Zeitschrift: Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria
Herausgeber: Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband
Band: 96 (2004)
Heft: 3-4

Artikel: Umbau Freispiegelstollen Miralago-Monte Scala
Autor: Baumann, Remo / Peter, Marco
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-939552

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

Umbau Freispiegelstollen Miralago-Monte Scala

Remo Baumann, Marco Peter

1. Einleitung, Aufgabenstellung

Im Kraftwerk Campocologno wird seit über 100 Jahren Wasser aus dem rund 450 m höher liegenden Lago di Poschiavo zur Erzeugung von elektrischer Energie genutzt. Der 5,25 km lange Stollen, der das Betriebswasser aus dem Lago di Poschiavo bis ins Wasserschloss bei Monte Scala führt, war grundsätzlich ein Freispiegelstollen. Erst ab der Einleitung des Saientobaches, einer Fassung von einem Zwischeneinzugsgebiet rund 1,5 km vor dem Wasserschloss, wurde der Stollen unter geringem Druck gefahren. Ende der 60er-Jahre wurden Druckleitung und Zentrale vollständig erneuert und bereits für einen Druck entsprechend dem maximalen Seespiegel und für eine Ausbauwassermenge von 14 m^3/s ausgelegt. Der Freispiegelbetrieb beschränkte die Betriebswassermenge aber auf rund 10 m^3/s (Seefassung) bzw. auf knapp 12 m^3/s (inkl. Fassung Saiento).

Bei den Umbauarbeiten in den 60er-Jahren wurden allerdings keine Anpassungen am bestehenden Wasserschloss und im Stollen gemacht, sodass bis anhin die zur Verfügung stehende Menge und Höhe nicht optimal ausgenutzt werden konnten.

Das Wasserschloss hatte Kammern auf Kote des bisherigen Betriebswasserspiegels. Die Kammern von über 20 000 m^3 wurden für den Freispiegelbetrieb gebraucht. Beim Hochfahren der Maschinen in Campocologno musste zuerst die Seeschütze beim Stollenanfang leicht geöffnet werden. Vom Zeitpunkt des Öffnens dieser Schütze bis zum Eintreffen des Wassers beim Wasserschloss Monte Scala verging rund eine halbe Stunde. In der Zwischenzeit konnten die Maschinen mit dem Wasser aus den Wasserschlosskammern in Betrieb genommen werden. Ein Überfall nach 70% der Stollenlänge bei der Fassung Saiento verhinderte, dass der Stollen bei einer Notabschaltung unter Druck gesetzt wurde. Normalerweise wurde der Betrieb entsprechend langsam heruntergefahren, damit keine Wasserverluste entstanden. Der Betrieb der Zentrale Campocologno war, gelinde gesagt, sehr unflexibel und für Wasserkraftwerke unüblich.

Der vorliegende Bericht behandelt ein im Sommer 2001 ausgearbeitetes und im Winter/Frühling 2002 durchgeführtes Projekt, das den Umbau des Wasserschlosses Monte Scala und des Freispiegelstollens in einen Druckstollen vorsah. Das Ziel des Projektes war, einen optimalen Betriebszustand unter Ausnutzung der zur Verfügung stehenden Ressourcen und Berücksichtigung strenger wirtschaftlicher Rahmenbedingungen zu erhalten.

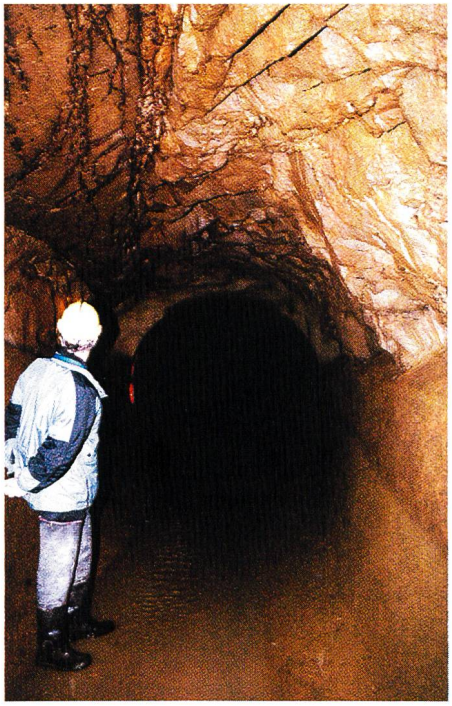

Bild 1. Ansicht des Zulaufstollens im Granit.

Mit dem Druckstollenbetrieb konnte im Frühjahr 2002 gestartet werden.

2. Projektbeschreibung

Die Seefassung bei Miralago war bereits für die konzessionierten 14 m^3/s genügend gross ausgebaut. Eine Tafelschütze direkt nach dem Einlauf erlaubte es bis anhin, den gewünschten Freispiegelbetrieb kontrolliert einzustellen. Rund 2% der in Campocologno theoretisch zur Verfügung stehenden Druckhöhe wurden so bereits auf den ersten Metern des Triebwasserweges vernichtet.

Der Stollen von der Fassung Miralago bis zum Wasserschloss Monte Scala ist 5250 m lang und hat ein Hufeisenprofil mit einem mittleren Durchmesser von ca. 2,5 m. Zum Bau des Stollens wurden seinerzeit elf Stollenfenster erstellt.

Neun Fenster wurden nach dem Bau des Stollens zubetoniert (Fels) bzw. verfüllt (in der Moränen- und Gehängeschuttstrecke). Zwei wurden als Inspektions- und Unterhaltszugänge belassen. In den 70er-Jahren wurde ein neues Fenster, Fenster 4a, als befahrbarer Zugang im Zuge von Sanierungsarbeiten erstellt.

Der alte Stollen präsentierte sich grundsätzlich in einem guten Zustand. Dies nicht zuletzt dank regelmässigem Unterhalt.

Auf den ersten 1400 m führt der Stollen durch einen Moränen- und Gehängeschuttbereich. Anfang des letzten Jahrhunderts stand für Sicherungsmassnahmen im Stollenbau hauptsächlich Holz zur Verfügung. Der Vortrieb des Stollens in diesem Abschnitt erfolgte damals in der so genannten Marciavanti-Bauweise. Eine Holzspriessung wurde vorangetrieben, das Material innerhalb des Profils ausgegraben, in den Querschnitt ein Tunnelgewölbe aus Bruchsteinen gemauert, wenn möglich die Holzspriessung entfernt und schliesslich der Hohlraum zwischen Mauerung und Grabung mit Mörtel hinterfüllt.

