Zeitschrift: Wasser- und Energiewirtschaft = Cours d'eau et énergie
Herausgeber: Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband
Band: 55 (1963)
Heft: 9

Artikel: Die Albula-Landwasser Kraftwerke
Autor: Spaeni, A. / Billeter, H.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-921539

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: 23.07.2025

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

DIE ALBULA-LANDWASSER KRAFTWERKE

Vizedirektor A. Spaeni und Dipl. Ing. H. Billeter, Elektro-Watt, Zürich

DK. 621.221

1. Einleitung

Das Albula-Landwasser-Gebiet gehört zu den landschaftlich reizvollsten Gegenden Graubündens. Dem Fremdenverkehr kommt deshalb heute in diesen Regionen eine grosse Bedeutung zu. Allerdings profitieren von dieser Entwicklung nur wenige, von der Natur besonders bevorzugte Gebiete. In den andern bilden – wie schon seit Jahrhunderten – Land- und Forstwirtschaft die Existenzgrundlage. In früheren Jahrhunderten wurde diese natürliche Wirtschaftsbasis durch einen – zu gewissen Zeiten – intensiv betriebenen Bergbau nach Eisen, Zink, Kupfer und Blei erweitert. Diese Industrie konnte sich jedoch nur bis ca. 1850 halten und musste schliesslich vor der internationalen Konkurrenz kapitulieren. Neben dem Bergbau haben sich auch die Verkehrsverbindungen befruchtend auf die Wirtschaft der Talschaften ausgewirkt. Obwohl der Albulapass als internationale Verbindung nie die Bedeutung der Julier- oder der San Bernardino-Route erreichte, war doch zeitweise ein recht lebhafter Personen- und Güterverkehr zu verzeichnen. Mit der Verbesserung der Strassenverhältnisse auf den anderen Passverbindungen und der Erstellung der Albula-Bahn ging für die Talschaften schliesslich auch diese Erwerbsquelle verloren. Die Erschliessung des Albula-Landwasser-Gebietes durch die Rhätische Bahn brachte den Talschaften während der Bauzeit wohl einen starken wirtschaftlichen Aufstieg, waren doch über tausend Arbeiter an der Erstellung beschäftigt. Die Bevölkerung von Bergün stieg beispielsweise von 427 Einwohnern im Jahre 1888 auf 1366 im Jahre 1900. Nach der Fertigstellung der Bahnverbindung blieben jedoch die befruchtenden Impulse, die man sich daraus versprochen hatte, grösstenteils aus, und das Leben normalisierte sich wieder. Während die Einwohnerzahl der Schweiz in den letzten 100 Jahren um ca. 115 Prozent zugenommen hat, wies beispielsweise der Bezirk Albula in der gleichen Zeitspanne einen Zuwachs von nur 20 Prozent auf, wobei die Einwohnerzahl in 13 von insgesamt 25 Gemeinden sogar zurückging.

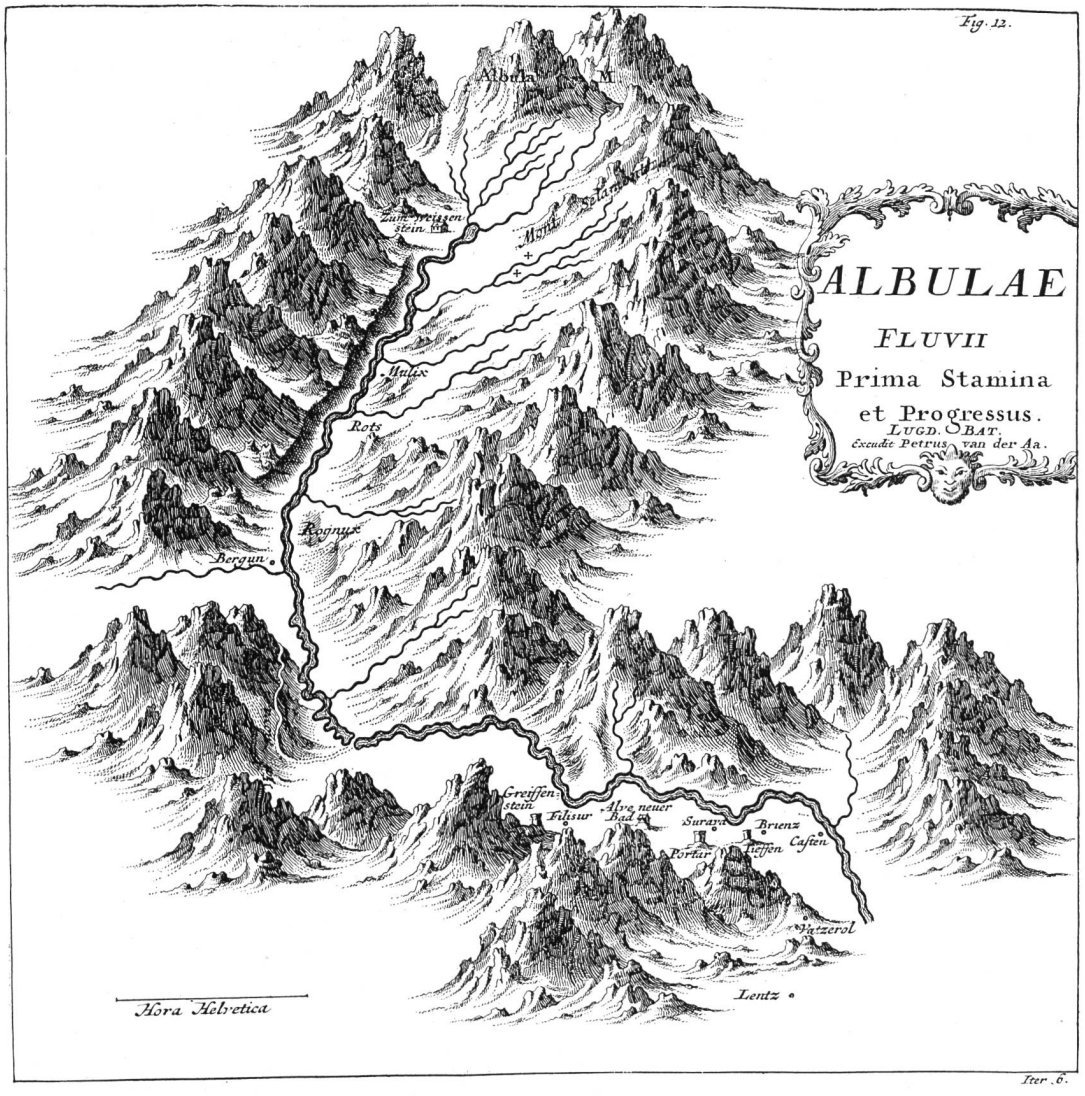


Fig. 1 Die Albula nach einem Stich von 1723 aus «Naturgeschichte des Schweizerlandes» vom Zürcher Arzt und Naturforscher J. J. Scheuchzer

Die einzigen noch ungenutzten Reserven des Albula-Landwasser-Gebietes stellen seine Wasserkräfte dar. Im Bestreben, alle Möglichkeiten zur wirtschaftlichen Erstarkung auszuschöpfen, versuchten die Talschaften schon frühzeitig, ihre Wasserkräfte nutzbar zu machen. Dass die umfassende Realisierung trotzdem erst heute an die Hand genommen wird, erscheint umso erstaunlicher als ein Fachmann um die Jahrhundertwende die Ausbauwürdigkeit der Wasserkräfte wie folgt beurteilte:

«Es werden sich in der Schweiz wenige Gebiete vorfinden, in welchen sich in einer verhältnismässig kleinen Zone so viele konstante und billige Wasserkräfte zusammenziehen lassen.»

Wie aus der nachfolgenden Projektbeschreibung hervorgeht, ist diese Beurteilung als reichlich optimistisch zu bezeichnen, fehlen doch beispielsweise in diesem Gebiete die realen Möglichkeiten für die Errichtung von Speicheranlagen.

2. Geschichtliche Entwicklung der Wasserkraftnutzung im Albula-Landwasser-Gebiet

Bereits in der Zeit von 1885/90 erstellten verschiedene Davoser-Hotels zur Deckung ihrer Energiebedürfnisse einige kleinere Kraftwerke am Landwasser. Mit der Entwicklung des Kurortes Davos steigerte sich der Energiekonsum jedoch so rasch, dass der Bau von Kraftwerken für die Allgemeinversorgung bald nicht mehr zu umgehen war. Die 1893 gegründete Elektrizitätswerke Davos AG erstellte deshalb 1894 ein Kraftwerk von 400 kW installierter Leistung am unteren Sertigbach und 1898 eine weitere Anlage mit 670 kW am Landwasser bei Glaris-Ardüs. Auch die Albula wurde schon 1898 in die Nutzung miteinbezogen, indem bei Preda ein Werk mit 340 kW installierter Leistung als Baustromanlage für die Erstellung des Albula-Tunnels der Rhätischen Bahn in Betrieb genommen wurde. Alle diese Werke konnten nach dem Grundsatz optimaler Wirtschaftlichkeit disponiert werden und nutzen somit lediglich kurze Flussstrecken mit markanten Gefällkonzentrationen in möglichster Nähe der Konsumgebiete.

Nach diesem vielversprechenden Anfang schien die Ausgangslage für einen umgehenden Weiterausbau der Wasserkräfte des Albula-Landwasser-Gebietes günstig, da einerseits der Energiebedarf überall stark anstieg und auch die Möglichkeit der Energieübertragung nach entfernteren Konsumzentren verbessert worden war. Ingenieur Froté aus Zürich schuf deshalb schon um die Jahrhundertwende ein Projekt (Fig. 2) zur umfassenden Nutzung der Wasserkräfte im Raume der Albula, des Landwassers und der Julia. Sein Projekt im Gebiet der Albula und des Landwassers sah einen Ausbau in 6 Stufen vor, denen Stauseen im Sertigtal, im Tuorstal, auf Crap Alv am Albulapass und im Val Bever mit einem totalen Speichervolumen von ca. 60 Mio m³ Nutzinhalt zugeordnet waren. Die interessierten Gemeinden erteilten die Wasserrechtskonzessionen für dieses Projekt schon 1906, die dann in der Folge durch den Kleinen Rat des Kantons Graubünden im Jahre 1910 genehmigt wurden. Damit war die Bahn frei für eine rasche Realisierung. Die Ausführung verzögerte sich jedoch immer wieder. Viele Gründe mögen dafür verantwortlich gewesen sein. Vor allem aber dürfte es sich zu jenem Zeitpunkt als unmöglich

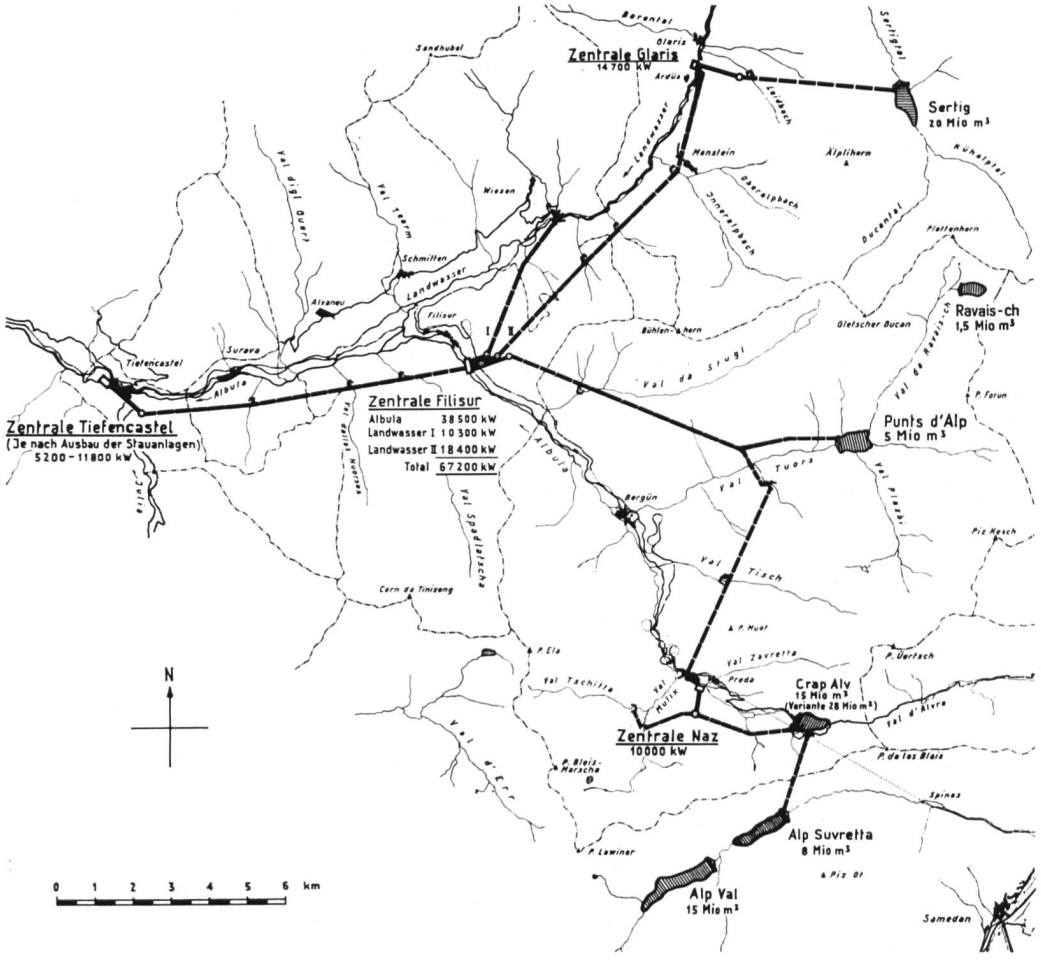


Fig. 2 Lageplan der Wasserkraftnutzung im Albula-Landwasser-Gebiet nach einem Projekt von Ing. Froté von ca. 1900

erwiesen haben, einen Abnehmer für die durch die Realisierung des Projektes anfallende, grosse Energiemenge zu finden. Wäre beispielsweise das Projekt Froté 1915 fertiggestellt worden, hätte gegen 20 Prozent des ganzen Energiebedarfes der Schweiz durch die Werke des Albula-Landwasser-Gebietes gedeckt werden können. Das Projekt stellte sich aber auch in technischer Hinsicht als eine Utopie heraus, sind doch die vorgeschlagenen Stauseen weitgehend unwirtschaftlich oder aber aus geologischen Gründen nur mit grössten Risiken realisierbar. Es erscheint aus diesen Ueberlegungen heraus verständlich, dass von einem Bau schliesslich abgesehen wurde und die erteilten Wasserrechtskonzessionen verfielen.

