Zeitschrift: Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria
Herausgeber: Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband
Band: 107 (2015)
Heft: 3

Artikel: Zukunft Wasserkraft - "Linthal 2015" : Kraftwerk Linth-Limmern AG
Autor: Wohlkinger, Norbert
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-941848

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: 11.07.2025

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

Zukunft Wasserkraft – «Linthal 2015» – Kraftwerk Linth-Limmern AG

Norbert Wohlkinger

Zusammenfassung

Die Kraftwerke Linth-Limmern AG (KLL) mit Sitz in Linthal ist eine Partnerunternehmen des Kantons Glarus und der Axpo Power AG. Das Unternehmen erweitert seine bestehenden Anlagen mit einem flexiblen, leistungsfähigen Pumpspeicherkraftwerk (Projekt Linthal 2015). Ein neues, unterirdisch angelegtes Pumpspeicherkraftwerk wird Wasser aus dem Limmernsee in den gut 600 Meter höher gelegenen Muttsee zurückpumpen und bei Bedarf zur Stromproduktion nutzen. Das neue Werk wird eine Pumpleistung und eine Turbinenleistung von je 1000 MW aufweisen. Damit wird sich die Leistung der KLL-Anlagen von heute rund 480 MW auf 1480 MW erhöhen. Das entspricht leistungsmässig (jedoch nicht energiemässig) dem Kernkraftwerk Leibstadt oder dem Wasserkraftwerk Cleuson-Dixence. Für die Realisierung wird mit einer Bauzeit von rund sieben Jahren gerechnet. Vorgesehen ist, mit der ersten der vier Maschinengruppen im Dezember 2015 ans Netz zu gehen. Die Maschinengruppen 2 bis 4 werden bis April 2017 den Betrieb aufnehmen. Für die Realisierung waren umfangreiche Bauvorbereitungsarbeiten notwendig, diese umfassten die gesamt Erschliessung der Hochgebirgsbaustellen und Sicherung vor Naturgefahren. Die baulichen Massnahmen (Staumauer, Kavernen, Stollen) sind termingerecht abgeschlossen, zurzeit laufen die Innenausbau-, Montage- und Inbetriebsetzungsarbeiten.

1. Das Projekt

1.1 Kraftwerke Linth-Limmern AG

Die Kraftwerke Linth-Limmern AG (KLL) mit Sitz in Linthal ist eine Partnerunternehmen des Kantons Glarus und der Axpo Power AG. Am Aktienkapital sind der Kanton Glarus mit 15 Prozent und die Axpo Power AG mit 85 Prozent beteiligt. Die erste Anlage der Kraftwerke Linth-Limmern wurde zwischen 1957 und 1968 erbaut. 2009 erfolgte eine erste Anlagenerweiterung mit der Inbetriebnahme des Pumpspeicherwerks Tierfehd. Die verschiedenen Kraftwerksstufen nutzen die Wasserzuflüsse eines rund 140 km^2 grossen Einzugsgebiets im Quellgebiet der Linth. Die durchschnittliche Stromproduktion aus natürlichen Zuflüssen beträgt 460 GWh pro Jahr. Die Bedeutung der KLL für die schweizerische Stromversorgung ist aber weit grösser. Als Speichkraftwerk produziert die KLL vor allem Spitzenenergie. Sie trägt damit entscheidend dazu bei, dass der Stromverbrauch und die Stromproduktion im Gleichgewicht gehalten werden können. Da der Bedarf nach höherer Flexibiltät laufend zunimmt, werden die Anlagen mit einem zusätzlichen leistungsfähigen Pumpspeicherkraftwerk (Projekt Linthal 2015) erweitert.

1.2 Bauvorbereitungsarbeiten

Der Verwaltungsrat der Kraftwerke Linth-Limmern genehmigte im Januar 2008 den Kredit für die Bauvorbereitungsarbeiten über CHF 140 Mio. Mit diesen Arbeiten wurde die Erschliessung und Sicherung der Baustelle realisiert. Damit war die Voraussetzungen geschaffen, dass mit dem Realisierungsprojekt begonnen werden konnte. Wegen des langen und harten Winters 2008/09 waren zeitliche Verzögerungen nicht ganz zu vermeiden. Diese konnten auf den geplanten Beginn der Realisierung für

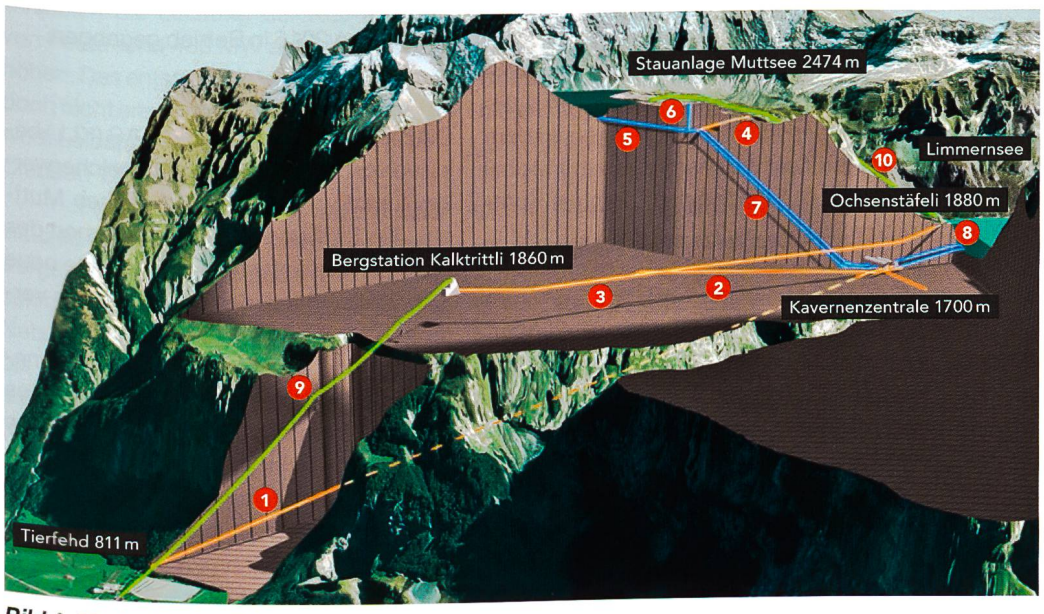

Bild 1. 3D-Grafik des PSW-Limmern.

