Zeitschrift: Wasser- und Energiewirtschaft = Cours d'eau et énergie
Herausgeber: Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband
Band: 59 (1967)
Heft: 6-7

Artikel: Die in Ausführung stehende Kraftwerkgruppe der Engadiner Kraftwerke AG/EKW
Autor: Christen, A. / Keller, E. / Schönenberger, J.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-920995

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: 15.10.2025

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

anlage Livigno — Ova Spin mit Speicher Livigno. Mit den Bauarbeiten wurde unverzüglich begonnen.

Aus diesen kurzen Ausführungen geht hervor, welch gewaltige Arbeit, sowohl auf technischer, landschaftsschützerischer, politischer und diplomatischer Ebene geleistet werden musste, bevor der Baubeschluss gefasst werden konnte. Die Entstehungsgeschichte der Engadiner Kraftwerke stellt vermutlich das vollständigste Kompendium über all die Schwierigkeiten dar, die es beim Bau von Wasserkraftwerken in unseren Alpen zu überwinden gilt.

Die in Ausführung stehende Kraftwerkgruppe der Engadiner Kraftwerke AG / EKW

Ingenieurgemeinschaft EKW

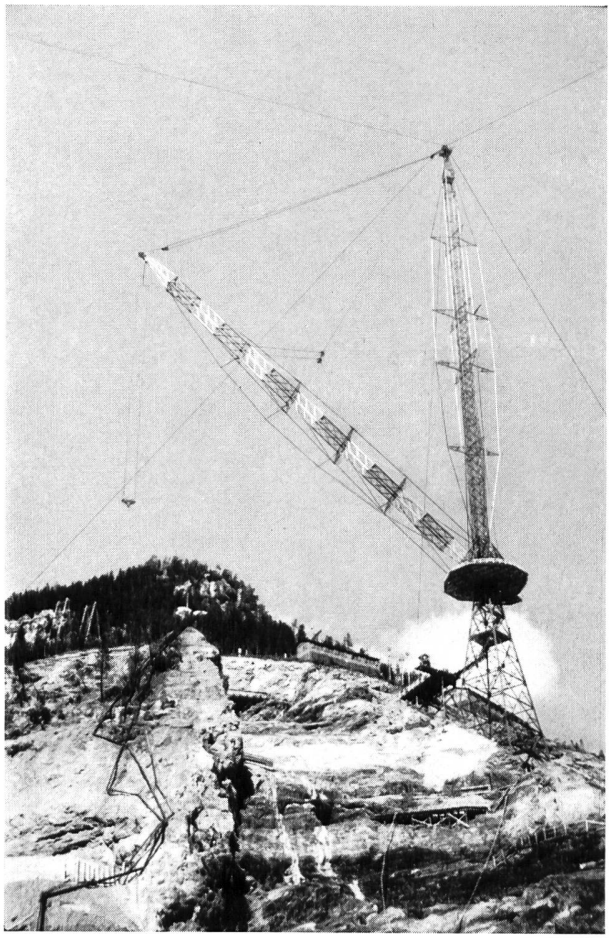
PROJEKTGESTALTUNG UND STAND DER ARBEITEN

A. Christen, in Firma Motor-Columbus AG, Baden

Die in Ausführung begriffene erste Ausbauetappe der Engadiner Kraftwerke umfasst zwei Stufen. Im Flussgebiet des Spöl entsteht als oberes Werk die Speicheranlage Livigno — Ova Spin. Sie nutzt das Gefälle zwischen dem 164 Mio m³ fassenden Stausee Livigno und dem im Spöltal bei Ova Spin gelegenen Ausgleichbecken. Den weitaus grössten Teil des Stauraumes von Livigno stellt Italien zur Verfügung und geniesst dafür das Recht, jährlich 90 Mio m³ Wasser aus dem Einzugsgebiet des Alto Spöl ins Veltlin abzuleiten. Zur partiellen Ergänzung dieses der Speicherung entzogenen Wassers muss in den Sommermonaten ein Teil der Zuflüsse zum Ausgleichbecken in den Stausee Livigno gepumpt werden.

Am Zusammenfluss der Acqua del Gallo mit dem Spöl, unmittelbar vor dessen Uebertritt auf Schweizergebiet, wird eine 130 m hohe Bogenstaumauer errichtet, die sich mit einer Kronenlänge von 540 m je hälftig über italienisches und schweizerisches Territorium erstreckt, jedoch knapp ausserhalb des Nationalparkgebietes liegt. Die Baustelle ist von der Ofenbergstrasse aus durch einen 3,4 km langen Strassentunnel erreichbar. Druckstollen, Wasserschloss und Druckschacht befinden sich in der linken Flanke des Spöltales. Auf der ganzen, 7,6 km messenden Strecke, durfte wegen des Nationalparkes kein Zwischenfenster angeordnet werden. Ursprünglich war vorgesehen, die Maschinen, getrennt nach Turbinen- und Pumpengruppen, in einer Kaverne rechtsseits des Spöl zu installieren. Nachdem sich aber die Möglichkeit bot, reversible Pumpenturbinen mit starr gekuppelten Motorgeneratoren zur Aufstellung bringen zu können und damit in erheblichem Mass an Platz zu sparen, bildete die enge Spölschlucht kein Hindernis mehr, ein Maschinenhaus im Freien, am Fusse der Staumauer des Ausgleichbeckens, zu errichten. Es ist von der Werkstrasse aus durch einen Aufzugschacht und einen kurzen Tunnel zugänglich. Die zwei vertikalachsigen Gruppen des Kraftwerkes Ova Spin verzeichnen im Turbinen- bzw. Pumpbetrieb eine maximale Leistungsabgabe bzw. -aufnahme von 50 resp. 47 MW.

Bild 40 Elegant konstruierter Derrick-Kran auf der Talsperrenbaustelle Punt dal Gall.



Die untere und zugleich Hauptstufe, das Kraftwerk S-chanf — Pradella, nutzt das Wasser des Inn, des Spöl und einiger Seitenbäche aus einem Gesamteinzugsgebiet von 1116 km². Für die Fassung des Inn wird unterhalb des Dorfes S-chanf ein Stauwehr mit drei durch Segmentschützen abschliessbaren Oeffnungen erstellt. Das dem Inn und den Seitenbächen Vallember, Varusch und Tantermozza entnommene Wasser fliesst in einem Freispiegelstollen dem Ausgleichbecken Ova Spin zu, das im Bereich der Spiegelschwankung von 30 m einen Nutzinhalt von 6,5 Mio m³ aufweist.

Die Gefällsnutzung der Hauptstufe vollzieht sich bei einer Bruttohöhe von 496 bis 466 m zwischen dem Ausgleichbecken im Spöltal und dem Unterwasser des Kraftwerkes in Pradella. Bemerkenswert ist der über 20 km lange Druckstollen mit einem Durchmesser von 5,2 m, der das Gebirge auf weite Strecken gleichsam als Basistunnel unterfährt, liegen doch die Zwischenangriffsstellen in einzelnen Abschnitten 6700 und sogar 6900 m voneinander entfernt. Der Druckstollen nimmt unterwegs noch den Sampuoirbach und die Clemgia auf. Ein 910 m langer Druckschacht und eine einsträngige, eingegrabene Druckleitung in den unteren 450 m führen vom Wasserschloss zum Maschinenhaus. Es gelangen dort vier vertikalachsige Francisgruppen mit einer installierten Leistung von total 288 MW zur Aufstellung.

Im Mitteljahr können in den beiden Kraftwerkstufen und den am Fuss der Staumauern Punt dal Gall und Ova Spin projektierten Dotierwasser-Zentralen brutto 1 Mrd. kWh

erzeugt werden, davon 450 Mio kWh im Winter. Der Energieabtransport erfolgt ab Pradella in 380 kV nach Sils i.D.

Die Inangriffnahme der ersten Ausbauetappe stützt sich auf den im Herbst 1962 gefassten Baubeschluss. Im Frühjahr 1967 waren von den insgesamt 55 km messenden Stollen- und Schachtstrecken 80 % ausgebrochen. Der Druckstollen Livigno — Ova Spin sowie die Druckschächte Ova Spin und Pradella sind schon seit längerer Zeit durchgeschlagen, und der in den obigen Zahlen nicht eingeschlossene Strassentunnel zur Staumauer Punt dal Gall konnte bereits Ende März 1965 für den Werkverkehr freigegeben werden. Von der Gesamtkubatur der Livigno-Mauer im Ausmass von 740 000 m³ waren vor Beginn der diesjährigen Betoniersaison 320 000 m³ oder 43 % eingebracht. Auch die Bauwerke in Ova Spin, bestehend aus Staumauer und Maschinenhaus, das Wehr und die Innfassung in S-chanf sowie das Maschinenhaus Pradella haben Gestalt angenommen.

Die getätigten Arbeits- und Lieferungsvergebungen belaufen sich auf einen Gesamtbetrag von 390 Mio Franken. Der Zement- und der Energieverbrauch dürften 155 000 t bzw. 65 Mio kWh bereits überschritten haben. Bei einer Belegschaftsstärke, die seit Baubeginn auf rund 1000 bis 1300 Mann im Winter bzw. Sommer anwuchs, wurden bis Ende März 1967 gegen 8,5 Mio Arbeitsstunden geleistet. Der Betrieb der Anlagen wird voraussichtlich im Jahr 1969 aufgenommen werden können.

Ueber weitere technisch-wirtschaftliche Daten der Engadiner Kraftwerke orientiert die Aufstellung auf Seite 232.

DIE TALSPERRE PUNT DAL GALL

Dr. B. Gilg, in Firma Elektro-Watt Ingenieurunternehmung AG, Zürich

Felsuntersuchungen an der Sperrstelle

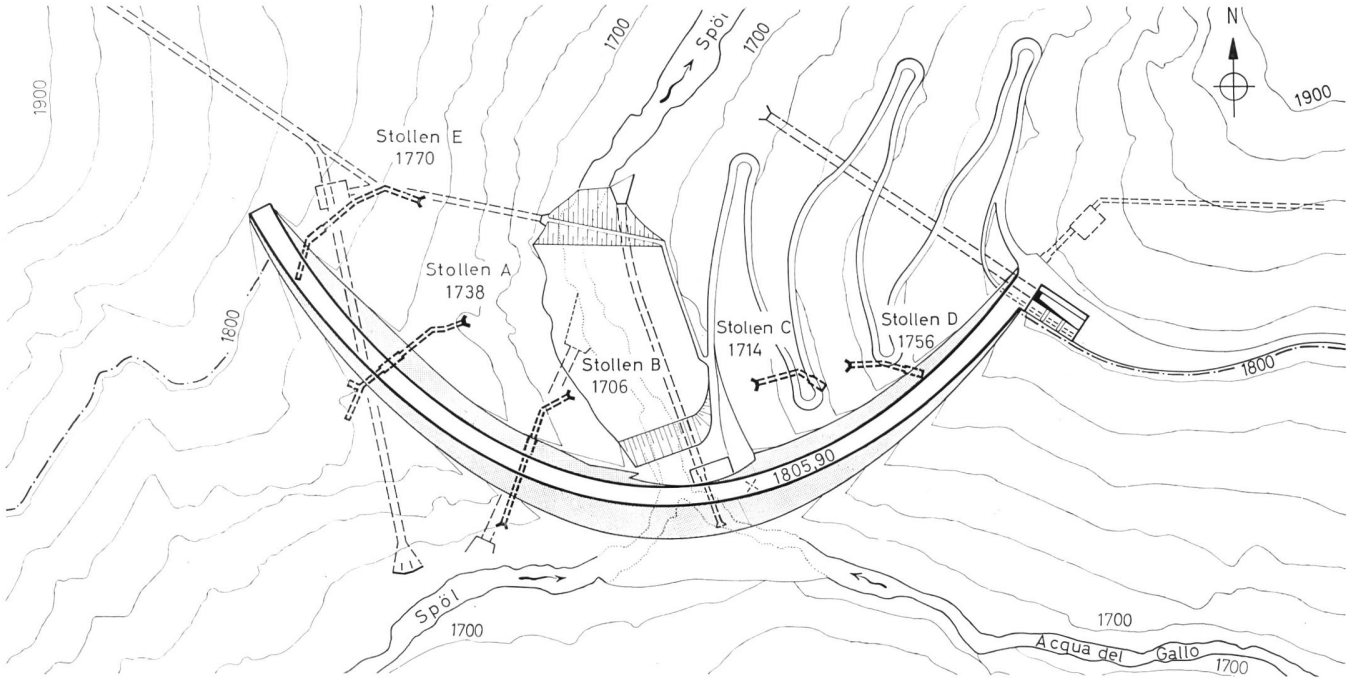


Bild 51 Lageplan der Sperrstelle Punt dal Gall mit Sondierstollen, Massstab 1:4000 (Cliché SBZ)

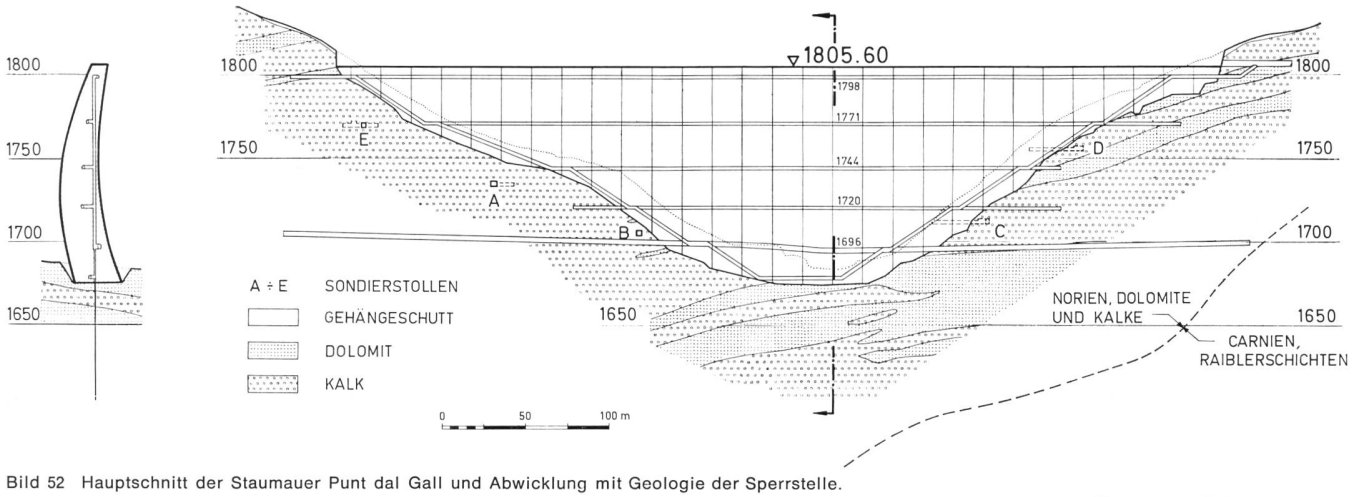


Bild 52 Hauptschnitt der Staumauer Punt dal Gall und Abwicklung mit Geologie der Sperrstelle.

