

Zeitschrift: Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria
Herausgeber: Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband
Band: 82 (1990)
Heft: 5-6

Artikel: Der Ausbau der schweizerischen Wasserkräfte im 20. Jahrhundert. Teil 1, Einleitung und Stauhaltungen
Autor: Schnitter, Niklaus
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-939802>

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: 27.04.2026

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

Der Ausbau der schweizerischen Wasserkräfte im 20. Jahrhundert

Niklaus Schnitter

Teil 1: Einleitung und Stauhaltungen

(Teil 2 folgt später: Wasserfassungen, Triebwasserleitungen, Maschinenhäuser und Literatur)

Zusammenfassung

Ausgehend von den bau-, maschinen- und elektrotechnischen Errungenschaften des 19. Jahrhunderts erfolgte in diesem Jahrhundert der Vollausbau des hydroelektrischen Potentials der Schweiz, mit Schwerpunkt in den Jahren 1950 bis 1970. Um eine Übersicht über die grosse Zahl der gebauten Anlagen zu gewinnen, wird die Entwicklung von deren Teilen nachgezeichnet, d.h. der Stauhaltungen, Wasserfassungen, Triebwasserleitungen und Maschinenhäuser. Auf verschiedenen dieser Gebiete gelangen den Schweizer Ingenieuren immer wieder hervorragende Leistungen.

Resumé: Développement de la houille blanche en Suisse dans le 20^e siècle

Sur la base des progrès en génie civil, mécanique et électrotechnique pendant le 19^e siècle le potentiel hydro-électrique de la Suisse fut complètement développé dans ce siècle, principalement de 1950 à 1970. Pour gagner une vue d'ensemble sur le grand nombre d'aménagements construits on retrace l'évolution de leurs éléments, c'est-à-dire barrages, prises d'eau, conduites et centrales. Dans beaucoup de ces champs les ingénieurs suisses ont maintes fois réalisé des ouvrages remarquables.

Summary: Development of the hydro power resources of Switzerland in the 20th century

Based on the civil, mechanical and electrical engineering achievements of the 19th century the hydro-electric potential of Switzerland was fully developed during this century, especially between 1950 and 1970. To gain a view over the great number of plants built, the evolution of their main components is retraced, i. e. dams, intakes, headraces and power houses. In many of these fields, Swiss engineers realized outstanding structures.

1. Einleitung

Die bau- und maschinentechnischen Errungenschaften und Erfahrungen des 19. Jahrhunderts sowie insbesondere die Einführung der Elektrizität als Energieübertragungsmedium in dessen letztem Dezennium bildeten, wie schon dargelegt [1], die Grundlage für den Vollausbau der schweizerischen Wasserkräfte in diesem Jahrhundert. Die Wasserkraft stellt neben Holz, das wegen der Hochwasserschäden infolge früheren Raubbaus an den Wäldern nur beschränkt nutzbar ist (Bundesgesetz über die Forstpolizei 1876), sowie Uran in sehr verdünnter Form die wichtigste heimische Energiequelle dar.

Wie Bild 2 zeigt, verlief der Ausbau der Wasserkräfte bis zur Annäherung an den Sättigungswert in den 1970er Jahren erstaunlich regelmässig und praktisch unberührt von den grossen weltweiten Erschütterungen, welche das 20. Jahrhundert heimsuchten. Die jährliche Zuwachsrate sank von 7% (= Verdoppelung in 10 Jahren) um die Jahrhundertwende auf rund 5% zwischen 1910 und 1970, um dann auf 1,5% zurückzugehen. Gesamthaft ergab sich von 1890 bis 1990 eine 125fache Leistungssteigerung! Den Schwerpunkt bildeten die zwei Dezennien 1950 bis 1970 wirtschaftlicher

Wasserkraftwerke der Schweiz

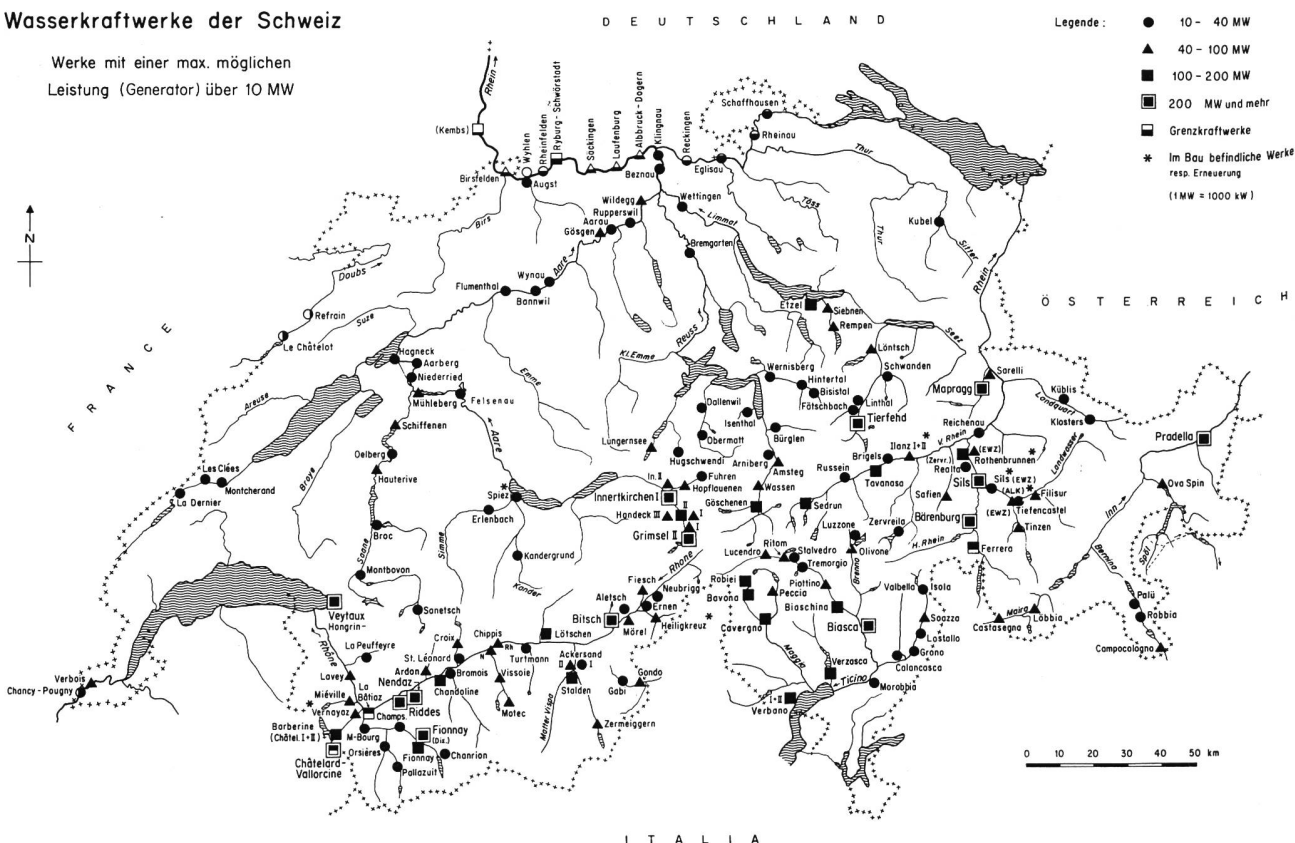


Bild 1. Karte der Schweiz mit Eintrag der Wasserkraftwerke von über 10 MW Leistung (nach Bundesamt für Wasserwirtschaft, Bern).

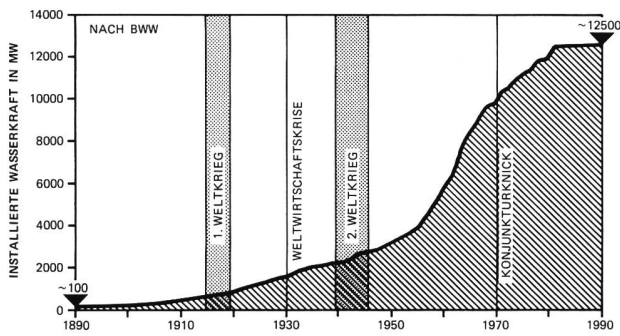


Bild 2. Entwicklung der Wasserkraftnutzung in der Schweiz in den letzten hundert Jahren.

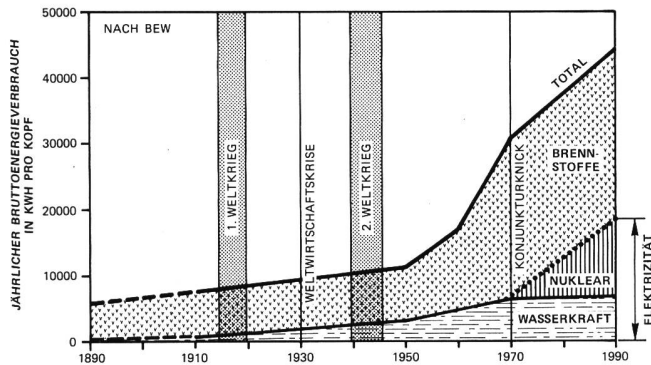


Bild 3. Anteil der Wasserkraft am Energieverbrauch der Schweizer Bevölkerung.