Bild 2. Die Staumauer November 2014.

das Pumpspeicherwerk Limmern im Spätherbst 2009 rechtzeitig umgesetzt werden.

1.2.1 Massnahmen zur Sicherung vor Naturgefahren

Um auf dem Installationsplatz Ochsenstäfeli auch im Winter arbeiten zu können, waren umfangreiche Schutzmassnahmen erforderlich. Ein Grossteil des 320 Meter langen und 12 Meter hohen Lawinenschutzdammes konnte noch vor dem Wintereinbruch 2009 fertiggestellt werden.

1.2.2 Bauseilbahnen

Für den Materialtransport wurden von Tierfehd nach Kalktrittli und von Ochsenstäfeli zum Muttsee je eine 25-Tonnen-Pendelbahn gebaut. Die Arbeiten an der Bergstation Kalktrittli wurden während des gesamten Winters vorangetrieben. Zwischen Ochsenstäfeli und Muttsee wurde anschliessend eine baugleiche Bauseilbahn erstellt.

1.2.3 Zugangsstollen 2

Vom bestehenden Zugangsstollen 0, Kalktrittli-Ochsenstäfeli, wurde für den Bau der Kavernenzentrale ein neuer, rund 1.8 Kilometer langer Zugangsstollen gebaut. Dieser wurde von zwei Seiten in den Berg vorgetrieben: von oben ab dem Stollen Kalktrittli-Ochsenstäfeli und von unten ab dem Sondierstollen, welcher ins Limmerntobel führt. Der Durchschlag erfolgte im Spätsommer 2009.

1.2.4 Erschliessung Tierfehd

Zur Erschliessung der Grossbaustelle wurden Werkleitungen verlegt und eine Umfahrungsstrasse zur Trennung des Baustellenverkehrs vom öffentlichen Verkehr realisiert.

1.2.5 Modellversuche Pumpturbinen

Die Pumpturbinen, welche im Pumpspeicherkraftwerk Limmern zum Einsatz kommen werden, wurden eigens für dieses Projekt entwickelt. Die Alstom Renewable Schweiz AG erstellte ein Modell im Massstab 1:7, dieses wurde im Februar 2009 in umfangreichen Untersuchungen auf dem Prüfstand der Alstom in Grenoble erfolgreich getestet.

1.3 Netzanschluss

Im Februar 2013 konnten die Holzerarbeiten zur Niederhaltung der Bäume in den künftigen Leitungstrasses im steilen Gebiet abgeschlossen werden. Dazu wurden acht neue Erschliessungsstrassen gebaut. Diese forstlich genutzten Strassen sind nötig für die zukünftige Schutzwaldpflege. Dank ihnen kann das Holz auch in Zukunft für reguläre Holzerarbeiten genutzt werden, ohne dass die neue 380-kV-Leitung dabei tangiert wird. Die 65 Betonfundamente für die Stromasten wurden stellenweise in sehr unwegsamem Gelände gebaut. Bei 13 Masten wurden wegen möglichen Naturgefahren wie Steinschlag, Murgang und Lawinen Schutzbauwerke nötig. Das bedeutet, dass die Masten bis in eine Höhe von fünf Meter ab Boden geschützt werden mussten. Ab Juli 2013 wurden die Strommasten montiert. In bis zu neun Meter langen Bündeln wurden die in Einzelteile zerlegten Masten angeliefert. Der Stahl wurde an drei Standorten gelagert. Die 65 Masten sind mitunter bis zu 89 Meter hoch, ihre Einzelteile wurden für die Montage, wo immer möglich, über Zugangsstrassen angeliefert. Der letzte Strommast wurde im Sommer 2014 fertig montiert, sodass die Hauptarbeiten auf Ende 2014 abgeschlossen werden konnten. Gleichzeitig wurde auf einer Gesamtlänge von 18.4 Kilometer die bestehende 110-kV-Leitung in die Erde verlegt und das Unterwerk Linthal gebaut. Die neue 17.25 Kilometer lange 380-kV-Leitung ist im Frühling 2015 in Betrieb gegangen.

1.4 Realisierung

Die Kraftwerk Linth-Limmern AG (KLL) bestand vor dem Bau des Pumpspeicherwerkes Limmern aus den Kraftwerken Muttsee, Tierfehd und Linthal. Im Rahmen des Realisierungsentscheids wurde eine neue Konzession durch den Kanton Glarus vergeben.

- Das Kraftwerk Muttsee nutzte den natürlichen Wasserinhalt des Muttsees zur Stromproduktion. Es hatte eine Leistung von 4.4 MW. Die Zentrale befand sich in einer Felskaverne, von wo das Wasser in den Limmernsee abfloss. Im Rahmen des Projektes Linthal 2015 ist diese Anlage in der Zwischenzeit stillgelegt worden.

- Das Kraftwerk Tierfehd umfasst zwei Stufen. Die eine Stufe verarbeitet das Wasser aus dem Limmernsee, die andere das Wasser aus dem Ausgleichsbecken Hintersand. Die Kraftwerkstufe Limmern hat eine Leistung von 261 MW, die Kraftwerkstufe Hintersand eine von 40 MW. Nach der Stromproduktion fliesst das Wasser in die im Jahr 2011 weiter ausgebauten Ausgleichsbecken in Tierfehd. Das Wasser aus dem Ausgleichsbecken Hintersand kann bei geringer Stromnachfrage auch in den Limmernsee gepumpt werden.
- Das Pumpspeicherwerk Tierfehd, das 2009 den Betrieb aufnahm, benutzt das bestehende Drucksystem Limmern. Die Maschinengruppe verfügt über eine maximale Leistung von 120/140 MW im Turbinen-/Pumpbetrieb.
- Das Kraftwerk Linthal nutzt das Gefälle zwischen Tierfehd und Linthal. Es hat eine Leistung von 34.4 MW. Nach dem Kraftwerk fliesst das Wasser in das Ausgleichsbecken Linthal und von dort zurück in die Linth.

