

SEELEITUNGSBAU

AUSBAU DES SEEWASSERWERKS KESSWIL AM BODENSEE

Das Seewasserwerk Kesswil musste aus Kapazitätsgründen erweitert werden. In diesem Zusammenhang wurden zwei neue Seewasserfassungen erstellt, die das Rohwasser in einer Tiefe von 62 m fördern. Im Rahmen der Projektierung wurden erst wesentliche Randbedingungen wie Topografie, Geologie und Unterwasservegetation abgeklärt.

Richard Staubli, Ingenieurbüro Staubli, Kurath & Partner AG*

RÉSUMÉ

DEUX NOUVEAUX CAPTAGES D'EAU DE LAC – EXTENSION DE LA STATION DE TRAITEMENT D'EAU DE LAC DE KESSWIL EN THURGOVIE

Pour des raisons de capacité, la station de traitement d'eau de lac de Kesswil sur les bords du Lac de Constance a dû être agrandie. À cette occasion, deux nouveaux captages d'eau de lac pompant l'eau brute à une profondeur de 62 m ont été construits. Mais avant la réalisation, il a fallu identifier les contraintes importantes telles que la topographie, la géologie et la végétation subaquatique dans le cadre de la conception de projet.

Composés de tubes en acier DN 600 avec un revêtement intérieur et extérieur, les captages d'eau de lac ont chacun une longueur totale d'environ 1400 m. Le tronçon de conduites d'eau de lac traversant la zone riveraine et long d'à chaque fois environ 500 m a été réalisé sans tranchées. Dans ce cadre, les tronçons ont été introduits d'un seul tenant et d'une seule traite depuis le lac dans les forages préalablement réalisés. Ensuite, les conduites d'eau de lac ont été posées de manière conventionnelle en tranchée ouverte sur le fond du lac, jusqu'à la profondeur de captage souhaitée.

Le concept de nettoyage de l'exploitant prévoit le raclage périodique des conduites. Cela doit permettre d'éviter la colonisation durable de l'intérieur des conduites par les moules quagga. De plus, les ouvrages de captage ont été réalisés de manière à être démontables et peuvent être dégagés relativement facilement pour les besoins de nettoyage.

AUSGANGSLAGE

Die Schweizer Bodenseeanrainer decken ihren Wasserbedarf zum grossen Teil aus dem Bodensee. Vor der Einspeisung ins Trinkwassernetz wird das entnommene Rohwasser in den Seewasserwerken aufbereitet. Das Seewasserwerk Kesswil ist eines davon. Es liegt am thurgauischen Bodenseeufer und wird von der Regio Energie Amriswil (REA) betrieben. Das aufbereitete Seewasser deckt nahezu 90% des Trinkwasserbedarfs in der Region Amriswil. Seit seiner Inbetriebnahme 1952 wurde das Seewasserwerk zweimal umgebaut und technisch ertüchtigt, um den wachsenden Wasserbedarf decken zu können. Der erste Umbau erfolgte 1961 bis 1963, der zweite 1987 bis 1991. Nun fordern neue Herausforderungen einen weiteren Ausbau:

Trockene Sommer, niedrige Wasserstände

Bisher wird das Rohwasser über eine Seewasserfassung DN 400 aus einer Tiefe von rund 32 m gefördert. Die Fassungskapazität hängt dabei direkt vom Seewasserspiegel ab. Die sich häufenden trockenen Sommer mit niedrigen Seewasserständen führten in der Vergangenheit mehrfach zu Versorgungsgängen bei der Abdeckung von Bedarfsspitzen.

Steigender Bedarf

Aktuell liegt der Bedarf bei rund 11 Mio. Litern pro Tag. Gemäss Prognosen dürfte sich der Wasserbedarf bis 2050 aufgrund des

* Kontakt: richard.staubli@wasserbau.ch; www.wasserbau.ch

zu erwartenden Bevölkerungswachstums und der voranschreitenden Klimaerwärmung verdoppeln.

