Zeitschrift: Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria
Herausgeber: Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband
Band: 77 (1985)
Heft: 7-8

Artikel: Geschichte des Talsperrenbaus in der Schweiz
Autor: Schnitter, Niklaus J.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-940941

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: 12.07.2025

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

Geschichte des Talsperrenbaus in der Schweiz

Niklaus J. Schnitter

1. Einleitung

Die Alpen im Zentrum Westeuropas überbrückend, ist die Schweiz ein ausgesprochenes Gebirgsland. Ihr kleines Territorium von 41 293 km² Fläche reicht von 193 bis 4634 m über Meer, mit einer mittleren Höhe von 1350 mü.M. Ein volles Viertel der Fläche ist unproduktiv, während der Rest sich etwa gleichmässig auf Wälder, Weiden und Felder verteilt. Diese werden hinreichend und regelmässig benetzt durch einen mittleren Jahresniederschlag von 1470 mm, der in den kalten Wintermonaten allerdings meist in der Form von Schnee fällt. Deshalb ist der mittlere Abfluss von 1030 mm/Jahr oder 32 l/s km² nicht mehr gleichmässig übers Jahr verteilt, sondern erfolgt besonders konzentriert während der Schneemelze im späten Frühjahr und frühen Sommer. Daraus ergibt sich der Zwang zur Jahresspeicherung, sobald der Wasserbedarf das winterliche Mindestangebot übersteigt.

Letzteres war in vorrömischer und römischer Zeit offensichtlich noch nicht der Fall, als die dünngesäte Bevölkerung ihren Wasserbedarf noch anhand des natürlichen Dargebotes befriedigen konnte bzw. in den wenigen grösseren Agglomerationen mit Laufwasserversorgungen auskam [1]. Die meisten der letztgenannten verfielen im frühen Mittelalter. Erst im Gefolge der Bevölkerungszunahme und industriellen Revolution des 12. Jahrhunderts tauchten in der Schweiz auch die ersten bescheidenen Wasserspeicheranlagen auf. Sie standen meist in Zusammenhang mit der sich rasch ausbreitenden Nutzung der Wasserkraft, zu welcher der gebirgige Charakter des Landes reichlich Gelegenheit bot.

Leider sind wenige dieser frühen Stauhaltungen erforscht worden oder erhalten geblieben. So weiss man zum Beispiel von der 1159 erstmals erwähnten Stadelhofmühle am Mühlebach im Südosten Zürichs, dass sie einen Weiher in der Gegend der heutigen Höschgasse besass und einen zweiten bei der Feldeggstrasse. Die auf spätestens 1301 datierbare Obere Mühle in Küsnacht/ZH hatte ihren Weiher am Ausgang des Küsnachter Tobels. Und die zwei 1345 erstmals genannten Mühlen von Buchs/ZH wurden beide vom selbigen «Müliteich» am Lägernhang versorgt. Kürzlich wiederhergestellt wurden die vier Bommer Weiher südlich von Kreuzlingen/TG, welche eine Oberfläche von 0,16 km² bedeckten. Sie wurden 1460 vom Grossen Spital im nahen Konstanz angelegt, um Mühlen anzutreiben und Fische für die Fastenzeit zu züchten (Bild 1). Demselben frommen (und ernährungstechnisch wichtigen) Nutzen diente der Mumenthaler oder Hüttliweiher beim Schloss Aarwangen/BE. Er wurde Ende des 16. Jahrhunderts auch für die Wiesenbewässerung in der Gemeinde Wynau/BE zugezogen [2].

Noch einen anderen Zweck hatte die Talsperre Joux-Verte (oder Folliau) nordöstlich von Roche/VD, deren Speicherinhalt mittels eines reichlich bemessenen Grundablasses plötzlich abgelassen wurde, um Holz ins Rhonetal zu flössen bzw. zu «triften» [3]. Im Gegensatz zu den vorgenannten Weiherdämmen und den üblicherweise hölzernen Triftklausen bestand die 13 m hohe Joux-Verte-Sperre aus einer 3,5 m dicken und 30 m langen Trockenmauer (Bild 2). Am bemerkenswertesten war jedoch ihre ausgesprochene Krümmung im Grundriss (etwa 120° Bogenöffnungswinkel), so dass dem Bauwerk angesichts seiner Entstehung im Jahre 1695 eine besondere Stellung in der Entwicklungsgeschichte der Bogenstaumauern zukommt [4].

Dieses Konstruktionsprinzip war schon von den Römern für mindestens zwei kleinere Sperren angewandt worden. Doch dann geriet es wieder in Vergessenheit, bis es Anfang des 14. Jahrhunderts eine kurze Blüte in Iran erlebte und Ende des gleichen Jahrhunderts im damals noch stark islamisierten südöstlichen Spanien auftauchte, vorerst allerdings in der Form von gebogenen Gewichtsstaumauern. Die erste wirkliche Bogenstaumauer von Elche bei Alicante wurde nach 1632 begonnen. Inzwischen war 1611 bis 1612 bei Trento in Norditalien die unbedeutende erste Etappe der schlanken Bogenstaumauer Ponte Alto gebaut worden, welche erst von 1740 bis 1887 sukzessive auf eine Gesamthöhe von 39 m (bei einer Kronenlänge von nur 12 m) gebracht wurde. In diesem Rahmen gesehen kommt der Joux-Verte-Sperre erstrangige Bedeutung zu, und es ist höchst bedauerlich, dass man sie so weit verwahrlosen liess, dass sie im April 1945 (sic!) durch ein Hochwasser weitgehend zerstört wurde. Ihre Überbleibsel wurden 1982/83 endlich vor dem weiteren Zerfall geschützt.

2. Die Frühzeit

Mit Anbruch der industriellen Revolution des 18. und 19. Jahrhunderts erlebte die Schweiz einen unerhörten wirtschaftlichen Aufschwung, insbesondere nach der Anerkennung ihrer Neutralität durch die Grossmächte 1815 und nach Einführung einer liberalen, von den Vereinigten Staaten von Amerika inspirierten Verfassung 1848 bis 1872. Die energetische Grundlage für diesen Aufschwung lieferte zu einem wesentlichen Teil wiederum die Wasserkraft, die statt durch Wasserräder nun zusehends mittels Turbinen in stets grösser werdenden Anlagen gewonnen wurde.

Eine dieser «Grossanlagen» entstand vor etwas mehr als hundert Jahren 1869 bis 1872 an der Sarine oberhalb Fribourg/FR bei Maigrauge, deren noch mit Seilen übertragene Energie ein Grundwasserpumpwerk für die städtische Wasserversorgung sowie verschiedene Industrien betrieb [5]. Initiant und Realisator des Werkes war *Guillaume Ritter* (1835–1912), ein in Neuchâtel/NE geborener und in Paris ausgebildeter, sehr unternehmungslustiger Ingenieur. Für die Wasserspeicherung baute er die bislang grösste Talsperre der Schweiz, die 21 m hohe und 195 m lange, leicht gekrümmte Gewichtsstaumauer Pérolles (Bild 3). Ihr beidseitig geneigter, trapezförmiger Querschnitt mit einer Fussbreite von 123% der Höhe war altertümlich und übervorsichtig bemessen. Doch im Gegensatz dazu war ihre Herstellung aus Beton höchst modern und eine Neuheit in Europa, war doch nur wenige Jahre zuvor bei der Gewichts-

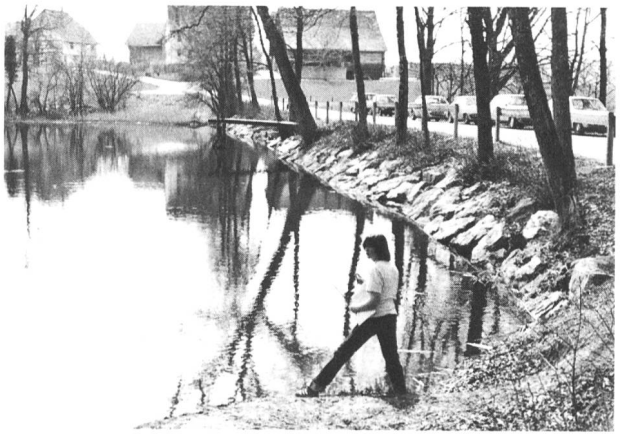


Bild 1. Wasserseite des oberen Bommer Weihers südlich von Kreuzlingen/TG. (Foto des Autors)

