

| | |
|---------------------|---|
| Zeitschrift: | Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik : VPK = Mensuration, photogrammétrie, génie rural |
| Herausgeber: | Schweizerischer Verein für Vermessung und Kulturtechnik (SVVK) = Société suisse des mensurations et améliorations foncières (SSMAF) |
| Band: | 93 (1995) |
| Heft: | 6 |
| Artikel: | Vermessungen für die Engadiner Kraftwerke AG : Kraftwerk Pradella-Martina |
| Autor: | Rohner, P. |
| DOI: | https://doi.org/10.5169/seals-235169 |

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: 19.01.2026

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

Vermessungen für die Engadiner Kraftwerke AG Kraftwerk Pradella-Martina

P. Rohner

Die Engadiner Kraftwerke AG (EKW), Zernez, haben im Frühjahr 1989 den Baubeschluss für das Kraftwerk Pradella-Martina gefasst. Die eigentlichen Bauarbeiten erstreckten sich über 3½ Jahre, vom Frühjahr 1990 bis Herbst 1993. Das Kraftwerk, auch Untere Innstufe genannt, nutzt das Wasser des Inn, welches unterhalb Scuol gefasst wird, sowie das Betriebswasser der bestehenden Zentrale Pradella. Die Nutzwassermenge von 88 m³/sec. wird durch einen 14.3 km langen Druckstollen über ein Bruttogefälle von 112 m der Zentrale Martina an der Landesgrenze zu Österreich zugeführt.

Die Straub AG, Chur, wurde von der EKW mit der Durchführung sämtlicher Vermessungsarbeiten betraut. Zuhanden der Bauleitung wickelte die Straub AG zwischen Herbst 1989 und Ende 1994 das ganze breite Vermessungsspektrum beim Bau eines Wasserkraftwerkes ab. Parallel zur Beratung der Bauleitung in allen Vermessungsaspekten oblag der Straub AG die Kontrolle der Vermessungsarbeiten der Unternehmer.

Les Forces Motrices de l'Engadine (FME), à Zernez, ont décidé, au printemps 1989, de construire l'usine hydro-électrique de Pradella-Martina. Les travaux de construction proprement dits ont duré 3½ ans du printemps 1990 à l'automne 1993. L'usine, appelée palier inférieur de l'Inn, exploite les eaux de l'Inn, captées en aval de Scuol ainsi que les eaux d'exploitation de la centrale existante de Pradella. Le débit utile de 88 m/s est acheminé par une galerie forcée de 14,3 km de longueur et de 112 m de dénivellation brute à la centrale de Martina, située près de la frontière nationale avec l'Autriche. Les FME ont confié au bureau Straub SA, à Coire, l'ensemble des travaux de mensuration. Ce bureau s'est occupé, à l'intention de la direction des travaux, du vaste spectre de toute la mensuration inhérente à un projet hydro-électrique. Outre le rôle de conseiller de la direction des travaux, Straub SA était responsable du contrôle des travaux de mensuration des entrepreneurs.

Nelle primavera del 1989 le aziende elettriche engadinesi (EKW – Engadiner Kraftwerke AG) di Zernez hanno deciso di costruire la centrale elettrica di Pradella-Martina. Le opere di costruzione si sono estese su 3 anni e mezzo, dalla primavera 1990 fino all'autunno 1993. La centrale idroelettrica, chiamata anche «tranco inferiore dell'Inn» (Untere Innstufe) sfrutta l'acqua dell'Inn, captata sotto Scuol, come pure l'acqua industriale della centrale già esistente di Pradella. La quantità di acqua per uso industriale di 88 m³ al sec. viene convogliata, attraverso una galleria forzata lunga 14,3 km con un salto lordo di 112 m, alla centrale di Martina alla frontiera con l'Austria. La Straub SA di Coira è stata incaricata dalla EKW della realizzazione di tutte le opere di misurazione. Tra la primavera 1989 e la fine 1994, la Straub SA ha effettuato tutto un ventaglio di misurazioni, necessarie per la costruzione di una centrale idroelettrica. Parallelamente alla consulenza alla direzione lavori per tutti gli aspetti legati alle misurazioni, la Straub SA era responsabile dei controlli delle opere di misurazione degli impresari.

1. Das Projekt

Die 1954 gegründete Engadiner Kraftwerke AG mit Sitz in Zernez nutzt die Wasserkräfte des Engadins, namentlich des Inn, verschiedener Seitenbäche und des Spöls. Herausragendes Bauobjekt ist dabei mit 130 m Höhe die Bogenstaumauer Punt dal Gall, die im Stausee das Wasser des italienischen Livigno speichert. 1985 wurde mit der Projektierung für die Nutzung der untersten Stufe zwischen Scuol und Martina an der Landesgrenze zu Österreich begonnen. Die Ingenieur-

gemeinschaft setzte sich unter Federführung von Colenco AG, Baden aus Elektrowatt Zürich, Suisselectra Basel und Gruner AG Basel, zusammen. Die Kraftwerkstufe Pradella-Martina nutzt das Wasser der oberen Kraftwerkstufen (67 m³/s), des Inn bei Scuol (20 m³/s) und des Val d'Assa (1 m³/s).

