

Zeitschrift: Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria
Herausgeber: Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband
Band: 91 (1999)
Heft: 9-10

Artikel: Hangbewegungen zwingen zum Ersatz einer Druckleitung durch einen Druckschacht
Autor: Ronchetti, Marco
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-940082>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

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. [Voir Informations légales.](#)

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. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 17.05.2025

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

Hangbewegungen zwangen zum Ersatz einer Druckleitung durch einen Druckschacht

■ Marco Ronchetti

1. Das Juliawerk Tinizong des Elektrizitätswerkes der Stadt Zürich

Das Juliawerk Tinizong ist die leistungsstärkste und wichtigste Anlage der Kraftwerke Mittelbünden. Diese nutzen die Wasserkräfte des Oberhalbsteins und des unteren Albula-tals in mehreren Stufen. Das Werk Tinizong wurde in den Jahren 1950 bis 1954 errichtet und 1966 mit der Beileitung des Nandröbaches ergänzt.

Das Wasser der Julia wird durch den Stein-Erddamm bei Castiletto zum Marmorera-see mit 60 Mio m³ Speichereinhalt gestaut. Durch einen 9,30 km langen Druckstollen fliesst das Betriebswasser zum Wasserschloss Tinizong und von da über eine 895 m lange Druckleitung weiter zu der auf 1200 m ü.M. liegenden Kraftwerkzentrale Tinizong. Dort erzeugen drei Maschinengruppen bei einem Bruttogefälle von 484 m und einer installierten Leistung von 67 MW eine durchschnittliche Jahresproduktion von 194 GWh.

Bild 1 stellt einerseits die bestehende Anlage dar und gibt andererseits einen Überblick der in der Folge beschriebenen Erneuerungsarbeiten.

2. Die ursprüngliche Druckleitung

Die Druckleitung Tinizong bestand aus einem Hauptstrang und einem Nebenstrang, welcher 1969 zugefügt wurde. Der 895 m lange Hauptstrang war als eingegrabene, betonumhüllte, expansionslose Stahlleitung ausgebildet. Ihr lichter Durchmesser verjüngte sich von 1,80 m oben nach unten auf 1,50 m. Der Nebenstrang mit einem konstanten Durchmesser von 1,15 m zweigte ca. 200 m oberhalb der Zentrale vom Hauptstrang ab.

3. Geologische Übersicht

Das Gebiet der Anlage wird von mehreren komplexen Deckeneinheiten aufgebaut, deren Gesteine eine deutliche Verschieferung erfahren haben. Primär handelt es sich dabei

um stark tektonisierten Arblatschflysch und die diesen mit tektonischem Kontakt unterlagernde mittelpenninische Serie von Savognin. Im Gebiet bis hinauf zum Piz Arlos sind grosse Flächen von Felssackungen betroffen.

Diese oberflächennahe Sackungsmasse besteht aus Flyschpaketen, welche im Verlaufe der Zeit über die anstehenden Moränen und Schotterablagerungen geschoben wurden (Bild 2). An ihrer Basis in rund 100 m Tiefe liegt eine mehr als 10 m mächtige, auch heute noch aktive Basisgleitzone mit stark zerbrochenem Kalksandschiefer.

Der Arblatschflysch baut sich vorwiegend aus einer metamorph überprägten Wechsellagerung von Tonschiefer und sandigem Kalkschiefer auf, die meist stark verfäلت sind. Im Vortrieb zeigte er sich als leicht gebräches, aber gutmütiges Stollengebirge.

Eine Gesteinsabfolge aus Quarzporphyr, Arkose, Dolomit, Rauhwacke und Marmor bildet die «Trias»-Serie von Savognin. Am

3D-Darstellung

- (A) Kriechender Fels
- (B) Stabiler Fels – Bündnerschiefer
- (C) Marmor, Dolomit- und Rauhwackensand

Bestehende Anlageteile

- ① Druckstollen von Marmorera
- ② Zuleitungsstollen von Nandrò
- ③ Wasserschloss
- ④ Apparatkammer
- ⑤ Eingegrabene Druckleitung
- ⑥ Kraftwerk Tinizong

Neue Anlageteile

- ⑦ Zugangsstollen, L = 270 m
- ⑧ Kaverne mit Abschlussorgan
- ⑨ Schrägschacht $\varnothing_i = 2,4$ m, L = 762 m
- ⑩ Unterer Druckstollen, stahlgepanzert, $\varnothing_i = 2,4$ m, L = 210 m
- ⑪ Rohrstollen, $\varnothing_i = 2,2$ m, L = 196 m