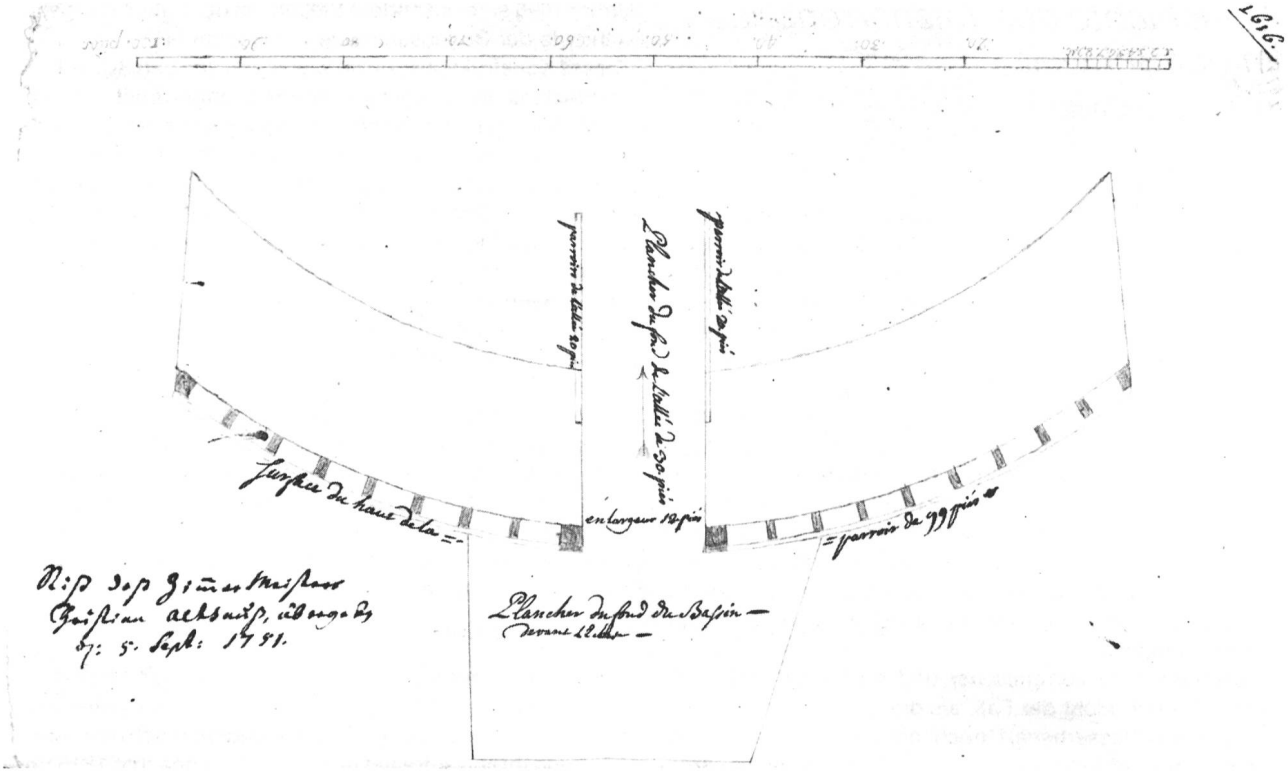


Bild 2. Grundriss von 1751 der Bogenstaumauer Joux-Verte oberhalb Roche/VD.

staumauer Boyds Corner, nördlich von New York/USA, dieser Baustoff erstmals seit der Römerzeit wieder im Talsperrenbau angewandt worden. Für die Staumauer Pérolles wurden 32 000 m³ Beton mit einem relativ hohen Zementgehalt von 250 kg/m³ verwendet.

Neben dem linksufrig im Fels ausgehobenen Hochwasserentlastungskanal knapp unter Kronenhöhe verfügte die Staumauer Pérolles über nur einen Durchlass von 100 m³/s Schluckvermögen auf Höhe des ehemaligen Flussbettes, der bald durch Treibholz und Geschiebe verstopft wurde. Deshalb verlandete der 1 Mio m³ fassende Stauraum binnen 15 Jahren vollständig, und die 1909 vorgenommene Erhöhung der Sperre um 3 m brachte auch nicht mehr als eine kurze Verschnaufpause, so dass die Sperre fortan nur noch als Ableitwehr funktionierte.

Ein Missgeschick anderer Art befiel den schweizerischen Talsperrenbau kurz nach Ferstigstellung der Staumauer Pérolles, als am 21. September 1877 der im selben Jahr erstellte kleine Erddamm Crap Alv am Albulapass/GR brach [6]. Das «ohne einen, auch nur einigermassen kompetenten technischen Rat» vom Wirt «Zum Weissenstein» zwecks Aufstau eines Fischteiches angelegte Bauwerk war

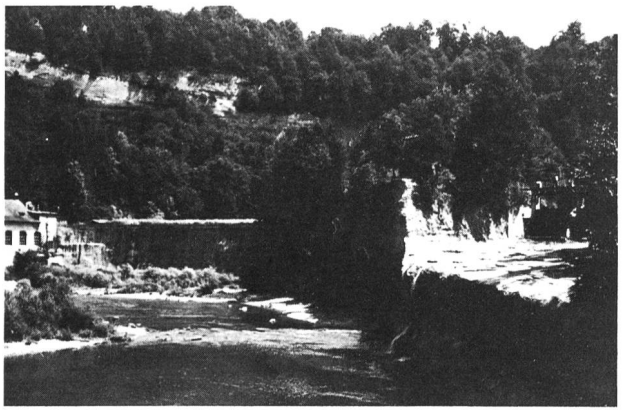


Bild 3. Luftseitige Ansicht der Gewichtsstaumauer Pérolles an der Sarine ob Fribourg/FR mit rechts dem Hochwasserentlastungskanal.
(Foto des Autors)

zum Glück nur knapp 5 m hoch und 115 m lang. Das Interessanteste an der Angelegenheit ist wohl die detaillierte Untersuchung, die der Bündner Kantonsingenieur *Friedrich von Salis* (1825–1901) über den Verlauf der auf den Talsperrenbruch folgenden Flutwelle anstellte, damals wohl eine der ersten derartigen Studien. Heute sind sie im Rahmen der Wasseralarmanlagen unterhalb aller grösseren Talsperren der Schweiz zur computerisierten Routine geworden!

Ähnliche Schwierigkeiten traten auch beim 10 m hohen und 75 m langen Erddamm des der Wasserversorgung von Basel dienenden Basler Weihers auf, der vor seiner Fertigstellung im Jahre 1871 durch ein Hochwasser weggespült wurde (Bild 4) [7]. Auch nach derselben wurde er, infolge Setzung der Krone um 1 cm oder 0,1 % der Dammhöhe pro Jahr, mehrfach überflutet ohne aber wieder zu brechen. Ebenso widerstandsfähig gegen Überflutung erwies sich 60 Jahre nach seiner Fertigstellung 1874 der 17 m hohe und 118 m lange Erddamm des Sternenweihers südwestlich von Richterswil/ZH.

Durchwegs erfolgreich verlief in der Nähe des letztgenannten Bauwerkes, aber fast eine Generation später, der Dammbau am Teufenbach für ein Ausgleichsbecken im Zuge der hydroelektrischen Nutzung der Sihl zwischen Hütten/ZH und Waldhalde/ZH [8]. Der 1894 bis 1895 gebaute Damm ist 15 m hoch und 120 m lang (Bild 4). Er besteht aus Moränenmaterial, das in Schichten von 20 cm Stärke geschüttet und mit Stösseln auf die Hälfte verdichtet wurde. Wasserseitig wurde es auf einer Breite von 3 m mit Kalkpulver bestreut und benetzt, so dass eine sehr dichte und harte Schutzschicht entstand. Das sind uns heute zum Teil gänzlich ungewohnte Praktiken, doch ist zu bedenken, dass damals der Erdbau noch fast völlig auf Empirie beruhte und eine wissenschaftliche Bodenmechanik noch in weiter Ferne lag.