Die Innfassung, ca. 100 m flussaufwärts der bestehenden Innbrücke Pradella gelegen, erforderte den Bau eines Stauwehrs. Es wurde für ein tausendjähriges Hochwasser von 810 m³/s ausgelegt. Das Wehr

mit Tosbecken hat zwei Öffnungen von je 14 m Breite und wird mit hydraulischen Segmentklappenschützen reguliert. Bei normaler Wasserführung des Inn ergibt sich ein Höherstau infolge des Wehres um 10.5 m. Die Stauwurzel dieses Rückstaus liegt dabei ca. 1.5 km flussaufwärts. Der naturnahen Ausbildung des gesamten Stauraumgebietes zu einem weiteren Erholungsgebiet des nahen Scuol sowie auch der neuen Linienführung der Unterengadiner Langlaufloipe wurde spezielles Augenmerk geschenkt. Die Wehranlage ist mit einer Dotieranlage versehen. Ein Fischbachgerinne ermöglicht auch in Zukunft Fischwanderungen. Das dem Inn entnommene Wasser wird über eine Zweikammer-Entsanderanlage und durch einen Hangkanal ins Ausgleichsbecken neben der Zentrale Pradella geleitet. Diesem fliesst auch das Betriebswasser der Zentrale Pradella zu. Mit einem Nutzvolumen von 260 000 m³ unterstehen die Abschlussdämme der Schweizerischen Talsperrenverordnung. Der Einlauf zum 14,3 km langen Druckstollen befindet sich am östlichen Ende des Beckens. Der Stollen weist eine durchgehende Betonauskleidung und einen Innendurchmesser von 5,5 m auf. Mit einer separaten Fassungsanlage und einem Schrägschacht wird das Wasser des Val d'Assa direkt in den Druckstollen eingeleitet.

Der Druckstollen, der ein durchschnittliches Gefälle von 3 % aufweist, geht beim Wasserschloss im Felsmassiv östlich des Inn bei Martina in den gepanzerten Druckschacht über. Der Druckschacht führt zur Kavernenzentrale, die über eine neue Brücke über den Inn sowie durch einen 120 m langen Zufahrtstunnel erschlossen wird. Die 70 m lange, 22 m breite und 34 m hohe Kaverne beherbergt 2 vertikal-achsige Maschinengruppen mit Francis-turbinen von je 40 MW Leistung. Die dazugehörigen Transformatoren, Schaltanlage und Hilfsbetriebe sind ebenfalls unterirdisch angeordnet. Das Betriebswasser wird nach dem Durchströmen der Maschinengruppen durch einen Unterwasserstollen dem Inn knapp vor der österreichischen Grenze wieder zugeleitet. Die gewonnene Energie von 296 Mio/kWh wird über eine neue Stichleitung an die internationale A-CH-I-Leitung angeschlossen.

2. Der Kraftwerksbau

Die Bauinstallationen erfolgten in allen Losen im Frühjahr 1990. Unter Berücksichtigung der geologischen und geographischen Verhältnisse sowie aufgrund kosten- und kapazitätsmässigen Überlegungen wurden die Bauarbeiten in sechs Baulose unterteilt. Zur Optimierung der zeitlichen Vorgaben wurden kurz nach Baubeschluss 1989 Zufahrten zu den Baustellen über den Inn erstellt. Von den acht

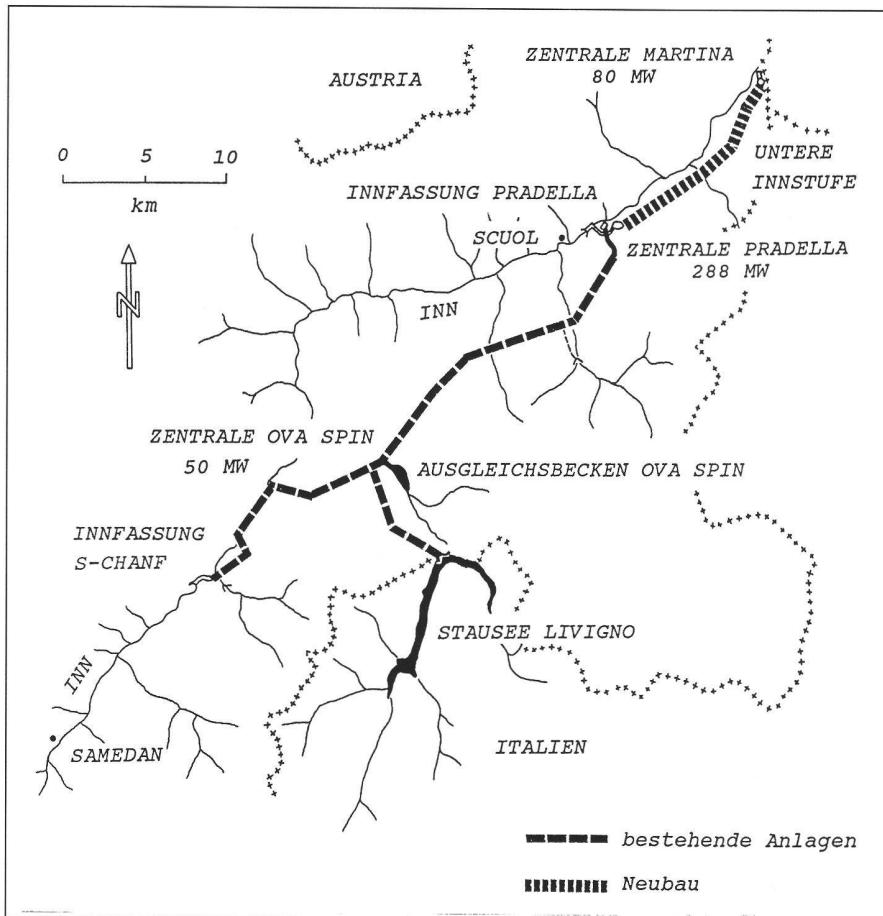


Abb. 1: Übersichtsplan der EKW-Anlagen.

