

Zeitschrift:	Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria
Herausgeber:	Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband
Band:	81 (1989)
Heft:	7-8
Artikel:	Entwicklung der Wasserkraftnutzung in der Schweiz im 19. Jahrhundert
Autor:	Schnitter, Niklaus
DOI:	https://doi.org/10.5169/seals-940488

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: 10.02.2026

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

Entwicklung der Wasserkraftnutzung in der Schweiz im 19. Jahrhundert

Niklaus Schnitter

Zusammenfassung

Bis Mitte des 19. Jahrhunderts waren die vom Mittelalter ererbten Wasserräder die einzigen in der Schweiz verfügbaren Motoren, und ihre Zahl dürfte rund 10000 erreicht haben. Sie wurden dann rasch durch Turbinen ergänzt bzw. verdrängt. Die volle Nutzung letzterer in grösseren Kraftwerken scheiterte lange am Problem der Energieübertragung über grössere Entfernung. Erst die Elektrizität brachte gegen Ende des 19. Jahrhunderts den Durchbruch und die Voraussetzungen für den Vollausbau der Wasserkräfte der Schweiz im 20. Jahrhundert.

Résumé: Développement de l'utilisation de la houille blanche en Suisse au 19^e siècle

Jusqu'au milieu du 19^e siècle les roues hydrauliques héritées du moyen-âge étaient les seuls moteurs disponibles en Suisse, où leur nombre atteignit environ 10000. Par la suite elles furent supplées ou remplacées par des turbines. L'utilisation complète de ces dernières se heurta longtemps au problème de la transmission d'énergie sur des distances plus grandes. Ce fut l'électricité qui en apporta la solution vers la fin du 19^e siècle et créa les bases pour le développement complet de la houille blanche en Suisse pendant le 20^e siècle.

Summary: Development of hydro power utilization in Switzerland in the 19th century

Up to the middle of the 19th century water wheels inherited from the Middle Ages were the only source of power available in Switzerland, where their number reached about 10000. Thereafter they were complemented or replaced fast by turbines. The full utilization of the latter in larger power plants was hindered for many years by the problem of energy transmission over longer distances. Electricity brought the breakthrough towards the end of the 19th century and established the base for the full development of the hydro power resources of Switzerland in the 20th century.

1. Einleitung

Seit ihrer starken Verbreitung und Diversifikation im Zuge und als Grundlage der «industriellen Revolution des 12. Jahrhunderts» waren Wasserräder über viele Jahrhunderte die einzige nicht auf Muskelkraft beruhende motorische Energie in der Schweiz [1]. Das blieb selbst während der industriellen Revolution des 19. Jahrhunderts so, welche an andern Orten weitgehend auf Kohle und Dampfkraft gründete. In der Schweiz fehlte, abgesehen vom beschränkt verwendbaren Holz, der Brennstoff. Zu seinem Import fehlte auch ein leistungsfähiges Transportmittel. Ein solches stand erst mit der Verbreitung der Eisenbahn in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts zur Verfügung. So zählte die erste landesweite Statistik 1875 rund 6000 Wasserräder [2]. Selbst 1914 waren es noch deren 4900. Heute sind davon wenige hundert übrig.

2. Apotheose des Wasserrades

Vor der nachstehend behandelten Einführung der Turbine in den 1830er Jahren standen vermutlich noch viel mehr Wasserräder in Betrieb. Während sich nämlich aus der vor-

genannten Statistik von 1875 [2] für den Kanton Thurgau rund 350 Wasserräder errechnen lassen, führt ein Protokoll des thurgauischen Regierungsrates von 1825 deren 593 oder etwa 70% mehr auf. Interessant ist auch ihre Aufteilung nach Anwendungszwecken (Mehrzweckräder pro Rada verteilt):

– Getreideverarbeitung	71 %
– Holzverarbeitung (meist Sägen)	11 %
– Kollergänge («Reiben»)	7 %
– Stampfwerke («Bläuen»)	4 %
– Ölmühlen	2 %
– Papiermühlen	2 %
– Gewebeverarbeitung («Walken»)	1 %

Dies ist ein getreuer Spiegel der im Spätmittelalter erfolgten Diversifikation der Anwendung von Wasserrädern [1]. Eines der 593 Räder gehörte bereits zu einer «Fabrik». Es handelt sich um die 1777 eröffnete Stoffdruckerei des Frühindustriellen Bernhard Greuter (1745–1822) in Islikon 4 km südwestlich der Kantonshauptstadt Frauenfeld. Der «Greuterhof» samt Wasserrad von 8,2 m Durchmesser wurde kürzlich restauriert und dient nun einer Stiftung für Berufsinformation [3].