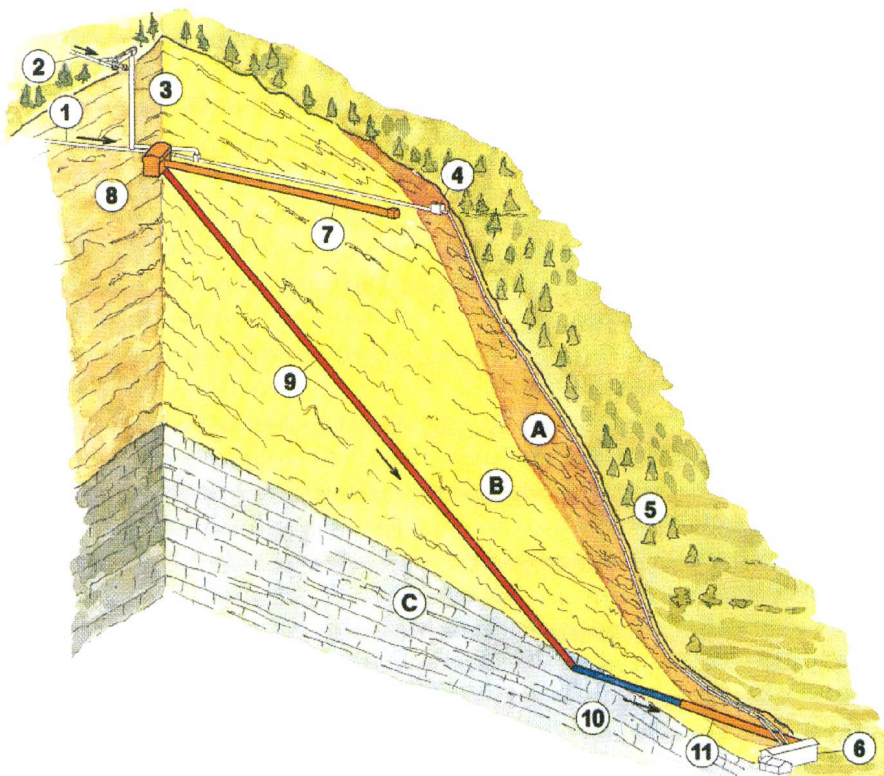


Bild 1. Gesamtüberblick der bestehenden Anlagen und des neuen Druckschachtes.

Bau zeigte sie sich als eine stark zerhackte Zone (tektonische Mélange). Es traten mächtige Kakiritzonen mit plastischen Tonschichten und vollständig entfestigten Dolomit-Rauhackensanden auf (Bilder 3 und 4).

4. Hangbewegung

Der linke Hang des Juliatals weist starke, andauernde Geländebewegungen auf. Die Lage der Druckleitung wurde daher so gewählt, dass den Zonen mit grosser Kriechbewegung ausgewichen werden konnte. Diese Beurteilung hat sich leider nicht als richtig bestätigt. Aufgrund ausserordentlicher Vorkommnisse, wie z. B. ein 15 m langer Riss in der Zentrale, wurde sukzessive ein geodätisches Messnetz aufgebaut und mit Sondierbohrungen ergänzt. Damit konnte festgestellt werden, dass sich der Hang im gesamten Bereich der Druckleitung in der Hangfalllinie bewegt. Eine ganze Serie von Vermessungspunkten erfährt Verschiebungen von etwa 8 mm/Jahr, extreme Punkte bis 13 mm/Jahr. Die Kraftwerkzentrale selbst steht auf den stabilen Alluvionen der Talfüllung und bewegt sich praktisch nicht.

5. Risiken infolge der Hangbewegung

Die Kräfte infolge der Druckleitungsverschiebung wirkten auf die Verteilleitung, da der vorhandene Fixpunkt hinter der Zentrale nicht in der Lage war, diese Beanspruchung aufzunehmen. Die Auswirkungen traten im Maschinenhaus bei den Abschlussorganen und bei den Turbinengehäusen in Form von Verdrehung und Längenänderungen zutage. Für den Wiedereinbau der Kugelschieber mussten mehrmals Passringe gekürzt werden.

Die Druckleitung selbst erfuhr durch die Hangbewegungen ebenfalls entsprechende Formänderungen. Im oberen Teil der

Leitung musste eine Dehnung von etwa 30 bis 40 cm angenommen werden. Im Hüllbeton waren Risse vorhanden und damit der äussere Korrosionsschutz in Frage gestellt.

Problematischer als die Dehnungen waren die Stauchungen im untersten Teil der Leitung, weil dadurch die Leitung einbeulen könnte, wie dies ebenfalls infolge Terrainbewegungen schon bei den ewz-eigenen Druckleitungen Heibach und Tiefencastel West aufgetreten war.

Eine Havarie bzw. eine wegen Havarierisiko auf kurze Sicht gebotene Betriebseinstellung hätte zu grossen Kosten geführt. So riskierte man einen Produktionsausfall von mehreren Monaten in den Kraftwerken Tinizong und Tiefencastel Ost. Die Druckleitung hätte provisorisch repariert werden müssen, bevor mit den mehrere Jahre dauernden Arbeiten für deren Ersatz hätte begonnen werden können. Zur Sicherstellung der Verfügbarkeit der beiden Kraftwerke Tinizong und Tiefencastel Ost mussten umgehend die geeigneten Massnahmen ergriffen werden.

6. Untersuchte Lösungsmöglichkeiten

Sanierung der bestehenden Druckleitung

Bei dieser Lösung wird die bestehende Druckleitung aufgeschnitten und zu einer «Leitungskette» mit 14 Fixpunkten und 7 Expansionen umgebaut.

Gegen die Ausführung einer solchen Sanierung sprach schon allein der Produktionsausfall während der Umbauphase von mindestens 300 GWh in den im Tandembetrieb arbeitenden Kraftwerken Tinizong und Tiefencastel Ost.

Allfällige weitere Sanierungsschritte wären nicht ausgeschlossen gewesen.



Bild 2. Marciavanti-Vortrieb im Rohrstollen durch die Sackungsmasse.

Die Überwachung und der Unterhalt der vielen Dilatationen würden zu überdurchschnittlich hohen Betriebskosten führen.

Durch die Anordnung von Dilatationen wären die schlechten hydraulischen Eigenschaften noch verstärkt worden, da bereits ohne Dilatationen die Reibungsverluste in der Druckleitung bei Vollast 20,90 m betrugen, was rund 4,6 % der mittleren Bruttofallhöhe entsprach.