Nach dem ersten Weltkrieg wandten sich verschiedene Unternehmen der Elektrizitätswirtschaft wiederum dem Albula-Landwasser-Gebiet zu, wobei ein gegenüber dem Projekt Froté wesentlich bescheidenerer Ausbau vorgesehen war. Die Bündner Kraftwerke AG erstellten in der Folge das Kraftwerk Klosters mit Nutzung des konzentrierten Gefälles zwischen Davosersee und Klosters, wobei Wasser aus dem Einzugsgebiet des Landwassers nach dem Einzugsgebiet der Landquart abgeleitet wird. Weitere Ausbaupläne konnten aus Gründen der Wirtschaftskrise zu Beginn der Dreissigerjahre nicht verwirklicht werden. Es wurde nun in der Folge immer stiller um die Wasserkraftnutzung in diesem Gebiet, wenn man von einzelnen immer wieder propagierten, bescheidenen Ausbauprojekten absieht.

Mit der Verknappung der wirtschaftlich günstigen Wasserkräfte in grösstmöglicher Nähe der Konsumzentren gewannen in neuester Zeit auch die weniger wirtschaftlichen Wasserkraftreserven an Bedeutung. Die Elektro-Watt AG erwarb in den Jahren 1955/57 auf Grund von Projektstudien von Ingenieur Passet aus Thusis die Nutzungsrechte der Albula von Naz bei Preda bis Tiefencastel sowie des Landwassers von Glaris-Ardüs bei Davos bis Filisur. Die Wasserrechtsverleihungen wurden in der Folge der am 1. September 1961 gegründeten Albula-Landwasser Kraftwerke AG, mit Sitz in Filisur, übertragen.

Als Partner gehören dieser Gesellschaft an:

Elektro-Watt AG, Zürich
Elektrizitätsgesellschaft Laufenburg AG, Laufenburg
Kanton Graubünden
Verleihungsgemeinden.

Die Albula-Landwasser Kraftwerke AG begann im Herbst 1961 auf Grund eines Gesamtplanes für die integrale Nutzung mit dem Ausbau der Wasserkräfte der Albula und des Landwassers. Dieser Baubeginn stellt einen wichtigen Markstein der nun schon über ein halbes Jahrhundert alten Entwicklungsgeschichte dar.

3. Allgemeine Disposition der Kraftwerkgruppe

Das Ausführungsprojekt (Fig. 4 und 5) sieht die Nutzung der Wasserkräfte des Albula-Landwasser-Gebietes in den folgenden 4 Stufen vor:

Kraftwerk Naz-Bergün
Kraftwerk Bergün-Filisur } Doppelstufe
Kraftwerk Glaris-Filisur }
Kraftwerk Filisur-Tiefencastel

Die heutige Grundkonzeption sieht — im Gegensatz zum Projekt Froté — einen Ausbau ohne Akkumulierungen vor. Warum verzichtet nun das Projekt auf Stauseen? Grundsätzlich sind Stauseen für ein Kraftwerksystem nur dann von Interesse, wenn die damit erzielbaren Mehreinnahmen mindestens die durch die Speicherung bedingten, zusätzlichen Jahreskosten zu decken vermögen. Die Eingliederung von Stauseen in das Albula-Landwasser Kraftwerksystem würde sich zweifellos günstig auf die Energiequalität und die Energiewertigkeit auswirken. Aus diesem Grund wurden sämtliche Täler des Albula-Landwasser-Gebietes, einschliesslich der Randtäler der benachbarten Einzugsgebiete, im Hinblick auf die Schaffung von Speichern eingehend analysiert. Dabei zeigte sich jedoch, dass im heutigen Zeitpunkt keine der untersuchten Staumöglichkeiten infolge der meist ungünstigen topographischen Gegebenheiten wirtschaftlich tragbar ist. Neben der ungenügenden Wirtschaftlichkeit weisen einige der Projekte zudem ungünstige geologische Verhältnisse auf, oder Gründe des Naturschutzes legen einen Verzicht auf die Realisierung nahe. Der Ausgleich der zum Teil unreguliert anfallenden Energie der Albula-Landwasser Kraftwerke erfolgt deshalb durch den Verbundbetrieb mit anderen Kraftwerken.

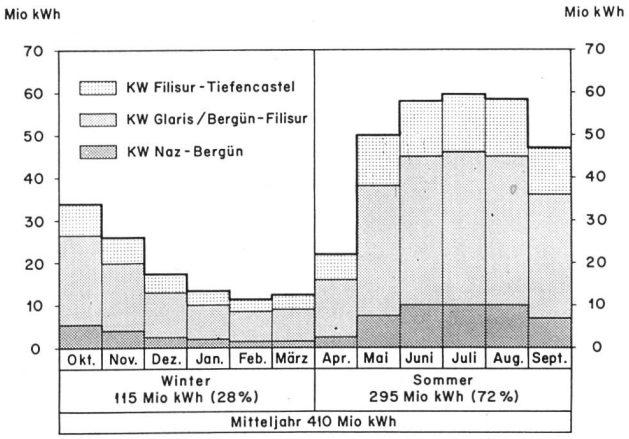


Fig. 3 Energieproduktion der Albula-Landwasser-Kraftwerke im Mitteljahr

TABELLE 1 Hauptdaten der Albula-Landwasser Kraftwerke

Kraftwerk	Ausbauwassermenge m³/s	Bruttogefälle m	Installierte Leistung kW	Energieproduktion im Mitteljahr Winter Mio kWh	Sommer Mio kWh	Jahr Mio kWh
Bergün-Filisur / Glaris-Filisur 1. Bauetappe 1961–1966	16,0	422,75	58 000	70	179	249
Naz-Bergün	5,2	335,75	14 000	17	47	64
Filisur-Tiefencastel	16,6	164,5	19 000	28	69	97
Total			91 000	115	295	410

Die Albula-Landwasser Kraftwerke nutzen die Wasserkräfte der Albula zwischen Naz bei Preda und Tiefencastel auf einem Bruttogefälle von ca. 923 m und des Landwassers von Glaris-Ardüs bei Davos bis Filisur auf einem Bruttogefälle von ca. 423 m. Das totale Einzugsgebiet des Kraftwerksystems umfasst 385 km². Die Energieproduktion beträgt im langjährigen Mitteljahr 410 Mio kWh, davon fallen 115 Mio kWh (28% der Mitteljahresproduktion) im Winterhalbjahr und 295 Mio kWh (72%) im Sommerhalbjahr an. Die monatliche Energieverteilung geht aus Fig. 3 hervor. Die total installierte Leistung aller Kraftwerke beträgt 91 000 kW.

Die oberste Stufe, das Kraftwerk Naz-Bergün, nutzt das Wasser der oberen Albula, der Ava da Mulix, der oberen Ava da Tuors, der Ava da Tranter Ervas und der oberen Ava da Tisch zwischen dem Maiensäss Naz und Bergün auf einem Bruttogefälle von ca. 336 m und erzielt im Mitteljahr eine Energieproduktion von 64 Mio kWh.

Die anschliessende Doppelstufe, bestehend aus den Kraftwerken Bergün-Filisur und Glaris-Filisur, verarbeitet den nutzbaren Abfluss aus dem Albula-Gebiet (einschliesslich dem Werkwasser der Stufe Naz-Bergün) und aus dem Landwasser-Gebiet in der beiden Stufen gemeinsamen Zentrale Filisur unter dem gleichen Bruttogefälle von 423 m. Die Energieproduktion im Mitteljahr beträgt 249 Mio kWh.

Legende zu Fig. 4 (unten) und Fig. 5 (rechts):

1 Wasserfassung Albula und Ava da Mulix sowie Ausgleichbecken Naz von 25 000 m³ Nutzinhalt
2 Druckstollen Naz–Bergün, 2,0 m Innendurchmesser, 2,2 km Länge
3 Zuleitungsstollen Val Tuors mit Fassungen Ava da Tuors, Ava da Tranter Ervas und Ava da Tisch, 6,1 km Länge
4 Wasserschloss und Druckschacht Bergün, 1,6 m Durchmesser, 850 m Länge
5 Zentrale Bergün, installierte Leistung 14 000 kW
6 Wasserfassung Albula, Wasserfassung Ava da Tisch und Ausgleichbecken Islas von 35 000 m³ Nutzinhalt
7 Druckstollen Bergün–Filisur von 2,0 m Innendurchmesser und 8,0 km Länge (einschliesslich Hangleitungsabschnitte von total ca. 1 km Länge mit ⌀ 1,60 m) mit Fassungen Ava da Tuors und Stulserbach
8 Wasserschloss und Druckschacht/Druckleitung Filisur, Innendurchmesser 1,8–1,6 m, 950 m Länge
9 Zentrale Filisur, installierte Leistung 2 x 29 000 kW
10 Wasserfassung Landwasser und Ausgleichbecken Glaris–Ardüs mit 50 000 m³ Nutzinhalt
11 Druckstollen Glaris–Filisur von 2,4 m Innendurchmesser und 10,0 km Länge mit Fassung Monsteinerbach
12 Wasserfassung Albula und Ausgleichbecken Filisur von 20 000 m³ Nutzinhalt
13 Druckstollen Filisur-Tiefencastel von 2,7 m Innendurchmesser und 8,8 km Länge
14 Wasserschloss und Druckleitung Tiefencastel von 1,8 m Durchmesser und 650 m Länge
15 Zentrale Tiefencastel, installierte Leistung 19 000 kW

Fig. 4 Uebersichtslängenprofil (Vollausbau)