Brücken verbleiben nach Bauende vier im Tal, wovon drei der Öffentlichkeit weiterhin zur Verfügung stehen. Im Juni 1990 wurden die Hauptarbeiten auf allen Bau-losen gleichzeitig in Angriff genommen. 60 Prozent der Arbeiten konnten an Bündner Unternehmer vergeben werden, davon ein Drittel ins Engadin. Nebst den Innbrücken entstanden zahlreiche Zufahrtsstrassen für den Kraftwerksbau-Schwerverkehr. Grossé Installationsplätze entstanden und weitläufige Deponien füllten sich mit Ausbruchmaterial. Die zwei Grossbaustellen

Wasserfassung und Ausgleichsbecken in Pradella waren die einzigen Orte über Tag, an denen der Baufortschritt und die Dimensionen der Anlage sichtbar wurden. Im Berginnern frasssen sich die Tunnelbohrmaschinen (TBM) durch das kristalline Gestein und den Bündnerschiefer. Die RhB brachte den Zement, der für die 40 cm dicke Betonverkleidung des Druckstollens notwendig war. Um das Wasserschloss bei Martina zu bauen, wurde eine 125 Höhenmeter überwindende Transportseilbahn gebaut. Die baulichen Di-

menionen des Wasserschlosses (16 m Durchmesser und 76 m Tiefe) und der Kavernenzentrale sind eindrücklich. Die Kraftwerksanlage nahm Ende 1993 ihren Betrieb auf. Sie wurde termin- und kosten-gerecht gebaut. Ihre Einweihung wird im Juni 1995 sein. Das neue Kraftwerk stellt allen beteiligten Bauleuten ein gutes technisches Zeugnis aus.

3. Organisation der Vermessung

Die EKW beauftragte im Dezember 1989 das Ingenieurbüro Straub AG Chur, mit sämtlichen Vermessungsarbeiten, die im Zusammenhang mit der Projektierung und Bauleitung zu erwarten waren. Mit dieser grossen und interessanten Arbeit betraut, organisierte sich die Straub AG detailliert und projektspezifisch.

Kraftwerksbauten im Gebirge erstrecken sich über mehrere Jahre und stellen hohe Anforderungen an die Vermessung. Hochbetrieb im Sommer, zeitliche Engpässe und Probleme jeder Art, Arbeitsdruck und Verzögerungen, Untertagsarbeit und Aus-sentemperaturen von minus 20° und tiefer waren zu bewältigen. Andererseits brachten Winterzeiten relative Ruhe auf Tag-baustellen und nur begrenzte Tätigkeiten unter Tag. Die vielfältigen Arbeiten verlangten teilweise einen permanenten Höchsteinsatz mehrerer Vermesser. Als Vermessungs-Stabsstelle war die Straub AG direkt der Bauleitung unterstellt. Die Projektleitung zusammen mit den Firmen der Ingenieurgemeinschaft fungierte ebenfalls als Auftraggeber.

Für die Feldarbeiten wurden folgende Ver-messungsinstrumente eingesetzt:
siehe Tabelle 1.

Die Büroauswertungen wurden mit Ver-messungs-Software von C-Plan und SKI (GPS-Auswertung) abgewickelt. Geplottet wurde mit einem Calcomp 1044. Im Feld wurde mit einem portablen Toshiba T3100 gerechnet, im Büro mit Compaq 386 und

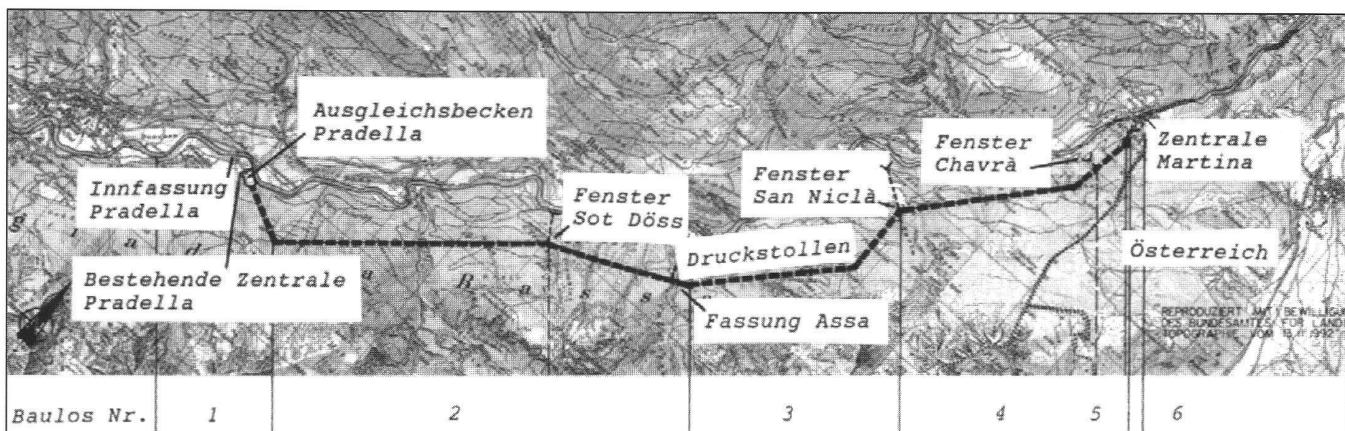


Abb. 2: Baulose der unteren Innstufe.

Partie rédactionnelle

| | |
|--|---|
| – Grundlagennetz Stollenvermessung Bauabsteckungen Kontrollen, Abnahmen | Elektronische Theodolite WILD T2000, T2002 Distomaten DI-5S, DI 2000 Daten-Terminals GRE-4 |
| – Topographien Flussprofile Rodungen Strassen- und Wegebau | Elektronischer Tachymat WILD Terrestrische Photokamera Wild P31 TC-1600 Gummiboot Zodiac |
| – Nivellements | Nivelliere WILD N3, NAK-2 |
| – Kontrollmessungen im Hauptnetz | WILD GPS, System 200 |

Tabelle 1.

