Zeitschrift: Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria

Herausgeber: Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband

Band: 105 (2013)

Heft: 3

Artikel: Pumpspeicher-Kraftwerk Lagobianco: Projekt, Erhöhung der Staumauern und Marktumfeld

Autor: Payer, Dominik / Schmidmeister, Markus / Lardi, Luciano

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-941551

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 16.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Pumpspeicher-Kraftwerk Lagobianco: Projekt, Erhöhung der Staumauern und Marktumfeld

Dominik Peyer, Markus Schmidmeister, Luciano Lardi, Sabrina Schellenberg

Zusammenfassung

Das Projekt umfasst die Nutzung der Wasserkraf im ganzen Puschlav, d.h. von der Berninapasshöhe bis zur Landesgrenze mit Italien in Campocologno. Dazu gehört einerseits der Weiterbetrieb der neu zu konzessionierenden, bestehenden Anlagen und andererseits, als Hauptbestandteil des Projekts, der Bau eines neuen Pumpspeicher-Kraftwerks. Bei Letzterem werden die zwei bestehenden Seen, der Lago Bianco und der Lago di Poschiavo, über einen 18 km langen Druckstollen und einen 2.5 km langen Druckschacht zu einem hydraulischem System verbunden. Die Kraftwerkszentrale mit einer installierten Leistung von 1000 Megawatt wird am Ufer des Lago di Poschiavo im Berginnern erstellt. Für die neue Anlage wird das Nutzvolumen im oberen Becken von 18 auf 26 Millionen m^3 vergrössert. Dazu wird das Stauziel im Lago Bianco um 4.35 m angehoben und die bestehenden Staumauern im Norden und Süden entsprechend erhöht. Die Erhöhung der Nordmauer wird in Form eines gezonten Schüttdamms mit einem Betonkern, erhalten aus der Aufbetonierung der bestehenden Mauerkrone, erstellt. Die Südmauer wird durch eine wasserseitige Betonverstärkung und durch die Aufbetonierung der heutigen Krone um 3.5 m erhöht.

Im vorliegenden Beitrag werden das Projekt Lagobianco im allgemeinen vorgestellt, die Teilprojekte für die Erhöhung der zwei bestehenden Staumauern präsentiert sowie Gedanken zum aktuellen energiewirtschaftlichen Umfeld dargelegt.

1. Die Tradition der Wasserkraftnutzung wird fortgesetzt

Die Stromproduktion mit Wasserkraft hat im Puschlav eine lange Tradition. Seit 1907 wird das Wasser im Lago di Poschiavo gefasst und über einen Stollen und eine offen verlegte Druckleitung dem Kraftwerk Campocologno zugeführt. Diese erste Wasserkraftanlage im südlichen Teil des Tals war bei ihrer Inbetriebnahme das grösste Hochdruck-Kraftwerk in Europa. Etwas später wurde auch das Wasser aus dem Einzugsgebiet des Lago Bianco zur Stromproduktion genutzt, wobei bis zum Jahr 1927 die drei Kraftwerkstufen Palü, Cavaglia und Robbia entstanden. Schliesslich wurde die gesamte Kaskade 1950 mit dem Kleinwasser-Kraftwerk Campocologno II ergänzt, welches das Turbinenwasser von Campocologno I und das Gefälle bis zur Landesgrenze nutzt.

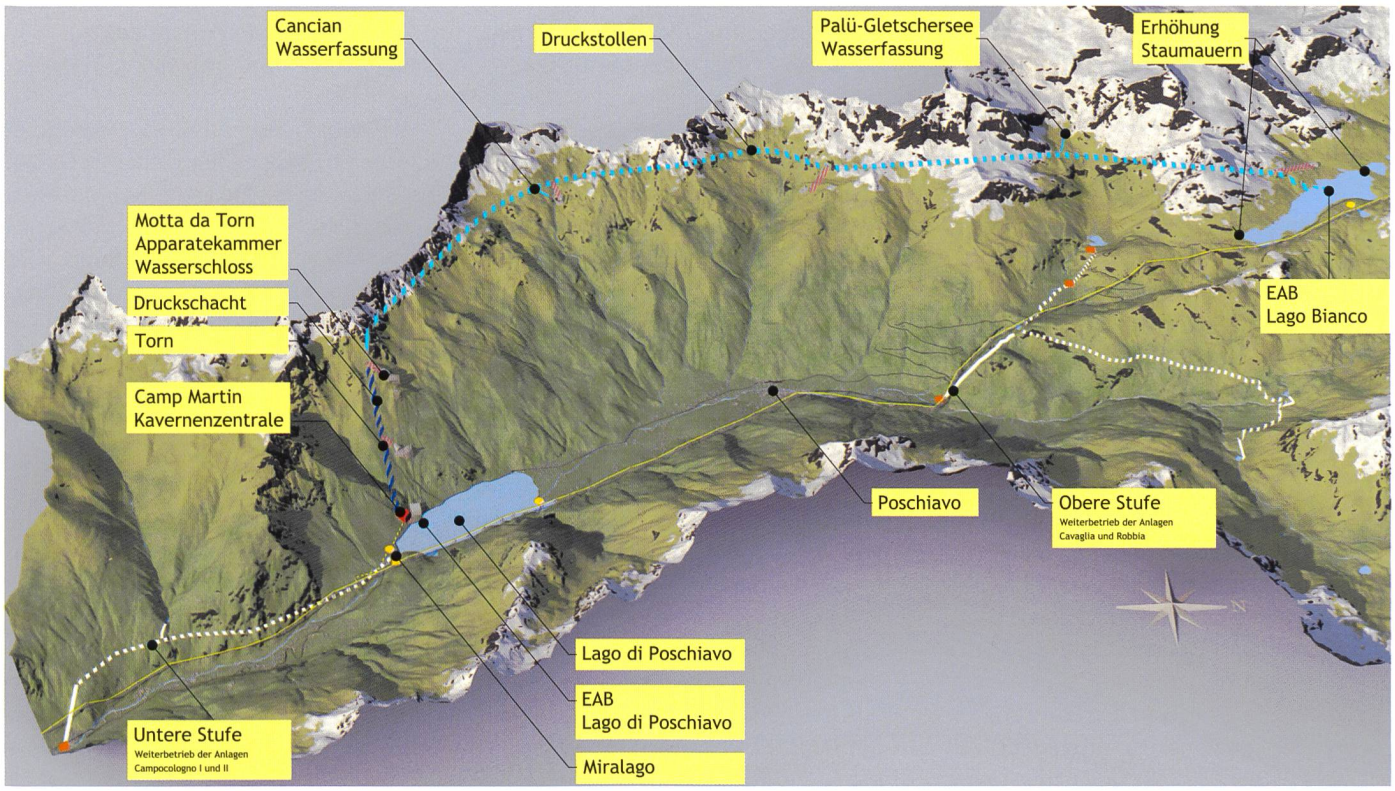


Bild 1. Das Projekt Lagobianco auf einen Blick.

