

Zeitschrift: Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria
Herausgeber: Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband
Band: 78 (1986)
Heft: 10

Artikel: Die Staumauer Solis : Hochwasserableitung und Triebwasserfassung
Autor: Stöckli, Peter
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-940873>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 13.03.2025

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

Die Staumauer Solis

Hochwasserableitung und Triebwasserfassung

Peter Stöckli

Zusammenfassung

Die neue Bogenstaumauer Solis an der Albula zwischen Thusis und Tiefencastel (Kanton Graubünden) ersetzt das alte, baufällige Wehr Nisellas, welches zirka 1,5 km flussaufwärts lag.

Das Projekthochwasser des 900km² grossen Einzugsgebietes beträgt 550 m³/s und wird durch eine Schusssrinne mit Sprungschanze sowie durch die 2 Grundablässe und einen Mauerüberfall entlastet.

Aus geologischen und topographischen Gründen musste eine unkonventionelle Triebwasserfassung gebaut werden.

Résumé

Le nouveau barrage voûte de Solis est situé sur la rivière Albula entre Thusis et Tiefencastel dans le canton des Grisons. Il remplace l'ancien barrage mobile de Nisellas, qui était situé quelques 1,5 km à l'amont et qui ne correspondait plus aux exigences de sécurité modernes.

Le bassin versant s'étend à quelques 900 km². La crue de projet était déterminée à 550 m³/s. Elle peut être évacuée par un évacuateur à saut de ski, 2 vidanges de fond et le déversoir à nappe libre sur la crête du barrage.

Pour des raisons géologiques et topographiques on a été obligé de construire des prises d'eau usinières inconventionnelles.

Summary

The Solis arch-dam on the river Albula in the canton of Graubünden replaces the old weir Nisellas, which was situated some 1.5 km upstreams. The old weir could no longer satisfy today's safety requirements. The catchment-area at the damsite covers some 900 km². The design flood amounts to 550 m³/s. Floods can be evacuated by a controlled service spillway with adjacent ski jump, by the 2 bottom-outlets and by an uncontrolled crest overfall.

For geological and topographical reasons an uncommon water intake structure was chosen.

1. Einleitung

1.1 Kraftwerkgruppe Mittelbünden

Im Jahre 1902, kurze Zeit nach der Gründung des Elektrizitätswerkes der Stadt Zürich (EWZ), erwarb die Stadt Zürich die Konzession für die Erstellung des Albulawerkes Sils mit einem Stauwehr in Nisellas, zirka 2,5 km unterhalb von Tiefencastel, und einer Zentrale in Sils im Domleschg. Damit war der Grundstein für die Kraftwerkgruppe Mittelbünden des EWZ gelegt. Als das Werk 1910 den Betrieb aufnahm, stellte es eine Pionierleistung im Bau von Hochdruckkraftwerken dar. Mit steigendem Energiebedarf erfolgten der Weiterausbau und die Inbetriebnahme der folgenden Werke:

- 1920 Heidbachwerk Solis (Lenzerheide–Solis)
- 1949 Juliawerk Tiefencastel West (Burvagn–Tiefencastel)
- 1954 Juliawerk Tinzen mit Speicherbecken Marmorera (Marmorera–Tinzen)
- 1970 Juliawerk Tiefencastel Ost (Tinzen–Tiefencastel)
- 1977 Kraftwerk Albula–Domleschg/Rothenbrunnen (Nisellas–Rothenbrunnen), Zwillingsbetrieb mit Albulawerk Sils

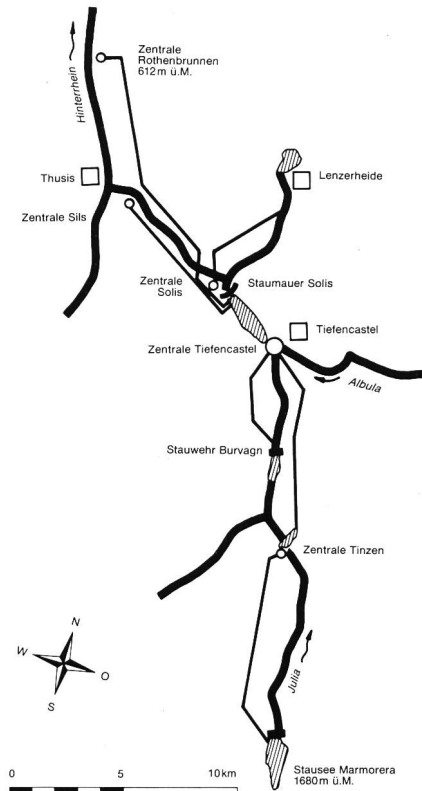


Bild 1. Die Kraftwerkgruppe Mittelbünden des Elektrizitätswerkes der Stadt Zürich nutzt die Wasserkräfte des Flusses Julia ab Kote 1680 m ü. M. und der Albula ab deren Zusammenfluss. Die Wasserrückgabe erfolgt in den Hinterrhein in Rothenbrunnen auf Kote 612 m ü. M.