Fortsetzung S. 233

Technische und wirtschaftliche Daten der Engadiner Kraftwerke

EINZUGSGEBIETE

Speicheranlage Livigno–Ova Spin	km²	km²
Natürliches Einzugsgebiet bei der Sperrstelle Punt dal Gall	294,8	
abzüglich Kollektor Alto Spöl (Wasserableitung nach Italien)	– 105,0	
Nettoeinzugsgebiet der oberen Stufe	189,8	
Kraftwerk S-chanf–Pradella		
Natürliches Einzugsgebiet des Inn bei der Fassung S-chanf		615,0
In den Freispiegelstollen eingeleitete Seitenbäche:		
Vallember (linke Talseite)	53,7	
Varusch (rechte Talseite)	51,8	
Tantermozza (rechte Talseite)	10,2	115,7
Nettoeinzugsgebiet der oberen Stufe		189,8
Zwischeneinzugsgebiet an der Sperrstelle des Ausgleichbeckens Ova Spin		90,0
In den Druckstollen Ova Spin – Pradella eingeleitete Seitenbäche:		
Sampuoir	17,5	
Clemgia (Val S-charl)	88,1	105,6
Totales Einzugsgebiet des Kraftwerkes S-chanf–Pradella		1116,1

SPEICHERANLAGE LIVIGNO — OVA SPIN

Speicherbecken Livigno

Staumauer Punt dal Gall:	
Doppelt gekrümmte Bogenstaumauer, Betonvolumen	740 000 m³
Grösste Höhe über Fundament	130 m
Kronenlänge	540 m
Kronenbreite	10 m
Grösste Mauerstärke	29 m
Kote der Mauerkrone	1 805,6 m ü.M.
Stausee:	
Nutzinhalt	164 Mio m³
Oberfläche	4,7 km²
Stauziel	1 804,7 m ü.M.
Senkungsziel	1 700,0 m ü.M.
Hochwasserentlastung:	
Ueberlaufbauwerk	280 m³/s
Grundablass	200 m³/s
Total ableitbares Hochwasser	480 m³/s

Druckstollen Livigno–Ova Spin
Länge 7,6 km, Durchmesser 3,7 m, Durchfluss 33 m³/s

Druckschacht
Vertikalstrecke 80 m, Flachstrecke 310 m, Durchmesser 2,8 m

Kraftwerk Ova Spin
(am Fuss der Staumauer des Ausgleichbeckens)
2 vertikalachsige Gruppen, bestehend aus je einer reversiblen Pumpenturbine mit starr gekuppeltem Motorgenerator. Nenndrehzahl 500/375 U/min Max. Leistungsabgabe im Turbinenbetrieb je 25 MW, max. Leistungsaufnahme im Pumpbetrieb je 23,5 MW. Nennwassermenge im Turbinenbetrieb je 16,5 m³/s, im Pumpbetrieb je 11 m³/s. 1 Transformatorgruppe 56 MVA, 8,5/240 kV, bestehend aus 3 Einphasentransformatoren.

KRAFTWERK S-CHANF — PRADELLA

Stauwehr und Inn-Fassung S-chanf
Wehrkörper mit drei Oeffnungen à 12 m, ableitbares Hochwasser 700 m³/s, Abschluss durch 3 Segmentschützen mit aufgesetzter Stauklappe. Wasserfassung für 32 m³/s, Entsander mit 4 Kammern.

Freispiegelstollen S-chanf–Ova Spin
(Zur Ueberleitung des in S-chanf gefassten Wassers und der Bäche Vallember, Varusch und Tantermozza in das Ausgleichbecken Ova Spin).
Länge 13,06 km, Querschnitt ca. 4,4/4,3 m, Durchfluss 44 m³/s
Fenster ohne Wassereinleitung: Val Flin,
Fenster mit Wassereinleitung: Tantermozza.

Ausgleichbecken Ova Spin

Staumauer (Bogenstaumauer):	
Kubatur	25 000 m³
Grösste Höhe über Fundament	73 m
Kronenlänge	129 m
Kronenbreite	3 m
Grösste Mauerstärke im Hauptschnitt	7 m
Kote der Mauerkrone	1 633 m ü.M.
Stauraum:	
Nutzinhalt	6,5 Mio m³
Oberfläche	0,36 km²
Stauziel	1 630 m ü.M.
Senkungsziel	1 600 m ü.M.
Hochwasserentlastung:	
Mauerüberfall	250 m³/s
Grundablass	170 m³/s
Mauerdurchlass	180 m³/s
Total ableitbares Hochwasser	600 m³/s

Druckstollen Ova Spin–Pradella
Länge 20,28 km, Durchmesser 5,2 m, Durchfluss 66 m³/s
Fenster ohne Wassereinleitung: Laschadura
Fenster mit Wassereinleitung: Sampuoir, Val S-charl (Clemgia)

Druckschacht
Steilstrecke (47 %) 665 m, Flachstrecke 245 m, Durchmesser 4,0/3,8 m

Druckleitung
(einsträngig) Länge 455 m, Durchmesser 3,8/3,6 m

Kraftwerk Pradella
4 vertikalachsige Francisturbinen mit je 66,5 MW Leistung bei 456 m Nettogefälle und 16,5 m³/s Schluckvermögen, Drehzahl 750 U/min.
4 Synchron-Generatoren mit je 90 MVA Nennleistung, cos. φ = 0,8, Nennspannung 13 kV
2 Transformatorgruppen zu je 180 MVA, 13/13/420 kV, bestehend aus je 3 Einphasentransformatoren
1 Kupplungstransformator 240 MVA, 250/420 kV, bestehend aus 3 Einphasentransformatoren

BETRIEBSWASSERMENGEN, INSTALLIERTE LEISTUNGEN UND ENERGIEPRODUKTION IM MITTELJAHR

	Speicheranlage Livigno–Ova Spin	Kraftwerk S-chanf–Pradella	Total
Betriebswasser in Mio m³:			
Winter (Oktober–März)	194	350	
Sommer (April–September)	33[1]	521	
Jahr	227[2]	871	
Bruttogefälle in m, max.	204,7	496,0	
min.	70,0	466,0	
mittl.	149,0	493,0	
Mittleres Nettogefälle in m	137,8	471,1	
Ausbaugrössen:			
Durchfluss in m³/s,			
im Turbinenbetrieb	33,0	66,0	
im Pumpenbetrieb	22,0	—	
Installierte Leistung in MW:			
im Turbinenbetrieb	50	288	338
im Pumpenbetrieb	47	—	47
Dotierwassergruppen			
Punt dal Gall	2,4	—	2,4
Dotierwassergruppe Ova Spin	0,5	—	0,5
Energieproduktion in Mio kWh:			
Winter (Oktober–März)	65	381	446
Sommer (April–September)	12	546	558
Jahr, brutto	77[3]	927	1004
abzüglich Pumpenergie (Sommer)			—45
Jahr, netto			959
davon Speicherenergie	50	174	224

[1] Laufwasseranfall im September und Speicherwasser im April
[2] davon 80 Mio m³ während des Sommers gepumpt
[3] inkl. Erzeugung durch die Dotierwassergruppen

Bild 41

GESAMTSITUATION

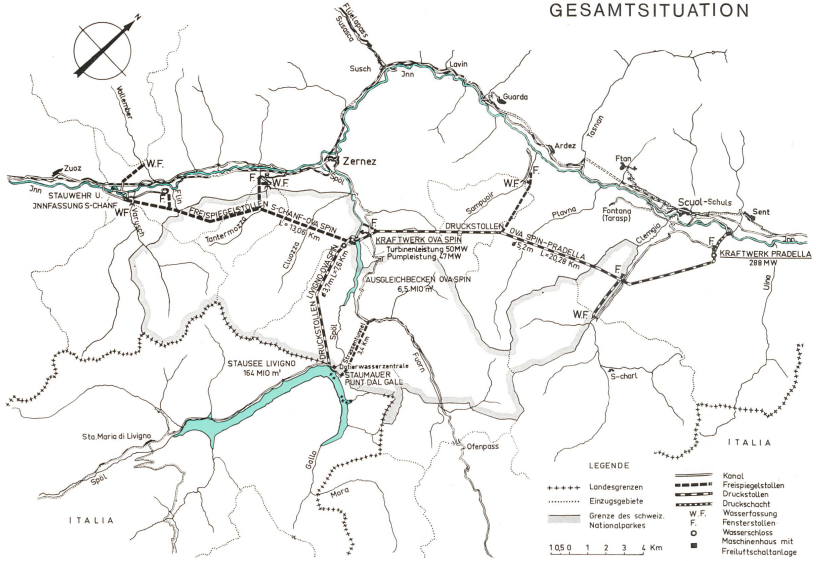


Bild 42

LÄNGENPROFIL

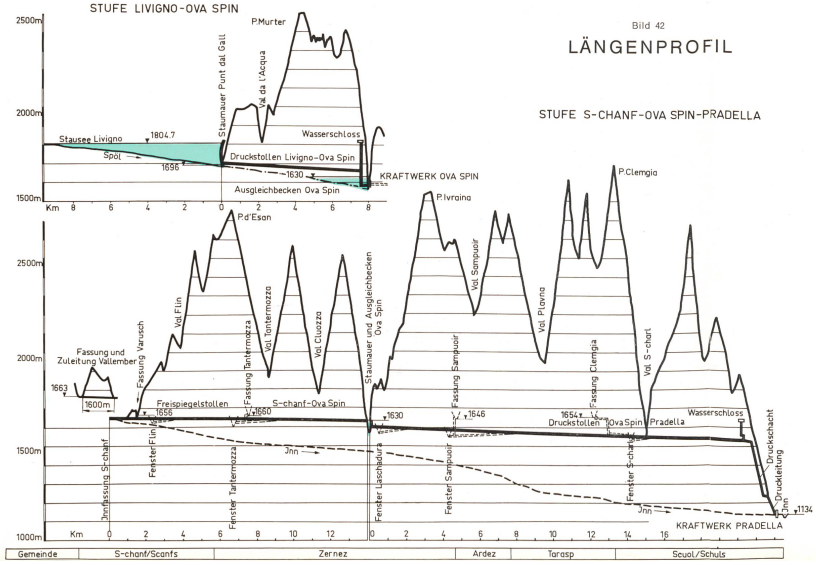


Bild 43

Freispiegelstollen S-chanf — Ova Spin

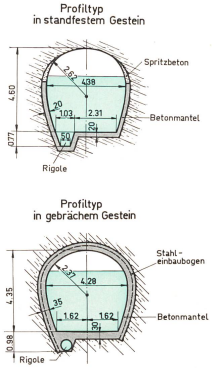
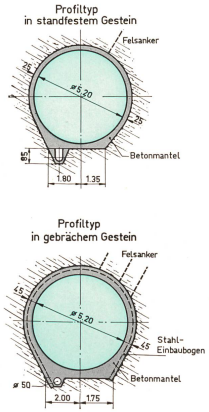


Bild 44

Druckstollen Ova Spin — Pradella



STAUMAUER PUNT DAL GALL

Bild 45 Lageplan

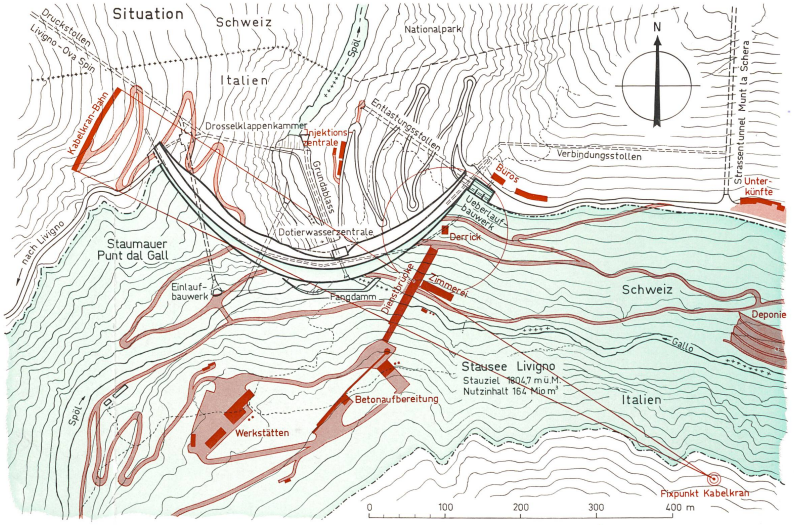


Bild 46 Ansicht von der Seeseite und Staumauerhauptschnitt

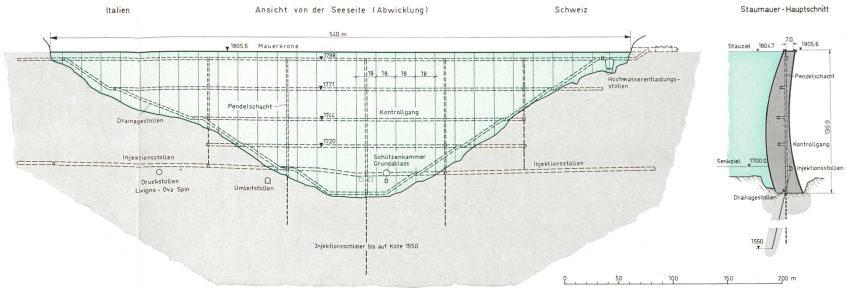
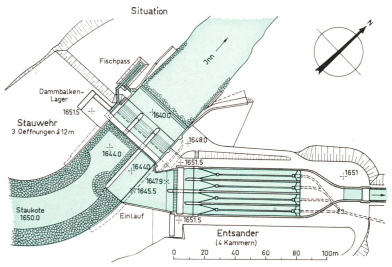
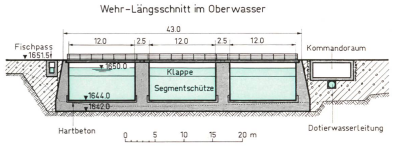