Invasive Quagga-Muschel

Ein weiteres Problem stellt die invasive Quagga-Muschel dar, die sich im Bodensee bereits massiv ausgebreitet hat. Nicht nur überwuchern die Muscheln das Fassungsbauwerk, sie besiedeln auch die Fassungseitung von innen und verkleinern so den Leitungsquerschnitt und mit ihm das Fördervolumen. In der Folge kann das Aufbereitungsvolumen von 720 m³/h, auf welches das Seewasserwerk ausgelegt ist, durch das Quagga-Problem nicht mehr ausgeschöpft werden.

PROJEKTIDEE

Wegen der oben beschriebenen Herausforderungen hat sich die REA dafür entschieden, das bestehende Seewasserwerk erneut auszubauen und auf den neusten Stand der Technik zu bringen. Nebst der Erweiterung der Seewasserfassung und des Seewasserwerks wird landseitig eine neue Transportleitung für das aufbereitete Wasser erstellt. Die Transportleitung mit einer Länge von rund 6 km verläuft nach Amriswil und soll den Trinkwasserbedarf der Region für die nächsten 70 Jahre sicherstellen.

Zudem sollen zwei neue Fassungseleitungen künftig das Rohwasser fördern. Mit einem Querschnitt von je DN 600 verfügen die beiden Leitungen über eine Kapazität von insgesamt 1200 m³/h (600 m³/h pro Fassungseitung). Das Wasser wird neu in einer Tiefe von rund 62 m, also 30 m tiefer als bisher, gefasst werden. *Tabelle 1* zeigt die prognostizierten Wassermengen.

Die heute bestehende Seewasserfassungseitung wird für die Landwirtschaft weiter betrieben. So wird das gefasste Rohwasser ohne Aufbereitung der Land-

wirtschaft als Bewässerungswasser zugeführt werden.

RANDBEDINGUNGEN

TOPOGRAFIE

Im Bereich des Seewasserwerks liegt das Terrain ungefähr auf der Kote 399,20 m über Meer. Von der Parzelle des Seewasserwerks führt eine bewaldete Uferböschung zum See. Vom Ufer verläuft der Seegrund bis zur Halde relativ flach. Nach der etwas steil abfallenden Halde fällt der Seegrund weiter mit einer Neigung von 5–6% ab.

Die vorhandenen Seegrundaufnahmen zeigen örtliche Hügel auf dem Seegrund, die mit der geplanten Leitungsführung umfahren werden. Gemäss archäologischen Abklärungen wurden die Hügel vor ca. 3500 Jahren durch Menschen aufgebaut, als der Seewasserstand des Bodensees noch tiefer lag als heute.

GEOLOGIE

Das geologische Gutachten zeigt einen relativ hart gelagerten Untergrund in Ufernähe. Der Projektperimeter befindet sich im Bereich von grossflächigen Moränenablagerungen, die von einer Deckschicht und zum See hin von Stillwasserablagerungen überdeckt werden. Unter der siltig-sandigen und kiesigen Deckschicht mit einer Mächtigkeit von 1 bis 2 m liegt die obere Moränenschicht aus verschwemmten Moränenablagerungen, die bis in eine Tiefe von 4,5 bis 5,5 m reicht. Die darunter verlaufende Moräne ist hart gelagert. Unterhalb der Moräne steht in einer Tiefe von 8 bis 14 m die obere, aus Mergel bestehende Süswassermolasse an.

Im See sind unterhalb der Deckschicht Flachwassersedimente festzustellen, die mit zunehmender Distanz vom Ufer immer mächtiger werden. Die aufgeschlossenen Schichtdicken betragen 2 bis 5,5 m.

FLORA UND FAUNA UNTER WASSER

Im Rahmen der Projektierung wurde der Bestand der Unterwasservegetation erfasst, beurteilt und deren Besiedlungsdichten protokolliert.

Die gefundenen Makrophytenarten besitzen keinen höheren Rote-Liste-Gefährdungsstatus als «potenziell gefährdet». Die Zusammensetzung der Unterwasservegetation ist für den Bodensee sehr gewöhnlich. Sämtliche vorkommende Arten sind schnellwüchsig. Die Unterwasservegetation erstreckt sich bis in eine Tiefe von rund 18 bis 20 m, wobei ein dichter Bewuchs auf rund 5 m zu finden ist.