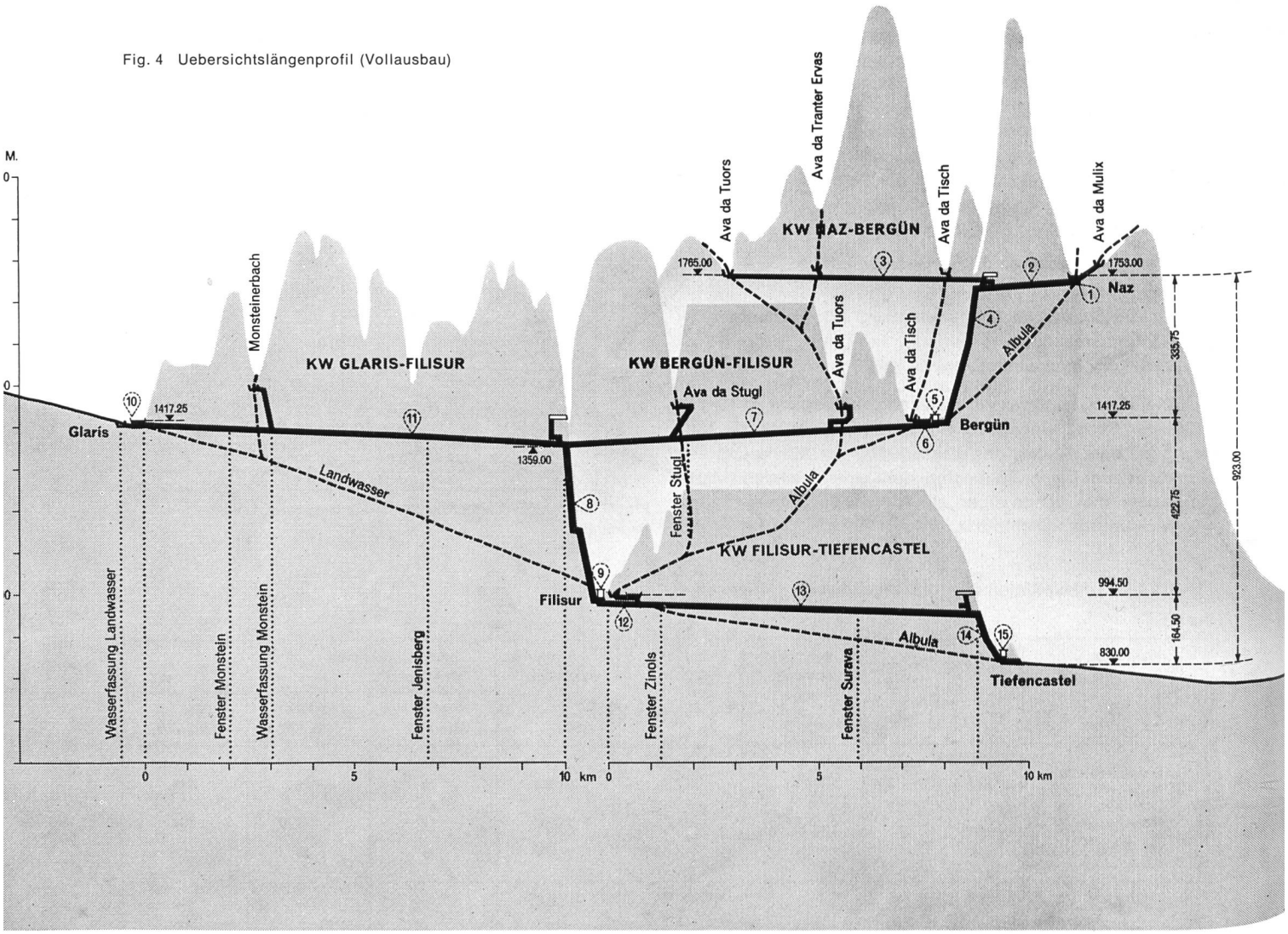
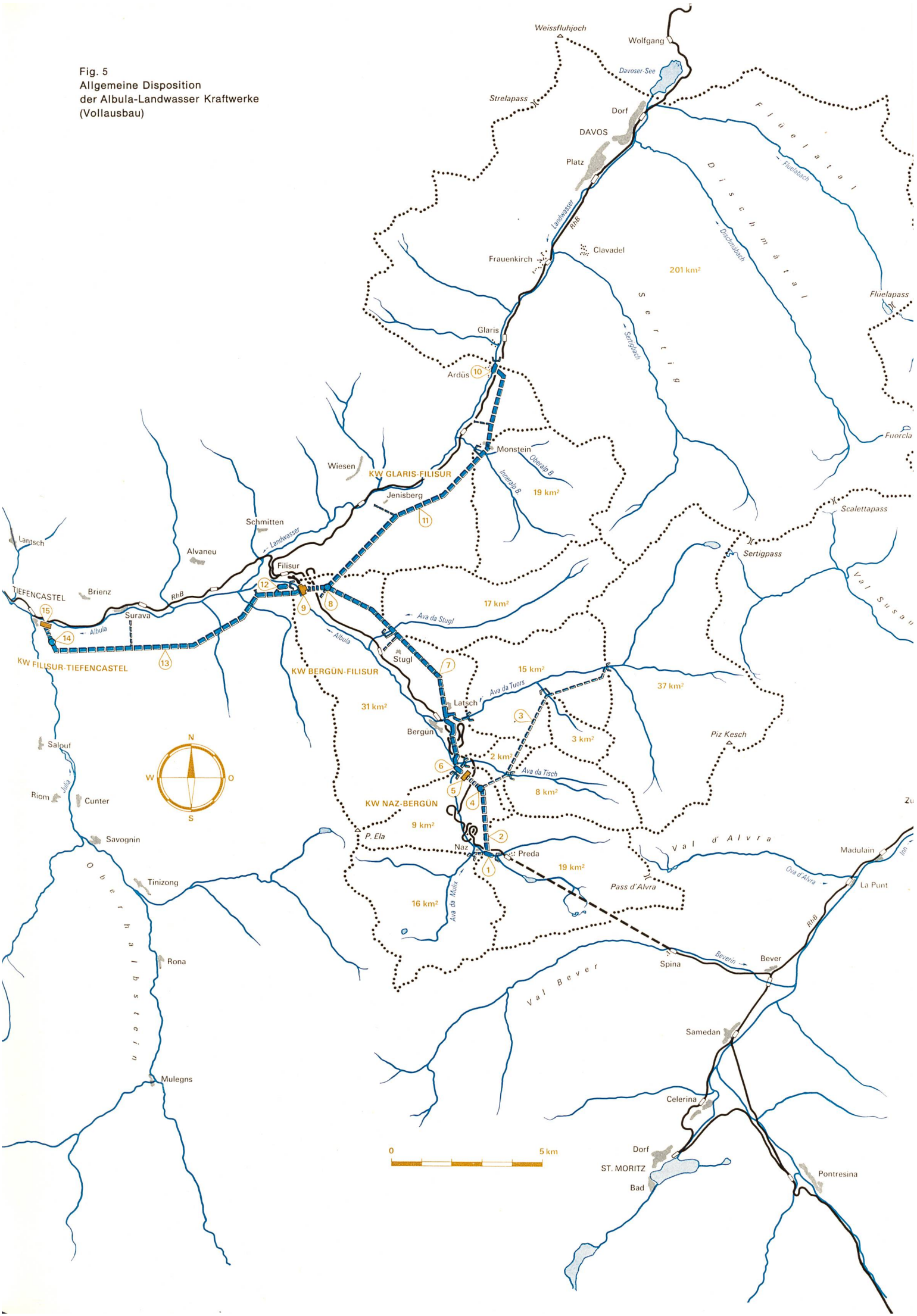


Fig. 5
Allgemeine Disposition
der Albula-Landwasser Kraftwerke
(Vollausbau)



Die unterste Stufe, das Kraftwerk Filisur-Tiefencastel, nutzt das Werkwasser der obenliegenden Doppelstufe sowie das Wasser aus dem Zwischeneinzugsgebiet der Albula von Filisur bis Tiefencastel auf einem Bruttogefälle von 164,5 m und erzielt im Mitteljahr eine Energieproduktion von 97 Mio kWh.

Die Anlagekosten betragen für den ganzen Kraftwerkkomplex 190 Mio Franken (Preisbasis 1963). Der Erstausbau, umfassend die Kraftwerke Bergün-Filisur und Glaris-Filisur, erfordert einen Kapitalaufwand von 100 Mio Franken (Preisbasis 1963).

4. Hydrologische Verhältnisse

Die Einzugsgebiete der Albula und des Landwassers sind verhältnismässig trocken, beträgt doch beispielsweise der langjährige mittlere Jahresabfluss der Albula bei Tiefencastel lediglich ca. 31 l/s km², gegenüber 52 l/s km² der Landquart bei Klosters oder 50 l/s km² des Hinterrheins bei Andeer, um nur einige Vergleichswerte aus der näheren und weiteren Umgebung zu nennen.

Für die wasserwirtschaftlichen Berechnungen der Albula-Landwasser Kraftwerke standen zum Teil langjährige Messreihen von Limnigraphenstationen des Eidg. Amtes für Wasserwirtschaft zur Verfügung. Es sind dies im wesentlichen die folgenden im Einzugsgebiet der Albula-Landwasser Kraftwerke liegenden Stationen:

Landwasser bei Glaris-Ardüs	1922–1951
Albula bei Bergün	1919–1927
Albula bei Tiefencastel	seit 1921.

Diese Messungen wurden ergänzt durch eine Limnigraphenstation der Elektro-Watt an der Albula bei Naz, die seit 1956 in Betrieb steht, und durch verschiedene Einzelmessungen von Seitenbächen der Albula und des Landwassers.

Aus den Wassermessungen ergaben sich für die Albula und das Landwasser die in Tabelle 2 aufgeführten langjährigen mittleren Abflusshöhen. Aus den Zahlenwerten der Tabelle 2 geht hervor, dass vor allem die Albula bei Naz eine verhältnismässig grosse Winterabflusshöhe aufweist. Die Abflussverhältnisse der Albula werden im oberen Einzugsgebiet in ausserordentlich starkem Masse durch die Geologie beeinflusst. Die Albula entspringt am Rand des Beckens von Crap Alv in ca. 2040–60 m ü.M. in zwei Quellgruppen. Der ganze Abfluss in der Sedimentzone oberhalb von Crap Alv erfolgt unterirdisch, wobei vor allem die Liasschichten stark wasserführend sind. Die Quellen weisen zwischen Sommer und Winter nur unwesentliche Schwankungen in der Wasserführung auf und wirken sich deshalb günstig auf den Winterabfluss der Albula aus. Der geringe Unterschied in der Wasserführung dürfte einerseits auf eine unterirdische Speicherung in den Liasschichten zurückzuführen sein, anderseits dürften aber auch mit Moränen- und Bergsturzmaterial überdeckte Eismassen in der Gegend des Albulapasses als konstante Wasserlieferanten in Frage kommen. Wie komplex die hydrologischen Verhältnisse im oberen Albula-Gebiet sind, kann auch am Beispiel der Ava da Zavretta gezeigt werden. Dieser Bach gelangt nur bei Hochwasser bis zum Zusammenfluss mit der Albula bei Preda. Bei Trockenperioden versickert er vollständig schon auf ca. 2300 m ü.M. und bei Mittelwasser gelangt er bis auf ca. 2100 m ü. M.

TABELLE 2
Langjährige, mittlere Abflusshöhen des Albula-Landwasser-Gebietes

	Einzugsgebiet	Abflusshöhe im Mitteljahr		
		Winter	Sommer	Jahr
	km²	m	m	m
Albula bei Naz	35,8	0,28	1,12	1,40
bei Bergün	118,5	0,25	0,92	1,17
bei Tiefencastel*	524	0,24	0,72	0,96
Landwasser bei Glaris-Ardüs*	210	0,23	0,85	1,08

* In diesen Werten ist die Ableitung von Wasser aus dem Einzugsgebiet des Landwassers in das Einzugsgebiet der Landquart durch den Betrieb des Kraftwerkes Klosters enthalten.

Die Hydrologie des unteren Albula-Gebietes und des Landwassers lässt eine wesentliche Abhängigkeit von den geologischen Verhältnissen nicht in gleichem Masse wie im oberen Albula-Gebiet erkennen. Trotzdem ist auch hier ein relativ grosser Winterabfluss festzustellen.

Von Interesse ist im weiteren die sehr geringe Hochwasseranfälligkeit des Albula-Landwasser-Gebietes. Das grösste Hochwasser des Landwassers bei Glaris-Ardüs in der Zeit von 1922–1951 betrug nur ca. 63 m³/s (0,30 m³/s km²). Eingehende Untersuchungen über die Grösse und Häufigkeit von Hochwasserspitzen des Landwassers bei Glaris-Ardüs ergaben die folgenden Werte:

100jähriges Hochwasser	0,34 m³/s km²
1000jähriges Hochwasser	0,43 m³/s km²
10 000jähriges Hochwasser	0,52 m³/s km².

Für die Albula bei Tiefencastel ergeben sich – unter Berücksichtigung der verschiedenen Grösse der Einzugsgebiete – ähnlich niedrige Werte. Die Hochwasserspitzen im Albula- und Landwasser-Gebiet sind somit aussergewöhnlich gering, gegenüber beispielsweise 1,34 m³/s km² der Landquart bei Klosters oder von 2,38 m³/s km² des Averser Rheins bei Innerferrera. Es ist wahrscheinlich, dass sich die ausgeprägte Vegetation, die speziellen geologischen Verhältnisse und das Vorhandensein von Grundwasserträgern stark ausgleichend auswirken. Anderseits steht jedoch fest, dass die Regenintensität des Gebietes relativ gering ist.

Neben diesen Besonderheiten weist das Albula-Landwasser-Gebiet einen für die Kraftwerke gewichtigen hydrologischen Vorteil auf. Der Wasserrückgang in Trockenzeiten ist wesentlich geringer als in anderen Gebieten. Die Jahresenergieproduktion ist deshalb – trotz des Fehlens von Stauseen im Kraftwerkkomplex – keinen allzu grossen jährlichen Schwankungen unterworfen.

5. Geologische Verhältnisse

Die Kraftwerkgruppe liegt in einem geologisch ausserordentlich vielfältigen Gebiet. Da zudem der Baukostenanteil der unterirdischen Anlagen, umfassend ca. 36 km Stollen und Schächte, stark überwiegt, kam einer der komplexen Geologie angepassten Disposition der Bauwerke eine grosse Bedeutung zu. Aus diesem Grund wurden die vielschichtigen, geologischen Verhältnisse des Albula-Landwasser-Gebietes sehr eingehend untersucht, wobei zur Ergänzung der oberflächlichen Aufschlüsse ein umfangreiches Sondierprogramm zur Durchführung gelangte. Die folgenden statistischen Werte des Sondierprogrammes für die beiden Stufen Glaris-Filisur und Bergün-Filisur vermögen die komplexen geologischen Verhältnisse wohl am besten zu kennzeichnen:

- Für die Festlegung von 18 km Druckstollen wurden 28 Sondierlöcher mit einer totalen Länge von 2320 m gebohrt. (Ca. 130 m pro Kilometer Druckstollen.)
- Für die Festlegung von zwei oberirdischen Ausgleichbecken von total 85 000 m³ Nutzinhalt wurden 40 Sondierlöcher mit einer totalen Länge von 720 m gebohrt.
- Die Festlegung der Zentrale Filisur erforderte 15 Sondierlöcher von total 300 m Länge sowie die Abtiefung eines Sondierschachtes von 2.0 m Durchmesser und 4 m Tiefe für die Vornahme von Pumpversuchen zur Ermittlung der Durchlässigkeit im Alluvion.
- Die Kosten der durch die Geologie bedingten Voruntersuchungen betrugen Fr. 450 000.–, entsprechend 0,45 % der Anlagekosten.

Wie wichtig Sondierungen zur Verifizierung von geologischen Annahmen sind, die auf Grund von Oberflächen-Aufschlüssen gewonnen wurden, kann nicht genügend unterstrichen werden. Nur so ist es möglich, geologisch suspekte Zonen einwandfrei zu lokalisieren und wenn möglich bei der Projektierung von Kraftwerkanlagen zu vermeiden. Auf Grund der erwähnten Sondierungen mussten für die beiden Kraftwerke Glaris-Filisur und Bergün-Filisur die ursprünglichen Projekte vor allem in den Stollenführungen und in der Anlage der Ausgleichbecken angepasst werden.