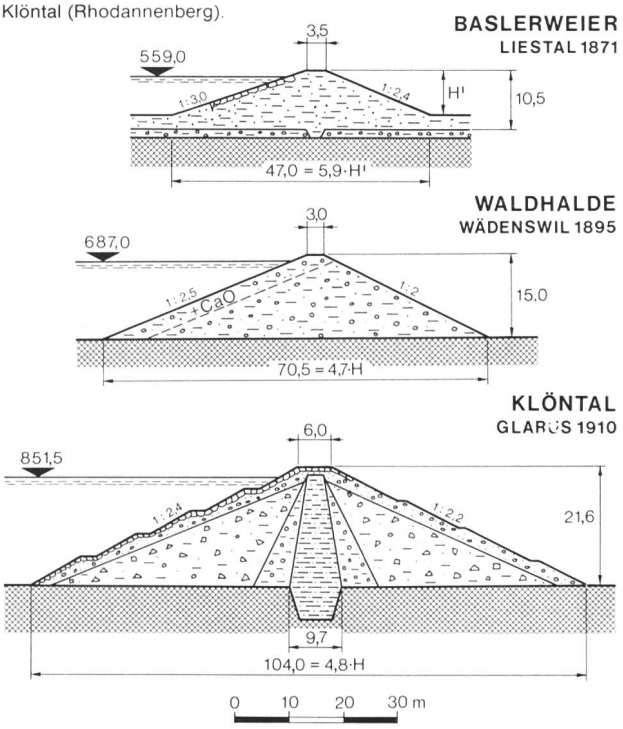
Das zeigte sich denn auch beim kurz darauffolgenden Bau 1898 bis 1900 des westlichen Abschlussdammes am Gübsensee für das Wasserkraftwerk Kubel/SG [9]. Das 17 m hohe und 170 m lange Bauwerk kam auf das lehmige Ver-

witterungsprodukt der unterliegenden Molassemergel zu stehen und bestand aus ähnlichem Material von den Talhängen. Dieses zeigte schon bei geringer Höhe der Anschüttung Neigung zum Ausquetschen, und bei weiterer Erhöhung schob der Dammkörper den Untergrund vor sich her. Erst die Aufbringung von starken luft- und wasserseitigen Stein- und Kiesauflasten brachte Ruhe. Das kiesige Material wurde als Stützkörper auch beidseits des Dammes hochgezogen, so dass dieser schliesslich einen Querschnitt mit zentralem Dichtungskern aufwies.

Von Anfang an mit einem solchen Querschnitt gebaut wurde 1908 bis 1910 der 30 m hohe und 217 m lange Damm Rhodannenberg zum Aufstau des Klöntalersees (Bild 4) [10]. Der relativ dünne Lehmkern ist beidseitig von Übergangszonen aus steinigem Lehm zu den Stützkörpern aus Bergsturzmaterial umgeben. Diese Materialien wurden mittels von Pferden gezogenen Rollwagen auf Geleisen transportiert, in Schichten von 20 bis 30 cm (Kern) bzw. 40 bis 50 cm (Stützkörper) verteilt, und, wie damals üblich, mit Holzstösseln von Hand verdichtet. Die gesamte eingebaute Kubatur erreichte, wie am vorbeschriebenen Gübsenseedamm, rund 110000 m³. Diese beträchtliche Bauwerksmasse ruht nicht auf gewachsenem Erdreich oder gar Fels, sondern auf einem Bergrutsch, der den natürlichen See gebildet hatte. Dies erscheint recht gewagt in Anbetracht der, wie erwähnt, beschränkten bodenmechanischen Kenntnisse jener Tage, hat sich aber im grossen ganzen bewährt. Bemerkenswert ist der Klöntalersee auch noch, weil das von ihm versorgte Speicherkraftwerk Löntsch/GL elektrisch mit dem Laufkraftwerk Beznau/AG an der Aare verbunden wurde. Diese Art von Verbundbetrieb wurde zum Grundprinzip der schweizerischen Energiewirtschaft.

Parallel zu den beschriebenen und einigen weiteren, kleineren Dammbauten wurden auch mehrere Gewichtsstaumauern gebaut, wie 1892 die 19 m hohe Buchholzsperre bei Gossau/SG, 1900 die 24 m hohe Ostmauer am bereits genannten Gübsensee, 1901 die 13 m hohe Listmauer bei Heiden/AR, 1908 die 21 m hohe Muslensperre bei Amden/SG und 1912 die 23 bzw. 12 m hohen Staumauern zum Aufstau der Berninaseen/GR. Trotz der frühen Verwendung von Beton für die vorbeschriebene Anlage Pérolles wurden diese Sperren meist aus althergebrachtem Mauerwerk erstellt. Dies gilt selbst für die 1920 bis 1921 am Pfaffensprung im Urner Reusstal gebaute 32 m hohe Bogenmauer, obschon ihr 1916 ein wohl nur halb so hohes, aber ähnliches Bauwerk aus Beton am Wissenbach bei Schwänberg/AR vorausgegangen war.

Bild 4. Querschnitte der Erddämme am Basler Weiher, Waldhalde und Klöntal (Rhodannenberg).



Die Wissenbachmauer wurde wie die Buchholz- und Gübsenseesperren vom Sanktgaller Wasserbauer *Louis Kürsteiner* (1862–1922) projektiert und ist wie die Pfaffensprungsperre sehr schlank. Obschon sich beide Projekte im wesentlichen an die hergebrachte zylindrische Form hielten, wurden an ihren Luftseiten bereits zaghaft nach unten abnehmende Krümmungsradien verwendet (Bild 5). Dies wohl in Anlehnung an die eben aufkommende neue Bauform des Dänisch-Amerikaners *Lars R. Jorgensen* (1876 bis 1938), welche auf der schon vor ihm bruchstückweise erarbeiteten Erkenntnis beruhte, dass nach unten abnehmende Krümmungsradien, bei damit etwa gleich bleibenden Bogenöffnungswinkeln, die Bogenspannungen im unteren Mauerteil vermindern bzw. eine entsprechende Materialeinsparung erlauben [4].

3. *Erste grosse Schritte*

Die erste konsequente Anwendung des neuen Bogenstaumauertyps von *Jorgensen* in der Schweiz und Europa erfolgte 1919 bis 1920, also ein Jahr vor der Pfaffensprung-

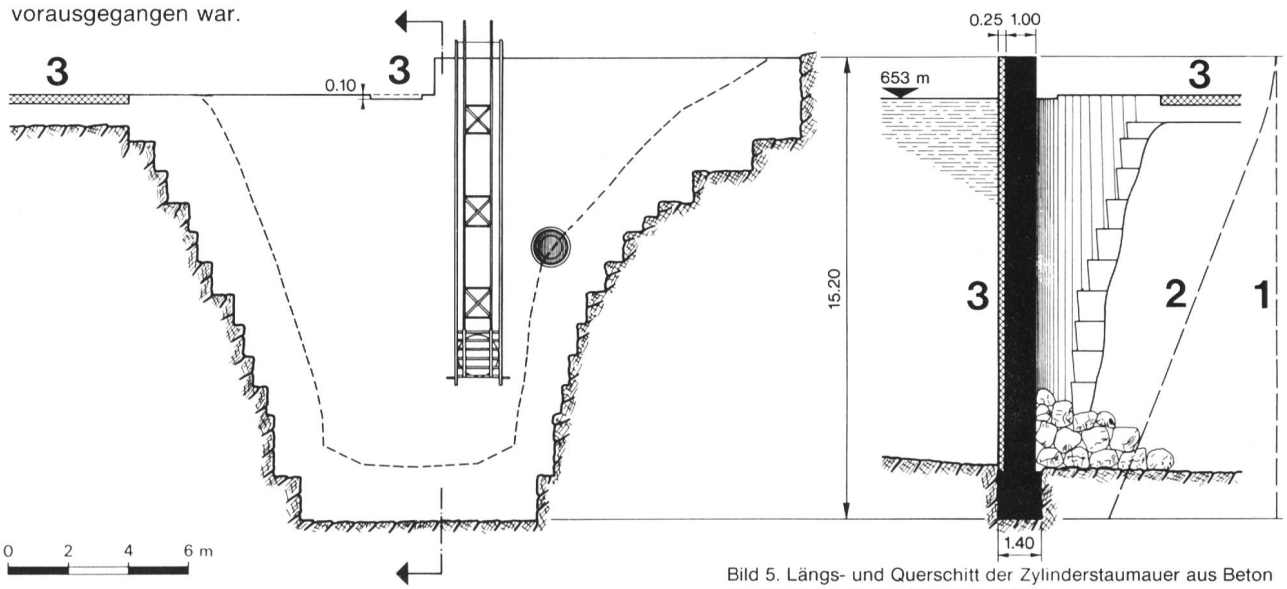


Bild 5. Längs- und Querschitt der Zylinderstaumauer aus Beton am Wissenbach bei Schwänberg/AR.