Hochkonjunktur nach dem Zweiten Weltkrieg, in welchen der Ausbau der Wasserkraft forciert wurde als der am raschesten erschliessbaren Quelle zusätzlicher Energie. Damals wurden pro Jahr bis zu einer halben Milliarde Franken oder 1,5% des gesamten Bruttosozialprodukts der Schweiz in die Elektrizitätswirtschaft investiert.

Das bezieht sich wohlgermerkt nur auf die Nutzung der Wasserkraft. Den gesamten energetischen Rahmen zeigt Bild 3 pro Kopf der Bevölkerung, wobei vorweg auffällt, wie scheinbar bescheiden der Beitrag der Wasserkraft war und ist. Das rührt daher, dass schon immer der Löwenanteil des Ener-

gieverbrauchs für Wärme eingesetzt und direkt durch Brennstoffe gedeckt wurde. Nur ist er heute pro Kopf dreimal höher als zu Beginn des Jahrhunderts, eine Folge der (unvernünftig?) gestiegenen Ansprüche an Wohn-, Arbeits- und andere Räume und deren Beheizung.

Auch von der Elektrizität, die bis 1970 fast ausschliesslich aus Wasserkraft stammte, wird der grössere Teil «verbrannt» (Kochen und Licht). Die für motorische Zwecke übrig bleibende Nutzenergie entsprach Anfang des Jahrhunderts einem «Energiesklaven» (d.h. der Leistung eines Menschen bei 8000 kJ/Tag bzw. 2250 W/Tag Nahrung bei 20% Wirkungsgrad und 9 h/Tag Arbeitszeit). Nach dem Zweiten Weltkrieg waren es bereits deren drei, während heute jedermann, inklusive Kind und Kegel, elf solcher unsichtbarer Helfer beschäftigt. Dazu kommen noch gleich viele, die sich von Brennstoffen ernähren (Auto!). Auch das eine Folge der gestiegenen Ansprüche, diesmal bezüglich Arbeitserleichterung und Mobilität.

Angesichts der grossen Zahl der erstellten hydroelektrischen Anlagen, rund 450 von über 0,3 MW und noch 35 von über 100-MW-Leistung (Bild 1) steht im vorliegenden Rahmen ausser Frage, auf die Entstehung auch nur ausgewählter Kraftwerke einzugehen. Zudem zeichnen sich selbst die entwicklungsgeschichtlich relevanten, die nicht notwendigerweise die jeweils grössten sind, oft nur durch eine bemerkenswerte Besonderheit aus. Deshalb wird nachstehend die Entwicklung im 20. Jahrhundert der einzelnen Bestandteile einer Wasserkraftanlage nachgezeichnet, d.h. der Stauhaltungen, Wasserfassungen, Triebwasserleitungen und Maschinenhäuser. Elektromechanische Gesichtspunkte bleiben dabei weitgehend ausgeklammert.

2. Stauhaltungen

2.1 Wehre

An den Anfang seien die Stauwehre gestellt, weil die ersten grossen Wasserkraftanlagen Ende des 19. und zu Beginn des 20. Jahrhunderts, wie schon dargelegt [1], an den Flüssen des schweizerischen Mittellandes zwischen Alpen und Jura entstanden. Obschon gelegentlich noch an der hergebrachten Technik fester, überströmter Wehrschwelen festgehalten wurde (z.B. an der Aare 1892 bei Brugg und 1894

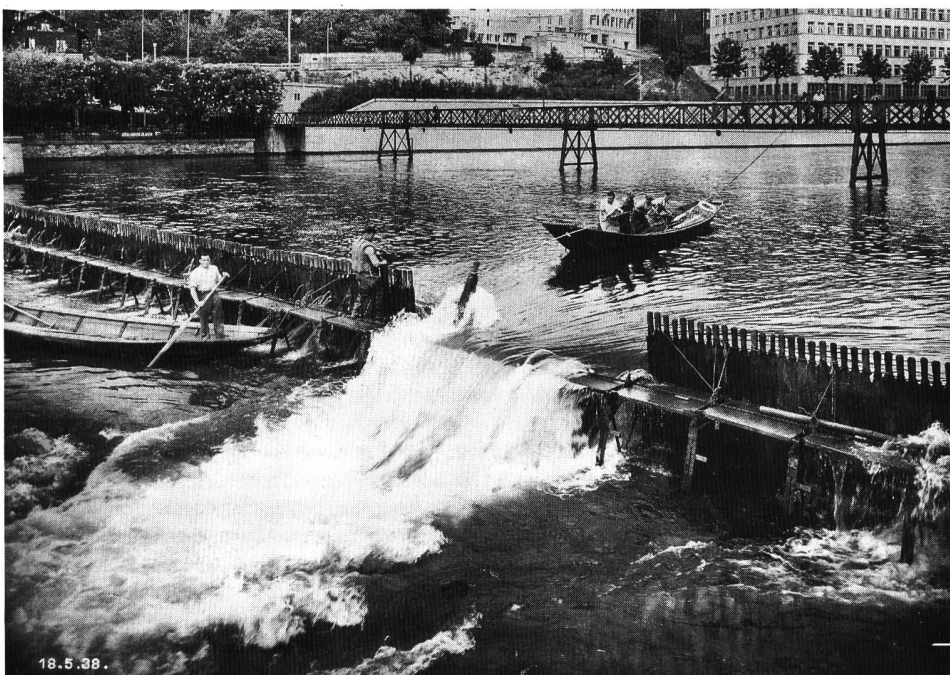


Bild 5. Prof. ETHZ Dr. h.c. Conrad Zschokke (1842-1918).

Bild 4. Nadelwehr am Platzspitz in Zürich [aus 3].

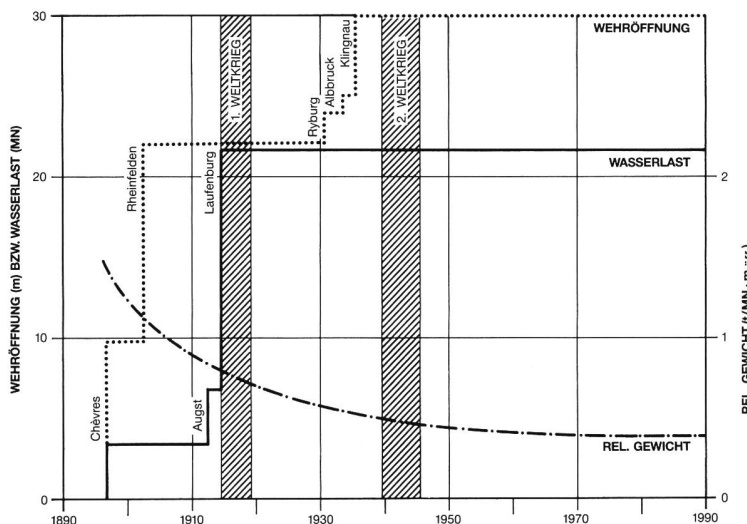


Bild 6. Entwicklung der Hauptcharakteristiken schweizerischer Schützenwehre.

bei Aarau sowie 1898 in Rheinfelden), kamen 1878 für das Wasserwerk Letten am Platzspitz in Zürich und 1887 für die analoge Anlage La Coulouvrenière am Pont de la Machine in Genf bewegliche Wehre zur Anwendung. Ersteres verwendete für den 2,3 m hohen Aufstau die schon 1861 an der Reuss in Luzern, allerdings für die Regulierung des Vierwaldstättersees [2], angewandten Nadeln, d.h. senkrecht nebeneinander angeordnete Bretter, die einzeln gezogen werden konnten bzw. mussten (Bild 4) [3]. 1951 wurde das Letten-Nadelwehr durch drei automatische Dachwehre ersetzt. In Genf kamen zahlreiche Rolladen zum Einsatz, die

nebeneinander ab- bzw. aufgerollt wurden. Diese werden 1994 durch ein neues Wehr unterhalb La Coulouvrenière ersetzt werden [4].

Das erste Schützenwehr im modernen Sinn wurde 1896 für das Rhonekraftwerk Chèvres unterhalb von Genf fertiggestellt [5]. Seine sechs Schützentafeln von 10 m Länge und 8,5 m Höhe nahmen bereits je 3,5 MN Wasserlast auf (Bild 6). Weit unter diesem Wert blieben trotz ihrer beachtlichen Spannweite von 22,2 m die 1902 dem festen Wehr Rheinfelden nachträglich aufgesetzten acht Schützen, die nur 1 m hoch sind [6]. Noch vor dem Ersten Weltkrieg wurde die Schützenbelastung rasch erhöht und erreichte 1914 beim aargauischen Rheinkraftwerk Laufenburg den bis heute ungebrochenen Schweizer Rekord von rund 22 MN [5]. Dabei wurden die vier ebenen Schützen zum Abschluss der bis 16,0 m hohen Wehrröffnungen von 17,3 m Weite in zwei Teile unterteilt, die entweder einzeln gesenkt (Überströmen) bzw. gehoben (Unterströmen) oder als Paket gehoben werden können, um den Maximaldurchfluss von 5400 m³/s (einer der höchsten Abflüsse in der Schweiz) sicherzustellen. Gleichzeitig wurde das Schützensgewicht relativ zum aufgenommenen Biegemoment (= Wasserlast × Wehrröffnung) auf etwa die Hälfte vermindert (Bild 6).