Ersatz durch neue Druckleitung mit Expansionen

In Anbetracht der damit verbundenen Umweltbeeinträchtigung und der überdurchschnittlich hohen Betriebskosten sowie des



Bild 3, links. Händischer Vortrieb vor dem Fräskopf im unteren Druckstollen in der Triaszone. Sicherung mit Stahleinbau und Spritzbeton. Bild 4, rechts. Fräsvortrieb im unteren Druckstollen nach dem Einbruch. Die Fräse ist grösstenteils wieder freigelegt. Im linken Parament sind Rauhackebänke sichtbar, die ein Verspannen der Gripper massiv erschwerten.

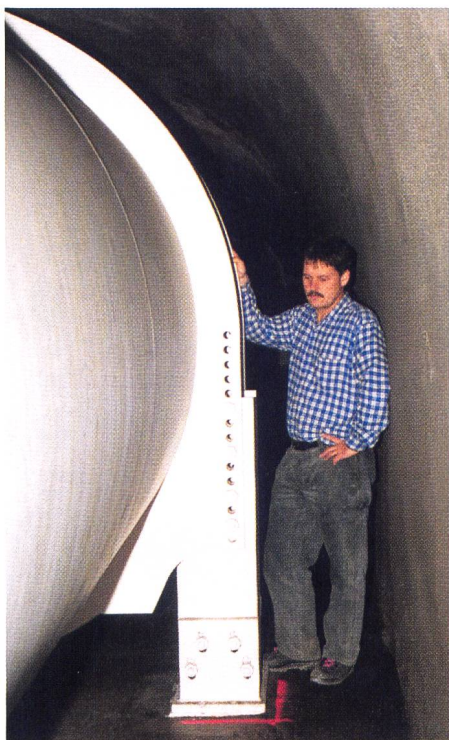


Bild 5. Auflagersattel im Rohrstillen mit höhenverstellbaren Füßen und Gleitlager unter den Fussplatten.

grossen verbleibenden Restrisikos wurde auf eine nähere Untersuchung dieser in der Schweiz heute kaum mehr ausgeführten Lösung verzichtet.

Ersatz durch Druckschacht

Mit dieser Massnahme wird der Triebwasserweg ab dem Wasserschloss als Druckschacht im stabilen Felsuntergrund vollkommen bergmännisch neu erstellt (Bild 1). Die Gefährdung des Triebwasserweges durch die Hangbewegungen entfällt.

Der Betriebsunterbruch des Kraftwerkes beschränkt sich auf die kurze Zeit für die Umstellungsarbeiten von der Druckleitung auf den Druckschacht.

7. Ersatz der Druckleitungen durch einen Druckschacht

Aufgrund der vorangehenden Ausführungen verblieben einzig die Druckschachtlösungen als Ersatzmassnahme.

Unter Berücksichtigung der geologischen Gegebenheiten und der bautechnischen Ausführungsmöglichkeiten wurden je eine Vertikalschacht- und Schrägschachtvariante eingehend untersucht und für beide Varianten eine Submission betreffend Baumeister- sowie Stahlpanzerungsarbeiten durchgeführt.

Da die Vertikalschachtlösung zu bedeutend tieferen Kosten führte, wurde unter nochmaliger Abwägung aller Vor- und Nachteile eindeutig entschieden, die Variante Vertikalschacht auszuführen.

8. Massnahmen zur Aufnahme der Hangbewegung

Die Kriechbewegungen der Hangmasse oberhalb der basalen Gleitfläche können mit technischen Massnahmen nicht verhindert werden.

Als wirtschaftlichste Lösung erwies sich die Triebwasserführung unterhalb der basalen Gleitfläche im stabilen Fels. Daher wurde die Kaverne zur Aufnahme der Drosselklappe rund 270 m in den Berg hinein versetzt. Einzig im Bereich des Hangfusses musste die basale Gleitfläche geschnitten werden.

Dieser Stollenabschnitt von 200 m Länge wird als Rohrstillen ausgebildet. Darin wird das Druckrohr frei zugänglich alle 18 m auf Rohrsättel gelagert, welche höhenverstellbar und horizontal verschiebbar konstruiert sind (Bild 5).

Damit können die Bewegungen des Untergrundes nach Bedarf durch Nachstellen der Lager kompensiert werden.

Weiter galt es zu verhindern, dass an den Kugelschiebern Zwangsspannungen infolge der Hangbewegungen auftreten. Mit einem neuen Fixpunkt im Bereiche der Verteilleitung und der Einspannung des Druckrohres am bergseitigen Rohrstillenende ergibt sich eine zwischen zwei Festpunkten auf Rohrsätteln freiliegende, verschiebbare und um 83 Grad abgewinkelte Leitung, die durch die Hangbewegungen nicht mehr beeinflusst wird (Bild 6).

9. Projekt Vertikalschacht

Linienführung

Vom bestehenden Druckstollen Marmorera Tinizong wird das Triebwasser beim Wasserschloss in den Anschlussstollen umgeleitet, welcher nach rund 30 m in eine Kaverne mündet. In dieser wird das Triebwasser nach dem Durchströmen der Drosselklappe in den 361 m tiefen Vertikalschacht umgelenkt. Beim Schachtfuss folgt der geradlinige, mit einem Gefälle von rund 2% gegen die Zentrale Tinizong verlaufende untere Druckstollen. Nach rund 900 m wechselt der den unteren Druckstollen umgebende kompakte Fels in den geologisch ungünstigen Bereich der Sackungsmasse am Hangfuss. Diese Strecke wird mit einem rund 200 m langen begehbaren Rohrstillen überwunden.