Die Tradition der Wasserkraftnutzung soll im Puschlav mit dem Projekt Lagobianco fortgesetzt werden.

Das Hauptelement des Projekts besteht im Bau eines neuen 1000-Megawatt-Pumpspeicherwerks. Dieses nutzt bereits bestehende Seen: als oberen Speicher den Lago Bianco auf dem Berninapass (aktuelles Stauziel 2234.65 m ü. M.) und als unteren Speicher den im Talboden gelegenen Lago di Poschiavo (aktuelles Stauziel 962.40 m ü. M), wobei die Kapazität des Lago Bianco erhöht wird. Beide Speicher werden auf der rechten Talseite des Puschlavs durch einen ca. 18 km langen Druckstollen und einen ca. 2.5 km langen Druckschacht hydraulisch zusammengeschlossen. Das Herzstück des Pumpspeicher-Kraftwerks, die Zentrale, entsteht beim Lago di Poschiavo als Kavernenzentrale. Die Instandstellung und der Weiterbetrieb der bestehenden Anlagen ist der zweite Bestandteil des Projekts Lagobianco.

Das geplante Pumpspeicherkraftwerk erlaubt es, in Zeiten von Stromüberschuss Wasser vom Lago di Poschiavo 1275 m nach oben in den Speicher Lago Bianco zu pumpen. Hier wird das Wasser gespeichert und genau dann wieder Richtung Lago di Poschiavo geleitet und in der Zentrale turbiniert, wenn Strom benötigt wird.

2. Die wichtigsten Projektbestandteile

Das Pumpspeicherkraftwerk Lagobianco besteht im Wesentlichen aus folgenden Elementen:

2.1. Pumpspeicherkraftwerk zwischen Lago Bianco und Lago di Poschiavo

- Erhöhung der beiden Staumauern am Lago Bianco
  Um das Nutzvolumen des Lago Bianco um ca. 8 Mio. m^3 (von heute 18 auf 26 Mio. m^3) zu erhöhen muss das Stauziel um ca. 4.35 m angehoben werden; dazu werden die beiden Staumauern am Nord- und Südende des Sees entsprechend erhöht.
  Dieser Projektbestandteil wird im nächsten Kapitel des vorliegenden Artikels eingehend behandelt.
- Ein- und Auslaufbauwerk Lago Bianco (EAB LB) und Einlaufstollen
  Im Norden des Lago Bianco, in seinem tiefsten Bereich, wird das Bauwerk zur Wasserentnahme und -rückgabe erstellt. Über den Einlaufstollen wird dieses, gesteuert durch eine Schütze in der Apparatekammer Cambrena, mit dem Druckstollen verbunden.
- Apparatekammer Cambrena
  Erschlossen durch einen ca. 600 m langen Zugangsstollen befinden sich in der Apparatekammer Sicherheitseinrichtungen zum Abschluss des Druckstollens. Sie verhindern, dass der See im Falle eines Bruchs oder sonstiger Unregelmässigkeiten im Druckstollen ausläuft.
- Druckstollen Lago Bianco–Motta da Torn/Wasserfassungen
  Der Druckstollen verläuft auf der rechten Talseite des Puschlavs auf einer Höhe zwischen ca. 2200 und ca. 2075 m ü. M. Er ist 18 km lang und weist im Endausbau einen Innendurchmesser von 6.4 m auf. Der Druckstollen wird im Norden durch die Sicherheitsschütze in der Apparatekammer Cambrena, am Südende durch die Drosselklappe in der Apparatekammer Motta da Torn abgeschlossen. Zusätzlich zu den Zugangsstollen an beiden Extremitäten des Druckstollens sind weitere Zwischenzugänge geplant. Mittels einer Wasserfassung im Palü-Gletschersee sowie im Seitenbach Acqua da Cancian wird dem System zusätzliches Wasser zugeführt.
- Apparatekammer Motta da Torn/Wasserschloss
  Im Bereich der Apparatekammer Motta da Torn am südlichen Ende des Druckstollens erfolgt der Übergang vom betonverkleideten Druckstollen in den gepanzerten Druckschacht. Hier sorgt eine Drosselklappe für Sicherheit gegen Auslaufen des Druckstollens im Fall einer Leckage im Druckschacht zwischen dem Wasserschloss und der Zentrale. Kurz oberhalb der Apparatekammer Motta da Torn ist das höherliegende Wasserschloss angeordnet, worin Druckschwankungen, verursacht durch Durchflussänderungen im hydraulischen System, ausgeglichen werden.
- Druckschacht Motta da Torn–Lago di Poschiavo (Schrägschacht)
  Der gepanzerte Druckschacht mit einem variablen Innendurchmesser von 4.2 bis 3.8 m und einem Ausbruchsdurchmesser von 5.5 m führt, im oberen Teil mit einem Gefälle von 70%, im unteren Bereich von 10%, von der Apparatekammer in Motta da Torn zur Kraftwerkszentrale Camp Martin am Lago di Poschiavo. Er ist insgesamt rund 2.5 km lang und überwindet einen Höhenunterschied von über 1100 m. Ein Zugangsstollen auf halber Höhe in Torn erlaubt den 70% geneigten Teil des Druckschachtes in zwei Abschnitte aufzuteilen, wodurch die Montagearbeiten der Panzerung auf zwei Fronten rascher erfolgen können.
- Kraftwerkszentrale Camp Martin, bestehend aus Trafo- und Maschinenkaverne
  Die Kraftwerkszentrale wird in Camp Martin am Lago di Poschiavo im Berginnern erstellt. In der Trafokaverne sind sechs Maschinentransformatoren untergebracht. In der Maschinenkaverne stehen sechs ternäre Maschinensätze. Diese bestehen aus Peltonturbine, Synchron- Motorgenerator, Wandler und einer Speicherpumpe. Diese Auslegung der Maschinengruppen erlaubt in kurzer Zeit einen Übergang zwischen Turbinen- und Pumpbetrieb, womit eine hohe Flexibilität des Pumpspeicher-Kraftwerks gewährleistet ist.
- Ein- und Auslaufbauwerk am Lago di Poschiavo (EAB LdP)
  Das Ein- und Auslaufbauwerk am Lago di Poschiavo ist in einer steilen Felsuferwand, ca. 250 m nördlich von Camp Martin angeordnet und besteht aus zwei, ca. 30 m voneinander entfernten Bauteilen. Durch die aus seeökologischen Gründen geforderte Tiefenlage von 925 m ü.M. (d.h. rund 30 m unter dem Senkziel) stellt dieses Bauwerk ausführungstechnisch eine grosse Herausforderung dar.
- Energiezu- und -ableitung, Netzanschluss
  Die Anbindung ans 380 kV-Netz erfolgt über ein Unterwerk, welches im Gebiet Golbia unterhalb Miralago vorgesehen ist. Zwischen Golbia und der Kraftwerkszentrale in Camp Martin wird die Energie in einem unterirdisch verlegten Kabelrohrblock von ca. 1.7 km Länge übertragen.