Eine weitere Herabsetzung des offensichtlich wirtschaftlich bedeutsamen, relativen Schützensgewichts brachte nach dem Zweiten Weltkrieg die Einführung der in der Vertikalen wasserseits gekrümmten Segmentschützen: beim aargauischen Kraftwerk Rapperswil-Auenstein (1945) [5] noch als Doppelschütze, ab dem Kraftwerk Wildegg-Brugg im Aargau (1952) [7] als Segmentschütze mit aufgesetzter Überfallklappe. Zudem setzte sich Anfang der 1960er Jahre deren Betätigung durch öldruckhydraulische Kolbenpressen durch an Stelle der bisherigen Kettenwindwerke. International gesehen gehören die Schweizer Schützenwehre aber eher zu den kleinen Wehren, hat man inzwischen doch schon Wasserlasten pro Schütze von über 40 MN erreicht [8].

Diese Wasserlasten müssten über die Wehrpfeiler in den Untergrund abgeleitet werden. Wo tragfähiger Fels in Oberflächennähe vorlag, stellten sich keine besonderen Probleme, wie z. B. bei den vorgenannten Wehren Chèvres und Rheinfelden. Doch schon beim 1900 erstellten Wehr am 1874 bis 1891 für die 1. Juragewässerkorrektur gebauten Hagneck-Kanal zum Bielersee ergab sich die Notwendigkeit einer tieferen Gründung. Hier trat der Unternehmer und ETHZ-Prof. Dr. h.c. *Conrad Zschokke* (1842–1918) auf den Plan, der vor allem im Ausland eine umfassende Erfahrung in «Druckluftgründungen» erworben hatte (Bild 5). Dabei



Bild 7. Caisson mit drei Schleusen für die Gründung des Rheinwehres Laufenburg während eines Hochwassers (Foto AG C. Zschokke, Genf).

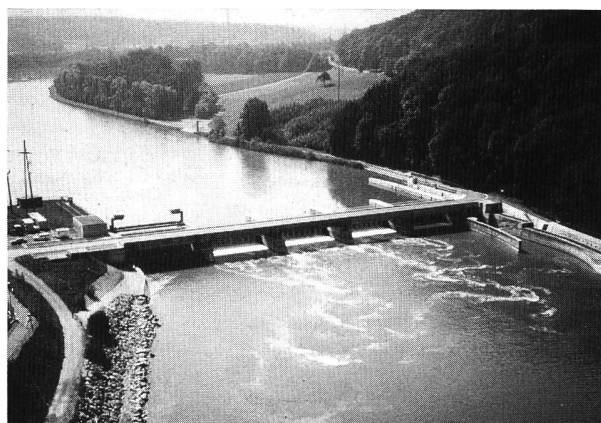
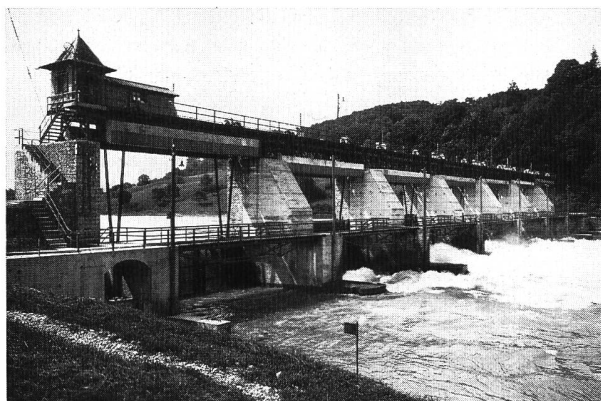
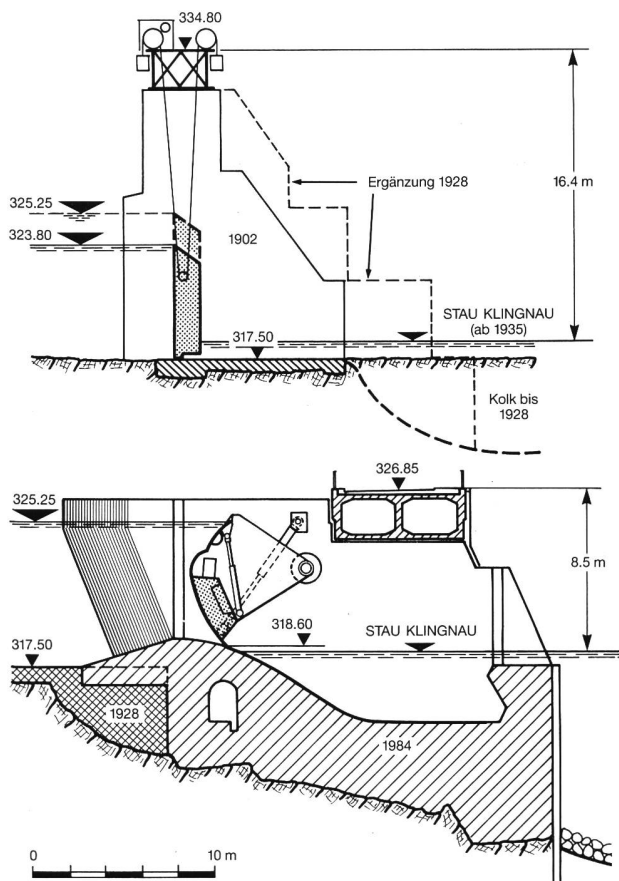


Bild 8. Querschnitt und luftseitige Ansicht (nach Umbau 1926–1928) des ursprünglichen Aarewehres Beznau (oben) und seines Neubaus 1979–1984 (unten) (Fotos NOK, Baden).

ging es um die Absenkung unten offener, grosser Stahl-, später Eisenbetonkisten (französisch: «caissons»), in welchen ein dem äusseren Wasserdruck entsprechender innerer Luftdruck aufrechterhalten wurde. Arbeiter und Material wurden meist über separate Vertikalschächte ein- und ausgeschleust (Bild 7). Gelegentlich wurden «caissons» auch als wiederverwendbare, bewegliche Arbeitskammern verwendet, in der Art von Taucherglocken. Bis und mit dem Rheinkraftwerk Birsfelden (1956) [9], 3 km östlich von Basel, wurden die meisten grossen Schweizer Wehre mittels Druckluft gegründet.

Darnach kam die Methode ausser Gebrauch, weil sie der nach dem Zweiten Weltkrieg aus den USA kommenden, zunehmenden Mechanisierung der Bauausführung kaum zugänglich war und bald niemand mehr bereit war, die beschwerlichen Arbeitsbedingungen unter Druckluft in Kauf zu nehmen. Einen grossen Aufschwung nahmen hingegen die Anfang des Jahrhunderts entwickelten wasserdichten Spundwände aus in den Boden gerammten, ineinandergreifenden Stahlbohlen. Sie erlaubten sowohl, mit entsprechenden Verstreibungen bzw. Verankerungen, offene Ausläufe in Lockergesteinen bis tief unter den Grundwasserspiegel als auch den raschen Bau von oft in Zellen unterteilten Fangedämmen für provisorische Flussumleitungen oder die Bildung von trockenen Baugruben selbst mitten in Gewässern.

Als Zusammenfassung über die Entwicklung der schweizerischen Wehrbautechnik über mehr als 80 Jahre eignet sich wohl kaum etwas besser als der Vergleich des 1902 fertiggestellten Aarewehres Beznau, 23 km nordöstlich von Aarau, mit seinem 1984 vollendeten Neubau an der gleichen Sperrstelle (Bild 8) [10 und 11]. Bei letzterem konnte die landschaftlich relevante Höhe über dem wasserseitigen

Stau drastisch und diejenige über dem Unterwasserspiegel (= Rückstau des Kraftwerkes Klingnau) auf rund die Hälfte vermindert werden. Die viel massigere Gründung des neuen Wehres dient im wesentlichen der Auffüllung des unterhalb des alten Wehres entstandenen Kolktes. Um der Wiederholung solcher Auswaschungen unterhalb des neuen Wehres vorzubeugen, wurde dessen Boden aufgrund von hydraulischen Versuchen an einem Modell so geformt, dass ein möglichst grosser Teil der Bewegungsenergie des über die Schützen überfallenden oder unter ihnen durchfliessenden Wassers noch innerhalb des Wehres umgesetzt wird. Die Beherrschung von Kolkerscheinungen bildete ein weiteres wichtiges Anliegen der Wehrbautechnik im 20. Jahrhundert.

2.2 Talsperren

Erste grosse Schritte

Noch im 19. Jahrhundert dienten Staubecken, wie zuvor die Mühleleiche, lediglich der täglichen Anpassung des natürlichen Wasserdargebots an den Bedarf [12]. Erst die schon aufgezeigte Entstehung elektrischer Verbundnetze zu Beginn unseres Jahrhunderts ermöglichte längerfristigen Ausgleich, meist zwischen den abflussreichen Sommermonaten und den wasserarmen Wintern [1]. Dies erforderte aber auch erhebliche Stauinhalte bzw. angesichts der Enge der meisten nicht schon intensiv genutzten Schweizer Täler entsprechend hohe Talsperren (Bild 9) [13].