Mittels eines horizontal um ca. 83 Grad Richtung Zentrale gekrümmten Rohrkellers, worin das Betriebswasser analog dem Rohrstillen in einem Stahlrohr von 2,20 m Durchmesser geführt wird, erfolgt die Verbindung zur bestehenden Verteilleitung (Bild 6). Diese bleibt erhalten und wird zu einem massiven Fixpunkt mit starrer Verbindung zur Zentrale ausgebildet.

Verkleidungen

Die Ergebnisse der im Sommer 1994 durchgeführten Hydrofrac-Versuche erlaubten die Anwendung einer passiv vorgespannten Betonverkleidung im Vertikalschacht und im an-



Bild 6. Anschlussbereich bei Zentrale. Im Vordergrund neuer Teil Verteilleitung mit Schalungen für Fixpunkt. Im Hintergrund Übergang Rohrkeller in den Rohrstillen.

schliessenden unteren Druckstollen auf einer Länge von rund 550 m ab Schachtfuss. Die verbleibenden Abschnitte bis zur Zentrale benötigten eine Stahlpanzerung.

10. Projektumstellung während der Bauausführung

Am 3. Juni 1996 begann der Marciavanti-Vortrieb durch die Lockergesteinstrecke im Rohrstollenabschnitt (Bild 2). In schlechten Zonen und bei Wasserandrang war eine teilweise Stützung der Brust erforderlich. Die mittlere Vortriebsleistung lag bei rund 2,00 m pro Tag mit einem zweischichtigen Betrieb.

Projektgemäss konnte nach 196 m auf den Fräsvortrieb für den unteren Druckstollen umgestellt werden. Zum Einsatz kam eine Robins-Fräse von 3,50 m Durchmesser. Sehr schnell wurden gute Fräseleistungen von 15 bis 18 m pro Tag erreicht.

Nach etwas über 100 m Fräsvortrieb wurde Anfang November 1996 eine mächtige Störzone mit starkem Wasserandrang angefahren. Die Fräsmaschine konnte sich nicht mehr verspannen und sackte ab. In sehr beschwerlichem Handausbruch und Stahleinbau vor dem Fräskopf konnte die ca. 10 m mächtige Störzone überwunden werden (Bild 3). Im folgenden Fräsvortrieb wechselten sich gute und schlechte Felsverhältnisse in rascher Reihenfolge ab. Am 5. März 1997 kam es während der Nachtschicht zu einem Einbruch über dem Fräskopf, wobei glücklicherweise niemand verletzt wurde (Bild 4). Die Fräse hatte eine grosse Karsthöhle angefahren und musste in mühsamer Handarbeit freigelegt und zurückgezogen werden.

Geologisch gesehen hatte man die gemäss Prognose viel tiefer verlaufende Serie von Savognin angefahren. Vor allem das Abteufen des Vertikalschachtes im Raise-Drill-Verfahren hätte unter diesen Voraussetzungen ein unkalkulierbares Risiko beinhaltet. Aber auch schon beim weiteren Vortrieb der Flachstrecke hätte mit erheblichen Verzögerungen und massiven Mehrkosten gerechnet werden müssen. So hätte die passiv vorgespannte Stollenverkleidung durch eine bedeutend teurere Stahlpanzerung ersetzt werden müssen. Um den geologisch ungünstigen Verhältnissen auf dem kürzesten Weg auszuweichen, entschied man, die Linienführung grundlegend von der Vertikalschachtlösung auf eine Variante mit einem rund 56° geneigten Schrägschacht umzustellen.