Die Anlagen der Kraftwerke Linth-Limmern leisten schon heute einen wichtigen Beitrag zur Stromversorgung der Schweiz. Mit dem Ausbauprojekt «Linthal 2015» werden nun die bestehenden Anlagen mit einem zusätzlichen, leistungsfähigen Pumpspeicherkraftwerk erweitert und optimiert. Ein neues, unterirdisch angelegtes Pumpspeicherkraftwerk wird Wasser aus dem Limmernsee in den gut 600 m höher gelegenen Muttsee zurückpumpen und bei Bedarf zur Stromproduktion nutzen. Das neue Werk wird eine Pumpleistung und eine Turbinenleistung von je 1000 MW aufweisen. Damit wird sich die Leistung der KLL-Anlagen von heute rund 480 MW auf 1480 MW erhöhen. Das entspricht leistungsmässig (jedoch nicht energiemässig) dem Kernkraftwerk Leibstadt oder dem Wasserkraftwerk Cleuson-Dixence.

Für die Realisierung wird mit einer Bauzeit von rund sieben Jahren gerechnet. Vorgesehen ist, mit der ersten der vier Maschinengruppen im Dezember 2015 ans Netz zu gehen. Die Maschinengruppen 2 bis 4 werden bis April 2017 den Betrieb aufnehmen. Während der Bauzeit waren teilweise bis zu 600 Personen gleichzeitig auf den verschiedenen Bauplätzen tätig sein. Die Investitionskosten für die Realisierung dieses Grossprojektes betragen CHF 2.1 Mia.

2. Die wichtigsten Ausbauvorhaben

2.1 Muttsee

Eine neue 1025 Meter lange Gewichtsstaumauer ermöglicht die Speicherkapazität des Muttsees von heute 8.76 Mio. auf 26.53 Mio. m^3 zu vergrössern. Die natürliche Seehöhe von heute 2446 m ü.M. wird auf eine Stauhöhe von 2474 m ü.M. erhöht.

2.2 Pumpspeicherwerk Limmern (Kavernenzentrale)

Am Fuss der heutigen Staumauer des Limmernsees, auf ca. 1700 m ü.M. entstand rund 600 m im Berginnern eine neue Kavernenzentrale für die vier Maschinengruppen. Zwei parallel geführte Druckleitungen verbinden den Muttsee mit der Zentrale und zwei 405 Meter lange Unterwasserstollen die Zentrale mit dem Limmernsee. Der Zugang zur Kaverne wird von Tierfehd aus über einen neuen 4036 m langen Zugangsstollen sichergestellt, der mit einer Standseilbahn ausgerüstet wurde.

2.3 Ausgleichsbecken Tierfehd

Das bestehende Ausgleichsbecken wurde durch ein weiteres Becken nördlich des Betriebsgebäudes ergänzt. Die Speicherkapazität konnte von ca. 350 000 m^3 auf ungefähr 560 000 m^3 Wasser erweitert werden.

2.4 Netzanschluss

Die massive Leistungserhöhung, die mit dem Projekt Linthal 2015 verbunden ist, bedingt den Anschluss der Anlagen an das schweizerische Hochspannungsnetz. Heute besteht eine 220-kV-Freileitung von Tierfehd in die Grynau bei Uznach. Für Linthal 2015 ist parallel zur heutigen Leitung eine neue 380-kV-Freileitung von Tierfehd bis in den Raum Schwanden/Sool vorgesehen. Hier wird sie an die bestehende 380-kv-Leitung angeschlossen.

3. Die Herausforderungen eines Grossprojektes

3.1 Baustellenlogistik

Mehr als zehn Bau- und Installationsplätze waren (oder sind) in den sieben Jahren auf der Grossbaustelle gleichzeitig in Betrieb. Der Transport von Geräten, Baumaterial und Personal zu den Bauplätzen erfolgt über eine komplexe Logistikkette. Ab dem Basisinstallationsplatz Tierfehd sind die höher gelegenen Bauplätze nur über Seilbahnen erreichbar. Die Baustellenlogistik basiert auf den Prinzipien der Containerlogistik, ähnlich wie sie in Seehäfen betrieben wird. Abgestimmt auf die Seilbahnkapazität werden für den Gütertransport primär Standardcontainer von bis zu 25 Tonnen eingesetzt. Auch Spezialtransporte mit Gewichten bis zu 40 Tonnen oder für Übergrössen wurden durchgeführt. Von 2010 bis Ende März 2015 wurden 3.3 Mio. Tonnen Material und 1.2 Mio. Personen mit 474 597 Fahrten berg- und talwärts transportiert.

Massengüter wie Zement und Baustahl wurden, um die Umweltbelastung zu reduzieren, mit der Eisenbahn bis zum Bahnhof Linthal angeliefert. In einer eigens dafür vorgesehenen, neu erstellten Halle erfolgte der Güterumschlag auf Lastwagen, welche das Transportgut zum Installationsplatz in Tierfehd brachten. Dort werden auch die Güter angeliefert, die über die Strasse zu Baustelle gelangen. Auf dem Installationsplatz war ein Team von über 70 Logistik- und Transportspezialisten an sieben Tagen in der Woche rund um die Uhr im Einsatz. Die Logistikplanung erfolgte über ein speziell entwickeltes IT-Tool. Aufgrund der beschränkten Platzverhältnisse auf den Bau- und Installationsplätzen mussten die Güter «just in time» in Tierfehd eintreffen. Auf diesen Transportwegen wurden rund 100 000 Tonnen Zement und 40 000 Tonnen Stahl sowie die Baumaschinen und Anlagen transportiert. Grosse Geräte, wie z.B. die Tunnelbohrmaschine für die Druckschächte oder die beiden 180 Tonnen schweren Raupenkrane für den Staumauerbau, mussten für den Seilbahntransport in entsprechend kleinere Teile zerlegt werden. Neben dem Transport des grossen Gütervolumens musste auch ein effizienter Transport für die Bauarbeiter und Montageequipen sichergestellt werden. Die Seilbahnen werden zwei Mal jährlich einer Inspektion und Revision unterzogen. Neben den Transportaufgaben ist laufend die Stromversorgung der einzelnen Installations- und Bauplätze sicherzustellen.