Obschon der hergebrachte Talsperrentyp der Erddamm war, bevorzugte man lange Zeit Staumauern, sobald die Sperrhöhe 30 m übertraf, weil ihre theoretischen Grundlagen damals viel weiter entwickelt waren. Einen ersten Meilenstein bildete die 55 m hohe Staumauer an der Jogne

bei Montsalvens, 22 km südlich von Freiburg, gleich nach dem Ersten Weltkrieg (1920). Sie war die erste Bogenstau-mauer Europas, von der wenige Jahre zuvor vom Dänisch-Amerikaner *Lars R. Jorgensen* (1876–1938) entwickelten modernen Form mit von oben nach unten zunehmender, d. h. nicht mehr wie bislang konstanter Krümmung. In Montsalvens sind auch bereits die einzelnen horizontalen Bogen gegen die Felsauflager hin stärker gekrümmt und verdickt (Bild 11). Das Projekt stammte vom Basler Wasserbauer Dr. h. c. *Heinrich Gruner* (1873–1947) (Bild 10), der die Entwicklungen in den USA seit seinem Aufenthalt daselbst 1900/01 aufmerksam verfolgt hatte. Die Überprüfung der Beanspruchung des Bauwerks stützte sich auf ein 1913 von Dr. *Hugo F. L. Ritter* (1883–1956), Sohn des bekannten Statik- und Brückenbauprofessors an der ETHZ, Dr. h. c. *K. Wilhelm Ritter* (1847–1906), veröffentlichtes Verfahren, das eine Verbesserung entsprechender amerikanischer Methoden darstellte. 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. Mit zahlreichen weiteren Verfeinerungen wurde das Verfahren zur Berechnung praktisch aller schweizerischen Bogenmauern verwendet.

Montsalvens wurde auch als erste Schweizer 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 mit einbetonierten, elektrischen Thermometern wurden vor allem die Verformungen des Bauwerks und seiner Umgebung mit Hilfe von Vermessungen ermittelt. Diese Methode wurde unter Mitwirkung des Bundesamtes für Landestopographie und andern rasch zu hoher Perfektion gebracht und bei den meisten schweizerischen Talsperren üblich. Ein Gebiet, auf dem die schweizerische Liebe zur Präzision reiche Früchte trug!

Bereits 1924 wurde mit der 112 m hohen Gewichtsstau-mauer Schräh im Wägital, 21 km nordöstlich von Schwyz, ein neuer Höhenrekord aufgestellt, der für einige Jahre gar ein Weltrekord blieb (Bild 9). Um den bisher grössten schweizerischen Stausee zu bilden, war eine Betonmenge von 237 000 m³ erforderlich. Um diese innert nützlicher Frist einbauen zu können, griff man auf die bestechend einfache amerikanische Methode von Betontransport und -verteilung mittels Giessrinnen zurück (Bild 13). Damit der Beton in diesen Rinnen über grössere Distanzen flessen konnte, musste ihm allerdings rund die Hälfte mehr Wasser zugegeben werden als üblich. Die damit verbundene Festigkeits-einbusse konnte man angesichts der bescheidenen Betonbeanspruchungen in einer Gewichtsstau-mauer in Kauf nehmen. Was man damals noch nicht kannte, war die geringe Frostbeständigkeit stark wasserhaltigen Betons, was erhebliche Schäden und aufwendige Reparaturen nach sich zog. Dies auch an andern Gussbetonmauern, doch zum Glück nicht an den dreien im bernischen Oberhasli, deren Bau unter Leitung von *Arnold Kaech* (1881–1965) bereits begonnen hatte. Unter diesen befand sich die 1932 fertiggestellte, stark gebogene Gewichtsmauer Spital-lamm von 114 m Höhe.

Inzwischen war die grosse Weltwirtschaftskrise ausgebrochen und im Zeichen der Zeit wurde die nächste grosse Sperre an der Dixence, 18 km südlich von Sitten, 1931 bis 1935 in der materialsparenden Pfeilerbauweise erstellt. Projektverfasser war der vorgenannte *Stucky*, nun Professor an der EPFL (Bild 15). Die beachtliche Betonmenge von 421 000 m³ wurde ohne schädliche Folgen noch im Guss-

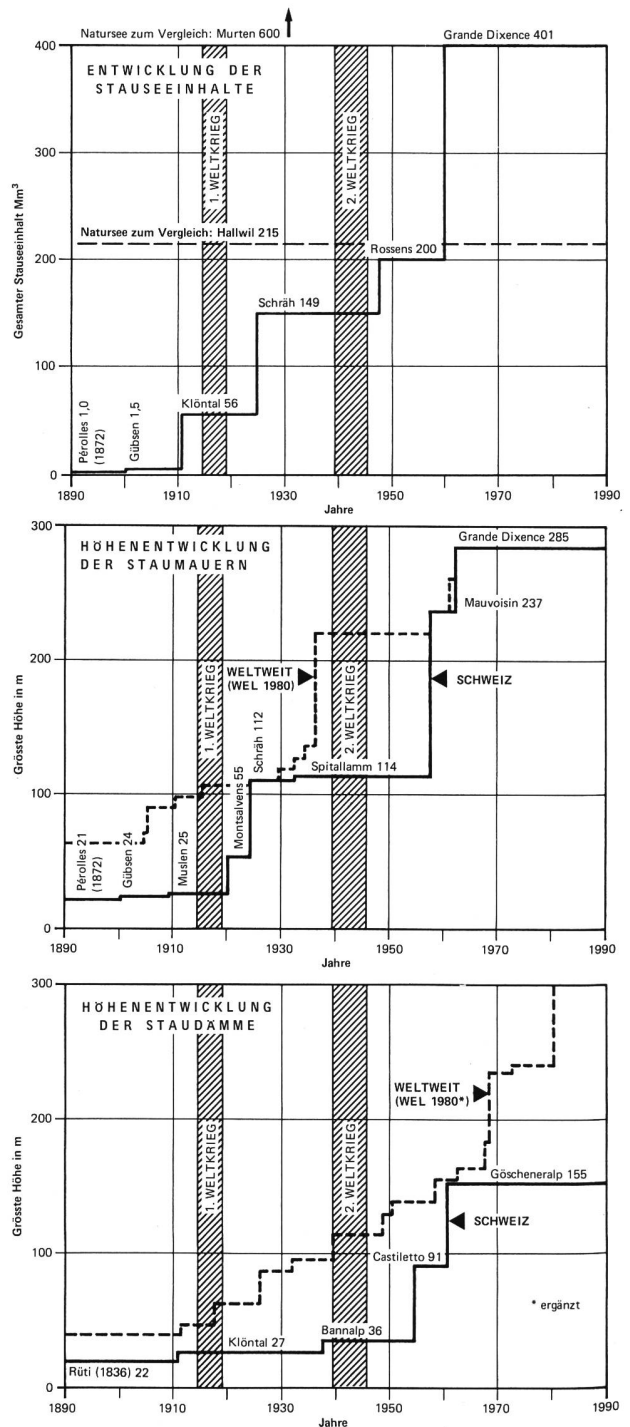


Bild 9. Entwicklung des Stauseeinhaltes in der Schweiz sowie der Höhen von Stau-mauern und -dämmen (mit internationalen Vergleichen).

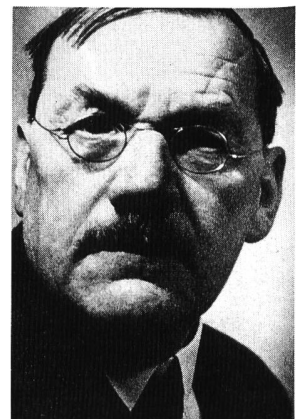


Bild 10. Dr. h. c. *Heinrich E. Gruner* (1873–1947).