486. Nebst dem weiten Spektrum von verschiedenen Vermessungsmaterialien wie Stativen, Reflektoren, Barometern, Stollenlampen usw., stollenfesten, winter- und wassertauglichen Ausrüstungen bewährten sich speziell auch Beleuchtungen und Funkgeräte. Für Punktversicherungen wurden handelsübliche Bolzen, Zielmarken, Plaquetten usw. verwendet. Mit zwei geländegängigen Mitsubishi L300-Bussen konnte jeder gewünschte Ort auf den Baustellen jederzeit erreicht werden.

4. Vermessungsarbeiten

Die Vermessungen lassen sich zeitlich in drei Abschnitte einteilen:

Projektphase 1983, 1984
Vorgezogene Bauarbeiten 1988, 1989
Kraftwerksbau 1990 bis 1993

Während der Projektphase wurden folgende topographische Unterlagen photogrammetrisch erstellt:

- ein Plan Bereich Druckstollen, 1:5000, 15 km x 1 km, Äquidistanz 10 m
- neun Inselpläne für alle zukünftigen Baustellen 1:1000, Äquidistanz 2 m
- vier Detailpläne in Pradella und Martina 1:200.

mit dem Hauptzweck, zwangsfreie Fixpunkte im Bereich der Baustellen und Tunnelportale zu haben. Abklärungen ergaben, dass trotz GPS-Technik ein konventionelles Triangulationsnetz opportun war. Im November 1988 wurde mit der Rekonnoisierung des Netzes begonnen. Die Monumentierung/Signalisierung aller Fixpunkte war Ende Februar 1989 abgeschlossen. Die wichtigste Randbedingung war, dass keine Bäume gefällt werden durften. Dies war nicht einfach, umso mehr als die gesamte rechte Talseite dicht bewaldet ist. Die Portalpunkte wurden als armierte Betonpfeiler auf frostsicher gebauten Betonplattformen erstellt. Das Netz umfasste ursprünglich sechs Portalpfeiler, elf Zwischenpunkte als Marktsteine, zehn Zwischenpunkte als Bolzen im Fels, acht Triangulationspunkte sowie sechs Kirchtürme. Die Optimierung des Triangulationsnetzes wurde mittels einer a priori Berechnung durchgeführt. Ziel war

4.1 Das Triangulations-Netz

Ein geodätisches Grundlagennetz zwischen Pradella und Martina wurde erstellt,

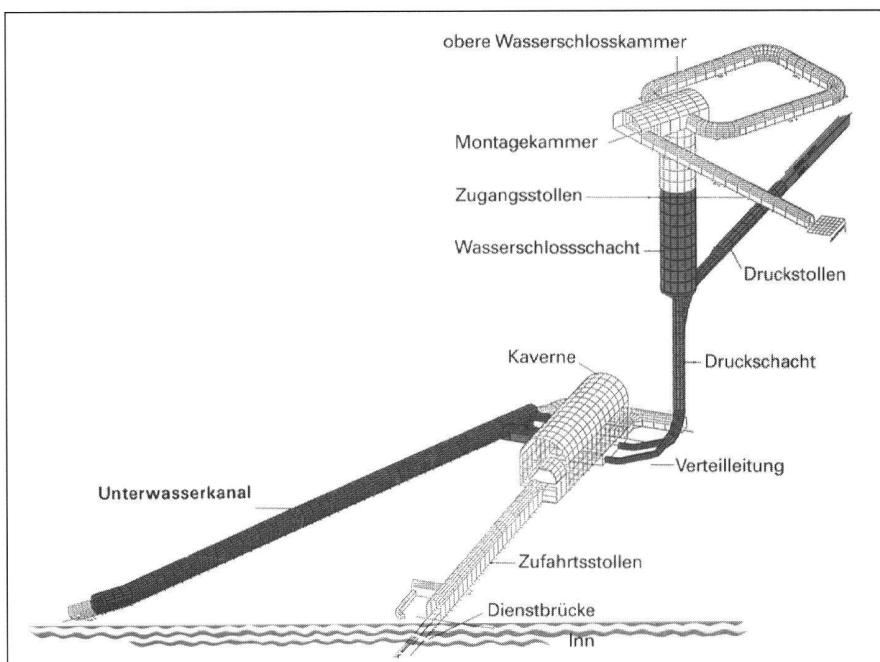


Abb. 3: Kavernenzentrale Martina.

