

Zeitschrift: Wasser- und Energiewirtschaft = Cours d'eau et énergie
Herausgeber: Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband
Band: 38 (1946)
Heft: 5-6

Artikel: Die Bergeller Wasserkraft-Projekte
Autor: Heim, O.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-921364>

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: 18.04.2026

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



Albigna-Staubecken

gegen Süden mit Albignagletscher.

(Abb. 0 zum Artikel «Die Bergeller Wasserkraft-Projekte»)

Die Bergeller Wasserkraft-Projekte¹

Von Ing. O. Heim, Elektrobank, Zürich

In der letzten Zeit wurden dem Wasserschloss Graubünden sowohl in der Presse als auch in Fachkreisen vermehrte Aufmerksamkeit geschenkt. Es tauchen vor allem immer wieder die Projekte des Hinterrheins, der Greina und des Unterengadins auf und ausnahmsweise der Bergeller Kraftwerke, auf die sich die nachfolgenden Ausführungen beziehen. Regierungsrat *Liesch* hat in seinem Vortrage vom 18. Dezember 1945 die Bergeller Kraftwerksgruppe, bestehend aus den beiden Stufen Albigna und Castasegna, als ausbauwürdig und ausserdem als baureif bezeichnet, da die Konzession bereits seit 1942 erteilt ist.

Die Bedeutung der Bergeller Kraftwerke in energiewirtschaftlicher Hinsicht zeigt das Diagramm (Abbildung 1) über die mögliche Energieproduktion einiger projektierter Kraftwerke, und zwar für die drei grössten Projekte Urseren, Superdixence und Hinterrhein und ausserdem für die bekannteren, grösseren Bündner Projekte, unter denen die Bergeller Kraftwerke mit 300 Mio kWh sich verhältnismässig bescheiden ausnehmen. Ihre Produktion übersteigt aber beispielsweise um mehr als 50 % die der bestehenden Kraftwerksgruppe Klosters-Küblis und erreicht rund 40 % der möglichen Energieproduktion aller bestehenden und im Bau befindlichen Bündner Elektrizitätswerke.

Die erwähnte Bauwürdigkeit ist schon vor mehr als 25 Jahren für die Gefällsstufe Albigna erkannt worden; es gibt in der Schweiz wohl kaum ein zweites

Gewässer mit so konzentriertem Gefälle wie dasjenige der Albigna; können doch mit einer Wasserzuleitung von nur 2,1 km Länge rund 1000 m Gefälle nutzbar gemacht werden. Zur Illustrierung dieses Hauptvorteiles ist in der Abbildung 2 das Uebersichtslängenprofil der zweistufigen Bergeller Kraftwerksgruppe den Längenprofilen der zwei bekannten Hochdruckkraftwerkprojekte Urseren und Hinterrhein gegenübergestellt. Das Längenprofil der Bergeller Kraftwerke endigt nach 1458 m Gefälle beim Längenkilometer 11,6, das Urserenprofil nach 1160 m Gefälle bei km 22 und das Hinterrheinprofil mit 900 m Gefälle bei km 21.

Einer der Hauptgründe, warum dieses Projekt trotz dieses Vorteiles und seines relativ hohen Alters noch nicht zur Ausführung gelangte, geht aus den folgenden Ausführungen hervor. Das Bergell liegt in bezug auf das Zentrum nicht nur des schweizerischen Energieabsatzes, sondern auch der Baumaterial- und Ma-

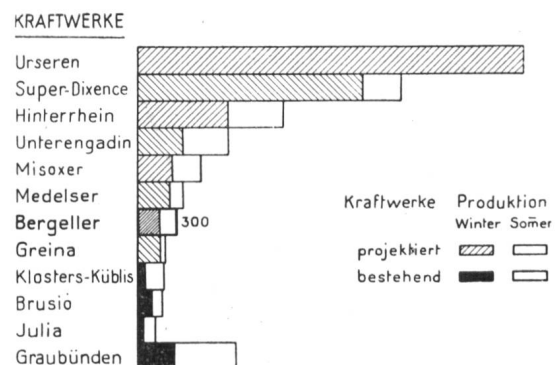


Abb. 1
Mögliche Energieproduktion in Mio kWh einiger projektierter Kraftwerke.

¹ Auszug aus dem Vortrag vom 26. Februar 1946 im Linth-Limmat-Verband.

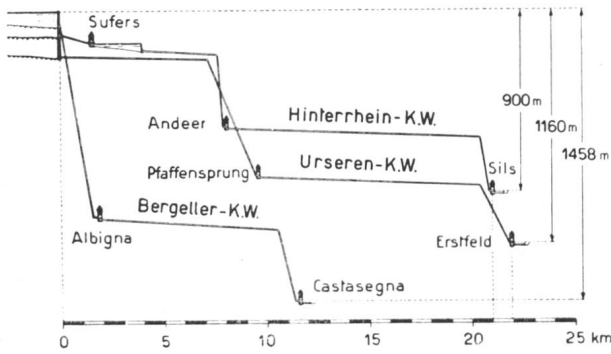


Abb. 2 Uebersichts-Längenprofile.

schinen liefernden Industrie in einer exzentrischen Lage. Ueber 180 km beträgt beispielsweise die kürzeste Distanz Vicosoprano—Zürich, die für die Energie-Uebertragung in Frage kommen könnte. Für den Transport des Grossteils des Baumaterials vom Industriezentrum Zürich zum Beispiel bis auf die Baustelle ist mit einer Distanz von 235 km zu rechnen. Die Schwerlasten, wie die Maschinen, haben den Weg über den Gotthard via Chiasso und Chiavenna einzuschlagen, der 367 km beträgt und somit länger ist als die Strecke Romanshorn—Genf. Das italienische Energieabsatz- und Industriezentrum Mailand hingegen liegt nur 130 km von Vicosoprano entfernt, was begreiflich macht, dass sich italienische Elektrizitätsgesellschaften schon öfters für die Konzession der Albigna-Wasserkraft interessiert haben, abgesehen davon, dass sie indirekt aus der Regulierung der Maira Nutzen ziehen werden. Dass auch verhältnismässig grosse Höhendifferenzen beim Materialtransport zu überwinden sind, geht aus folgenden Zahlen hervor: Während von Zürich via Gotthard 3000 m Höhendifferenz, und via Engadin 2800 m überwunden werden müssen, ergibt sich ab Mailand eine Höhendifferenz von nur 2080 m. Angesichts der geschilderten unvorteilhaften Transport-

verhältnisse für das Material, die in der für diese Projektstudien getroffenen ungünstigen Annahme, dass sämtliches Material schweizerischer Provenienz sei, besonders ins Gewicht fallen, waren die Projektverfasser in den letzten Jahren bemüht, Lösungen zur Verringerung dieses Teuerungsfaktors zu suchen. Sie fanden sie, wie aus dem Schlussergebnis zu ersehen ist, indem sie an Stelle des den früheren Projekten zugrunde gelegten massiven einen aufgelösten Staumauertyp in Vorschlag bringen, oder für die Zuleitung an Stelle von Druckstollen und Druckleitung einen wesentlich weniger Material benötigenden Druckschacht vorschlagen.

Die Abbildung 3 gibt eine Uebersicht über das von den Bergeller Gemeinden im Sommer 1942 konzessionierte zweistufige Kraftwerkprojekt. In der oberen Stufe, dem Kraftwerk Albigna, sollen die Abflussmengen der Albigna aus einem Einzugsgebiet von 20,5 km² genutzt werden, von dem über 50 % vergletschert sind. Die untere Stufe, das Kraftwerk Castasegna, nutzt die Wassermengen der Albigna, der Maira und der Bondasca aus, mit einem Einzugsgebiet von insgesamt 137 km² Oberfläche. Im Bestreben, einen Ausgleich der vorwiegend im Sommer anfallenden Wassermengen zu erzielen, wurden sämtliche Speichermöglichkeiten im Bergell aufs gründlichste überprüft und zwar nicht nur in topographischer und geologischer Hinsicht, sondern auch in bezug auf ihre Wirtschaftlichkeit. Die im Jahre 1922 in der «Schweizerischen Bauzeitung» veröffentlichten Vorprojekte sahen vor, die Orlegna im Zusammenhang mit dem Silsersee in der Kraftwerkstufe Maloja-Vicosoprano nutzbar zu machen. Spätere Projektstudien wollen die obere Maira im Zusammenhang mit dem Bergseelein im Val Duan ausnutzen. Die kürzlich vom Amt für Wasserwirtschaft herausgegebene Mitteilung Nr. 28 erbringt den Nachweis, dass die Gefällsstufe der oberen Maira mit einem Speicherbecken von 13,8 Mio m³ Inhalt und dem Maschinenhaus in Vicosoprano ausgebaut werden könnte, dass aber mit einem prohibitiven Preis für die 24stündige Winterenergie von 11 Rp./kWh ab Werk gerechnet werden müsste. Alle während mehr als 25 Jahren durchgeführten Projektstudien kamen zum Ergebnis, dass im Bergell nur auf der Alp Albigna ein wirtschaftlich tragbares Speicherbecken erstellt werden kann.