Überträgt man die Thurgauer Verhältnisse auf die ganze Schweiz, so hätte es in dieser vor der Einführung der Turbine rund 10000 Wasserräder oder eines pro 200 Einwohner

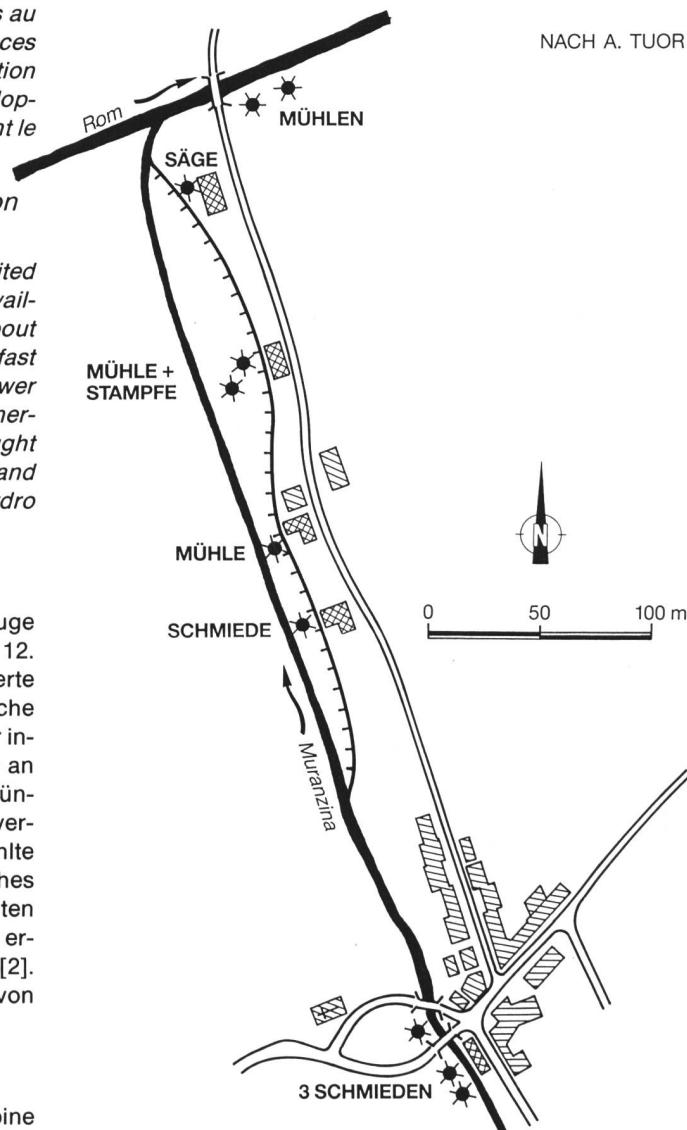


Bild 1. Frühere Wasserräder um Santa Maria im Münstertal, Graubünden.

gegeben. Bei einer mittleren Leistung derselben von 5 kW standen somit pro Kopf etwa 25 W oder ein halber «Energiesklave»¹ an motorischer Kraft zur Verfügung. Eine solche Mitteilung über die Gesamtbevölkerung scheint zulässig, weil seit dem Mittelalter das Wasserrad in die hintersten, erst neulich intensiv besiedelten Gebirgstäler vorgedrungen war.

Beispielhaft seien hier die zehn Wasserräder von Santa Maria im Münstertal 74 km südöstlich von Chur in Graubünden genannt, von welchen je vier Mühlen und Schmieden antrieben und die übrigen zwei je eine Säge und eine Stampfe (Bild 1) [4]. Es scheint sich dabei meist um vertikale Strauberräder gehandelt zu haben. Horizontale Stockräder betätigten dagegen mehrheitlich die je zwei Mühlen und Reiben sowie eine Schmiede und eine Säge. Diese drängten sich auf nur 50 m Länge entlang dem linken Ufer der Vièze de La Tine im Val d' Illiers zusammen (Bild 2) [5]. Dieser interessante Komplex 34 km westlich von Sitten im Wallis soll restauriert werden. Bereits restauriert wurde eine ähnliche Gruppe von drei Mühlen, einer Walke und einer Öle bei St-Luc im Val d'Anniviers 19 km östlich von Sitten [6]. In ihrer Auslegung und Gestaltung behielten die Wasserräder, namentlich diejenigen im Gebirge, die bäuerlich-handwerkliche Technik des Spätmittelalters bei, auch wenn die stärkeren Beanspruchungen ausgesetzten Teile der Räder, wie Wellen und Getriebe oder gar sie selbst, zunehmend aus Eisen und später Stahl gefertigt wurden.