3.2 Baustellensicherheit

Die Grundlage für die Baustellensicherheit bildet die spezifische Sicherheitsdokumentation für Linthal 2015. Diese beinhaltet unter anderem Themen wie den Gesundheitsschutz der Arbeiter, den Sprengvortrieb, die Notfallplanung, den Umgang mit Starkstrom (auf der Baustelle wird mit 16 kV gearbeitet), den Baustellenverkehr sowie die ganzen Schadstoffthemen und die Klimasituation in den Stollen. Die Hauptaufgabe des Sicherheitsbeauftragten Linthal 2015 ist die Umsetzung,

Überwachung, Koordination und Kontrolle des Sicherheitskonzeptes. Rund um die Uhr sind bis zu zwei Rettungssanitäter des Kantonsspitals Glarus inklusive Rettungswagen im Einsatz. Eine Grubenwehr ist bei Bedarf sofort vor Ort, um die Bergung und Rettung von Personen übernehmen zu können. Die mit der Baustellensicherheit beauftragten Personen werden periodisch mit Übungen auf einen allfälligen Ernstfall vorbereitet. Damit die Kommunikation sichergestellt werden kann, wird ein Funk-, GSM- und Festnetz unterhalten und betrieben.

3.3 Naturgefahren

Unter anderem waren im Winter 2011/12 aufwendige Scheeräumungen auf der Muttenalp notwendig, damit die Anlieferung des Ausbruchmaterials für den Staumauerbau den ganzen Winter sichergestellt war. Während des ganzen Winters lagen über vier Meter Schnee am Muttsee. Zudem waren zur Sicherung der Baustelle zahlreiche Lawinensprengungen notwendig. Insgesamt wurden durch den Lawinendienst 150 Sprengungen ausgelöst.

3.4 Umwelt-Monitoring

Auf Basis des Umweltverträglichkeitsberichtes wird laufend die Einhaltung der Bewilligungsauflagen überwacht. Bei Projektänderungen wird überwacht, dass die Umwelt nicht zusätzlich belastet wird.

3.5 Verfolgung der Kostenentwicklung

Für dieses Grossprojekt wurde ein Controlling-Instrument auf Basis SAP/PS/MM/BW entwickelt, das die Projektoberleitung, Gesamtprojektleiter, Projektleiter, Vertragsmanager und Controller bei der Abwicklung von Projektänderungen und Nachträgen (Zusatzofferten und – forderungen) unterstützt. Dank diesem System werden die Prognose der Endkosten und die Abweichungsanalyse laufend nachgeführt. Den Projektleitern und Vertragsmanagern steht ein laufend nachgeführtes Zusatzofferten-Cockpit und Vertragscontrolling zur Verfügung, auf dem der Verhandlungsstand der Zusatzofferten- resp. -forderungen ersichtlich ist. Dies mit gleichzeitigem elektronischem Zugriff auf die relevanten Dokumente. Auf der gleichen Basis stehen der Projektoberleitung und den Gesamtprojektleitern Reports mit dem Kredit, der aktuellen Prognose sowie deren Entwicklung, dem Ist-Kostenstand, der Obligo sowie der Teuerung und den erwarteten Mehr- und Minderkosten, zur Verfügung.

3.6 Termincontrolling – Überwachung des kritischen Weg

Mit MS-Project werden Hunderte von Vorgängen und deren Abhängigkeiten geplant. Neben dem Gesamtterminplan wurde pro Objekt ein eignes, abgestimmtes Terminprogramm erstellt. Veränderungen in den Terminen werden im zweiwöchentlichen Rhythmus verarbeitet und die Auswirkungen auf den kritischen Weg berechnet. Laufend werden Optimierungsmöglichkeiten sowie Reduktionen von Abhängigkeiten nicht nur auf dem kritischen Weg, sondern auch auf den subkritischen Wegen mit der Projektleitung und technischen Gesamtkoordination identifiziert. Die Massnahmen daraus werden abgesprochen mit den Unternehmern umgesetzt.

3.7 Technische Gesamtkoordination

Die Schnittstellen zwischen den verschiedenen Losen Bau, Kraftwerksausrüstung, Stahlwasserbau, Haustechnik und Innenausbau müssen durch die technische Gesamtkoordination bewirtschaftet werden. Allfällige Lücken zwischen den Losen müssen rasch identifiziert und in enger Zusammenarbeit mit Planer und Unternehmer geregelt werden.

4. Stand der Arbeiten im Sommer 2015

4.1 Zugangsstollen 1

4.1.1 Beschreibung

Termingerecht ging die im November 2013 von der Schweizer Seilbahnspezialistin Garaventa AG erstellte Standseilbahn in Betrieb. Sie stellt die Hauptversorgungsachse zur Maschinen- und Transformatorenkaverne sicher. Die fristgerechte Inbetriebnahme galt als wichtiger Meilenstein für den weiteren Ausbau der Maschinenkaverne, zumal die Standseilbahn als einzige in der Lage ist, die 215 Tonnen schweren Transformatoren und weitere schwere Anlagenteile in die Kavernenzentrale auf 1700 m ü.M. zu befördern.

Der Ausbruch des Zugangsstollens 1 wurde im Oktober 2010 gestartet und erfolgte mit einer riesigen Tunnelbohrmaschine. Mit der 160 Meter langen und 1500 Tonnen schweren Bohrmaschine wurden rund 185 000 Kubikmeter bzw. 490 000 Tonnen Gestein ausgebrochen, das grösstenteils im Raum Tierfehd abgelagert wurde. Dank modernster und computergestützter Vermessungstechnik wurde das Ziel zentimetergenau erreicht. Nach der Fertigstellung des Rohbaus wurden für die 1.8 Meter breite Fahrbahn 832 Fertigelemente verbaut. Mit einer Länge von 4036 Meter und einem Durchmesser von acht Meter ist der Zugangsstollen 1 der grösste Tunnel im Projekt. Er führt von Tierfehd (813.6 m ü.M.) zuerst 300 Meter lang horizontal in den Berg und steigt danach mit 24 Prozent bis zur Kavernenzentrale konstant an. Um den hohen Transportansprüchen gerecht zu werden, wurde eine Bahn konstruiert, die in ihrem Endausbau und mit ihrer Transportleistung genau den Anforderungen vor Ort entspricht. Der Antrieb der Standseilbahn ist vergleichbar mit dem Antrieb zweier Güterlokomotiven. Die beiden 40 Tonnen schweren Bahnwagen sind mit einem 58 Millimeter starken Zugseil miteinander verbunden. Die Strecke im Berginnern wird bei Schwersttransporten im Kriechtempo absolviert. Gerade mal einen halben Meter pro Sekunde bewegt sich die Standseilbahn bei einer Maximalladung von 215 Tonnen bergwärts. Mit dem Transport der vier 215 Tonnen schweren Transformatoren hat die Standseilbahn ihren Härtetest bestanden. Auch die vier voluminösen Spiralgehäuse für die Turbinen sind erfolgreich transportiert worden. Während die Bauseilbahnen nach Ende des Projektes zurückgebaut werden, bleibt die Standseilbahn wichtige Verbindungslinie zur Kavernenzentrale. Nur mit ihr können auch künftig schwere Maschinenteile – wie das beispielweise bei Revisionen nötig sein wird – direkt und in einem Stück transportiert werden.

