

Teilabdichtung Glattalpsee

Adrian Stucki, Martina Friedrich, René Hediger und Hans Bless

1 Einführung

Der Glattalpsee stellt das Speicherbecken des 1970 in Betrieb genommenen Wasserkraftwerks Glattalp - Sahli des Elektrizitätswerks des Bezirks Schwyz AG (EBS) dar und weist ein natürliches Speichervolumen von rund 7 Mio. m³ auf. Die geomorphologischen Verhältnisse im Bereich des Glattalpsees führen dazu, dass je nach Wasserstand Sickerverluste von bis zu 700 l/s auftreten. Mit dem bisherigen Kraftwerksbetrieb des Elektrizitätswerkes des Bezirks Schwyz AG (EBS) betragen die jährlichen Sickerverluste knapp 50 % des Wasserdargebotes. Generell führt dies zu Produktionseinbußen und im Besonderen dazu, dass der Glattalpsee in den Wintermonaten trocken fällt und erst im Frühling wieder durch die Schneeschmelze aufgefüllt wird. Die natürliche Versickerung des Wassers im Glattalpsee hat bereits vor der hydroelektrischen Nutzung des Glattalpsees diverse Fachleute beschäftigt. In der Vergangenheit wurden unterschiedliche Abdichtungsmaßnahmen vorgeschlagen und teilweise auch umgesetzt, wobei diese nur eine geringe Wirkung gezeigt haben.



Abb. 1 Glattalpsee

Anhand von geologischen Untersuchungen wurden in den vergangenen Jahrzehnten die Hauptversickerungsstellen lokalisiert. Diese gilt es durch entsprechende Maßnahmen abzudichten, um somit eine deutliche Reduktion der Sickerverluste zu erreichen. Hierdurch soll die nachhaltige Verlagerung der Sommerenergieproduktion in die Wintermonate ermöglicht werden. Es ist geplant, die Hauptversickerungsstellen etappenweise mit geosynthetischen Tondichtungsbahnen abzudecken. Mit der geplanten Teilabdichtung des Glattalpsees sollen Versickerungsflächen in der Größenordnung von ca. 64'000 m² abgedichtet werden. Dies entspricht ungefähr 12 % der Seeoberfläche.

2 Projektgebiet

Die Glattalp liegt auf 1850 m ü.M. oberhalb Bisisthal im Kanton Schwyz in der Gemeinde Muotathal. Der Glattalpsee entstand in einer natürlichen Geländemulde. Die wesentlichen Zuflüsse zum Glattalpsees stellen der hintere Läckibach und der Steinibach dar. Das Einzugsgebiet beträgt ca. 8.4 km², wobei Teile davon unterirdisch in andere Gebiete entwässern. Der einzige Personen- und Materialtransportweg zwischen dem Talboden (Sahli) und der Glattalp bildet heute eine einspurige Seilbahn, welche pro Fahrt Lasten von maximal 5 Tonnen oder 8 Personen zu transportieren vermag.