Ein grosser Nachteil dieser Bauweise war und ist, dass die Hinterfüllung oft unter engsten Raumverhältnissen zu erfolgen hatte. Vielfach war es auch nicht möglich, die Holzsicherungen zu entfernen. Der Gebirgskontakt, vor allem im Gewölbebereich, konnte somit nicht vollständig erfolgen. Innendruck konnte also nicht ohne Schäden hervorzurufen aufgenommen werden. Trotzdem versuchte man Anfang der 70er-Jahre, diesen Stollenabschnitt unter Druck zu setzen, was an der Oberfläche zu starken Wasseraustritten führte. Obwohl sofort wie-

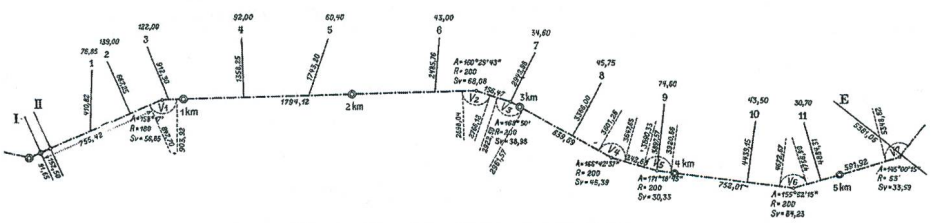

Abb. 10. Schematischer Lageplan des Zulaufstollens.
Legende: I Schacht am See, II zweiter Schacht, 1 bis 11 Seitenstollen bezw. „Fenster", E Ende des Zulaufstollens beim Wasserschloss.

Bild 2. Schematischer Lageplan des Stollens.

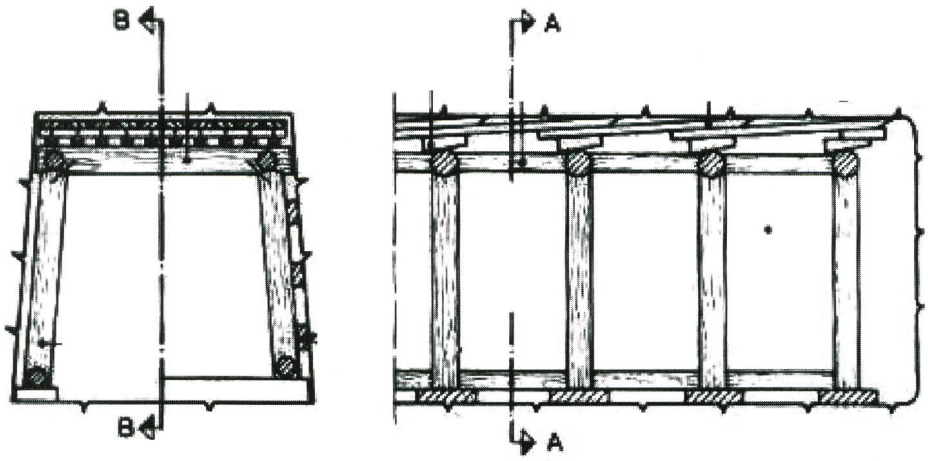

Bild 3. Schematische Darstellung der Marciavanti-Bauweise im Lockermaterial beim Bau des Stollens Anfang des 20. Jahrhunderts.

der auf Freispiegelbetrieb umgestellt wurde, gingen die Verluste nicht mehr zurück. Die Strecke musste saniert werden, was damals mit einer inneren unarmierten Gunitverkleidung erreicht wurde.

Der Stollen führt anschliessend rund 2400 m durch festen Granit. In dieser Zone sind Sohle und Kämpfer durchgehend mit Beton verkleidet. Das Gewölbe ist grösstenteils unbehandelt. Wo beim Bau Störungen des Felsens angetroffen wurden, sind lokal Betongewölbe eingebaut.

Es folgen schliesslich noch 1450 m in einem Schiefergneis/Serpentin. Entlang der Schichtgrenze Granit/Gneis verläuft die so genannte Saientoschlucht. Wasser aus dem Einzugsgebiet des Saientos bis maximal 1,6 m^3/s wird hier gefasst und durch einen Schacht, der im Granit verläuft, in den Stollen geleitet. Der Überlauf des Stollens, der einen Druckanstieg in der Moränenzone verhinderte, musste geschickterweise hier gebaut werden. So konnte der Saientobach als einziges in der durchfahrenen Zone liegendes Gewässer gefasst werden.

Im Gneis ist das Stollenprofil zu 95% vollständig ausbetoniert. Der Zustand der Betonverkleidung präsentierte sich, bis auf wenige Ausnahmen, als gut. Wir gingen deshalb davon aus, dass in dieser Strecke eine Erhöhung des Innendruckes ohne weiter reichende Massnahmen möglich sein sollte.

Der Stollen führt bei Monte Scala in das Wasserschloss mit Kote 949 m ü.M. – also rund 15 m unterhalb des maximalen Seespiegels –, das zwei Kammern mit total 20 000 m^3 Volumen aufweist. Dieses grosse Volumen verbesserte die Flexibilität beim Anfahren der Turbinen, was erforderlich war, da der Freispiegelstollen eine lange Reaktionszeit hatte.

Die Zentrale Campocologno war in den 60er-Jahren vollständig erneuert worden. Die Anlage wurde damals bereits für eine Kapazität von 14 m^3/s ausgelegt. Der Freispiegelbetrieb beschränkte allerdings den maximalen Durchfluss bis Saiento auf knapp 10 m^3/s.

Im Frühjahr 2002 waren grössere Unterhaltsarbeiten an der elektromechanischen Ausrüstung der Zentrale Campocologno vorgesehen. Die Anlage sollte für rund zweieinhalb Monate ausser Betrieb stehen. Ausgehend von dieser Vorgabe wurde im April 2001 mit den Projektierungsarbeiten gestartet. Ein Projekt, das die Realisierung der Unterdrucksetzung des Treibwasserweges zum Ziel hatte, wurde ausgearbeitet.