2.2. Instandstellung und Weiterbetrieb der bestehenden Anlagen

Neben dem geplanten Pumpspeicherkraftwerk bildet die Instandstellung und der Weiterbetrieb der bestehenden Anlagen das zweite wichtige Element des Projektes Lagobianco.

Nach Inbetriebnahme des Pumpspeicherkraftwerks Lagobianco wird das Kraftwerk Palü stillgelegt, da das Wasser aus dem Einzugsgebiet des Lago Bianco über Druckstollen und Druckschacht di-

rekt in der Zentrale Camp Martin turbiniert wird. Die Kraftwerke Cavaglia, Robbia sowie Campocologno I und II werden dagegen auch nach dem Bau der neuen Anlage weiterbetrieben. Dazu sind, bedingt auch durch die Neukonzessionierung dieser Anlagen, verschiedene Massnahmen geplant:

- Umbau der bestehenden Wasserfassungen
  Die Wasserfassungen Braita, Salva und Puntalta im oberen Puschlav sowie im Lago di Poschiavo und am Saent im unteren Puschlav werden gemäss den neuen ökologischen und technischen Anforderungen (Restwasserabgabe) umgebaut und saniert.
- Sanierung sowie Ausbau und Ersatz des Triebwassersystems des Kraftwerkes Robbia
  Die Asciali-Leitung, welche das gefasste Wasser der Fassungen Salva (Campobach) und Braita (Poschiavino) nach Puntalta (und Robbia) leitet, wird gemäss umwelttechnischen und wirtschaftlichen Kriterien ausgebaut und saniert. Zusätzlich wird die Druckleitung von Puntalta nach Robbia saniert.

Weitere Projektbestandteile:

- Dotiersee Miralago, Wasserfassung und Kleinwasser-Kraftwerk Crodalöc
  Am Südende des Lago di Poschiavo, bei Miralago, ist ein Dotiersee geplant, welcher die Gewässervernetzung zwischen dem See und dem Unterlauf des Poschiavino sicherstellen soll. Im Crodalöc-Bach wird Wasser gefasst, in einem Kleinwasser-Kraftwerk nördlich von Miralago genutzt und anschliessend zur Speisung des Dotiersees verwendet. Eine unterirdische Leitung ermöglicht einen gesteuerten Seeauslauf bei drohenden Überläufen des Lago di Poschiavo. Sie vermeidet konzentrierte Hochwasserabflüsse im Unterlauf des Poschiavino und stellt somit die Seebewirtschaftung sicher.
- Lago Botul, Revitalisierungen des Poschiavino, übrige Ersatzmassnahmen
  Zum Projekt Lagobianco gehören auch verschiedene Ausgleichs- und Ersatzmassnahmen. So entsteht am Nordende des Lago di Poschiavo mit dem Lago Botul ein Satellitensee, welcher von Seespiegelschwankungen befreit ist und somit einen wichtigen Lebensraum für Flora und Fauna darstellt. Ausserdem sind verschiedene Revitalisierungen am Talfluss Poschiavino sowie weitere Ersatzmassnahmen vorgesehen.

3. Erhöhung des Nutzvolumens des Lago Bianco

Die Vergrösserung des Nutzvolumens des oberen Speichers des geplanten Pumpspeicherkraftwerks stellt einen wichtigen und landschaftsprägenden Bestandteil des Projekts Lagobianco (vgl. vorhergehender Abschnitt) dar und ist für den Betrieb der künftigen Anlage von grosser Bedeutung.

Bestehende Stauanlage

Der Lago Bianco befindet sich auf dem Berninapass auf der Wasserscheide zwischen Schwarzem Meer und Mittelmeer auf über 2200 m ü. M. Zwischen 1910 und 1912 wurden die beiden natürlichen Berninaseen durch zwei aus Zyklopenbeton und Bruchsteinen errichteten Gewichtsmauern Nord und Süd zum heutigen Lago Bianco zusammengeführt und aufgestaut. In den Jahren 1941/42 erfolgte eine erste Erhöhung der beiden Staumauern um rund 4 m auf das heutige Niveau. Der zur Energieproduktion genutzte Saisonspeicher weist beim Stauziel von 2234.65 m ü. M. einen Nutzinhalt von 18 Mio. m^3 auf.

Die in drei Bogen gegliederte Nordmauer hat eine maximale Höhe von 13 m und eine Kronenlänge von 290 m *(Bild 2)*. Im Süden wird der Lago Bianco durch eine bogenförmige, 26 m hohe Gewichtsmauer mit einer Kronenlänge von 190 m begrenzt. Die als freier Stirnüberfall konzipierte Hochwasserentlastung befindet sich im östlichen Mauerbereich der Südmauer. Die Hochwasserentlastung erfolgt über die luftseitige Sammelrinne in eine kurze, getreppte Steilrinne, welche sich anschliessend mit dem Grundablassstollen vereinigt. Luftseitig waren die Mauern ursprünglich mit Granitsteinquadern verkleidet *(Bild 3)*.

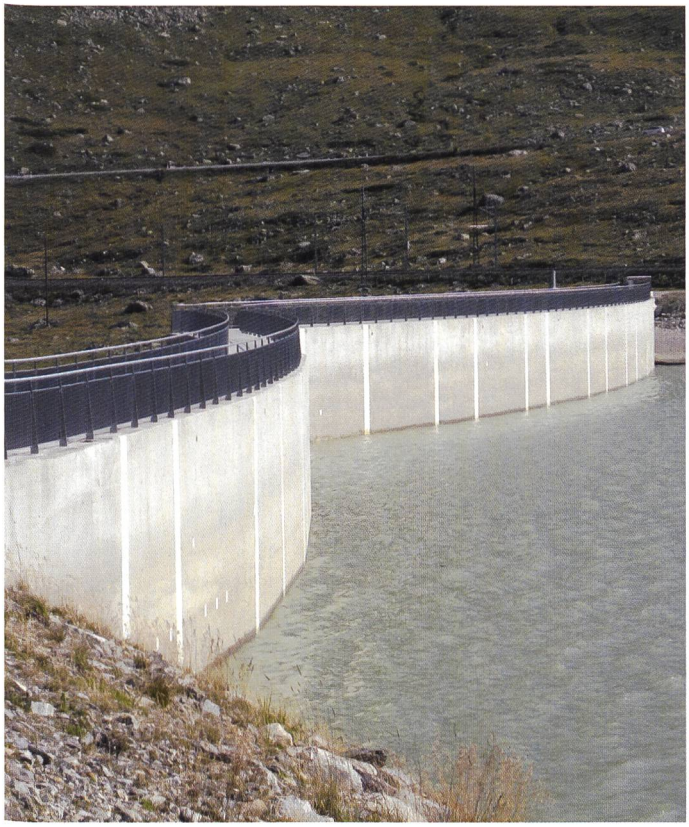


Bild 2. Nordmauer, Wasserseite.