11. Ausführungsprojekt Schrägschacht

Projektanpassung

In der Zwischenzeit waren der ganze Zugangsstollen und die Kaverne praktisch zu

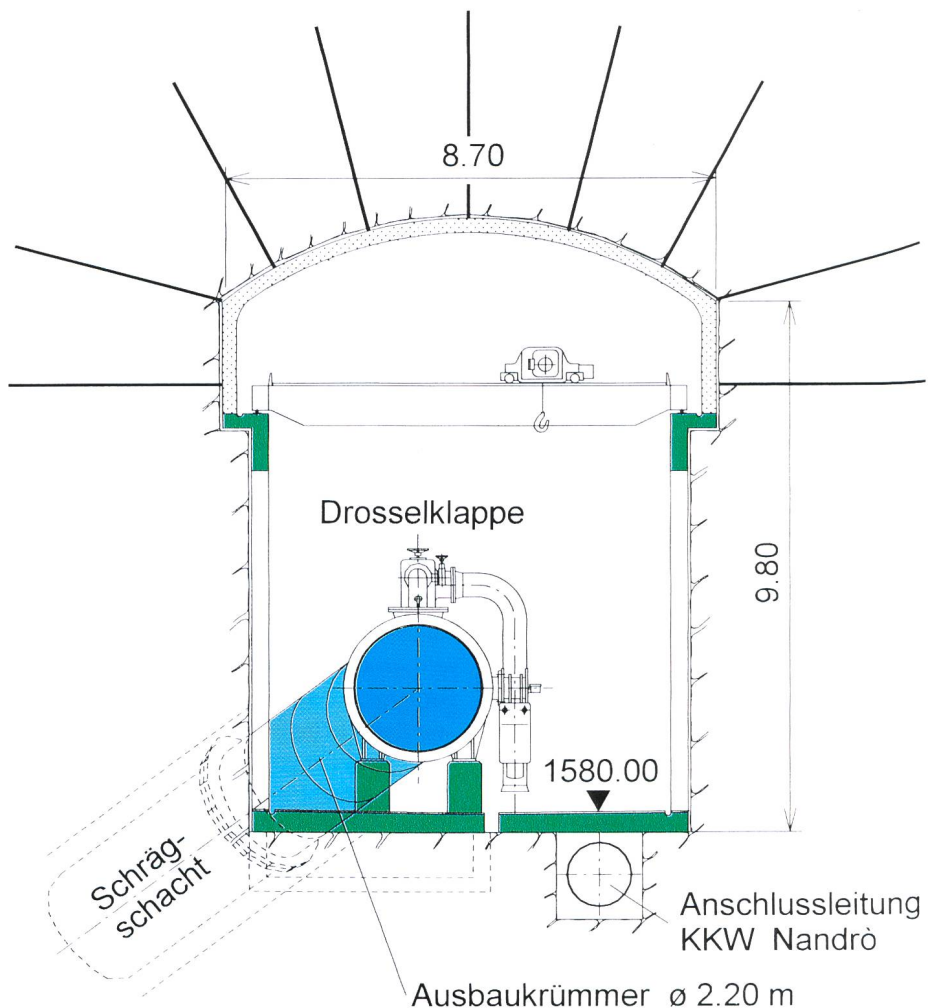


Bild 7. Querschnitt Kaverne.

$\frac{3}{4}$ nach dem Konzept für die Vertikalschachtvariante ausgebrochen worden. Für die nun zur Ausführung kommende Schrägschachtvariante fand man mit einem gekrümmten Ausbaurohr zwischen Drosselklappe und Schrägschacht eine Disposition, die sich sehr gut in die schon erstellten Teile einfügen liess (Bild 7). Der Schrägschacht mit 2,90 m Ausbruchdurchmesser startet unmittelbar bei der Einbruchstelle im unteren Druckstollen und steigt mit 56° Neigung über eine Länge von 762 m zur Kaverne empor (Bild 1).

Stahlpanzerungen

Bedingt durch die neue Linienführung musste nun der ganze Triebwasserweg durchgehend mit einer Stahlpanzerung versehen werden.

Für den Anschlussstollen und den Schrägschacht wurden Rohre der Stahlqualität S 355NL verwendet. Die Wandstärke der Rohre beträgt im Anschlussstollen bei 2,20 m Innendurchmesser 15 mm. Beim Schrägschacht mit 2,40 m Innendurchmesser nimmt die Blechdicke von 15 mm beginnend bis 33 mm beim Schachtfuss zu. Für den unteren Druckstollen mit ebenfalls 2,40 m Innendurchmesser wurden wegen der grossen Aussendruckbelastung ringversteifte Rohre

mit 27 mm Wandstärke bei einer Stahlqualität S 460ML eingebaut. Dieselbe Stahlsorte kam im anschliessenden Rohrstollen mit einer Wanddicke von 28 mm und Innendurchmesser von 2,20 m zur Anwendung.

12. Bauausführung Projekt Schrägschacht

Schrägschacht

Unter grossem Zeitdruck organisierte die Arbeitsgemeinschaft Druckschacht Tinizong eine Vortriebsanordnung für den Schrägschacht. Zum Einsatz kam eine Wirth TBM von 2,90 m Durchmesser. Mit geringen Zusatzenergieerweiterungen konnte die angefahrte Karsthöhle als Startkaverne benützt werden (Bild 8). Nach wenigen Metern in der Triasformation verlief der Vortrieb wieder im standfesten Flysch, welcher nur eine minimale Felsicherung benötigte. So konnte die Schrägschachtstrecke in rund 2½ Monaten ohne nennenswerte Schwierigkeiten aufgefahren werden (Bild 9).

Zugangsstollen und Kaverne

Während der ganzen Ausbrucharbeiten musste auf die in rund 30 m Abstand und

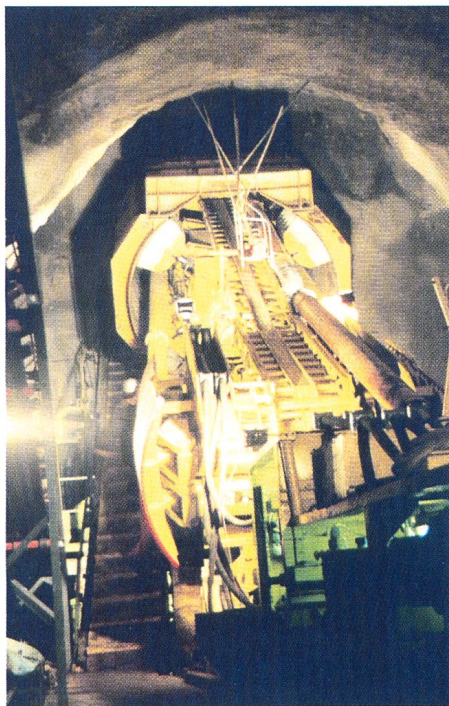


Bild 8. Einbau der Vortriebseinrichtung am Fuss des Schrägschachtes. Die Kavernengrösse war grösstenteils durch die angefahrene Karsthöhle gegeben.

unter Betrieb stehenden Stollenabschnitte Rücksicht genommen werden. Daher wurde für den Felsabbau anfänglich eine Teilschnittmaschine eingesetzt. Für diese erwies sich leider das Gestein als zu hart, und nach rund 70 m Vortrieb wurde auf Sprengvortrieb umgestellt. Ansonsten verlief der Ausbruch des 270 m langen Zugangsstollens mit einem Hufeisenprofil von 4,05 m Höhe und 3,20 m Breite problemlos, wie auch das anschliessende Auffahren der Kaverne von 53,00 m Länge, 7,70 m Breite und 11,00 m Höhe (Bilder 7 und 13). Eine Systemankerung, Spritzbeton mit Stahlfasern und teilweise noch Armierungsnetze genügten für die Sicherung. Infolge des geringen Anfalles von Bergwasser wurde auf den Einbau einer Abdichtung verzichtet. Als vorsorgliche Massnahme wurde das Lichtraumprofil der Kaverne so gross ausgelegt, dass bei Bedarf ein Unterdach eingezogen werden kann.