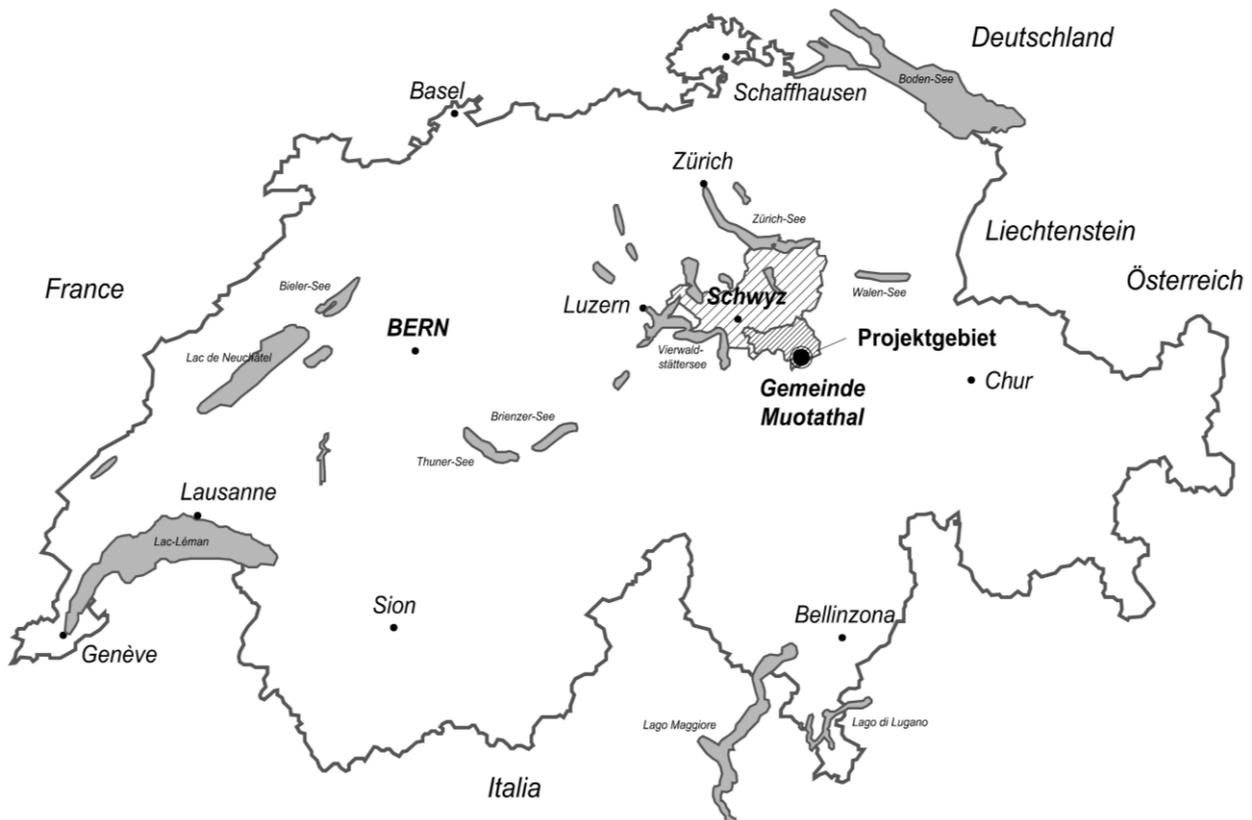


Abb. 2 Übersichtskarte

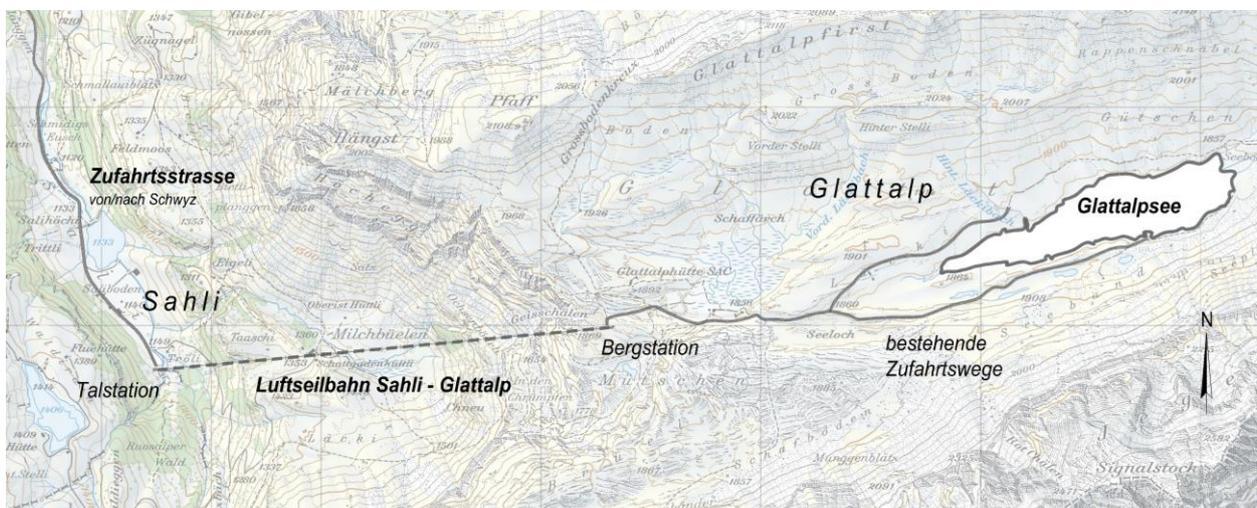


Abb. 3 Projektgebiet

3 Geomorphologie

Der Felsuntergrund des Glattalpsees besteht aus den Zementsteinschichten, die lithostratigraphisch der untersten Kreideformation der Axen-Decke zuzuordnen sind (Berriasien). Diese Formation besteht aus einer unregelmäßigen Wechsellagerung von mergeligen Kalken, Kalkmergeln und Mergelschiefern, insgesamt eine Abfolge aus kalkig-tonigen Mischgesteinen mit unterschiedlichem Tonanteil. Im Vergleich zu dem darunterliegenden Quintner Kalk gelten die Zementsteinschichten als relativ geringdurchlässig und würden theoretisch im Talboden der Glattalp eine abdichtende Wirkung wahrnehmen. Die Mächtigkeit beträgt nach BÖGLI (1958) mindestens 60 m. Die Realität zeigt ein anderes Bild: die gebräunten Zementsteinschichten wurden durch Gebirgsbildung verschuppt, verfaltet und zerbrochen. Sie weisen eine ausgeprägte vertikale Klüftung auf, die quer zur schichtbedingten Anisotropie verläuft und zu bevorzugten Sickerwasserpfeifen ausgestaltet wird. Durch innere Erosion der Kluffüllungen und chemische Lösung der kalkreichen Partien entlang des Fließpfads entstehen sukzessiv immer „schnellere“ Sickerwege, die eine hydraulische Verbindung („Kurzschluss“) zur verkarsteten und hochdurchlässigen Unterlage der Quintner Kalke herstellen. Mit der Zeit entstehen eigentliche Sickerkanäle, die ein verzweigtes Netzwerk von Klüften und Schichtfugen entwässern und an das Karstsystem der darunter liegenden Quintner Kalke anschließen. Das Ausmass der Verkarstung der Quintner Kalke in der Region ist hinreichend bekannt und wurde durch zahlreiche Färbversuche nachgewiesen.