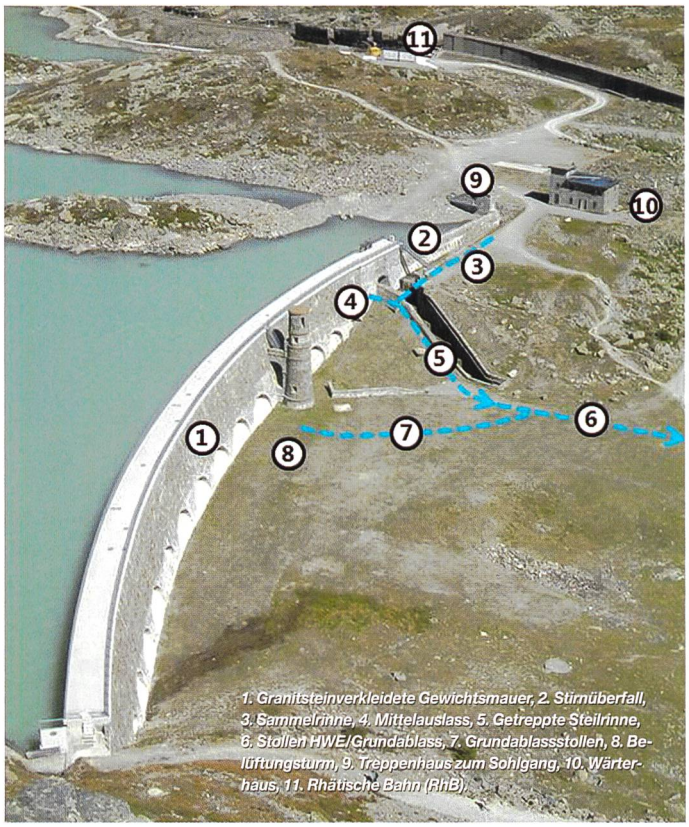


Bild 3. Südmauer, Vogelperspektive.

Das Auftreten einer ausgeprägten Alkali-Aggregat-Reaktion (AAR) führte bei beiden Staumauern in den Jahren 2000/02 zu umfangreichen Sanierungsarbeiten mit dem Ziel, die geschädigte Struktur zu ersetzen und weiteres Eindringen von Wasser in den Mauerbeton und damit ein Fortschreiten der AAR zu verhindern. Die Staumauer Nord wurde dabei auf den oberen 5.25 m abgebrochen und durch abgefugte Betonblöcke mit einer Länge von rund 14.3 m neu aufgebaut und die Fugen wasserseitig mit einem Anstrich aus Flüssigkunststoff versehen. Die Südmauer wurde auf der Wasserseite vollflächig bis auf Höhe der gleichzeitig neu aufgesetzten Kronenplatte mit einer Flüssigfolie abgedichtet. Mit den getroffenen Massnahmen wird ein Fortschreiten der AAR erfolgreich verhindert.

3.1. Allgemeine Projektbedingungen

Zur Vergrösserung des Nutzvolumens von 18 auf 26 Mio. m^3 wird das Stauziel im Lago Bianco um 4.35 m auf 2239.0 m ü. M. angehoben, die Nord- und Südmauer entsprechend erhöht.

Das Beziehungsnetz aus Technik, Sicherheit, Ökonomie, Ökologie, Landschaft und Ästhetik stellte bei der Projektierung eine wesentliche Herausforderung dar. Aufgrund der Lage des Projekts in einer ökologisch sensiblen, hochalpinen Region in einer national geschützten Landschaft (BLN) und durch das Angrenzen an die zum Unesco-Weltkulturerbe gehörende Bernina-Linie der Rhätischen Bahn (RhB) werden neben den technischen auch sehr hohe Anforderungen betreffend die Gestaltung der Bauwerke gestellt. Zudem mussten die Belange von Natur- und Landschaftsschutz sowie denkmalpflegerische Aspekte berücksichtigt werden. Die Projektierung erfolgte deshalb in enger Zusammenarbeit mit einem Architektenteam und Fachspezialisten in Umwelt- und Landschaftsfragen. So konnten insbesondere auch im Hinblick auf die Bewilligungsfähigkeit sämtliche Anliegen optimal berücksichtigt werden. Die projektierten Sperren repräsentieren somit zwei gute Beispiele für eine gelungene, angepasste Auslegung im Talsperrenbau.

3.2. Erhöhung der Staumauer Lago Bianco Nord

Projekt

Für die Erhöhung der Nordmauer hat sich die Erstellung eines gezonten Schüttdamms mit innenliegendem Dichtungskern aus Beton als beste Alternative herauskristallisiert. Ausschlaggebend für die Wahl eines Damms anstelle der Gewichtsmauer ist insbesondere die hohe Verfügbarkeit von Schüttmaterial zur Erstellung des wasser- und luftseitigen Stützkörpers. Diese sollen mit Ausbruchmaterial erstellt werden, das beim TBM-Vortrieb des neuen Triebwasserwegs in unmittelbarer Nähe zum Einbaustandort anfällt. Nicht zuletzt ist die Wahl des Sperrentyps aber auch motiviert durch die landschaftliche Aufwertung des Standorts dank einer sorgfältigen Einpassung des Bauwerks, welche somit auch Zustimmung der Eidgenössischen Natur- und Heimatschutzkommission (ENHK) fand. Vorrangig sind dabei natürlich die (sicherheits-) technischen Anforderungen an das Dammbauwerk, also insbesondere die geometrischen Minimalbedingungen der Stützkörper zur Gewährleistung der Stabilität. Basierend auf den Mindestabmessungen der Stützkörper konnte eine ästhetische, in die Landschaft passende Sichelform entwickelt werden. Für die Dammschüttung kann das als Betonzuschlagsstoff ungeeignete, aufgearbeitete TBM-Material verwendet werden. Dies ist ökonomisch vorteilhaft und reduziert gleichzeitig den Flächenverbrauch für Materialdeponien, wodurch sich lange Transportwege und Umweltimmissionen vermeiden lassen.

Geometrie und Gestaltung

Die luftseitige Dammböschung wird mit einer Neigung von 2:3 möglichst steil ausgebildet; dies aufgrund der geometrischen Randbedingungen, die aus der gegebenen Lage des Betonkerns und dem luftseitig angrenzenden, geschützten Flachmoor Lej Nair hervorgehen, in welches der Böschungsfuss nicht vordringen darf.