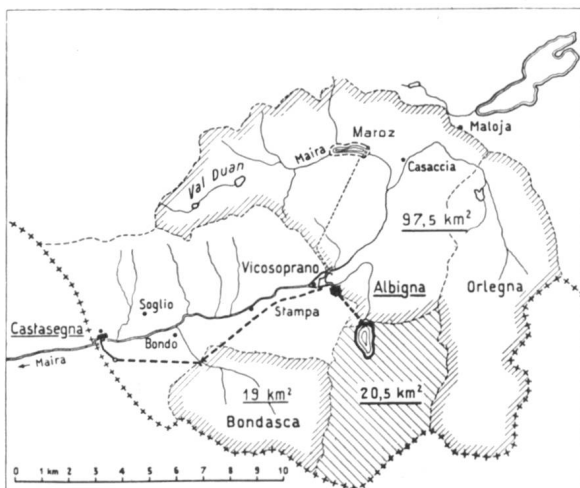


Abb. 3 Uebersichtsplan der Bergeller Kraftwerke.

Die Abbildung 4, eine Aufnahme vom Piz Salacina bei Maloja nach Westen ins Bergell, gibt eine Uebersicht über das für die projektierten Anlagen in Frage kommende Gelände. Von der eingezeichneten Staumauer auf der Alp Albigna leitet ein Druckschacht das Wasser direkt in das Haupttal, das von der Maira durchflossen wird. Dieser Fluss wird bei



Abb. 4 Das Bergell vom Piz Salacina aus gesehen.



Abb. 5 Hochwasserschäden im September 1927.

Vicosoprano gefasst und gemeinsam mit der Albigna vermittelt eines Stollens im linken Talhang abgeleitet. Unterwegs wird von links die Bondasca in den bis an die Schweizergrenze bei Castasegna führenden Stollen eingeleitet.

Es folgt nun die Beschreibung der einzelnen Bauobjekte der zwei Kraftwerkprojekte. Entsprechend der sich über mehr als 25 Jahre erstreckenden Projektierungszeit zeigen die verschiedenen Konzessionsprojekte sehr anschaulich die Entwicklung der Technik in diesem Zeitraum. Von der Schaffung eines Staubeckens auf der Alp Albigna zur Bannung der Hochwassergefahr war schon vor mehr als 40 Jahren die Rede. Schon im Jahre 1905 schlug Prof. Dr. Albert Heim in seinem geologischen Gutachten vor, ein Hochwasser-Schutzbecken zu schaffen und die Hochwasser in einem Stollen im linken Berghang abzuleiten. Doch erst ein Vierteljahrhundert später, nachdem der Wildbach Albigna im Sept. 1927 (Abb. 5) Millionen-Schäden an Kulturen und Bachverbauungen angerichtet hatte, wurde ernsthaft an die Durchführung eines wirksamen Hochwasser-Schutzes herangegangen. Dieser besteht aus einem Retentionsbecken

von 2,9 Mio m³ Nutzinhalt, das durch die in den Jahren 1930 und 1931 erstellte Staumauer geschaffen wurde und aus einem offenen Umleitstollen für maximal 11 m³/sec.

In geologischer Hinsicht eignet sich die Alp Albigna, eine vom gleichnamigen Gletscher im Granit ausgewaschene Felswanne, vorzüglich für ein Staubecken. Keines der geologischen Gutachten der Professoren Heim, Hug und Staub hegt die geringsten Zweifel an der absoluten Dichtigkeit des Beckens. Da der Talboden nur geringe Ausdehnung hat, seitlich von steilen Berghängen und hinten schon in 1,2 km Distanz von der Sperrenstelle durch den Gletscher abgeschlossen wird (Abb. 6, Seite 51), bedingt die Schaffung eines Nutzinhaltes von mehr als 20 Mio m³ die Errichtung einer verhältnismässig hohen Staumauer. Während bei der Albigna mit einem 100 m hohen Stauobjekt 50 Mio m³ akkumuliert werden können, speichert man mit der gleichen Stauhöhe beim Urserenwerk beispielsweise das sechsfache. Im nutzbaren Stauraum zeigen die im Verlauf von 25 Jahren ausgearbeiteten Projekte, wie aus der Abbildung 6 hervorgeht, eine stetige Steigerung und zwar

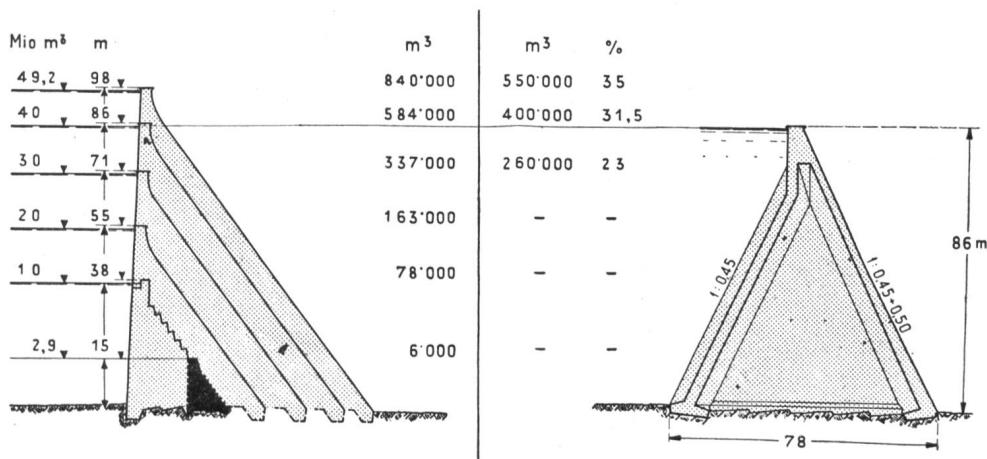


Abb. 6 Kraftwerk Albigna, Staumauerprofile und -volumen.

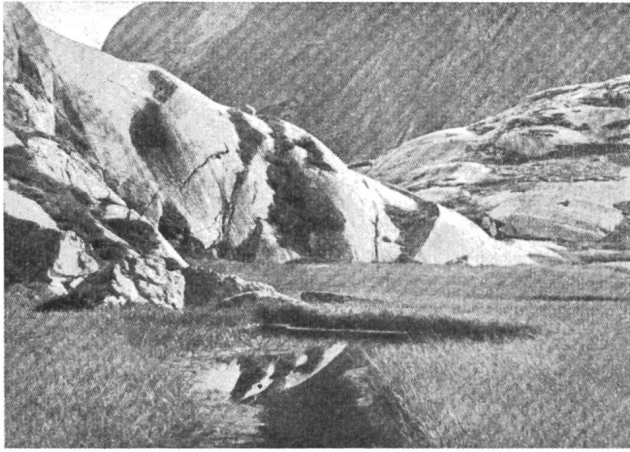


Abb. 7a Sperrstelle von der Oberwasserseite.

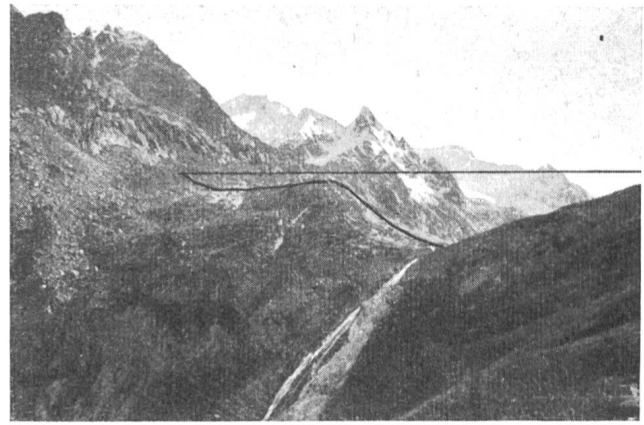


Abb. 7b Sperrstelle von der Unterwasserseite.

beginnend mit 10,5 Mio m³ in den zwanziger Jahren und abschliessend mit dem 4- bis 5fachen Volumen in den Projekten der letzten Jahre. Als man im ersten Konzessionsprojekt nur 10,5 Mio m³ Nutzvolumen vorschlug, rechnete man mangels Wassermessungen mit einem viel geringeren Wasserabfluss und erachtete die Höhe von 40 m des zu erstellenden Stauobjektes als ein Wagnis. Einige Jahre später, nachdem bereits die Staumauer Barberine mit 79 m Höhe als erste grössere Mauer in der Schweiz die Feuerprobe bestanden hatte, wagten es die damaligen Projektverfasser im Jahre 1923, ein Staubecken für 20 Mio m³ Nutzinhalt vorzuschlagen, das eine Staumauer von bereits 55 m Höhe erfordert hätte. Nun folgte die 110 m hohe Wäggitallmauer und die 114 m hohe Spitallammsperre im Oberhasli, die Veranlassung dazu gaben, das Projekt für das Staubecken auf der Albigna erneut einer Revision zu unterziehen. Es entstand eine Variante für 25 Mio m³ Nutzinhalt und bald darauf das im Jahre 1933 veröffentlichte Projekt mit 30 Mio m³ Nutzvolumen und 71 m hoher Mauer. Im April 1942 erlosch die alte Konzession vom Jahre 1923, und die Gemeinde Vicosoprano erteilte in der Folge auf Grund des von der *Elektrobank* ausgearbeiteten Projektes für 30 Mio m³ Nutzinhalt eine neue Konzession. In Erkenntnis, dass, gestützt auf die vom Amt für Wasserwirtschaft durchgeführten Wassermessungen, mit grösseren Abflussmengen gerechnet werden kann, und unter Berücksichtigung der Tatsache, dass der Kleine Rat des Kantons Graubünden, unterstützt von den Bundesbehörden, in der Genehmigung der Konzession der Erwartung Ausdruck gab, dass bei der Detailprojektierung wenn immer möglich Massnahmen zur Erhöhung der Winterenergieproduktion getroffen werden sollten, erhöhte man den Stauraum von 30 auf 40 Mio m³, welcher mit einer 86 m hohen Staumauer geschaffen werden kann. Das jüngst veröffentlichte Projekt des Amtes

für Wasserwirtschaft in Bern basiert sogar auf einem Speichervolumen von 49,2 Mio m³ mit einer max. Mauerhöhe von 98 m als oberster ausbaumöglicher Grenze.

