Raster aus unterschiedlich tiefen Vertikalbrunnen angelegt.

Zur Gewährleistung der Standsicherheit der Baugrubenumschließungen wurden auch außerhalb der Verbauwände Grundwasserentspannungsbrunnen vorgesehen. Hier waren vor allem in jeweils getrennten Brunnen die Druckhorizonte des 3. und 4. Grundwasserstockwerkes zu entspannen.

Die gesamten Wasserhaltungsanlagen, im Besonderen die geschlossenen Wasserhaltungen mittels Tiefbrunnen, wurden durchgehend betrieben und überwacht. Reserveanlagen und Notstromversorgung wurden für einen gesicherten Betrieb jederzeit betriebsbereit vorgehalten.

Zu diesem Zweck waren in allen mit Absenk- bzw. Entspannungsbrunnen ausgestatteten Baugruben zusätzlich Beobachtungsbrunnen vorgesehen, welche im Bedarfsfall zusätzlich betrieben werden konnten.

Nach Abschluss der Wasserhaltung sind sämtliche Brunnen wieder verfüllt und abgeschlossen worden.

2.3 Baugrubenumschließung

Baugrubenumschließung durch vorhandenes Heberbauwerk

Um den Betrieb des vorhandenen Kraftwerkes während der Bauzeit so lang wie möglich aufrechtzuerhalten, musste eine klare Trennung zwischen dem gefüllten Oberwasserkanal und der Baugrube für das neue Kraftwerk geschaffen werden. So konnten die Druckrohrleitungen, das Krafthaus sowie ein Großteil des Einlaufbauwerkes während des Weiterbetriebs der alten Anlage hergestellt werden. Erst für die Fertigstellung des Einlaufbauwerkes und der Anschlussbauwerke an den OW-Kanal musste der Kanal entleert werden.

Um ausreichend Standsicherheit der oberwasserseitigen Baugrubenseite zu gewährleisten, musste ein Teil der vorhandenen Heberanlage als Trennelement zwischen Oberwasserkanal und neuer Kraftwerksbaugrube erhalten und durch umfangreiche Absteifungs- und Unterfangungsmaßnahmen gesichert werden (siehe Abb. 6). Auch die für den Weiterbetrieb des alten Kraftwerkes erforderliche Infrastruktur (wie z.B. ein unterirdischer Grundwasserstollen im Bau- feld der neuen Anlage) musste gesichert bzw. teilweise umverlegt werden.

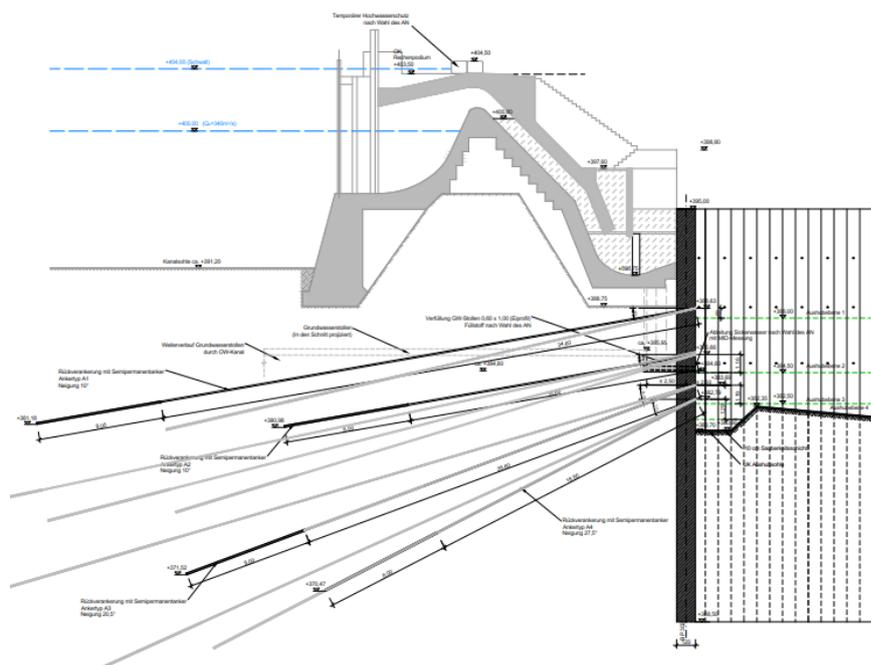


Abb. 6 Verbau für neues Kraftwerk (rechts) mit bestehendem Heber und OW-Kanal (links)