Hauptsächlich aus gestalterischen Gründen wird die wasserseitige Böschung mit einer Neigung von 1:2 (oberhalb der Berme) bis 1:3 (unterhalb der Berme) sowie die Breite der Dammkrone mit 8–12 m grosszügig gestaltet. Die Berme,

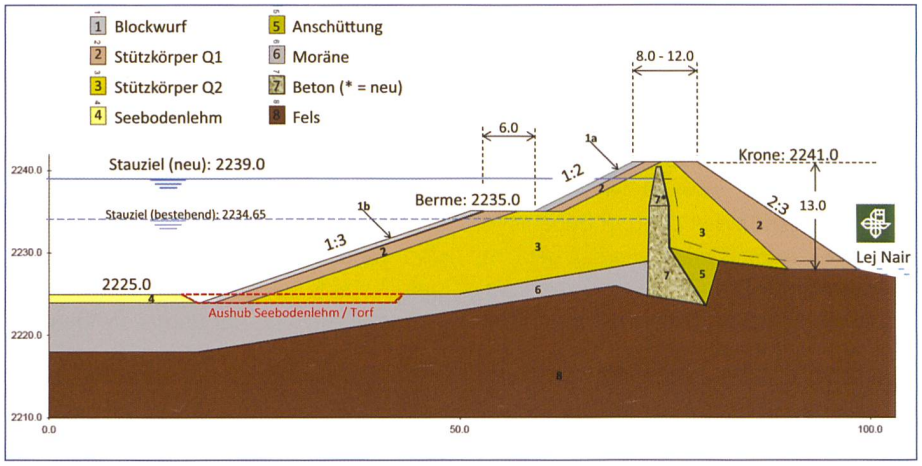


Bild 4. Aufbau des gezonten Schüttdamms.

Material	Beschreibung	Volumen m^3
Beton	*Dichtungskern* Die bestehende und die aufbetonierte Betonstruktur bilden die innenliegende Dichtung. Blockfugen werden zur Vermeidung von Durchsickerungen mit Oberflächenfugenbändern abgedichtet.	3'560
Q1	*Aufbereitetes Stützkörpermaterial* Das gut durchlässige Material mit hohem Reibungswinkel wird durch die Aufbereitung von TBM-Ausbruchmaterial erhalten und luft- und wasserseitig auf der Aussenseite des Damms eingebracht. Luftseitig wird damit die Stabilität des mit 2:3 relativ steil geböschten Damms gewährleistet. Auf der flacheren Wasserseite verhindert die hohe Durchlässigkeit beim Absenken des Wasserspiegels die Entstehung von destabilisierenden Strömungskräften im Stützkörpermaterial. Als Übergangsschicht zwischen Q2 und E erfüllt Q1 zudem die Anforderungen an die Filterstabilität.	33'100
Q2	*Stützkörpermaterial aus dem TBM-Ausbruch* Das Material wird ohne Aufbereitung im Damm eingebaut und bildet den innenliegenden Stützkörper.	86'700
D	*Drainage* Das Material wird durch Aussieben der Feinanteile aus dem TBM-Ausbruchmaterial gewonnen. D-Material wird luftseitig entlang des Dichtungskerns und in Bahnen entlang der Dammfundation bis zum Böschungsfuss eingebaut. Allfälliges Sickerwasser wird so kontrolliert in die entlang des Dammfusses verlegte Sickerwasserleitung abgeführt.	6'000
E	*Erosionsschutz* Der Schutz der wasserseitigen Böschung erfolgt mit einem Blockwurf. Die Grösse des Blockwurfs gegen Wellenschlag basiert im Wesentlichen auf der Höhe der Bemessungswelle und der Steilheit der Blockböschung. Demzufolge sind die Anforderungen an den Blockwurf im oberen Bereich des Damms (1:2) gegenüber dem unteren Bereich (1:3) erhöht.	9'000

Tabelle 1. Schüttvolumen.

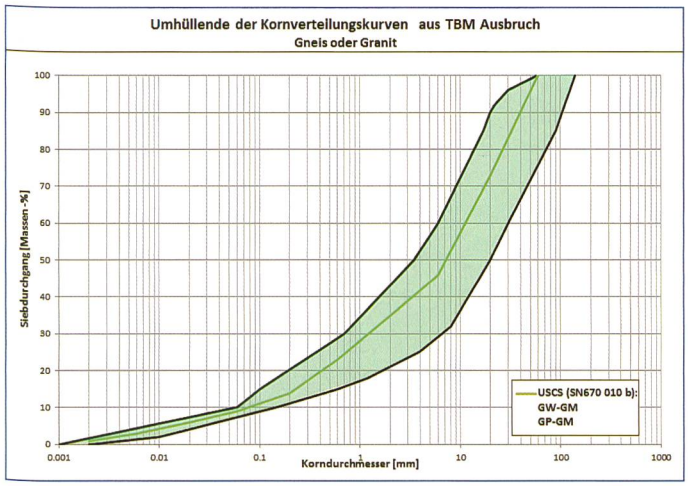


Bild 5. Umhüllende Kornverteilungskurven TBM-Ausbruchmaterial (B-I-G, Büro für Ingenieurgeologie AG, Gümligen).

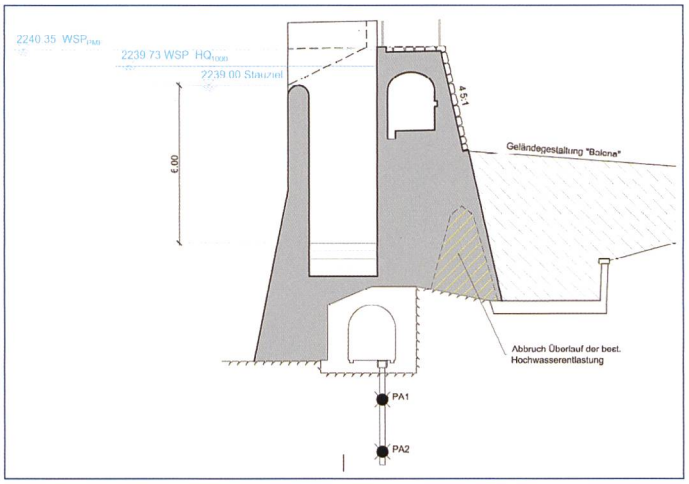


Bild 7. Typisches Querprofil durch die Südmauer mit Hochwasserentlastungsanlage.