Folgende Massnahmen mussten projektiert und schliesslich auch durchgeführt werden:

- Verstärkung des Stollenbereiches in Gehängeschutt und Moräne
- Höherlegung des Überlaufes bei Saiento
- Verstärkung der bestehenden Stollenfensterabschlüsse mit armiertem Beton
- Umbau des Wasserschlosses in Monte Scala.

Die Wirtschaftlichkeit der geplanten Massnahme spielte während der gesamten Projektphase eine wichtige Rolle, da die Konzession für den Betrieb der Anlage im Jahre 2020 bereits abläuft. Aus diesem Grunde fanden verschiedene unkonventio-

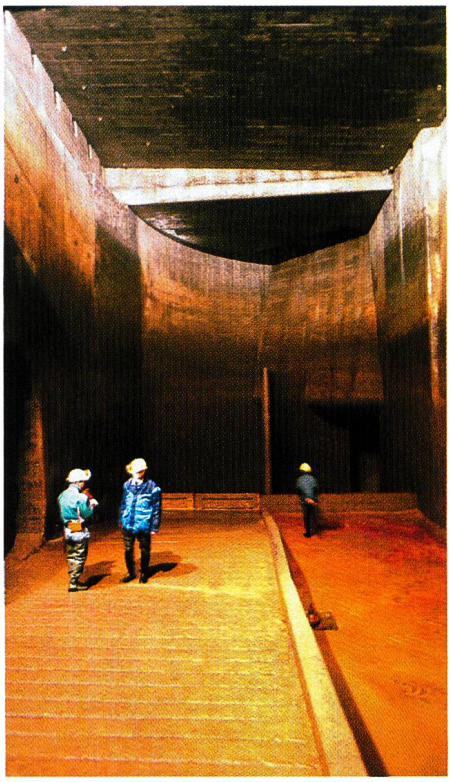

Bild 4. Altes Wasserschloss Monte Scala.

Bild 5. Reservoirkammer des Wasserschlosses.

nelle Lösungen Einzug in das Projekt. Von der Projektidee bis zur Inbetriebsetzung des umgebauten Stollens vergingen knapp 14 Monate. Diese Leistung war nur zu erreichen, indem alle Beteiligten, vom Planer bis zu den zuständigen Behörden und den ausführenden Unternehmungen am selben Strick zogen.

3. Evaluation der Verstärkungsmassnahmen

Im Mittelpunkt der Überlegungen stand die Lockermaterialstrecke. Anfänglich waren wir noch überzeugt, durch geeignete Testverfahren die Verstärkungsmassnahmen nur auf einem Teil der Strecke durchführen zu müssen. Wasserabpressversuche, Georadar und mechanische Pressversuche scheiterten aber am Aufwand und den hohen Kosten für den Betriebsunterbruch. Es mussten somit die ganzen 1,4 km Stollen verstärkt werden.

Die Verstärkung des Gewölbes war eine besonders heikle Aufgabe. Sie musste ausgesprochen dünnwandig sein, um die hydraulischen Verluste in Grenzen zu halten. Die ursprüngliche Trassierung als Freispiegelstollen führte zu einer ausgesprochen hohen Stollenlage. Dies führte zum Risiko, dass die Drucklinie in den Stollen fallen könnte und die angestrebte Kapazitätserhöhung nicht erreicht werden könnte.

Es wurden folgende Verstärkungsmassnahmen untersucht:

Armierter Gunitring

Der Einbau eines bewehrten Gunitringes von 5 cm Stärke auf dem mit Hochdruckwasser gereinigten alten Profil. Die Ringarmierung wurde für den vollen Innendruck, unter Berücksichtigung der Rissöffnung, ausgelegt. Glattstrich der Gunitoberfläche um die Verluste möglichst klein zu halten. Kosten rund 1,6 Mio. CHF.

Glasfasermatte mit Epoxyharz und unarmiertem Gunitinnenring

Die Tragsicherheit zur Aufnahme des Innendruckes sowie die Sicherstellung der Dichtigkeit erfolgt mit in Epoxyharz getränkten Glasfasermatten oder eventuell einem Carbonsheet. Um Beulen unter Aussendruck im entleerten Zustand zu verhindern, ist ein unarmierter Gunitinnenring als Druckring erforderlich. Die bestehende Stollenoberfläche muss zuerst gereinigt und Unregelmässigkeiten müssen mit Mörtel ausgeglichen werden. Der Einbau der Kunststoffe erfolgt auf den getrockneten Untergrund.

Damit der Gunitring am Epoxyharz haftet, muss diese Oberfläche abgesandet werden. Die Gunitoberfläche muss abgezogen werden, um einen möglichst kleinen Reibungskoeffizienten zu erreichen. Kosten rund 2,9 Mio. CHF.

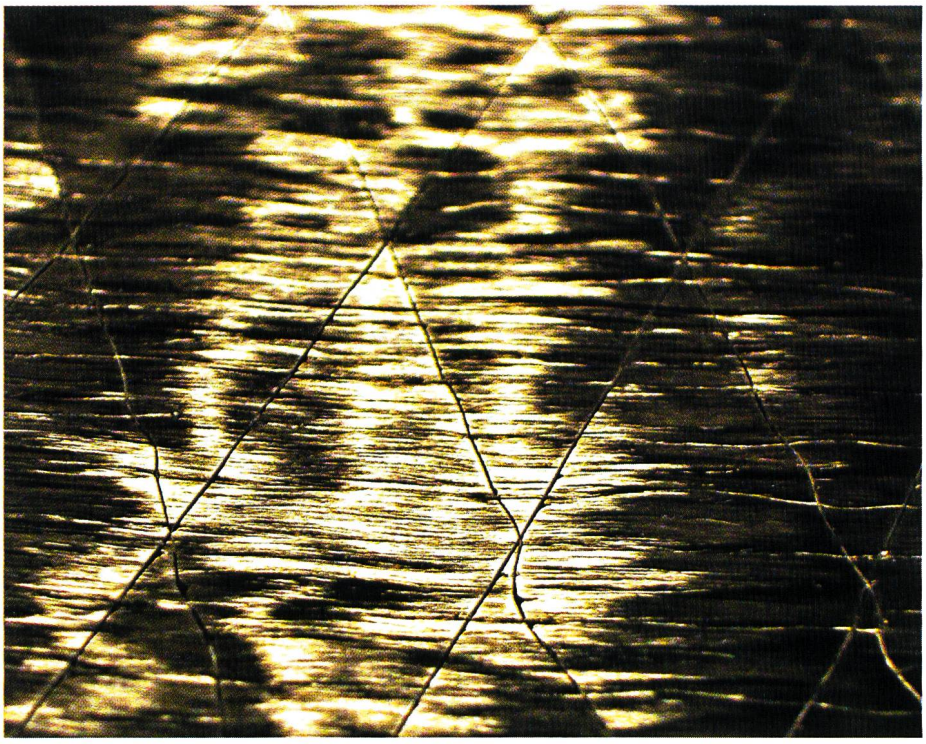

Bild 6. Carbonsheet als Dichtungselement.