4 Kraftwerk Glattalp

Die Bestrebungen zur Nutzung des Glattalpsees als Speichersee für die Stromproduktion gehen auf das Jahr 1942 zurück. Wirtschaftliche Abklärungen bezüglich der Sickerverluste führten dazu, dass im Jahre 1966 der Bauentscheid für ein Hochdrucklaufkraftwerk gefällt wurde. Das Kraftwerk wurde im Herbst 1970 in Betrieb genommen.

Tab. 1 Technische Daten des Kraftwerks Glattalp

Art	Einheit	Größe
Stauziel Glattalpsee	[m ü.M.]	1860.0
Minimalstau Glattalpsee	[m ü.M.]	1832.0
Bruttogefälle	[m]	723.0
Ausbauwassermenge	[m ³ /s]	1.5
Turbine	[-]	Peltonturbine (horizontalachsig)
Maximale Leistung	[MW]	9.4

Mit dem Kraftwerk Glattalp wird Wasser aus dem Glattalpsee über einen rund 4 km langen Rohrstollen und eine rund 1.3 km lange Druckleitung (Schrägschacht und Rohrstollen) in die Zentrale Sahli geführt, in welcher das Triebwasser mit einer Peltonturbine abgearbeitet wird.

5 Abdichtungssystem

5.1 Allgemeines

Im Rahmen des Vorprojektes zur Umweltverträglichkeitsprüfung wurden unterschiedliche Systeme für die Teilabdichtung des Glattalpsees untersucht und verglichen. Dabei stellten sich die geosynthetischen Tondichtungsbahnen als vergleichsweise umweltfreundlicher und auch wirtschaftlicher heraus. Des Weiteren ist auch die vergleichsweise leichte Handhabung während dem Einbau vorteilhaft.