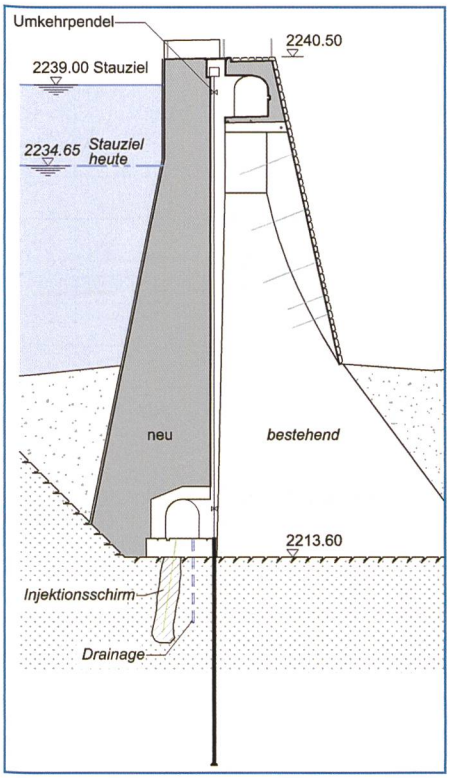


Bild 6. Typisches Querprofil durch die Südmauer.

welche knapp über dem heutigen Stauziel auf 2235.0 m ü. M. erstellt wird, gewährleistet eine durch den Dammbau unbehinderte Zufahrt zum Cambrena-Delta, wo sich das Stollenportal, die Materialbewirtschaftungsstelle, die Materialzwischenlager, die Betonanlage und der TBM-Installationsplatz befinden. Als optisches Element markiert die Berme gleichzeitig den Übergang von geometrisch definierter zu natürlich gestalteter Dammböschung. Neben dem optischen Gewinn bringen eine Berme und eine flachere Böschung auch Vorteile in Bezug auf die Materialanforderungen zur Gewährleistung der Stabilität des Stützkörpers, der durch die schnellen Wasserspiegeländerungen im Pumpspeicherbetrieb einer erheblichen Belastung ausgesetzt ist.

Aufbau des gezonten Schüttdamms

Der Damm weist im Wesentlichen fünf unterschiedliche Materialzonen mit unterschiedlichen Funktionen auf *(Bild 4)*.

Das gesamte Schüttvolumen (ohne Beton) beträgt rund 135 000 m^3.

Beurteilung des Dammschüttmaterials

Mit dem gewählten Baukonzept fällt das für die Dammschüttung verwendete Material erst während des Vortriebs des Triebwasserwegs an. Eine frühzeitige Analyse der Eigenschaften des Dammschüttmaterials wie Reibungswinkel, Kornverteilung, Kornform, Verdichtbarkeit usw. ist somit nicht möglich. Diese Parameter hängen mitunter von den Felseigenschaften, dem Anpressdruck sowie vom Abstand der TBM-Disken ab. Für Stabilitätsberechnungen können gesammelte Erfahrungswerte von Ausbruchmaterial im TBM-Vortrieb bei anderen Projekten herangezogen werden. Diese erlauben die Annahme eines Reibungswinkels von etwa 36°. *Bild 5* zeigt die umhüllende, verschiedener Sieblinien von rohem TBM-Ausbruchmaterial (Gneis oder Granit) im Vergleich mit einer mittleren Kornverteilungskurve eines nach USCS GW-GM/GP-GM klassifizierten Bodens (SN 670 010b).

Bekannte Probleme im Zusammenhang mit der Verwendung von TBM-Ausbruchmaterial für die Dammschüttung sind aus Sicht des Umweltschutzes die Verunreinigung des Materials durch Öl, Fett, Treibstoff oder Schlamm aus der Tunnelentwässerung. Diese muss in der Ausführung durch geeignete Massnahmen möglichst minimiert werden.

Überwachung und Instrumentierung

Zur Kontrolle des Porenwasserdrucks werden im luftseitigen Stützkörper Piezometer versetzt. Das in der Sickerwasserleitung entlang des Böschungsfusses anfallende Sickerwasser wird Schächten in lokalen Tiefpunkten zugeführt und kann dort gemessen und optisch beurteilt werden. Deformationen des Dammkörpers werden mittels geodätischer Vermessung überwacht. Auf der Dammkrone und den Böschungen sind dazu Schächte mit Messbolzen vorgesehen.

3.3. Erhöhung der Staumauer Lago Bianco Süd

Projekt

Während der Nordmauer historisch keine besondere Bedeutung zukommt, ist die Südmauer mit ihrer charakteristischen, luftseitigen Bruchsteinverkleidung aus Granit und dem Belüftungsturm im Objektinventar der kantonalen Denkmalpflege aufgeführt. Dies war unter anderem mit ein Grund, die Südmauer durch eine Betonverstärkung auf der Wasserseite und mittels Aufbetonieren der Krone um 3.5 m zu erhöhen, siehe *Bild 6*.

Der typische Eindruck wird durch die Verfüllung und Verkleidung der Bögen am Mauerfuss und der Verkleidung der Krone mit Granitquadern beibehalten.

Das gesamte für die Erhöhung erforderliche Betonvolumen beträgt etwa 20 000 m^3. Im Endzustand wird ein möglichst monolithisches Verhalten des zusammengesetzten Mauerquerschnitts angestrebt. Dies zu erreichen erfordert den kompletten Abtrag des 2001 wasserseitig aufgebrachten Dichtungsanstrichs mittels Wasserhochdruck, womit gleichzeitig die Betonoberfläche aufgeraut wird. Zusätzlich sorgt ein dichtes Raster aus Verbundankern für einen guten Schubverbund von bestehender und neuer Struk-

Bild 8. Südmauer, Ist-Zustand.

Bild 9. Südmauer, Projektzustand.