1.2 Altes Stauwehr Nisellas

Das alte Stauwehr Nisellas entsprach den heutigen gestiegenen Sicherheitsvorstellungen nicht mehr im vollen Umfang. Um den Weiterbetrieb unter den strengeren Anforderungen zu gewährleisten, wären unverhältnismässig hohe Umbaukosten angefallen. Selbst eine bauliche Sanierung hätte die Lebensdauer des bereits über 70 Jahre alten Stauwehres nicht bis zum Ablauf der Wassernutzungskonzession im Jahre 2057 verlängern können. Aus diesem Grunde wurde der Ersatz in einem Neubau gesucht.

1.3 Neue Staumauer Solis

Die neue Mauer staut die Albula 1,5 km unterhalb der alten Sperstelle. Das Stauziel konnte um 2,00 m erhöht werden. Der Inhalt des Staubeckens beträgt 4 Mio m³, wovon infolge der Höhenlage der bestehenden Druckstollen nur die ober-



Tabelle 1. Hauptdaten Staumauer Solis.

Geologie

Kalktonschiefer mit Quarzit- und Kalziteinlagerungen (Bündnerschiefer)

Hydrologie

-Einzugsgebiet bis Sperrstelle ca. 900 km²
 -Projekthochwasser 550 m³/s

Speicher Solis

-Normalstaukote = 823,75 m ü.M.
 -Bemessungsüberstau = 826,00 m ü.M.
 -Senkungsziel = 816,00 m ü.M.
 -Totales Speichervolumen = 4,07 Mio m³
 -Speichernutzvolumen = 1,46 Mio m³
 -Speicheroberfläche bei Normalstau = 0,24 km²
 -Länge des Stausbeckens = 2,76 km
 -Maximale Breite des Staubeckens = 120 m

Staumauer Solis

-Typ Doppelt gekrümmte Bogenmauer
 -Grösste Höhe über Fundamentsohle = 61 m
 -Kronenlänge = 75 m
 -Min.Mauerstärke (unterhalb Ueberfall) = 3,5 m
 -Grösste Mauerstärke (am Mauerfuss) = 8,0 m
 -Betonvolumen = 27000 m³

Hochwasserentlastung

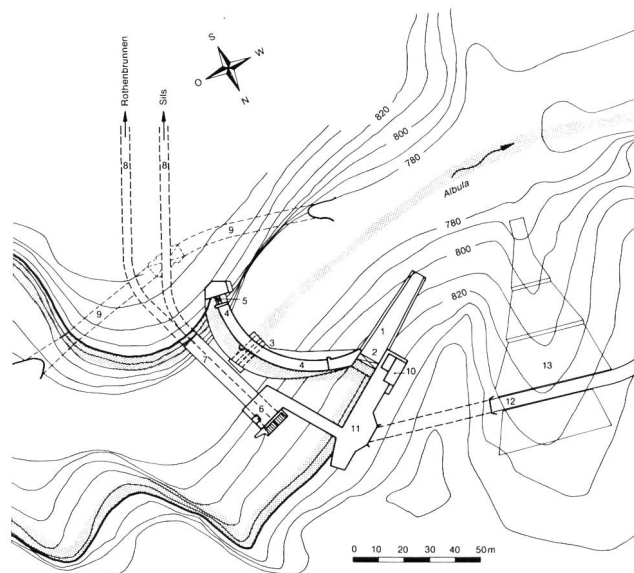
Ableitkapazitäten

	bei Normalstau (Kote 823,75) m ³ /s	bei Bemessungs- überstau (Kote 826,00) m ³ /s
Schussrinne	119	236
Grundablass	242	249
Mauerüberfall	-	268
Total	361	753