Die folgenden Ausführungen gelten dem Hauptobjekt der Bergeller Kraftwerkgruppe, der *Staumauer*. Wie bei der Seeuferegg- und Gelmermauer der Oberhasliwerke liegen an der Sperrstelle ausserordentlich günstige geologische Verhältnisse vor. Ein vom Gletscher glatt geschliffener, gesunder Granitriegel bildet den Abschluss des Talbodens und eignet sich somit vorzüglich für die Fundierung einer Talsperre und zwar unabhängig vom Ausführungstyp (siehe Abbildungen 7a und b). Die nähere Ueberprüfung der Sperrstelle hat gezeigt, dass die Form des in Frage kommenden Abschlussprofils nicht günstig ist. Für eine 100 m hohe Staumauer ergibt sich beispielsweise eine mehr als doppelt so grosse Kronenlänge als bei der Schöllenenmauer der Urserenwerke bei gleicher Höhe. Entsprechend ergeben sich für den massiven Schwergewichtstyp relativ hohe Betonvolumen. Bei 100 m maximaler Mauerhöhe erreicht das Volumen 840 000 m³, während das Volumen der 110 m hohen Wäggitallmauer nur 236 000 m³ d. h. nur 28 % beträgt. In Berücksichtigung dieser Tatsache und des Umstandes, dass die Investitionen für das Stauobjekt rund 70 % der Kosten der ganzen Kraftwerksanlage Albigna ausmachen, ist es verständlich, wenn der Konzessionsinhaber Mittel und Wege sucht, Einsparungen an diesem Hauptbauwerk zu erzielen. Die Ausführung einer Bogenmauer mit Uebertragung der Kräfte auf die Flanken steht wegen der talwärts ausgebauchten Grundrissform ausser Diskussion. Es kommt nur eine aufgelöste Schwergewichtmauer vom Typ Lucendro in Frage. Die Abbildung 6 zeigt den Vergleich zwischen dem massiven und aufgelösten Schwergewichtstyp, wie ihn das Projekt der Elektrobank vom Jahre 1944 für eine Staubecken-

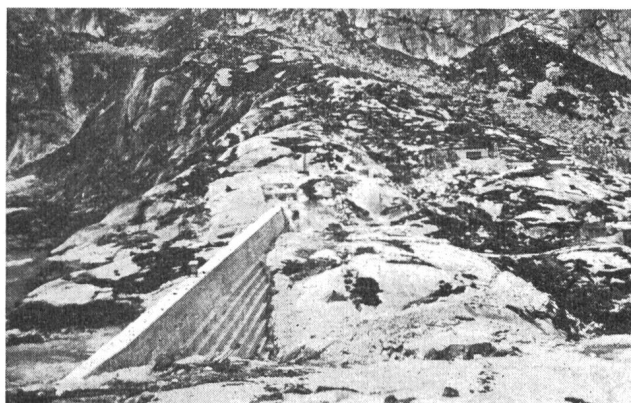


Abb. 8 Bestehende Hochwasserschutzmauer.

Variante mit 40 Mio m³ Nutzinhalt wiedergibt. Die linke Seite der Abbildung enthält die bereits in den Ausführungen über das Staubecken erwähnten Projektvarianten für den Nutzinhalt mit den sich hierfür ergebenden maximalen Staumauerprofilen. Für das 30 Mio m³-Projekt wurde auf speziellen Wunsch noch ein etappenweiser Ausbau studiert, wobei für die erste Etappe der Ausbau für 10 Mio m³ Nutzvolumen in Frage gekommen wäre. Für diesen Fall wurde die luftseitige Oberfläche der Talsperre abgestuft vorgeschlagen, um die spätere Erhöhung einwandfrei durchführen zu können. Bei sämtlichen Projekten mit massiven Mauern ist vorgesehen, die bestehende Hochwasserschutzmauer (Abbildung 8) dem Kern der neuen Mauer einzuverleiben. Einzig beim etappenweisen Ausbau wäre es angezeigt, den ersten Teil der neuen Mauer der bestehenden vorzusetzen, um die spätere Erhöhung der Sperre für den Vollausbau ohne Betriebsunterbruch durchführen zu können. Rechts auf der Abb. 6 erkennt man den maximalen Querschnitt des aufgelösten Mauerwerktyps, System Nötzli. Dieser Typ entspricht im Prinzip demjenigen, der bei der Lucendro-Mauer in Ausführung begriffen ist und für die Splügen-Mauer vorgeschlagen wurde. Das weite, breitfussige Geländeprofil eignet sich ausgezeichnet für diesen Staumauertyp und ermöglicht Volumenersparnisse bis zu 35 %, wie die in der Mitte der Abbildung wiedergegebenen Zahlen zeigen. Die Ersparnisse an Betonvolumen belaufen sich für die 100 m hohe Mauer auf nahezu 300 000 m³ oder auf rund 75 000 t Zement. Diese Materialersparnis wird sich auf die Kostenersparnis wegen der bereits erwähnten relativ grossen Transportdistanzen und Transporthöhen in grösserem Masse auswirken, als dies bei den meisten übrigen projektierten Staumauern der Fall sein wird.

Der Vollständigkeit halber sei zum Problem der Staumauer noch hervorgehoben, dass der auf Grund des Gesetzes über den Hochwasserschutz der Albigna

zu erhaltende Schutz-Speicherraum dem Konzessionsinhaber erhebliche zusätzliche Kosten verursacht, wie aus folgenden Zahlen hervorgeht. Das jetzige Retentionsbecken von 2,9 Mio m³ Inhalt konnte durch Erstellung einer 15 m hohen Mauer mit 6000 m³ Betonvolumen geschaffen werden. Das gleiche Speichervolumen erfordert bei einer 100 m hohen Staumauer eine zusätzliche Höhe von 2 m, der unter Voraussetzung einer massiven Mauer ein zusätzliches Betonvolumen von über 40 000 m³ entspricht. Rechnet man beispielsweise mit einem Kubikmeterpreis (ohne Installationen) von Fr. 50.-, so ergeben sich für den Bauherrn Mehrkosten von 2 Mio Fr. Für die aufgelöste Mauer ergäbe sich ein etwas geringeres Mehrvolumen, hingegen müssten sich die Kosten für den Abbruch der bestehenden Mauer in Rechnung gesetzt werden. Das Ergebnis aller bautechnischen und wirtschaftlichen Erwägungen zeigt deutlich, dass die aufgelöste Mauer der massiven in bezug auf die Anlagekosten überlegen ist, und zwar betragen die Ersparnisse beispielsweise für die Projekt-Variante mit 40 Mio m³ Nutzinhalt rund 10 % der gesamten Kraftwerkskosten. Weitere Vorteile, die für die Wahl einer aufgelösten Mauer sprechen, sind die Vereinfachungen, die sich für die Anordnung der *Grundablässe* und die Wasserfassung ergeben, wie aus den folgenden Ausführungen hervorgeht: Gegenwärtig besteht, wie bereits erwähnt, ein Umleitstollen mit eingebauter Düse zur Limitierung des Abflussvermögens auf das zulässige Maximum von 11 m³/sec bei der maximalen Staukote 2069. Während der Erstellung der Fundamente und des unteren Teiles der Staumauer bis zu dieser Kote wird der Umleitstollen als Grundablass dienen. Sobald der Stauspiegel diese Kote erreicht, ist der Umleitstollen durch einen Betonzapfen abzuschliessen, da er sonst mehr als die gesetzlich zulässige Wassermenge von 11 m³/sec abführen würde; seine Funktionen werden dann dem neuen Grundablass übertragen. Eine Anpassung der bestehenden Entlastungsanlage mit max. 21,5 m Wasserdruck an die neuen Verhältnisse mit maximal 100 m Druck und Ausflussgeschwindigkeiten bis 40 m/s fällt, da unwirtschaftlich, ausser Betracht. Es ist daher vorgesehen, einen neuen Grundablass in einem der Hohlräume der Staumauer zu erstellen, der nicht nur zur Hochwasserabfuhr, sondern auch zur Entleerung des Beckens bestimmt ist. Er besteht ausser einer eisernen Rohrleitung von 1,5 m Ø, die durch die Staumauer führt, am Einlauf durch einen Rechen geschützt und mit zwei Abschlussorganen versehen wird. Als Sicherheitsorgan, das die Rohrleitung wasserseitig abzuschliessen hat, kommt nur eine robuste Konstruktion in Frage, wie Keil- oder Drehschieber. Für das luftseitige Abschlussorgan, das Regulierorgan, ist ein

Ringschieber mit anschliessendem Konus und Abschlussdeckel vorgesehen. Aus Sicherheitsgründen ist der ganze Grundablass für den doppelten maximalen Wasserdruck berechnet.