Auf Grund der geologischen Erhebungen von Dr. R. U. Winterhalter, Prof. Dr. J. Cadisch und Geologe E. Weber ergibt sich für das Albula-Landwasser-Gebiet das folgende Bild (siehe auch Fig. 6):

Die Kraftwerkgruppe berührt verschiedene tektonische Einheiten der ostalpinen Decken Mittelbündens. Die Stufe Naz-Bergün liegt in der Ela- und Silvrettadecke, die Stufe Bergün-Filisur im oberen Teil in der Ela- und im unteren Teil in der Silvrettadecke, während die Stufe Glaris-Filisur gänzlich in der Silvrettadecke liegt. Die Stufe Filisur-Tiefencastel berührt im oberen Abschnitt die Silvretta- und die Eladecke, im unteren Abschnitt die Aroser Schuppenzone sowie die Margnadecke. Ein Blick auf die geologische Karte des Gebietes (Fig. 6) zeigt die stratigraphische Vielfalt dieser Decken. Die meisten unterirdischen Kraftwerkanlagen liegen im stollenbautechnisch nicht ungünstigen Silvrettakristallin, Arlbergdolomit, Hauptdolomit und in Prosantoschichten. Allerdings konnten auch ungünstigere Gesteine, wie Rauhwacken, Alteinkalke und zum Teil auch Buntsandstein nicht vollständig vermieden werden. Das ganze Gebiet wird von zahlreichen Schub- und Scherflächen durchzogen, wobei im weiteren auch die Kontaktzonen der einzelnen Formationen zum Teil stark gestört sind.

Die Bauausführung der beiden Stufen Glaris-Filisur und Bergün-Filisur hat bis heute die geologischen Prognosen weitgehend bestätigt. Alle Gesteine mit Ausnahme der Rauhwacken und gewisser Randzonen des Buntsandsteins, welche einen Stahleinbau mit Verzug (bis 600 kg/m) erforderten, erwiesen sich als standfest. Einzelne Gesteine waren jedoch sehr stark wasserführend.

6. Beschreibung der Kraftwerkanlagen

a) AUSBAUGRÖSSEN

Alle Stufen der Albula-Landwasser Kraftwerke sind in einem Gesamtausbauplan für die umfassende und wirtschaftliche Nutzung der Wasserkräfte des Albula-Landwasser-Gebietes eingeordnet. Die Ausbaudaten der einzelnen Kraftwerke müssen deshalb aufeinander abgestimmt sein, um so einen gemeinsamen Betrieb ohne Schwierigkeiten zu gewährleisten. Dabei sind vor allem die Fragen der Ausbaugrössen und Ausbauleistungen sowie der Grösse der Ausgleichbecken von grosser Bedeutung.

Die Festlegung der Ausbaugrössen erfolgte auf Grund des optimalen Bewertungsquotienten (Verhältnis des Energiemarktwertes zu Jahreskosten). Die optimale Ausbaugrösse der Albula-Landwasser Kraftwerke liegt bei einer Werkwassermenge, die im Mitteljahr an 100 Tagen vorhan-

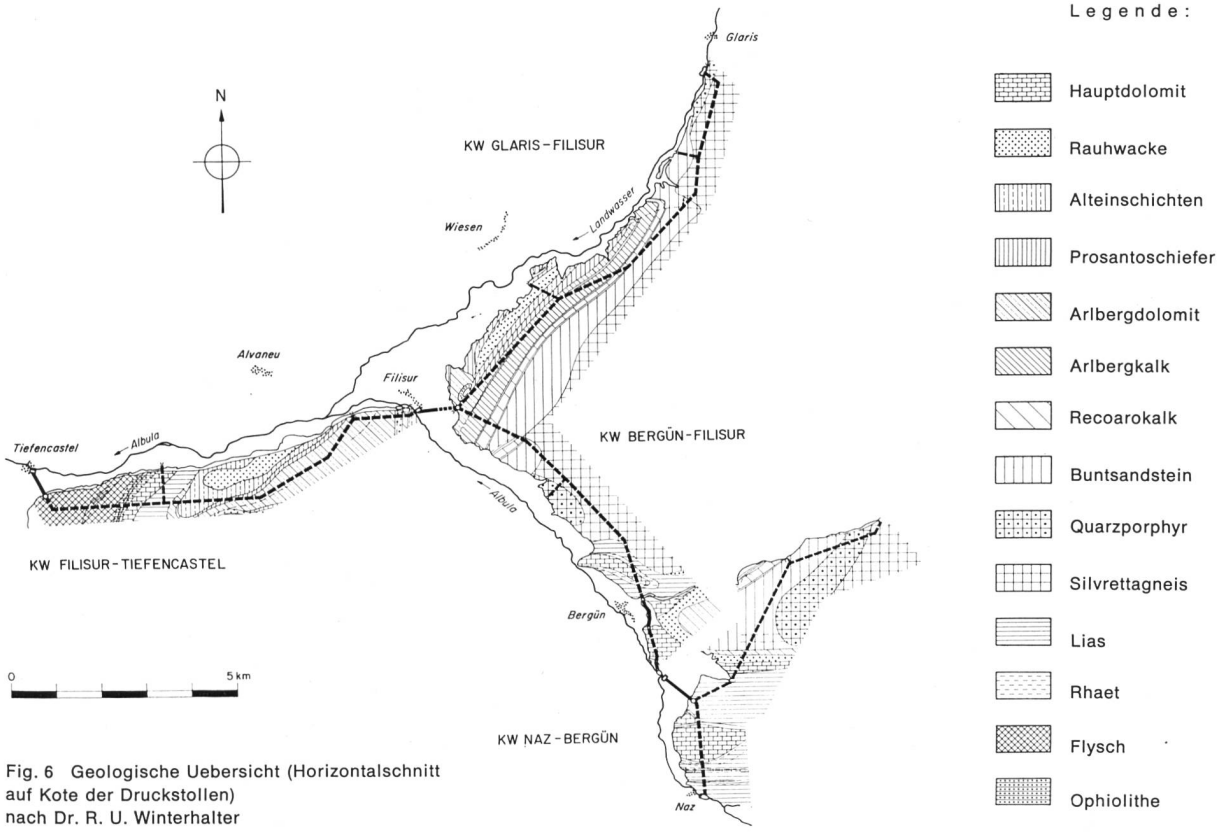


Fig. 6 Geologische Uebersicht (Horizontalschnitt auf Kote der Druckstollen) nach Dr. R. U. Winterhalter

den ist. Allerdings zeigten diese theoretischen Untersuchungen einmal mehr, dass die Kurve der Bewertungsquotienten im Bereich des Optimums sehr flach verläuft und somit auch andere Ueberlegungen bei der Festlegung der Ausbaugrössen herangezogen werden müssen. Während betriebliche Gründe eher für eine noch grössere Ausbauleistung sprachen, musste von einer Vergrösserung aus Gründen des Naturschutzes abgesehen werden, da damit die Restwasserführungen in den genutzten Fluss-Strecken ungünstig beeinflusst worden wären.

Die Festlegung der Ausgleichbeckengrössen erfolgte ebenfalls auf Grund von Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen. Die topographischen und geologischen Gegebenheiten sind für alle Ausgleichbecken der Albula-Landwasser Kraftwerke wenig günstig. Eine Beschränkung des Ausgleichvolumens auf das Notwendigste drängte sich deshalb schon zu Beginn auf. Die Untersuchungen zeigten das interessante Resultat, dass die Ausgleichbecken mit zunehmendem Nutzinhalt zufolge der hohen Baukosten die Wirtschaftlichkeit der Kraftwerkanlagen ungünstig beeinflussen und somit theoretisch auf die Erstellung von Ausgleichbecken verzichtet werden sollte. Aus betrieblichen Gründen ist dies jedoch nicht zweckmässig, da eine gewisse Flexibilität und Reserve vor allem im Winterbetrieb erforderlich ist. Da aus den Untersuchungen hervorging, dass sich die Abnahme der Wirtschaftlichkeit für kleinere Ausgleichbecken in erträglichen Grenzen hält, wurden die Ausgleichvolumen – unter Berücksichtigung des minimalen Winterzuflusses – für einen Vollastbetrieb von minimal zwei Stunden Dauer ausgelegt. Einzig das Ausgleichbecken Filisur wurde als Pufferbecken etwas grösser disponiert. Für den ganzen Kraftwerkkomplex ergibt sich damit ein totales Ausgleichvolumen von 130 000 m³.

b) KRAFTWERK NAZ-BERGÜN (projektiert)

Die Rhätische Bahn überwindet die ca. 350 m hohe, ausgeprägte Gefällstufe zwischen Bergün und dem Maiensäss Naz in verschiedenen Kehrtunnels. Das Kraftwerk Naz-Bergün (Fig. 4 und 5) nutzt die Wasserkräfte der Albula und ihrer Zuflüsse auf dem gleichen Gefällsbruch.

Das Wasser der Albula wird etwas oberhalb des Maiensässes Naz gefasst und über einen Entsander dem Ausgleichbecken Naz (Nutzvolumen 25 000 m³) zugeleitet. Die Ava da Mulix, deren natürlicher Lauf erst unterhalb Naz in die Albula mündet, wird auf geeigneter Höhenlage gefasst und durch eine verdeckte Hangleitung dem Ausgleichbecken zugeführt. Vom Entnahmebauwerk im Becken führt ein nur 2,0 km langer Druckstollen mit Minimalprofil (∅ 2,0 m) zum Wasserschloss Muot, welches als Zweikammersystem mit geneigtem Steigschacht ausgebildet ist. In die obere Wasserschlosskammer mündet der 6,1 km lange Freispiegelstollen, der den fassbaren Abfluss des oberen Tuorsbaches, der Ava da Tranter Ervas und der oberen Ava da Tisch aufnimmt und der Nutzung zuführt. Das gefasste Wasser dieser drei Bäche wird an den Fassungsstellen lediglich von mitgeführtem Kies befreit. Die Entsandung des Werkwassers erfolgt in einer gemeinsamen, automatischen Entsandungsanlage im Val Tisch. Vom Wasserschloss Muot gelangt dann das Werkwasser durch einen gepanzerten Druckschacht von 850 m Länge und 1,6 m Durchmesser zur Zentrale Islas, welche unmittelbar beim Ausgleichbecken der Stufe Bergün-Filisur liegt. Die elektro-mechanische Ausrüstung umfasst eine vertikalachsige Francis-einheit von 14 000 kW Leistung. Die Energie wird in einer der Zentrale angegliederten 50 kV-Freiluftschaltanlage transformiert und nach Filisur abtransportiert. Die Anlage ist unbedient und wird von Filisur aus via leitungsgerichteter Hochfrequenzverbindungen ferngesteuert. Alle Messwerte und Stellungsanzeigen werden ebenfalls nach Filisur ferngemeldet.

Das Werkwasser dieser Stufe wird in der Folge für die weitere Nutzung dem Ausgleichbecken Islas des Kraftwerkes Bergün-Filisur zugeleitet.

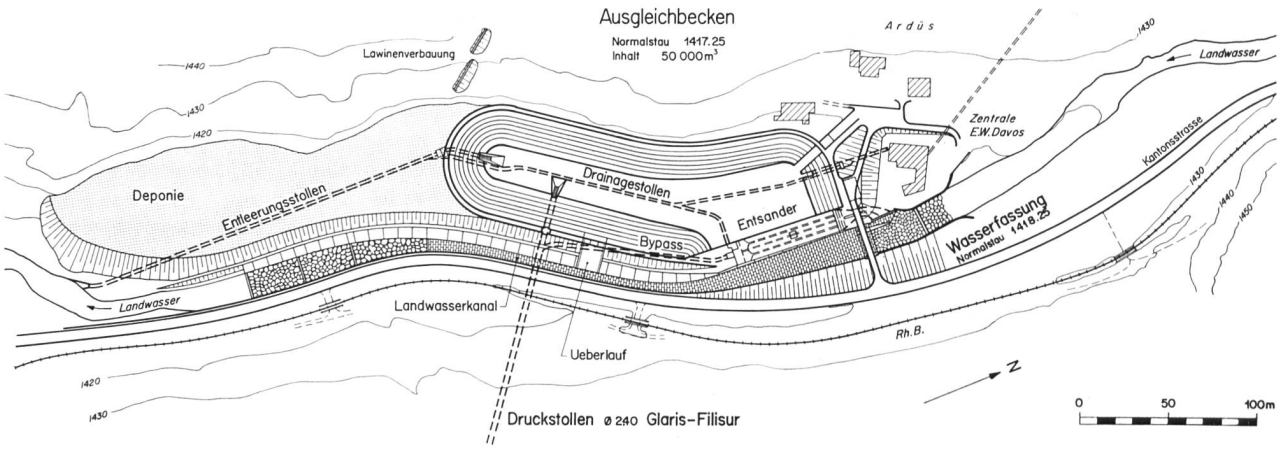
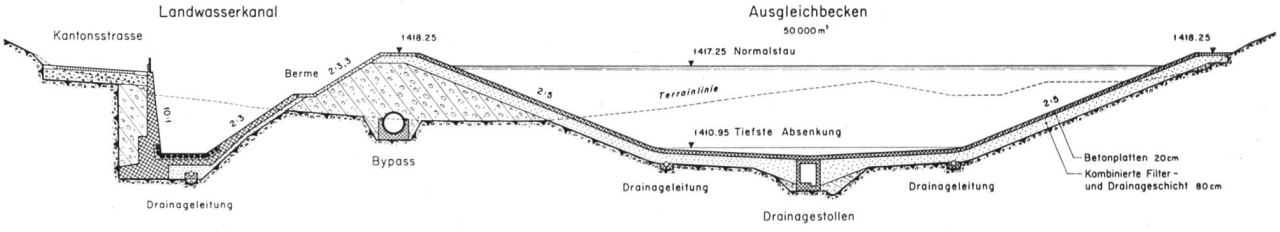


Fig. 7 oben: Situation der Kraftwerkanlagen im Raum Glaris–Ardüs unten: Querschnitt durch Ausgleichbecken und Landwasserkanal



1400.00

c) KRAFTWERKE GLARIS-FILISUR UND BERGÜN-FILISUR (im Bau)

Diese Doppelstufe (Fig. 4 und 5) mit einer mittleren Energieproduktion von 249 Mio kWh, entsprechend über 60% der gesamten Energieproduktion aller Albula-Landwasser Kraftwerke, stellt die wichtigste Anlage der Werkgruppe dar.