Bild 47

STAUWEHR UND INNFASSUNG S-CHANF





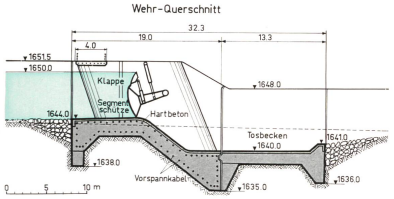
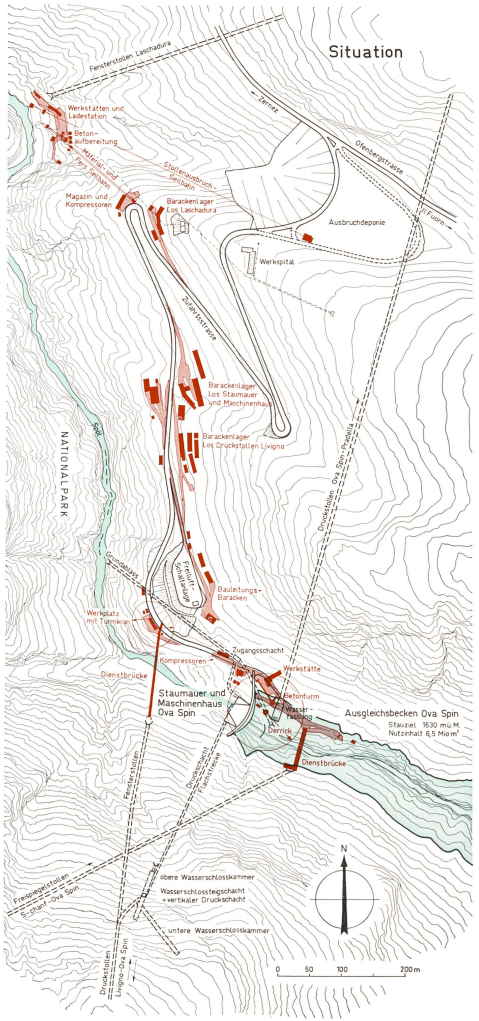
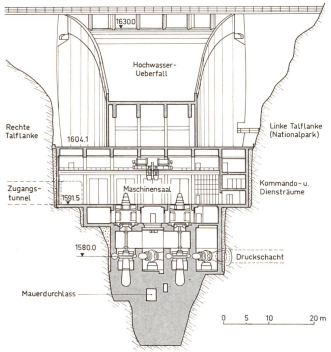


Bild 48

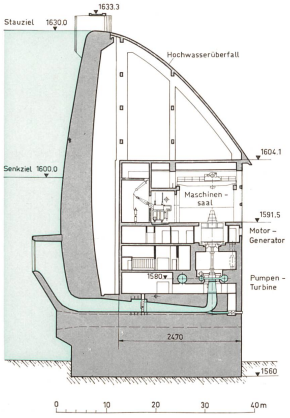
ANLAGEN OVA SPIN



Luftseitige Ansicht der Staumauer und Längsschnitt des Maschinenhauses



Schnitt durch Staumauer und Maschinenhaus



KRAFTWERK PRADELLA

Bild 49

Situation

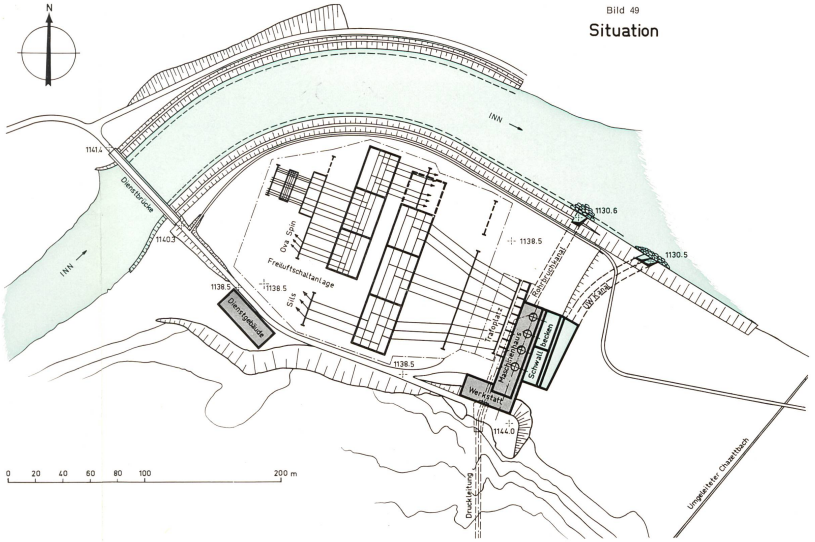
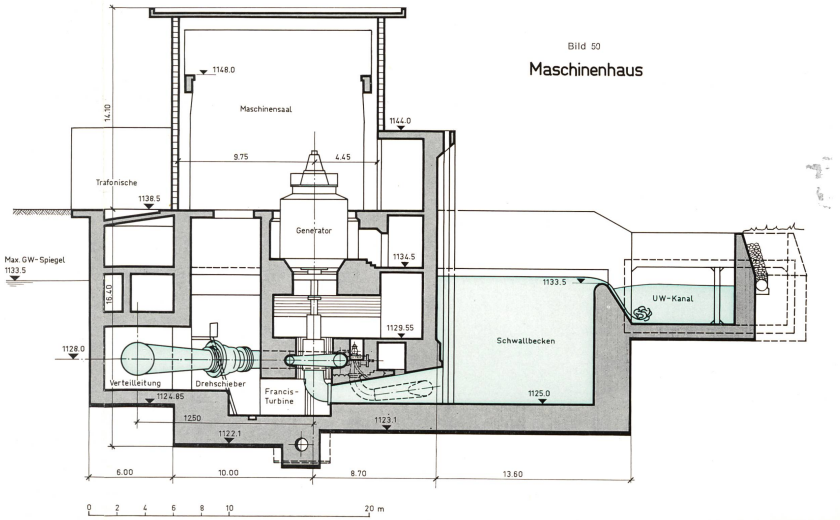


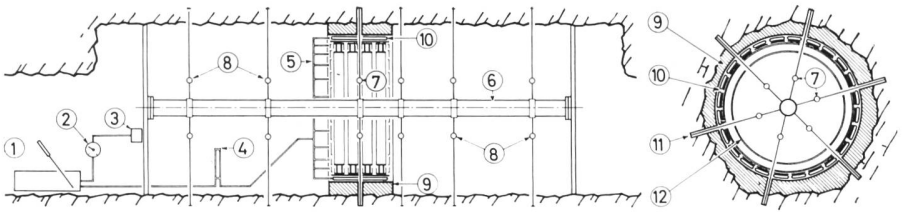
Bild 50

Maschinenhaus



Bilder 53 (rechts) und
54 (unten links)
Versuchsanlage für die Bestimmung des Verformungsmoduls in situ an der Sperrstelle Punt dal Gall

1 Oeldruckpumpe
2 Manometer
3 Barograph mit Druckregistrierung
4 Druckausgleichrohr
5 Kollektor
6 Messbasis
7 Dehnungsmesser im Hauptschnitt
8 Berg- bzw. talseitige Dehnungsmesser
9 Betonring (6 Segmente)
10 Druckkissen
11 Expansionsverankerung
12 Tragkonstruktion



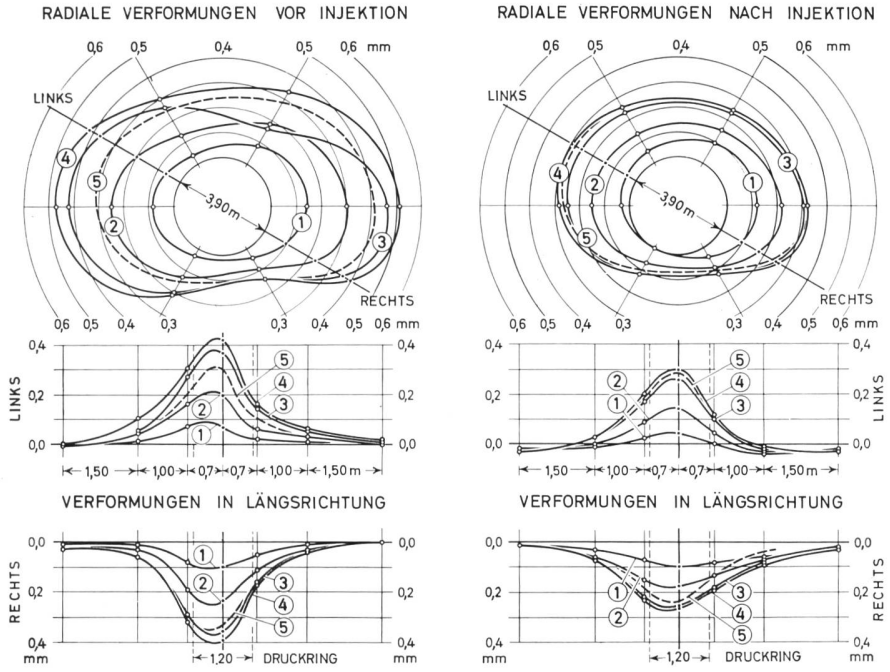


Bild 55
Felsdeformationen im Stollen C, gemessen während den Ringbelastungsversuchen vor und nach den Felsinjektionen.
1 gesamte Deformation bei 25 atü Pressendruck
2 gesamte Deformation bei 50 atü Pressendruck
3 gesamte Deformation bei 75 atü Pressendruck
4 gesamte Deformation bei 80 atü Pressendruck
5 elastische Deformation bei 80 atü Pressendruck

Bild 56
Anlage zur Durchführung triaxialer Scherversuche in situ an der Sperrstelle Punt dal Gall

1 Probekörper
2 Betonblock
3 Druckkissen für Vertikaldruck
4 Tragkonstruktion
5 Druckkissen für Seitendruck
6 Stahlmantel mit Vorspannkabel
7 Messuhren für Vertikaldeformationen
8 Messuhren für Horizontaldeformationen

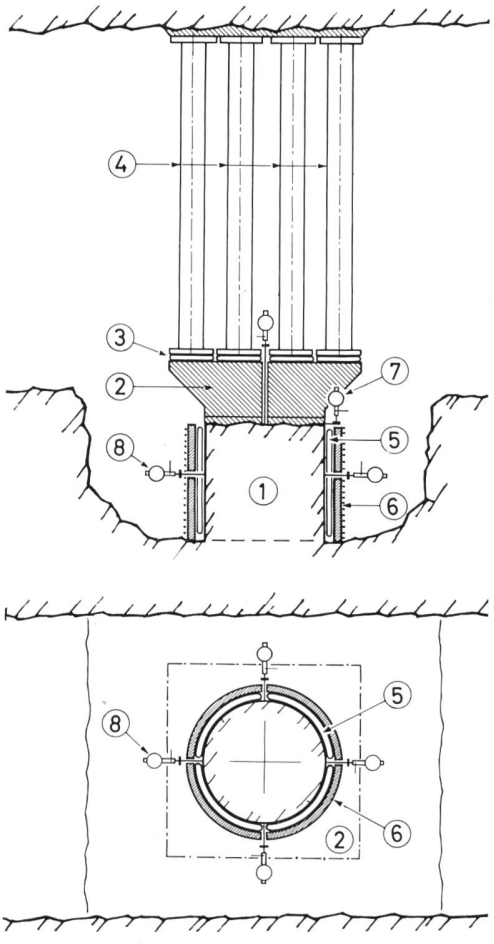
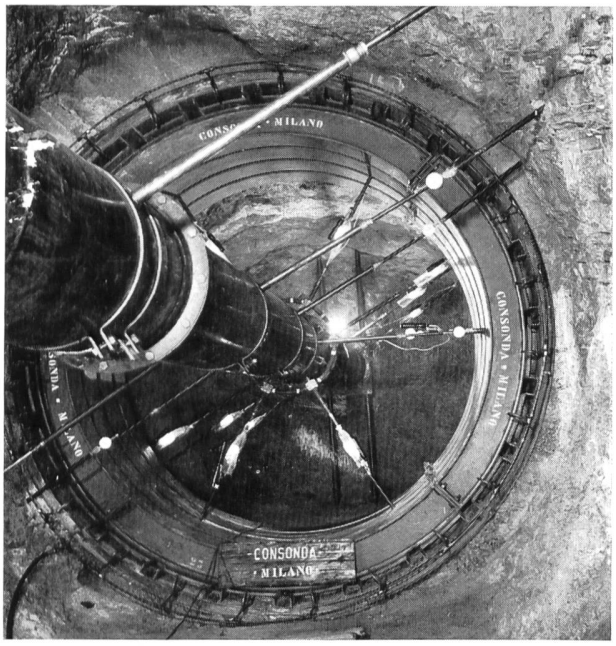


Bild 54 (Bilder 53, 55, 56 Clichés SBZ)



Die Sperrstelle Punt dal Gall, welche entweder auf einem Fussweg durch den Nationalpark oder durch einen eigens erstellten 3,4 km langen Strassentunnel erreicht wird, ist durch einen Felssporn auf der linken Talflanke gekennzeichnet, der die untere Talpartie ziemlich stark einengt. Trotzdem ist die Mauer eine weitgespannte Bogensperre mit einem Verhältnis aus Kronenlänge und Mauerhöhe von 4.2, wie es die nachstehenden Angaben veranschaulichen:

Kronenlänge	540 m
Kronenstärke	10—12 m
Kronenradius	150—420 m
Mauerhöhe	130 m
Mauerstärke am Fuss	24,5 m
Betonvolumen	740 000 m³
Felsaushub	250 000 m³

Der grösstenteils oberflächlich anstehende Fels wird aus abwechselnd kalkigen und dolomitischen Schichten des Norien (obere Trias) gebildet. Neben den Schichtflächen zeigt das Gebirge zwei ausgeprägte Kluftsysteme, welche zu den ersten mehr oder weniger senkrecht verlaufen, so dass im Felsmassiv eine quaderförmige Struktur entsteht.

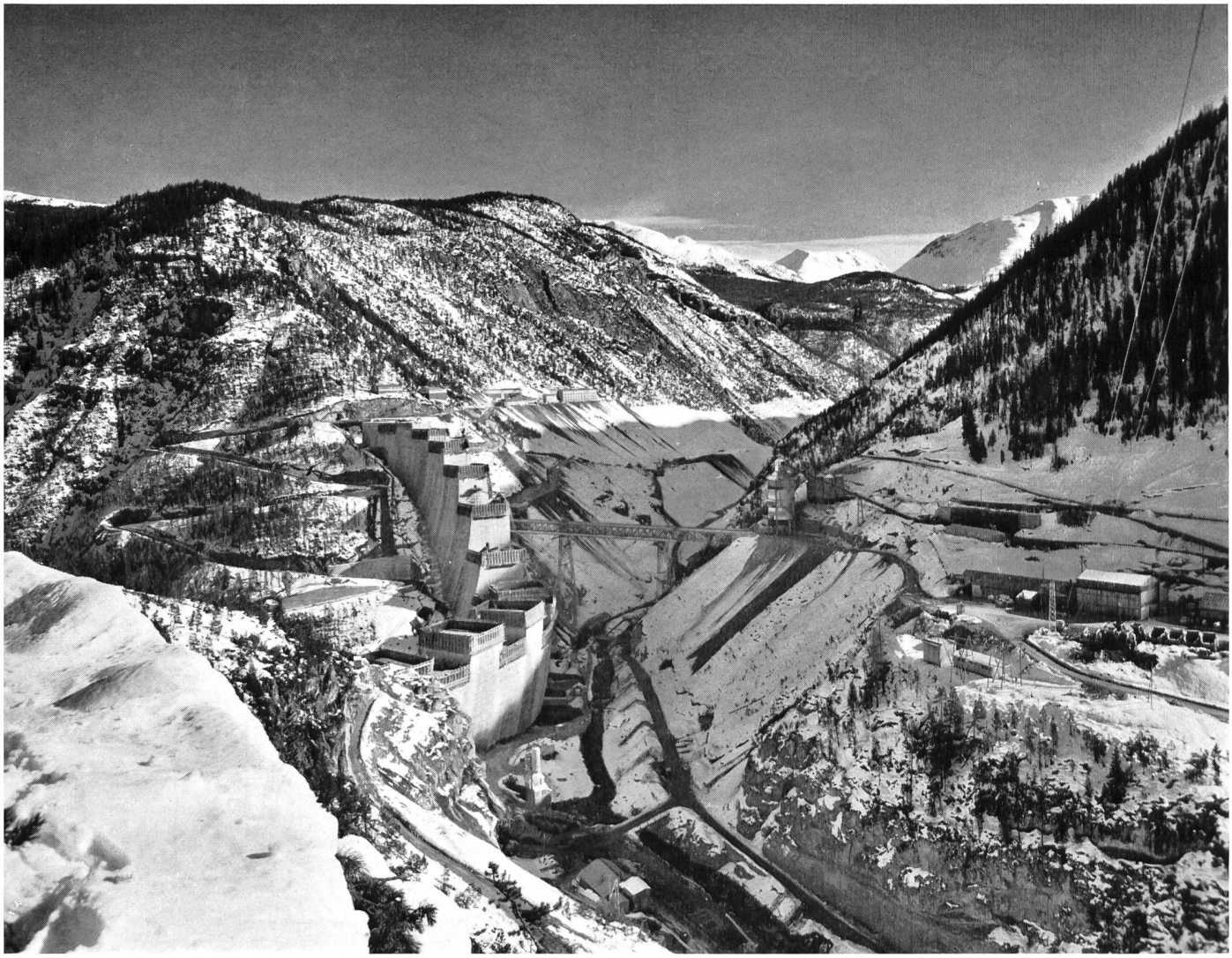
Der Fels wurde wie üblich auf seine Durchlässigkeit, Verformbarkeit und Festigkeit untersucht.