Die Wasserfassung, die Abbildung 9 darstellt, ist für max. 12 m³/sec dimensioniert. Da die ganze Zuleitung vom Stausee bis zur Zentrale nur aus einem Druckschacht besteht, hat die Wasserfassung gleichzeitig die Funktion der Apparatekammer oberhalb

einer Druckleitung zu erfüllen. Zur Vermeidung von Vakuumbildung im Falle eines plötzlichen Anlassens der Turbinen bei abgesenktem See muss schon der Einlauftrompete samt anschliessender Rohrleitung ein starkes Gefälle gegeben werden. Dem Einlauf sind Grob- und Feinrechen vorgesetzt. Unter Berücksichtigung des Umstandes, dass im ganzen Einzugsgebiet nur wenig Vegetation vorkommt, ist zur Rechenreinigung keine spezielle Vorrichtung vorgesehen. Es

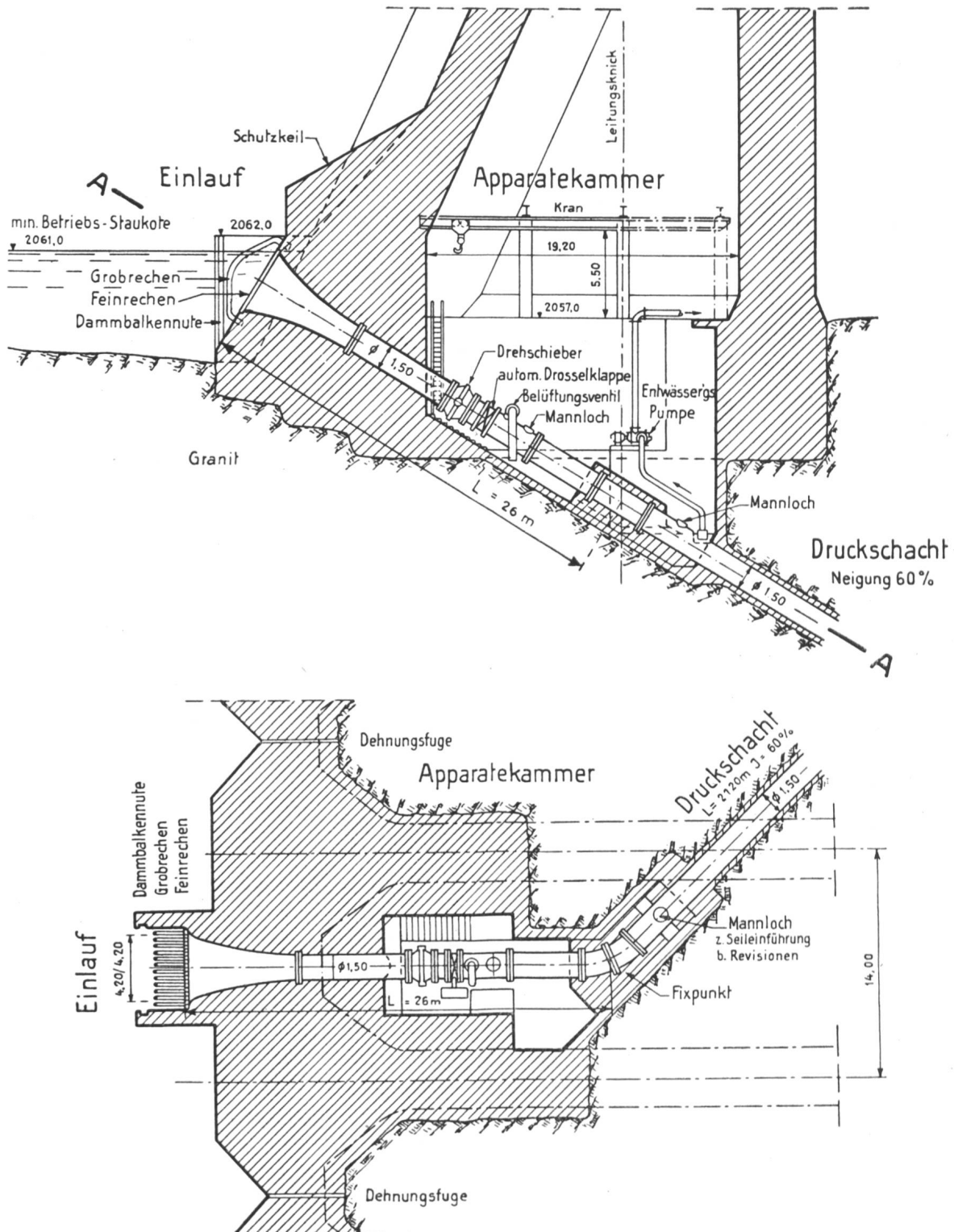


Abb. 9 Kraftwerk Albigna, Wasserfassung. 1 : 400.

wird jedes Frühjahr möglich sein, sobald der See auf sein tiefstes Betriebs-Niveau abgesenkt ist, eine Reinigung von Hand vorzunehmen und zur Durchführung von Reparaturen den Einlauf trocken zu legen, sei es durch Einsetzen von Dammbalken oder durch vollständige Entleerung des Sees mittels des Grundablasses. Als erstes Abschlussorgan kommt wie beim Grundablass nur eine robuste Konstruktion in Frage, die möglichst nahe der wasserseitigen Oberfläche der Mauer anzubringen ist. Der Antrieb kann von Hand oder durch Fernsteuerung von der Zentrale aus erfolgen. Als zweites Abschlussorgan folgt eine automatische Drosselklappe, deren Bedienung auch von der Zentrale aus möglich ist. Für den Fall, dass in den Hohlräumen bei der aufgelösten Staumauer die Temperatur auf Null sinken sollte, würde die ganze Apparatur samt Rohrleitung, soweit sie frei liegt, mit einer heizbaren Kabine umgeben, eine Vorsichtsmaßnahme, die gegebenenfalls auch für das erste Abschlussorgan der Entleerungsleitung zu treffen wäre. Die freiliegende wasserführende Ausrüstung der Apparatekammer ist sicherheitshalber wie bei der Entleerungsleitung für den doppelten maximalen Wasserdruck dimensioniert.

Die Wasserzuleitung vom Stausee bis zur Zentrale (Abbildungen 10 und 13) besteht nur aus einem mit Blech ausgekleideten Druckschacht. Diese vereinfachte Anordnung ohne Druckstollen und Wasserschloss ergibt sich dank dem konzentrierten Gefälle und aus folgenden Erwägungen: Der Druckstollen und der untere Teil des Wasserschlosses müssten voraussichtlich wegen des verhältnismässig hohen Was-

serdruckes bis zu 100 m und der relativ geringen seitlichen Felsüberdeckung mit Blech ausgekleidet werden. Das Stollenprofil wäre aus bautechnischen Gründen grösser zu wählen als das vorgesehene Druckschachtprofil mit 60 % Neigung. Obwohl der horizontale Stollen nur rund 800 m lang würde, erhielte das Wasserschloss wegen der grossen Wasserspiegelschwankung im Stausee die verhältnismässig bedeutende Höhe von 100 m. Eine offene Druckleitung müsste gemäss dem geologischen Gutachten gegen Steinschlag und ausserdem gegen Frostgefahr geschützt werden. Aus diesen Gründen und wegen der steilen Trasse mit 60 bis 128 % Neigung (siehe Abb. 11) wären rund zwei Drittel der Druckleitung, d. h. die Partien, welche auf den anstehenden Fels zu liegen kämen, in Stollen zu verlegen. Für diese als begehbar auszuführenden Schrägstollen wäre ein grösseres Profil vorzusehen als für den dem vorliegenden Projekte zugrunde gelegten Druckschacht. Das verbleibende, auf die Schutthalde entfallende Drittel der Leitung wäre verdeckt im Graben zu verlegen, wobei das für die Eindeckung der Rohre wieder zu verwendende Steinmaterial in dem steilen Gelände nur mit hohen Kosten vorübergehend deponiert werden könnte. Ein indirekter, bedeutender Vorteil der Druckschachtlösung gegenüber der in früheren Projektstudien vorgesehenen Anordnung von Druckstollen — Wasserschloss — Druckleitung besteht darin, dass das aus baulichen Gründen erforderliche Minimalprofil des Druckschachtes ohne wesentliche Mehrkosten eine nachträgliche Erhöhung der Ausbauwas-