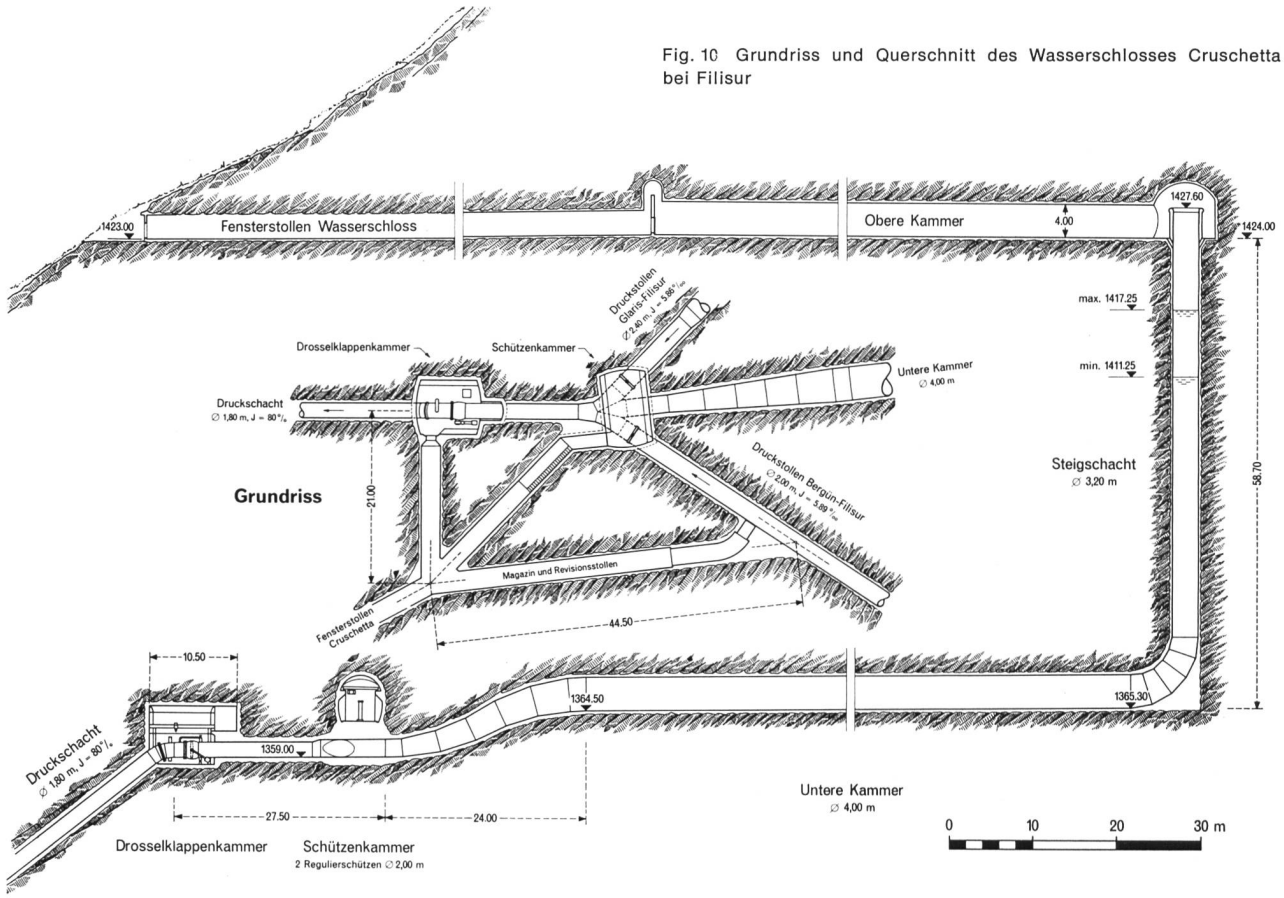
Die Disposition der Nutzung ist durch die Natur weitgehend vorgezeichnet. Das Landwassertal verläuft von Davos in südwestlicher Richtung und vereinigt sich bei Filisur mit dem sich von Bergün aus erstreckenden Albulatal. Während im Landwassertal die rechte Talseite aus geologischen Gründen gemieden werden muss, gilt dies im Albulatal für die linke Talseite. Die Disposition der wasserführenden Anlagen ist damit im Landwassertal auf der linken und im Albulatal auf der rechten Talseite vorgezeichnet, so dass — da die Fassungsstellen in beiden Tälern auf den gleichen Höhen liegen — eine Zusammenführung der Druckstollen bei Filisur und eine gemeinsame Nutzung der Wassermengen des Landwassers und der Albula in nur einem Kraftwerk gegeben ist. Die beiden Stufen müssen daher als ein gemeinsames Ganzes betrachtet werden. Auf die hydraulischen Besonderheiten dieses Systems wird an anderer Stelle eingegangen.

Das Landwasser wird bei Glaris-Ardüs durch eine Wehranlage, bestehend aus einer Wehröffnung von 12 m lichter Breite und einer Spülöffnung von 1,5 m Breite, um 2,95 m aufgestaut (Fig. 7 und 8). Als Verschlüsse kommen in beiden Oeffnungen ölhydraulisch betriebene Sektorschützen mit aufgesetzten Klappen zur Ausführung. Unmittelbar oberhalb der Spülöffnung liegt der Einlauf des Werkwassers zu den beiden automatischen Entsandern, die für einen Durchfluss von je 4,5 m³/s und eine Ausscheidung von Sand bis 0,2 mm ausgelegt sind. Nach Durchfliessen der Entsander gelangt das Werkwasser entweder ins angrenzende Ausgleichbecken Glaris-Ardüs und dann in den nach Filisur führenden Druckstollen, oder bei Beckenrevisionen via By-pass direkt in den Druckstollen. Das Ausgleichbecken Glaris-Ardüs weist zufolge der gedrängten topographischen Verhältnisse — auf der linken Talseite liegen Rhätische Bahn und Kantonsstrasse, rechts steigt der Hang steil an, talaufwärts befindet sich die bestehende Zentrale des Elektrizitätswerkes der Landschaft Davos und talabwärts schliessen gefährliche Lawinenzüge an — lediglich ein Nutzvolumen von 50 000 m³ auf und schmiegt sich an den rechten Talhang an. Die Beckenauskleidung erfolgt mit 20 cm starken, armierten Betonplatten. Von einer Oberflächendichtung mit Asphalt musste abgesehen werden, da diese Art der Beckenauskleidung bei eventuellen Lawinenniedergängen ins Becken zu verletzbar ist. Die Beckensohle liegt bis zu 5 m unter dem heutigen Grundwasserspiegel, der — um einen späteren Auftrieb auf die Auskleidung zu vermeiden — für den Bestand des Bauwerkes abgesenkt werden muss. Diese Absenkung erfolgt durch einen begehbaren Drainagekanal in der Beckenachse. Um Platz für das Ausgleichbecken zu schaffen, musste das Landwasser kanalisiert und auf die linke Talseite parallel zur Kantons-

Fig. 9 Maiensäss Jenisberg und Baustelleninstallationen des Fensters Jenisberg

Fig. 8 Baustelle der Wasserfassung, des Ausgleichbeckens und des Landwasserkanals im Raum Glaris—Ardüs

Fig. 10 Grundriss und Querschnitt des Wasserschlosses Cruschetta bei Filisur



strasse verlegt werden. Der permanente Umleitkanal ist für einen maximalen Abfluss von 180 m³/s dimensioniert, entsprechend dem zweifachen 1000jährigen Hochwasser.

Der Druckstollen, der das Ausgleichbecken Glaris-Ardüs mit dem Wasserschloss Cruschetta bei Filisur verbindet, weist eine Länge von 10,0 km und einen lichten Durchmesser von 2,40 m auf. Der Stollen verläuft in der linken Talflanke und durchquert Quarzporphyr, Silvrettagneis, Buntsandstein, Recoarokalk, Arlbergdolomit und Prosantokalk, um nur die wichtigsten geologischen Formationen aufzuzählen. Die Schichten streichen zum Teil fast parallel zum Druckstollen und fallen praktisch senkrecht ein. Trotz diesem ungünstigen Schichtverlauf entstanden dem Stollenbau bis heute keine nennenswerten Schwierigkeiten. Für die Ausführung des Druckstollens wurden talaufwärts des Bahnhofes Monstein und unterhalb Jenisberg (Fig. 9) je ein Fensterstollen angeordnet. Neben dem Angriff vom Wasserschloss Cruschetta kann somit der Druckstollen von beiden Fenstern in fallender und steigender Richtung vorgetrieben werden. Die Deponien für das Stollenausbruchmaterial konnten sowohl bei Monstein als auch bei Jenisberg in unmittelbarer Nähe der Fensterportale angelegt werden. Einzig im Fall von Cruschetta musste aus topographischen Gründen das Material mittels einer 5 t Seilbahn nach der Talsohle transportiert werden. Interessant ist die Anlage der Deponie Jenisberg. Das Aushubmaterial wird in der Nähe des Fensterportals in eine Erosionsrinne gekippt und bildet dann am Fusse der Rinne einen natürlichen Schuttkegel, der sich im Landschaftsbild keineswegs störend ausnimmt. Die Böschungsneigung der Deponie beträgt 71% (zur Hauptsache Kalkmaterial).

Ca. 3,1 km nach dem Ausgleichbecken Glaris-Ardüs unterfährt der Druckstollen den Monsteinerbach. Das nutzbare Wasser dieses Baches wird mittels eines liegenden Rechens gefasst und einer unterirdischen, automatischen Entsandungsanlage zugeleitet. Dann gelangt es durch einen 80% geneigten Fallschacht von 155 m Länge nach dem Druckstollen.

Die Albula wird bei Islas, ca. 1,7 km talaufwärts von Bergün, auf der gleichen Höhenlage wie das Landwasser bei Glaris-Ardüs gefasst. Der Fluss biegt bei Islas knieförmig scharf nach Norden aus. Die Flusskehre wird nun auf der Innenseite des Knies durch einen 250 m langen Umleitkanal traversiert und damit der Lauf der Albula in diesem Gebiet gestreckt. Im Raum des alten Albulabettes ergibt sich durch diese Massnahme ein freier Platz, auf dem das Ausgleichbecken Islas mit 35 000 m³ Nutzinhalt angeordnet werden kann. Wasserfassung, Entsander und Ausgleichbecken weisen im wesentlichen die gleichen konstruktiven Grundzüge wie die entsprechenden Anlagen bei Glaris-Ardüs auf. Es sei deshalb an dieser Stelle auf eine eingehendere Beschreibung verzichtet.

Neben der Albula wird bei Islas auch die Ava da Tisch gefasst. Die Fassung des gegenüber der Albula allerdings wesentlich kleineren Baches erfolgt ca. 40 m oberhalb der Kantonsstrasse durch einen liegenden Rechen mit nachgeschaltetem Entsander. Der fassbare Abfluss wird dann durch eine eingedeckte Betonrohrleitung von ∅ 40 cm und 200 m Länge dem Ausgleichbecken zugeleitet.

Der Druckstollen, der das Ausgleichbecken Islas mit dem Wasserschloss Cruschetta verbindet, weist eine Länge von 8,0 km auf und verläuft auf der rechten Talseite. Unmittelbar nach der Wasserfassung im Ausgleichbecken bis zur Unterquerung der Albulastrasse traversiert der Druckstollen den Schuttkegel des Tischbaches und ist deshalb auf diesem 260 m langen Abschnitt als eingedeckte Hangleitung von 1,6 m Durchmesser ausgebildet. Dann gelangt der Stollen in den gewachsenen Fels — es handelt sich zur Hauptsache um Hauptdolomit — um dann nach 720 m, süd-

östlich von Bergün, wieder in eine eingedeckte Hangleitung überzugehen. Dieser zweite Hangleitungsabschnitt erstreckt sich entlang des flachen Osthanges von Bergün bis zum Tuorsbach. Mit einer Rohrbrücke überquert der Stollen das Tuorstal, gelangt auf der andern Talseite in den anstehenden Liaskalk, durchläuft nach der Tuorsschuppe – bestehend aus Liaskalk, Rhaet und Hauptdolomit – hauptsächlich Silvrettakristallin und gelangt erst nach dem Stulserbach wieder in die Sedimentzonen der Silvrettadecke. Der Wechsel vom Stollen in gewachsenem Fels auf Hangleitung im Raum Bergün ist durch die komplexen geologischen Verhältnisse zwischen Albula- und Tuorstal bedingt. In diesem Gebiet liegt eine ca. 400 m starke Rauhwackenzone, die – wie die Sondierungen gezeigt haben – zum Teil wasserführend ist, so dass einem Stollenbau in dieser Formation grössere Schwierigkeiten erwachsen wären. Durch die Hangleitung kann diese prekäre Zone vollständig umgangen werden. Der oberste Druckstollenabschnitt in gewachsenem Fels im Gebiet von Bergün wird von Islas her vorgetrieben. Im unteren Abschnitt ist oberhalb der Station Stuls der Rhätischen Bahn ein Fensterstollen angeordnet. Neben dem Angriff vom Wasserschloss Cruschetta her wird somit der Druckstollen vom Fenster Stuls in fallender Richtung bis zum Zusammentreffen mit dem Vortrieb aus der Richtung Cruschetta als auch in steigender Richtung bis zum Tuorstal ausgebrochen. Die Deponie Stuls kann unmittelbar beim Portal des Fensterstollens angelegt werden.