Seitliche Baugrubenumschließung

Als seitliche Baugrubenumschließung beidseitig des zukünftigen Wasserweges wurde ebenfalls eine mehrfach rückverankerte Bohrpfehlwand gewählt. Die Hauptherausforderungen bei Planung und Bau waren dabei das steil abfallende Gelände, die stetig wechselnden Bodenschichten und die angrenzenden Bebauungen, v.a. auf der Seite zum bestehenden Kraftwerk. Um die unregelmäßigen Geometrien und Bodenverhältnisse richtig zu erfassen, wurde die Planung mit Autodesk Revit im 3D-Modell durchgeführt (siehe Abb. 8). Anhand des Geländemodells und der implementierten Bodenschichten konnten so Lage und Neigung der eng gestaffelten Verpressanker bestimmt werden. Anhand der im 3D-Modell durchgeführten Kollisionsprüfungen konnten unzulässige Verpresskörperabstände, Ankerkreuzungen sowie Kreuzungen mit vorhandenen Bauwerken vermieden werden.

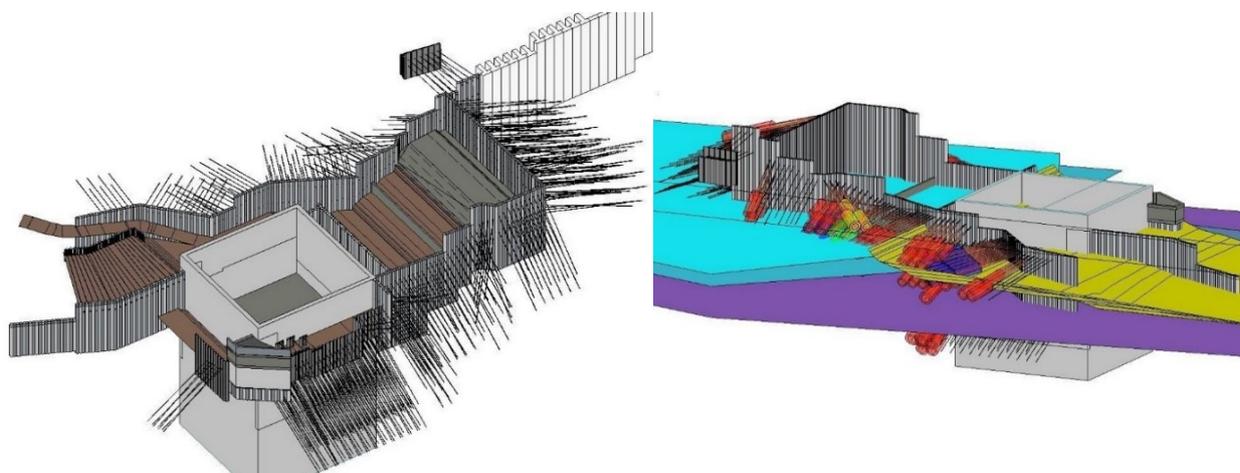


Abb. 7 Baugrubenmodelle im Autodesk Revit mit Baugrundsichten und Ankerkollisionsprüfung

2.4 Rechte Wangenmauer als T-Lamellen-Schlitzwand

Für den Einlauf zum neuen Wasserkraftwerk wurden zunächst verschiedene Systeme für die neu zu errichtende und am rechten Stauhaltungsdamm einzubindende Wangenmauer untersucht. Eine Gewichtsmauer mit anschließender Neuanschüttung des Dammes wurde wegen des inakzeptablen technischen und zeitlichen Bauaufwandes verworfen, ebenso wie eine mithilfe von Zugpfählen verankerte konventionelle Ortbetonschlitzwand, die zu Verformungen weit über den zulässigen Werten geführt hätte.