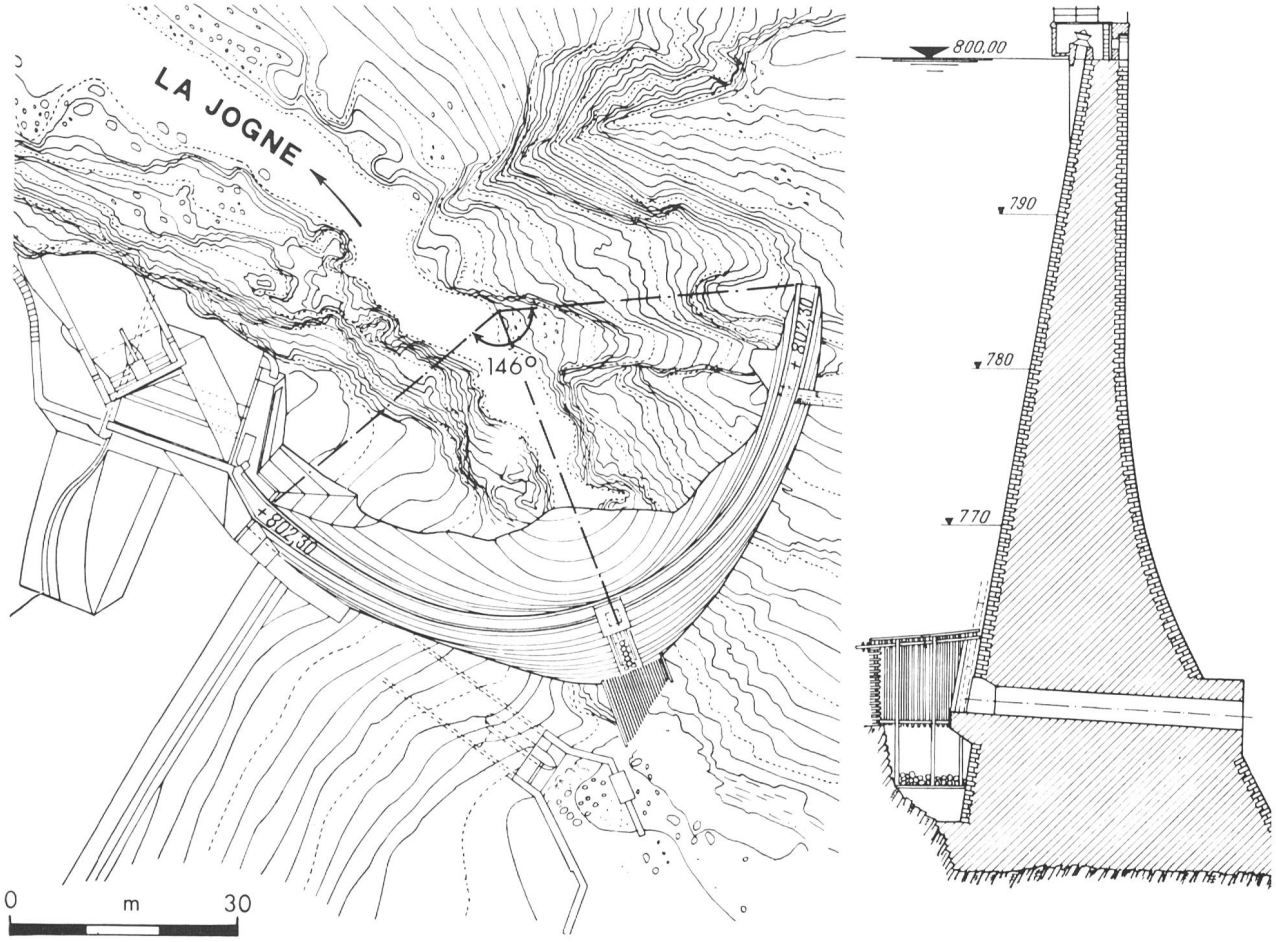
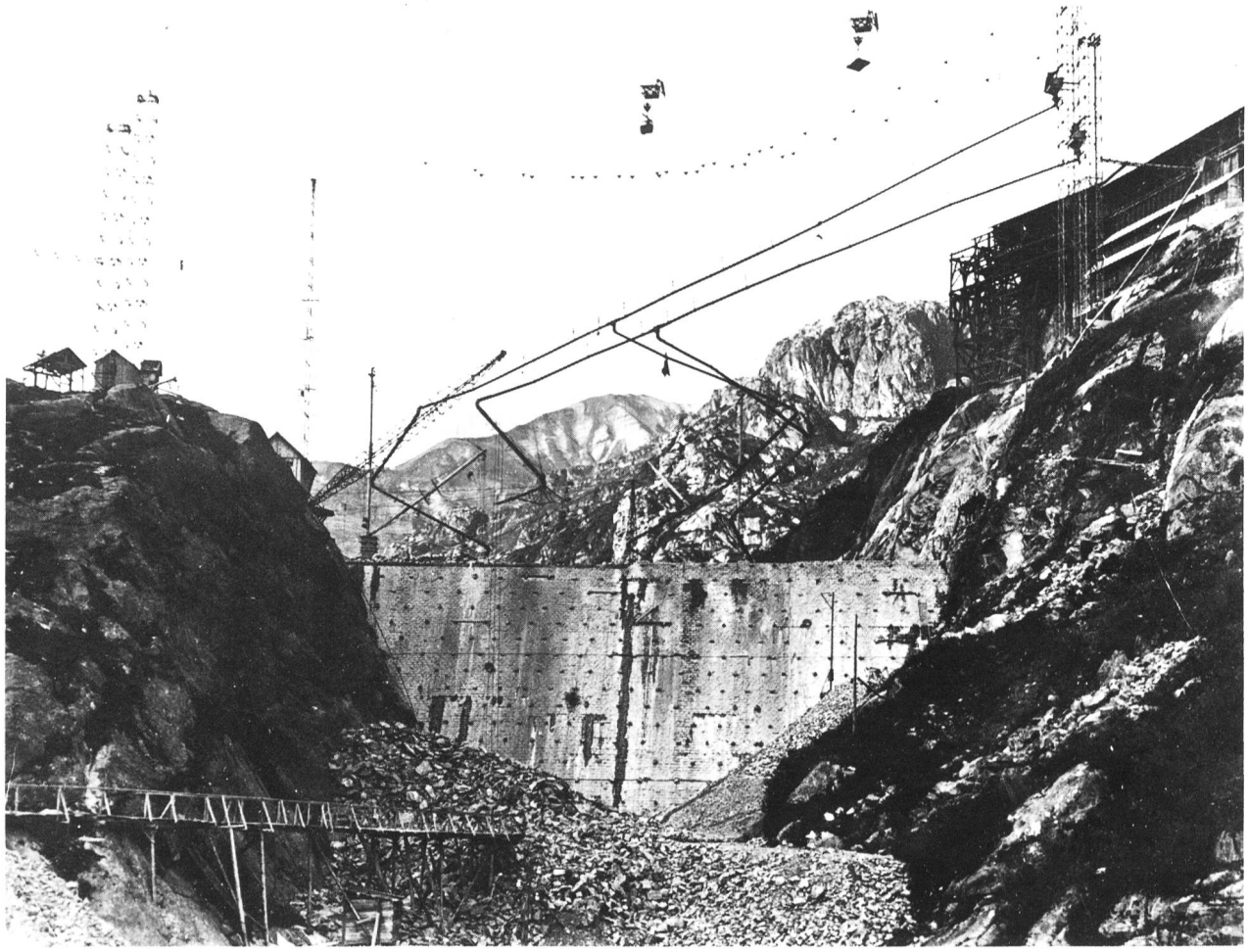


Bild 6. Lageplan und Querschnitt der ersten *Jorgensen*-Bogenstaumauer Europas an der Jogne bei Montsalvens/FR.

Bild 7. Luftseitige Ansicht der Baustelle für die Gewichtsstaumauer Barberine/VS mit der Giessrinnenanlage für die Betonierung. (Foto SBB, Bern)



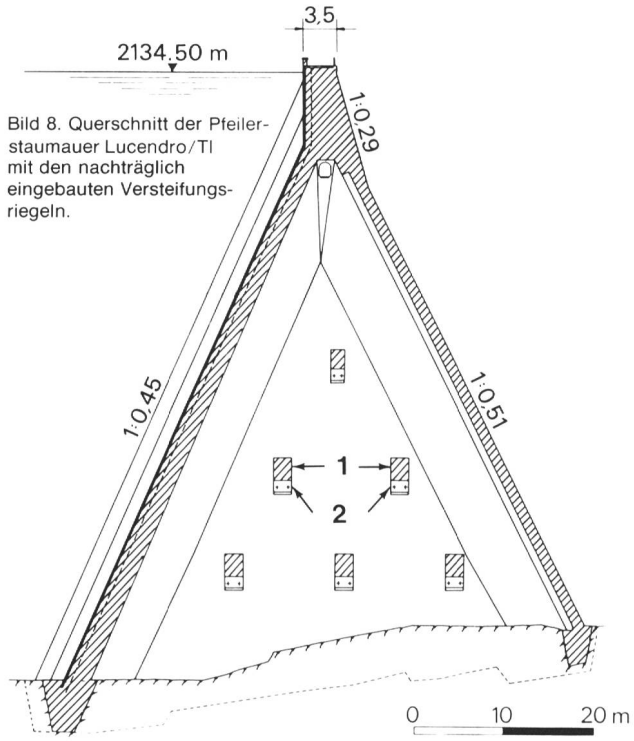


Bild 8. Querschnitt der Pfeilerstaumauer Lucendro/TI mit den nachträglich eingebauten Versteifungsriegeln.