Zum Abschluss dieses Kapitels soll noch auf eine Spezialität des Gebirgslandes Schweiz hingewiesen werden, die auch bei den späteren Grosskraftwerken gepflegt wurde: die unterirdische Anordnung von Wasserrädern. Im Jura wurde so die Fallhöhe von in natürlichen Karsthöhlen verschwundenden Bächen genutzt, oft mehrfach durch untereinander angeordnete oberschlächtige Vertikalräder. Die grösste derartige Anlage erstellte Jonas Sandoz um 1665 am Col-des-Roches 17 km nordwestlich von Neuenburg [7]. Er begnügte sich nicht mit den vorhandenen Höhlen und Gängen, sondern erweiterte und ergänzte diese durch Ausbrüche, Stollenbauten und Ausmauerungen, um mit drei Wasserrädern eine gesamte Fallhöhe von 20 m zu nutzen. Angetrieben wurden vier Mühlen, eine Reihe und eine Öle (Bild 3). Bereits über ein Jahrhundert zuvor hatten die Brüder Jean und Jacques Rochat im unterirdischen Abfluss des Brenet-Sees bei Bon Port 28 km nordwestlich von Lausanne

¹ Leistung eines Menschen bei 8000 kJ/Tag bzw. 2250 W/Tag Nahrung, 20% Wirkungsrad und 9 h/Tag Arbeitszeit.

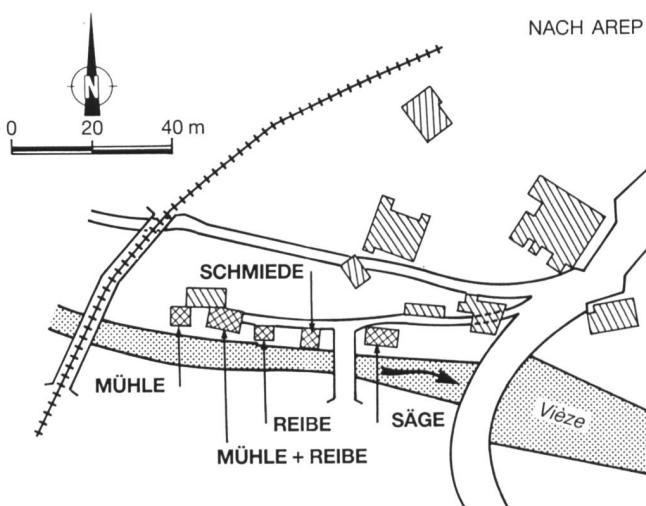


Bild 2. Der Wasserräderkomplex von La Tine im Val d' Illiers, Wallis.

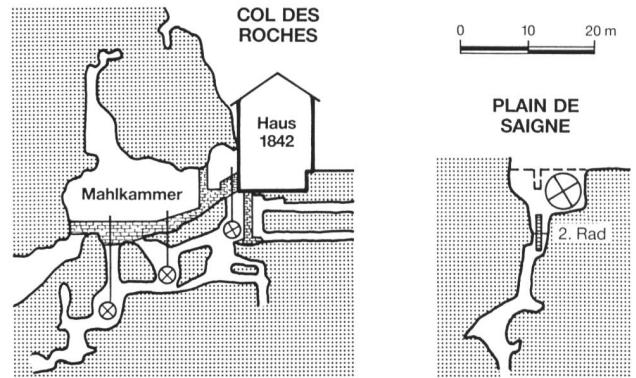


Bild 3. Vertikalschnitte durch die unterirdischen Mühlen am Col-des-Roches (links) und im Plain de Saigne (rechts).