Panzerung und Hinterbetonierung

Die Montage der Panzerung begann mit den Krümmerrohren beim Übergang der Flachstrecke zum Schrägschacht. Pro Tag wurde ein 9-m-Rohr von der Kaverne aus in den Schacht hinuntergelassen, positioniert, verschweisst und hinterbetoniert (Bild 10).

Der Beton für die Hinterfüllung der Panzerrohre musste von der Betonzentrale mit Fahrmischern während einer halben Stunde Fahrzeit in die Kaverne hochgefahren

werden. Hier erfolgte der Umlad auf einen Schachttransportwagen und der Transport zur Einbaustelle, wo der Beton hinter die Panzerrohre fliessen musste.

Aus Platzgründen war ein Verdichten mit Vibratoren nicht möglich. Diese vielfältigen Anforderungen wurden mit einem Fliessbeton B30/20, W/Z-Wert 0,54 und der Zugabe von 300 kg CEM 42,5, 75 kg Flugasche und 1,2% Verflüssiger erfüllt. Auch in der

Flachstrecke wurde jeweils ein Rohr montiert und anschliessend mit Pumpbeton hinterfüllt. Vor allem der Transport der 12 m langen Rohre mit einem Gewicht von fast 21 t stellte hohe Anforderungen an die Spurgenaugigkeit des Transportgeleises und an die Beweglichkeit der Fahrwerke (Bild 11).

Zusätzlich wurden im unteren Druckstollen aus dem Rohrscheitel noch Füllinjektionen ausgeführt.



Bild 9. Durchschlag des Schrägschachtes in die Drosselklappenkaverne am 10. September 1997.



Bild 10. Rohrumschlag in der Kaverne für die Panzerungsmontage im Schrägschacht.

Korrosionsschutz

Nach beendeter Rohrmontage konnte im Oktober 1998 mit einem Monat Rückstand auf das ursprüngliche Bauprogramm mit den Korrosionsschutzarbeiten begonnen werden. Entgegen den Erwartungen des Unternehmers rutschte der Strahlsand im 56 % geneigten Schrägschacht nicht von alleine hinunter (Bild 12). Der Sand musste deshalb in zusätzlichen Nacht- und Wochenendschichten in mühsamer Handarbeit den Schacht hinunter befördert werden. Dennoch gelang es, die Korrosionsschutzarbeiten fristgerecht auf Ende Januar 1999 zu beenden. Konserviert wurden die rund 9300 m² Stahloberfläche mit einer Zinkgrundierung und je einen Teerepoxi Grund- und Deckanstrich mit mindestens 300 µm Gesamttrockenschicht Stärke.

Anschlussphase

Für den Zusammenschluss des neuen Druckschachtes mit dem bestehenden Triebwassersystem stand die Periode vom 1. Februar 1999 bis 31. Mai 1999 zur Verfügung. In dieser Zeit konnte das zufließende Wasser im Speicher Marmorera ohne nennenswerten Produktionsausfall zurückgehalten werden.

Die Arbeiten im Zentralbereich bestanden im wesentlichen aus dem Abbruch der alten Leitungen und Betonfixpunkte und dem Aufbau eines neuen Fixpunktes, Stahlbetonkonstruktionen für den Rohrkeller, Montage der Panzerung und Korrosionsschutzarbeiten (Bild 6).

Bei der Kaverne mussten der rund 30 m lange Anschlussstollen sowie der Verbindungsschacht von 7,00 m Höhe zur bestehenden unteren Wasserschlosskammer erstellt werden (Bilder 13 und 14). Danach erfolgte die Montage der Drosselklappe und des Ausbaukrümmers. Dank optimalen Vorbereitungen und vollem Einsatz aller Beteiligten gelang es, die Anlage Ende Mai 1999 fristgerecht in Betrieb zu nehmen.

Kosten

Trotz der Projektumstellung infolge geologischer Schwierigkeiten kann der Kostenvoranschlag von 31,5 Mio Fr. eingehalten werden.

13. Mehrproduktion an Energie

Infolge der verminderten hydraulischen Reibungsverluste durch eine günstige Wahl des Schachtdurchmessers darf eine Leistungsverbesserung von ca. 4,5 % erwartet werden. Die zugehörige Mehrproduktion beträgt etwa 4,5 Mio kWh pro Jahr, entsprechend etwa 2,3 % der Jahresproduktion des Kraftwerkes. Damit lässt sich der Stromkonsum von annähernd 1000 Haushaltungen decken.

14. Option Kleinkraftwerk Nandrò

Die bestehende Fassung und Beileitung des Nandròwassers

Das Nandròwasser wird bei Radons auf der Kote 1796,20 gefasst und in einer Hangleitung von 1300 m Länge und einem anschließenden 2660 m langen Freispiegelstollen in die obere Kammer des Wasserschlosses Tinizong eingeleitet. Dort fällt es bis auf den jeweiligen Wasserspiegel im Vertikalschacht des Wasserschlosses hinunter. Erst ab dieser Kote wird das Nandròwasser zur Energiepro-

duktion verwendet. Die ungenutzte Fallhöhe variiert je nach Stauspiegel im Stausee Marmorera zwischen 112 m und 173 m. Im Jahresmittel beträgt sie 128 m.