5.2 Geosynthetische Tondichtungsbahnen

Bei den geosynthetischen Tondichtungsbahnen (auch Bentonitmatten genannt) handelt es sich um industriell gefertigte Geokunststoffprodukte. Sie bestehen im Allgemeinen aus einer oder mehreren pulverförmig oder granulierten Bentonitschichten zwischen zwei Geotextillagen. Alle Komponenten sind vollflächig kraftschlüssig vernadelt. Die Verbundstruktur der Bentonitmatten verhindert eine Umverteilung des Bentonits durch äußere mechanische Einwirkungen im Verarbeitungs- und Gebrauchszustand. Die Dicke der Matten liegt im trockenen Zustand im Bereich von 1 cm. Ihre dichtende Eigenschaft erlangen Bentonitmatten durch die Quellung des Bentonits bei Wasserzutritt unter Auflast. Die von den Herstellern zugesicherten Durchlässigkeitsbeiwerte liegen im Bereich von 10^{-11} m/s.

Die für Bentonitmatten verwendeten Natrium-Bentonite stellen sicher, dass in der Einbauphase eine sofortige Quellwirkung eintritt, um eine umgehende Dichtwirksamkeit zu erzielen und unerwartet auftretende mechanische Beschädigung durch zu robuste Einbaubelastungen sicher abzudichten. Durch Überschüttung mit geeignetem Bodenmaterial werden die Bentonitmatten gegen mechanische Beschädigungen dauerhaft geschützt. Baugrundverformungen können sie aufgrund ihrer Dehnfähigkeit langfristig schadlos folgen. Darüber hinaus besitzen Bentonitmatten ein sogenanntes Selbstheilungsvermögen. Bei Temperaturen unterhalb 0°C gefriert das Wasser in der gequollenen Bentonitmatte und es können Mikrorisse entstehen. Taut die geosynthetische Dichtungsmatte wieder auf, schließt der Bentonit durch Quellvorgänge diese Risse wieder. Nach einer Reihe von Frost-Tau-Zyklen kann ein leichter Anstieg der Wasserdurchlässigkeit (k-Wert) beobachtet werden. Gemäß Angaben der Hersteller liegt dieser Anstieg im Bereich einer Zehnerpotenz, sprich die Durchlässigkeit sinkt auf Werte im Bereich von 10^{-10} m/s. Diese Zunahme ist für die vorliegende Problemstellung vernachlässigbar.

Die vollflächige, kraftschlüssige Schubkraftübertragung und der optimale Kontaktreibungswinkel vernadelter Vliesstoffe ermöglichen den Einsatz auch auf steilen Böschungen. Die Lieferung der geosynthetischen Tondichtungsbahnen erfolgt in Rollen mit Standardabmessungen von ungefähr 5 m Breite und 40 m Länge.

5.3 Aufbau

Zur Teilabdichtung des Glattalpsees wird ein Abdichtungssystem mit folgenden Komponenten vorgeschlagen:

- **Geotextil:** Das Geotextil wird auf den planierten Untergrund aufgebracht. Es verhindert das Ausschwemmen feiner Bestandteile der Aufschüttung und trägt darüber hinaus zur Trennung der einzelnen Materialien bei.

- **Geogitter:** Das Geogitter wird auf das Geotextil aufgebracht und dient der Stabilisierung und Armierung der Tragschicht. Statische Lasten können so großflächig auf den Untergrund verteilt werden. Punktuelle Setzungen, die sich negativ auf die darüber liegenden Dichtschichten auswirken könnten, werden ausgeglichen und folglich abgeschwächt.
- **Tragschicht:** Die Tragschicht stellt das Planum für die Bentonitmatte dar. Sie besteht aus einem weit gestuften Kies-Sand-Gemisch. Sie muss abgezogen, abgewalzt und gegebenenfalls verdichtet werden. Setzungen oder Materialbewegungen in der Fundation werden durch diese Schicht ausgeglichen und haben somit keinen negativen Einfluss auf die Dichtwirkung der geosynthetischen Tondichtungsbahn.
- **Geosynthetische Tondichtungsbahn**
- **Aufschüttung:** Die Aufschüttung besteht aus zwei Schichten, der Ausgleichsschicht (Schutzschicht) und der Deckschicht. Die Deckschicht dient zum Schutz der Dichtschichten gegen Frost- und mechanische Einwirkungen. Sie besteht aus kiesigem Material und besitzt keine Dichtwirkung. Bei Verwendung des vorhandenen Schuttmaterials zur Herstellung der Deckschicht, wird der Einbau einer zusätzlichen Ausgleichs-/Schutzschicht empfohlen. Diese verhindert Beschädigungen der Bentonitmatte durch scharfe Kanten oder Spitzen des aufbereiteten Schuttmaterials der Deckschicht.