Auf der Strecke vom Ausgleichbecken Islas nach dem Wasserschloss Cruschetta überquert der Druckstollen nach 1,75 km den Tuorsbach mittels einer Rohrbrücke und unterfährt bei 5,3 km den Stulserbach. Beide Bäche werden gefasst und dem Druckstollen zugeleitet. Die Fassung des Tuorsbaches besteht aus einer Wehranlage mit Sektorschütze und aufgesetzter Stauklappe. Durch einen anschliessenden Entsander gelangt dann das Werkwasser in eine 700 m lange, eingedeckte Leitung von 1,0 m Durchmesser und schliesslich in der Nähe der Rohrbrücke in den Druckstollen. Die nutzbare Abflussmenge des Stulserbaches wird mittels eines liegenden Rechens gefasst, durchfliesst einen automatischen Entsander und gelangt durch einen geneigten Fallschacht in den Druckstollen. Das Werkwasser aus dem Landwassertal und aus dem Albulatal wird im Wasserschloss Cruschetta vereinigt und fliesst dann gemeinsam durch den Druckschacht und die anschliessende Druckleitung zur Zentrale Filisur. Das Wasserschloss, bestehend aus unterer und oberer Kammer mit dazwischengeschaltetem vertikalem Steigschacht, ist mit der Zusammenführung der beiden Druckstollen kombiniert. Die beiden Druckstollenäste können im Bereich der Zusammenführung durch Schützen ganz abgeschlossen oder aber auch nur der Durchfluss der einzelnen Aeste gedrosselt werden. Die Abschluss- resp. Drosselorgane sind als vertikale Gleitschützen mit ölhydraulischen Antrieben, die in einer oberhalb der Zusammenführung liegenden Kammer angeordnet sind, ausgebildet. Es sei uns in diesem Zu-

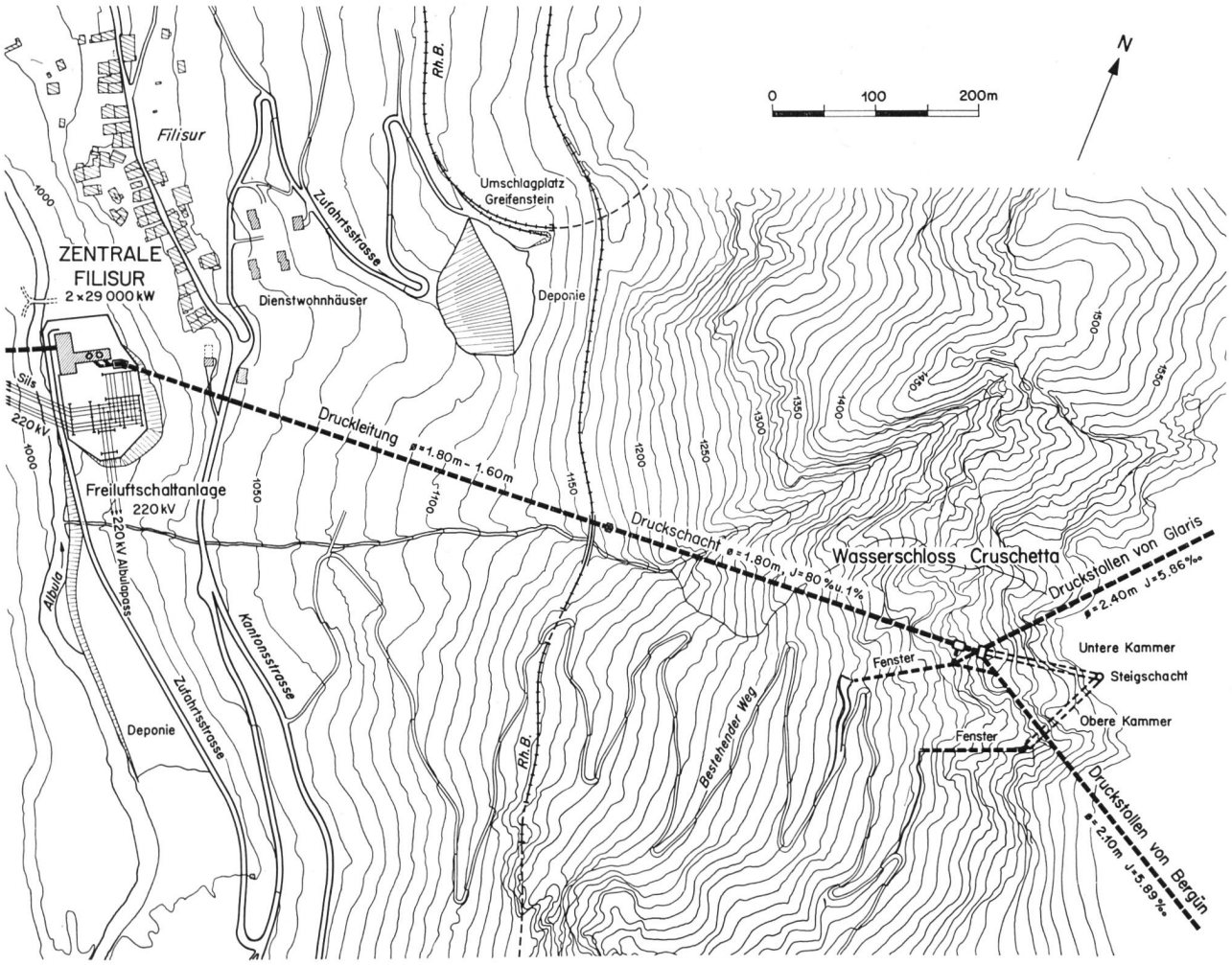


Fig. 11 Situation der Kraftwerkanlagen im Raum Filisur

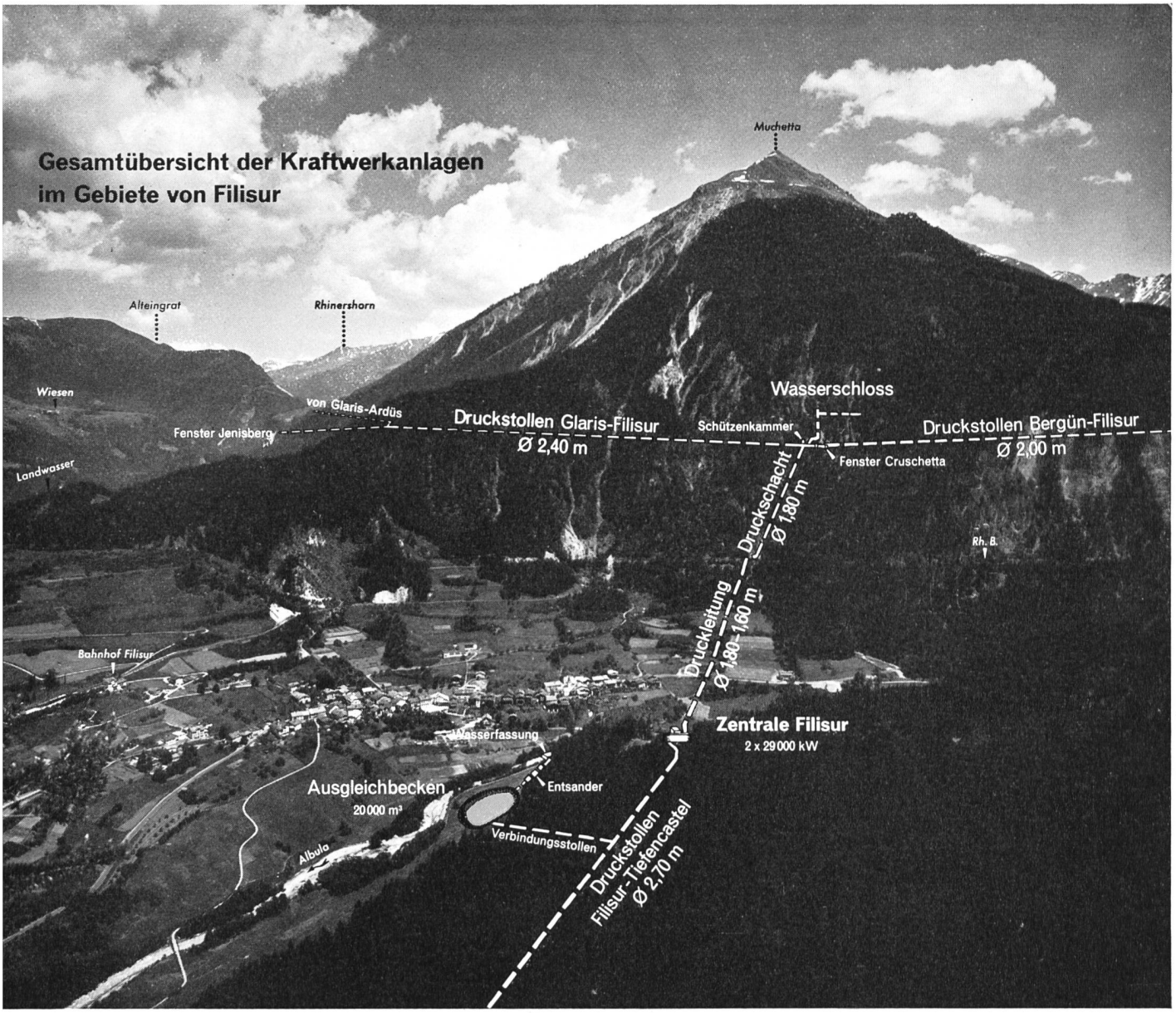


Fig. 12

sammenhang gestattet, kurz auf die theoretischen Probleme einzutreten, die sich aus dieser Zusammenführung ergeben und die die Anordnung von Schützen als zweckmässig erscheinen liessen. Die beiden Druckstollen bilden über das Wasserschloss Cruschetta eine kommunizierende Verbindung der beiden Ausgleichbecken Glaris-Ardüs und Islas. Die Druckstollendurchmesser von 2,40 m im Landwasserast, resp. 2,0 m im Albulaast sind so aufeinander abgestimmt, dass die Durchflussmengen in den Stollen bei gleicher Spiegellage der beiden Becken proportional den Ausbauwassermengen sind. Das System wird nun aber weiter kompliziert durch die verschiedenen in die Druckstollen einmündenden Wasserfassungen, die – je nach Wasserführung im entsprechenden Gebiet – eine sehr variable Wassermenge in die Stollen abgeben können. Im Sommer und im Winter funktioniert das hydraulische System ohne jede Regulierung; im Sommer, da zufolge des grossen, anfallenden Abflussvolumens jede ausgleichende Wirkung der Ausgleichbecken entfällt, im Winter, da die Zuflüsse so klein sind, dass sich das System rein hydraulisch automatisch ausreguliert. Die relativen Spiegelschwankungen der beiden Ausgleichbecken betragen in diesen Fällen lediglich 10–20 cm. Im Herbst und im Frühling sind die Verhältnisse jedoch andersartig gelagert. Zufolge hydrologischer Verschiedenheiten der beiden Einzugsgebiete und lokal begrenzter Störungen, wie beispielsweise plötzlicher Regenfälle usw., fallen die Zuflüsse zum Teil nicht mehr proportional der Werkwassermengen an. Im Frühling beispielsweise überwiegt normalerweise der prozentuale Anteil des Zuflusses zum Landwasserast, da die Schneeschmelze in diesem Gebiet wegen der niedrigeren Höhenlage früher einsetzt als im Albulagebiet. Im Herbst ist die Tendenz gerade umgekehrt, weil das Speichervermögen der Liasformationen des Albulapasses sich stark ausgleichend auswirkt. Ein grosser Vorzug der kommunizierenden Verbindung liegt nun gerade darin, dass lokale Verschiedenheiten im Abflussregime ausgeglichen werden können und beispielsweise Wasser aus dem einen Einzugsgebiet zur Füllung des dem andern Ast zugeordneten Ausgleichbeckens beitragen kann. Die hydrologischen Verschiedenheiten würden nun in einem nicht regulierten System bewirken, dass plötzlich aus einem Ast proportional mehr Werkwasser anfallen und dadurch die relativen Spiegellagen der beiden Ausgleichbecken stark verändert würden. Im Extremfall könnte

beispielsweise ein Ausgleichbecken vollständig gefüllt sein, während der Spiegel im anderen Becken bis in den Druckstollen absinken würde. Dadurch aber geht ein Teil der Beckenvolumen für Spitzenbetrieb verloren. Im weiteren würde sich die wechselnde Unterwassersetzung und Trokkenlegung der obersten Abschnitte der Druckstollen in bezug auf die Lebensdauer der Betonauskleidung sehr ungünstig auswirken. Um diese Unzulänglichkeiten zu eliminieren, werden die erwähnten Regulierorgane eingebaut, die im übrigen vollkommen automatisch gesteuert sind und die beiden Beckenspiegel durch Drosselung der Werkwassermengen selbsttätig auf eine Toleranz von normalerweise ca. 20 cm (max. Spiegeldifferenz ca. 50 cm) einregulieren.