Projekt Kleinkraftwerk Nandrò

Bei einer zukünftigen Realisierung des Kleinkraftwerkes Nandrò würde von der Nandròfassung parallel zur bestehenden Freispiegel-Hangleitung und dem Zuleitungsstollen eine Druckleitung erstellt. Durch einen ca. 100 m langen Vertikalschacht erreicht diese Leitung die neuerstellte Drosselklappenkaverne des Druckschachtes, wo zwei Gegen-



Bild 11. Transport der 12 m langen Rohre für den Rohrstollen. Der Aussenkorrosionsschutz wurde schon im Werk aufgebracht.



Bild 12. Korrosionsschutz im Schrägschacht. Arbeitsbühne und Strahlsand, der in Handarbeit nach unten befördert werden musste.

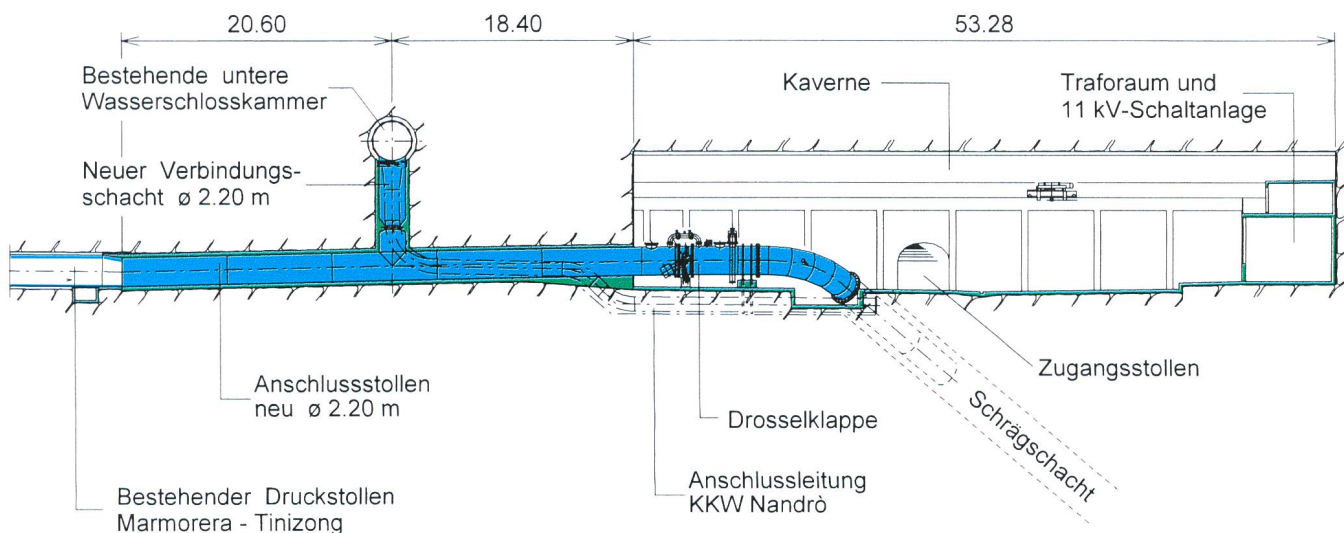


Bild 13. Längsschnitt Anschlussstollen und Kaverne.

druckturbinen untergebracht sind. Danach gelangt das Wasser über eine Leitung in die untere Wasserschlosskammer zurück. Die die Schluckfähigkeit der Turbinen überschreitende Wassermenge fliesst in gleicher Weise wie heute dem Wasserschloss zu.

Bei einer vorgesehenen Ausbauwassermenge von $2,1 \text{ m}^3/\text{s}$ und einer installierten Leistung von 2,8 MW ist eine mittlere Energieproduktion von 3,1 GWh im Winter und 5,4 GWh im Sommer zu erwarten.

Die Gesteungskosten dieser zusätzlich gewinnbaren Energie betragen rund 8 Rp./kWh.

Massnahmen zur Offenhaltung der Option für ein Kleinkraftwerk Nandrö

Um bei einer Realisierung des Kleinkraftwerkes eine längere Abschaltung der Hauptstufen Marmorera-Tinizong-Tiefencastel Ost zu vermeiden, wurde in der Kaverne Platz für

zwei Maschinen vorgesehen. Zusätzlich wurden eine Verbindungsleitung ab unterer Wasserschlosskammer zur Kaverne erstellt und ein rund 100 m hoher Vertikalschacht zur Aufnahme der zukünftigen Triebwasserzuführung aufgeföhren.

Es bleibt zu hoffen, dass dieses ökologisch sinnvolle Kleinkraftwerk auch unter den veränderten Bedingungen auf dem Strommarkt möglichst bald realisiert werden kann. Das Projekt führt zu keinen zusätzlichen Umweltbeeinträchtigungen. Es gestattet jedoch, das dem Nandröbach entnommene Wasser effizienter zu nutzen, ohne dass oberirdisch sichtbare Bauten erstellt werden müssen.