Bauablauf, Zeitbedarf und Arbeitsbedingungen (Nässe) stellten diese Lösung aber neben den Kosten in Frage.

Glasfasermatte (oder evtl. Carbonsheet) mit Epoxyharz, aber ohne Gunitring

Auch wenn man einen sicheren Verbund zwischen altem Beton und der in Variante B beschriebenen Kunststoffverstärkung hätte erstellen können, so wäre sie immer noch rund eine halbe Million CHF teurer geworden als Variante A.

Der Einsatz von Stahl- oder Kunststofffasern anstelle von Armierungsnetzen schied aufgrund des ungenügenden plastischen Verformungsvermögens aus.

Die Möglichkeit, den ganzen Stollen nur mit Injektionen zu verstärken, hätte im Lockermaterial unter Umständen zu sehr hohen Absorptionen führen können. Das Kostenrisiko für diese Idee war zu hoch.

4. Die gewählte Verstärkung mit armiertem Spritzbeton

Die Bewehrung wurde so dimensioniert, dass die gesamten resultierenden Kräfte infolge Innendrucks ohne elastische Bettung durch das Gebirge aufgenommen werden konnten. Sie wurden direkt auf die mit Hochdruckwasser gewaschene Oberfläche der alten Verkleidung verlegt und anschliessend mit mindestens 5 cm Gunit eingespritzt.

Der Beton wird durch die Belastung in gleichmässigen Abständen reissen, was zu geringen, kalkulierbaren Wasserverlusten, in keinem Fall aber zu Stabilitätsproblemen führen kann.

Falls ein Bergdruck wirkt, so kann er wie bis anhin vom alten Gewölbe zur Genüge abgetragen werden.

5. Ausführung der Stollenverstärkung

5.1 Armierung

Die Armierung wurde als Netze (Ringarmierung mit Durchmesser 10 bis 12 mm alle 10 cm) geliefert. Der Einsatz von Netzen brachte dem Unternehmer nicht den gewünschten Erfolg. Die Anpassung der vorgebogenen, steifen Netze vor Ort an das leicht unregelmässige Profil war wesentlich aufwändiger als erwartet. Um das Profil im Querschnitt nicht stärker als nötig zu verengen, musste die Armierung schliesslich mit Winden an die bestehende Oberfläche gepresst und mit unzähligen Bolzen gesichert werden.

Damit die Armierung während des Aufbringens des Spritzbetons nicht schwingt, was zu einem schlechten Verbund von Beton und Armierung geführt hätte, musste sie fest verankert werden.

5.2 Betonieren des Sohlbereiches

Anstelle von Spritzbeton setzte der Unternehmer für den Sohlbereich einen Schalwagen ein, mit dem das neue Sohlgewölbe und ein Teil der Kalotte mit einem Feinkornbeton in rund 5 cm Stärke erstellt werden konnte.

Der Schalwagen war als Gleitschalung konzipiert, bestehend aus der eigent-

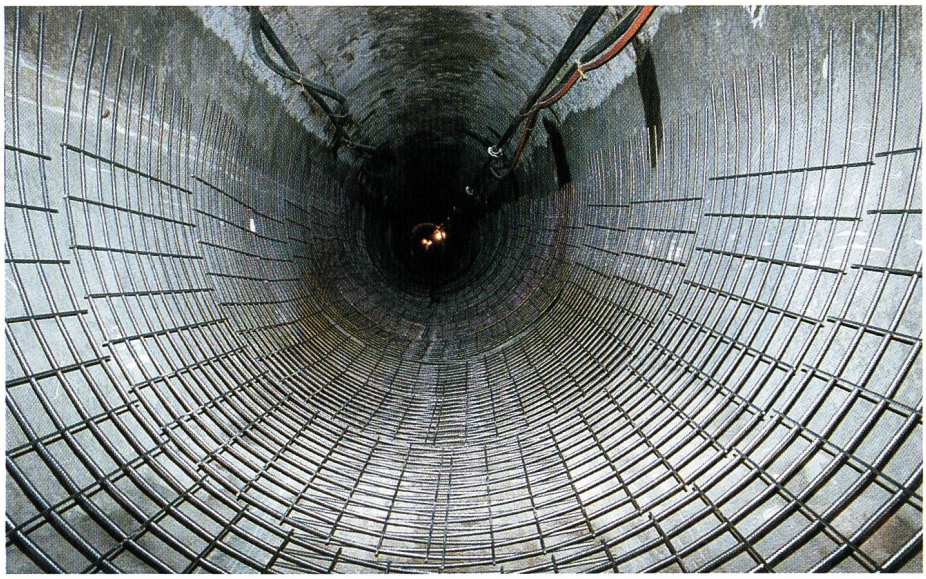

Bild 7. Armierung der Stollenverstärkung in der Lockermaterialstrecke.

Bild 8. Betonierung des Sohlbereichs mit Gleitschalung.

Bild 9. Einsatz von Spritzrobotern im Stollengewölbe.

lichen Schalung (Bild), der Hubvorrichtung zur Vorwärtsbewegung im Stollen und einem Nachläufer, zur Stabilisierung der frisch betonierten Kalotte. Der Wagen wurde auf der Sohlarmierung im Stollen montiert.