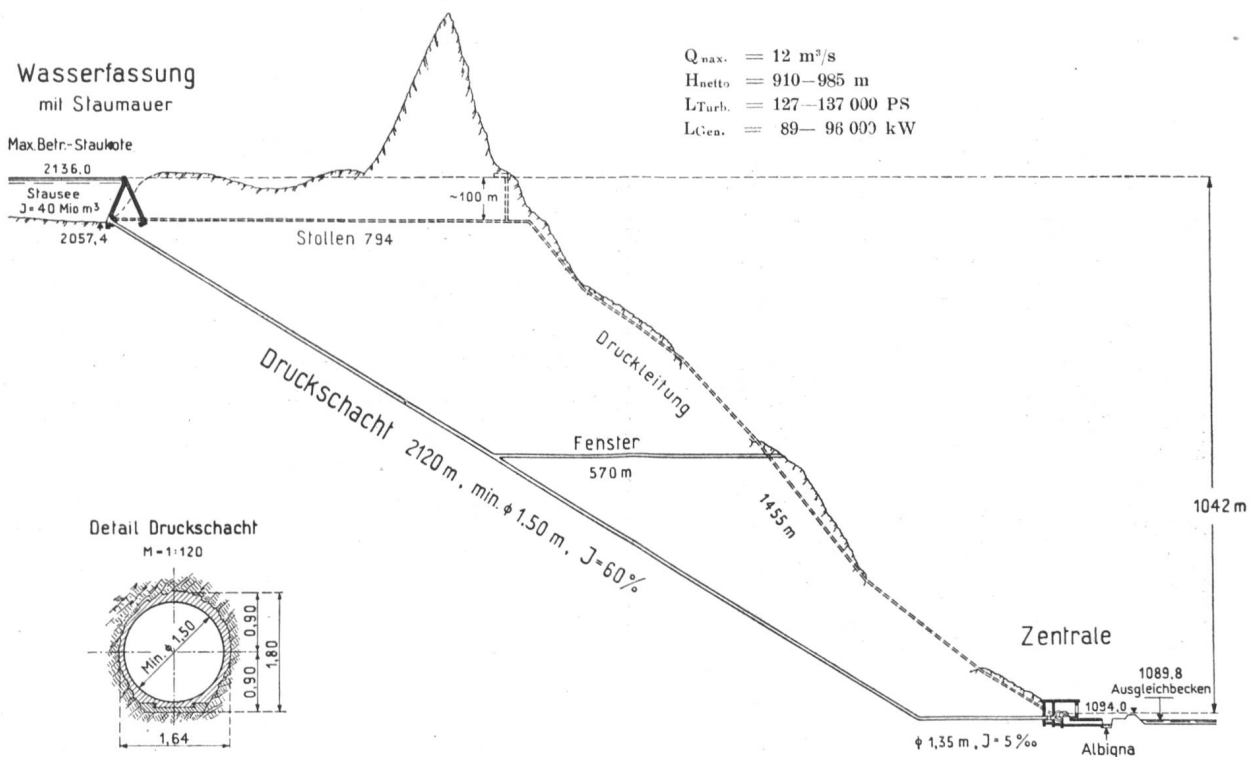


Abb. 10 Kraftwerk Albigna, Längenprofil.

sermenge bis auf $12 \text{ m}^3/\text{sec}$ zulässt. In baulicher Hinsicht ist zu erwähnen, dass in den früheren Projektvarianten das Ausbruchprofil des Schrägschachtes mit einem Durchmesser von $1,80 \text{ m}$ vorgesehen wurde. Da die Frage des Minimaldurchmessers umstritten ist, wurden jedoch die Kosten vorsichtshalber mit einem lichten Durchmesser von $2,10 \text{ m}$ ermittelt.

Die Hauptdaten der Zuleitung sind die folgenden: Die Gesamtlänge vom Einlaufrechen bis zum Turbinenschieber beträgt 2122 m . Der Schrägschacht mit 60% Neigung und einem minimalen lichten Durchmesser von $1,50 \text{ m}$ ist 1850 m lang. Die untere, 246 m lange flache Partie bis zum Turbinenschieber liegt in einer Neigung von 5% und erhält bis zur Verteilleitung auf 210 m Länge einen lichten Durchmesser von $1,35 \text{ m}$. Der Ausbruch des Druckschachtes erfolgt für den unteren Teil von der Zentrale her und für den oberen Teil von einem zu diesem Zwecke auf Kote 1608 zu erstellenden, 570 m langen Fensterstollen. Für die Zu- und Abfuhr des Materials zu diesem Fenster wird eine provisorische Standseilbahn von 800 m Länge, für 515 m Höhenüberwindung, errichtet. Sämtliche im Schrägschacht einzubauenden Rohre werden mit dieser Seilbahn befördert, und zwar im Fenster mit einer Rollbahn und im Schrägschacht mit einer für die Montage erstellten Standseilbahn, wobei die für oberhalb des Fensters bestimmten Rohre zuerst ganz hinauf zu transportieren und beim luftseitigen Staumauerfuss zu lagern sind. Die Montage der Rohrleitung beginnt gleichzeitig von der Zentrale



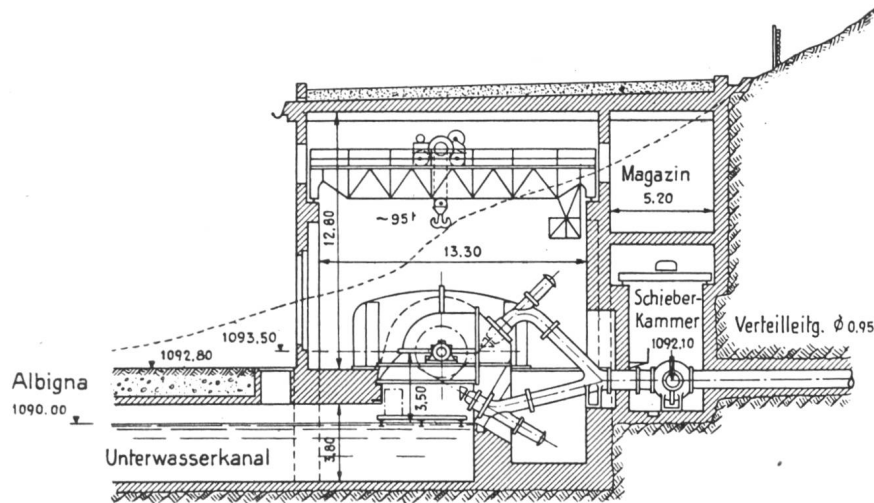
Abb. 11 Kraftwerk Albigna, Druckleitungstrasse (Konzessionsprojekt).

und vom Fensterstollen aus und wird ca. 180 Tage dauern. Erst nach Abschluss der Gesamtmontage wird das in der Apparatekammer den horizontalen Richtungswechsel bildende Knierohr einbetoniert. Für Revisionsarbeiten ist unmittelbar nach dem erwähnten Knierohr ein Mannloch vorgesehen, durch das das Zugseil für den Schrägaufzug eingeführt werden kann. Die Raumverhältnisse in der Apparatekammer gestatten, Rohre bis 12 m Länge einzuführen.

Zur Ermittlung der Rohrstärken wurden in den Partien mit genügender Felsüberdeckung theoretische Blechbeanspruchungen bis 4000 kg/cm^2 und für die Partie unmittelbar vor der Verteilleitung 1600 kg/cm^2 als zulässig angenommen, so dass mit Rohrstärken von minimal 8 mm und maximal 48 mm zu rechnen ist. Das totale Gewicht der Druckschachtpanzerung einschliesslich Verteilleitung beträgt rund 1300 t . Während im Schrägschacht die maximale Wassergeschwindigkeit im Falle des Ausbaues für die höchste in Frage kommende Ausbauwassermenge $6,8 \text{ m/sec}$ erreicht, beträgt sie in der Flachpartie $8,4 \text{ m/sec}$.

Die *Zentrale Albigna* in Vicosoprano (siehe Abbildung 11 und 12) ist wie folgt projektiert:

Bei der ersten Variante mit einem mittleren Nettogefälle von 953 m , die für eine möglichst kurzfristige Abgabe von Tagesenergie vorgesehen ist, würden in zwei Maschinengruppen total 93000 kW max. Leistung eingebaut, bei den übrigen Varianten würde die Ausrüstung mit nur einer Maschinengruppe genügen. Das Maschinenhaus ist, rechtwinklig zum Druckschacht, direkt an den Felsen angebaut. Dabei sind die Schieber in einer separaten Kammer mit eigenem Ausgang sowie einem Kanal für Ableitung des bei eventuellem Rohrbruch austretenden Wassers untergebracht; ihre Betätigung erfolgt durch Fernsteuerung. Im eigentlichen Maschinenraum befinden sich die Turbinen-Generatorengruppen mit ihren zugehörigen Reglern. Es kommen horizontalachsige, einrädriige Peltonturbinen mit zwei Düsen in Frage. Die Generatoren werden mit Wasserkühlung für die Zirkulationsluft und eigener Kühlwasserpumpe versehen. Durch diese Anordnung werden die grossen Luftkanäle vermieden und damit ein kompaktes Fundament erzielt. Gegen das Kopfende zu liegt die Zufahrt mit dem Transformatorengelise von der Freiluftstation her. Das Kopfende enthält im Erdgeschoss eine Werkstätte sowie den Batterieraum und die Hausanlage. Im Zwischengeschoss befindet sich der Kabelverteilerraum. Im Oberstock sind ein Kommandoraum mit Ausblick über Maschinensaal und Freilufttransformatoren- und Schaltanlage und ein kleiner Büreaum angeordnet. Diese Räume sollen genügen, da in Vicosoprano ein eigenes Betriebsgebäude eingerichtet



Ausbauwassermenge	= 12 m ³ /s
Nettogefälle	= 910–985 m
Max. Leistung Turbinen	= 127 000–137 000 PS
» » Generatoren	= 89 000– 96 000 kW
Drehzahl	= 500 t/Min.

Abb. 12
Kraftwerk Albigna, Maschinenhaus. 1 : 400.

wird. Die 150-kV-Freiluft-Transformator- und Schaltanlage liegt zwischen dem Maschinenhaus und der Albigna.

Es folgt die Beschreibung des Kraftwerkes Castasegna, dessen Hauptdaten aus der Uebersichts-Situation und dem Längenprofil hervorgehen (siehe Abb. 13 und 14).

Die grossen Schwankungen der Abflussmengen der Maira werden durch den Albigna-Stausee teilweise ausgeglichen. Im ganzen Einzugsgebiet der Maira lassen sich, wie bereits erwähnt, wegen der ungünstigen topographischen und geologischen Verhältnisse ausser dem Albigna-Stausee keine grösseren wirtschaftlich tragbaren Ausgleichbecken errichten. Um bei Niedrigwasserführung der Maira Tagesspitzen decken zu können, ist in die Wasserfassung ein Ausgleichbecken

eingeschaltet worden. Die Ausbauwassermenge des Kraftwerkes Castasegna ist für max. 15 m³/sec, d. h. für rund die dreifache mittlere Jahresabflussmenge der Maira, in Anpassung an den Ausbau der in der Nähe liegenden oberitalienischen Anlagen, relativ hoch vorgesehen. Das konzessionierte Bruttogefälle beträgt 418 m und das mittlere Nettogefälle rund 360 m.