Die Bestimmung der Durchlässigkeit auf Grund von zahlreichen Sondierbohrungen bot die Grundlage für das Projekt des Injektionsschirmes. Er besteht in den relativ klüftigen Schichten des Norien aus normalen Zementverpressungen, während in den mindestens 100 m tief unter der Fundation auftretenden Reiblerschichten des Carnien unter Umständen eine Silikatbehandlung erforderlich ist.

Die Verformbarkeit des Felsens spielt für das statische Verhalten der Staumauer eine wichtige Rolle, da die infolge der Auflagerkräfte auftretenden Felsdeformationen den Spannungszustand in der Mauerschale beeinflussen. In fünf Sondierstollen wurde der Verformungsmodul bei erstmaliger sowie mehrmaliger Belastung bestimmt und auch die Auswirkung der Felsinjektionen auf die Verformbarkeit untersucht, wobei man folgende Werte erhielt:

	Modul in t/cm²	
	im uninjizierten Fels	im injizierten Fels
erstmalige Belastung	70—115	85—160
wiederholte Belastung	90—150	105—175

Bild 57 Uebersicht über die im Bau stehende 130 m hohe Bogentalsperre Punt dal Gall, die Dienstbrücke und die Betonaufbereitung. Aufnahme vom 14. November 1966 mit Blick ins Val del Gallo.



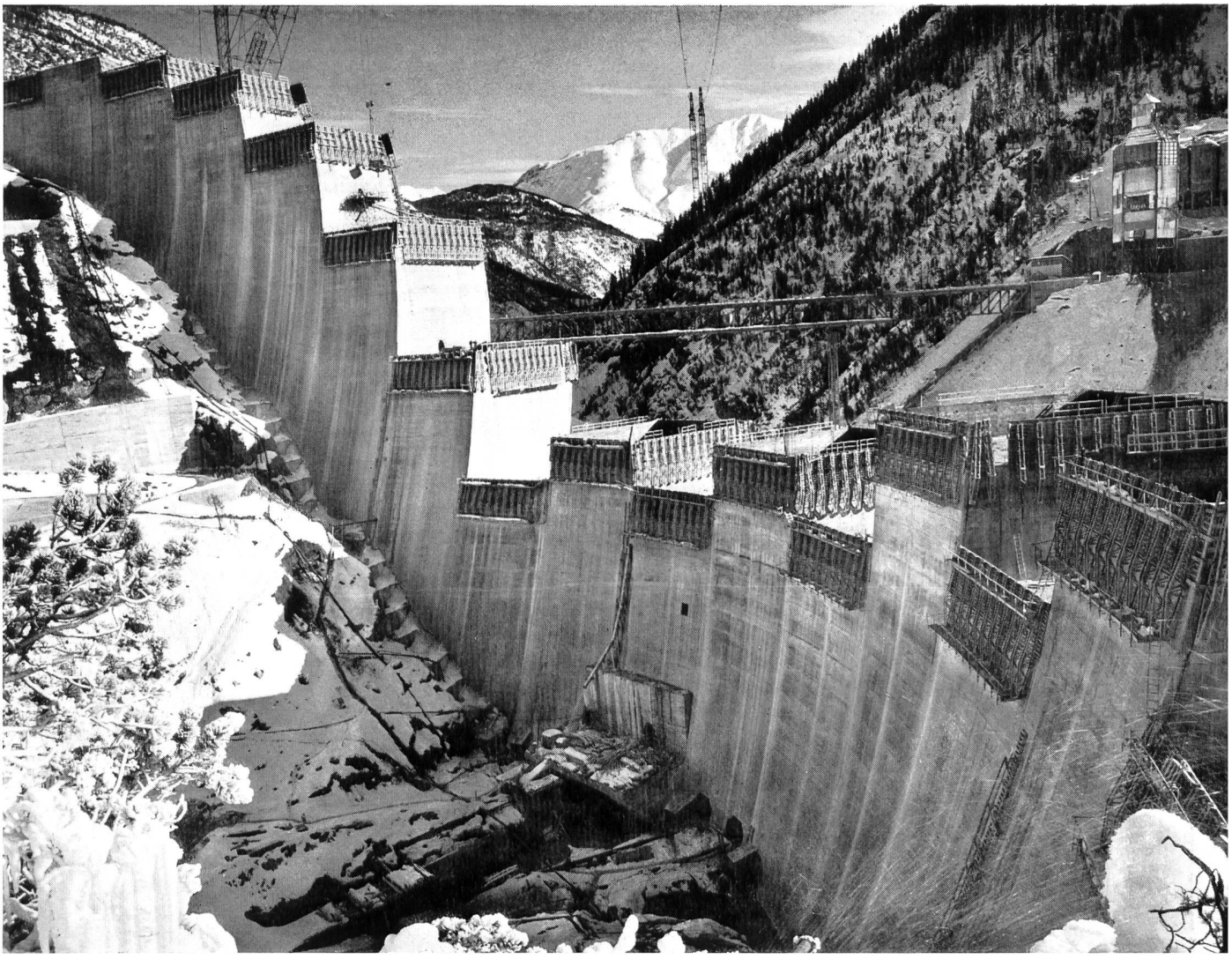


Bild 58 Detailansicht der im Entstehen begriffenen kühnen Staumauer Punt dal Gall; Aufnahme vom 14. November 1966.

Es zeigt sich also, dass die totale Verformung zu ungefähr 80 % im elastischen Bereich liegt und dass die Injektionen eine leichte Erhöhung des Moduls bewirken. Im weiteren treten in den höheren Felslagen infolge der Dekompression des Gebirges eher geringere Werte auf, was im übrigen schon an vielen Sperrstellen festgestellt worden ist.

Die Festigkeit des Felsens bestimmt dessen Tragfähigkeit. Mittels triaxialer Belastungsversuche an freigelegten Felsproben in den Stollen wurde die Bruch- und Scherfestigkeit bestimmt. Für die Berechnung der Standfestigkeit werden diese Grenzwerte mit den errechneten Gebirgsbeanspruchungen verglichen, wobei einerseits die Berechnungsmethoden der Elastizitätstheorie, anderseits diejenige der Geomechanik (Gleitkreise) zur Anwendung gelangen. Eine wichtige Rolle spielt natürlich in diesen Untersuchungen der Auftrieb.

Die Bilder 51 bis 56 vermitteln einen Eindruck vom Umfang der heute beim Bau einer Talsperre üblichen Felsuntersuchungen.

Der Bau der Staumauer

Im Frühjahr 1965 begann das Unternehmerkonsortium Zschokke-Torno mit der Errichtung der Installationen für den Bau der Staumauer. Bei der Dimensionierung dieser Installationen spielt natürlich das wirtschaftliche Zusammenwirken der einzelnen Anlagen eine Hauptrolle. Das beim Vertragsabschluss aufgestellte Bauprogramm sah drei Betonierjahre, nämlich 1966/67/68 vor, wobei das Jahr 1966 wegen der unvermeidlichen Anlaufzeit nicht voll angenommen wurde und für das Jahr 1968 eine frühzeitige Bauvollendung sich als wünschenswert erwies, damit noch vor Wintereinbruch wichtige Installationsteile demontiert und abtransportiert werden können.

Es ergab sich somit für eine Mauerkubatur von 740 000 m³ eine erforderliche Betonierleistung von 3000 m³/Tag, welche für unvorhergesehene Erschwernisse noch eine genügend grosse Reserve einschliesst.

Dementsprechend wurde die rund 3 km oberhalb der Sperrstelle liegende Aufbereitungsanlage für eine Kiesmenge von 280 m³/Std. ausgelegt. Da das für den Mauerbeton verwendete Rohmaterial teilweise aus einem Schuttkegel stammt, welcher viel feinste Körner enthält, ist eine besonders intensive Waschung nötig, damit die vier Kies- und zwei Sandkomponenten in sauberer Form erhalten werden. Deshalb genügt die üblicherweise verwendete Wassermenge von 1 m³/t Zuschlagstoff nicht und musste um 50 % erhöht werden, was natürlich eine besonders wirksame

Sandtrocknungsanlage erfordert. Die sechs Komponenten werden von den Zwischenlagern in der Nähe der Aufbereitungsanlage zum Betonturm in der Nähe der Staumauer mit Lastwagen transportiert. Eine Nachwaschung erwies sich als überflüssig.

Die Staumauer verlangt im allgemeinen zwei Betonsorten, nämlich einen Vorsatzbeton mit 250 kg Zement/m³ und einem Maximalkorn von 60 mm sowie einen Massenbeton mit 180 kg Zement/m³ und einem Maximalkorn von 120 mm. Der Transport auf die Baustelle erfolgt mit zwei Kabelkränen und einem Derrick von 80 m Ausladung, welche je 4 m³ Beton verschieben können. Die Anlage der Kabelkräne war aus topographischen Gründen ziemlich schwierig, da der Fixpunkt nicht auf dem gewachsenen Boden liegt, sondern mit Hilfe von zwei 90 m hohen Stahltürmen verwirklicht werden musste. Auch die Spannweite der Kabelkräne von 930 m ist für Talsperren einmalig. Welche Bedeutung dem Stahl beim Bau von Installationen zukommt, zeigen auch die Brücken der Kabelkranfahrbahn sowie vor allem die elegante Dienstbrücke, deren Verschwinden am Ende der Bauzeit man beinahe bedauert.

Der Bau entwickelt sich programmgemäss und die Sperre ist praktisch zur Hälfte betoniert. Im August 1968 wird sie bereits als Brücke zwischen dem schweizerischen und dem italienischen Seeufer dienen.

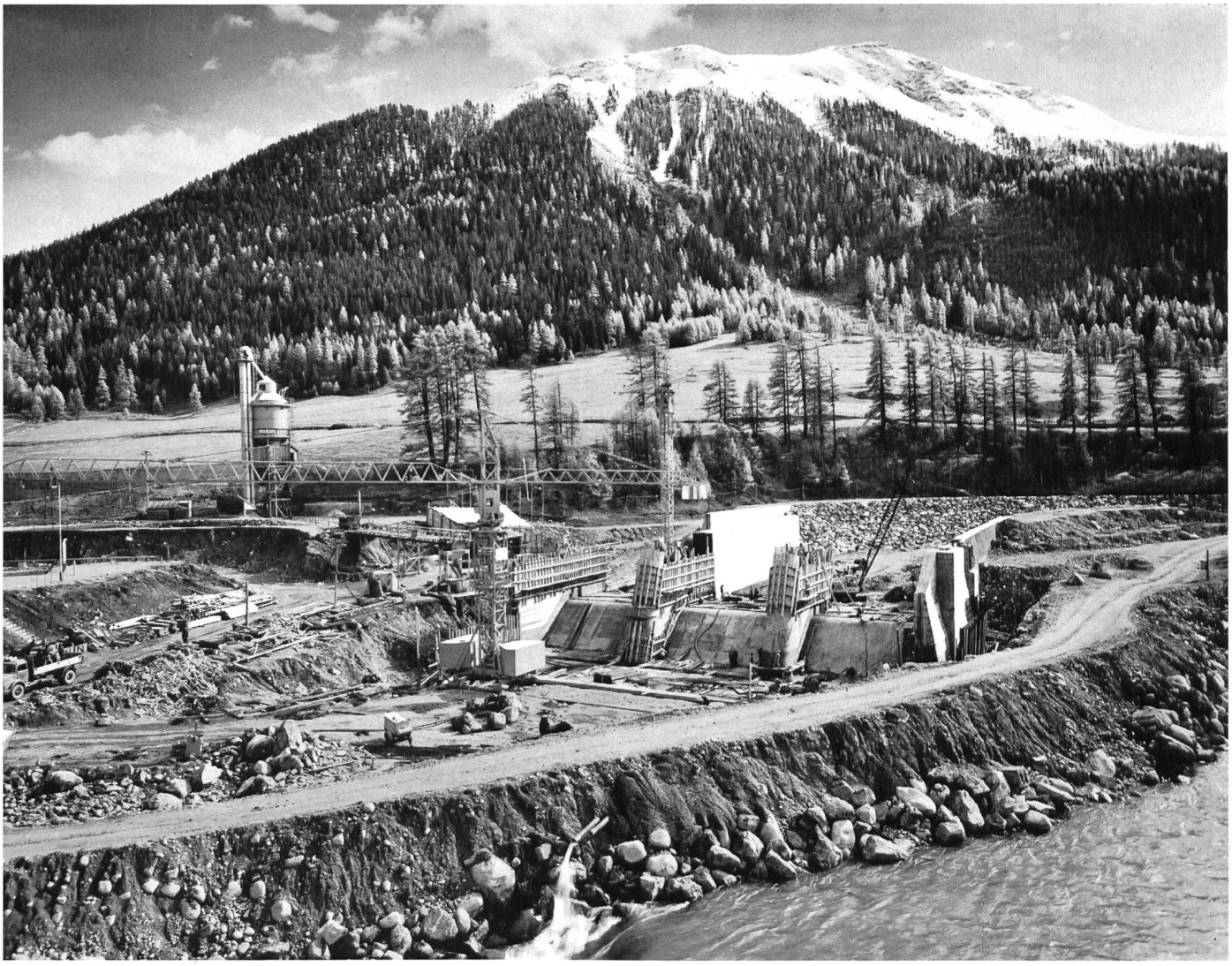
DIE INNFASSUNG S-CHANF

E. Keller, in Firma Gebrüder Gruner, Ingenieurbureau, Basel

Umfangreiche Sondierbohrungen, die zur Abklärung der Wehrstelle und des Stollentrasses zwischen Innfassung und Val Varusch durchgeführt wurden, zeigten, dass der Untergrund des ganzen Gebietes erhebliche Gipsvorkommen aufweist und dass einer Stollenführung auf der rechten Talseite eine sehr lange Lockermaterialstrecke im Wege gestanden hätte. Das in S-chanf gefasste Wasser wird daher nicht unmittelbar in einen Stollen geleitet, sondern zunächst in einem gedeckten Kanal, der den Inn an zwei Stellen überbrückt, bis zum Val Varusch geführt.