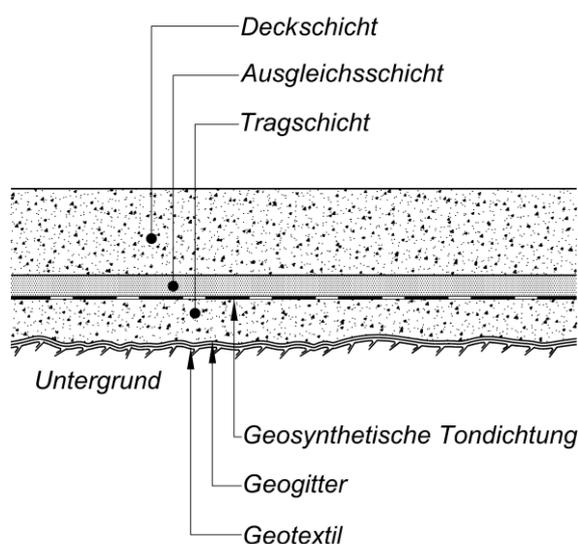


Abb. 4 Genereller Schnitt zur Ausbildung des Schichtaufbaus

5.4 Schüttmaterial

Das erforderliche kiesig-sandige Material kann durch Aufbereitung aus dem in großen Mengen vorhandenem Schuttmaterial im Bereich des Glattalpsees gewonnen und aufbereitet werden. Die Vorteile der gewählten Abdichtungsmethode sind einerseits vergleichbar tiefere Kosten und andererseits weniger Transporte. Mit den entsprechenden technischen Einrichtungen (Brech- und Siebanlage), kann das abgebaute Material in unmittelbarer Nähe zu den späteren Einbauorten qualitativ einwandfrei aufbereitet werden. Es ist geplant, dass bereits ein Jahr vor Beginn der Abdichtungsmaßnahmen mit der Materialgewinnung und Materialaufbereitung begonnen wird. Für die Lagerung des aufbereiteten Schüttmaterials sind drei Zwischenlager geplant (siehe Abschnitt 4.1). Die Aufbereitung von Schüttmaterial wird auch während den Abdichtungsarbeiten stattfinden. Damit das Landschaftsbild erhalten bleibt, darf das Schüttmaterial ausschließlich unterhalb des Stauziels abgebaut werden.

6 Bauvorhaben

6.1 Projektübersicht

Die Hauptversickerungsstellen sollen etappenweise – in sogenannten Abdichtungsphasen, siehe Abb. 5 – abgedichtet werden:

- Abdichtungsphase 1;
- Abdichtungsphase 2 (2A und 2B);
- Abdichtungsphase 3 (nach Bedarf).