Die Wasserfassungen in Vicosoprano bestehen aus der Maira-Fassung, der Albigna-Fassung, dem dazwischengeschalteten Ausgleichbecken und dem Unterwasserkanal der Albigna-Zentrale, der zum Teil als Zuleitung des Betriebswassers dieses Werkes zu dem Druckstollen des Kraftwerkes Castasegna dient. Die Maira wird durch ein Wehr mit einer automatischen Segmentschütze und einer Grundablaßschütze

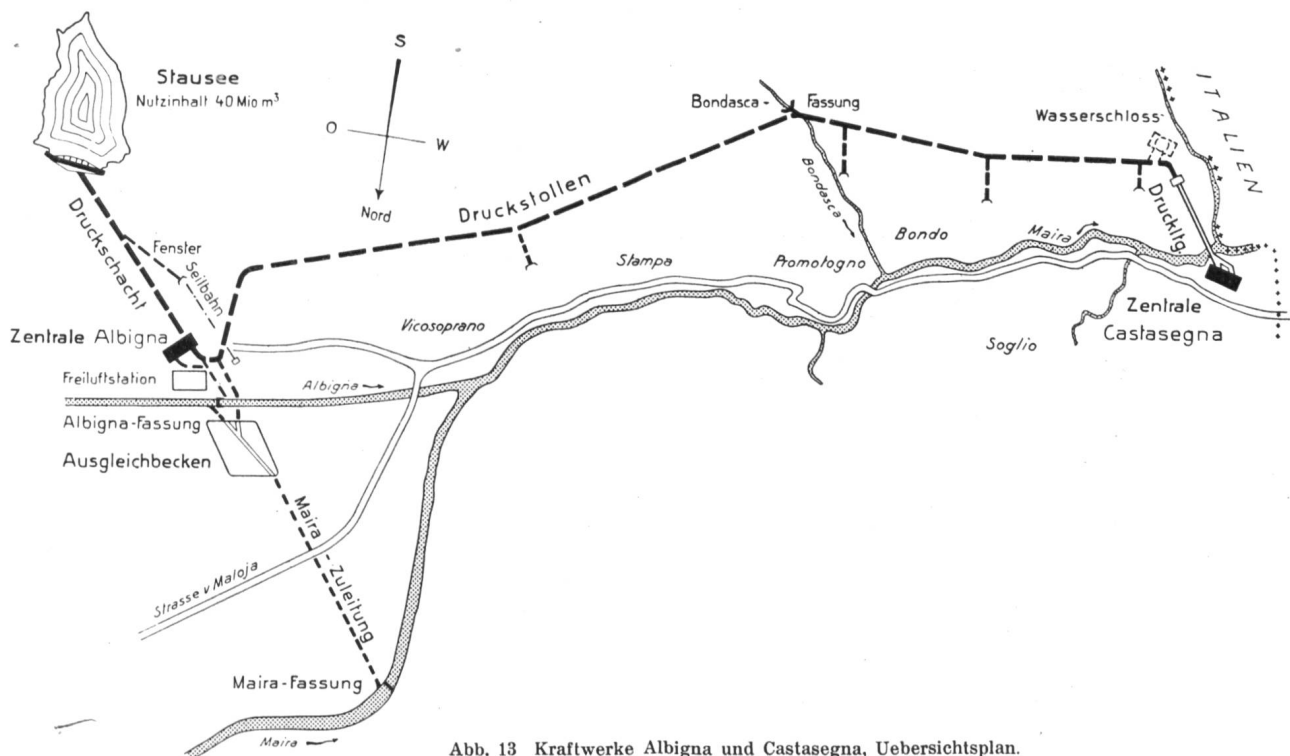


Abb. 13 Kraftwerke Albigna und Castasegna, Uebersichtsplan.

Wasserfassungen

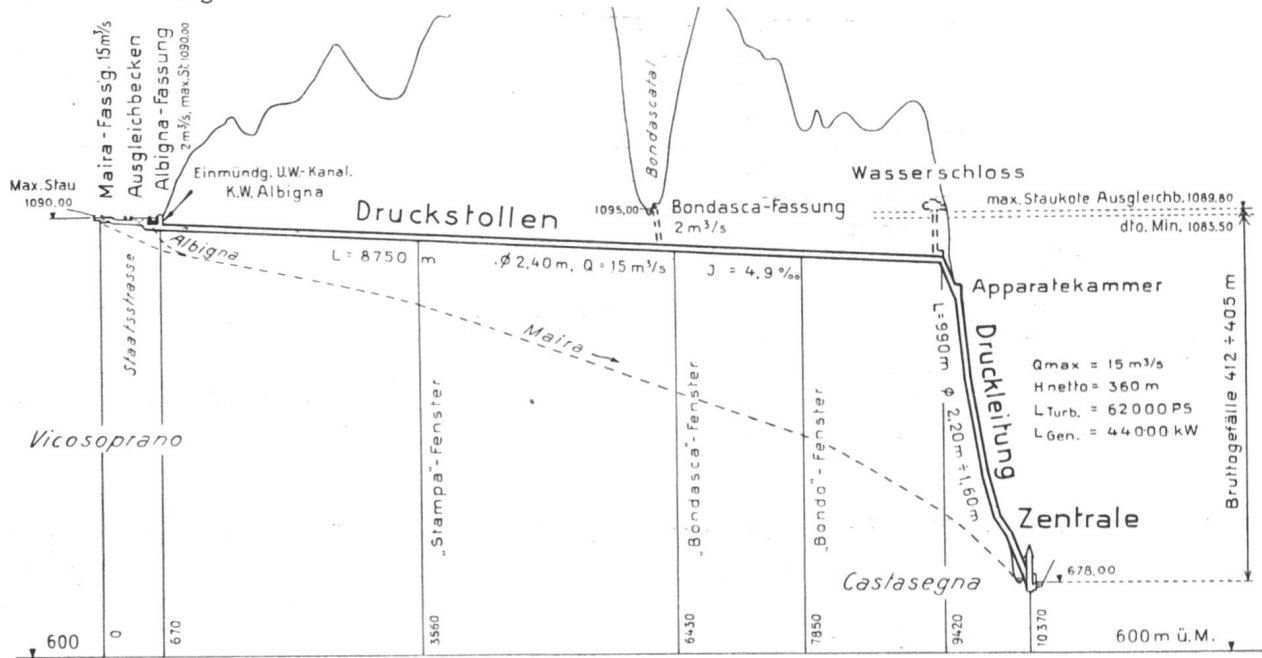


Abb. 14 Kraftwerk Castasegna, Längenprofil.

aufgestaut (siehe Abb. 15). Durch den Einlauf mit Grobrechen wird die Nutzwassermenge über eine Dufour-Entsandungsanlage in ein Ausgleichbecken von minimal 130 000 m³ Nutzhalt geleitet. Im Falle vollständiger Entleerung dieses Beckens oder bei Reparaturarbeiten kann der Betrieb mit dem zu diesem Zwecke vorgesehenen Zuleitungskanal aufrechterhalten werden. Da das Ausgleichbecken in durchlässigen Kiesboden zu liegen kommt, ist eine Verkleidung mit Betonplatten an der Sohle und einem Makadambelag an den Böschungen vorgesehen. Um Auftriebserscheinungen auszuschließen, soll der Beckenuntergrund durch ein Drainagenetz entwässert werden. Das überschüssige Aushubmaterial soll in Deponien angelegt und mit Humus überdeckt werden, um das wenige verlorene Kulturland zu ersetzen, wozu sich ein Teil des Albignabettes oberhalb der projektierten Fassung eignet. Die *Albigna* wird in gleicher Weise wie die *Maira* gefasst, auf Kote 1090,0 aufgestaut und in das Ausgleichbecken eingeleitet. Die Fassung mit einem Dufourentsander ist für max. 2 m³/sec vorgesehen. Der Stolleneinlauf mit horizontalen Feinrechen befindet sich an der tiefsten Stelle des Ausgleichbeckens. Von diesem führt eine Rohrleitung unter der *Albigna* durch bis zum Schieberschacht, d. h. zur Vereinigungsstelle dieser Zuleitung mit dem Unterwasserkanal des Kraftwerkes *Albigna*. Zwei Abschlussorgane im Schieberschacht ermöglichen die Ausschaltung des durch den Unterwasserkanal des Kraftwerkes *Albigna* zufließenden Betriebswassers und des von den Aus-

gleichbecken herkommenden *Maira*- und *Albigna*-Wassers.