Vom Wasserschloss Cruschetta gelangt das Werkwasser aus beiden Stufen gemeinsam durch einen 424 m langen gepanzerten Druckschacht von 1,8 m lichtem Durchmesser und eine anschliessende eingegrabene Druckleitung von 530 m Länge mit Durchmesser 1,80/1,70/1,60 m nach der Zentrale Filisur. Unweit des Wasserschlosses ist vor dem Druckschacht eine Drosselklappe mit Durchmesser 1,80 m als Sicherheitsabschlussorgan angeordnet. Die Drosselklappe schliesst automatisch bei Rohrbruch. Die Unterteilung der Verbindung Wasserschloss-Zentrale in einen Druckschacht im oberen Abschnitt, resp. eine Druckleitung im unteren Abschnitt, ergab sich aus den topographischen und geologischen Verhältnissen. Grundsätzlich wäre der Bau eines durchgehenden Druckschachtes erwünscht gewesen. Im unteren Abschnitt taucht der gewachsene Fels jedoch so tief unter die Ueberlagerung (ein alter Tallauf der Albula führt rechts um das Dorf Filisur), dass der Druckschacht zum Teil im Ueberlagerungsmaterial verlaufen würde. Von der Realisierung einer solchen Lösung musste jedoch aus Kostengründen abgesehen werden. Die Panzerung des Druckschachtes besteht aus Altostahl mit einer Wandstärke von 12 mm. Wie üblich wurde die Panzerung auf 50% des max. Innendruckes (einschliesslich 15% Druckstosszuschlag) dimensioniert. Die Druckleitung wird in einen Graben verlegt, der nach erfolgter Montage bis auf die Höhe des natürlichen Terrains wieder eingedeckt wird. Durch die Erdauflast ergeben sich jedoch Zusatzspannungen aus der Querbiegung, die bei grösseren Durchmessern unzulässig hohe Werte annehmen können (z. B. Durchmesser 1,60 m, Erdauflast 1,0 m im Scheitel, Zusatzspannung ς max. = 1,6 t/cm²). Eine daraus resultierende Erhöhung der Blechstärke ist aus Kostengründen abzulehnen. Als zweckmässiger erweist sich in diesem Fall die Umhüllung der Stahlrohre mit einem leicht armierten Betonmantel zur Aufnahme der Spannungen aus der Erdauflast. Die Druckleitung ist deshalb auf der ganzen Länge mit einem 20 cm starken, armierten Betonmantel (28 kg/m³) versehen. Da die Leitung eingedeckt ist und somit die Längskräfte kontinuierlich durch die Reibung ins angrenzende Erdreich übertragen werden, erübrigt sich die Anordnung von Fixpunkten. Für die Druckleitungsrohre findet Feralsim- und Unionstahl Verwendung. Die Blechstärke der Rohre variiert von 12—16 mm, die Länge der Rohrschüsse beträgt 8,40 m.

Die Zentrale Filisur liegt freistehend südlich des Dorfes unmittelbar am rechten Ufer der Albula und gliedert sich in einen Maschinen- und einen Betriebstrakt. Die Fundationsverhältnisse sind günstig, kann doch der ganze Baukörper auf gewachsenem Fels fundiert werden, der in einer Tiefe von 10—15 m unter der Talsohle ansteht. Der Grundwasserspiegel liegt jedoch nur wenig unterhalb der Talsohle, so dass der Unterbau der Zentrale durch eine wasserdichte Isolierung vor Sickerwasser geschützt werden muss. Der Aushub im Ueberlagerungsmaterial erfolgte nach eingehenden Voruntersuchungen in offener Baugrube mit Böschungsneigungen 4:5 und unter offener Wasserhaltung bei Absenkung des Grundwasserspiegels bis auf den gewachsenen Fels (ca. 11 m unter dem gewachsenen Terrain). Die Grundwasserabsenkung bot keinerlei Schwierigkeiten, die gepumpten Wassermengen beliefen sich auf 60—95 l/s und bestätigten die aus den Voruntersuchungen gewonnen Resultate weitgehend (k-Wert des Ueberlagerungsmaterials ca. $2{,}5 \cdot 10^{-1}$ cm/s und somit max. Zuflussmenge bei 11 m Absenkung = 100—125 l/s). Die Wasserhaltung erfolgte durch den Einsatz verschiedener Pumpen in offenen Sickerschächten, der mittlere Wirkungsgrad der Pumpeninstallationen (einschl. Leitungen usw.) betrug ca. 25%, der Pumpen allein ca. 31%.

In der Zentrale sind zwei vertikal-achsige Maschineneinheiten (1000 U/min.), bestehend aus je einer Francisturbine von 40 000 PS bei einer Schluckwassermenge von 8 m³/s und einem Dreiphasengenerator von 36,5 MVA installiert. Unter Berücksichtigung der durch die Turbine gegebenen Ueberdrehzahl und des erforderlichen Schwungmomentes handelt es sich bei den Wasserkraftgeneratoren um Grenzleistungsmaschinen, d. h. dass mit diesen Bedingungen und den heute gebräuchlichen Konstruktionsmate-

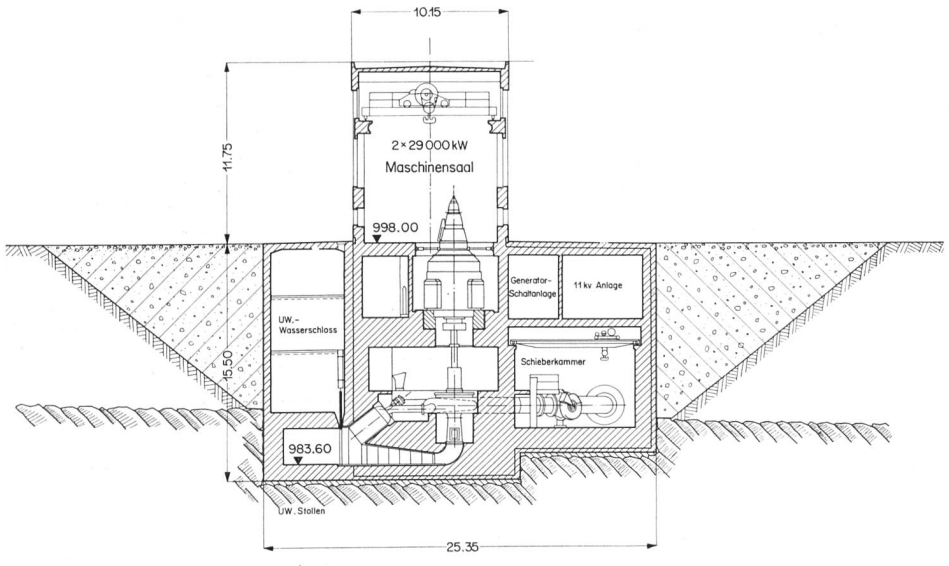


Fig. 13 Querschnitt der Zentrale Filisur

rialien Maschinen grösserer Leistung nicht gebaut werden können. Als Turbinenabschlussorgane sind zwei Drehschieber vorgeschaltet. Die Zentrale enthält im weiteren die erforderlichen Hilfsbetriebe, Werkstätten, Magazine und Bureaux, ebenfalls sind darin die 11 kV-Generatorschaltanlage und die 50 kV-Schaltanlage untergebracht. Die in Filisur erzeugte Energie wird in der an die Zentrale angrenzenden 220 kV-Freiluftschaltanlage von der Maschinenspannung auf 220 kV auftransformiert.

Das Werkwasser der Zentrale Filisur gelangt nach den Turbinen in das angebaute Unterwasser-Wasserschloss und dann direkt in den Druckstollen der Stufe Filisur-Tiefencastel. Bei Stillstand dieser Stufe kann das Werkwasser aber auch direkt über einen kurzen Unterwasserkanal ins Bett der Albula zurückgegeben werden.

d) KRAFTWERK FILISUR-TIEFENCASTEL

Unterhalb Filisur verflacht sich das Gefälle der Albula stark und beträgt auf einer Länge von 9,5 km bis zur Konzessionsgrenze bei Tiefencastel nur noch ca. 165 m. Das Kraftwerk Filisur-Tiefencastel (Fig. 4 und 5) nutzt die Albula auf dieser untersten Gefällsstrecke.

Das Werkwasser aus der Zentrale Filisur gelangt durch das Unterwasser-Wasserschloss direkt in den Druckstollen welcher nach Tiefencastel führt. Der Stollen von 2,70 m Durchmesser unterfährt die Albula im gewachsenen Fels, verläuft entlang der linken Talflanke bis zum Fensterstollen Zinols und biegt dann mehr ins Berginnere ab, um die geologisch weniger günstigen Altein- und Rauhwacken-Formationen im Gebiet südlich Alvaneu zu vermeiden. Südlich von Surava ist ein weiterer Fensterstollen vorgesehen. Der Druckstollen endet schliesslich nach 8,8 km im Wasserschloss südlich des Dorfes Tiefencastel. Das Wasser aus dem Zwischeneinzugsgebiet der Albula von 31 km² wird mittels einer Wehranlage im engen Taleinschnitt ca. 180 m unterhalb der Zentrale Filisur gefasst und durch einen automatischen Entsander dem Ausgleichbecken Filisur zugeführt. Das Becken weist einen Nutzinhalt von 20 000 m³ auf und liegt auf der Ebene linksufrig der Albula unterhalb der Wehranlage. Durch einen kurzen Stichstollen gelangt das Werkwasser aus dem Becken in den Druckstollen.

Die Verbindung zwischen dem Wasserschloss und der Zentrale Tiefencastel erfolgt durch eine eingedeckte Druckleitung von 1,8 m Durchmesser und 650 m Länge. Die Stahlrohre der Druckleitung sind — wie bei der Druckleitung Filisur — mit einem armierten Betonmantel umgeben.

Die Zentrale Tiefencastel liegt östlich des Dorfes unmittelbar neben der Albula. Die elektro-mechanische Ausrüstung umfasst eine Franciseinheit von 19 000 kW Leistung. Die Energie wird in der angegliederten Freiluftschaltanlage auf 50 kV transformiert und nach Filisur geleitet. Die Anlage ist unbedient und wird von Filisur aus via leitungsgerichteter Hochfrequenzverbindungen fernbedient.

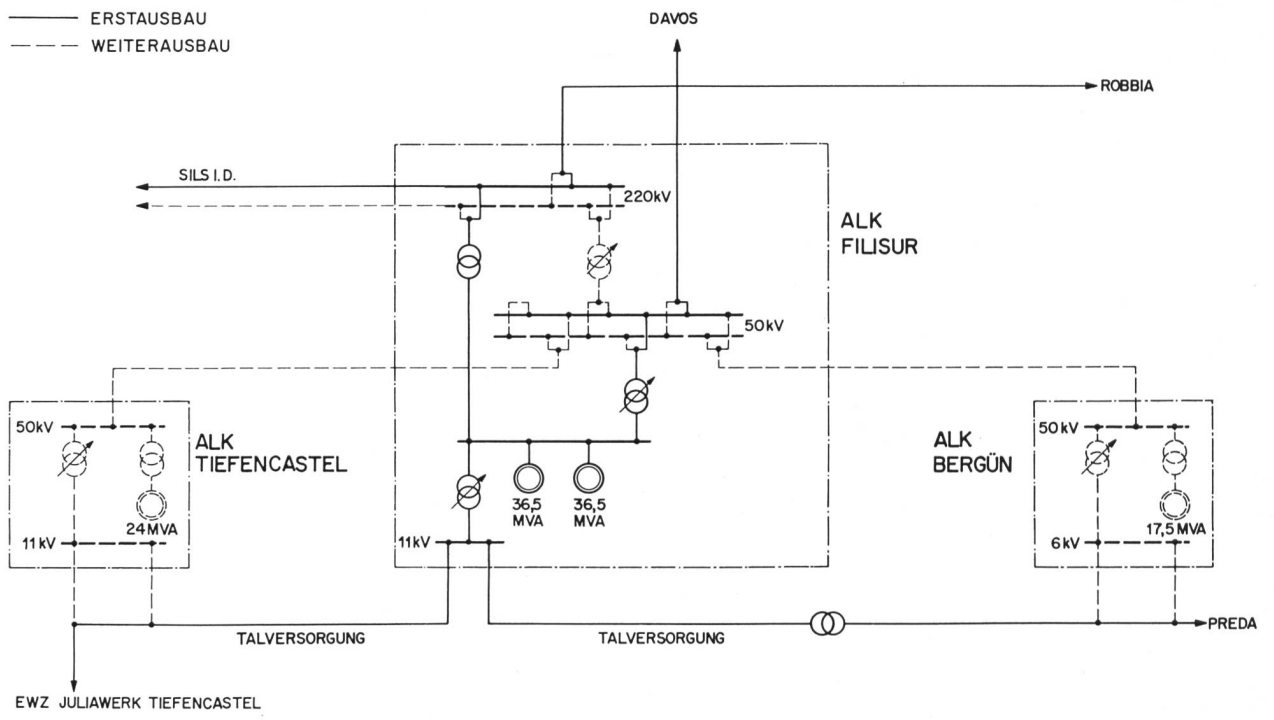
Das Werkwasser gelangt — um das Gefälle bis zur Konzessionsgrenze beim Zusammenfluss von Albula und Julia voll auszunützen — durch einen ca. 350 m langen Unterwasserstollen zurück ins Bett der Albula.

e) ENERGIEÜBERTRAGUNGS- UND FERNWIRKANLAGEN

Für die Energieübertragung und den Betrieb des Kraftwerkkomplexes bildet Filisur das Zentrum. In Filisur liegt die Zentrale mit der grössten Leistung von 58 MW und der grössten Produktion von 249 Mio kWh. Da der Ort ausserdem geographisch günstig liegt, ist es gegeben, hier das Zentrum aller Anlagen einzurichten. Hier trifft die Energie aus den Zentralen Bergün und Tiefencastel ein, wird mit der Energie der Zentrale Filisur zusammengefasst und gemeinsam abtransportiert. Von Filisur aus werden aber auch alle Kraftwerke ferngesteuert und überwacht.