Der mit Dumper bis zur Einbaustelle transportierte Beton (Grösstkorn 16 mm) wurde vor den Schalwagen geleert. Hydraulische Zylinder, montiert auf der Hubeinrichtung, drückten anschliessend die Schalung über den frischen Beton. Die Hubeinrichtung blieb dabei an Ort mit der Stollenwandung verspannt. Da der alte Stollen keinen wesentlichen Innendruck aufnehmen konnte, war es wichtig, die Auftriebskräfte, die auf die Schalung wirkten, gleichmässig abzufangen. Dies war durch eine entsprechend grosse Abspannfläche möglich.

Nachdem die Schalung komplett ausgefahren und der gesamte Wagen neu verspannt wurde, konnte die Hubvorrichtung vorgeschoben werden. Automatisch wurde der Nachläufer nachgezogen, der den frischen Beton stabilisierte.

Durch Unregelmässigkeiten im Profil musste die Sohle oft etwas stärker als geplant ausgeführt werden. Auch machten dem Unternehmer die zahlreichen Krümmungen des Stollengrundrisses zu schaffen. Trotzdem gelang es mit dieser Methode ausreichend grosse Tagesetappen zu erreichen.

5.3 Spritzbeton

Der Unternehmer wollte anfänglich Spritzroboter im Stollen einsetzen. Verschiedene Aspekte erzwangen aber schliesslich einen Abbruch und eine Umstellung auf eine konventionelle, also von Hand gespritzte Bauweise.

Es zeigte sich, dass für die vorhandenen Platzverhältnisse im Stollen der Einsatz von Robotern keinen Vorteil, im Gegenteil sogar Nachteile mit sich brachte. Unter anderem sind die enorme Staubbelastung beim Anfahren der Maschine, der Düsenabstand von der zu gunitierenden Oberfläche und die Distanz vom Operateur zur Arbeitsstelle zu erwähnen.

Das Aufbringen von Spritzbeton erforderte vom Personal einiges an Können. Um eine qualitativ hoch stehende Arbeit zu erhalten, war es nötig, nebst dem Guniteur einen zweiten Mann vor Ort zu haben. Dieser hatte die Aufgabe, die zu beschichtenden Oberflächen kurz vor dem Aufbringen des Gunits mit Wasser vom Staub zu reinigen. Der Rückprall musste laufend von der vorgängig neu erstellten Sohle wegtransportiert werden.

5.4 Logistik

Gunitiert wurde im Trockenspritzverfahren. Die zu gunitierende Strecke war durch drei

Zugänge für den Baustellenbetrieb erschlossen. Beim mittleren Zugang, einem neu aktivierten Fenster aus der ursprünglichen Bauzeit des Stollens, wurde ein Silo mit integriertem Förderwerk installiert. Dieses versprach eine Förderung des Trockengemisches durch Rohre auf einer Länge von mehr als 700 m. Das Ziel wurde auch knapp erreicht. Da die Leistung aber zu stark abnahm, entschied sich der Unternehmer dazu, im Stollen auf halber Länge eine weitere Pumpe zu installieren. Nun wurde das Material bis ungefähr in Stollenmitte gepumpt, dort umgeschlagen und umgehend weiterbefördert. Dies erforderte eine gleichmässige Beschickung der beiden Pumpen, um zu vermeiden, dass der Stollen mit Trockengemisch verfüllt würde.

Der Stollen konnte seeseitig nicht geöffnet werden, da der Wasserstand über dem Einlauf lag. Um eine funktionierende Belüftung auch in diesem Abschnitt zu erhalten, war der Einsatz von Lutten nötig. Diese mussten zusammen mit den Spritzbetonarbeiten laufend umgesetzt, verlängert oder verkürzt werden.

6. Neubau des Wasserschlosses

Das alte Wasserschloss funktionierte im Wesentlichen mit den zwei grossen, oben beschriebenen Kammern und mit dem Überlauf unterhalb der Fassung Saiento. Im Rahmen des Projektes galt es, die bereits vorhandene Struktur so gut wie möglich auszunutzen. Anpassungen an der Druckleitungsführung sollten aus Kostengründen vermieden werden.

Die Geologie zeigte, dass die oberflächennahen Bauten nicht ohne Verstärkungsmassnahmen übernommen werden konnten. Die weiter im Berg liegenden Teile konnten allerdings direkt ins Projekt integriert und als untere Wasserschlosskammer genutzt werden. Neu erstellt wurden:

- obere Wasserschlosskammer (als Reservoir am Hang)
- Steigschacht und Verbindungsleitung zwischen Stollenende und oberer Kammer
- Belüftungsschacht für die untere Kammer
- Verbindungskanal Stollenende/Steigschacht/untere Kammer
- Verstärkung des Stollens auf rund 100 m Länge
- separater Steinfänger.

Die obere Wasserschlosskammer wurde als offene Wanne aus Beton konstruiert. Zur Abdeckung des Beckens wurden Gitterroste verwendet.

Die hangseitige Baugrubensicherung wurde direkt in das Bauwerk integriert.

Als Verbindungselement von der oberen Wasserschlosskammer zum Steigschacht aus dem Verbindungskanal heraus

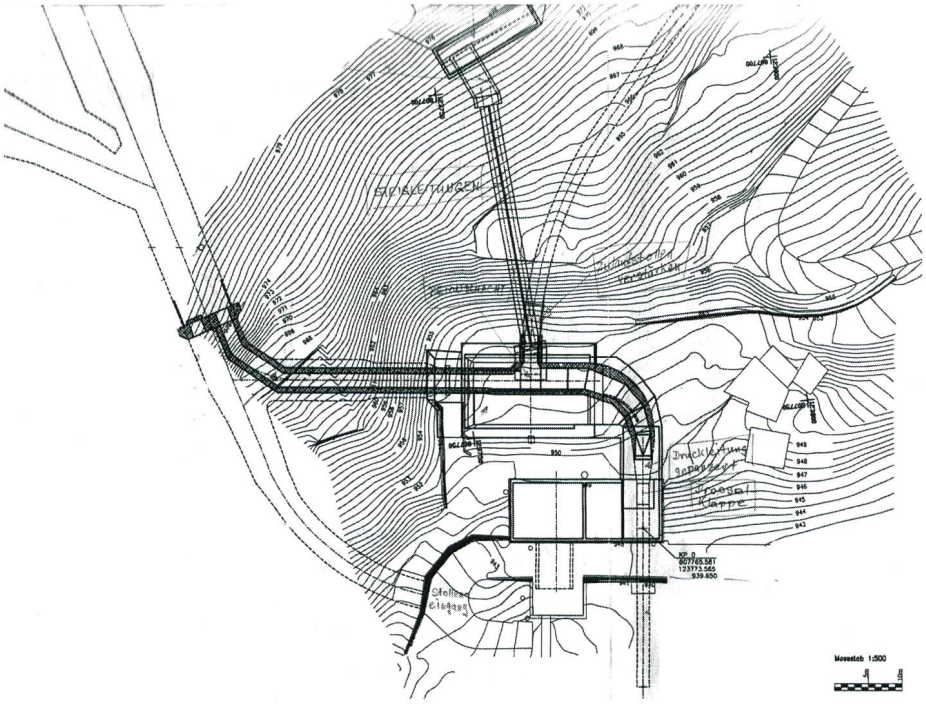

Bild 10. Situation des neuen Wasserschlosses.