15. Am Bau beteiligte Firmen

Bauherr:
Elektrizitätswerk der Stadt Zürich
Abt. des Departementes der Industriellen Betriebe

Projekt und Bauleitung:
IBA, Ingenieurbüro für bauliche Anlagen
Abt. des Departementes der Industriellen Betriebe

Projektberatung Stahlwasserbau und Korrosionsschutz:
Colenco Power Consulting AG, Baden

Geologe:
Büro für Technische Geologie, Sargans

Vermessung:
Meisser Vermessungen AG, Chur

Bauliche Anlagen:
Arge Druckschacht Tinizong
– Rothpletz Lienhard & Cie AG, Aarau
– Batigroup AG, Bassersdorf
– Toscano AG, Thusis
– Battaglia Bau AG, Savognin
– N. Luzio, Savognin

Panzerungen:
Arge Stahlwasserbau Tinizong
Montagen AG, Trübbach
Giovanna Frères SA, Monthey

Korrosionsschutz:
Marty Korrosionsschutz AG, Pfäffikon

Drosselklappe: Adams AG, Zürich

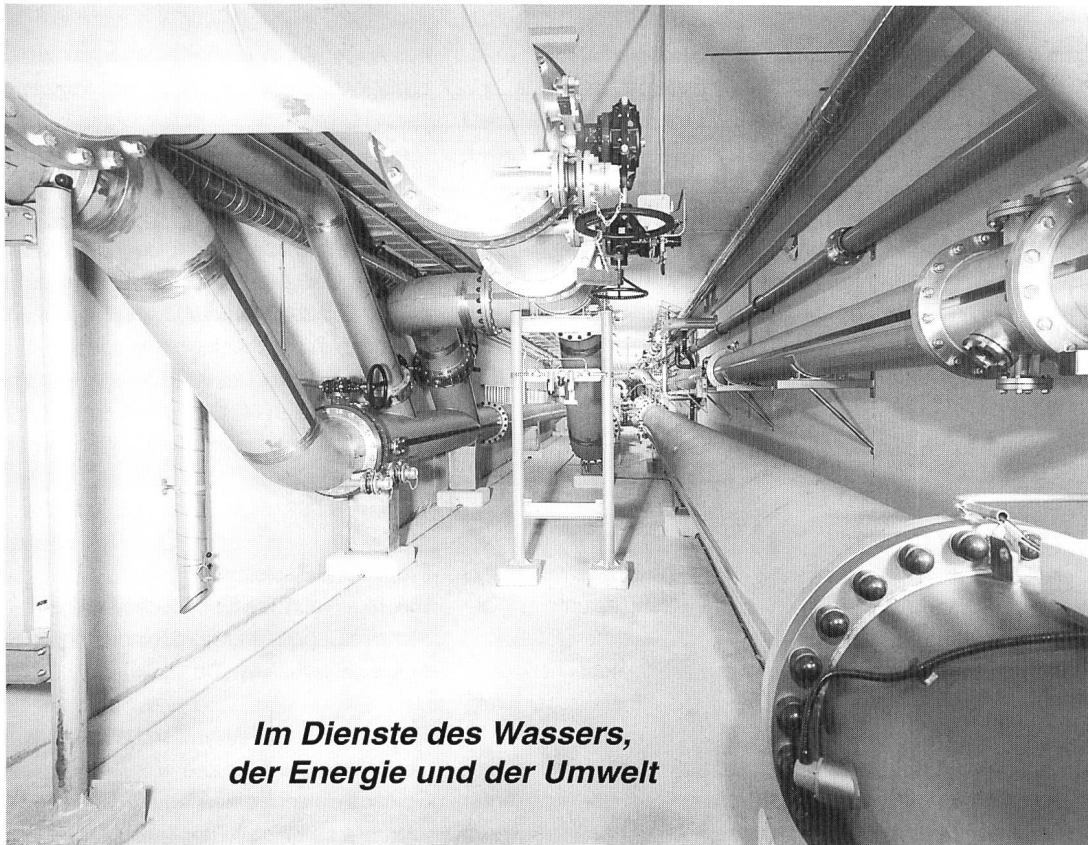
Kavernenkran: R. Stahl AG, Dietikon

Elektrische Installationen:
ewz Kraftwerke Mittelländen

Adresse des Verfassers
Marco Ronchetti, dipl. Bauingenieur ETH, IBA, Ingenieurbüro für bauliche Anlagen, Abt. des Departementes der Industriellen Betriebe der Stadt Zürich, Beatenplatz 2, Postfach, CH-8023 Zürich.



Bild 14. Übergang Panzerung Anschlussstollen in bestehenden Druckstollen Marmorera-Tinizong. Blick entgegen der Fliessrichtung. Gut sichtbar die angebrochene Betonverkleidung des bestehenden Stollens.



*Im Dienste des Wassers,
der Energie und der Umwelt*



**Division
EDELSTAHL**

Röhren und Maschinen AG
Haltaweg 3
3186 Düringen
www.romag.ch

Tel. +41/26/492 65 00
Fax +41/26/493 13 14
E-mail office@romag.ch

zertifiziert ISO 9001

Maschinen-

FAH

Anlagenbau AG

Im Leimen

8750 Glarus

Tel. 055/640 17 86

Fax 055/640 65 31

Ihr Stahlwasserbaupartner für Gesamtanlagen, Einzelbauteile und Revisionen.

Projektierung

Rechenreinigungsmaschinen
komplettes Schützenprogramm

Planung

Segment- und Klappwehre
Rechen

Berechnungen

Dammbalken
Drucktüren, Druckdeckel

Herstellung

Gebirgsfassungen
Ölhydraulikanlagen

Montage

Steuerungen und Regulierungen
Mess- und Leittechnik

Unterhalt und Service

Spezialmaschinenbau