4.1.2 Stand der Arbeiten

Der Zugangsstollen I ist im Betrieb, die Arbeiten sind abgeschlossen.

4.2 Staumauer Muttsee

4.2.1 Beschreibung

Im September 2011 konnte vorzeitig mit dem Bau der Staumauer begonnen werden. Die Staumauer wurde in 68 Blöcken à je 15 Meter Länge und Höhen zwischen 4 und 33 Meter im sogenannten Pilgerschrittverfahren gebaut. Dabei wurde jeder zweite Block bis zu seiner abschliessenden Höhe betoniert (Vorläufer). Anschliessend wurden die Blöcke dazwischen erstellt (Nachläufer). So konnte der Beton besser auskühlen, und die bereits erstellten Teilstücke dienten als Schalung links und rechts von den danach einzupassenden Blöcken. Jeder Block wurde in Betonieretappen von drei Metern Höhe eingeteilt. Vor der ersten Betonieretappe musste das Fundament vorbereitet werden. Das Fun-

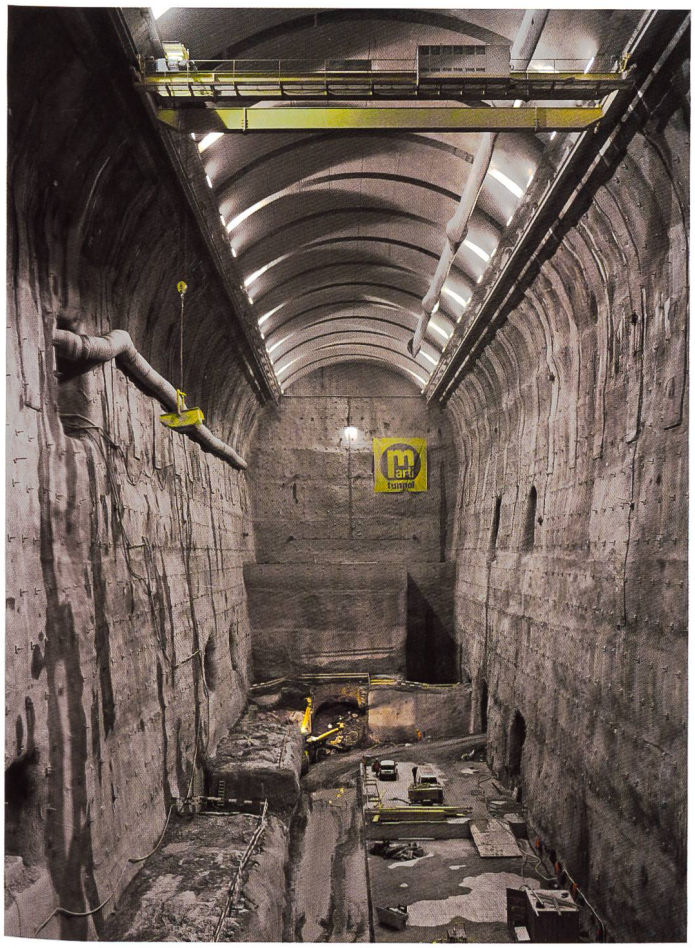

Bild 3. Ausbruch der Maschinenkaverne.

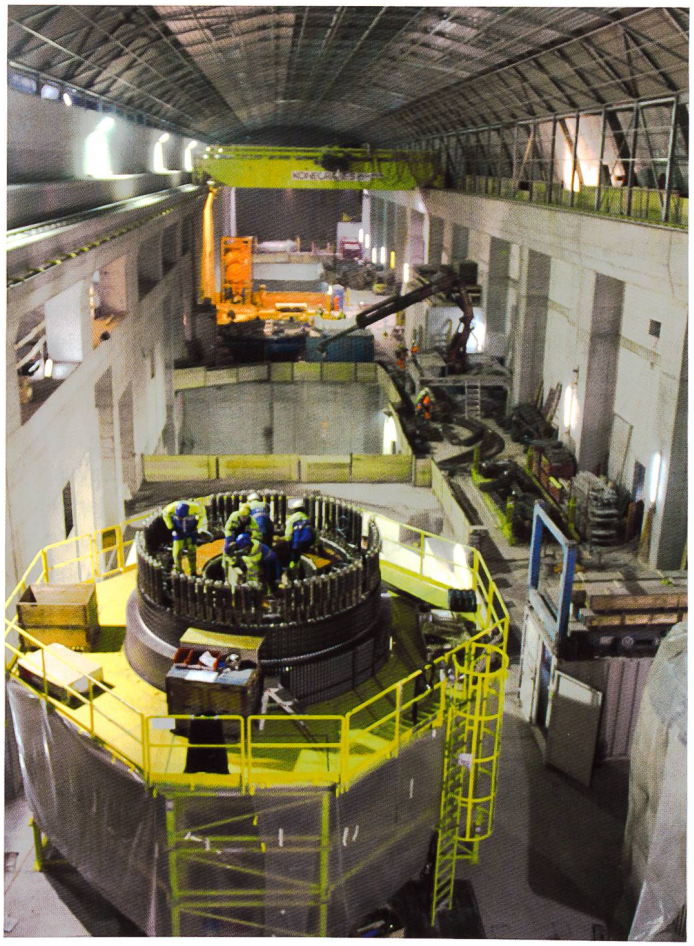

Bild 4. Die fertiggestellte Maschinenkaverne.