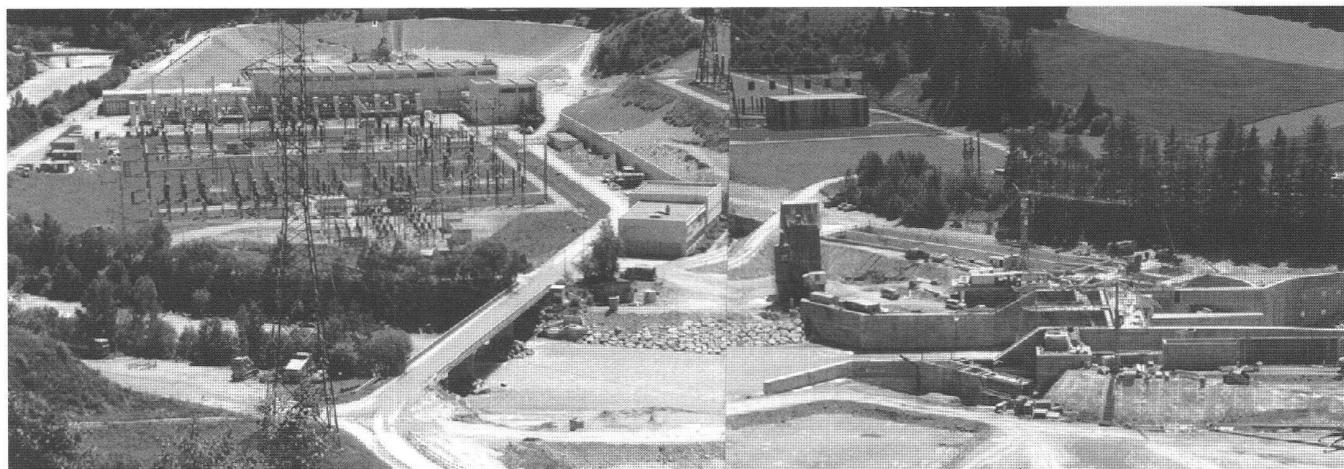


Abb. 4: Pradella Los 1. Gesamtansicht der Baustellen und bestehende Zentrale.



Abb. 5: Messpfeiler in Pradella im Winter.



Abb. 6: Pfeiler 101 Ausgleichsbecken.

es, den mittleren Lagefehler aller Punkte kleiner als 20 mm zu halten. Daraus resultierend wurde das Messprogramm aufgestellt. Die Feldmessungen wurden im Frühjahr 1991 durchgeführt. Gemessen wurde nach strengen, herkömmlichen Kriterien. Druck und Temperatur wurden bei allen Distanzen beidseitig gemessen. Gemessen wurden mindestens je zwei Richtungs- und Höhenwinkelsätze (Satzmessprogramm WILD). Die Distanzen wurden drei Mal gemessen. Gemessen wurden total 161 Richtungen und 76 Distanzen. Die gesamte Vermessungsausrüstung wurde vorgängig justiert und zentriert sowie Additionskonstanten der Distanzmessgeräte eruiert. Die Kontrollen der Funktionstüchtigkeit und Genauigkeit der gesamten Ausrüstung wurde regelmäßig während des ganzen Baufortschrittes überprüft.

Es wurde auf gesamthaft 28 Stationen gemessen. Näherungskoordinaten dieser Punkte wurden gerechnet. Lotabweichungen wurden keine eingeführt, da die Höhenwinkelmessung nur zur Distanzreduktion gebraucht wurde. Wie schon die a priori Berechnung, folgte die schlussendliche Berechnung und Ausgleichung mit dem Programm paket NEPTAN von C-Plan. Das Netz wurde frei ausgeglichen

und auf das Landestopographienetz im Raum Pradella eingepasst. Koordinatenvergleiche des EKW-Netzes und des L+T-Netzes im Raum Martina ergaben Koordinatendifferenzen von ca. 50 cm. Da sich die Landeskoordinaten auf Meereshöhe Null beziehen und die generelle Höhe der Baustelle auf 1100 m ü.M. liegt, ergaben sich Unterschiede in den Koordinaten durch die Reduktion von 1100 m auf 0 m. Da das EKW-Triangulationsnetz jedoch dem Bau alleine diente, war es oberste Priorität, keine Korrekturen im Feld anzu bringen. Es war ein Muss, dass gemessene Distanzen identisch mit Distanzen aus den Koordinatendifferenzen des Systems sind. So lag das Projektionssystem auf 1100 m ü.M. Dies brachte streng gerechnet eine Distanzreduktion von 2.41 m über 14 km Horizontaldistanz. Zusammen mit den 0.5 m Netzdifferenz Landestopographie-EKW ergab sich eine Totaldifferenz von ca. 2.90 m im Raum Martina. Diese Differenzen wurden belassen und örtlich den Koordinaten der einzelnen Baustellen angepasst. Das Netz wurde also nicht gezwängt. Dies ist wichtig, ist es doch die Voraussetzung für das genaue Zusammentreffen der einzelnen Stollenabschnitte.

Für sämtliche wasserbautechnischen

Bauobjekte sind genaue Höhen von absoluter Wichtigkeit. Dies gilt insbesondere für Wasserkraftanlagen. Die Grundlage des Höhennetzes bildet das Landesnivelllement. Ein Präzisionsnivelllement zwischen der Dreierpunktgruppe in Scuol und derjenigen in Martina mit Zwischenstationen auf allen Landesnivelllementfixpunkten wurde durchgeführt. Dieses wurde auf die zwei L+T Punktgruppen in Scuol und Martina eingepasst. Mittlere Fehler a priori und a posteriori bei 1 km Doppelnivelllement: 2 mm. In allen Portalbereichen (Pradella, Sot Döss, Assà, San Niclà, Chavrà, Martina) wurden Fixpunktgruppen von je drei Punkten errichtet. Jeder Portalpfeiler wurde ebenfalls mit einem Höhenfixpunkt im Pfeilerfundament versehen. Alle diese Höhenfixpunkte sowie die Pfeileroberkanten wurden ans Präzisionsnivelllementnetz angeschlossen.