sperre an der Jogne bei Montsalvens/FR (Bild 6). Projektverfasser des 55 m hohen und 115 m langen Bauwerkes war der Basler Wasserbauer *Heinrich E. Gruner* (1873–1947), der die Entwicklungen auf seinem Fachgebiet in den USA seit seinem Aufenthalt daselbst 1900/01 aufmerksam verfolgt hatte. Die statische Berechnung stützte sich auf das von *Hugo F. L. Ritter* (1883–1956), einem Sohn des bekannten Statik- und Brückenbauprofessors an der ETHZ *K. Wilhelm Ritter* (1847–1906), veröffentlichte Verfahren, das eine Verbesserung entsprechender amerikanischer Methoden darstellte [11]. Das *Rittersche* Verfahren wurde seinerseits weiterentwickelt von *Gruners* Mitarbeitern *Alfred Stucky* (1892–1969) und *Henri Gicot* (1897–1982), die später entscheidende Rollen im schweizerischen Talsperrenbau spielen sollten [12]. Mit zahlreichen weiteren Verfeinerungen wurde das Verfahren zur Berechnung praktisch aller schweizerischen Bogenmauern verwendet und ist erst in jüngster Zeit durch der elektronischen Datenverarbeitung angepasste Methoden wie die der Finiten Elemente ersetzt worden.

Die Bogenstaumauer Montsalvens wurde auch als erste schweizerische Talsperre mit Messinstrumenten ausgerüstet, um einerseits ihr ordnungsgemässes Verhalten zu überprüfen und andererseits Erfahrungswerte für künftige ähnliche Bauten zu gewinnen. Neben der Erfassung der Temperaturen im Mauerinneren mittels einbetonierter, fernablesbarer Widerstandsthermometer wurden vor allem die Deformationen des Bauwerkes und seiner Umgebung bei verschiedenen See- und Temperaturzuständen durch Triangulationen und Nivellemente gemessen, eine Methode, die unter Mitwirkung der eidgenössischen Landestopographie und anderer rasch zu hoher Perfektion gebracht und bei den meisten schweizerischen Talsperren üblich wurde [13]. Ein Gebiet, auf dem die schweizerische Liebe zur Präzision reiche Früchte trug!

Der mit 250 kg/m³ Zement dosierte Beton der Staumauer Montsalvens wies einen dem heutigen Massenbeton entsprechenden Wassergehalt auf und wurde mit pneumatischen Stampfern verdichtet. Doch die Einbauleistung war mit rund 10 m³/h höchst bescheiden. Da bot sich, ebenfalls aus den USA kommend, die mindestens zehnmal leistungsfähigere und bestechend einfache Methode von Betontransport und -einbringung mittels Giessrinnen an [14]. Damit der Beton in diesen über grössere Distanzen fliessen konnte, musste ihm allerdings rund 50% mehr Wasser zugegeben werden. Obschon man um die damit verbundene erhebliche Festigkeitseinbusse wusste, glaubte man, sie in Kauf nehmen zu müssen, da die nächsten Talsperrenbauten Betonkubaturen von je 200 000 m³ und mehr erforderten. Für alle waren zudem Gewichtsstaumauern vorgesehen, bei welchem Typ die Betonbeanspruchung für eine gegebene Mauerhöhe am kleinsten ist.

Erstmals gelangte Gussbeton bei der 1921 bis 1925 unter Leitung des SBB-Oberingenieurs *Hans Eggenberger* (1878–1958) gebauten, 79 m hohen Staumauer Barberine/VS zur Anwendung (Bild 7). Fast gleichzeitig wurden nach derselben Methode die Sperren Schräh und Rempen im Wägital/SZ betoniert, unter Leitung von *Alfred Zwygart* (1886–1972), Oberingenieur der Nordostschweizerischen Kraftwerke. Die 1924 fertiggestellte Staumauer Schräh hielt mit ihrer Höhe von 112 m für einige Jahre den Weltrekord. An allen drei eben genannten Sperren zeigten sich schon nach wenigen Jahren Frostschäden, welche erhebliche Reparaturarbeiten erforderten und die Gussbetonbauweise arg in Misskredit brachten [15]. Glücklicherweise blieben die drei Gussbetonmauern schadenfrei, deren Bau unter Leitung von *Arnold Kaech* (1881–1965) im Oberhasli/BE bereits begonnen hatte und unter denen sich die 1931 fertiggestellte, 114 m hohe und stark gebogene Spitallammsperre befand [16]. Für diese entwickelte der mit der Detailprojektierung beauftragte *Henri Juillard* (geb. 1896) erstmals die Pendel- oder Lotanlage zur Beobachtung der Mauerdeformationen in verschiedenen Horizonten, die fortan zur Standardausrüstung fast aller Schweizer Staumauern wurde.

Inzwischen war bereits die grosse Weltwirtschaftskrise ausgebrochen, in der die Zunahme des Elektrizitätsverbrauches und damit der Bedarf nach neuen Kraftwerken und Talsperren zurückgingen. Im Zeichen der Zeit wurde die nächste grosse Sperre an der Dixence/VS 1931 bis 1935 in der materialsparenden Pfeilerbauweise erstellt, nach Projekt von *A. Stucky,* inzwischen Professor an der EPFL [17]. Da ihre Wasserseite nahezu lotrecht war, erforderte die Dixencemauer allerdings verhältnismässig dicke Pfeiler, die wasser- und luftseitig zu sich berührenden Köpfen verbreitert waren. Mit 87 m Höhe blieb sie bis nach dem Zweiten Weltkrieg die höchste Pfeilerstaumauer der Welt [18]. Ihre beträchtliche Betonkubatur von 421 000 m³ wurde, ohne schädliche Folgen, noch im Gussbetonverfahren eingebracht. Schon während ihres Baues wurde aber bei der Gewichtsstaumauer Morris (früher: Pine Canyon) in Kalifornien/USA erstmals die Verdichtung des Betons mittels in

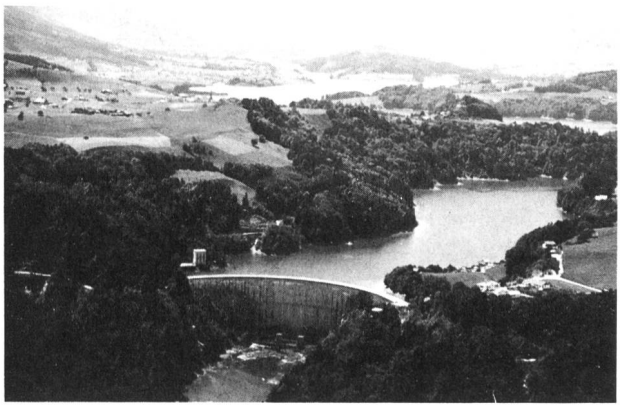


Bild 9. Luftaufnahme der Bogenstaumauer Rossens an der Sarine/FR. (Foto EEF, Fribourg)

ihn eingetauchter Vibratoren angewandt. Diese, bald auch in der Schweiz verwendete Methode erlaubte die Rückkehr zu minimalen Wassergehalten und ist bis heute die übliche Art der Betonverarbeitung geblieben.

Eine weitere Pfeilerstaumauer wurde noch während des Zweiten Weltkrieges zum Aufstau des Lucendrosees auf dem San Gottardo/TI 1942 in Angriff genommen [19]. Ihre bis 73 m hohen Pfeiler konnten erheblich schlanker gehalten werden als bei der Dixence-Sperre dank der geneigten Wasserseite, die aber ebenfalls von den sich berührenden Pfeilerköpfen gebildet wurde. Diese Konstruktion war Ende der 1920er Jahre vom nach Kalifornien ausgewanderten Schweizer Talsperreningenieur *Fred A. Noetzli* (1887–1933) entwickelt worden und hatte sich gut bewährt. Doch die Durchbrechung der Möhne- und Eder-Gewichtsstaumauern in Deutschland durch englische Bomben in der Nacht zum 17. Mai 1943, die zwar der hohen Flugzeugverluste bei mässiger Abwehr und der geringen kriegswirtschaftlichen Auswirkungen wegen ein Einzelereignis blieb, rief bei Schweizer Militär und Behörden schwere Bedenken bezüglich der Kriegstauglichkeit und der Sabotageanfälligkeit von Talsperren hervor. Dies führte einerseits zur Vorschrift der bereits erwähnten Wasseralarmanlagen unterhalb aller grösseren Talsperren. Zum anderen musste die 1947 fertiggestellte Lucendromauer nachträglich durch Querriegel zwischen ihren Pfeilern versteift werden (Bild 8). Die gleich konstruierte, 87 m hohe Cleuson (Saint-Barthélémy)-Sperre/VS musste gar noch während ihres Baues 1947 bis 1950 massiv verstärkt werden [20]. Bei Neuanlagen wurden fortan nur noch schmale Hohlräume geduldet, deren auftriebsentlastende Wirkung bezweifelt werden kann. Sie wurden gelegentlich aber doch angewandt, wie zum Beispiel bei den von *Juillard* projektierten grossen Gewichtsstaumauern Rätherichsboden (1948–1950) und Oberaar (1951–1953) im Oberhasli/BE und anderen [21].