dament wurde für jeden Block aus dem Fels gesprengt. Die Felsoberfläche musste entsprechend der geologischen Gegebenheiten mit Bagger und Abbauhammer modelliert werden. Grössere Unebenheiten und Störzonen mussten vorgängig mit einem feinen Beton (Dental-Concrete), verfüllt und sorgfältig vibriert werden. Die erste Schicht von etwas zehn Zentimeter Dicke wurde mit Kontaktbeton gegossen, dessen Mischung besonders fein war, weil damit die Felsunebenheiten ausgeglichen werden konnten. Über diese Schicht kam dann der eigentliche Mauerbeton, auch Vorsatzbeton genannt. Der Staumauerbeton besteht aus einer Mischung von Kies, Zement, Flugasche und Wasser. Beim Vorsatzbeton ist der Kies gröber als beim Kontaktbeton. Das Ausbruchmaterial der Kaverne wurde für die Herstellung des Kieses verwendet, so wurde der ausgebrochene Fels gleich wieder vor Ort in die Staumauer verbaut. Die Eigenschaft des Vorsatzbetons liess ein Befahren des Frischbetons mit Raupenfahrzeuge zu, ohne dass diese einsinken. Weil er so dicht ist, lässt er sich nur schwer verteilen, und der Aufwand, um von Hand zu vibrieren, ist hoch. Diese Arbeiten wurden mit kleinen Baggern ausgeführt. So wuchs die Mauer Block um Block.

4.2.2 Stand der Arbeiten

Im Herbst 2014 waren die Massenbetonarbeiten an der Staumauer beendet. Die Mauerkrone wurde 2014, eine Bausaison früher als geplant, ebenfalls realisiert. Das Ein- und Auslaufbauwerk Muttsee ist fertiggestellt. Die Betonarbeiten am Wärterhaus wurden planmässig Mitte Oktober 2014 abgeschlossen. Die Fertigstellungs- und Umgebungsarbeiten für das Wärterhaus werden nach dem Winter 2014/15 fortgeführt. Im Herbst 2015 wird an der rechten Flanke der Staumauer der Dichtschirm mittels Injektionen ausgeführt. Die Beton-, Bohr- und Injektionsarbeiten in der Staumauer und die Instrumentierung haben begonnen. Mit dem Erstaufstau kann planmässig am 1. Juli 2016 begonnen werden.

4.3 Oberwasserdruckleitung, Wasserschloss und Schieberkammer

4.3.1 Beschreibung

Der Oberwasserstollen ist bis zum Verteilbauwerk 513 Meter lang und hat einen Durchmesser von 8 Meter. Auf diesem Abschnitt ist der Stollen mittels passiver Vorspannung verstärkt. Die passive Vorspannung hat zum Ziel, die Betonverkleidung so stark vorzuspannen, dass diese durch die Belastung des Innenwasserdruckes nicht beschädigt wird. Diese Vorspannung nutzt den Gebirgsdruck aus, indem zwischen der Auskleidung und dem Fels ein Injektionsgut unter hohem Druck injiziert wird. Nach dem Verteilbauwerk haben die zwei Oberwasserdruckstollen einen Durchmesser von 4.4 Meter und sind mit Stahlrohren gepanzert. Die zwei Oberwasserstollen sind mit einem Wasserschloss mit einem Durchmesser von 10.5 Meter verbunden. Das Wasserschloss ist 125.36 Meter hoch und schliesst oberirdisch mit einem 13 Meter hohen Belüftungskamin ab. Die zwei Oberwasserstollen enden in der Schieberkammer. Diese ist 66 Meter lang, 20 Meter breit und 19 Meter hoch und enthält zwei Drosselklappen für den Abschluss des Muttsees vor dem Druckschacht Richtung Maschinenkaverne. Die Drosselklappen dienen als Sicherheitsorgane im Fall eines Lecks oder Bruchs im Druckschacht.

4.3.2 Stand der Arbeiten

Die Dammbalken beim Ein- und Auslaufbauwerk Muttsee sind entfernt. Der Oberwasserstollen ist bis zur Drosselklappe der Druckleitung 12 (für die Maschinengruppe 1 und 2) geflutet. Die Drosselklappe ist

dicht. Die Druckleitung 34 bleibt mittels Klöpperboden geschlossen, deren Fertigstellung ist noch in vollem Gange. Die Trockentests der Kugelschieber 1 und 2 mit deren Schutz und Leittechnik laufen zurzeit. Wenn die Trockentests erfolgreich abgeschlossen sind, wird der Druckschacht 12 mit Wasser gefüllt.

Das Wasserschloss ist erstellt. In der Schieberkammer sind noch die Arbeiten für die Fertigstellung der zweiten Druckleitung im Gang.

4.4 Druckleitungen Muttsee – Kavernenzentrale

4.4.1 Beschreibung der Druckleitung

Die 1206 Meter lange Druckleitung 1 für die Maschinengruppe 1 und 2 ist mit Feinkornbaustahl S690QL und S500ML gepanzert. Die 830 Bleche mit 3 × 13.2 m für die zwei Druckschächte wurden vor Ort zu Rohrschüssen verarbeitet. Während rund drei Jahren wurden in einer Fertigungshalle in Tierfehd die Rohre gebogen, geschweisst und für den Transport auf den Berg vorbereitet. In einem ersten Schritt wurden die schweren Stahlplatten auf 150 °C vorgewärmt und anschliessend durch eine Walze gerollt. Dieser Prozess dauerte vier bis sechs Stunden. Dann fand eine erste punktuelle Schweissung statt, bevor die definitive Längsschweissung vorgenommen wurde, diese dauerte weitere 16 Stunden. Mit aufwendigen Prüfverfahren wurde kontrolliert, ob die Schweissnähte zu 100 Prozent fehlerfrei sind. Abschliessend wurde die Passform zum Anschlussrohr geprüft und alle Rohre für den Einbau nummeriert. Die Wandstärke beträgt unten 60 mm und oben 35 mm, der Innendurchmesser 4.2 m. Die Rohre wiegen zwischen 11–19 t. Die fertigen Rohre wurden mit der Bauseilbahn 1 zum Zugangsstollen 0 gebracht, welcher zum Ochsenstäfeli führt. Von dort erfolgte der Weitertransport mit der Bauseilbahn 2 bis zur Schieberkammer auf 2300 m ü.M. Hier wurden je drei Rohre zu 9 Meter langen Rohrschüssen zusammengeschweisst und von oben in die Druckschächte eingeführt. Unter anspruchsvollsten Bedingungen wurden sie in Handarbeit endgültig zusammengeschweisst und die Schweissnähte auf ihre Qualität überprüft. Die Schweissarbeiten dauerten rund fünf bis sechs Tage pro Rohrschuss.