Wegen der vorhandenen weitläufigen Verbreitung der Makrophytenarten konnte festgehalten werden, dass die geplanten Baumassnahmen keine Bedrohung für die Populationen darstellten.

Während der Bestandesaufnahme wurde der Boden auch nach Grossmuschelbeständen abgesucht. Im gesamten Projektperimeter wurden keine gesichtet, während die Quagga-Muschel (*Dreissena rostriformis bugensis*) sogar in sehr hohen Dichten anzutreffen war.

QUAGGA-MUSCHEL

In den letzten Jahren hat sich die invasive Quagga-Muschel aus dem Schwarzmeergebiet in einigen Schweizer Seen – darunter auch im Bodensee – stark ausgebreitet. Sie bedroht nicht nur die Fauna und Flora des Sees, sondern schädigt auch Bauwerke und technische Anlagen wie Seewasserfassungen und macht diese funktionsuntüchtig. Im Hinblick auf einen dauerhaften sicheren Betrieb stellt der Leitungsbefall durch Quagga-Muscheln nahezu alle Bodenseewasserwerke vor grosse Herausforderungen.

CHARAKTERISIERUNG DER QUAGGA-MUSCHEL

- Sie kommt vor bis in grosse Wassertiefen (> 60 m)
- Sie überlebt auch bei tiefen Temperaturen.
- Sie wächst pro Woche ca. 1 mm.
- Die Haftungskraft einer Muschel beträgt je nach Grösse zwischen 1 und 1,7 N.
- Nahezu alle Materialien werden von der Muschel besiedelt.

PROJEKTBSCHRIEB

LINIENFÜHRUNG

Aufgrund der oben genannten Randbedingungen (Waldstück am Ufer, Unter-

	Wassermenge [m ³]		
	pro Stunde	20 h Pumpbetrieb	24 h Pumpbetrieb
Sollwert Wasserbedarfsermittlung 2050			
– Bedarfsoption		22 241	
– Maximaler Wasserbedarf			27 503
Zielwert verfügbares Reinwasser	1100	22 000	26 400
Verbrauch Reinwasserproduktion ca. 5–10% (Rückspülungen etc.)	100		
Zielwert Reinwasseraufbereitung und Seewasserentnahme Bodensee	1200		

Tab. 1 Ermittlung des Wasserbedarfs.



Fig. 1 Rohrlager und Rohrschweisplatz in Güttingen.



Fig. 2 Schweissarbeiten am Rohrstrang für grabenlosen Leitungsbau.



Fig. 3 Bohrgerät in der Baugrube am Seewasserwerk in Kesswil.

wasservegetation) wird der Uferbereich vom Seewerk bis in den See, wo die Seeleitungen in 18 bis 20 m Tiefe aus dem Seegrund treten werden, im grabenlosen Verfahren mittels einer Spülbohrung von rund 500 m unterquert. Durch diese Baumethode soll die wertvolle Uferzone vor umfangreichen baulichen Massnahmen wie Leitungsverlegung im offenen Graben bewahrt werden. Danach werden die Seeleitungen auf einer Länge von rund 900 m offen auf dem Seegrund bis zur Erreichung der Fassungsstiefe von 62 m geführt.

Die grabenlose Leitungsführung bedingt eine präzise Bohrplanung. Nicht nur muss ein genügender Abstand zwischen den beiden Leitungen beachtet werden, auch der Bohrungsverlauf muss auf die Geologie abgestimmt werden, und die Bohrungen sollen auf der korrekten Tiefe aus dem Seegrund austreten. Ferner muss bei der Planung von Richtungsänderungen die Materialwahl für die Leitungen berücksichtigt werden.

Die Linienführung im offen verlegten Leitungsabschnitt berücksichtigt die vorhandenen Hügel auf dem Seegrund. Diese werden umfahren. Die beiden Fassungsstandorte haben einen Abstand von mindestens 80 m zueinander, sodass sie sich auch bei Reinigungsarbeiten gegenseitig nicht beeinträchtigen (Fig. 1-6).