4. Der Boom

Hatte der Elektrizitätsverbrauch noch während des Krieges, zum Teil wegen der schwierig gewordenen Einfuhr fossiler Brennstofffe, wieder kräftig angezogen, so stieg er im Sog der Nachkriegskonjunktur rasch weiter. Dies bewirkte einen forcierten Ausbau der Wasserkräfte als der am raschesten erschliessbaren Quelle zusätzlicher Energie. Gewisse Vorbereitungen auf die bevorstehende Herausforderung hatten die Schweizer Talsperrenbauer noch während des Krieges getroffen. Dazu gehörte die Sammlung und Auswertung der Vorkriegserfahrungen durch das 1930 auf privater Basis gebildete Nationalkomitee für Grosse Talsperren, welche 1946 publiziert und so der interessierten Fachwelt zugänglich gemacht wurden [22]. Unter Mitwirkung des erwähnten Nationalkomitees entstand sodann 1957 die erste eidgenössische Talsperrenverordnung, die wohl zahlreiche Minimalvorschriften enthielt, aber im Gegensatz zu gewissen ausländischen Gesetzen oder Normen genügend Spielraum für Neuerungen und Fortschritte liess.

Ebenfalls noch während des Krieges projektierte *Gicot* die 1945 bis 1948 gebaute, 83 m hohe und 320 m lange Rossens-Sperre an der Sarine/FR als erste echte Bogenstaumauer seit der nahe gelegenen Montsalvens-Mauer (Bild 9) [23]. Durch ihr hohes Verhältnis von Kronenlänge zu Höhe und vor allem durch ihre Fundation in weichem Sandstein zeigte sie beispielhaft die Möglichkeiten des Bogenstaumauertyps auf. Und obschon technologisch noch teilweise der Vorkriegstechnik verhaftet, gaben ihre 255 000 m³ Massenbeton ein ideales Übungsfeld ab für die Dinge, die noch kommen sollten. Diese waren wie vorher beim Bau der Alpenbahnen und später beim Autobahnbau eindeutig «himmelsstürmerisch» orientiert. Sowohl die Bogenstaumauer Mauvoisin wie die Gewichtsstaumauer Grande Dixence im Wallis, die beide 1951, knapp sechs Jahre nach Kriegsende, in Angriff genomen wurden, sollten die damals höchste Talsperre der Welt, die 1936 fertiggestellte, gebogene Gewichtsstaumauer Hoover (früher: Boulder) im Südwesten der USA, in den Schatten stellen [24]. Die 1957 fertiggestellte, 237 m hohe Mauvoisinsperre und die 1961 fertiggestellte, 285 m hohe Grande Dixence sind heute noch die höchste bzw. zweithöchste in Betrieb stehenden Staumauern der Welt.

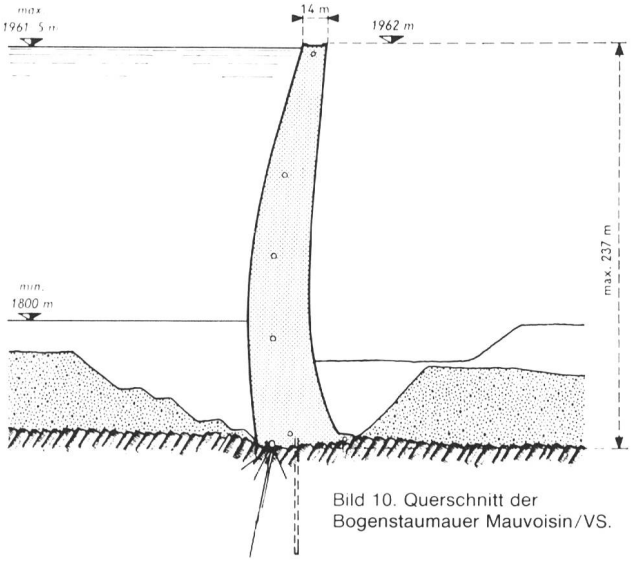


Bild 10. Querschnitt der Bogenstaumauer Mauvoisin/VS.

Und da amerikanische Ausmasse erreicht oder gar übertroffen werden sollten, lag nichts näher, als sich wie schon früher in den USA umzusehen, wo der Talsperrenbau weit weniger als in Europa durch den Krieg lahmgelegt worden war. Dies betraf vor allem organisatorische und technologische Fragen angesichts der grossen einzubauenden Betonkubaturen von rund 6 Mio m³ bei der Grande Dixence und 2 Mio m³ in Mauvoisin. Bei den schweizerischen Bauunternehmungen setzten sich vor allem *Albert Lüchinger* (1896–1961), Oberingenieur der Firma Locher & Cie. AG, und *Gerold Schnitter* (geb. 1900), Direktor der AG Conrad Zschokke und nachmaliger Professor an der ETHZ, mit diesen Problemen auseinander und betrieben deren grosszügige Lösung. Für die Betonherstellung wurden direkt die in den USA speziell für Grossbaustellen entwickelten Betontürme eingekauft, während für den Betontransport auf die seit der Gussbetonperiode vor dem Krieg weiterentwickelten Kabelkrane zurückgegriffen werden konnte. Für die Einbringung und Verdichtung des Betons wurden eigene, heute in der ganzen Welt ausser den USA nachgeahmte Wege beschritten, indem kleine Bulldozer für die Betonausbreitung eingesetzt und die Vibratoren an Raupenfahrzeugen befestigt wurden. Zudem wurde die in den USA übliche Höhe der täglichen Einbauschicht mit gutem Erfolg verdoppelt. Alle diese Massnahmen ermöglichten es, bis zu 400 m³/h Beton einzubauen, und binnen kurzem waren die Amerikaner auf ihrem ureigensten Gebiet der arbeitssparenden Mechanisierung überflügelt. Das war auch nötig, weil die Arbeitskraft rasch teurer wurde und vorwiegend aus von immer weiter her geholten Fremdarbeitern bestand.

Nichts oder wenig von den Amerikanern zu lernen war bezüglich der Formgebung von Staumauern, vor allem der Bogenmauern vom *Jorgensen*-Typ, welcher in den USA selbst wieder weitgehend in Vergessenheit geraten war. Hier wirkten vielmehr die Rossens- und Mauvoisin-Sperren als Vorbilder für eine grosse Zahl von schweizerischen und teilweise ausländischen Bogenstaumauern (Bild 10). Bis

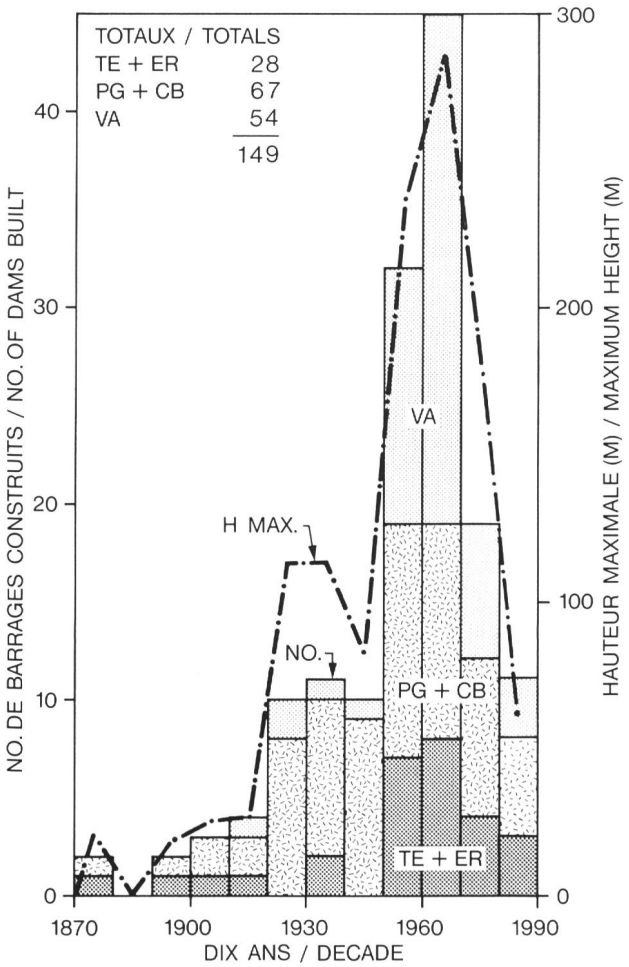


Bild 11. Anzahl und grösste Höhe pro Jahrzehnt aller in der Schweiz gebauten Talsperren von über 15 m Höhe (TE = Erddämme, ER = Felsschüttdämme, PG = Gewichtsmauern, CB = Pfeilermauern und VA = Bogenmauern).