Bild 11. Bau der oberen Wasserschlosskammer.

Bild 12. Holzdruckleitung.

Technische Daten	
Inbetriebnahme	Dezember 1906
Inbetriebnahme erneuerte Druckleitung und Zentrale	Dezember 1969
Maximale Leistung heute	38 MW (nur aus See) 43 MW (See und Saiento)
Mittlere Jahresproduktion	201,2 GWh
Produktion Winterhalbjahr (7 Monate Okt. – April)	83,3 GWh (41,4%)
Produktion Sommerhalbjahr (5 Monate Mai – Sept.)	117,9 GWh (58,6%)
Mittleres Energieäquivalent	0,98 kWh/m^3
Oberwasser	Lago di Poschiavo
Maximaler Stauspiegel	962,30 m ü.M.
Unterwasser	KW Campocologno II resp. Poschiavino
Länge des Zulaufstollens	5250 m (ca.)
Durchmesser des Zulaufstollens	ungleichmässig ca. 2,5 m
Maximaler Durchfluss Stollen bis Saiento heute	10,2 m^3/s
Maximale Fassungsmenge in Saiento	1,6 m^3/s (Auslegung) ab 1,3 m^3/s zu viel Geschiebe
Maximaler Durchfluss Druckstollen	14 m^3/s
Länge der Druckleitung	908 m
Durchmesser der Druckleitung	1,80 – 1,70 m
Bruttogefälle	418 m
Turbinen	2 Francis, je 25 MW
Drehzahl	1000 U/Min.
Kote des Maschinenbodens	530,65 m ü.M.

Tabelle 1. Zusammenstellung der technischen Daten.

wurden zwei Druckleitungen aus Holz verlegt. Damit die Leitungen aus harzreichem Lärchenholz vor Austrocknung geschützt sind, wurden sie erdverlegt.

Holzdruckleitungen fanden im Kraftwerkbau vor allem Anfang des letzten Jahrhunderts auch in unserem Raume Anwendung, wurden allerdings im Laufe der Zeit durch Leitungen mit anderen Materialien verdrängt. Dies zu Unrecht, wie alte Rätia-Energie-eigene Holzleitungen zeigten. Holzdruckleitungen sind bis zu einer Druckhöhe von 30 m wirtschaftlicher als andere Produkte auf dem Markt. Sie kosten nur etwa halb so viel wie Stahl- oder Kunststoffleitungen und werden von einem spezialisierten Zimmermann im Schwarzwald immer noch hergestellt.

Als eigentlicher Verbindungsknoten kann die Stelle beim Austritt des alten Stollens in das Wasserschloss beschrieben werden. Hier läuft das Wasser über den vertikalen Steigschacht und die Holzdruckleitungen in die obere Kammer, gleichzeitig kreuzt hier die Verbindung Richtung untere Kammern und in Richtung der Druckleitung ab.

Alle Arbeiten im Raume des Wasserschlosses liefen bei diesem Punkt zusammen. Der Bau des Vertikalschachtes war aus diesem Grunde logistisch sehr anspruchsvoll.

Die letzten rund 100 m vor dem Austritt des Stollens ins alte Wasserschloss mussten statisch verstärkt werden. Da hier das Profil ungünstig hoch war, mussten seitlich stark armierte Betonwände eingezogen und auf Höhe des Bogenendes mit Zugstangen gehalten werden.

Die vorhandenen Kammern konnten nicht direkt beim Stollenende an das neue System angeschlossen werden, da auf den ersten 70 m die Gebirgsüberdeckung zu gering war. Ein neu erstellter Kanal verbindet nun die eigentliche untere Wasserschlosskammer mit dem Rest des Systems. Der Verbindungskanal muss einen maximalen Innendruck von knapp 40 m Wassersäule aufnehmen.

Als Abschluss und Übergang des Kanals zu den zwei bestehenden unteren Kammern wurde eine rund 7 m hohe und ebenso breite Mauer in der bestehenden Kaverne eingezogen. Die Wand wurde rund einen Meter tief in den Fels eingebunden und inijziert.

Die zwei unteren Kammern mussten an ihrem höchsten Punkt entlüftet werden. Dazu wurde ein Schrägschacht von 30 m Länge innerhalb von knapp drei Wochen mit einem Alimak (inkl. Installation und Deinstallation) hochgefahren.

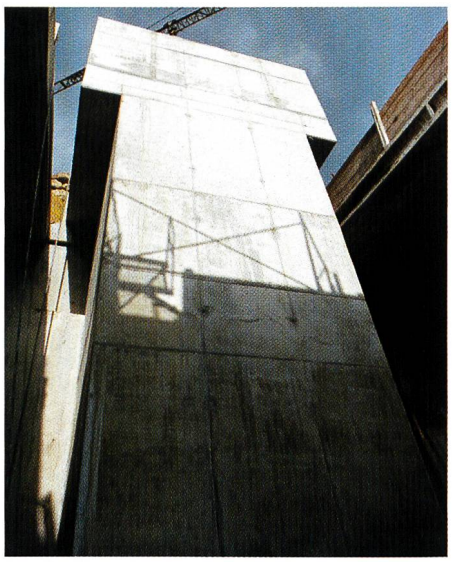

Bild 13. Steigschacht, Verbindung Kanal/Holzdruckleitung.

Bild 14. Statische Verstärkung am Stollenende mit Betonwänden und Zugstangen.