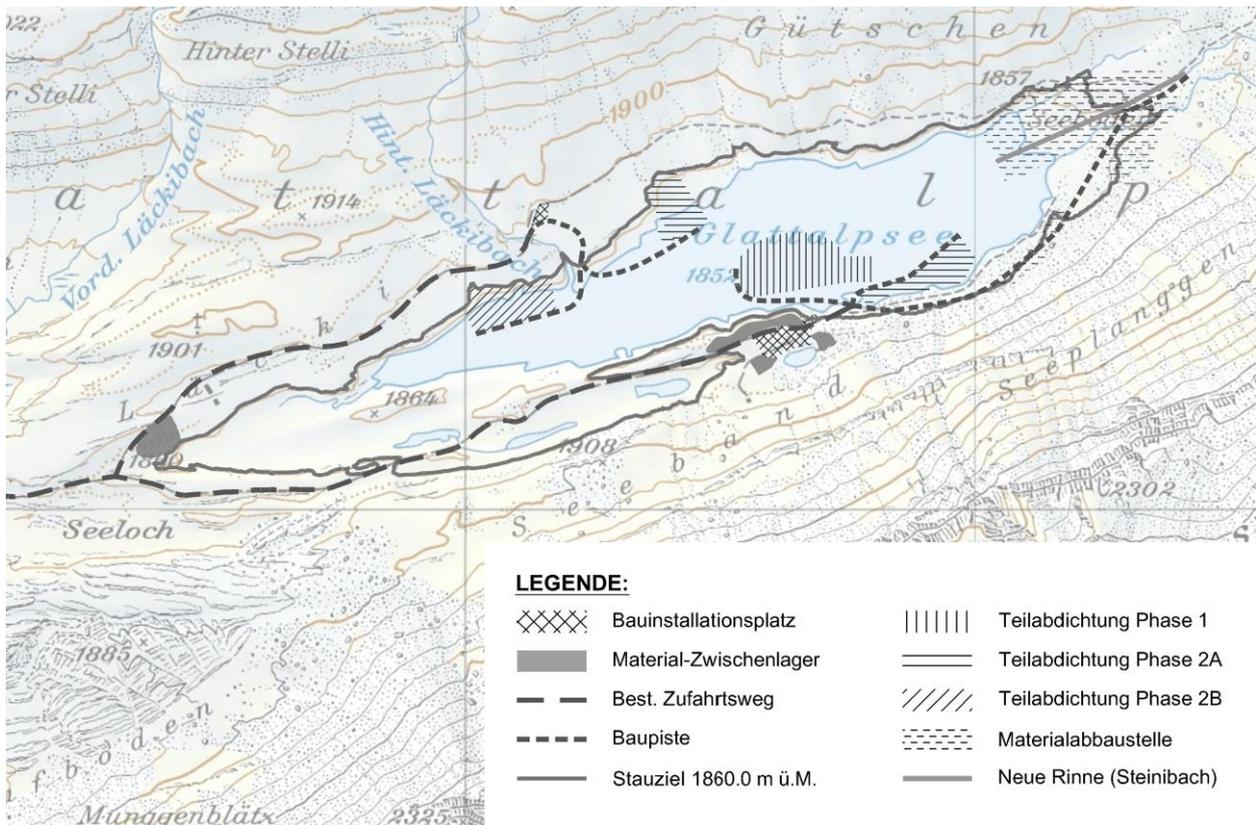


Abb. 5 Projektübersicht

Zwischen der Abdichtungsphase 1 und 2 soll durch eine entsprechende Erfolgskontrolle die Wirksamkeit der umgesetzten Abdichtungsmaßnahmen überprüft werden. Entsprechend der Resultate der Erfolgskontrolle werden die baulichen Aktivitäten abgeschlossen, angepasst oder im Rahmen einer dritten Abdichtungsphase weitergeführt. Mit der (eventuell erforderlichen) Abdichtungsphase 3 könnten weitere kleinere Versickerungsbereiche zusätzlich abgedichtet werden.

6.2 Bauvorgang

Gemäß dem derzeitigen Projektierungsstand ist vorgesehen, dass im Jahr vor den Abdichtungsarbeiten Vorbereitungs- und Installationsarbeiten durchgeführt werden. Dabei werden das bestehende Wegenetz entsprechend den Bedürfnissen des Bauunternehmers ausgebaut (Ausweichstellen, Kurvenverbreiterungen, etc.), Fuß- und Wanderwege verlegt, die Zwischenlager für das aufbereitete Schüttmaterial vorbereitet sowie Bauinstallationsplätze und Baupisten erstellt. In den nachfolgenden Jahren wird jährlich eine Teilabdichtungs-Phase im Glattalpsee

ausgeführt, Dieser Bauablauf richtet sich in erster Linie nach dem durch die Natur gegebenen jährlichen Bauzeitfenster auf der Glattalp, welches sich auf rund 4.5 Sommermonate beschränkt. Ebenfalls sind unerwartete Kälteeinbrüche oder Schlechtwetterperioden wahrscheinlich, welche zu Stillständen und Bauablaufstörungen führen können. Des Weiteren ist zu bedenken, dass der Glattalpsee im Vorfeld der Bauarbeiten abgesenkt oder entleert werden muss. Die Absenkungs- resp. Entleerungsphase nimmt mehrere Wochen in Anspruch.