Für den Standort des Inn-Wehres bestanden zwei Möglichkeiten, nämlich diejenige, die der Ausführung zugrunde

Bild 59 Uebersicht über die Baustelle für die Innfassung unterhalb S-chanf; im Vordergrund Umleitung des Inn. Aufnahme vom 20. Oktober 1966



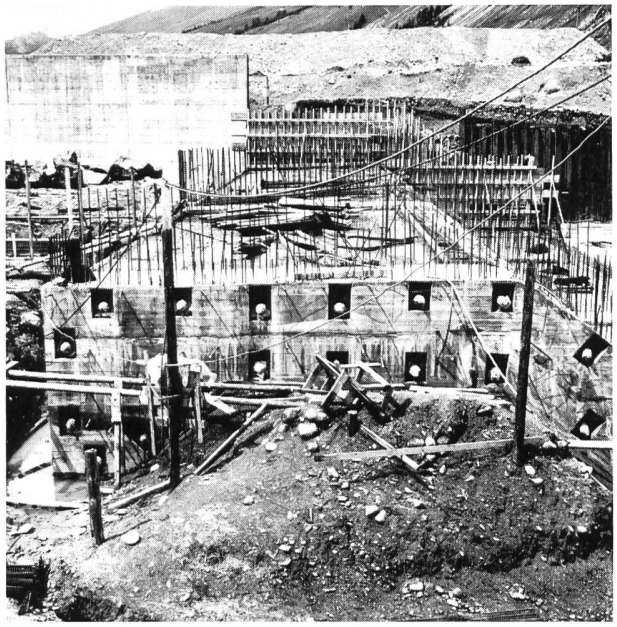


Bild 60 Wasserfassung in S-chanf, Einrichtungen zur Vorspannung der Wehrsohle. Aufnahme Frühjahr 1967.

liegt, und flussabwärts die Stelle, an welcher der Inn ein erstes Mal überquert wird. Beide Varianten wären in hydraulischer Hinsicht aufgrund der durchgeführten Modellversuche gleichwertig gewesen. Mit der gewählten oberen Wehrstelle, bei welcher der Inn nur halb so hoch gestaut werden muss, konnten die Risiken einer Auslaugung des Untergrundes durch Grundwasserströmungen wesentlich herabgesetzt werden, da deren Intensität weitgehend von der Stauhöhe abhängt. Aus dem gleichen Grunde erhielt das Wehr eine flache Fundation, damit die Durchflussöffnung zwischen dem gipshaltigen Untergrund und der Wehrsohle möglichst gross bleibt. Um alle Gefahren ungleichmässiger Setzungen des Wehrkörpers auszuschliessen, wurde das 46 m breite Wehr im Bereich der Schützen ohne Dilatationsfugen ausgeführt und die Sohle über die ganze Breite vorgespannt. Es sind zu diesem Zweck 60 Kabel Typ VSL 170/42 mit einer totalen Vorspannkraft von 10 440 t eingebaut worden. Die damit eingeführte Druckspannung σ_{vo} beträgt 19 kg/cm².

Das Wehr besteht aus drei Oeffnungen von je 12 m Breite, die durch Sektorschützen mit aufgesetzten Klappen abschliessbar sind. Es ist so bemessen, dass bei einer geschlossenen Wehröffnung ein Hochwasser von 600 m³/s schadlos abfliessen kann, was der doppelten, bei S-chanf je gemessenen Abflussmenge entspricht. In Anbetracht der auf 32 m³/s beschränkten Wasserentnahme aus dem Inn ist die Restwasserführung des Flusses unterhalb der Wehranlage S-chanf in den Sommermonaten relativ gross. In Trockenzeiten werden mittels einer Dotierwasseranlage im Sommer mindestens 3 m³/s und im Winter 0,3 m³/s im Innbett belassen.

In der rechtsseits an den Einlauf anschliessenden Entsandungsanlage mit vier parallel geschalteten 50 m langen Kammern können Sandkörner bis zu einem Durchmesser von 0,4 mm ausgeschieden werden. Die Spülung erfolgt automatisch nach System Bieri. Die in den Konzessionsbestimmungen vorgeschriebene Fischtreppe ist auf der linken Talseite angeordnet mit Einstieg aus dem Tosbecken. Das Gefälle dieser Fischtreppe beträgt 16 %.

Im Normalbetrieb ist die Wasserfassung unbemannt und wird über die Fernwirkanlage von der Zentrale Pradella aus überwacht und gesteuert.

Zur Trockenlegung der Baugrube ist der Inn vor Beginn der eigentlichen Bauarbeiten im Frühjahr 1965 auf die linke Flusseite umgeleitet worden, wobei das bestehende Innbett oberhalb und unterhalb der Baustelle durch Fangdämme abgeriegelt wurde. Durch diesen Bauvorgang konnten zeitraubende Umspundungen im Flussbett, wie sie sich sonst bei Erstellung einzelner Wehretappen ergeben, umgangen werden. Die Umleitung weist eine Sohlenbreite von 16 m auf und gestattet die Ableitung eines Hochwassers von max. 400 m³/s. Die Wasserinfiltration vom Umleitkanal in die Baugrube war auch während der tiefsten Aushubphase verhältnismässig gering. Die Arbeiten am Stauwehr sind soweit vorgeschritten, dass die Wehrschützen im Sommer 1967 montiert werden können. Sobald es der Stand der Arbeiten beim Einlauf in den Entsander gestattet, wird der Inn wieder in das alte Bett zurückgeleitet.

STOLLENBAUPROBLEME

J. Schönenberger, in Firma Elektro-Watt Ingenieurunternehmung AG, Zürich

Am Beispiel des Druckstollens der Stufe S-chanf — Pradella und insbesondere des Fensters Sampuoir werden nachfolgend einige bauliche Probleme behandelt, die sich bisher bei den Vortriebsarbeiten stellten. Diese 20,3 km lange Stollenstrecke mit einem Ausbruchquerschnitt von 28 m² wird durch die Fenster Laschadura, Sampuoir und Val S-charl in mehrere Bauabschnitte unterteilt. Aus topographischen Gründen weisen die einzelnen Baulose unterschiedliche Längen auf. Die grösste Zwischendistanz, bezogen auf die Fenstereingänge, beträgt 11,1 km und befindet sich zwischen Laschadura und Sampuoir. Allein das Fenster Sampuoir weist aus geologischen Gründen, auf die noch zurückzukommen ist, die ungewöhnliche Länge von 3630 m auf. Zudem zeichnete sich dieses Fenster, wie auch der Anfang des steigenden Druckstollenastes, durch eine Häufung von Klüften aus, die den Vortrieb in starkem Masse behinderten.

Der Druckstollen wurde von den Geologen derart trassiert, dass er zum überwiegenden Teil seiner Länge in Hauptdolomit zu liegen kommt. Dieser Hauptdolomit gehört der S-charldecke an und besteht aus mehreren Dolomitschollen, die von SE herangeschoben wurden und an der Südfront des Silvrettakristallins, an der sogenannten Stragliavita-Linie aufbrandeten. Dabei wurden namentlich die südlichen Keilpartien einer enormen Beanspruchung ausgesetzt. Die Stragliavita-Linie verläuft praktisch geradlinig südlich von Tarasp über Piz Nair — Stragliavitapass — Laschadura — Cinuos-chel zum Piz Kesch und fällt mit rund 60° nach S ein. Das an der Stragliavitalinie gelegene Kristallin bildet eine wasserabdichtende Front, hinter welcher das Sickerwasser aus dem Einzugsgebiet der Unterengadiner Dolomiten aufgestaut wird. Bei der Erstellung des Stollens erweist sich dieses Wasser, das sich beim Auffahren einer Kluft jeweils mit Druck in den Stollen ergiesst, als ein

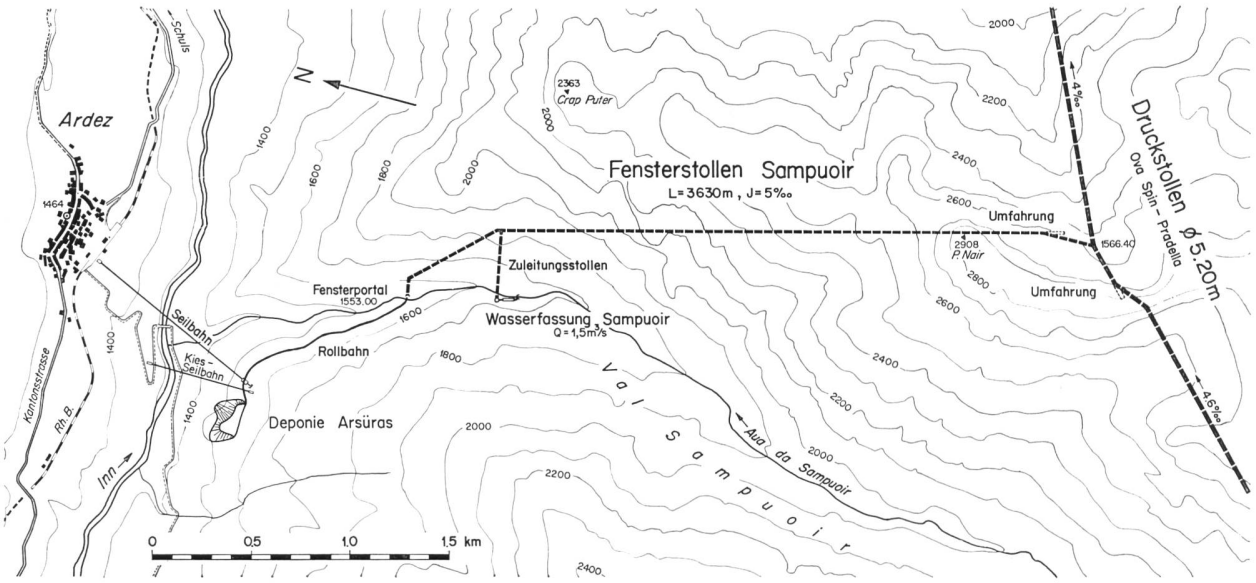


Bild 61 Uebersichtsplan von Fenster- und Druckstollen Sampuoir

beträchtliches Hindernis. Hingegen wurde infolge der grossen Wasserzirkulation im Berginnern, selbst in 4 km Tiefe bei 1200 m Ueberlagerung, keine Zunahme der Gesteinstemperatur registriert. Die Wassertemperatur ist sehr tief und beträgt 5 bis 6 °C.

Im Val Sampuoir liegt der Hauptdolomit auf Druckstollenniveau über 3 km von der Terrainoberfläche entfernt, weshalb der Fensterstollen die bereits erwähnte Länge von 3630 m erhielt. Die dem Hauptdolomit vorgelagerten Gesteinsformationen sind, beim Fensterportal beginnend, Kalkschiefer und Sandkalke mit Tonschiefern, Serpentin, Malm, Flysch, Triasdolomit, Silvrettakristallin. Beim Ausbruch zeigten sich im Silvrettakristallin in der Nähe der Stragliavitalinie noch Gipseinschlüsse und zwischen Kristallin und Hauptdolomit noch Plattenkalke.

Bereits im Fensterstollen waren verschiedene Hindernisse aufgetreten. So erfolgte bei km 2,5, kurz vor dem Uebergang zum Silvrettakristallin, am 2. Juni 1964, ein aus-