7. Die Inbetriebnahme und Suche nach Rissen

Die Unterdrucksetzung des Systems erfolgte Anfang Mai 2002. Die gesamte Länge des Stollens wurde von aussen im Bereich der alten Baustellenzugänge überwacht und die bekannten Quellen im Einzugsgebiet des Stollens wurden laufend gemessen.

Die Inbetriebnahme erfolgte in kleinen Druckstufen und unter ständiger Kontrolle der Wasserverluste resp. der Absinkgeschwindigkeit des Wasserspiegels im Steigschacht des Wasserschlosses. In Etappen wurde die Belastung wieder zurückgefahren und die Verluste beim Entlastungsvorgang wurden mit denjenigen bei der Erstbelastung verglichen.

Es wurden Anfangsverluste über den gesamten Stollenabschnitt in der Grössenordnung von bis zu 300 l/s erwartet. Gemessen wurden allerdings nur Werte um die 180 l/s. Unglücklicherweise waren sie nicht gleichmässig über den 5,25 km langen Stollen verteilt, sondern an einer Stelle flossen 50 l/s aus einer versiegten Quelle. Das Wasser lief unkontrolliert den Hang herunter auf eine Hauptstrasse. Die Austrittstelle musste gefunden werden.

Dazu wurde der Stollen nochmals entleert. Eine Begehung sollte die Schadenstelle zeigen. Bei der Begehung präsentierte sich der neu verstärkte Stollenabschnitt durch die Moränenstrecke in tadellosem Zustand, Anzeichen von Rissbildungen, geschweige denn von möglichen Wasserverluststellen konnten keine ausgemacht werden. Auch das nicht behandelte Teilstück mit weitgehend unverkleideten Stollenprofilen zeigte sich in einwandfreiem Zustand. Lediglich die Verkleidung der als gut beurteilten, da bereits früher unter Druck gestandenen Felsstrecke ab der Fassung Saiento bis zum Wasserschloss präsentierte sich praktisch durchgehend als gerissen. Es war aber unklar, durch welche Risse das Wasser zirkulieren konnte. Um zeitintensive und kostspielige Injektionen aller gerissenen, verkleideten Felszonen zu vermeiden, wurde aufgrund von Vorversuchen folgender Test durchgeführt:

- Kurz vor Abstellen der Turbinen wurden ein paar hundert Kilogramm Zeitschriftenschnitzel (Glanzpapier nach Eingabe in übliche Aktenvernichter) so in den Einlauf geschüttet, dass sie sich über die ganze Stollenlänge verteilten.
- Anschliessend wurde die Fliessgeschwindigkeit für einen knappen Tag auf Null gesetzt und der Druck erhalten.
- Danach wurde der Stollen entleert.

Bei Rissen mit Wasserverlusten blieben die Papierschnitzel hängen und waren nach der Entleerung sichtbar. Das Ergebnis

Bild 15. Verbindungskanal.

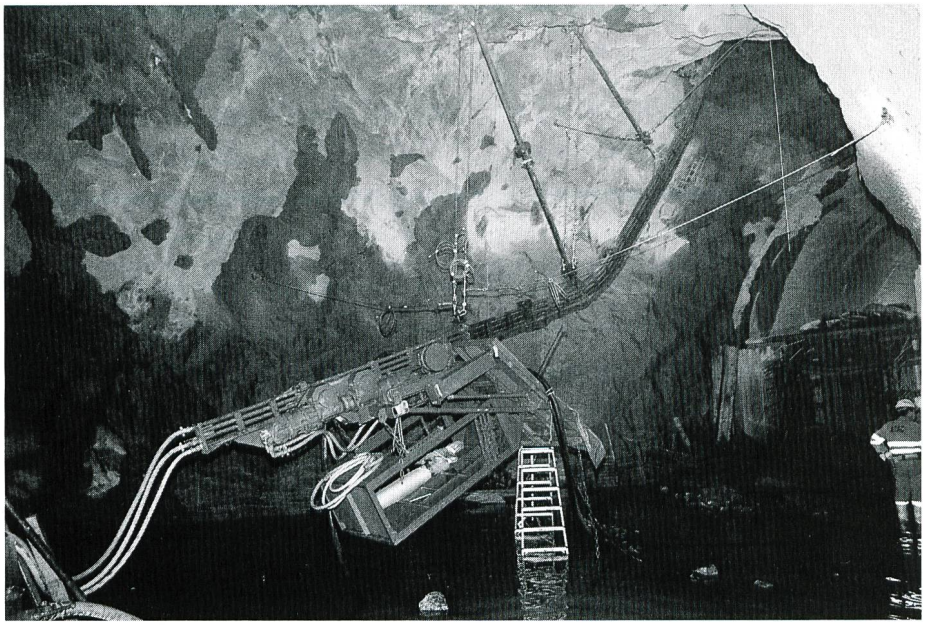

Bild 16. Belüftungsschacht für die unteren Wasserschlosskammern.

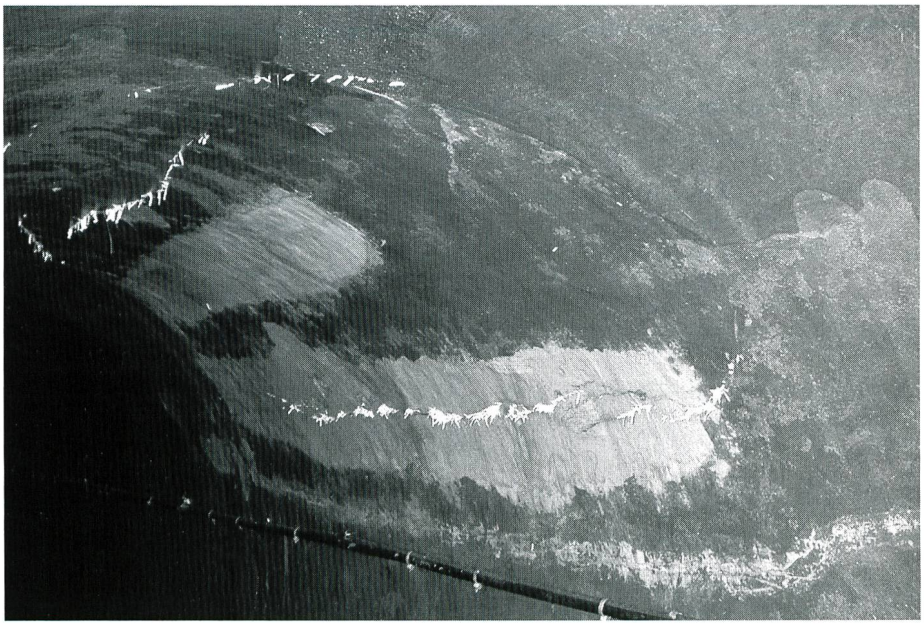

Bild 17. Papierschnitzel in Rissen zur Erkundung von Wasseraustritten.

war ausgezeichnet, und es konnten ganz klar die paar wenigen Risse mit Wasserverlusten von den vielen ohne Wasserverluste separiert werden.