Der *Druckstollen* hat vom Schieberschacht bis zum *Wasserschloss* eine Länge von 8750 m. Das Sohlengefälle ist zu 4,9 ‰ angenommen. Daraus ergibt sich für das verkleidete Profil im Falle des Ausbaues für die maximal in Frage kommende Betriebswassermenge von 15 m³/sec ein lichter Durchmesser von 2,4 m. Gestützt auf die geologische Untersuchung des Geländes bleibt das Hauptprofil vollständig unverkleidet. Da der rechte Talhang keine Gewässer von Bedeutung aufweist, während auf dem linken Talhang die aus gletscherreichem Gebiete stammende *Bondasca* gefasst werden kann, ist die Stollentrasse linksufrig gewählt. Der *Druckstollen* ist durch drei Fenster in vier Abschnitte unterteilt. Im unteren Drittel wird das *Bondasca*-Wasser so gefasst und eingeleitet, dass eine Ueberführung in das Ausgleichbecken *Vicosoprano* möglich ist. Da die Terrainverhältnisse für die Errichtung einer Entsandungsanlage ungünstig sind, wird vorerst nur mit der Nutzung der Winterwasser gerechnet. Ca. 250 m vor der italienischen Grenze endigt der Stollen beim *Wasserschloss*. Dieses erhielt die übliche Anordnung mit unterer und oberer Reservoirkammer, verbunden durch einen vertikalen Steigschacht von rund 50 m Höhe. Die Zuleitung des Wassers findet ihre Fortsetzung in einem 150 m langen Rohrstollen, der beim Austritt ins Freie durch eine *Apparatekammer* abgeschlossen wird.

Die oberirdische *Druckleitung* führt von der Apparatkammer in gerader Richtung auf eine Länge von 990 m in der Fallinie des Hanges durch Wald und Wiesen direkt zur Maira. Da sich auf dem linken Ufer kein geeignetes Gelände für die Zentrale findet, muss die Rohrleitung über eine Brücke oder je nach den Terrainverhältnissen durch das Flussbett auf das rechte Ufer der Maira geführt werden, wo der Rohrkrümmer für den einzigen horizontalen Richtungswechsel untergebracht ist. Die ganze Druckleitungs-trasse ist in fünf Gefällstufen mit maximal 90 % Gefälle unterteilt, so dass vier Fixpunkte zur Verankerung der Rohrkrümmer erstellt werden müssen. Es ergeben sich folgende Dimensionen für die verschiedenen Varianten: Die Rohrleitung erhält einen Durchmesser von 2,20 bis 1,60 m und Blechstärken von 10 bis 31 mm. Die Verteilleitung ist vor der

wasserseitigen Fassade der Zentrale vorgesehen und kommt über den Unterwasserkanal zu liegen. Jeder Strang erhält als Abschlussorgan einen doppelseitig schliessenden Schieber.

Das *Maschinenhaus* (Abb. 16) kommt an das obere Ende der flachen Partie auf dem rechten Ufer der Maira zu liegen. Seine Lage ist bestimmt durch die Druckleitung und den Unterwasserkanal. Die elektro-mechanische Ausrüstung besteht in zwei vertikalachsigen Gruppen von total 50 000 kW Leistung mit unter Gegendruck laufenden Francis-Spiralturbinen. Durch grosse Bodenöffnungen können mit dem Maschinenhauskran sowohl die Turbinen mit nach oben ausbaubarem Lauf-rad als auch die Schieber montiert werden. Die Ueberwachung wird dadurch sehr übersichtlich. Der Ma-

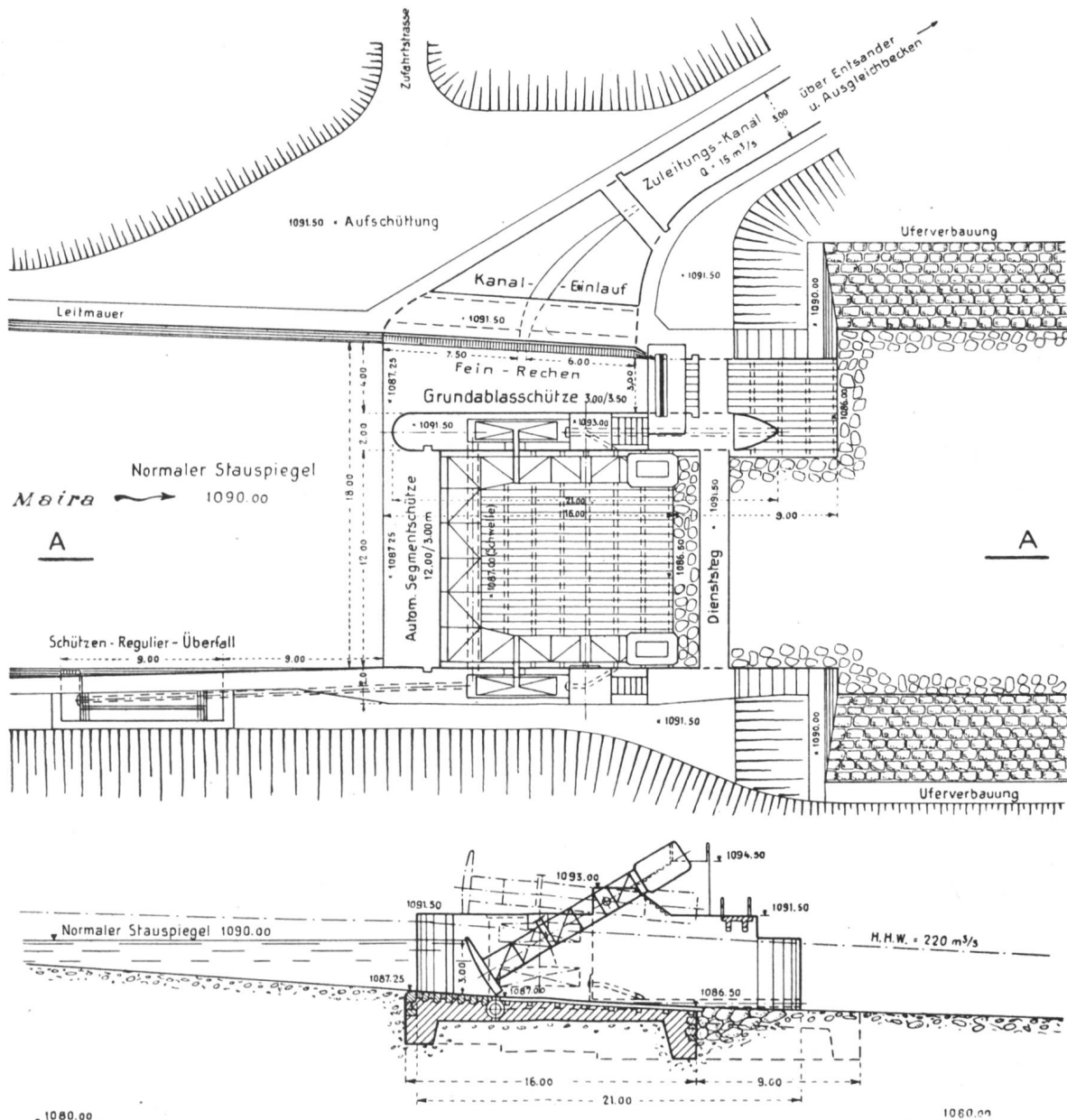


Abb. 15 Kraftwerk Castasegna, Wasserfassung an der Maira. 1 : 400.

schinenhauskopf enthält im Untergeschoss die Generatorhilfsschiene, ferner Hausanlage und Batterie. Darüber liegt der Kabelverteilerraum. Im ersten Obergeschoss ist der Kommandoraum untergebracht und im zweiten befinden sich die Bureaux und Magazinräume.

Die 150-kV-Freiluft-Transformator- und Schaltanlage ist unterhalb des Maschinenhauses angeordnet. Zur Uebertragung der Energie der beiden Kraftwerke sollen zwei 150-kV-Fernleitungen dienen. Von diesen wird die eine von 42 km Länge von Vicosoprano über den Septimer nach Tiefenkastral führen, wo der Anschluss an das nordostschweizerische Höchstspannungsnetz erfolgt. Die andere Leitung geht über Castasegna zu der 22 km entfernten grossen Schaltstation Mese bei Chiavenna, von wo jährlich über eine Milliarde kWh aus den benachbarten italienischen Kraftwerken nach Mailand und der Lombardei abtransportiert werden.

Aus dem Diagramm der natürlichen Abflussmengen (Abbildung 17) geht eindeutig hervor, dass eine Nutzung der Albigna und der Maira ohne Speicherbecken kaum wirtschaftlich wäre, fliessen doch in sieben Wintermonaten bei der Albigna nur 11 % und bei der Maira, einschliesslich Albigna und Bondasca, nur 18 % der Jahreswassermengen ab. Dank dem Jahresspeicher auf der Albigna mit 40 Mio m³ Nutzhalt kann das Abflussregime dieser Gewässer derart verbessert werden, dass die Winternutzwassermengen der Albigna 83 % und diejenigen der Maira 36 % der Jahresnutzwassermengen erreichen. Selbstver-

ständiglich könnte theoretisch dieser Prozentsatz für die Albigna auf 100 getrieben und dementsprechend für die Maira auch eine weitere Verbesserung erzielt werden. Doch hat die wirtschaftliche Ueberprüfung der Grösse des Speicherbeckens gezeigt, dass das 40-Mio-m³-Projekt bereits ein Optimum ist. Bei diesem Ausbau wird es gerade noch möglich sein, das Becken auch im trockensten Jahr mit einem Abfluss von 44 Mio m³ zu füllen. Die Berechnungen der Energieproduktion basieren auf der Annahme, dass die beiden Werke die Energie während der sieben Wintermonate Oktober bis April möglichst konstant abzugeben haben. Im Bedarfsfall im Winter könnte eine Konzentrierung der Energieabgabe so erfolgen, dass 70 % der Winterenergie in fünf Monaten abgegeben würden. Die Energiedisponibilität in den beiden Werken beläuft sich auf rund 300 Mio kWh, wovon 54 % auf den Winter entfallen.