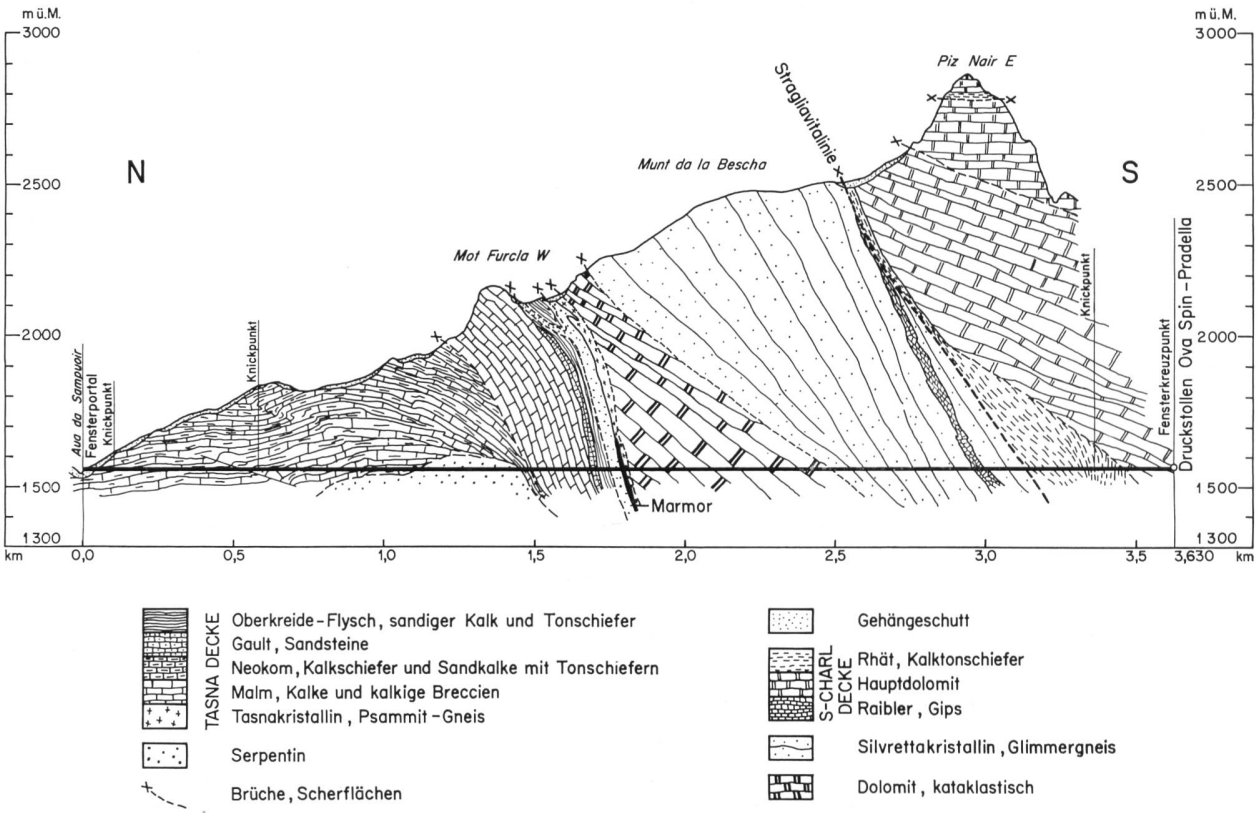


Bild 62 Geologisches Längenprofil des Fensterstollens Sampuoir

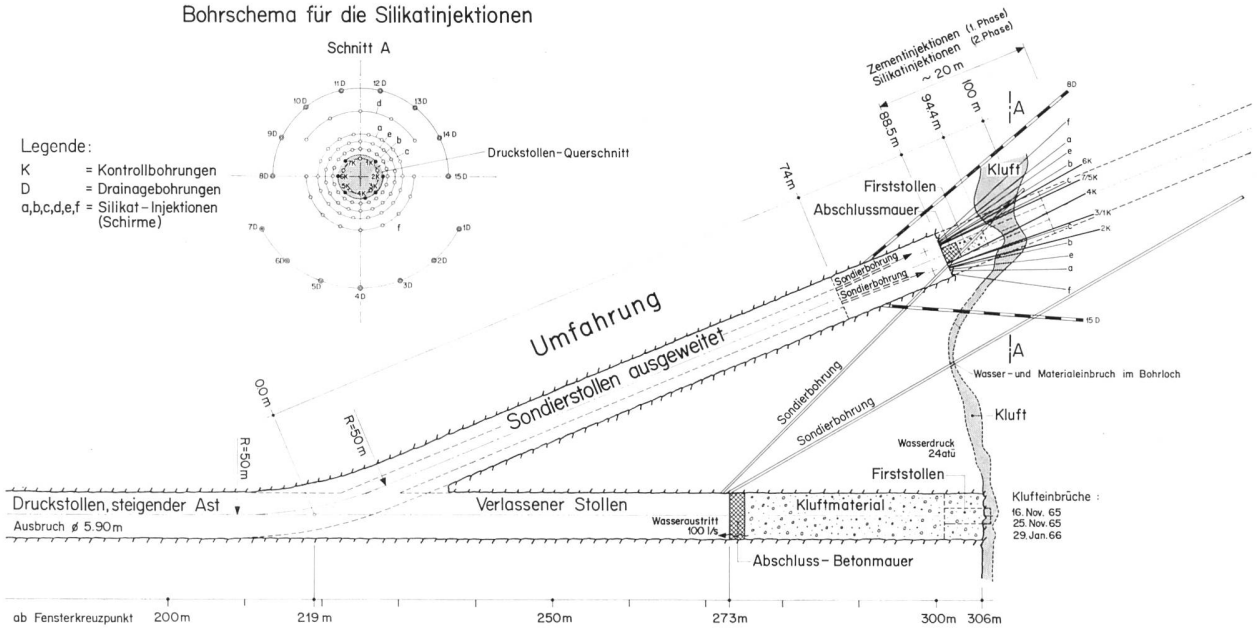


Bild 63 Druckstollen Sampuoir, steigender Ast: Umfahrung der Einbruchstelle, Stand Oktober 1966.

serordentlich heftiger Wassereinbruch aus einem Karstkanal. Der Ertrag, welcher anfänglich 2400 l/s betrug, reduzierte sich nach 24 Stunden auf 1500 l/s und nach 48 Stunden auf 1000 l/s. Bei einer Wasserführung von 600 l/s und noch gänzlich überschwemmtem Geleise wurden die Arbeiten nach nur einwöchigem Unterbruch fortgesetzt. Mitte September 1964 traf der Vortrieb bei km 2,95 im Silvrettakristallin auf eine mit Quarzsand und Blöcken gefüllte Kluft. Die Verhältnisse zwangen zur Errichtung einer Abschlussmauer aus Beton und zur Ausführung von Konsolidationsinjektionen mit Zement. Bei km 3,14 wechselte der stark gebräche Augengneis auf Plattenkalk mit tonigen Zwischenlagen. Die Ueberwindung dieser Grenzzone, welche die Stragliavitalinie darstellte, erforderte wiederum umfangreiche Konsolidierungsmassnahmen, die bis Ende Januar 1965 dauerten.

Schon Ende März 1965 zeigte sich bei km 3,45 beim Uebergang Plattenkalk-Hauptdolomit eine neue Kluft, aus welcher Material und Wasser austraten und welche Brustverzug erforderte. Nachdem sich herausstellte, dass die Durchörterung sehr zeitraubend sein werde, enschloss sich die Bauleitung, eine Umfahrung der Einbruchstelle anzuordnen. Die Umfahrung gelang ohne Schwierigkeiten, jedoch wies der angefahrene Hauptdolomit noch unterschiedliche Festigkeiten auf. Anfangs Juni 1965 konnten bei km 3,63 die beiden Druckstollenäste Richtung Laschadura und S-chanf endlich angesetzt werden. Damit kam der im Februar 1963 begonnene Fenstervortrieb nach zwei Jahren und vier Mo-

Bild 64
Druckstollen Sampuoir,
Stollenmeter 307 der Umfahrung,
steigend. Abschluss des
eingebrochenen Firststollens
mit einer Betonmauer
(Wassereintritte ca. 80 l/s)
Aufnahme vom 13. Mai 1966.

Bild 65
Bohrwagen in einem der Druckstollen

naten zum Abschluss. Der oft gebräche und an wenigen Stellen druckhafte Fels erforderte vielfach Stahleinbau. Die am Fensterportal ausfliessende Wassermenge betrug zu jenem Zeitpunkt 270 l/s.

Während im fallenden Druckstollenast — wenn man von der bis 500 l/s betragenden Pumpwassermenge absieht — bis zum Durchschlag, der am 17. Mai 1967 erfolgte, keine grösseren Hindernisse auftraten, stiess der steigende Ast schon nach 65 m und dann bei 156 m auf mit losem Material gefüllte Klüfte, aus denen 350 l/s Wasser austraten. Kurz darauf erfolgten am 16. und 25. November 1965 bei 306 m die bisher schwersten Einbrüche im Druckstollen. Das Kluftwasser mit einer Ergiebigkeit von 180 l/s stand unter sehr hohem Druck. Es wurden Drücke bis 24 atü gemessen. Nachdem ein Versuch, die Störungszone mit einem Firststollen zu überwinden, Ende Januar 1966 gescheitert war, wurde aufgrund des im Fensterstollen erzielten Erfolges eine Umfahrung in Betracht gezogen. Dies erforderte vorerst die Ausführung zahlreicher Sondierbohrungen. Wegen des bereits im verlassenen Stollenstück und nun auch im Umfahrungsstollen festgestellten hohen Wasserdruckes gelang die Durchörterung der Kluft mit einem Firststollen wiederum nicht. Ein drohender Einbruch zwang zum Abschluss des Stollens mit einer Betonmauer und zur Ausführung von Injektionen. Im einzelnen wurden nachfolgende, in die Zeit von Juni bis Oktober 1966 fallende Arbeiten ausgeführt:

Mit den ausserhalb des zu konsolidierenden Querschnittes liegenden 20 Drainagebohrungen erfolgte zunächst die Reduktion des Wasserdruckes. Für die nachfolgende Konsolidation wurde Zement mit Beigabe von Bentonit verwendet. Die in acht konzentrischen Kegeln gebohrten Injektionslöcher erreichten zusammen die Länge von 2180 m. Mit Drücken von 100—110 atü liessen sich 210 t Zement einpressen. Wenn das durch Injektionen beeinflusste Volumen auf 7800 m³ geschätzt wird, ergibt sich eine Absorption von 26,5 kg Zement pro m³ behandeltes Material. In Wirklichkeit erfolgte die Verteilung natürlich nicht gleichmässig, sondern es bildeten sich einzelne Zementkonzentrationen.

Die erfolgte Komprimierung des Kluftmaterials genügte nicht, wie Kontrollbohrungen ergaben, um auch die Wasserzirkulation zu unterbinden. Die Füllung der verbliebenen Zirkulationswege musste mit feinerem Material als Zement erfolgen. Die Wahl fiel auf Silikatgel. In 1300 m langen Injektionsbohrungen konnten 65 m³ Gel unter 40—65 atü ein-

gepresst werden. Diese sechs Wochen dauernde Injektionsphase führte zur gänzlichen Unterbindung der Wasserzirkulation. Im November 1966 konnte dann der Vortrieb des Firststollens bis in den anstehenden Fels jenseits der Kluft fortgesetzt werden. Die Ausweitung der Kalotte und der Abbau der Strossen erfolgte unter ständiger Absicherung mit Stahleinbau und Spritzbeton. Der normale Vortrieb wurde im Januar 1967 wieder aufgenommen.

Die bisher vorgenommenen Konsolidationen von Kluftmaterial mit der Injektionsmethode sind alle mit Erfolg abgeschlossen worden. Von besonderem Interesse ist in diesem Zusammenhang die bei der letzten Kluft gemachte Feststellung, dass trotz des im benachbarten, verlassenen Stollenast frei abfliessenden Wassers und trotz der zahlreichen Drainageleitungen im Kluftbereich keine Verbindung mit den Injektionslöchern bestand.

PUMPENTURBINEN UND MOTORGENERATOREN DES KRAFTWERKES OVA SPIN

P. Lutz und G. Leupin, in Firma Motor-Columbus AG, Baden

Im Kraftwerk Ova Spin, dem im wesentlichen die Aufgaben eines Pumpspeicherwerkes zufallen, gelangen zwei vertikalachsige Gruppen, bestehend aus je einer reversiblen Pumpenturbine und einem starr gekuppelten Motorgenerator, zur Aufstellung. Gegenüber der klassischen Konzeption mit separaten Pumpen und Turbinen zeichnet sich diese neue Lösung, die in verschiedenen Ausführungen bereits erprobt werden konnte, durch eine wesentliche Betriebsvereinfachung aus. Der Wegfall einer zweiten hydraulischen Maschine mit den zugehörigen Apparaturen und die Verkürzung der Verteilleitung brachten auf dem maschinellen Teil auch unter Berücksichtigung der kleinen Wirkungsgradeinbussen allein schon Einsparungen von über 25 %. Dazu kommt eine recht erhebliche Kostenreduktion auf dem baulichen Teil der Anlage, bietet doch diese neue Lösung die Möglichkeit, trotz des engen Raumes in der Spölschlucht ein Maschinenhaus im Freien zu erstellen.

Pumpenturbinen

Die grosse geodätische Gefällsschwankung von 70 bis 205 m (Bild 66) führte zu Maschinen mit zwei Synchrondrehzahlen von 375 und 500 U/min. Die niederere Drehzahl dient primär zur Verbesserung des Wirkungsgrades im Turbinenbetrieb. Bei unveränderter Drehzahl würden nämlich die Maschinen im untersten Gefällsbereich überhaupt keine Leistung mehr abgeben. Die niederere Drehzahl verbessert aber auch im Pumpenbetrieb die Wirkungsgrade und erlaubt auf die bei kleinen Förderhöhen sonst unvermeidliche Drosselung zu verzichten.

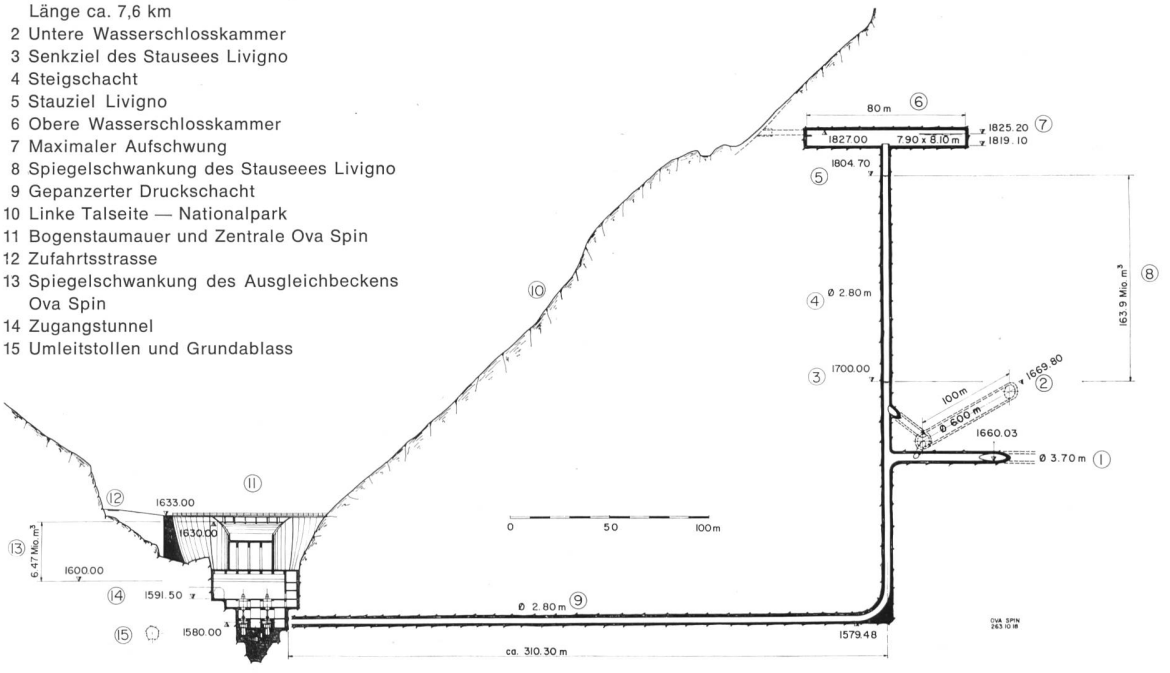
Der Wirkungsgrad einer Pumpenturbine ist im Pumpenbetrieb im Mittel ebenso gut wie jener einer klassischen Pumpe (Bild 68). Im Turbinenbetrieb muss hingegen normalerweise mit einer grösseren Wirkungsgradeinbusse gerechnet werden. Dank der zwei Drehzahlen kann in Ova Spin bei allen Gefällen unter ca. 145 m mit der hydraulisch vorteilhafteren niedereren Drehzal von 375 U/min gefahren werden. Der mittlere gewichtete Turbinen-Wirkungsgrad liegt daher nur etwa 1 % unter jenem einer klassischen Turbine mit einer einzigen Drehzahl (Bild 69).

Es kommen einflutige, radiale Maschinen von Gebrüder Sulzer zur Aufstellung (Bild 70). Die Konstruktionsgrösse ergibt sich aus den Sollwerten im Turbinenbetrieb: Wassermenge 16,5 m³/s bei einem Nenngefälle von 135 m. Daraus folgt zwangsläufig die Fördermenge von 11 m³/s im Pumpenbetrieb bei der Nennförderhöhe von 175 m. Die maximale Pumpenleistung beträgt 23,5 MW und die Turbinenleistung wird auf 25 MW begrenzt.