Letztlich wurde ein Mauerkonzept aus T-förmigen Schlitzwandelementen geplant und ausgeführt (siehe Abb. 8), welches es ermöglichte, trotz großer Mauerhöhen von bis zu knapp 15 m auf Rückverankerungen zu verzichten. Dadurch konnte eine wesentliche Verkürzung der Bauzeit und damit auch der Phase des Kraftwerksstillstandes erzielt werden.



Abb. 8 Lageplan Einlaufbereich KW Töging mit T-Lamellen-Schlitzwand

Die einzelnen aneinandergereihten T-Elemente haben – abgeleitet aus den Greiferabmessungen sowie der Herstellungsreihenfolge – eine Gurtbreite von 3,40 m und eine Steglänge von ca. 3,80 m. Sowohl Steg als auch Gurt wurden mit einer konstanten Dicke von 1,50 m hergestellt. Die maximale Länge eines T-Elementes beträgt ca. 30 m.

Da entgegen den Vorgaben der DIN 19712 keine Sickerwasserfassung und damit direkte Sickerwassermessung installiert werden konnte und eine Überprüfung der Dichtigkeit (bzw. eventueller Fehlstellen) der Schlitzwandkonstruktion nach Herstellung nicht durchgehend möglich ist, waren hohe Anforderungen an die Fugengestaltung zwischen den einzelnen Elementen zu stellen. Im oberen Bereich der Fugen wurden Fugenbänder mittels Abschaltbohle eingebracht. Zusätzlich wurden die Fugen im Anschluss an die Herstellung verpresst.

Eine besondere Herausforderung während der Planung lag in der Ermittlung der Absolut- und Relativverformungen der einzelnen T-Elemente untereinander. Zur realistischen Abschätzung der Verformungen wurde der gesamte Schlitzwandabschnitt mittels einer zusätzlichen 3D-FE-Modellierung mit PLAXIS durch die Baugrund Dresden Ingenieurgesellschaft mbH untersucht. Die maximalen Kopfverschiebungen wurden im FE-Modell mit ca. 0,5 cm ermittelt, bei Relativverschiebungen zwischen den einzelnen T-Elementen von praktisch 0 (< 0,1 mm).

Um in den Bereichen der größten Auskragung die maximalen Biegemomente und damit die erforderliche Biegezugbewehrung auf ein machbares Ausmaß zu reduzieren, wurde hier der

Schlitzwandkopf tiefergelegt und den T-Elementen eine kraftschlüssig verbundene Winkelstützmauer mit großer horizontaler Schenkellänge aufgesetzt (siehe Abb. 9).