Betriebswassermengen

Kraftwerk Sils 22 m³/s
 Kraftwerk Rothenbrunnen 25 m³/s
 Total = 47 m³/s

Bild 3. Situation der Staumauer Solis mit Nebenanlagen. 1 Schussrinne, 2 Stauklappe 8m x 3,75m, 3 zwei Grundablässe 2,4m x 1,8m, 4 Mauerüberfall, 5 Hilfsklappe 3m x 1,25m, 6 Fassungsturm mit Einlaufrechen, 7 Rohrbrücke, 8 Druckstollen zu den Zentralen Sils und Rothenbrunnen, 9 Baumleitstollen, mit Betonzapfen abgeschlossen, 10 Betriebsgebäude, 11 Bedienungsebene, 12 Zufahrtsstrasse, 13 Ausbruchdeponie.



sten 1,5 Mio m³ nutzbar sind. Das Wasserdargebot der Albula schwankt entsprechend den Betriebsregimes der Oberliegerkraftwerke. Die Pufferwirkung des Beckens wird durch den vergrösserten Nutzinhalt wesentlich verbessert. Das Staubecken Solis speist einerseits das alte Albulawerk Sils ($Q_T = 22 \text{ m}^3/\text{s}$) und andererseits das seit 1977 bestehende Kraftwerk Albula-Domleschg ($Q_T = 25 \text{ m}^3/\text{s}$) mit vollständig getrennten Triebwasserwegen.

2. Beschrieb der neuen Anlage

Die Sperre ist als doppelt gekrümmte Bogenmauer ausgebildet. An der Sperrstelle weist das Tal einen äusserst asymmetrischen Querschnitt mit fast senkrechter linker und zirka 45° steiler rechter Flanke auf. Die Mauerstärke reduziert sich von einem Maximalwert von 8,00 m am Fuss bis 3,50 m unterhalb der Überfallkronen.

Zur Erschliessung der Sperrstelle für den Bau und Betrieb wurde ein Zufahrtstunnel zu einer rechtsufrig angeordneten Bedienungsebene erstellt. Von dieser aus sind alle Betriebseinrichtungen für Wasserfassung und Hochwasserentlastung jederzeit einfach zugänglich und bedienbar. In einem kleinen Betriebsgebäude sind die notwendigen Betriebsinstallationen untergebracht.

Die Hochwasserentlastungsorgane bestehen aus den folgenden, in Abschnitt 3 näher beschriebenen Elementen:

- Rechtsufrig angeordneter regulierter Überfall mit Schussrinne und Sprungschanze
- Grundablass, als Zwillingmauerdurchlass ausgebildet
- Mauerkronenüberfall.

Die auf der linken Flanke angeordnete Hilfsklappe sorgt für die Geschwemmselabfuhr im Bereich des linken Mauerwiderlagers.

Das Triebwasser wird in einem Fassungsturm mit anschliessender vollständig im Staubecken liegenden Rohrbrücke gefasst. Die für die beiden Kraftwerke Albula-Sils und Albula-Domleschg getrennten Einläufe sind nebeneinander angeordnet und können mit Rollschützen abgeschlossen werden.

Zwei neuerstellte, kurze Stollen leiten das Triebwasser den bestehenden Kraftwerkstollen zu.

Der Betrieb der neuen Anlage erfolgt weitgehend ferngesteuert vom Kommandozentrum Sils aus.

Der obere Teil des alten Stauwehres wurde bis auf die Minimalstaukote des neuen Beckens abgebrochen.

3. Hochwasserableitung

3.1 Hydrologie

Die hydrologischen Daten weisen einige im nachstehenden beschriebene Besonderheiten auf.

- Die Abflüsse der Albula (Einzugsgebiet 529 km²) und der Julia (Einzugsgebiet 325 km²) werden bei Tiefencastel vor ihrem Zusammenfluss gemessen. Die Hochwasserspitzenabflüsse der Albula und der Julia fallen zeitlich kaum exakt zusammen. Da aber die Jahresspitzenwerte der beiden Flüsse mehrmals am gleichen Tag aufgetreten sind, wurden als vereinfachende Annahme die Spitzenwerte der Albula und der Julia superponiert. Damit liegt man auf der sicheren Seite.

- Das Einzugsgebiet der Albula in Tiefencastel nach Vereinigung mit der Julia beträgt 857 km². Bis zur Sperrstelle kommen weitere zirka 40 km² dazu, so dass das Einzugsgebiet an der Sperrstelle zirka 900 km² beträgt. Dieser Vergrösserung des Einzugsgebietes wurde durch eine direktproportionale Vergrösserung der Hochwasserspitzenwerte Rechnung getragen.