Die Pumpenturbine ist mit einem beweglichen Leitapparat ausgerüstet. Die Leitschaufeln werden auch im Pumpenbetrieb nur durch die Oeldruckservomotoren des Regulierringes in der richtigen Lage gehalten. Es können je nach Förderhöhenbereich drei verschiedene Oeffnungswin-

Bild 66 Längsschnitt durch Wasserschloss, Druckschacht und Zentrale Ova Spin.

1 Druckstollen vom Stausee Livigno Länge ca. 7,6 km
2 Untere Wasserschlosskammer
3 Senkziel des Stausees Livigno
4 Steigschacht
5 Stauziel Livigno
6 Obere Wasserschlosskammer
7 Maximaler Aufschwung
8 Spiegelschwankung des Stauseees Livigno
9 Gepanzerter Druckschacht
10 Linke Talseite — Nationalpark
11 Bogenstaumauer und Zentrale Ova Spin
12 Zufahrtsstrasse
13 Spiegelschwankung des Ausgleichbeckens Ova Spin
14 Zugangstunnel
15 Umleitstollen und Grundablass



kel eingestellt werden (Bild 68). Im Turbinenbetrieb hingegen wird der Leitapparat kontinuierlich verstellt, und der grösste Oeffnungswinkel beträgt das 1,25fache der maximalen Oeffnung im Pumpenbetrieb.

Die Aufstellungshöhe der Spiralen auf Kote 1580 ergab sich durch die Platzverhältnisse in der sehr engen Spölschlucht am Fusse der Bogenstaumauer (Bild 66). Der Gegendruck beträgt bei gefülltem Ausgleichbecken 50 m und bei entleertem Becken 20 m. Für den Turbinenbetrieb ist dieser Gegendruck mehr als ausreichend. Für den Pumpenbetrieb darf bei gewissen Förderhöhen das Ausgleichbekken nur teilweise abgesenkt werden, um genügend Zulaufdruck für kavitationsfreien Betrieb zu behalten. Diese Einschränkung ist jedoch für den Betrieb nicht schwerwiegend, da sie nur von kurzer Dauer ist.

Motorgeneratoren

Die beiden Motorgeneratoren von je 27 MVA werden von der Maschinenfabrik Oerlikon geliefert und in Ova Spin im Maschinensaalboden versenkt montiert. Die Reversibilität der Pumpenturbinen und die durch die starken Gefällschwankungen erforderlichen zwei Nenndrehzahlen führten zur Konstruktion ausgesprochener Sondermaschinen, die gewissermassen eine Kompromisslösung aus vier verschiedenen elektrischen Maschinen darstellen. Deren Hauptmerkmale seien wie folgt kurz zusammengefasst:

Für jede Nenndrehzahl kommt eine separate Statorwicklung zum Einbau. Es ergeben sich daraus 12 Durchführungsklemmen am Statorgehäuse. Der Nullpunkt wird ausserhalb der Maschine gemeinsam für beide Wicklungen ausgebildet und mit der im Nullpunkt angeschlossenen Anlassdrosselspule kombiniert.

Dem Betrieb mit 375 U/min entsprechend besitzt das Polrad 16 ausgeprägte, massive Pole, wovon die Hälfte unsymmetrisch ausgebildete Polschuhe aufweist. Für den Betrieb mit 500 U/min werden vier übers Kreuz liegende Pole abgeschaltet. Diese Polumschaltbarkeit macht fünf Schleifringe auf der Welle und eine entsprechende Anzahl von gegeneinander isolierten Stromdurchführungen durch den oberen Wellenteil notwendig.

Die Umkehrung der Drehrichtung wird verhältnismässig leicht, nämlich durch Vertauschung zweier Phasen in der Statoranspeisung erreicht. Die Betriebsmässigkeit der beiden Drehrichtungen findet ihren konstruktiven Niederschlag in der Fremdventilation durch acht motorgetriebene Ventilatoren, nämlich je einer über und unter den vier am Stator-

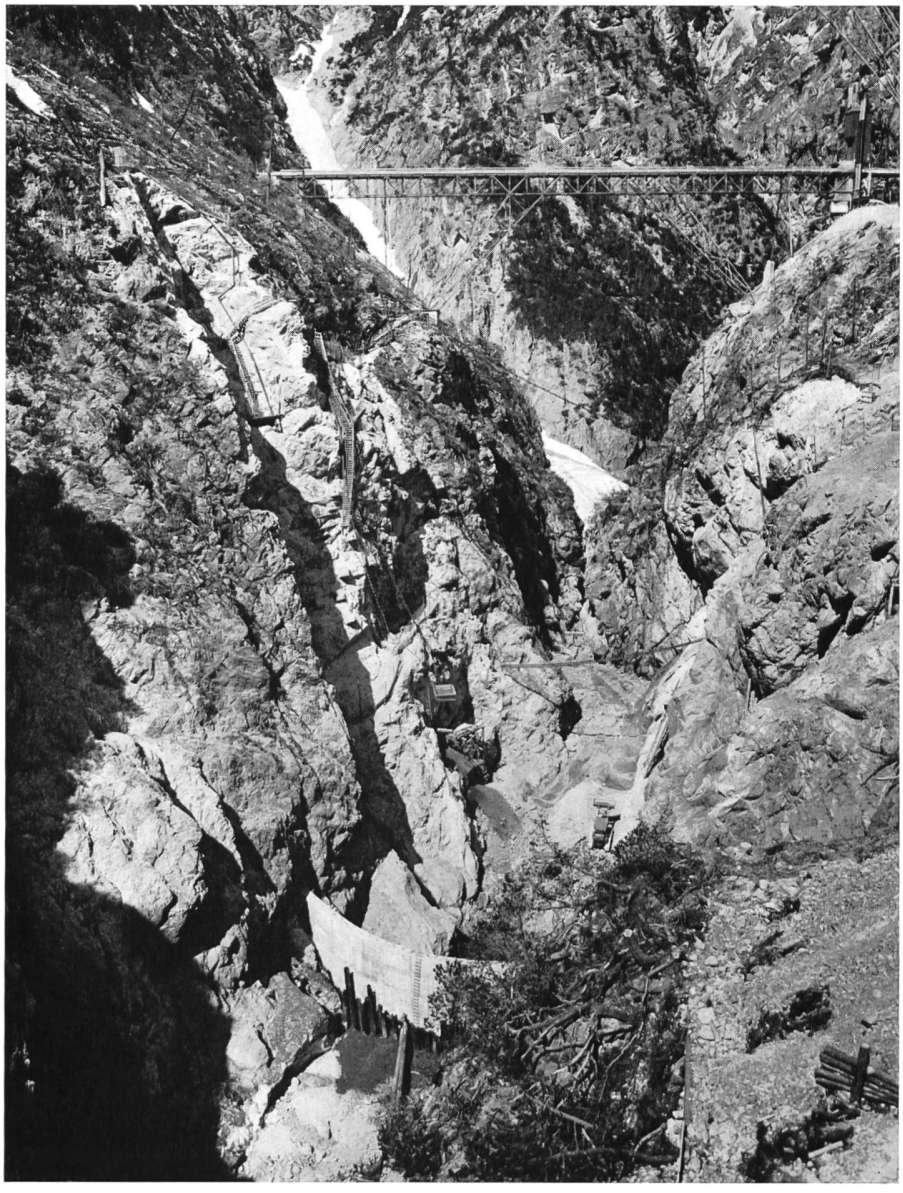


Bild 67
Blick talabwärts in die tiefe und wilde Felsschlucht bei Ova Spin. Links Felsausbruch für das Einbinden der Talsperrenflanke, oben Dienstbrücke zum Druckstollen Livigno — Ova Spin.
Aufnahme vom 2. Mai 1966.

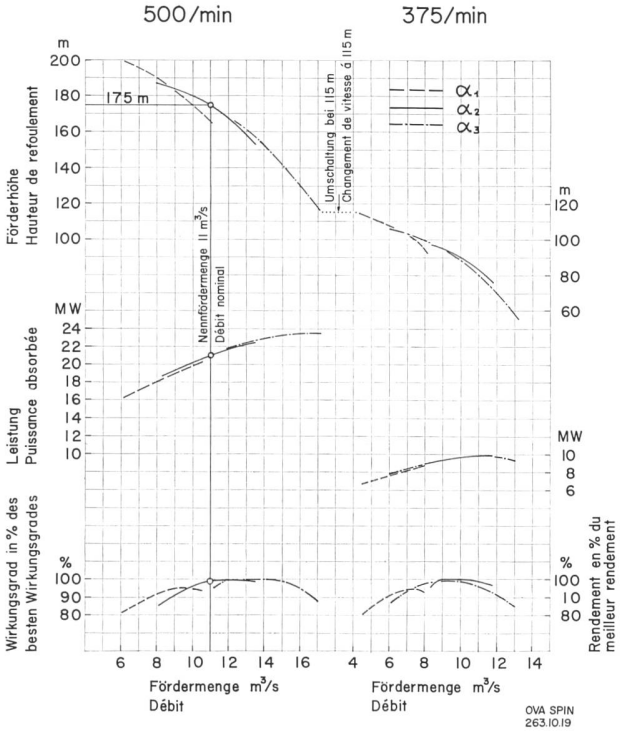


Bild 68 Kennlinien der Pumpenturbinen des Kraftwerkes Ova Spin im Pumpenbetrieb.

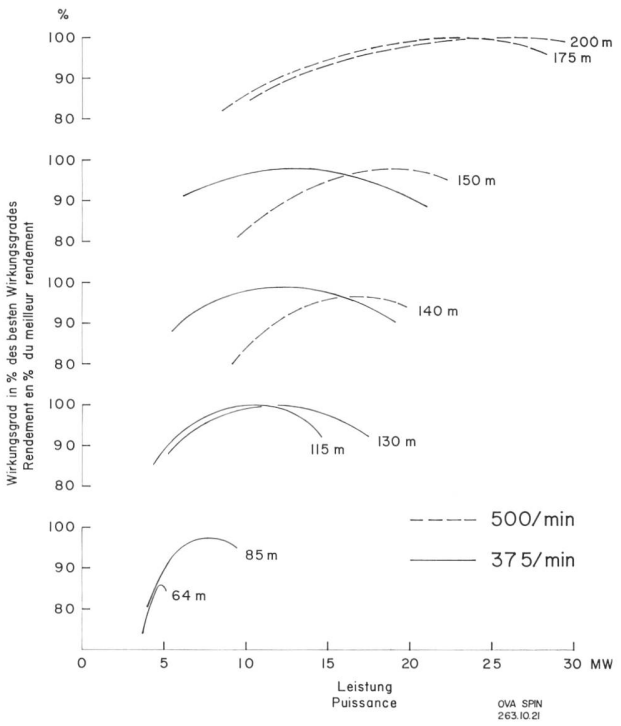


Bild 69 Wirkungsgrade der Pumpenturbinen des Kraftwerkes Ova Spin im Turbinenbetrieb.

umfang angeordneten Luftkühlern. Alle Lager der Maschinengruppe, also sowohl das Spurlager wie die drei Führungslager, werden als Segmentlager ausgeführt.

Die Erregung erfolgt mittels rotierender Erregermaschine, die Spannungsregulierung hingegen statisch mittels automatischen Thyristor-Spannungsregler, der von einem Wellengenerator (selbsterregter Drehstrom-Synchrongenerator mit erhöhter Frequenz) angespeist wird. Für die Ventilation des Erregeraufbaues dient ebenfalls ein motorgetriebener Ventilator. Vor dem Austritt in den Maschinensaal wird die Warmluft durch einen Filter getrieben, in welchem sie vom Kohlenstaub befreit wird.

Im Erregeraufbau ist kein Pendelgenerator vorgesehen, da in der Anlage Ova Spin auf die Frequenzregulierung verzichtet wurde und somit auch keine Drehzahlregulierung notwendig ist. Da die Maschinengruppen in allen vier vorkommenden Betriebsfällen asynchron vom Netz aus angefahren werden, fällt auch die Synchronisation im herkömmlichen Sinne dahin.

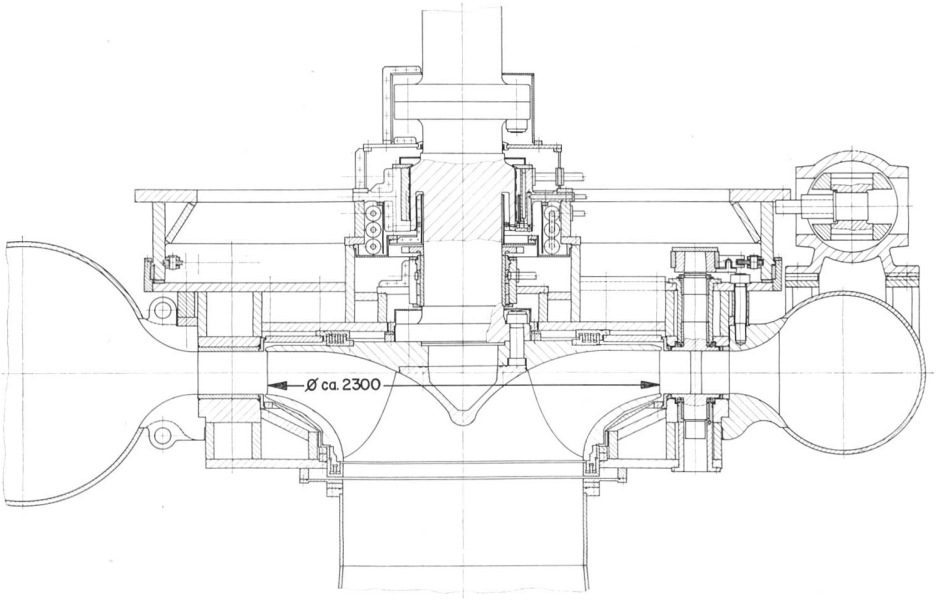


Bild 70
Schnitt durch die radialen Pumpenturbinen im Kraftwerk Ova Spin.

Bild 71 Blick talaufwärts auf das im Entstehen begriffene, mit der Talsperre verbundene Maschinenhaus Ova Spin. Montage der Saugrohre der Pumpenturbinen mit dazwischenliegendem Mauerdurchlass; Aufnahme vom 4. Juli 1966.