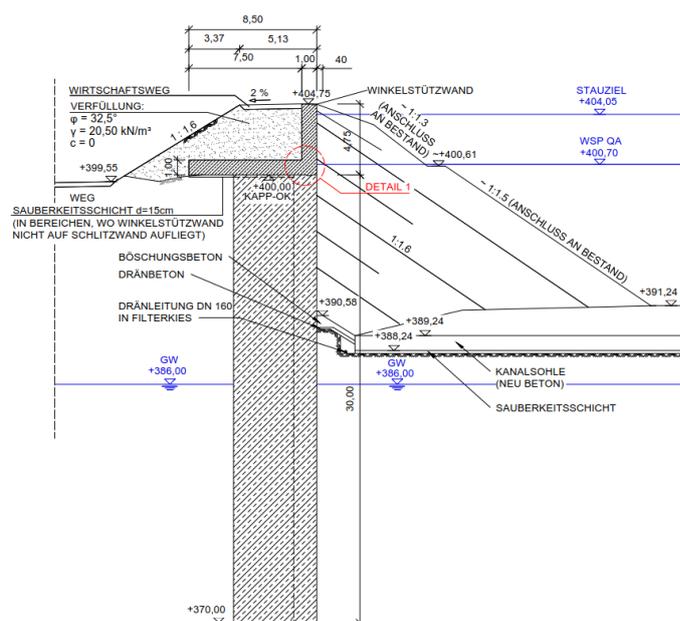


Abb. 9 Querschnitt T-Lamellenwand mit aufgesetzter Winkelstützmauer am OW-Kanal

Mit Blick auf die Ausführung war die Planung der einzubauenden Bewehrung insbesondere auf den Transport sowie auf die Herstellbarkeit bzw. die Einbaubedingungen vor Ort auszurichten. Daher wurden in enger Abstimmung mit der Baufirma gesonderte Bewehrungskörbe für die Längs- und Querlamelle geplant, die jeweils vertikal in drei Körbe unterteilt wurden (siehe Abb. 10). Der Korb für die Längslamelle (Flansch und Anschluss Steg) wurde in gedrungener T-Form anhand der möglichen Transportabmessungen dimensioniert. Der gesamte Bewehrungskorb weist ein Gewicht von knapp 26 t auf. Dies entspricht einem Bewehrungsgehalt von ca. 80 kg/m³.

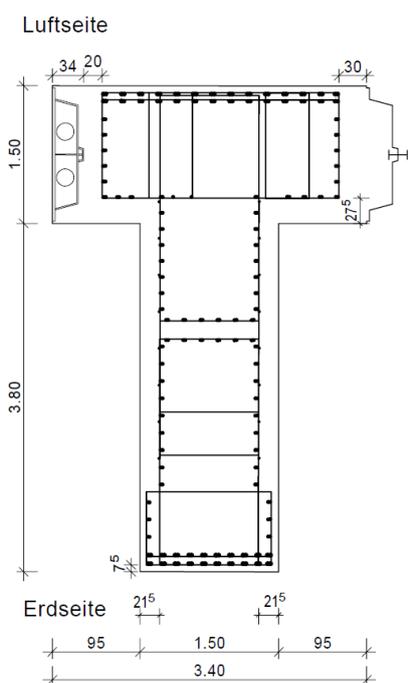


Abb. 10 Anordnung der Bewehrung im T-Element (links), Einbau Bewehrungskorb (rechts; Bild Firma Porr GmbH)

Die Herstellung der einzelnen T-Elemente erforderte einen Durchlaufbetrieb (Einbringen Bewehrung und Betonage im Rahmen einer Schicht), um den Einbau angesichts der großen Suspensions- und Betonkubaturen (bis zu 330 m³) sowie der normativ vorgegebenen maximalen Suspensionsstandzeiten überhaupt zu ermöglichen.

3 Fazit

Während der insgesamt 9-jährigen Planungs- und Bauzeit für die Errichtung des Kraftwerkes Töging konnten die anspruchsvollen Herausforderungen durch qualitativ hochwertiges Engineering erfolgreich gelöst werden. Es wurde eine Kraftwerksanlage nach dem neuesten Stand der Technik geschaffen. Einem erfolgreichen und dauerhaften Betrieb des Wasserkraftwerkes Töging steht daher nichts im Wege!

Literatur

Verbund AG [Hrsg.] Laufkraftwerk Töging [online]. Wien: Verbund AG. www.verbund.com/de-at/ueber-verbund/kraftwerke/unsere-kraftwerke/toeging-neu

Meier, T. (2021) Anwendung aktueller computergestützter Methoden im geotechnischen Planungsprozess am Beispiel des Großprojekts Erneuerung Kraftwerk Töging. Konstruktiver Ingenieurbau KI, H. 2, S. 5–12.

Anschrift der Verfasser

Dipl.-Ing. Matthias Feldmann
Tractebel Hydroprojekt GmbH
Elsenheimerstraße 11, D-80687 München
matthias.feldmann@tractebel.engie.com

Dipl.-Ing. Bernhard Ebner
Tractebel Hydroprojekt GmbH
Elsenheimerstraße 11, D-80687 München
bernhard.ebner@tractebel.engie.com