4.2 Stollenkontrollen

Schwerpunkt der ganzen Vermessung auf der Baustelle war der 14.3 km lange Druckstollen. Das Los Pradella des Druckstollens wurde konventionell ausgebrochen. Alle übrigen Stollenabschnitte wurden mit Tunnelbohrmaschinen aufgefahren. Die Stollenkontrollen beinhalteten den Vergleich der Projektaxen mit den effektiv

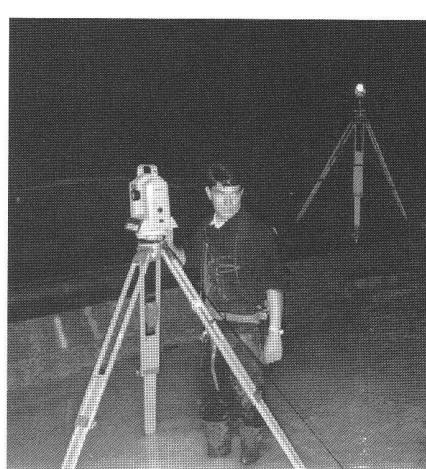
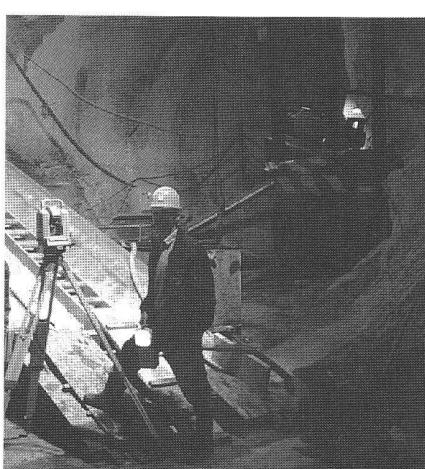
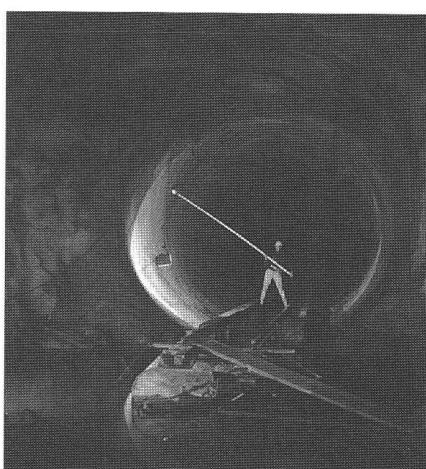


Abb. 7, 8, 9: Vermessungen unter Tag im Druckstollen.

Partie rédactionnelle

gefrästen Axen, die im Tunnel eingemesen wurden. Diese Vergleiche bezogen sich auf bestimmte Konsolen oder Punkte, welche von den Vermessern der Unternehmung im Stollen installiert und eingemesen worden waren. Es galt also, nicht nur diese Punkte, sondern auch die genaue Lage des gefrästen Stollens im Felsen zu kontrollieren. Stollenkontrollen wurden ca. alle 800 bis 1000 Tunnelmeter durchgeführt, dies um allfällige Abweichungen der Tunnelfräsen von den Projektachsen frühzeitig zu erkennen und zu korrigieren. Grundsätzlich wurden zwei Arten von Stollenkontrollen unterschieden: eine vollständige und eine reduzierte Stollenkontrolle. Eine vollständige Messung wurde immer von den ausgehenden Portal- und Aussennetzpunkten zu allen vorhandenen Punkten im Stollen durchgeführt. Reduzierte Messungen basierten auf den zuletzt bestimmten Stollenpunkten. Die hier beschriebenen Vorgehen haben sich gut bewährt.

Zu den Vorbereitungen gehörten nebst Materialorganisation auch das Abstimmen mit der Bauleitung und im speziellen mit den Unternehmern. Beleuchtung und Funk hatten unter Tag eine ganz besondere Bedeutung. Auch das Organisieren von Lokomotiven der Stollenbahn, Hilfskräften der Unternehmer, Beleuchtung und Lüftung der Stollen, Freihalten von Visuren resp. seitwärts parkieren von Baumaschinen waren ebenso wichtig und unumgänglich. Normalerweise wurde während der Nacht und über das Wochenende gemessen.

Bedingt durch die Sichtverhältnisse im Stollen wurden alle 250 m Fixpunkte installiert. Bei jeder 1000 Meter-Marke wurde eine Fixpunktgruppe von Nivellement-Bolzen installiert. Um möglichst Einflüsse der Refraktion im Stollen auszuschalten und ein bequemes Messen zu ermöglichen, wurden die Stativen frei aufgestellt und in der Stollenmitte gehalten. So waren möglichst lange Visuren (max. 800 m) möglich. Gemessen wurde immer mit Zwangszentrierung. Ebenfalls wurde mit dem gleichen Instrumentarium und der Software gemessen wie dies beim Aussennetz (Triangulationsnetz) der Fall war. Die Berechnungen von Koordinaten und Höhen erfolgten analog den Berechnungen im Aussennetz.

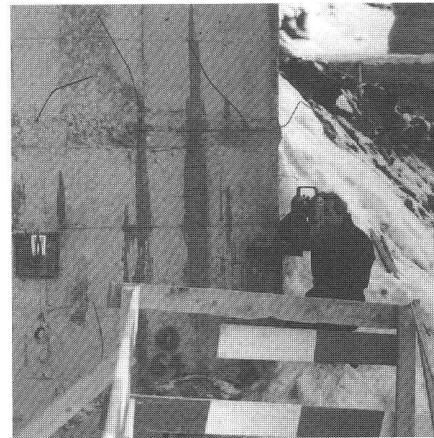
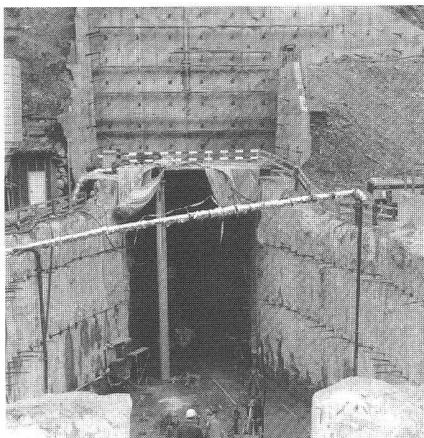


Abb. 10, 11: Deformationsmessungen Elementwand-Stolleneinlauf Pradella.