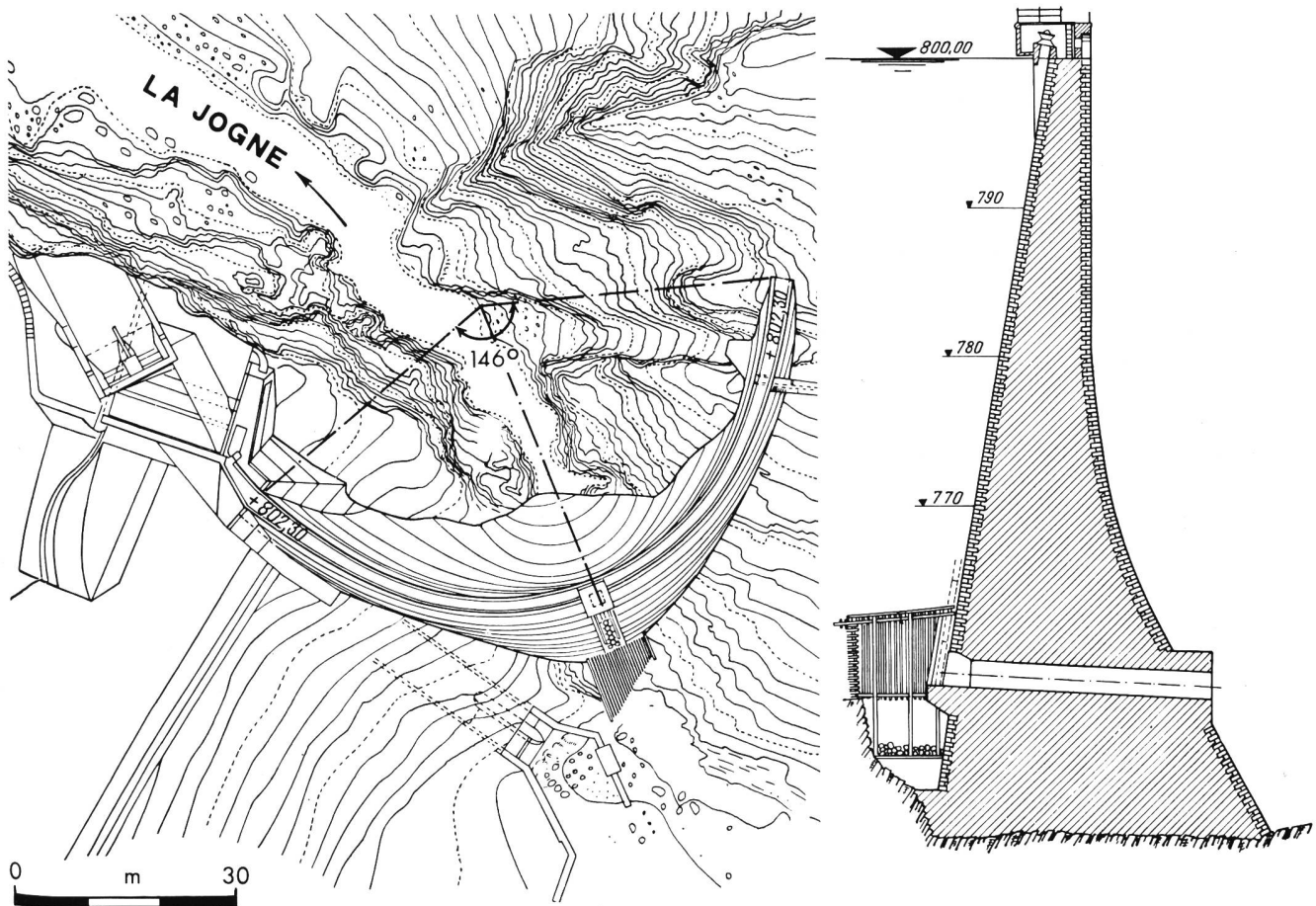


Bild 11. Höchster Querschnitt und Lageplan der Bogenstaumauer Montsalvens.

betonverfahren eingebracht. Doch bereits während ihres Baues wurde in den USA die Verdichtung von Staumauerbeton mittels in ihn eingetauchter Vibratoren entwickelt. Diese bald auch in der Schweiz verwendete Methode erlaubte die Rückkehr zu minimalen Wassergehalten im Beton und ist noch heute die übliche Art der Betonverarbeitung. Mit 87 m Höhe blieb die Dixence-Mauer bis nach dem Zweiten Weltkrieg die höchste Pfeilerstaumauer der Welt. 1957 ging sie im Stau der entstehenden Grande-Dixence-Sperre unter.

Eine weitere Pfeilerstaumauer wurde noch während des Zweiten Weltkrieges zum Aufstau des natürlichen Lucendrosee beim St.-Gotthard-Pass 1942 in Angriff genommen. Ihre bis 73 m hohen Pfeiler sind erheblich schlanker als die der Dixence-Sperre, weil eine Konstruktion verwendet wurde, die der nach Kalifornien ausgewanderte Schweizer Talsperreningenieur *Fred A. Noetzi* (1887–1933) Ende der 1920er Jahre entwickelt und mehrfach erfolgreich angewandt hatte. Doch die Durchbrechung zweier deutscher Gewichtsstaumauern durch englische Bomben in der Nacht zum 17. Mai 1943 rief bei Schweizer Militär und Behörden schwere Bedenken bezüglich Kriegstauglichkeit und Sabotageanfälligkeit von Talsperren hervor. Dies führte einerseits zur Vorschrift von Wasserlarmanlagen unterhalb aller grösseren Stauhaltungen. Zum anderen musste die 1947 fertiggestellte Lucendromauer nachträglich durch Querriegel zwischen ihren Pfeilern verstärkt werden.

Blütezeit

Die Hochkonjunktur nach dem Zweiten Weltkrieg bewirkte, wie eingangs erwähnt, einen forcierten Ausbau der schweizerischen Wasserkräfte und einen entsprechenden Boom

im Talsperrenbau (Bild 14). Noch während des Krieges projektierte der vorgenannte *Gicot* (Bild 17) die 1945 bis 1948 gebaute Rossens-Sperre, 10 km südlich von Freiburg, als erste echte Bogenmauer seit der nahegelegenen von Montsalvens (siehe vorstehend). Durch ihr hohes Verhältnis von Kronenlänge (320 m) zu Höhe (83 m) und vor allem durch ihre Gründung in weichem Sandstein zeigt sie beispielhaft die Möglichkeiten der Bogenstaumauer auf. Diese wurde denn auch zum vorherrschenden Typ im Schweizer Talsperrenbau, insbesondere unter den hohen Bauwerken (Bild 14). Von den 25 über 100 m hohen Sperren sind 19 oder drei Viertel Bogenmauern. Vier dieser Sperren sind gar über 200 m hoch.

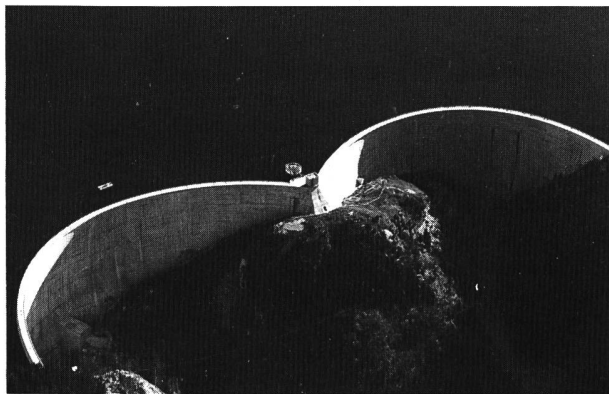


Bild 12. Luftaufnahme der Zwillingsbogenstaumauer Hongrin (Foto EOS, Lausanne).

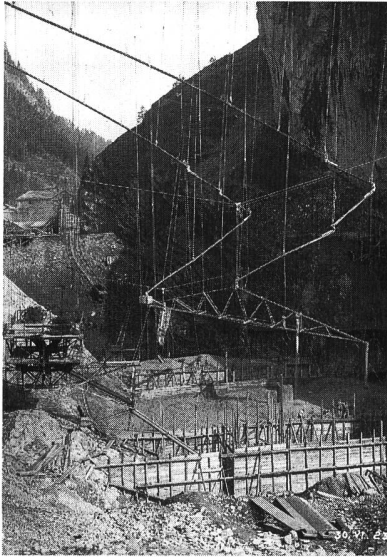


Bild 13. Betonierung 1924 der Staumauer Schräg mittels Giessrinnen (Foto E. Schnitter, Itznach/ZH).

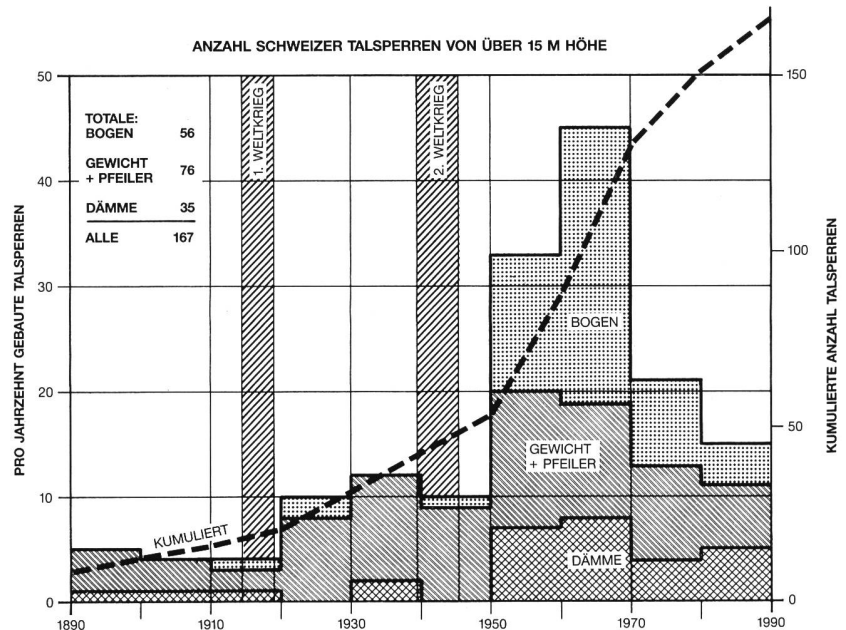


Bild 14. Entwicklung der Anzahl schweizerischer Talsperren von über 15 m Höhe und ihre Bautypen.