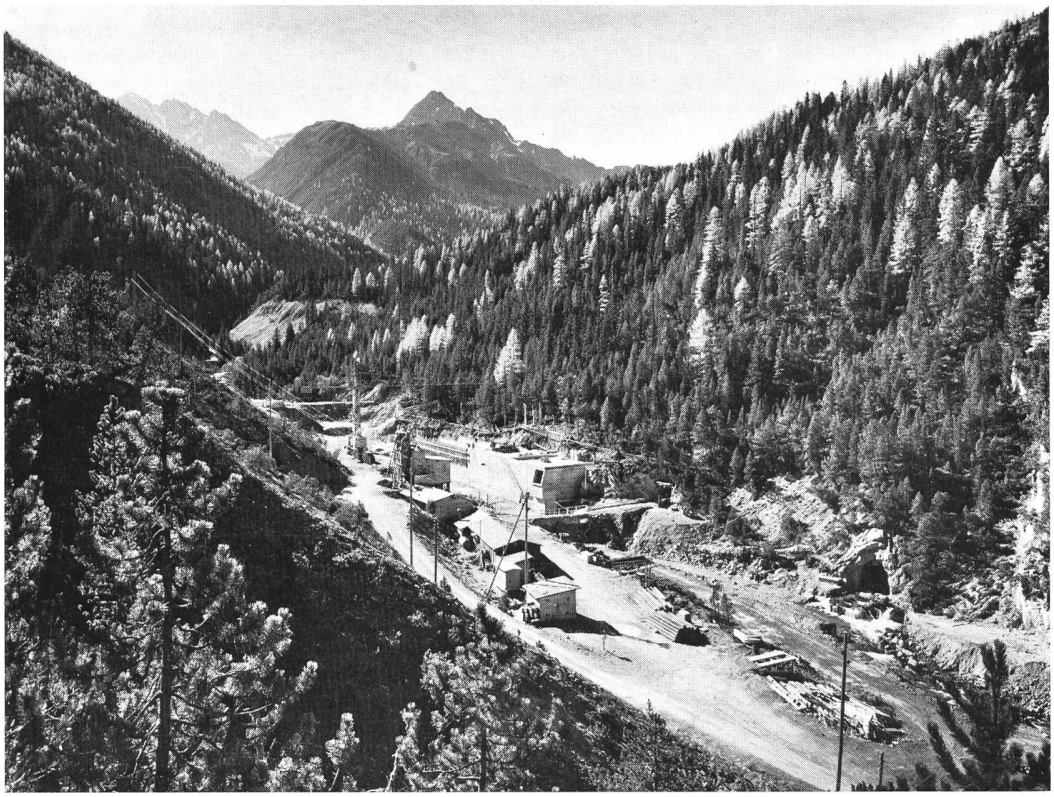


Bild 72 Blick talaufwärts in das wildromantische Val S-charl, in dessen waldreichem Gebiet kurz unterhalb der Einmündung von Val Minger die Clemgia gefasst und der Kraftwerkstufe S-chanf — Ova Spin — Pradella zugeleitet wird. Rechts reicht der Schweizerische Nationalpark bis zur Clemgia.

Bild 73 Blick talabwärts auf das unterhalb Scuol/Schuls im Bau stehende Maschinenhaus Pradella der Engadiner Kraftwerke; Aufnahme vom 21. Juni 1966.

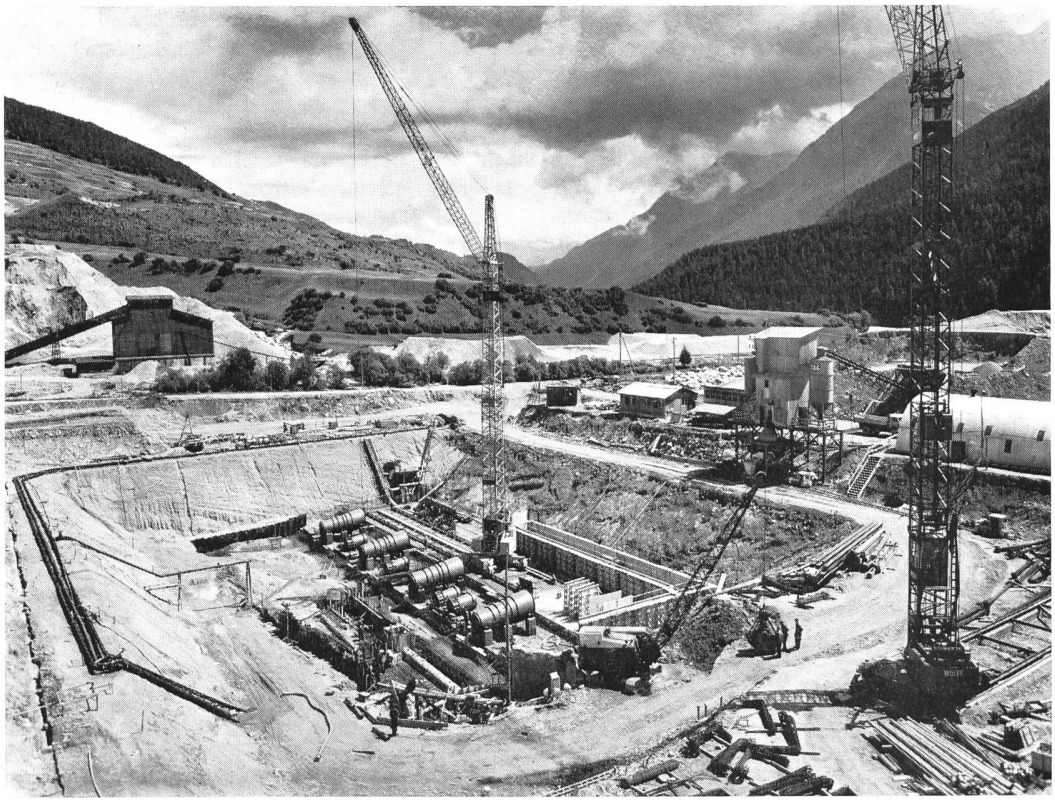


Bild 74
Montage der Saugrohre im Maschinenhaus Pradella. Aufnahme vom 12. Juli 1966; rechts oben auf sonniger Terrasse das Dorf Sent.

ZENTRALISIERTE BETRIEBSFÜHRUNG UND FERNWIRKANLAGEN DER ENGADINER KRAFTWERKE

P. Schranz, in Firma Suiselectra, Basel

Der Betrieb der wichtigsten Anlageteile der ersten Ausbauetappe der Engadiner Kraftwerke wird vom Kraftwerk Pradella aus zentral geführt und überwacht. Der erforderliche Austausch von Informationen erfolgt über ein 205 km langes Fernwirknetz.

Die zentralisierte Betriebsführung wurde im Hinblick auf einen minimalen Aufwand an Personal beschlossen. In konsequenter Verfolgung dieses Gedankens werden die fernbedienten Anlageteile für weitgehend autonomen Betrieb ausgelegt. Selbsttätige Regelungen gewährleisten dabei die Betriebskontinuität, und automatische Steuerungen übernehmen auf Grund entsprechender einleitender Fernbefehle die In- und Ausserbetriebnahme von Anlageteilen. Routinemanipulationen werden also, soweit vertretbar, von Einrichtungen an Ort und Stelle ohne Beanspruchung von Betriebspersonal vorgenommen.

Nach den gleichen Gesichtspunkten ist die zentrale Kommandostelle ausgelegt. Sie muss über den Betriebszustand und allfällige Störungen der Anlagen laufend und ausreichend orientiert sein. Die verschiedenen Betriebsarten der fernbedienten Anlageteile müssen von hier angewählt werden können. Für die Abrechnungen und Statistiken werden periodisch wichtige Werte, wie abgegebene oder bezogene Leistungen, turbinierte, gepumpte und gefasste Wassermengen usw. benötigt. Alle diese Weisungen und Angaben müssen in einer Art verarbeitet und ausgegeben werden, die soweit als möglich ohne Beanspruchung von Betriebspersonal auskommt.

An das Fernwirknetz sind die Zentralen Pradella und Ova Spin mit ihren Schaltanlagen, die Einrichtungen bei der Staumauer Punt dal Gall, die Schaltanlage Sils i.D. und der Anschluss in La Punt, die Betriebsverwaltung in Zernez sowie die Wasserfassungen S-chanf, Vallember, Varusch und Clemgia angeschlossen. Die Verbindungen von den aufgezählten Netzpunkten laufen in Pradella zusammen. Als Uebertragungswege werden überwiegend, bis zu 90 % der Gesamtlänge, Hochspannungsfreileitungen verwendet. Soweit es sich um Verbindungen zwischen Schaltstationen handelt, ist dieser Uebertragungsweg naheliegend; es werden aber auch grössere Wasserfassungen auf diese Weise bedient, so dass nur kurze Kabelstrecken verbleiben.

Die Uebertragungen umfassen gruppiert insgesamt 60 Messwerte, 80 Doppelbefehle, 190 Doppelmeldungen, 35 Zählerstände und 7 Hochfrequenztelefonverbindungen über Hochspannungsfreileitungen. Alle an das Fernwirknetz angeschlossenen Anlagen sind auch mit dem Hochfrequenztelefonnetz verbunden.

Sämtliche Uebermittlungen erfolgen in Form von codierten Impulstelegrammen und zeitmultiplex. Diese Uebertragungsart zeichnet sich aus durch Unempfindlichkeit gegenüber dem besonders auf Hochspannungsleitungen hohen Störpegel und durch gute Ausnützung der Verbindung bei minimalem Bedarf an Bandbreite. Telegramme, die bei der Uebertragung verfälscht wurden, werden als solche erkannt und als nicht zustandegekommene Durchgabe bewertet.

Darstellung und Verarbeitung der Informationen, die in der zentralen Kommandostelle über Fernwirkverbindungen eintreffen, sind je nach Gruppe verschieden. Messwerte gelangen mit wenigen Ausnahmen getrennt von den übrigen Uebermittlungen zur Uebertragung. Sie werden in der Kommandostelle Pradella in konventioneller Weise angezeigt und bei Bedarf auch laufend registriert. Es handelt sich hier nicht um Messgrössen, die für Abrechnung und Statistik Verwendung finden, sondern um solche, die einen raschen Ueberblick geben über den Betriebszustand und das korrekte, bzw. fehlerhafte Arbeiten der fernbedienten Anlageteile.

Meldungen und Befehle werden bei ihrem Eintreffen bzw. bei der Ausgabe zusammen mit der zugehörigen Uhrzeit ausgedruckt. Auch die Störungsmeldungen der Zentrale Pradella selbst werden zusätzlich zur Anzeige so ausgegeben, und zwar zeitfolgerichtig mit einer Auflösung unter einer Tausendstelsekunde. Bei den fernübertragenen Meldungen ist allerdings die Zeitfolge um die Uebertragungszeit von einigen Zehntelssekunden verfälscht. Die beschriebene selbsttätige Protokollierung entlastet das Personal und ist unbestechlich. Die übermittelten Zählerstände werden, unter Einsatz von fernablesbaren Zwischenspeichern, parallel auf einen Drucker und einen Lochstreifenstanzer ausgegeben, wodurch eine universelle Weitergabe unter Ausschaltung menschlicher Irrtümer möglich wird. Die ausgedruckten Zählerstände ergeben den Stand in den fernbedienten Anlageteilen zu ein und demselben gewünschten Zeitpunkt.

Die Fernwirkeinrichtungen der Engadiner Kraftwerke arbeiten nach den Methoden der modernen Datenverarbeitungstechnik, tragen aber den besonderen Betriebsbedingungen, wie sie im Kraftwerkbetrieb auftreten, Rechnung. Sie entsprechen in Konzept und Ausführung dem heutigen Stand einer Technik, die sich weltweit durchgesetzt hat. Ihr Aufbau ist bausteinartig und daher relativ leicht erweiterungsfähig. Als Bauelemente werden integrierte Schaltungen und andere Halbleiterelemente sowie hermetisch gekapselte Kontakte mit hoher Lebensdauer eingesetzt. Sie gewähren eine Betriebssicherheit der Fernwirkanlagen, die auch den strengsten Anforderungen genügen wird.

WIRTSCHAFTLICHE BEDEUTUNG DER EKW FÜR DIE VERLEIHUNGSGEMEINDEN UND DEN KANTON

M. Philippin / EKW

Abschliessend sei kurz auf die wirtschaftliche Bedeutung der EKW hingewiesen. Die wirtschaftlichen Impulse, die vom Kraftwerkbau ausgehen, sind mannigfacher Art. Der Kraftwerbau im Alpengebiet ist deshalb auch die beste Berghilfe.

Als erstes ist die Leistung von einmaligen Gebühren beim Erwerb der Konzessionen zu erwähnen, die den Gemeinden und dem Kanton je rund 1,6 Millionen Franken einbrachten. Nach Aufnahme des Betriebes der ersten Bauetappe hat die Kraftwerkgesellschaft den Gemeinden und dem Kanton zusammen jährlich 1,5 Mio Fr. an Wasserzinsen und Wasserwerksteuern zu zahlen. Allein diese Leistung bedeutet eine spürbare Verbesserung der finanziellen Lage der Gemeinden (die in Frage kommenden 15 Konzessionsgemeinden des Engadins hatten im Jahre 1956 zusammen einen Steuerertrag von etwa 420 000 Franken aufzuweisen). Dazu kommen noch die üblichen Gemeinde- und Kantonssteuern von anfänglich rund 5 Mio Fr. pro Jahr. Zusätzlich zu diesen rein finanziellen Leistungen erhalten die Gemeinden jährlich 6,6 Millionen Kilowattstunden Gratis- und Vorzugsenergie. Auf indirekte Weise zieht die öffentliche Hand einen ansehnlichen Nutzen aus dem Kraftwerkbau, insbesondere durch Frachteinnahmen der Rhätischen Bahn, Besteuerung der im Kanton vergebenen Aufträge an Unternehmer, Industrie und Gewerbe während des Baus, Besteuerung der am Bau beteiligten Arbeiter und später Besteuerung des Kraftwerkpersonals. Die nach Beendigung der Bauarbeiten weiterbestehenden Strassen von einer Gesamtlänge von rund 45 km (davon rund 32 km auf Schweizerboden) werden der Talschaft für Walderschliessungen oder für touristische Belange zugute kommen. An den provisorischen Ausbau der Ofenbergstrasse, die den Tourismus zwischen dem Engadin und dem Münstertal stark fördert, hat die EKW ebenfalls einen ansehnlichen Kostenbeitrag geleistet.

Die Bauherrschaft der Engadiner Kraftwerke AG, Zernez, setzt sich aus folgenden Partnern zusammen:

	Beteiligung %
Aare-Tessin AG für Elektrizität, Olten	14
Bernische Kraftwerke AG, Beteiligungsgesellschaft, Bern	20
Centralschweizerische Kraftwerke, Luzern	10
Elektrizitäts-Gesellschaft Laufenburg AG, Laufenburg	10
Elektro-Watt Elektrische und Industrielle Unternehmungen AG, Zürich	10
Motor-Columbus AG für elektrische Unternehmungen, Baden	8
Schweizerische Elektrizitäts- und Verkehrsgesellschaft, Basel	10
Kanton Graubünden und Verleihungsgemeinden	18
	100

Projektierung und Bauleitung der Anlagen liegen in den Händen der Ingenieurgemeinschaft der Engadiner Kraftwerke AG, die sich aus folgenden Unternehmungen zusammensetzt: Elektro-Watt Ingenieurunternehmung AG, Zürich; Gebrüder Gruner, Ingenieurbüro, Basel; Motor-Columbus AG für elektrische Unternehmungen, Baden, und Schweizerische Elektrizitäts- und Verkehrsgesellschaft, Basel.