Zusätzlich wurden auch ein paar überraschende Sunkquellen im Spritzbeton der Stollenverkleidung gefunden, die man sonst nie entdeckt hätte.

In der ganzen neu verstärkten Lockermaterialstrecke und in allen unverkleideten Felszonen wurde nicht ein einziger Wasserverlust festgestellt (keine Schnitzel gefunden).

Der grösste Teil der Schnitzel wurde aber bei der Entleerung turbiniert. Im Auslaufbereich der Zentrale waren sie nicht mehr sichtbar.

8. Zusammenfassung und Empfehlungen für ähnlich gelagerte Vorhaben

- Bei alten Stollen ist davon auszugehen, dass ein Hohlraum zwischen hölzerner Sicherung und dem Gewölbe besteht.
- Das Risiko eines Durchbruches zu alten Fenstern oder verlassenen Zugangsstollen ist unbedingt zu beachten und kann erheblich grösser sein als erwartet.
- Die visuelle Beurteilung bestehender Verkleidungen alleine kann in Druckstollen sinnlos oder ungenügend sein. Als unarmierte Betonstruktur unter Zugbeanspruchung gibt es oft nur einwandfreie Kräfteaufnahme oder schlagartig klaffende Risse unter kleiner Mehrbeanspruchung. Bei uns sind einwandfreie Betonverkleidungen in Felszonen deutlich stärker gerissen, als dies erwartet wurde.
- Belastungsversuche sind sehr zeitaufwändig und zusammen mit den Energieausfallkosten möglicherweise nicht mehr tragbar.
- Der Versuch mit Zeitschriftenschnitzeln zum Auffinden von Rissen mit Wasserverlusten hat ausgezeichnet funktioniert, wenig Zeit in Anspruch genommen und nur minimale Kosten verursacht und kann unbedingt weiterempfohlen werden.
- Die Verstärkung mit sehr dünnwandigem armiertem Spritzbeton hat sich gut bewährt. Bei 5 cm Sollverstärkung ist aber ein erheblicher Anteil Überprofil nicht zu vermeiden. Spritzmaschinen haben sich in diesem kleinen Profil wie erwartet nicht bewährt.
- Die Abstellzeit der Anlage von 2,5 bis 3 Monaten für den Bau eines neuen Wasserschlosses und die Verstärkung von 1,4 km Stollen ist bei entsprechender Vorbereitung möglich, aber kaum mehr zu unterbieten.

Anschrift der Verfasser
Remo Baumann, dipl. Bauingenieur ETH, Rätia Energie AG, Via da Clalt, CH-7742 Poschiavo.
Marco Peter, dipl. Bauingenieur ETH, Elektrowatt-Ekono, Hardturmstrasse 160, CH-8037 Zürich.

Hydromatrix®-Grosskraftwerk Jebel Aulia im Sudan

■ *VA Tech Hydro*

2001 erhielt VA Tech Hydro, einer der weltweit führenden Anbieter von Ausrüstungen und Dienstleistungen für Wasserkraftwerke, den ersten Grossauftrag für die Lieferung eines Hydromatrix®-Kraftwerkes für den Jebel-Aulia-Damm von National Electricity Corporation, der sudanesischen Elektrizitätsgesellschaft. Der Gesamtauftragswert für VA Tech Hydro beträgt rund 30 Millionen Euro.

Das Hydromatrix®-Kraftwerk besteht aus 80 Einheiten inklusive der erforderlichen mechanischen und elektrischen Nebenausrüstungen sowie dem neuen Dammkran. Die Leistung der Gesamtanlage beträgt 30,4 MW.

Die Montage und Inbetriebnahme der ersten 10 Turbinen-Generator-Einheiten wurde erfolgreich abgeschlossen und für den kommerziellen Betrieb an den Kunden übergeben. Seit Anfang des Jahres 2004 liefern diese ersten 10 Hydromatrix®-Turbinen Strom ins Netz von National Electricity Corporation.

Hydromatrix®, ein von VA Tech Hydro weiterentwickeltes Konzept zur hydraulischen Energieerzeugung, vereint die Vorteile bewährter Technologie mit denen des kostengünstigen Einbaus in bereits bestehende Damm- und Wehranlagen. Somit ermöglicht die Hydromatrix®-Technologie den Dammeignern, auf das bisher ungenutzte Wasserkraftpotenzial vieler Flüsse zurückzugreifen, um eine wertvolle erneuerbare Energiequelle zu erschliessen.

Die 80 Turbinen-Generator-Einheiten des Kraftwerks Jebel Aulia werden paarweise in 40 Modulen installiert. Bei 40 von insgesamt 50 Öffnungen des Dammes werden die Hydromatrix®-Module vorgesetzt und die ansonsten nicht genutzte hydraulische Energie wird kostengünstig in Elektrizität umgewandelt. Die Montage der nächsten Einheiten ist bereits in vollem Gange, in einer Sequenz von zwei Monaten werden jeweils 10 Turbinen-Generator-Einheiten in Betrieb genommen.

Anfang 2005 wird das Kraftwerk den Vollbetrieb aufnehmen.

Der Jebel-Aulia-Damm am Weissen Nil wurde 1933–1937 gebaut und liegt 40 km südlich der Hauptstadt Khartoum. Der Damm dient zur Bewässerung des angrenzenden landwirtschaftlich genutzten Gebietes.

Bild 1. Fünf Hydromatrix®-Turbinenmodule und Dammkran des Kraftwerks Jebel Aulia.