Um die sofortige Auswertung der Resultate zu ermöglichen, war zeitweise auch ein portabler Toshiba-Computer direkt im Feld notwendig. Die Ergebnisse wurden in Form eines Messprotokolls zu Handen der Bauleitung abgeliefert. Die von der Bauleitung geforderten sogenannten Durchschlagsfehler betrugen für die einzelnen Teilstrecken inkl. Fensterstollen 10 cm in der Lage und 5 cm in der Höhe. Die effektiven «Durchschläge» wurden durchwegs unterschritten; sie betragen in der Lage 60% und in der Höhe 10% der Toleranzen.

4.3 Ingenieurvermessungen

Topographieaufnahmen für eine Vielzahl von Verwendungszwecken waren nötig: zur Planung von Bauinstallationen, zur baulichen Ausgestaltung der Fensterstolleneingänge und deren Zugänge, zur Feststellung beliebiger Ist-Situationen von Geländen, vor, während und nach dem Bau, zur Eruierung von Zwischenzuständen bei Kiesaushub, Totalaushub, laufenden Schüttungen, mit oder ohne Humusschichten, sowie Endzustände der wieder angepassten und neugestalteten Landschaft. Die mathematische Weiterentwicklung von Momentaufnahmen einer Oberfläche (= identisch mit Topographieaufnahme) führt zum Vergleich von verschiedenen Topographien, d.h. Differenzen im Volumen. Diese Volumenberechnungen waren nötig für Kontrolle von Ausmassen, z.B. die Bestimmung des Ausbruchvolumens in Martina, für Schütt-

volumen von Dämmen und zur genauen, schlussendlichen Eruierung des Volumens des neuen Ausgleichsbeckens. Es wurden total 149 Topographiepläne erstellt.

Bevor die Bautätigkeit in Martina einsetzte, mussten Flussprofile oberhalb der alten Innbrücke beim Zollamt Martina gemessen werden. Da sich der Flusslauf als Folge der Bauarbeiten veränderte, waren in späteren Bauphasen weitere Folgemessungen notwendig. Für drei Baubrücken über den Inn wurden unter schwierigen Bedingungen terrestrisch Flussprofile eingemessen.

Da für die Portalzugänge der vier Fensterstollen Sot Döss, Assà, San Niclà und Chavrà Rodungen erforderlich waren, mussten verschiedene Varianten von Begrenzungen im Walde abgesteckt und mit Trassierband sichtbar gemacht werden. Für die Projektierung der Materialseilbahn zum Wasserschloss Martina waren Hangprofile notwendig. Da das ganze Gebiet äußerst steil und steinschlaggefährdet ist, musste mit terrestrischen photogrammetrischen Mitteln Profile der Hangoberfläche sowie der entsprechenden Tannengipfelhöhen erstellt werden. Dies galt auch für das beinahe vertikale Innufufer beim Zentraleneingang. GPS-Messungen: Seit Beginn der Vermessungsarbeiten für die untere Innstufe, 1989, hat sich die GPS-Technik rasant weiterentwickelt. Während des Baus wurden auf dem Hauptnetz sowie auf verschiedenen anderen Fixpunkten der Baustelle Vergleichs-, d.h. Kontrollmessungen mit GPS durchgeführt.

Gegen Projektende wurden sämtliche Absteckungen, vor allem für Hochspannungsleitungen mit Einbezug von GPS durchgeführt.

4.4 Bauvermessungen

Bedingt durch den gedrängten Baufortschritt und die intensiven Tagesabläufe mussten diese Arbeiten «quasi zwischendurch» durchgepaukt werden. Ob an 20 m hohen Betonwänden, in schwin-

Durchschlagsgenauigkeiten in mm

| Teilstrecke in km | Länge | Quer | Längs | Höhe |
|----------------------|-------|------|-------|--------------|
| Pradella – Sot Döss | 5.3 | 59 | 17 | 4 |
| Sot Döss – San Niclà | 6.7 | 56 | 13 | 8 |
| San Niclà – Chavrà | 3.9 | 17 | 2 | 3 |
| Chavrà – Martina | 1.3 | 14 | 6 | Druckschacht |

Tabelle 2.

delnder Höhe ob 100 m tiefen Schächten, ob auf einer 1/2 Meter dicken Mauer im Inn oder in engen Rohren und Schächten, ob bei Kälte, im Lärm, im Staub, in Abgasen oder in hoher Luftfeuchtigkeit unter Tag: solides Handwerk und sorgfältiges Arbeiten waren gefragt. Die Bauvermessungen können grundsätzlich in zwei Kategorien eingeteilt werden:

- Absteckungen, d.h. Umsetzung vom Projekt ins Gelände
- Kontrollen, d. h. sukzessive Kontrolle, ob richtig gebaut wird.

Die Bauabsteckungen bedingten eine genaue, stabile Gruppe von Fixpunkten, die die gesamte Bautätigkeit sicher überdauerten. Zu diesem Zwecke wurde auf den Grossbaustellen Pradella und Martina das Fixpunktnett mit Messpfeilern verdichtet. Aus der Vielzahl der Absteckungskontrollen seien herausgehoben: Staulini- en, Flussprofile, Grundstücksgrenzen, Strassenachsen, Baubegrenzungen, Böschungen, Slopemeter, Piezometer, Filterbrunnen, alle wasserbautechnischen Anlagen, Gebäude und Strukturen, Bachverbauungen, hydraulische Bauwerke, Stahlbauten, Rodungsbegrenzungen, Stollengeometrie, Profilaufnahmen, Schrägstollen, Volumenberechnungen, Bauseilbahn, Abspännerüste, Hochspannungsleitungen, Abtötungen im Wasserschloss, elektromechanische Anlagen wie Spiralen, Verteilleitungen, Turbinen, Generatoren, Transformatoren, Rekonstruktion der Landesgrenze bei Martina.