Das 1000jährige Hochwasser an der Sperrstelle ergibt sich somit als:

$$Q_{1000} \text{ Solis} = 1,05 (Q_{1000} \text{ Albula} + Q_{1000} \text{ Julia})$$

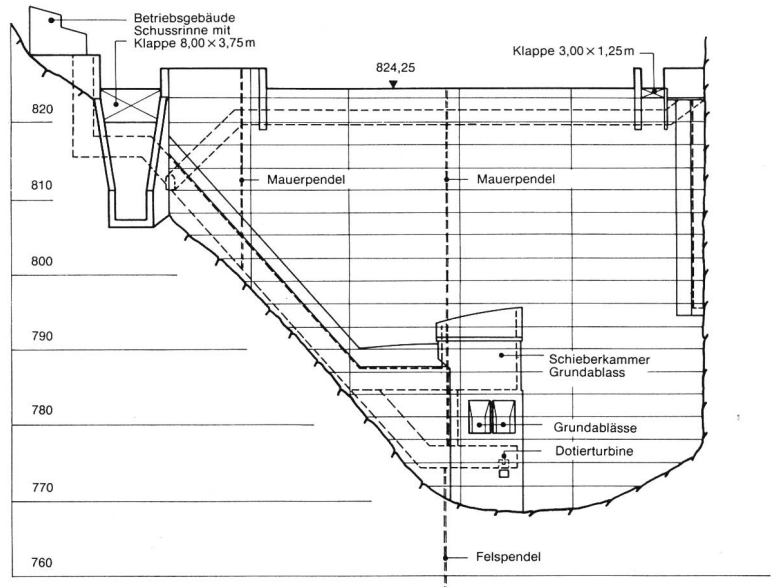
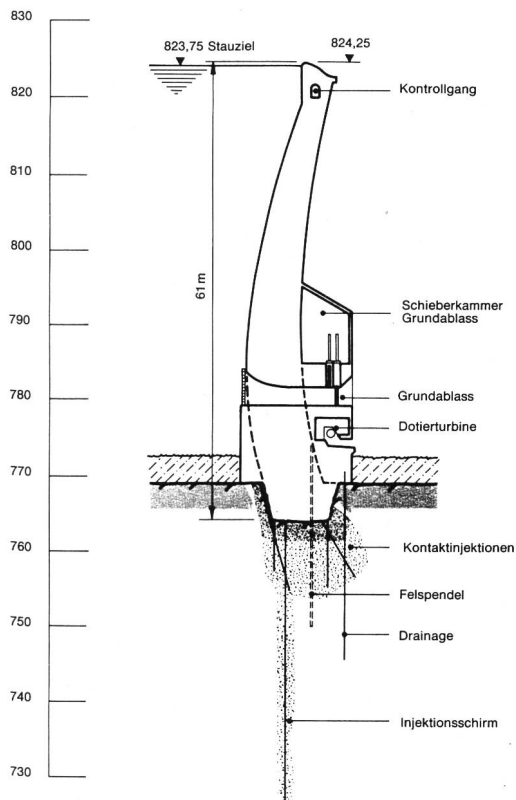


Bild 4, links. Querschnitt durch die Staumauer Solis mit Grundablass und Schieberkammer, Dotierturbine, Kontrollgang, Mauer- und Felspendel.

Bild 5, rechts. Luftseitige Ansicht der Staumauer mit Grundablass, Schussrinne und Stauklappe.

Durch eine statistische Auswertung der Messreihen der Albula und der Julia je für sich getrennt wurden die folgenden Werte für das 1000jährige Hochwasser bestimmt:

$$Q_{1000} \text{ Albula, Tiefencastel} = 205 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{1000} \text{ Julia, Tiefencastel} = 275 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\text{Summe} = 480 \text{ m}^3/\text{s}$$

umgerechnet auf die Sperrstelle Solis

$$Q_{1000} \text{ Solis} = 1,05 \cdot 480 \text{ m}^3/\text{s} \approx 500 \text{ m}^3/\text{s}$$

oder spezifisch $q_{1000} = 0,56 \text{ m}^3/\text{s} \cdot \text{km}^2$

Dieser Wert ist verglichen zum Beispiel mit dem Vorderrhein bei Ilanz (Einzugsgebiet 776 km²) $q_{1000} = 1,55 \text{ m}^3/\text{s} \cdot \text{km}^2$ auffallend klein.