6.3 Seebewirtschaftung

Die Bewirtschaftung des Glattalpsees wird durch die Abdichtungsarbeiten eingeschränkt. Die Teilabdichtung der Phase 1 befindet sich im tiefsten Bereich des Seebeckens beim Stollen- einlauf des Kraftwerks Glattalp. Vor Beginn der Abdichtungsarbeiten muss der Baustellenbereich trockengelegt werden, was eine Entleerung des Glattalpsees bedingt. Es ist geplant, dass der Baustellenbereich anschließend mit einem Fangdamm umschlossen wird, damit dessen Trockenhaltung und Schutz vor Hochwassern während den Abdichtungsarbeiten gewährleistet werden kann. Da die Krone des Fangdammes deutlich unter dem Stauziel des Glattalpsees liegt, ist dessen Bewirtschaftung während der gesamten Bauphase nur eingeschränkt möglich.

Die Abdichtungsbereiche der Phasen 2A und 2B liegen im Vergleich zu derjenigen der Phase 1 höher. Folglich muss der Glattalpsee für Phase 2A und 2B nicht entleert werden, sondern lediglich abgesenkt werden, was folglich nur eine eingeschränkte Seebewirtschaftung resp. einen eingeschränkten Kraftwerksbetrieb zulässt.

Je nach Ausmaß und Lage der abzudichtenden Stellen, ist auch während der eventuell notwendigen dritten Abdichtungsphase von einer Teilabsenkung des Glattalpsees auszugehen. Diese wird, ähnlich wie bei den anderen Abdichtungsphasen sehr wahrscheinlich über die gesamte Bauzeit anhalten und den Betrieb des Kraftwerks Glattalp beeinträchtigen.

7 Baustellenerschließung

Eine zentrale Herausforderung der Teilabdichtung des Glattalpsees stellt die Baustellenlogistik dar, wobei der Erschließung der exponierten Baustelle eine besondere Bedeutung zukommt. Heute steht für den Transport von Baugeräten, Baumaterialien, etc. ausschließlich die bestehende Luftseilbahn zur Verfügung (siehe Abb. 3). Aufgrund der jährlich zur Verfügung stehenden Bauzeit, ist für die Teilabdichtung des Glattalpsees der Einsatz von leistungsfähigen Baugeräten zweckmäßig. Nach ersten Abklärungen ist der Einsatz von Hydraulikbaggern (ca. 24 t) und Dumpfern (ca. 22 t) sowie einer Brech- und Siebanlage (ca. 28 t) zu rechnen. Für den Transport dieser großen und schweren Baumaschinen reicht die Nutzlast der vorhandenen Luftseilbahn nicht aus. Insofern müssten die Baugeräte in transportierbare Einzelteile zerlegt und auf der Glattalp wieder zusammengebaut werden, was mit einem relativ großen Arbeitsaufwand verbunden wäre. In Anbetracht der eingeschränkten Bauzeit, werden die Baugeräte im Frühling/Frühsummer auf die Glattalp transportiert werden müssen. Während dieser Jahreszeit können die Klima- und Witterungsverhältnisse im Projektgebiet die Tätigkeiten beeinflussen. Aufgrund der diversen mit der Nutzung der bestehenden Luftseilbahn verbundenen Logistikprobleme, wurden die nachfolgend aufgeführten Varianten untersucht:

- Ausbau der bestehenden Luftseilbahn;
- Bau einer temporären Materialeilbahn;
- Transporte mit Schwerlasthubschrauber.

Ein Variantenvergleich brachte hervor, dass der Transport mit einem Schwerlasthubschrauber die kostengünstigste Variante darstellt – sofern die Baugeräte zu Beginn der Bauarbeiten auf die Glattalp und erst nach Bauende wieder ins Tal geflogen werden. Somit würden die Baugeräte während der gesamten Bauzeit auf der Glattalp bleiben, was während den Wintermonaten mit Stillstandmieten verbunden wäre. Ebenfalls wäre ein adäquater Schutz der Baugeräte vorzusehen, da die Temperaturen auf der Glattalp während des Winters zeitweise extrem tief sein können.