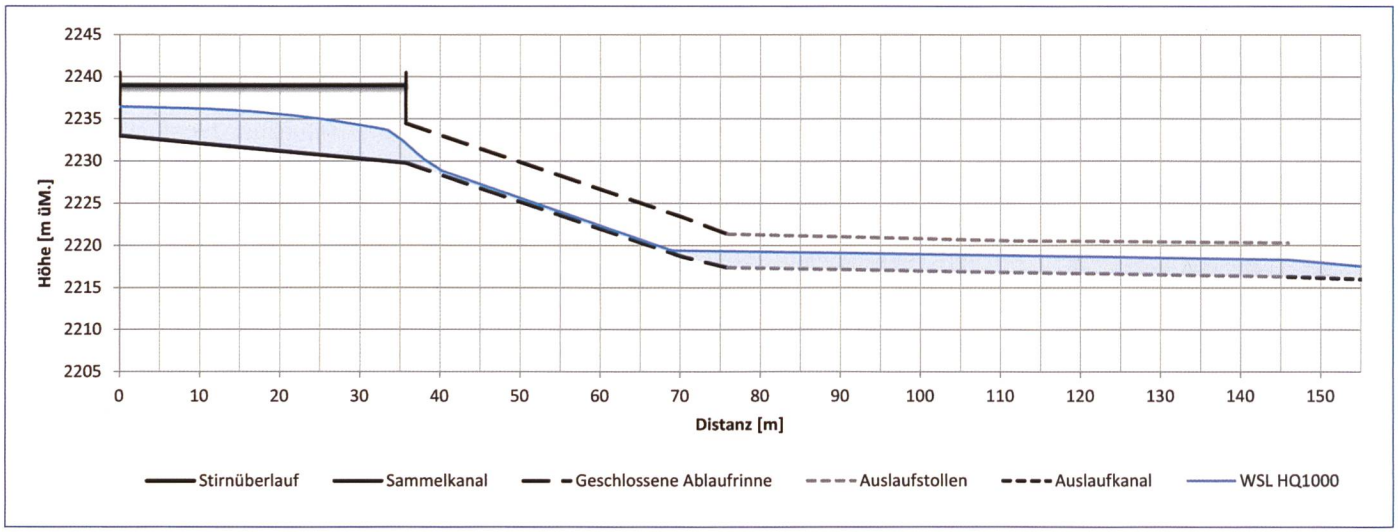


Bild 10. Schematische Darstellung des Ablaufsystems beim Bemessungshochwasser.

auf Höhe der heutigen Krone eine Galerie angeordnet. Die dort liegenden Instrumentenablesestellen zur Mauerüberwachung sind damit weiterhin unverändert und unabhängig von Witterungseinflüssen zugänglich. Infolge des zukünftig höheren Wasserspiegels sind im östlichen Mauerbereich Massnahmen zur Vermeidung von Umläufigkeiten erforderlich. Aus diesem Grund wird nordöstlich der Hauptsperre eine kleine Betonmauer als Nebensperre (Länge: 16 m, Höhe: 8 m) erstellt und die Hauptsperre ostwärts verlängert. Die Kronengalerie wird dabei als Winterzugang zum neuen Ein-/Ausstieg bei der RhB weitergeführt und übernimmt gleichzeitig die Funktion der Abdichtung. Aus landschaftlichen Gründen wird vorgesehen, den Winterzugang, die Nebensperre sowie Relikte/Terraineingriffe aus früherer Bauzeit (Wege, Gebäude) durch eine Geländegestaltung zu überdecken. Im Rahmen der Neugestaltung der Hochwasserentlastung werden auch die heute offenliegenden, luftseitigen Ablaufrinnen mit der Geländegestaltung zugedeckt. Die Geländegestaltung ermöglicht auf diese Weise eine Renaturierung und somit eine landschaftliche und ökologische Aufwertung des Gebiets. Gleichzeitig kann auch hier ein Teil des Ausbruchmaterials, das beim Vortrieb des Triebwasserwegs anfällt, verwertet werden.

Hochwasserentlastung und Hochwassersicherheit

Die Hochwasserentlastung (HWE) ermöglicht das sichere Ableiten von Bemessungs- und Sicherheitshochwasser. Unter dieser Voraussetzung wurde eine Lösung zur Umgestaltung der HWE entwickelt, die auch den hohen architektonischen Anforderungen an das Projekt gerecht wird. Das neue Bauwerk besteht aus einem in den Mauerquerschnitt integrierten, wasserseitigen Stirnüberfall mit Sammelkanal (Länge: 38 m) mit Anschluss an den bestehenden Mauerdurchlass. Die getreppte Ablaufrinne wird abgebrochen und in der gleichen Linienführung ohne Treppen mit einem geschlossenen Rechteckquerschnitt aus Stahlbeton neu erstellt und schliesst an den durch das Projekt unveränderten Auslaufstollen an. Der Abfluss im Fall des Bemessungshochwassers (HQ^{1000}) von ca. 50 m^3/s wird durch das gesamte Ableitsystem im Freispiegel entlastet.

Beim Sicherheitshochwasser ist der Abfluss mit 125 m^3/s rund 2.5-mal grösser als beim Bemessungshochwasser. Dies weil die Grösse des Sicherheitshochwassers nicht auf dem Bemessungshochwasser basiert, sondern anhand einer Niederschlags-Abfluss-Beziehung aus dem maximal möglichen Niederschlag (PMP) im Projektgebiet hergeleitet wurde (siehe dazu: Basisdokument zum Nachweis der Hochwassersicherheit, Bundesamt für Energie BFE, Juni 2008). Im Fall des Sicherheitshochwassers gerät das Ablaufsystem unter Druck, wobei der gesamte Abfluss jedoch ohne die Kronenkote (= Gefahrenkote) zu erreichen, entlastet werden kann.

Die Mauerkrone der Südmauer liegt auf 2240.5 m ü. M. Die Dammkrone im Norden liegt 0.5 m höher auf 2241.0 m ü. M., womit ein Überströmen des Norddamms praktisch ausgeschlossen werden kann. Der Dichtungskern des Norddamms erreicht mindestens die Höhe der Krone der Südmauer. Damit wird gewährleistet, dass sich auch beim Sicherheitshochwasser beim neuen Norddamm keine gefährliche Sickerströmung im luftseitigen Stützkörper einstellt.

Überwachung und Instrumentierung

Die Mauer ist mit Extensometern, Piezometern, Thermometern, Jointmetern und einem Drainagewasser-Messsystem ausgerüstet. Mittels Felsdrainagen wird der Auftriebsdruck in der Fundation unterwasserseitig des Dichtungsschleiers reduziert. Zur Verbesserung der Überwachung der radialen und tangentialen Deformationen wird im höchsten Mauerquerschnitt zudem ein Umkehrpendel installiert, dessen Fixpunkt etwa in 12 m Tiefe unter der Fundation liegt. Für die regelmässige geodätische Überwachung werden auf der Krone in jedem Mauerblock Messbolzen versetzt.

4. Ein Blick auf das Umfeld und die Aussichten

Vor der Inangriffnahme der dargelegten Arbeiten zur Erhöhung des Nutzvolumens des Lago Bianco gilt es, das Gesamtprojekt in allen Bereichen voranzutreiben. Dabei ist auch ein Ausblick auf das momentane energetische Umfeld in Europa angebracht. Dieses bringt grosse Herausforderungen für Projekte wie Lagobianco mit sich.

Die aktuellen Fördermodelle führen dazu, dass Strom aus erneuerbaren Quellen über Abgaben und Steuern finanziert wird. Als Folge davon kommt es zu Marktverzerrungen, der Strompreis sinkt und die Wirtschaftlichkeit von Anlagen, welche nicht von den Fördermodellen profitieren, wird infrage gestellt. Gleichzeitig führt die vermehrte Förderung insbesondere von Sonnen- und Windstrom zu einer Veränderung der Preiskurve, und der klassische Unterschied zwischen «Peak» und «Base» verschwindet. Damit verändert sich auch das Einsatzschema von Pumpspeicher-Kraftwerken. Wurde früher nachts bei niedrigem Verbrauch mit günstigem Strom gepumpt und tagsüber, bei grosser Nachfrage und somit hohen Preisen turbiniert, so entscheidet heute die Verfügbarkeit von Strom aus erneuerbaren Quellen über den Strompreis und dadurch den Einsatz von Pumpspeicherwerken.