Ebenso zeigen sich grössere Differenzen zu den gebräuchlichsten Hochwasserformeln:

Q_{1000} Kürsteiner	800 bis 1100 m ³ /s
Hofbauer	900 bis 1250 m ³ /s
Melli	1500 m ³ /s

Durch die hinreichend lange Beobachtungszeit des Hochwassergeschehens im Einzugsgebiet der Albula dürfen jedoch die bestimmten Hochwasserabflusswerte als zuverlässig betrachtet werden. Ausserdem bildet die Überströmbarkeit der Sperre noch eine zusätzliche grosse Kapazitätsreserve der Hochwasserentlastung.

Als Ergänzung sei noch das höchste in der Beobachtungszeit der Messstationen (1918–1981) in Tiefencastel gemessene Hochwasser der Albula inklusive Julia erwähnt. Dieses Hochwasser erreichte eine Spitze von 250 m³/s und trat am 31. Oktober/1. November 1926 auf.

3.2 Projekthochwasser

Das Projekthochwasser wurde etwas über dem errechneten 1000jährigen Hochwasser festgelegt auf $Q_{\text{Projekt}} = 550 \text{ m}^3/\text{s}$.

3.3 Hochwasserentlastung

Beim Entwurf der Stauanlage wurde von Anfang an darauf getrachtet, die Mauerkrone überströmbar auszubilden. Störende Aufbauten über der Mauerkrone wie Brücken, Stege usw. wurden vermieden, um die Gefahr des Verkeilens von grossen Holzmassen während eines ausserordentlichen Hochwassers auszuschalten.

Zur Auslegung der Hochwasserentlastungsorgane wurden die folgenden Kriterien berücksichtigt:

$Q_{100} = 330 \text{ m}^3/\text{s}$ sollen abgeführt werden können unter Beibehaltung des Normalstaus von Kote 823,75 m ü.M. (das heisst ohne Kronenüberfall) bei korrekter Funktion aller Entlastungsorgane.

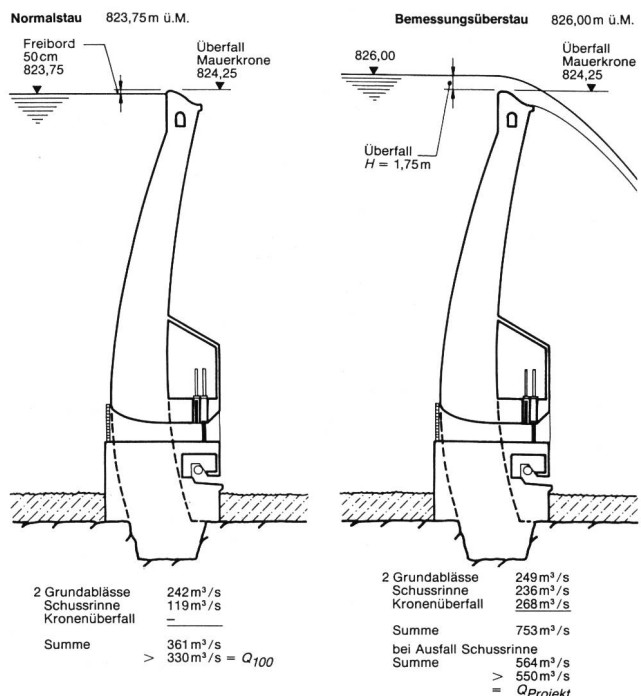
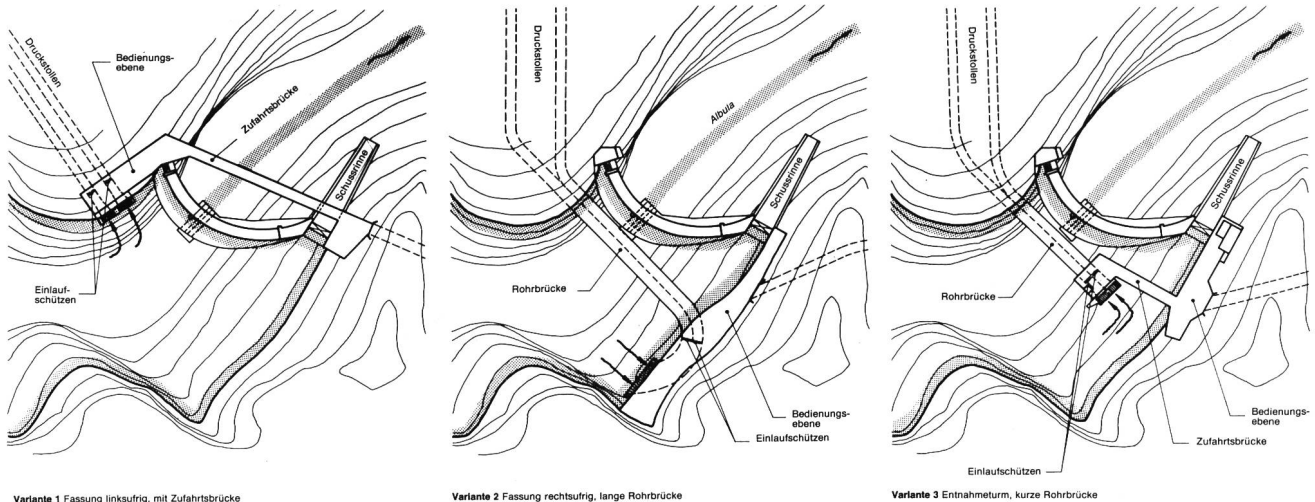