4.5 Deformationsmessungen

Die relativ grosse Anzahl von Deformationsmessungen während des Kraftwerksbaus lässt sich in drei Kategorien unterteilen:

- Überwachung von bestehenden Anlagen und Gebäuden
- Überwachung von Terrain während des Baus (Wände, Hänge, Dämme)
- Verschiebungen im Druckstollen infolge Bergdruck.

Alle bestehenden Anlagen und Gebäude des existierenden Kraftwerkes Pradella wurden regelmässig überwacht. Setzungsmessungen wurden in Bereichen von Schüttungen und Verdichtungen während Erdarbeiten durchgeführt.

In Martina wurde für den Bau des Unterwasserkanals der rechtsufrige Hang angeschnitten. Gleich wie in Pradella oberhalb des Stolleneinlaufs ist dieser Hang aus lockerem Material geschichtet. Die Deformationsmessungen erstreckten sich über drei Jahre.

Die wichtigste aller Überwachungen war die Elementwand im Bereich Ausgleichsbecken/Stolleneinlauf. Mit ihren eindrücklichen Dimensionen war sie besonders dem Bergdruck und möglichen Verschiebungen ausgesetzt. Sie bestand im wesentlichen aus einer 20 Meter hohen und 15 Meter breiten Frontwand sowie einer linken und einer rechten Seitenwand. Mit fortschreitendem Bau konnten die Fixpunkte nicht mehr erreicht werden und auch Reflektoren nicht eingesetzt werden. Es musste ein Messverfahren mit Vorwärtseinschnitt gewählt werden. Zu diesem Zweck wurden ein kleines Triangulationsnetz erstellt. Von den vier Messpfeilern aus wurden total 30 Punkte eingemessen. Diese Messungen wurden im August 1990 notwendig und das ganze System installiert. Während des Baus wurde die Elementwand total 25 mal eingemessen und so kontinuierlich überwacht. Nachdem im Wehrbereich Pradella sämt-

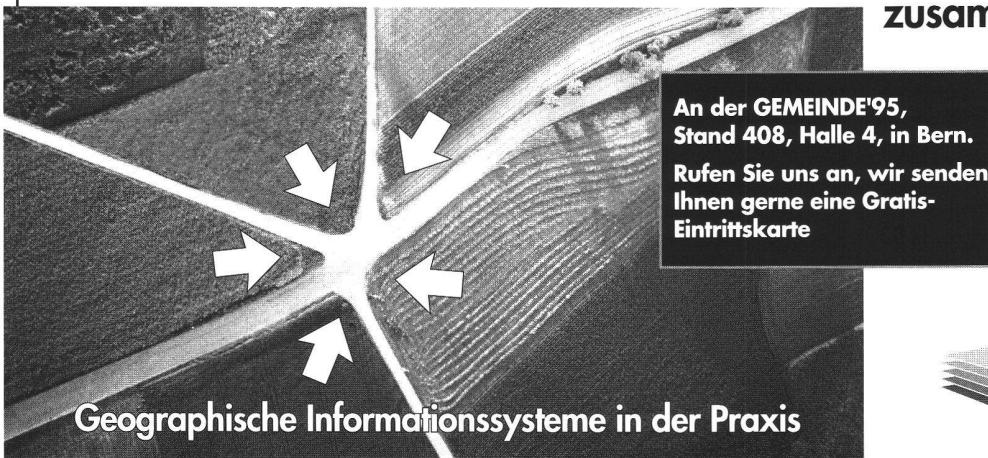
liche Betonarbeiten abgeschlossen waren, wurden über alle Strukturen Höhenfixpunkte installiert. Diese werden seither kontinuierlich überwacht. Eventuelle Setzungen oder Kippungen können somit festgestellt werden. Die höhenmässige Überwachung dieser Strukturen wird auch nach dem Bau des Kraftwerkes weitergeführt.

Auch rund um das Ausgleichsbecken entlang der Dammkrone wurden auf den geschütteten Dammabschnitten Höhenfixpunkte in Schächten errichtet, sowie Höhenbolzen in den Bauten und Betonstrukturen installiert. Im Rahmen der Talsperrenverordnung der Schweiz wird das gesamte Becken seit dem Bau höhenmässig in spezifischen zeitlichen Abständen überwacht.

Geologisch instabile Abschnitte des Druckstollens wurden mit Stahlbogen ausgekleidet. Diese wurden regelmässig überwacht. Die Arbeiten waren besonders zeitraubend und schwierig, da die Fixpunkte im Stollenfirst sowie auf halber Höhe an den Seitenwänden installiert werden mussten. Um den Bergdruck unter Kontrolle zu halten, waren während allen Bauphasen Konvergenz- und Setzungsmessungen unter Tag notwendig.

Adresse des Verfassers:
Pius Rohner
dipl. Ing. ETH / pat. Ing. Geometer
Ingenieurbüro Straub AG
Wiesentalstrasse 83
CH-7000 Chur

Wenn SBB, Swissair Photo+Vermessungen, Balzari & Schudel, CAD Rechenzentrum und Basler & Hofmann unter dem Dach von ITV zusammentreffen...



...dann sehen Sie die Quintessenz fünffacher GIS-Erfahrung



ITV AG

Dorfstrasse 53, 8105 Regensdorf
Telefon 01/ 871 21 90
Telefax 01/ 871 21 99