Paradoxerweise ist die höchste Talsperre der Schweiz und höchste Staumauer der Welt die 285 m hohe Grande Dixence, 18 km südlich von Sitten, eine Gewichtsmauer (Bild 16). Deshalb waren auch fast 6 Mio m³ Beton erforderlich für ihren Bau, der nur 6 Jahre nach Kriegsende aufgenommen wurde und bis 1961 dauerte. Vorbilder für solche Vorhaben, vor allem bezüglich Materialtechnik und Baumaschinen, gab es damals nur in den USA, wo der Talsperrenbau weit weniger als in Europa durch den Krieg behindert worden war. Durch geschickte Anpassung und Verbesserung der übernommenen Methoden gelang es binnen kurzem, die Amerikaner auf ihrem ureigensten Gebiet der arbeitssparenden Mechanisierung von Baustellen zu überflügeln. Das war auch nötig, weil die Arbeitskraft rasch teurer wurde und vorwiegend aus von immer weiter her geholten Fremdarbeitern bestand. Bei den Baufirmen förderten vor allem *Albert Lüchinger* (1896–1961), Oberingenieur von Locher & Cie. AG, und Dr. h. c. *Gerold Schnitter* (1900–1987), Direktor der AG C. Zschokke und nachmaliger ETHZ-Professor, die konsequente Rationalisierung. Parallel zur Grande Dixence und nur 10 km weiter südlich entstand 1951 bis 1957 bei Mauvoisin die höchste Bogenstaumauer der Schweiz von 237 m Höhe (1989/91 um 13 m

erhöht). Obschon sie schliesslich 88% der Höhe von Grande Dixence erreichen wird, erforderte sie nur gut einen Drittel soviel Beton. Das Projekt stammt vom vorgenannten *Stucky*, der zusammen bzw. gefolgt von seinem Sohn, Dr. h. c. *Jean-Pierre Stucky* (geb. 1917) noch für zahlreiche weitere Bogenstaumauern verantwortlich zeichnete. Das gleiche gilt für *Gicot*, dem wir unter anderem die 1965 bis 1969 gebaute Zwillingsperre Hongrin, 33 km südöstlich von Lausanne, verdanken, 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 Staumauern wurden nach dem Zweiten Weltkrieg in der Schweiz vermehrt auch wieder Dämme gebaut (Bild 14), nachdem deren Projektierung und Ausführung endlich ihre rationale bzw. wissenschaftliche Grundlage erhalten hatten. Bereits 1950 bis 1954 wurde der Erddamm Castiletto bei Marmorera, 38 km südlich von Chur, gebaut. Mit einer Höhe von 91 m und einem Schüttvolumen von 2,7 Mio m³ übertraf er alles bisher in Europa auf diesem Gebiet Dagewesene. Als nächster grosser Dammbau folgte 1956 bis 1960 derjenige auf der Göschenalp, 28 km südwestlich von Altdorf (Bild 18). Mit 155 m Höhe

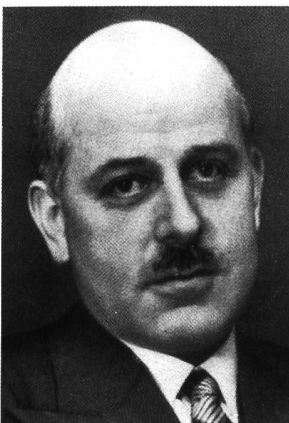


Bild 15. Prof. EPFL Dr. h. c. Alfred Stucky (1892–1969).



Bild 16. Ansicht der welt-höchsten Gewichtsmauer Grande Dixence auf einer Briefmarke, die 1985 aus Anlass des erstmals in der Schweiz abgehaltenen internationalen Talsperrenkongresses ausgegeben wurde.



Bild 17. Dr. h. c. Henri Gicot (1897–1982).

Tabelle 1. Bemerkenswerte Injektionsschleier unter Schweizer Talsperren.

Betriebsaufnahme (-ende)	Name/Kanton	Typ	Talsperre			Injektionsschleier	
			Höhe (m)	Fläche (10 ³ m ²)	Max. Tiefe (m)	Fläche (10 ³ m ²)	Verhältnis Schleierfläche zu Sperrfläche
1925 (-74)	Barberine/VS	Gewicht	79	10	25*	5	0,5
1932	Spitalamm/BE	Bogen	114	16	40	9	0,6
1957	Mauvoisin/VS	Bogen	237	63	220	247	3,9
1961	Grande Dixence/VS	Gewicht	285	100	180	180	1,8
1961	Göscheneralp/UR	Damm	155	43	180	146	3,4
1963	Luzzone/TI	Bogen	208	59	115	106	1,8
1965	Limmern/GL	Bogen	146	27	300*	545	20,2
1968	Hongrin/VD	2 Bogen	125/98	38	190*	130	3,4
1968	Punt dal Gall/GR	Bogen	130	38	160	180	3,4

* In Stauseeufer

Die Tabelle enthält alle Injektionsschleier von über 100000 m² Fläche.

Tabelle 2. Bemerkenswerte Schweizer Hochwasserüberläufe.

Betriebsaufnahme (Umbau)	Name/Kanton	Typ	Talsperre		Überlauf
			Höhe (m)	Leistung (m ³ /s)	Anzahl und Typ der Schützen
1872	Pérolles/FR	Gewicht	21	90	keine
(1909)			(24)	(500)	(4 Segment)
1910	Nisellas/GR (Solis/GR)	Gewicht (Bogen)	19	350	1 Tafel (+ 2 Saugheber)
(1986)			(61)	(500)	(1 Klap. + freier Üb.)
1920	Mühleberg/BE	Gewicht	29	550	8 Tafeln + 2 Klappen
1943	Verbois/GE	Gewicht	34	800	4 Klappen
1951	Molina/GR	Gewicht	52	400	keine
(1984)			(55)	(600)	(keine)
1952	Palagnedra/TI	Bogen	72	450	keine
(1980)			(2200)	(keine)	
1962	Sufers/GR	Bogen	58	600	3 Klappen
1965	Contra/TI	Bogen	220	1000	keine
(1990)			(1800)	(keine)	

Rekorde zur Zeit der Erstellung sind kursiv.



Bild 18. Luftseitige Ansicht des Staudammes Göscheneralp (Foto E. Brügger, Zürich).

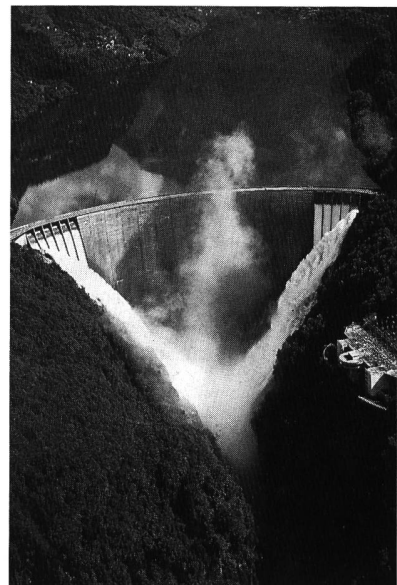


Bild 19. Hochwasserüberfälle der 220 m hohen Bogenstaumauer Contra im Tessin in Betrieb (Foto Verzasca AG, Lugano).

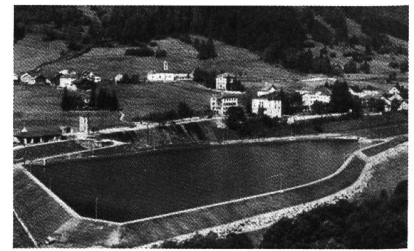
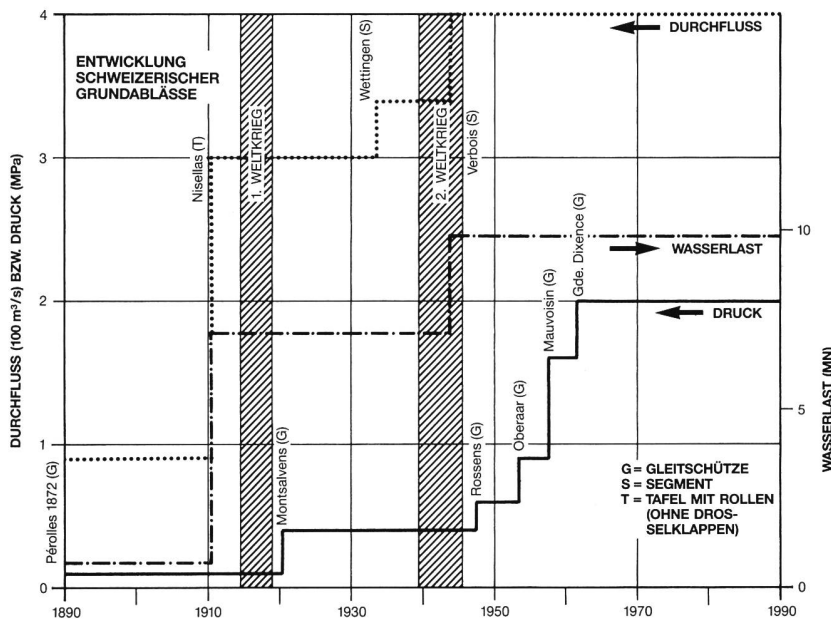


Bild 21. Im Jahre 1939 als erstes mit Bitumen verkleidetes Ausgleichsbecken von Rodi-Fiesso im Tessin (Foto Walo Bertschinger AG, Zürich).

Bild 20. Entwicklung schweizerischer Grundablässe.

blieb er knapp unter dem damaligen Weltrekord (Bild 9 unten). Das Material für den schlanken Dichtungskern musste wie Beton aus Ton von Wildegg im Aargau und lokalem Kiessand hergestellt werden, während für die beidseitigen Stützkörper Bergsturzmaterial aus der Umgebung verwendet wurde.