Bild 6. Kapazität der Hochwasserentlastungsorgane bei Normalstau und Bemessungsüberstau.



Variante 1 Fassung linksufrig, mit Zufahrtsbrücke

Variante 2 Fassung rechtsufrig, lange Rohrbrücke

Variante 3 Entnahmeturm, kurze Rohrbrücke

Bild 7. Variantenstudien Triebwasserfassung.

$Q_{Projekt} = 550 \text{ m}^3/\text{s}$ sollen abgeführt werden können mit einem Bemessungsüberstau auf Kote 826,00 m ü. M. (das heisst mit einem Kronenüberfall von $H = 1,75$) bei Ausfall des leistungsstärksten Entlastungsorgans.

Die Betriebswassermenge des Zwillingskraftwerkes beträgt:

Q_{Sils}	=	$22 \text{ m}^3/\text{s}$
$Q_{Rothenbrunnen}$	=	$25 \text{ m}^3/\text{s}$
Summe		$47 \text{ m}^3/\text{s}$

Diese Wassermenge wird bei der Hochwasserentlastung nicht berücksichtigt.

Die Retentionswirkung des Speichers Solis wird in Anbetracht der verhältnismässig geringen Wirkung vernachlässigt.

Unter Berücksichtigung dieser Kriterien wurden folgende Hochwasserentlastungsorgane angeordnet:

Regulierter Überfall mit Schussrinne und Sprungschanze
 Klappenbreite 8,00 m, Klappenhöhe 3,75 m, dient als Regulierorgan und kann vom Betriebszentrum Sils aus ferngesteuert werden.

Grundablass
 ausgebildet als gepanzertes Zwillingsmauerdurchlass, Breite 1,80 m, Höhe 2,40 m. Jeder Mauerdurchlass ist ausgerüstet mit je 1 Regulier- und 1 Revisionsschütze, 1 Satz Abschlussdambalken für den Einlauf in den Grundablass

für Revisionsarbeiten an Panzerung und Revisionsschütze.
Kronenüberfall

Breite 57,00 m. Spezielle hydrodynamische Formgebung zur Erreichung einer möglichst grossen Wurfweite des Überfallstrahles.

Die Kapazität der Hochwasserentlastung ist in Bild 6 dargestellt. Wegen den im Vergleich zu anderen Einzugsgebieten kleinen 1000jährigen Hochwassers wurde grosser Wert auf zusätzliche Kapazitätsreserven der Hochwasserentlastung gelegt. So kann unter der Annahme eines Extremalüberstaus bis zur Kote der Bedienungsebene selbst bei Ausfall von Klappe und Grundablass über die Mauerkrone allein eine Wassermenge von $1040 \text{ m}^3/\text{s}$ abgeführt werden.