Mühlen, Sägen und Schmieden erstellt [8]. Im 17. und 18. Jahrhundert entstand schliesslich eine zweistöckige Anlage im Plain de Saigne 22 km südwestlich von Delsberg im Kanton Jura (Bild 3) [9].

Die wohl sonderbarste unterirdische Wasserkraftanlage hat der Seidenbandfabrikant Johann R. Meyer (1768–1825) ab 1791 unter dem Gebiet des heutigen Bahnhofes von Aarau erstellen lassen [10]. Wohlgemerkt klammheimlich! Ausgehend von seiner Liegenschaft nördlich des Bahnhofes, zapfte ein Stollensystem von etwa 1,5 km Länge das Grundwasser an und leitete es auf ein ebenfalls unterirdisches Wasserrad von beachtlichen 9,75 m Durchmesser, das Meyers Fabrik antrieb. Erst 36 Jahre nach Baubeginn erhielt die Anlage 1827 ihre offizielle Konzession!

3. Einführung der Turbine

Allgemeines

Im Zeichen der Aufklärung und beginnenden Industrialisierung im 18. Jahrhundert wurden in Frankreich und England auch die, wie gesagt, vom Mittelalter übernommenen Wasserräder wissenschaftlich unter die Lupe genommen. 1752 begann der englische Ingenieur John Smeaton (1724–92) mit entsprechenden Modellversuchen, denen ein Jahr später in Frankreich diejenigen von Antoine Deparcieux (1703–68) folgten. Gleichzeitig entwickelte der damals in Berlin tätige Basler Mathematiker und Physiker Leonhard Euler (1707–83) die erste konsistente Theorie der hydraulischen Maschinen. Er ging dabei aus von dem vom Göttinger Gelehrten Johann Andreas Segner (1704–77) 1753 in Nörten bei Göttingen (BRD) für eine Öl presse installierten Reaktionsrad. Dieses funktionierte wie ein heutiger Gartensprenger [11]. Euler entwarf eine ähnliche Maschine, bei der er erstmals auch Leitschaufeln zur optimalen WasserVerteilung auf das Laufrad vorsah. An einem 1943 nachgebauten Modell der Maschine konnte ein Wirkungsgrad von bis zu 71 % gemessen werden (s. Bild 4 und 10-Franken-Note). Obwohl damit der theoretische Grundstein für die modernen Turbinen gelegt war, dauerte es ein Dreivierteljahrhundert, bis der französische Bergbauingenieur Benoit Fourneyron (1802–67) 1827 die erste industriell verwertbare Überdruck- oder Reaktionsturbine mit Wasserfluss von innen nach aussen konstruierte und ab 1832 erfolgreich vermarktet (Bild 5) [12]. Allerdings nicht sehr lange konkurrenzlos, denn schon 1841 trat die Textilfirma von André Koechlin (1789–1875) im elsässischen Mülhausen mit der von seinem Werkmeister F. Nicolas J. Jonval (1804–44) konstruierten bzw. dem Deutschen Carl Anton Henschel (1780–1861) abgeguckten Maschine auf den Plan, die axial durchflossen wurde und erstmals auch ein Saugrohr zur vollständigen Fallhöhennutzung aufwies.

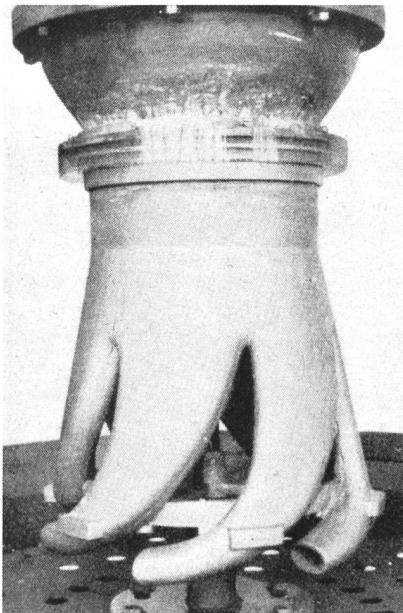


Bild 4. 1943 gebautes und geprüftes Modell der 1754 von Leonhard Euler entworfenen Reaktionsturbine (Foto Sulzer-Escher Wyss).