auf zwei, ähnlich wie die Spitallammsperre eher den gebogenen Gewichtsstaumauern zuzurechnende Bauwerke und einem halben Dutzend kleiner Zylindermauern, folgten alle übrigen der 50 nach dem Krieg in der Schweiz gebauten Bogenstaumauern den genannten Vorbildern. Von diesen sind 18 über 100 m hoch und machen damit 78% aller schweizerischen Nachkriegssperren aus, welche diese Höhe erreichten oder überschritten. Neben der Grande Dixence und Mauvoisin überschritten noch die Bogenstaumauern Luzzone (1958–1963) und Contra (1961–1965) im Tessin die 200-m-Marke (Bild 11).

Die letztgenannte, von *Giovanni Lombardi* (geb. 1926) projektierte Sperre ist dank der relativ kleinen Kronenlänge vom 1,7fachen der Höhe wohl diejenige, die den grössten Wasserdruck pro m³ Beton aufnimmt. Am anderen Ende der konstruktiven Erfolgsskala stehen die Bogenstaumauern mit einem hohen Verhältnis von Kronenlänge zu Höhe. Diesen Rekord hält mit 8 die 1960 bis 1963 erstellte, 53 m hohe Sperre Schiffenen an der Saane/FR unterhalb von Rossens [23]. Wie diese liegt sie in weichem Sandstein und wurde von *Gicot* projektiert, der auch statt der bislang üblich gewesenen Kreisbogen zuerst Parabelbogen (Vieux Emosson/VS 1954–1955) und dann elliptische Bogen (Les Toules/ VS 1957–1963) verwendete, um eine besser gerichtete Kräfteeinleitung in den Felsuntergrund zu erzielen. Ferner verdanken wir ihm die 1965 bis 1969 gebaute Zwillingsmauer Hongrin/VD, bei der sich zwei 125 bzw. 98 m hohe Gewölbe in einem 30 m hohen gemeinsamen Widerlagerblock treffen. Ein Bauwerk von bestechender Originalität und Eleganz (Bild 12)!

Neben der grossen Zahl von Bogenstaumauern wurden nach dem Zweiten Weltkrieg in der Schweiz vermehrt auch wieder Dämme gebaut, nachdem deren Projektierung und Ausführung endlich ihre rationale bzw. wissenschaftliche Grundlage erhalten hatten. Deren Entwicklung erfolgte ebenfalls vorwiegend in den USA, als nach der Machtergreifung Hitlers der Gründungsvater der Bodenmechanik *Karl Terzaghi* (1883–1963) und mehrere seiner Schüler dorthin ausgewandert waren. Allerdings war an der ETHZ auf Initiative von Professor *Eugen Meyer-Peter* (1883–1969) noch vor dem Zweiten Weltkrieg und zum Teil in Zusammenhang mit den kleineren Dammbauten Hühnermatt/SZ (1934–1936) und Bannalp/NW (1935–1938) ein Institut für Grundbau und Bodenmechanik entstanden. Es lieferte zusammen mit den neuesten, wiederum vor allem ausführungstechnischen Methoden aus den USA die Grundlagen für den bereits 1950 bis 1954 erfolgten Bau des Erddammes Castiletto bei Marmorera/GR [25]. Mit einer Höhe von 91 m und einer Kubatur von 2,7 Mio m³ übertraf er alles bisher in Europa auf diesem Gebiet Dagewesene. Das mit einem breiten Dichtungskern versehene Bauwerk musste, wie seinerzeit der Klöntalerdamm, aber nur auf seiner einen Hälfte, auf einem Bergrutsch fundiert werden, was umfangreiche, unterirdische Abdichtungsarbeiten erforderte (Bild 13).

Als nächster grosser Dammbau folgte 1956 bis 1960 derjenige auf der Göschenenalp/UR von 155 m Höhe, der sich dadurch auszeichnete, dass das Material für den schlanken Dichtungskern wie Beton aus Ton von Wildegg/AG und lokalem Kiessand künstlich hergestellt und für die beidseitigen Stützkörper Bergsturzmaterial verwendet wurde. Schliesslich entstand 1961 bis 1967 der 120 m hohe Mattmarkdamm im Wallis, mit einer Kubatur von über 10 Mio m³. Sein Dichtungskern aus Moränenmaterial ist unmittelbar wasserseitig angeordnet und unterscheidet sich vom Stützkörpermaterial nur durch Absiebung des Grobkieses. Der Damm ruht auf einem Talboden von bis 100 m tiefen Alluvionen, die mittels Zement- und Toninjektionen abgedichtet wurden [25].

Ein Teil der Arbeitersiedlung unterhalb der Dammbaustelle Mattmark wurde am 30. August 1965 von einem Gletscherabbruch heimgesucht, der 88 Arbeitern das Leben kostete. Es ist dies das bei weitem schwerste Unglück, das den schweizerischen Talsperrenbau betroffen hat, doch sollten darob nicht die vielen Einzelnen vergessen werden, die ihren Einsatz unter oft schwierigsten Umständen auf fast jeder Baustelle mit dem Leben bezahlen mussten. Hingegen sind bis heute noch keine nicht direkt Beteiligten zu leiblichem Schaden gekommen. Abgesehen von einigen wenigen Unfällen mit kleinen Bauwerken, wie dem von 1877 auf dem Albulapass, haben die rund 150 grossen Schweizer Talsperren die in sie gesetzten Erwartungen voll erfüllt.

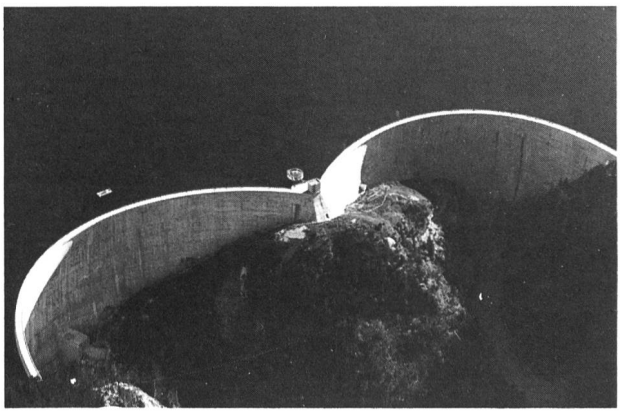


Bild 12. Luftaufnahme der Zwillingsbogenstaumauer Hongrin/VD. (Foto EOS, Lausanne)