4.4.2 Stand der Arbeiten

Die beiden Druckschächte wurden nacheinander mit der selben Tunnelbohrmaschine ausgebrochen. Mit einem Durchmesser von 5.2 m, einer Länge von rund 130 m und einem Gewicht von 700 Tonnen war die Tunnelbohrmaschinen kleiner und leichter als die für den Zugangsstollen 1. Sie schwang hingegen mit ihren Kletterkünsten klar oben aus. Sie bohrte sich mit einer Steigung von beachtlichen 90 Prozent in den Fels hinauf. Nachdem der erste Schacht fertig war, wurde sie rückwärtsgezogen und begann mit der Bohrung des zweiten Druckschachtes.

Die Druckleitung 1 ist fertig montiert und mit dem Kugelschieber unten und der Drosselklappe oben verbunden. Der Hohlraum zwischen Berg und Rohr ist mit Beton hinterfüllt und injiziert. Die Leitung wird auf den Beginn der Nassversuche im Sommer 2015 bereit sein.

Die Druckleitung 2 ist fertig montiert, offen sind noch die Injektionen, der Korrosionsschutz die Montage der Drosselklappe und der Kugelschieber.

4.5 Pumpspeicherwerk Limmern (Kavernenzentrale)

4.5.1 Beschreibung

Nachdem im 2012 die Ausbrucharbeiten abgeschlossen waren, sind nun die Maschinen- und die Trafokaverne ausgebaut. Die Maschinenkaverne hat folgende Abmessungen: 150 m/31 m/53 m (L/B/H) und die Trafokaverne 131 m/22 m/24 m (L/B/H). Für beide Kavernen wurden 242 000 m^3 Fels ausgebrochen, das entspricht ca. 18 000 Dumper-Ladungen. Die Kavernenzentale wird durch den Zugangsstollen (ZS I) von Tierfehd aus erschlossen. Die Dimensionen sind nötig, um die vier tonnenschweren Maschinengruppen – das Herz des Pumpspeicherwerks – beherbergen zu können. Zu den wichtigsten Teilen der hydraulischen Maschinen gehören je vier Pumpturbinen, Spiralgehäuse, Saugrohre und Kugelschieber. Die elektrische Maschine, der Stator und Rotor werden vor Ort in der Maschinenkaverne zum Generator zusammengebaut und in Kleinstarbeit aufeinander abgestimmt; das alles in vierfacher Ausführung. Das Abstimmen von Rotor und Stator ist Millimeterarbeit. Möglichst klein sollte der Abstand zwischen dem sich drehenden Rotor und seiner Ummantelung, dem Stator, sein, um eine optimale Umwandlung der Rotationsenergie in elektrische Energie zu erreichen. Spezialisten von Alstom verlegen dünnste Bleche von 0.5 mm Dicke. Schicht um Schicht bis zu einer Endhöhe von 3.2 Meter rund um den Rotorstern. Bei jedem Montageschritt gewinnen Planer wie auch Monteure laufend wertvolle Erkenntnisse, um die Arbeiten an den folgenden Maschinengruppen zu optimieren. Erst Anfang 2017 wird die vierte und somit letzte Maschinengruppe in Betrieb gehen. Die nominale Durchflussmenge im Turbinenbetrieb beträgt rund 46 m^3/s pro Maschine. Die nominale Durchflussmenge im Pumpbetrieb beträgt rund 36 m^3/s pro Maschine. Die vier Transformatoren wiederum, platziert in der nebenan liegenden, etwas kleineren Kaverne, werden dereinst die Generatoren-Spannung von 18 kV auf 400 kV wandeln.

4.5.2 Beschreibung der hydraulischen Maschinen

Die hydraulischen Maschinen mit einer Leistung von 4 × 250 MW sind mit reversiblen einstufigen Pumpturbinen für eine Fallhöhe von 709 Metern ausgelegt. Die einstufigen Pumpturbinen werden mit Asynchron-Motorgeneratoren ausgerüstet, deren Anwendung einen deutlich erweiterten und hocheffizienten Betriebsbereich im Vergleich zu konventionellen Technologien verspricht.

Jeder Pumpspeichersatz besteht aus einer 1-stufigen Pumpturbine, Bauart Francis, mit vertikaler Welle und einem Motor-Generator. Die Pumpturbinen werden starr mit den Motor-Generatoren gekuppelt.

Als Motorgeneratoren werden vier drehzahlgeregelte, doppeltgespeiste Asynchronmaschinen eingesetzt. Was schweizweit in dieser Leitungsklasse ein Novum ist. Sie können beim Pumpen ihre Leistung regeln und damit das Stromnetz stabilisieren.

4.5.3 Stand der Arbeiten

Für die Maschinengruppe 1und 2 ist der Rotor (380 t) in den Stator eingefahren worden. Das Saugrohr ist einbetoniert und das Laufrad montiert. Die Trockentests laufen. In der Maschinengrube 3 wurde die Turbinenwelle und die Wellen-Stillstands-Dichtung montiert. Die Stator-Montage hat begonnen. Die Wicklungsarbeiten für den Rotor 3 laufen. Für die Maschinengruppe 4 ist der Saugrohrkonus und der untere Turbinendeckel eingebaut sowie der obere Turbinendeckel vormontiert. Die Montagearbeiten für den Rotor haben begonnen. Die Hilfssysteme (Kühlwassersystem, Druckluftsysteme) sind grösstenteils montiert. Für die AC-Erreger-Maschinengruppe 1 und 2 laufen die Trocken-Inbetriebnahmen. Sämtliche Haustechnik-Installationen für die Inbetriebsetzung (Kälteanlagen, Lüftung, Entrauchung) sind bereit. Der Innenausbau (Unterdächer,

Türen, Tore, Brandabschottungen, Malerarbeiten, Aufzüge) sind auf Kurs.

4.5.4 Beschreibung Trafos/Hochspannungsschaltanlage (GIS)/Hochspannungskabel

Die vier baugleichen Trafos erreichen je eine Nennleistung von 280 MVA. Sie wandeln die Generatoren Spannung von 18 kV auf 400 kV mit einem Wirkungsgrad von 99.5% um. Die Trafos haben folgende Masse 12.9 m/3.5 m/7.3 m (L/B/H) und sind mit Öl gefüllt 250 t schwer.