Die Kraftwerke Naz-Bergün und Filisur-Tiefencastel werden durch einsträngige 50 kV-Leitungen mit der 50 kV-Station Filisur verbunden. Die bestehende 50 kV-Leitung Klosters-Filisur der Bündner Kraftwerke wird ebenfalls angeschlossen. Die mit 50 kV ankommende Energie wird mit-

Fig. 14 Prinzipschema der Hochspannungsanlagen und -leitungen



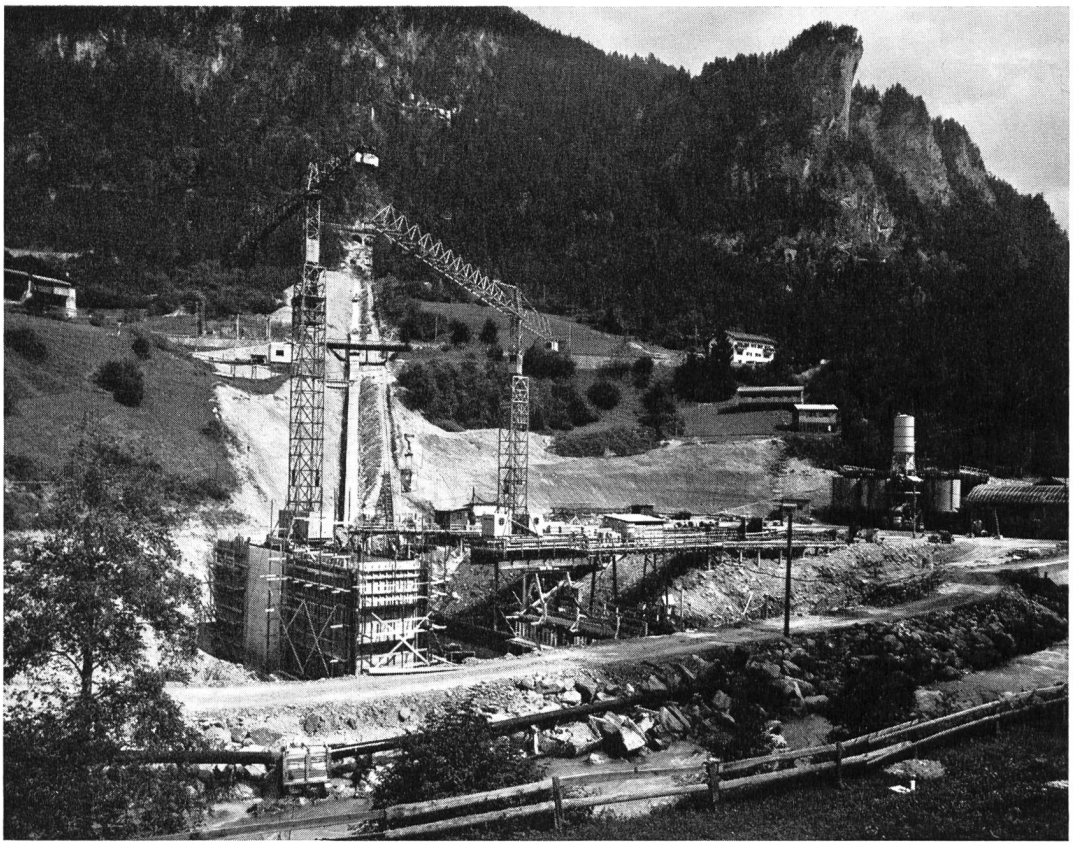


Fig. 15 Uebersicht der Baustelle der Zentrale Filisur und der Druckleitung

tels eines Kuppeltransformators auf 220 kV gebracht und dann zusammen mit der direkt von der Maschinenspannung auf 220 kV transformierten Energie der Zentrale Filisur abtransportiert.

Für den Zusammenschluss mit dem schweizerischen Hochspannungsnetz erstellt die Elektrizitätsgesellschaft Laufenburg AG zusammen mit der Kraftwerke Brusio AG eine zweisträngige 220 kV-Gemeinschaftsleitung, die Filisur mit der Schaltanlage Sils im Domleschg verbindet. Im weiteren ist die Einführung der geplanten 220 kV-Leitung Robbia—Filisur der Kraftwerke Brusio AG vorgesehen.

Die Deckung des Energiebedarfes der Talschaften erfolgte bisher praktisch vollständig durch das kleine Kraftwerk Preda des Elektrizitätswerkes Bergün. Es ist nun vorgesehen, das Talversorgungsnetz unterhalb Bergün auf 11 kV auszubauen und mit dem Netz der ALK in Filisur, Bergün und Tiefencastel zu kuppeln.

Vom Kommandoraum Filisur aus können alle Anlagen der Albula-Landwasser Kraftwerke in oder ausser Betrieb gesetzt werden. Die für den Betrieb erforderlichen Messwerte werden ebenfalls dorthin gemeldet. Die Uebertragung der Steuerbefehle und Messwerte erfolgt über die Hoch-

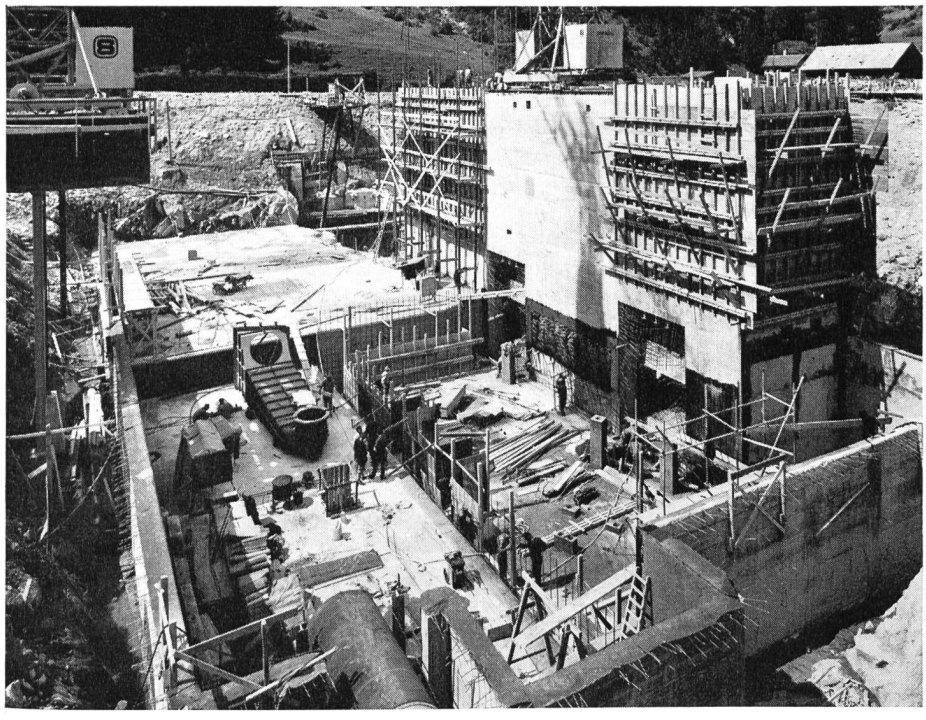


Fig. 16 Baustelle Zentrale Filisur

spannungsleitungen via leitungsgerichteter Hochfrequenzverbindungen. Die Konzentration der Betriebsführung gestattet eine optimale Ausnützung der Kraftwerkanlagen mit einem Minimum an Personal.

7. Bauprogramm und Bauausführung

Die Erstellung der Albula-Landwasser Kraftwerke erfolgt etappenweise. Ein etappenweiser Ausbau ist zweckmässig im Hinblick auf die angespannte Beschäftigungslage im Baugewerbe, hinsichtlich der Wirtschaft der Talschaften sowie in bezug auf die Staffelung der aus den neuen Anlagen anfallenden Energiemengen.

Das Bauprogramm der Albula-Landwasser Kraftwerke sieht den Ausbau wie folgt vor:

1. Bauetappe:	Kraftwerk Glaris-Filisur	1961—1965
	Kraftwerk Bergün-Filisur	1961—1966
2. Bauetappe:	Kraftwerk Naz-Bergün	anschliessend
3. Bauetappe:	Kraftwerk Filisur-Tiefencastel	anschliessend

Die Albula-Landwasser Kraftwerke AG fasste anlässlich ihrer Gründungsversammlung am 1. September 1961 den Baubeschluss für die Doppelstufe Glaris-Filisur/Bergün-Filisur. Da die Projektierungs- und Vorbereitungsarbeiten, einschliesslich der Bereitstellung der Baustromversorgungsanlagen in den Jahren 1959—61, stark vorangetrieben worden waren, konnte unmittelbar anschliessend mit den Bauarbeiten begonnen werden. Die Erstellung der Anlagen der Doppelstufe ist gegenwärtig in vollem Gang. Die Arbeiten schreiten programmgemäss voran, so dass mit der Inbetriebnahme der Stufe Glaris-Filisur im Herbst 1965 und der Stufe Bergün-Filisur im Herbst 1966 gerechnet werden kann.

8. Volkswirtschaftliche Aspekte

Die wirtschaftlichen Impulse, die von einem Kraftwerkbau und dem späteren Betrieb ausgehen, sind mannigfach und können eine dauernde Verbesserung der Lebensbedingungen der Talschaften bringen.

Grundsätzlich müssen bei der Beurteilung der volkswirtschaftlichen Bedeutung der Albula-Landwasser Kraftwerke die eigentliche Bauperiode und der spätere Betrieb des Kraftwerkkomplexes getrennt betrachtet werden.

Während der Bauperiode eröffnen sich für Unternehmer, Handel und Gewerbe der Talschaften neue Verdienstmöglichkeiten. Obwohl die lokalen Betriebe meist nicht in der Lage sind, Grossaufträge zu übernehmen, verbleiben genügend Arbeiten, die der Leistungskapazität von ortsansässigen Unternehmungen, Handwerkern und Lieferanten entsprechen und durch diese ohne Aufblähung der Betriebe ausgeführt werden können. Für die Wirtschaft der Talschaften ist deshalb von Bedeutung, dass die Bauperiode eine möglichst lange Zeitspanne in Anspruch nimmt und die wirtschaftlichen Impulse von langer Dauer sind. Die Albula-Landwasser Kraftwerke tragen diesem Umstand durch eine etappenweise Erstellung der vier Stufen weitgehend Rechnung. Der Kraftwerkbau bietet aber auch einheimischen Arbeitskräften neue Beschäftigungsmöglichkeiten. Neben den Privaten profitiert im weiteren auch die öffentliche Hand von der gesteigerten wirtschaftlichen Tätigkeit durch erhöhte Steuererträge von Betrieben und Einzelpersonen.

Die Betriebsperiode dauert 80 Jahre, da die Konzessionsgemeinden den Albula-Landwasser Kraftwerken die Wasserkraftnutzung für diese Zeitdauer verliehen haben. Während dieser Zeit haben die Albula-Landwasser Kraftwerke nach erfolgtem Vollausbau jährlich die folgenden Aufwendungen für die Verleihungsgemeinden und den Kanton Graubünden zu erbringen:

	VERLEIHUNGS-GEMEINDEN FR.	KANTON GRAUBÜNDEN FR.
Wasserzinsen	ca. 320 000.—	ca. 320 000.—
Steuern	ca. 500 000.—	ca. 600 000.—

Die Albula-Landwasser Kraftwerke AG stellt den Konzessionsgemeinden im weiteren jährlich eine Energiemenge von 800 000 kWh gratis und von 2,8 Mio kWh zu Vorzugsbedingungen zur Verfügung. Da sowohl die Verleihungsgemeinden als auch der Kanton Graubünden am Aktienkapital der Albula-Landwasser Kraftwerke AG beteiligt sind, steht ihnen auch das Recht zu, einen entsprechenden Anteil an Partnerenergie gegen Bezahlung der Jahreskosten zu beziehen.

Die Albula-Landwasser Kraftwerke stellen somit im Wirtschaftsleben der Talschaften einen bedeutenden Faktor dar. Es bleibt zu hoffen, dass die Gemeinden durch den Beitrag der Kraftwerke die rückläufige Entwicklung verschiedener Gebiete der Talschaften aufzuhalten in der Lage sind und ein wirtschaftlicher Aufschwung sich anzuzeigen beginnt.

WASSERKRAFTWERKE ALS MITTEL ZUR KOMPENSATION VON LASTÄNDERUNGEN IM VERBUNDSYSTEM

Dr. ing. Walter Maurer, Rheinisch-Westfälisches Elektrizitätswerk Aktiengesellschaft, Essen[1]

DK. 621.221:621.311.161

I. Einleitung

Im Vergleich zu Wärmekraftwerken liegt der Vorteil der Wasserkraftwerke in ihrem Vermögen, sich kurzzeitig auf die gestellten Produktionsanforderungen einzustellen. Während Wärmekraftwerke vom Stillstand, also aus der Kaltreserve zur vollen Leistungsabgabe eine Zeit von drei Stunden, oder aus der Warmreserve bei einer Vorbelastung von 70 bis 80 Prozent bis zur Abgabe der vollen Leistung 10 bis 15 Minuten beanspruchen, vollzieht sich dieser Vorgang bei Wasserkraftwerken vom Stillstand bis zur vollen

[1] Berichterstattung anlässlich des «Symposion sur la couverture des pointes de charge» vom Mai 1963 in Venedig, das unter der Schutzherrschaft der «Commission économique pour l'Europe des Nations Unies» stand.