Die Anlage- und Energiegestehungskosten wurden auf der Preisbasis 1939 ermittelt, um sie mit bestehenden und projektierten Wasserkraftwerken vergleichen zu können. Die Kostenberechnung basiert auf der Hypothese, dass sämtliches Baumaterial schweizerischen Ursprungs sei, also mit hohen Transportkosten belastet wird, und dass nur schweizerische Arbeitskräfte in Frage kommen. Diese Voraussetzung ist eine der Hauptursachen für die Kostenerhöhung gegenüber den früheren Projektvarianten. Die Beiträge für die Tief- und Hochbauarbeiten, für die Blechpanzerung des Druckschachtes, die

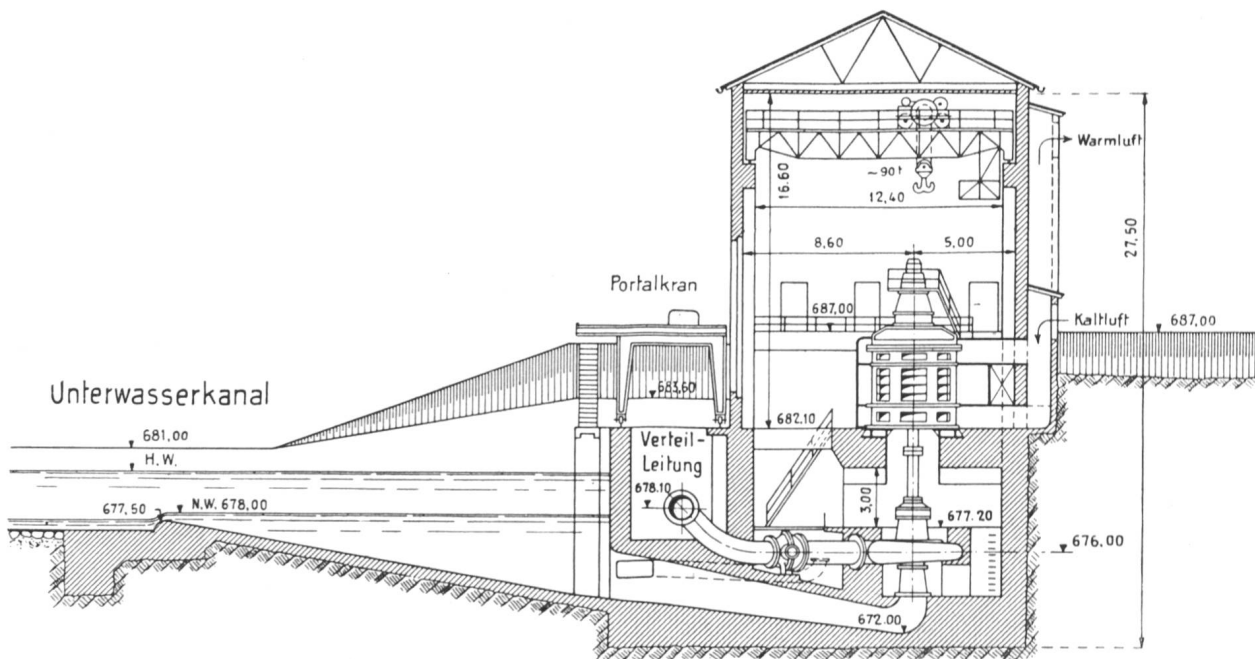


Abb. 16 Kraftwerk Castasegna, Maschinenhaus. 1 : 400.

Ausbauwassermenge = 15 m³/s. Mittleres Nettogefälle = 360 m.
 Max. Leistung Turbinen = 62 000 PS. Max. Leistung Generatoren = 44 000 kW.
 Drehzahl = 750 t/Min.

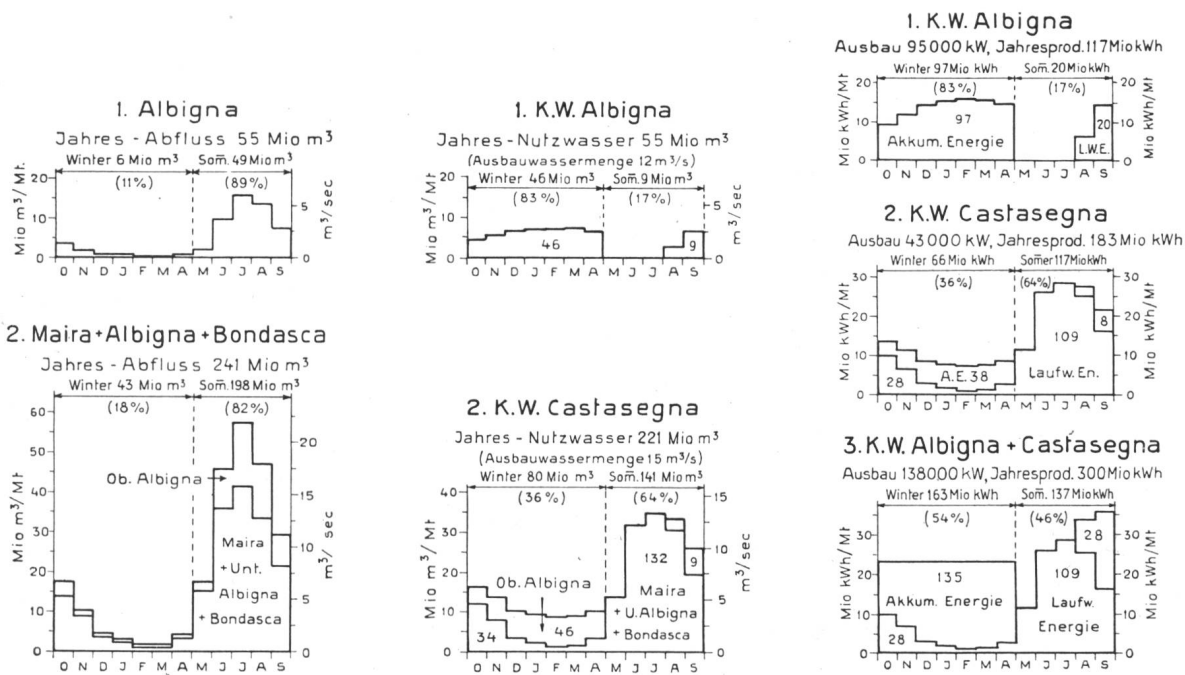


Abb. 17 Abfluss- und Nutzwassermengen und mögliche Energieproduktion.

Abschlussorgane und die maschinelle wie elektrische Ausrüstung der Zentralen stützen sich auf die bei Spezialfirmen eingeholten Offerten.

Als Ergebnis einer detaillierten Kostenberechnung ergibt sich für die Kraftwerke Albigna und Castasegna ein Betrag von 74 Mio Fr. unter Zugrundelegung eines aufgelösten Staumauertyps. Da es sich um zwei ganz verschiedene Kraftwerktypen handelt, sind die *Jahreskosten* nicht einfach auf Grund eines prozentualen Ansatzes, bezogen auf die Gesamtanlagekosten, sondern für jedes Bauobjekt einzeln und gestützt auf Annahmen und Ansätze langjähriger Erfahrung ermittelt. Die Verzinsung des Kapitals ist mit 4¹/₃ % in Anrechnung gebracht, entsprechend ²/₃ Obligationen zu 4 % und ¹/₃ Aktienkapital zu 5 %. Die Synthese führt zu den Gesamtansätzen für die Jahreskosten von 6,6 % für das Kraftwerk Albigna und 8,2 % für das Kraftwerk Castasegna, bzw.

zu 7,1 % für beide Anlagen. Der niedrige Jahreskostenansatz für das Kraftwerk Albigna von nur 6,6 % erklärt sich daraus, dass auf die Staumauer, für die nur mit relativ unbedeutenden Beträgen für Betrieb, Unterhalt und Erneuerung gerechnet werden muss, rund 70 % der Anlagekosten entfallen.

Trotz der erwähnten nicht gerade günstigen Transportverhältnisse und Staubeckenform fällt das Endergebnis, der *Energiegestehungspreis*, relativ günstig aus und zwar dank der äusserst vorteilhaften topographischen und geologischen Verhältnisse. Je nach Ausbauvariante ergeben sich für die Winterenergie bei einem Stausee mit 40 Mio m³ Nutzinhalt ein Gesteigungspreis von 2,50 Rp./kWh mit massiver, 2,39 Rp./kWh mit aufgelöster Staumauer und bei einem Stauseevolumen von 20 Mio m³ ein Gesteigungspreis von nur 1,97 Rp./kWh, bei Bewertung der Sommerenergie zu 1,0 Rp./kWh. (Preisbasis 1939.)

Das Kraftwerk Wassen

Mitgeteilt von den Centralschweizerischen Kraftwerken AG., Luzern.

Unter den von den SBB seinerzeit vom Kanton Uri erworbenen Wasserrechtskonzessionen für die Elektrifikation der Bahnen befindet sich auch die Reusstufe Göschenen-Wassen. Da ihre Ausnützung für Bahnzwecke nicht mehr in Frage kommt, ist sie subkonzessionsweise an die Centralschweizerischen

Kraftwerke, bzw. die neugegründete Gesellschaft, Kraftwerke Wassen AG. übergegangen und durch eine Zusatzkonzession für nutzbare Gefälle und nutzbare Wassermengen noch etwas erweitert worden. Mit dem Bau dieser Anlage soll noch im Verlaufe dieses Jahres begonnen werden, so dass eine kurze Be-