Wenn bei Sonnenschein und Wind ein Überschuss an Strom entsteht, kann zu günstigen Preisen gepumpt werden. Umgekehrt läuft das Kraftwerk im Turbinierbetrieb, wenn die Produktion aus Wind- und Photovoltaikanlagen wegen ungünstigen meteorologischen Verhältnissen plötzlich wegfällt und die Strompreise dadurch in die Höhe klettern. Dieser Einsatz der Pumpspeicherwerke ist jedoch nicht nur für einen wirtschaftlichen Anlagenbetrieb relevant – er macht sie auch zu einem essenziellen Baustein der Energiezukunft: denn damit eine Stromversorgung, in der die Produktion vermehrt aus nicht programmierbaren Quellen anfällt, funktionieren kann, braucht es Speicher. Wie «Batterien» müssen diese Strom aus Photovoltaik- und Windanlagen in nachfrageschwachen Stunden aufnehmen, zwischenspeichern und dann wieder freigeben, wenn er tatsächlich benötigt wird. Pumpspeicherwerke übernehmen genau diese Funktion und sind die am Besten bekannte, weitverbreitetste und wirtschaftlichste Speicherform. Im Energiesystem der Zukunft kommt diesen Anlagen auch eine weitere wichtige Aufgabe zu: dadurch, dass sie überschüssigen Strom aufnehmen und diesen in Stunden schwacher Produktion wieder einspeisen können, leisten sie einen bedeutenden Beitrag zur Netzstabilität und somit zur Versorgungssicherheit. Damit kann auch die Rolle der Schweiz als Stromdrehscheibe Europas gefestigt werden.

Dieser Rund- und Ausblick bestätigt die grosse Bedeutung von Anlagen, wie dem im Projekt Lagobianco vorgesehenen Pumpspeicherwerk. Wenn auch die momentanen Marktverhältnisse sehr schwierig sind, so werden solche Anlagen für eine zuverlässige Stromversorgung immer wichtiger. Aus diesem Grund ist auch davon auszugehen, dass sich entweder das Marktumfeld wieder normalisieren wird oder aber weitere, neuartige Fördermechanismen eingeführt werden, sodass ein wirtschaftlicher Betrieb von Pumpspeicherwerken sichergestellt ist. Aus dieser Überzeugung werden die Arbeiten am Projekt Lagobianco in allen Bereichen vorangetrieben.

Anschrift der Verfasser
Dominik Peyer, AF-Consult Switzerland AG, CH-5405 Baden, dominik.peyer@afconsult
Markus Schmidmeister, AF-Consult Switzerland AG, CH-5405 Baden, markus.schmidmeister@afconsult.com
Luciano Lardi
Lagobianco SA, CH-7742 Poschiavo
luciano.lardi@repower.com
Sabrina Schellenberg
Lagobianco SA, CH-7742 Poschiavo
sabrina.schellenberg@repower.com

Im Projekt involvierte Fachspezialisten:
Architekten:
Aurelio Galfetti, Giacomo Zamboni
CH-6900 Massagno
Umwelt/Landschaft:
ecowert gmbh, CH-7013 Domat/Ems
Nina von Albertini, CH-7417 Paspels

Hydraulische Lösungen - alles aus einer Hand

Planen - entwickeln - produzieren

Als innovatives Schweizer Traditionsunternehmen sind wir spezialisiert auf hydraulische Steuerungs- und Antriebstechnik. Ob grosse, komplexe Herausforderungen oder Einzelkomponenten: Jeder Auftrag ist für uns der Wichtigste.
Bei Fragen, Anliegen oder Projekten freut es uns, für Sie da zu sein.

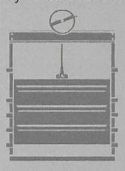
Oelhydraulik Hagenbuch AG, Rischring 1, CH-6030 Ebikon, Tel. +41 (0)41 444 12 00, Fax +41 (0)41 444 12 01
ohe@hagenbuch.ch, www.hagenbuch.ch, www.hydraulikshop.ch

OHE
Oelhydraulik Hagenbuch AG

That's the Wey.

Überall dort, wo flüssige, feststoff- oder gasförmige Medien geregelt, gelenkt, gestoppt oder aufgefangen werden müssen, sorgt Wey mit schweizerischem Qualitätsverständnis für sichere Verhältnisse. Bei Wasser und Abwasser, in der Industrie und bei der Umwelttechnik. Absperrtechnik von Wey ist für höchste Sicherheitsansprüche gedacht und gemacht. Technisch perfekt wie ein Schweizer Uhrwerk. Weil sie jahrzehntelang funktionieren muss. So gut wie sicher.

Wey Plattenschieber



Wey Kanalabsperrorgane

Wey Absperr- und Rückschlagklappen

Wey Wasserwirtschaft und Hochwasserschutz

Wey bietet höchste Sicherheit.
Jeden Tag. Rund um die Uhr.

wey® VALVE INNOVATION_MANAGEMENT

SWISS PERFORMANCE

SISTAG AG, Alte Kantonsstrasse 7, 6274 Eschenbach, Switzerland, Tel +41 41 449 9944, weyvalve.ch

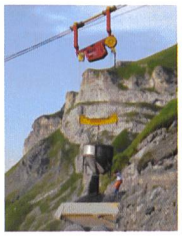
Für Informationsfluss in geordneten Bahnen.

buag-Kommunikations-Full-Service

Für die Konzeption und Realisation von Dokumentationen, Publikationen, Berichten und Broschüren steht Ihnen ein Team von Fachleuten mit einer nahtlosen Netzwerkstruktur zur Verfügung, die sich flexibel auf Umfang und Art Ihres Informationsprojektes einstellen können. Sie halten so Ihren Informationsfluss, aber auch Ihre Budgets in geordneten Bahnen. Informieren Sie sich unter www.buag.ch und verlangen Sie die Broschüre «Die Kommunikation der Information» oder rufen Sie einfach Tel. 056 484 54 54 an.

ZINGRICH
CABLETRANS GMBH

Alte Strasse 28A
info@cabletrans.com
www.cabletrans.com

CH-3715 Reichenbach i.K.
Tel. +41 (0)33 671 32 48
Fax +41 (0)33 671 22 48

- Transportsysteme
- Materialseilbahnen
- Pipelinebau
- Wasserkraftwerke
- Brückenbau
- Schutzbauten