MATERIALWAHL

Für die zwei neuen Seewasserfassungen wurden verschiedene Rohrmaterialien geprüft. Die Bauherrschaft entschied sich für ein Stahlrohr (DN 600, 610 × 6,3 mm) mit einer Innen- und Aussenbeschichtung.

Beschichtung aussen

- Epoxidharzprimer
- Haftvermittler
- PE-/PP-Decklage und FZM-Ummantelung (gemäss DVGW-Arbeitsblatt GW340) im Bereich der grabenlosen Verlegung; PE-Umhüllung (gemäss DIN 30670-N-n) im offen verlegten Leitungsabschnitt

Beschichtung innen

- Epoxidharzauskleidung gemäss EN 12944

KORROSIONSSCHUTZ

Der passive Korrosionsschutz wird durch Beschichtung der Stahlrohroberfläche gewährleistet. Zusätzlich werden die Leitungen aktiv gegen die Korrosion ge-

schützt. Hierfür sorgt eine kathodische Korrosionsschutz-(KKS-)Anlage. Sie schützt die Leitungen im Fall einer Beschädigung der Aussen- oder Innenbeschichtung. Für den KKS wurden in Ufernähe im Baugrund auf der Parzelle des Seewasserwerks Fremdstromanoden verlegt, die über ein Kabel mit der KKS-Anlage im Gebäudeinnern verbunden sind. Diese Anoden lösen sich kaum auf und haben somit eine beinahe unendliche Standzeit. Die Seeleitungen wirken dabei als Kathoden.

FASSUNGSBAUWERKE

Auf der Tiefe von 62m wird das Rohwasser über Fassungsbauwerke, sogenannte Seiherkörbe, gefasst. Die Seiherkörbe sind so dimensioniert, dass die Anströmgeschwindigkeit an der Seiheroberfläche unter 0,1m/s liegt, damit keine Kleinfische angesogen werden. Die Fassungsbauwerke stehen jeweils auf einer stabilen Plattform über dem Seegrund. Dadurch wird auch das Ansaugen von Sedimenten verhindert. Bei der Entwicklung der Seiherkonstruktion spielt der notwendige Unterhalt der Seeleitungen eine wesentliche Rolle. Die Seiher lassen sich leicht demontieren und an die Oberfläche transportieren. Ferner verfügen die Seiherkörbe über einen leicht zu öffnenden Deckel. Die Unterhaltsarbeiten an den Seihern sollen künftig mithilfe von Tauchrobotern, den ROV (engl. *remotely operated [underwater] vehicle*), durchgeführt werden.

BETRIEBLICHER UNTERHALT

Der Betreiber hat sich dafür entschieden, mithilfe von regelmässigen Reinigungsarbeiten die Seewasserleitungen und die Fassungsbauwerke möglichst frei von einer dauerhaften Quagga-Besiedlung zu halten. Um einen Bewuchs mit Muscheln zu verhindern, müssen die Leitungen mechanisch gereinigt werden. Dabei müssen die Muscheln möglichst im jungen Stadium, in welchem die Haftungskraft noch gering ist, entfernt werden.

Die beiden Seewasserfassungen sorgen für eine Redundanz während der Wartungs- und Reinigungsarbeiten. Dadurch wird eine dauerhafte Versorgungssicherheit gewährleistet. Für die Reinigungsarbeiten kann jeweils eine der beiden Leitungen temporär vom Netz genommen und geputzt werden.



Fig. 4 Weitere Einrichtungen für die Bohrarbeiten.



Fig. 5 Verwendeter Bohrkopf.



Fig. 6 512-m-Rohrstrang auf der Einwässerungsbahn.



Fig. 7 512-m-Rohrstrang beim Einwassern.



Fig. 8 Zugkopf nach dem Austritt aus der Bohrhöhle in der Baugrube.



Fig. 9 Pontoneinheiten neben dem schwimmenden Rohrlager.