1961 bis 1967 entstand schliesslich der 120 m hohe Mattmarkdamm, 51 km südöstlich von Sitten. Die über 10 Mio m³ umfassende Schüttung ruht auf bis zu 100 m tiefen Alluvionen, die mit Zement- und Tongelinjektionen abgedichtet wurden (Querschnitt 20000 m²). Noch während des Baues wurde die Arbeitersiedlung unterhalb der Sperrstelle von einem Gletscherabbruch heimgesucht, der 88 Arbeitern das Leben kostete. Es ist dies das bei weitem schwerste Unglück, das den schweizerischen Kraftwerkbau betroffen hat, doch dürfen darob nicht die vielen einzelnen vergessen werden, die ihren Einsatz unter oft schwierigsten Umständen auf fast jeder Baustelle mit dem Leben bezahlen mussten. Andererseits kann dankbar festgehalten werden, dass bislang nur sehr wenige Unbeteiligte zu Schaden gekommen sind.

Nebenanlagen

Unter diesem Titel soll auf die Entwicklung der Bauten eingegangen werden, welche meistens unter, in oder neben einer Talsperre nötig sind. Im Untergrund bildet der Schleier von Zementinjektionen mittels wenige Meter auseinanderliegender Bohrlöcher, welche die Wasserdurchsickerungen unter der Sperre hindurch minimieren sollen, wohl deren wichtigste Ergänzung. Als Methode zur Verfestigung bzw. Abdichtung von gründungsnahem Fels kamen Injektionen in England und den USA schon im letzten Viertel des 19. Jahrhunderts vereinzelt zur Anwendung [14]. Ab 1915 wurden in den USA eigentliche Dichtungsschleier in grössere Tiefe erstellt.

In der Schweiz wurden beim Bau der ersten Gussbetonmauer Barberine (1921–1925), 38 km südwestlich von Sitten, erstmals sowohl kurze Verfestigungsinjektionen verwendet als auch ein tieferer, zweireihiger Dichtungsschirm unter dem wasserseitigen Mauerfuss. Beides wurde danach zur Standardprozedur, und die Tiefe der Bohrungen sowie die von diesen abgedeckten Schleierflächen erreichten beachtliche Ausmasse, vor allem bei kalkigem und deshalb oft natürlich ausgelaugtem Untergrund. Die Schleier-

flächen übertrafen den vom eigentlichen Bauwerk gesperrten Talquerschnitt gelegentlich um ein Mehr- bis gar Zwanzigfaches, wie im Fall der Staumauer Limmern (Tabelle 1). Im weltweiten Rahmen gesehen eher bescheidene Ausmasse weisen die Hochwasserüberläufe der Schweizer Talsperren auf, weil die Einzugsgebiete der von ihnen gestauten Gewässer meist klein sind (Dreiviertel unter 100 km²) (Bild 19). Zurzeit gibt es in der Schweiz erst zwei Überfälle, die mehr als 1000 m³/s abführen, und weitere sechs, die 500 bis 1000 m³/s leisten (Tabelle 2).

Unter den grössten Anlagen befindet sich die schon im 19. Jahrhundert in Fels geschnittene, 40 m weite Ablaufrinne neben der ersten grösseren Staumauer der Schweiz bei Freiburg [1]. Ihr Einlauf wurde 1909 mit vier Segmentschützen versehen, welcher Typ ebenfalls ein schweizerisches Novum darstellte (siehe vorstehenden Abschnitt über Wehre und nachstehende über Grundablässe und Wasserfassungen [6]).

In Tabelle 2 fällt auf, dass bei mehreren der angeführten Überläufe in den letzten Jahren die Leistung, zum Teil massiv, erhöht werden musste. Dies ist eine Folge der, vor allem auf der Alpensüdseite markanten, Zunahme der kurzfristigen Niederschlags- und Abflussmengen und einer entsprechenden Verschärfung der behördlichen Vorschriften [15]. Neben den grösseren Anlagen wurden davon auch zahlreiche kleinere betroffen, bei denen die sogenannten freien (ohne Schützen) Überläufe in einer grossen Mannigfaltigkeit von Formen vorherrschen.

Bei Staumauern an grösseren Flüssen, wie Aare (Mühlerberg/BE 1920), Albula (Nisellas/Solis/GR 1910/86), Limmat (Wettingen/AG 1933), Rhone (Verbois/GE 1943) usw., wurden zur Hochwasserableitung (und Abspülung von Gesteinsablagerungen im Staugebiet) auch Grundablässe durch den Mauerfuss beigezogen, welche ihre grössten Dimensionen bis zum Zweiten Weltkrieg erreichten (Bild 20). Vor diesem wurden die Grundablässe der alpinen Speicher angesichts der bis zu 0,9 MPa reichenden Wasserdrücke (Spitallammsperre/BE 1932) mit Drosselklappen von meist bescheidenem Ableitvermögen versehen. Dies änderte sich nach den vorerwähnten Bombenangriffen auf deutsche Talsperren, nach welchem Militär und Behörden Grundablässe verlangten, die eine Staumentleerung binnen weniger Tage gestatten. Deshalb sind die Grundablässe der neueren Schweizer Talsperren meist reichlich bemessen

Tabelle 3. Anstiche von Naturseen in der Schweiz.

Name/Kanton	Absenkung (Stollen)			Aufstau (Talsperre)		
	Jahr	Tiefe* (m)	Inhalt (Mm ³)	Jahr	Höhe (m)	Inhalt (Mm ³)
Lungern/OW	1836	36	50	—	—	—
Tanay/VS	1902	26	3	—	—	—
Klöntal/GL	1909	7	7	1910	16	37
Ritom/TI	1917	27	20	1920	7	8
Tremorgio/TI	1918	26	7	1952	22	28
				1927	4	2
Arnen/BE	1921	25	6	1942	2	1
Lucendro/TI	1944	22	3	1957	10	4
Mutt/GL	1963	29	6	1947	60	22
Sfundau/TI	1968	30	1	—	—	—
Naret/TI	1970	17	3	1968	26	3
				1970	72	28

* Auf Betriebssenkziel, ohne einige Meter Mehrtiefe während Bau.

und mit modernen Gleitschützen versehen, die durch öhydraulische Kolbenpressen betätigt werden. Sie widerstehen einem Druck von bis zu 2 MPa (Grande Dixence/VS 1961) und einer Wasserlast von bis zu 7 MN (Mauvoisin/VS 1957). Im internationalen Vergleich sind aber auch das eher bescheidene Zahlen [8].

2.3 Staubecken ausserhalb von Gewässern

Wo am genutzten Gewässer für eine, meist nur tägliche, Wasserspeicherung keine geeignete Stelle vorlag, hob man zu Beginn dieses Jahrhunderts öfters und später noch gelegentlich kleine Staubecken ausserhalb der Gewässer aus (in einigen Fällen gar unterirdisch). Der Aushub wurde gewöhnlich zur Schüttung von Dämmen und damit zur Erhöhung des Stauinhalts verwendet. Einige solcher Kunstspeicher dienten auch als Oberbecken für die ersten kleinen Pumpspeicherwerke (Ruppoldingen/SO 1904 bis 1960 und Schaffhausen 1909), später als Unterbecken für saisonale Pumpspeicheranlagen (Hintersand/GL 1963, Arolla und Stafel/VS 1965 sowie Les Esserts/VS 1973). Einige wenige bezwecken gar den Ausgleich des Abflusses aus dem Kraftwerk zugunsten der Unterlieger (Linthal/GL 1949/63 und Liddes/VS 1958).

Etwa die Hälfte aller künstlichen Becken dient jedoch dem Ausgleich der Betriebswassermengen aufeinanderfolgender Kraftwerkstufen, so dass diese nicht mehr strikt im Takt betrieben werden müssen (Erstanwendungen 1925 zwischen den Kraftwerken Klosters und Küblis in Graubünden sowie Oberems und Turtmann im Wallis). Die rund 50 zurzeit in der Schweiz in Betrieb stehenden Staubecken ausserhalb von Gewässern weisen einen Gesamthalt von

4,5 Mio m³ auf. Ein guter Drittel davon staut 10000 bis 50000 m³, ein weiterer Drittel 50000 bis 100000 m³. Das grösste ist mit 401000 m³ Inhalt das 1901 bis 1909 oberhalb von Spiez/BE am Thunersee erstellte Sammelbecken Spiezmoos [16].

Nur wenige der Becken konnten unverkleidet belassen oder lediglich mit Lehm abgedichtet werden. In den 1920er Jahren wurden einige gar mit Abschlüssen aus Eisenbeton versehen, wie das 47000-m³-Becken Les Marécottes, 30 km südwestlich von Sitten. Der vom bekannten Eisenbetonfachmann Prof. EPFL *Alexandre Sarrasin* (1895–1976) entworfene Abschluss besteht aus einer Vielzahl geneigter Gewölbe von je 6 m Höhe und Spannweite und ist die einzige Staumauer dieser Art in der Schweiz [17].

Wohl durch erste Anwendungen in den 1930er Jahren an Talsperren in Deutschland und im damals noch französischen Algerien angeregt, gelangte dann 1939 erstmals in der Schweiz eine Bitumenschicht von 6 cm Stärke zum Einsatz auf den Innenböschungen des 90000-m³-Beckens bei Rodi-Fiesso, 40 km nordwestlich von Bellinzona (Bild 21). Nach dem Zweiten Weltkrieg wurden Bitumenverkleidungen (auch der Sohle) die vorherrschende Art der Abdichtung von Staubecken ausserhalb von Gewässern in der Schweiz.