4. Triebwasserfassung

4.1 Randbedingungen

Die Triebwasserfassung hatte mehreren Randbedingungen und Auflagen zu genügen:

- Die Höhenlage der Fassung wird bestimmt durch die bestehenden Druckstollen nach Sils und Rothenbrunnen.
- Der Einlauf der Fassung muss mit einem Rechen und einer Rechenreinigungsmaschine ausgerüstet sein.
- Die Rechenreinigungsmaschine bedingt wegen des notwendigen Abtransportes des entfernten Rechengutes eine gute Zufahrt zur Fassung mit Muldenkipper-Lastwagen von der rechten Talflanke aus. Die bestehenden Druckstollen liegen jedoch auf der praktisch unzugänglichen linken Talseite.

- Die beiden Einläufe sind als getrennte Fassungen für Sils und Rothenbrunnen auszubilden. Jeder Einlauf muss für sich durch eine Einlaufschütze abgesperrt werden können.
- Verzicht auf die Erstellung einer auf der Mauerkrone abgestützten Zufahrt wegen der geforderten Überströmbarkeit der Mauerkrone und der Gefahr des Verkeilens von Treibholz. Aus diesem Grunde ist bei einer Platzierung der Fassung auf der linken Flanke eine separate Brücke notwendig.

- Die Fassung und allfällige Zufahrten und Vorplätze müssen stein- und eisschlagsicher sein.

4.2 Variantenstudien

Die ausgeführte unkonventionelle Triebwasserfassung ist das Resultat eines Vergleiches von 3 Fassungsvarianten. Es wurden folgende Lösungen einander gegenübergestellt:

- Variante 1: Fassung linksufrig, mit Zufahrtsbrücke
- Variante 2: Fassung rechtsufrig, lange Rohrbrücke
- Variante 3: Entnahmeturm, kurze Rohrbrücke

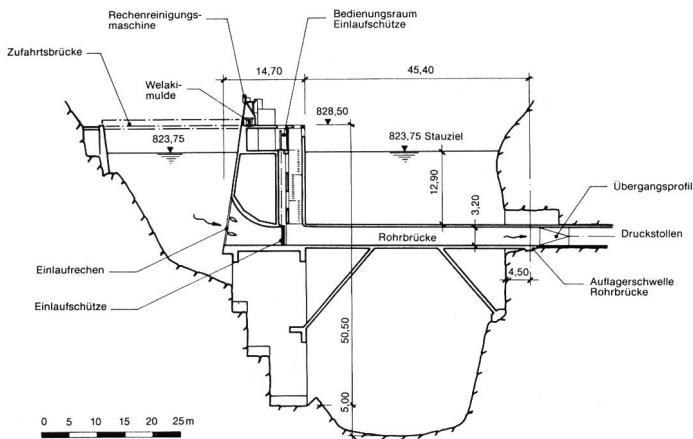


Bild 8. Längsschnitt durch den Entnahmeturm und die Rohrbrücke.

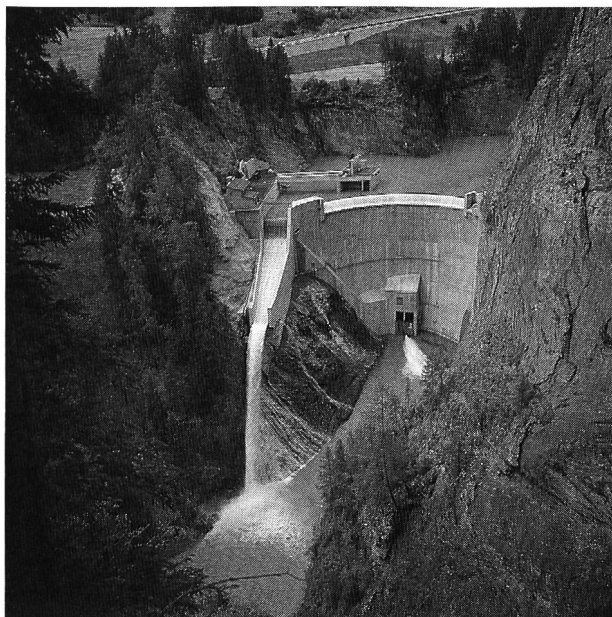


Bild 9. Die Anlage Solis nach dem Einstau.