Für die Reinigung der Leitungen werden Molche verwendet. Dabei wird jeweils ein Molch in eine Molchschleuse im Seewasserwerk eingeführt und mithilfe von Wasserdruck durch die jeweilige Leitung befördert. Die notwendigen Bögen der Leitungen werden so ausgebildet, dass die Molche diese Richtungsänderungen problemlos passieren können. Nach dem Durchfahren der Leitung gelangt der Molch in den Seiherkorb. Aufgrund seines Eigenauftriebs kann der Molch durch den zuvor geöffneten Deckel aus dem Seiherkorb steigen und zur Oberfläche aufschwimmen, wo er aufgesammelt werden kann.

REALISIERUNG

ROHRMONTAGE IN GÜTTINGEN

Nahe des Güttinger Hafens wurde ein Rohrschweißplatz für die Seewasserleitungen eingerichtet (Fig. 1). Dorthin wurden die Stahlrohre mit einer Länge von 16 m angeliefert und zu Rohrsträngen zusammenschweißt (Fig. 2). Die Schweißnähte wurden von aussen und innen fachmännisch nachisoliert und geprüft.

Für den grabenlosen Leitungsbau wurden zwei Leitungsstränge von 512 m Länge zusammenschweißt. Die Leitungsstränge der offen auf dem Seegrund verlegten Leitungsabschnitte hatten eine Länge von jeweils 64 m. Nur wenige Rohrstränge wurden aus bautechnischen Gründen kürzer ausgeführt.

GRABENLOSER LEITUNGSBAU

Für die geplante Erweiterung des Seewasserwerks, in dessen Untergeschoss sich die Rohwasserpumpen befinden, wurde eine Baugrube erstellt (Fig. 3). Diese Baugrube konnte zuerst für die Ausführung des grabenlosen Rohrvortriebs verwendet werden. Zunächst erfolgte ein Teilaushub, damit das Bohrgerät über dem mittleren Seewasserspiegel aufgestellt werden konnte. Ferner wurden weitere notwendige Einrichtungen für die Bohrarbeiten (Bohrgestänge, Separier- und Aufbereitungsanlage für Bohrgut, Material- und Werkzeugmagazine, Strom- und Wasserversorgung etc.) im Bereich der Baugrube installiert (Fig. 4). Beim vorliegenden Projekt wurde im ersten Schritt jeweils eine Pilotbohrung (\varnothing ca. 300 mm) in Richtung See bis kurz vor dem Austritt aus dem Seegrund auf einer Wassertiefe von ca. 18–20 m (Bohrlänge ca. 500 m) vorangetrieben.

Anschliessend wurde die Bohrung auf 900 mm aufgeweitet und gereinigt (Fig. 5). Eine bentonitbasierte Stützflüssigkeit sorgte während der Bohrarbeiten für die Standsicherheit der Bohrhöhle und den Abtransport des Bohrguts. Die Baugrundverhältnisse erwiesen sich während der Bohrarbeiten als herausfordernd. Das Bohrgut neigte wegen seines hohen Siltanteils immer wieder zu einer Pfropfenbildung, wodurch der Abtransport des Bohrguts aus der Bohrhöhle verhindert wurde. Durch laufende Anpassung der Bentonitzusammensetzung an die geologischen Gegebenheiten konnten die Bohrarbeiten trotzdem ohne grössere Unterbrechungen durchgeführt werden. Nach dem Aufweiten der Bohrung wurden die letzten Meter der Bohrung, die in weichen Seegrundsedimenten verliefen, mittels Herausstossens des Bohrgestänges überwunden.

LEITUNGSBAU IM SEE

Nebst dem Rohrschweisssplatz wurde in Güttingen eine Einwasserungsbahn für die fertiggeschweissten Rohrstränge bis in den See erstellt (Fig. 6). Diese ermöglichte einen kontrollierten Einwasserungsvorgang in der heiklen Seeuferzone (Fig. 7).

Als Erstes wurde der 512 m lange Rohrstrang für die östliche Seewasserleitung eingewassert und mit Pontons vor das Ufer am Seewasserwerk Kesswil transportiert. Dort wurde der Strang zwischenzeitlich auf dem Seegrund abgelegt, damit die Arbeiten für den Leitungseinzug vorbereitet werden konnten.