2.4 Nutzung von Naturseen

Der Beizug eines natürlichen Sees als Speicher ist naheliegend und verlockend, doch muss er dazu in einiger Tiefe unter dem Seespiegel angezapft (und eventuell zusätzlich aufgestaut) werden. Nebst der Gefahr von Uferrutschungen bei der Spiegelabsenkung ist die Anzapfung selbst oft ein

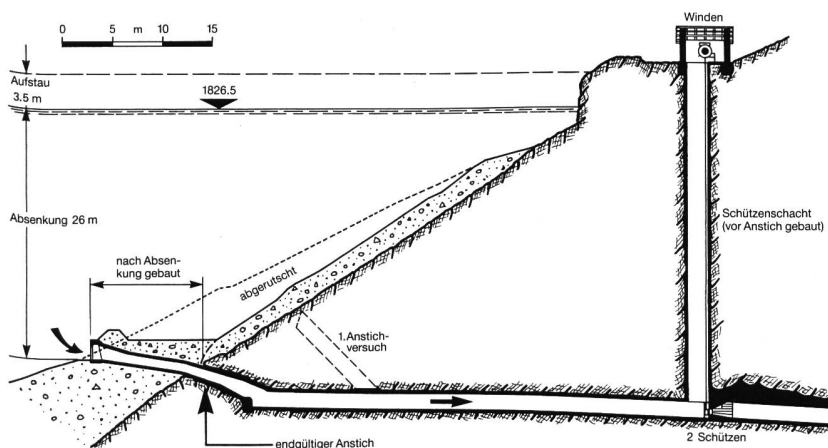


Bild 22. Anstich des natürlichen Tremorgio-Sees im Tessin 1918.

heikles Unterfangen. Wohl deshalb blieben solche in der Schweiz, trotz ihrem Reichtum an Seen, eher selten. An den Mittellandseen waren zudem nur geringe Absenkungen und Aufstauungen möglich, meist in Zusammenhang mit See-Regulierungen zum Hochwasserschutz, und die geringen Fallhöhen erlaubten nur bescheidene Wasserkraftnutzungen. Im Gebirge wurden wohl zahlreiche Naturseen überstaut, aber nur wenige (zusätzlich) abgesenkt.

Die 36-m-Absenkung des Lungernsees 30 km südlich von Luzern 1836 zählt zu den ersten derartigen Unternehmungen der Neuzeit [18]. Wie ihre Vorläufer in Antike (Albano-, Nemi- und Fucinoseen bei Rom) und Mittelalter (Lacher See bei Koblenz/BRD 1160 und Etang de Montady bei Béziers/F 1270) diente sie allerdings der Landgewinnung. Mit politisch und finanziell bedingten Unterbrüchen dauerten die Arbeiten am nur rund 400 m langen Anstichstollen fast ein halbes Jahrhundert. Die letzten Meter Fels vor dem Seeboden wurden durch eine Grosssprengung entfernt. Die Regulierschütze befand sich am luftseitigen Stollenende, während sie bei späteren ähnlichen Anlagen meist in einem lotrechten Schacht am Seeufer angeordnet wurde. 1921/26 wurde an den Stollen ein Kraftwerk angeschlossen und der Lungernsee wieder auf seine ursprüngliche Höhe aufgestaut, so dass er nun als Speicher von 50 Mio m³ Inhalt genutzt werden konnte. Um den Speicher regelmässig zu fül-

len, waren umfangreiche Wasserzuleitungen aus anderen Einzugsgebieten erforderlich.

Die neueren Seeabsenkungen erfolgten wenn immer möglich mittels Kanälen (Saug)Heberleitungen oder Pumpen, denn Seeanstiche erwiesen sich auch mit modernen Mitteln oft als schwierig (Tabelle 3).

Höchst gefährlich wurden die Arbeiten, wenn der Durchbruch zum Seeboden nicht wie am Lungernsee auf Anhieb gelang, oder wenn nachrutschende Seeablagerungen ihn wieder verstopften (Bild 22). Besonders dramatisch verlief in dieser Beziehung die Absenkung um 25 m des Arnen-sees, 65 km südlich von Bern [19]. Nach Erstellung 1913 bis 1919 des 4,6 km (!) langen Anstichstollens von einem südwestlichen Nachbartal aus mit zwei Schächten am Seeufer erfolgten zahlreiche Sprengungen, auch in Parallelästen zum Stollen, von denen aber keine zu einem bleibenden Durchbruch führte. Schliesslich musste man zu Pumpen sowie Heberleitungen greifen und erst 1921 war das Werk vollendet. 1942 und 1957 wurde der See zusätzlich aufgestaut.

Teil 2 folgt.

Adresse des Verfassers: dipl. Ing. *Niklaus Schnitter*, Fleinerweg 4, CH-8044 Zürich.

Wasserkraft – die umweltfreundliche Energiequelle der Alpen

Eberhard Wagner

Die Arbeitsgemeinschaft Wasserkraft in Bayern, München, der Österreichische Verein für Ökologie und Umweltforschung, Wien, und der Schweizerische Wasserwirtschaftsverband, Baden, haben unter dem obengenannten Motto ihr nunmehr 7. Symposium durchgeführt. Die Veranstaltung fand am 25. und 26. Oktober 1989 in St. Gallen, Schweiz, statt.

Die Begrüssung wurde durch den Direktor des Schweizerischen Wasserwirtschaftsverbandes, *G. Weber*, vorgenommen. Er erwähnte rückblickend das im Januar 1989 in München durchgeführte Symposium über die Restwasserproblematik bei Ausleitungen von Seitenkanal-Kraftwerken. Ein Abschluss des eidgenössischen Gewässerschutzgesetzes in dieser Sache, das eine starre Regelung – unabhängig von Standorteigenheiten – vorsieht, stehe noch aus. Diese Regelung brächte erhebliche Einbussen der Elektrizitätserzeugung durch Wasserkraft mit sich. Zusätzliche Gesetzesvorschläge stellten einen absoluten Vorrang des «Schutzgedankens» dar. Dieser würde jeden weiteren Ausbau der Wasserkraft de facto behindern.

Mehrere Beiträge von Schweizern vertieften die Problematik der immer stärker werdenden Gegensätzlichkeiten durch den weiter steigenden Elektrizitätsbedarf einerseits und den Realisationsschwierigkeiten der eigentlich allgemein anerkannten umweltfreundlichen Wasserkraftnutzung andererseits. Auch möglicherweise sehr einseitige Regelungen über die Festlegung des Preises der Nutzung der Wasserkraft und des Lastenausgleichs zwischen Produzenten- und Verbraucherkantonen (Wasserzins, Landschaftsrappen) könnten zu einer Entsolidarisierung der Kantone führen. Die sich ergebende «Betroffenheitsdemokratie» widerspräche aber dem innersten Wesen des Schweizer Bundesstaates (Nationalrat *Theo Fischer*, Hägglingen, Präsident des Schweizerischen Wasserwirtschaftsverbandes).

Die schweizerische Wasserkraftnutzung steht vor einer Neuorientierung. Erst nach den im Jahre 1990 anstehenden Volksentscheiden über einen neuen Energieartikel, über die Nutzung der Kernenergie sowie über die Initiative zum Gewässerschutz werden die Konsequenzen klarer hervortreten.

In mehreren Vorträgen wurden die Schwierigkeiten bei der Realisierung von Wasserkraftnutzungen bei älteren Anlagen (Umbauten) wie auch bei neuen Standorten in der Schweiz, in Österreich und in der Bundesrepublik Deutschland dargelegt.

Die Anlagen dienen in der Regel nicht nur der Elektrizitätserzeugung, sie haben auch bedeutsamen wasserwirtschaftlichen Nutzen. So wird die nach einem sieben Jahre währenden Genehmigungsverfahren jetzt im Bau befindliche Donau-Stützkraftstufe Vohburg (Bahnstromversorgung) zukünftig die Hochwassergefahr mindern und den Eintiefungstrend – dessen Folge die Senkung des Grundwasserspiegels (Versteppungen, Rückgang der Auwälder, Trockenfallen von Mooren) ist – sowie eine sonst steigende Gefährdung von Ufern und Brücken verhindern. Die Bemühungen um die Sanierungsmassnahmen der Donau und der Donauauen wurden beeindruckend dargestellt. Die Baumaassnahme war aus Gründen des allgemeinen Naturschutzes und der Landschaftspflege notwendig. Die vielfältigen Probleme wurden als interdisziplinäre Aufgabe angegangen und in enger Abstimmung mit der betroffenen Region behandelt. Letztlich war es eine politische Entscheidung, dieses Projekt zu realisieren, wobei politische Entscheidungen sich im Grunde dadurch auszeichnen sollten, dass alle Aspekte einer Sache betrachtet und gewogen werden und dann entsprechend entschieden wird. Diese Massgabe sei von der Bayerischen Staatsregierung erfüllt worden (*H. Lemmrich*, Rhein-Main-Donau AG).

Über die Einzelheiten eines ähnlich langwierigen Verfahrens mit etwa 1500 Einsprechern befasste sich ein Bericht über das Kraftwerksprojekt Oberaudorf-Ebbs am Inn im Grenzbereich zwischen Österreich und der Bundesrepublik Deutschland (*F. Oberndorfer*, Österreichisch-Bayerische Kraftwerke AG).