Mit höherer werdender Nutzlast steigen die Investitionskosten für den Bau der Materialeilbahn an. Dem gegenüber ist der Transportaufwand der Baugeräte geringer, da diese in weniger Teile zerlegt werden müssen. Unter Verwendung von Kostenschätzungen für die Zerlegung und den Zusammenbau der Baugeräte konnte aufgezeigt werden, dass der Bau einer temporären Materialeilbahn mit deutlich größerer Nutzlast gegenüber den anderen beiden Varianten unwirtschaftlicher ist.

Die Kosten für den Ausbau der bestehenden Luftseilbahn (Erhöhung der Nutzlast auf 10 t) liegen etwa zwischen jenen der ersten beiden Varianten. Wie bei der Materialeilbahn, wurden bei dieser Variante die Kosten für die Zerlegung und den Zusammenbau der Baugeräte und deren Stillstandmieten berücksichtigt. Im Vergleich zu den beiden anderen Varianten kann die Luftseilbahn auch nach Projektbeendigung beispielsweise für Unterhaltsarbeiten oder eventuelle weitere Bauvorhaben genutzt werden. Es ist auch bei dieser Variante zu beachten, dass eine Zerlegung der Baugeräte erforderlich ist.

Zurzeit ist noch nicht abschließend geklärt, welche Erschließungsvariante weiterverfolgt wird.

8 Zusammenfassung und Ausblick

Die Teilabdichtung des Glattalpsees wird in erster Linie von bauleistungsprozessen diktiert, welchen insbesondere in den schwierigen Verhältnissen des Hochgebirges große Bedeutung zugeschrieben werden muss. Auch die Transporte werden für den Bauablauf eine bedeutende Rolle spielen. Deswegen werden weitere Studien für die Baustellenerschließung und das Transportkonzept einen wesentlichen Teil der Vorbereitungsarbeiten in Anspruch nehmen. Weiter wird der Bauablauf noch einmal kritisch überprüft werden müssen, wobei die örtlichen Verhältnisse und die klimatischen Bedingungen nicht außer Acht gelassen werden dürfen. Im Speziellen wird der Bau des Fangdammes detaillierter untersucht werden, da dieser wegen der Geländeform des Seebeckens eine Länge von zirka 550 m aufweisen muss.

Auch wenn gewisse Bedenken bezüglich des Landschaftsbildes zur Diskussion standen, wird der Abbau und die Aufbereitung des Schüttmaterials im Projektgebiet als sinnvoll erachtet. Hierdurch wird während der Bauzeit einerseits die Baustellenerschließung entlastet und andererseits die Anzahl der erforderlichen Lastwagenfahrten maßgeblich reduziert, was positive Auswirkungen auf die Verkehrs- und Lärmbelastung im Raum Muotathal haben.

Ebenfalls muss das Abdichtungssystem in der nächsten Projektphase verifiziert werden. So sind beispielsweise die im Rahmen des Vorprojekts definierten Schichtstärken nochmals zu überarbeiten und aufgrund von Ergebnissen weiterer Baugrunduntersuchungen gegebenenfalls anzupassen.

Literatur

AF-Consult Switzerland AG (2015). Teilabdichtung Glattalpsee, technischer Bericht, Baden, 2015.

AF-Consult Switzerland AG (2015). Bauumleitung, technischer Bericht, Baden, 2015.

AF-Consult Switzerland AG (2015). Erschliessung Glattalp, technischer Bericht, Baden, 2015.

Dr. Von Moos AG (2013). Hydrogeologische Untersuchung im Gebiet Steinibach - Glattalpsee, Zürich, 2013.

Anschrift der Verfasser

Adrian Stucki, dipl. Bauingenieur FH
AF-Consult Switzerland AG
Täferstraße 26, CH-5405 Baden
adrian.stucki@afconsult.com

Martina Friedrich, dipl. Bauingenieur TU
AF-Consult Switzerland AG
Täferstraße 26, CH-5405 Baden
martina.friedrich@afconsult.com

René Hediger, Bereichsleiter Bauwesen
Elektrizitätswerk des Bezirks Schwyz AG
Riedstraße 17, CH-6431 Schwyz
r.hediger@ebs-strom.ch

Hans Bless, Direktor / CEO
Elektrizitätswerk des Bezirks Schwyz AG
Riedstraße 17, CH-6431 Schwyz
h.bless@ebs-strom.ch