Das aus dem Seegrund herausgetretene Bohrgestänge musste zunächst geortet werden. Anschliessend wurde der Bohrkopf durch Berufstaucher geborgen und durch einen Einzugsschlitten getauscht. Daran wurde die Zugeinrichtung befestigt, an welche wiederum der Zugkopf des einzuziehenden 512-m-Strangs montiert war. Nach Abschluss der Vorbereitungsarbeiten für den Einzug wurde der Strang vom Seegrund wieder angehoben, ausgerichtet und in Position gebracht. Mit dem kontrollierten Rückzug des Bohrgestänges wurde der Strang in die Bohrung gezogen (Fig. 8).

Während des Einzugsmanövers halten mehrere Pontoneinheiten den Leitungsstrang in der Schwebe (Fig. 9). Hierfür bedarf es einer perfekten Koordination der Pontonflotte aufseiten des Wasserbauunternehmers, welcher für die Arbeiten



Fig. 10 Vormontierte Seiherplattformen und Seiherkörbe kurz vor der Endmontage.

auf dem See verantwortlich ist.

Für die Vorbereitungsarbeiten des Einzugsmanövers waren jeweils mehrere Tage notwendig. Der Leitungseinzug beanspruchte dagegen jeweils einen resp. einen halben Tag. Nach dem erfolgten Leitungseinzug wurden die kürzeren Leitungsstränge offen auf dem Seegrund verlegt. Von der Einwasserungsrampe gelangen sie schwimmend mithilfe eines Transportpontons zum Verlegeort. Dort wurden sie einzeln abgesenkt, ausgerichtet, an den bereits verlegten Teil der Seeleitung mittels einer Flanschverbindung geschraubt und auf dem Seegrund abgelegt.

Die Seiherkörbe wurden vorgefertigt im Hafen Güttingen angeliefert, dort auf die Plattformen montiert, eingewassert und zum Verlegeort eingeschwommen (Fig. 10). Anschliessen wurden die Plattformen mit Seiherkörben auf die Tiefe von rund 62 m abgesenkt und mit den Leitungen verschraubt.

Die Unterwasserarbeiten wurden durch Berufstaucher ausgeführt, die für Arbeiten in einer Tiefe von über 40 m ausgebildet sind. Die Ausführung der Arbeiten in grossen Tiefen machte den Einsatz einer Tauchglocke erforderlich. Ferner wurde eine Dekompressionskammer für die Dauer der Arbeiten eingerichtet, für den Fall eines Arbeitsunfalls in grossen Tiefen. Diese kam glücklicherweise nicht zum Einsatz.

FAZIT

Die Realisierung des Projekts erforderte ein enormes Fachwissen aller Beteiligten

(Bauherrschaft, Planer, ausführende Unternehmer). Für die Ausführung der Arbeiten wurde ein eingespieltes Unternehmerteam, bestehend aus einem Wasserbau-, Rohrleitungsbau- und Bohrunternehmer, unter der Federführung des Wasserbauers, engagiert. So konnte ein schweizweit einmaliges Projekt im Seeleitungsbau erfolgreich realisiert werden.

Doch neben eines erfahrenen Unternehmerteams sind auch optimale Witterungsverhältnisse notwendig. Wegen der aussergewöhnlich langanhaltenden windigen und stürmischen Wetterlage im Frühjahr 2021 konnte erst nach sechs Wochen Warten der erste Leitungseinzug Ende April erfolgreich durchgeführt werden.

Der zweite Einzug erfolgte Anfang Juli 2021. Die westliche Seewasserfassung ist fertiggestellt und einsatzbereit. Die Arbeiten an der östlichen Seeleitung werden zu Beginn des Jahres 2022 abgeschlossen.

BAUHERR

Regio Energie Amriswil (REA), Amriswil

INGENIEUR

Staubli, Kurath & Partner AG, Zürich

GRABENLOSER LEITUNGSBAU

Schenk AG, Heldswil

SEELEITUNGSBAU/LEITUNGSBAU

Willy Stäubli Ing. AG, Horgen
Josef Muff AG, Sarmenstorf