Die Hochspannungsschaltanlage hat folgende Daten: 380 V/4000 A und folgende Masse: 25.5 m/8.7 m/7.4 m (L/T/H) und setzt sich aus ca. 200 Rohrstücken zusammen.

Das Hochspannungskabel hat eine Spannung von 380 kV und 1700 A. Das Kabel ist 4600 m lang und hat einen Durchmesser von 132 mm (Leiterdurchmesser 50 mm).

4.5.5 Stand der Arbeiten

Die vier Maschinentrafos sind montiert und bereit zum Anschluss an die Energieableitungen. Die Energieableitung der Maschinengruppe 1 wird zurzeit fertiggestellt. Die Hochspannungsschaltanlage ist erstellt. Das 380-kV-Kabel im Zugangsstollen 1 bis zum Unterwerk Tierfehd ist eingezogen und alle Muffen sind montiert. Die Hochspannungsprüfung der Kabel ist abgeschlossen. Die Anlagen sind für die Inbetriebsetzung bereit.

4.6 Unterwasserstollen mit Ein- und Auslaufbauwerk

4.6.1 Beschreibung

Die zwei Unterwasserstollen sind 405 Meter lang und haben eine Steigung von 17.6%. Der Durchmesser beträgt 5.58 Meter. Im Bereich vor den Unterwasserschützen wurde der Stollen mit Stahlrohren gepanzert. Das Verteilbauwerk zwischen den zwei Unterwasserstollen ist mit rund 35 Tonnen Armierungseisen verstärkt. Bis zum Ein- und Auslaufbauwerk Limmernsee wurde der Stollen mittels passiver Vorspannung verstärkt. Die passive Vorspannung hat zum Ziel, die Betonverkleidung so stark vorzuspannen, dass diese durch die Belastung des Innenwasserdruckes nicht beschädigt wird. Diese Vorspannung nutzt den Gebirgsdruck aus, indem zwischen der Auskleidung und dem Fels ein Injektionsgut unter hohem Druck injiziert wird.

4.6.2 Stand der Arbeiten

Jetzt steht das Wasser im Zu- und Abflussbereich des Limmernsees direkt vor den Unterwasserschützen der Transformatorenkaverne. Dafür wurden der Limmernsee Ende 2014 eigens abgesenkt und die beiden Betonzapfen im Unterwasserdruckstollen im Februar 2015 mit 30 Sprengungen entfernt.

5. Ausblick

5.1 Anstehende Arbeiten

Um die Maschinengruppe 1 mit ihrer Leistung von 250 Megawatt anzutreiben braucht es schon in der Testphase sehr viel Wasser. Für die Tests stehen rund 6 Mio. Kubikmeter Wasser zur Verfügung. Grund dafür sind einerseits die geringen natürlichen Zuflüsse des Muttsees und anderseits darf die Staumauer wegen bevorstehender Prüfschritte in 2015 erst im Sommer 2016 mit Wasser in Berührung kommen. Die Tests sind so ausgerichtet, dass möglichst umgehend der Pumpbetrieb aufgenommen werden kann. Ein weiteres Highlight der Inbetriebsetzung wird die erste Synchronisation mit dem elektrischen Netz sein, damit kurz darauf der erste Pumpbetrieb aufgenommen werden kann. Ab diesem Zeitpunkt wird die Maschinengruppe 1 Strom aus dem Netz beziehen oder an dieses abgeben. Um die gewaltigen Energiemengen für die Tests zur Verfügung zu haben, ist die Planung bereits umgesetzt. Nach erfolgreichem Abschluss der Nasstests nimmt die Maschinegruppe 1 einen zweimonatigen Probebetrieb auf, währenddessen die Zuverlässigkeit der Anlage im Betrieb überprüft wird. In dieser Phase setzt Axpo die Maschinengruppe 1 am Markt ein. Nach erfolgreich absolviertem Probebetrieb geht die erste von vier Maschinengruppen in das Eigentum der Kraftwerke Linth-Limmern AG über. Das Inbetriebnahme-Prozedere wiederholt sich in den Jahren 2016 und 2017 drei Mal.

Nach den Abschlussarbeiten an der Staumauer und dem Wärterhaus erfolgt bis zum Wintereinbruch 2015 der Rückbau der Baustelle. Schritt um Schritt wird das Gelände um den Muttsee frei gemacht. Das Containerdorf mit Kantine und Werkstatt hatte drei Sommer lang auf 2500 m ü.M. Schlafplatz für 150 Bauarbeiter geboten. Alles, was auf der Hochgebirgsbaustelle Muttsee nicht mehr benötigt wird, wird über die beiden Bauseilbahnen hinunter ins Tal transportiert. Erst wenn das letzte Gerät abtransportiert worden ist, startet Mitte 2016 der Rückbau der beiden Bauseilbahnen. Daneben werden die Installationsplätze renaturiert.

5.2 Kosten

Bei einem aktuellen Kostenstand von CHF 1.6 Mia. geht man davon aus, dass der Kredit von CHF 2.1 Mia. eingehalten werden kann.

Weitere Informationen sowie Film- und Bildmaterial zum Projekt findet man auf der Homepage www.axpo.com

Anschrift des Verfassers
Norbert Wohlkinger, Leiter Projekt-Controlling
Axpo Power AG, Hydroenergie
Parkstrasse 23, CH-5401 Baden
Tel. +41 56 200 44 83
norbert.wohlkinger@axpo.com
www.axpo.com

Hydro 2015
Besuchen Sie uns - Stand #82
26. - 28.Okt., Bordeaux - Frankreich

künz

Hans Künz GmbH | 6971 Hard - Austria
T +43 5574 6883 0 | sales@kuenz.com | www.kuenz.com

ISO 9001, ISO 14001, OHSAS 18001

Marti Travaux Spéciaux Neuchâtel SA

A Bugeon, CH - 2087 Cornaux
Tél. 032 758 00 00 / Fax. 032 758 00 50
mts@martisa.ch / www.mts-neuchatel.ch

REALISATION LACUSTRES ET FLUVIALES
CONSTRUCTION DE ROUTES
TRAVAUX DE GENIE CIVIL / TERRASSEMENTS
OUVRAGE D'ART EN BETON ARME
TRAVAUX SPECIAUX