Beim Variantenvergleich erwiesen sich die topographischen und geologischen Gegebenheiten der linken Uferseite als entscheidend. Die linke Uferseite wird gebildet durch eine praktisch senkrechte Felsflanke von zirka 100 m Höhe mit Steinschlaggefahr. Ausserdem weist diese Felsflanke eine hangparallele Hauptklüftung auf, die bei umfangreichen Felsausbrüchen das Risiko von grösseren Auflockerungen und Niederbrüchen zur Folge hätte. Es ergab sich folgender Variantenvergleich:

Variante 1

Vorteile:

- günstige hydraulische Verhältnisse
- keine Rohrbrücke

Nachteile:

- umfangreiche Sprengarbeiten in der senkrechten linken Felsflanke mit der Gefahr der Auflockerung im Widerlagerbereich der Sperre
- Fassungsbauwerk eisbruch- und steinschlaggefährdet
- Wasserfassung und Bedienungsebene mit Rechenreinigungsmaschine als Vorbau oder als Halbkaverne
- lange Zufahrtsbrücke erforderlich

Variante 2

Vorteile:

- wenig Sprengarbeiten in der linken Felsflanke
- optimale Zugänglichkeit ohne Brücke

Nachteile:

- ungünstige hydraulische Verhältnisse
- Rohrbrücke erforderlich

Variante 3

Vorteile:

- wenig Sprengarbeiten in der linken Felsflanke
- gute Zugänglichkeit zum Fassungsbauwerk mit kurzer Brücke
- Befriedigende hydraulische Verhältnisse

Nachteile:

- massives Bauwerk im See
- Rohrbrücke erforderlich, jedoch kürzer als in Variante 2

4.3 Gewählte Variante

Um die geologischen und topographischen Verhältnisse

möglichst gut zu berücksichtigen, wurde die Variante 3 zur Ausführung ausgewählt.

Die Triebwasserfassung besteht aus dem Entnahmeturm mit Zufahrtsbrücke ab der Bedienungsebene sowie der Rohrbrücke. Das gesamte Fassungsbauwerk ist als Stahlbetonkonstruktion ausgebildet.

Das Betriebswasser für die beiden Kraftwerke Albula-Sils und Albula-Domleschg wird im Entnahmeturm in 2 hydraulisch getrennten nebeneinanderliegenden Einläufen gefasst. Sie weisen eine Höhe von 9,00m und eine Breite von je 4,90m auf und sind mit einem Einlaufrechen aus Fischbauchprofilstäben versehen. Bei einem Stababstand von 40mm ergeben sich mittlere Nettoeinlaufgeschwindigkeiten von 0,85m/s. Der Rechen wurde auf 6 t/m² Last bemessen, was den Einbau von 2 Zwischenabstützungen erforderte.

Die Rechenreinigungsmaschine liegt etwa 20m über der Sohle der Fassung. Sie ist fahrbar und wird automatisch gesteuert. Das Rechengut wird in eine Welaki-Mulde gefördert und kann mit Muldenkippern über die 25m lange Zufahrtsbrücke abgeführt werden.

Etwa 10m hinter dem Einlaufrechen können die Fassungen mit je einer Einlaufschütze abgesperrt werden. Die Einlaufschütze ist als Nassschacht-Rollschütze mit 4 Rollen ausgebildet. Das Gewicht einer Schütze beträgt rund 16 Tonnen. Die hydraulischen Zugpressen und alle Antriebs- und Steuerungsorgane sind in einem knapp über dem Stauziel liegenden Antriebs- und Bedienungsraum angeordnet.

Der Entnahmeturm ist auf zwei bis zu 30m hohen, abgetreppten massiven Wandscheiben fundiert.

Die vollständig im Staubecken liegende Rohrbrücke ist im normalen Betriebszustand nicht sichtbar. Sie leitet das Betriebswasser aus dem Entnahmeturm zu den neuen Druckstollenanschlüssen in der linken Talflanke über. Die Rohrbrücke ist als zweizelliger Stahlbetonkasten ausgebildet. Der Querschnitt ist quadratisch mit einer lichten Weite von je 3,20m x 3,20m. Die Betonstärke beträgt 55cm. Das statische System besteht aus einem Sprengwerk. Die Rohrbrücke ist schlaff armiert und monolithisch ohne Dilatationsfugen mit dem Entnahmebauwerk und dem Druckstollen verbunden. Eine Auflagerschwelle leitet die Auflagerkräfte der Rohrbrücke in den Fels der linken Talflanke ein.

Die Staumauer Solis wurde Anfang Mai 1986 nach dreieinhalbjähriger Bauzeit in Betrieb genommen.

Adresse des Verfassers: *Peter Stöckli*, dipl. Ing. ETHZ; IBA, Ingenieurbüro für bauliche Anlagen, Abt. der Industriellen Betriebe der Stadt Zürich, 8023 Zürich.