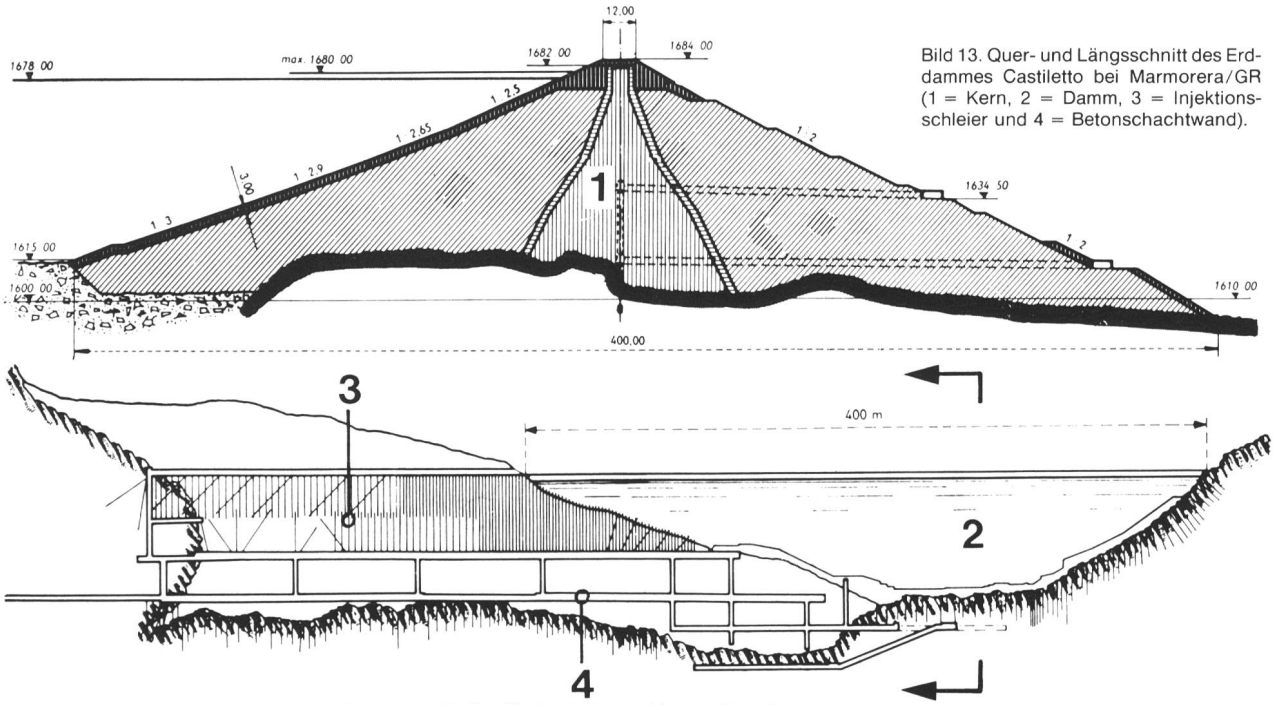
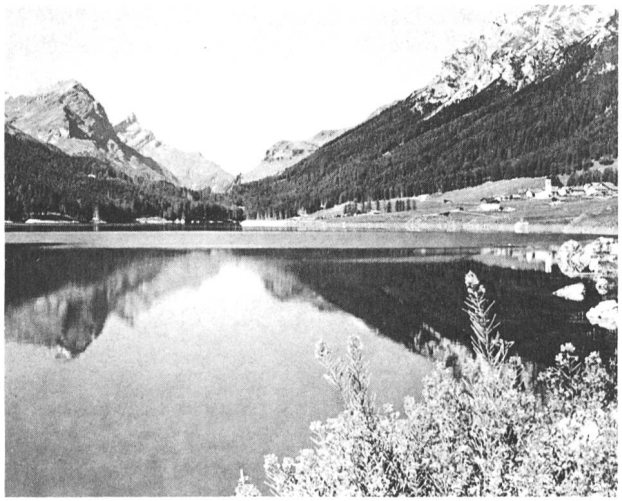


Bild 13. Quer- und Längsschnitt des Erddammes Castiletto bei Marmorera/GR (1 = Kern, 2 = Damm, 3 = Injektionsschleier und 4 = Betonschachtwand).

Letzteres gilt aber nicht nur in bezug auf die Sicherheit, sondern auch auf die ökologischen und energiewirtschaftlichen Auswirkungen. Nachweisbar schädliche Umwelteinflüsse sind ganz ausgeblieben, wenn man von den oft einschneidenden Landschaftsveränderungen absieht [26]. Ob ein Stausee eine landschaftliche Schändung oder Bereicherung darstellt, ist aber weitgehend eine Geschmacksfrage, über die sich bekanntlich nicht streiten lässt (Bild 14). Den energiewirtschaftlichen Nutzen des vor rund zehn Jahren praktisch zum Stillstand gekommenen Talsperrenbaus in der Schweiz hat man angesichts der Probleme mit Erdöl und Kernenergie wieder höher schätzen gelernt als auch schon. Die in unseren Stauseen speicherbare Energie von insgesamt 30 000 TJ oder 5 GJ pro Einwohner stellt eine unschätzbare eiserne Reserve dar, über die wir frei verfügen können und die sich von selbst erneuert, solang die Sonne scheint und den natürlichen Kreislauf des Wassers in Gang hält.

Bild 14. Der Stausee Sufers/GR, durch den eine prähistorische Landschaft wiederhergestellt wurde. (Foto Geiger, Flims)



Adresse des Verfassers: *Niklaus J. Schnitter,* dipl. Ing. ETHZ, Direktor, Motor-Columbus Ingenieurunternehmung AG, CH-5401 Baden.

Literaturhinweise

[1] *W. Drack:* Zur Wasserbeschaffung für römische Einzelsiedlungen, gezeigt an schweizerischen Beispielen. «Provincialia» 1968 (Festschrift R. Laur), p. 249–268 (zahlreiche Hinweise auf Literatur auch über städtische Wasserversorgungen).
[2] *G. Kunz:* Geschichte des Mumenthaler Weihers. «Jahrbuch des Oberaargaus» 1979, p. 13–22.
[3] *N. Schnitter:* Talsperrenkontrolle in der Waadt vor 230 Jahren. «wasser, energie, luft» 1981, p. 250–253.
[4] *N. J. Schnitter:* The Evolution of the Arch Dam. «Int. Water Power and Dam Construction» 1976, Oct., p. 34–40 and Nov., p. 19–21.
[5] *G. Ritter:* Observations et particularités techniques, géologiques et hydrologiques relatives à l'établissement du grand barrage de la Sarine à Fribourg. «Bull. soc. neuchâteloise des sciences naturelles» 1901/02, p. 374–403.
[6] *F. von Salis:* Über den Seedammbruch an der Albula. «Jahresber. naturforschende Gesellschaft Graubündens» 1877/78, p. 3–16.
[7] *A. Wackernagel:* Longterm Behaviour of a Dam in a Period of 108 Years. «10th Int. Congr. Soil Mech. and Found. Eng.» Stockholm 1981, vol. 3, p. 561–563.
[8] *W. Wyssling:* Das Elektrizitätswerk an der Sihl. «Schweiz. Bauzeitung» 1897/I, p. 185–187.
[9] *L. Kürsteiner:* Das Elektrizitätswerk Kubel bei St. Gallen. «Schweiz. Bauzeitung» 1904/I, p. 172–175 und 209–210.
[10] *J. Ehrensperger:* Elektrizitätswerk am Löntsch. «Schweiz. Bauzeitung» 1910/I, p. 227–229 und 233–237.
[11] *H. Ritter:* Die Berechnung von bogenförmigen Staumauern. J. Lang, Karlsruhe 1913.
[12] *A. Stucky:* Etude sur les barrages arqués. «Bull. téchn. suisse romande» 1922, p. 1–7, 25–30, 49–53, 85–90 et 97–103.
[13] *W. Lang:* Deformationsmessungen an Staumauern nach den Methoden der Geodäsie. Eidg. Landestopographie, Bern 1929.
[14] *E. Stadelmann:* Gussbeton Hoch- und Tiefbau, Zürich 1925.
[15] *H. Eggenberger* und *A. Zwygart:* Alterserscheinungen bei dem in Staumauern der Schweiz verwendeten Beton. «Trans. 1st Int. Congress on Large Dams» Stockholm 1933, vol. I, p. 83–100.
[16] *H. Juillard:* Die Spitallammsperre der Kraftwerke Oberhasli. «Schweiz. Bauzeitung» 1936/I, p. 229–231, 254–258 und 268–272.
[17] *A. Stucky:* Le barrage de la Dixence. «Bull. téchn. suisse romande» 1946, p. 37–48, 53–64 et 97–105.
[18] *N. J. Schnitter:* The Evolution of Buttress Dams. «Int. Water Power and Dam Construction» 1984, June, p. 38–42 and July, p. 20–22.
[19] Motor-Columbus AG: Das Kraftwerk Lucendro. «Schweiz. Bauzeitung» 1944/II, p. 307–312 und 1945/II, p. 50–52.
[20] *M. Paschoud:* La querelle des barrages. «Bull. téchn. suisse romande» 1949, p. 137–144 et 209–210.
[21] *H. Juillard:* Le développement de la construction des barrages-poids en Suisse. «Wasser- und Energiewirtschaft» 1961, p. 174–177.
[22] Schweiz. Talsperrenkommission: Messungen, Beobachtungen und Versuche an schweiz. Talsperren. Eidg. Dep. des Innern, Bern 1946.
[23] *H. Gicot:* Conceptions et techniques de quelques barrages-voûtes suisses. «Wasser- und Energiewirtschaft» 1961, p. 194–205.
[24] *A. Stucky, J. P. Stucky* et *E. Schnitzler:* Conceptions actuelles dans la construction des barrages-voûtes en Suisse. «Wasser- und Energiewirtschaft» 1961, p. 183–193.
[25] *G. Schnitter:* Digues en terre ou en enrochement. «Wasser- und Energiewirtschaft» 1961, p. 206–215.
[26] Die Auswirkungen alpiner Speicherseen auf die Umwelt. Pro Aqua, Basel 1980.