Der letztgenannte Turbinentyp wurde sofort auch vom Architekten und Maschineningenieur *Hans Caspar Escher* (1775–1859) aufgegriffen, der 1805 zusammen mit dem Bankier *Salomon von Wyss* (1769–1827) am Neumühlequai 10 in Zürich die Baumwollspinnerei Escher Wyss gegründet hatte (heute Sulzer-Escher Wyss im Hardquartier) [13]. Da die Fabrik den Grossteil ihrer Einrichtungen einschliesslich der Wasserräder an der Limmat selbst gebaut und anschliessend erfolgreich für Dritte hergestellt hatte, war inzwischen aus der Spinnerei eine Maschinenfabrik geworden, die vor allem auch den Bau von hydraulischen Maschinen pflegte. Neben der Herstellung von Jonval-Überdruckturbinen gelangte für Fallhöhen über 15 m ab 1846 ein Vorfänger der heutigen Freistrahl- oder Aktionsturbine zum Einsatz, das vom Escher-Wyss-Ingenieur *Walter Zuppinger* (1814–89) entwickelte Tangentialrad (Bild 6). Ab 1870 wurde es bei Vorliegen grösserer Wassermengen ergänzt durch die 1863 von *L. Dominique Girard* (1815–71) in Paris herausgebrachte, vollbeaufschlagte Strahlaturbine. Diese stellte 1875 bereits über die Hälfte des Leistungspotentials von 22 MW der rund 400 dazumal in der Schweiz installierten Turbinen [2]; 39% erbrachten Jonval- und 10% Tangentialräder. Die Hälfte der Turbinenleistung befand sich übrigens in den vier Kantonen Zürich, St. Gallen, Glarus und Bern (heute: 50% im Wallis und in Graubünden). Im Kanton Glarus erfolgten bereits 73% der Wasserkraftnutzung mittels Turbinen, im gesamtschweizerischen Mittel 42%.

Industriekraftwerke

Die Turbine setzte sich also rasch durch, vor allem bei neuen Industrieanlagen. Sie war viel kompakter als das Wasserrad, brauchte somit weniger Material für ihre Herstellung und weniger Raum für ihre Unterbringung. Die hö-

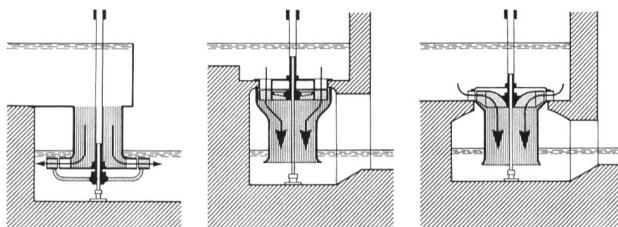


Bild 5. Vertikalschnitte der gängigsten Überdruckturbinen (nach L. Quantz: Wasserkraftmaschinen, 1924; Laufräder punktiert).

here Drehzahl erlaubte oft auch Einsparungen bei den Getrieben. Schliesslich brachten die Turbinen eine weitere Steigerung des Wirkungsgrades, obschon neuere Wasserräder inzwischen auch schon 80% erreicht hatten. Doch deren Gesamtleistung liess sich, bei vertretbaren Dimensionen, nicht über etwa 40 kW steigern, während mit Turbinen viel grössere Leistungskonzentrationen in einer Maschine möglich wurden.

Wenn diese Möglichkeit vorerst nicht voll ausgeschöpft wurde, so lag das an den Beschränkungen der Energieübertragung, für die damals nur Wellen, Riemen oder Drahtseile sowie Druckluft oder -wasser zur Verfügung standen. In dieser Beziehung blieb alles beim alten, und selbst die modernsten Fabriken mussten wie ehedem die alten Mühlen in der Nähe der Wasserkraftquelle errichtet werden. Daraus erklärt sich die vorerwähnte Konzentration der Turbinen in den zuerst industrialisierten Kantonen sowie die Bevorzugung von kleineren Gewässern, die sowohl konzentrierte Fallhöhen als auch die Möglichkeit zur Anlage eines Regulierbeckens boten [2].

Eine der ersten Turbinen in der Schweiz gelangte 1845 in der bereits 1802 entstandenen grossen Spinnerei in der Hard, 4 km nordwestlich von Winterthur im Kanton Zürich, zur Aufstellung (Bild 7) [14]. Sie ersetzte mindestens eines der drei ursprünglichen Wasserräder und wurde ihrerseits mehrfach durch grössere Maschinen ersetzt, 1875 gar an einem neuen Standort. Diese vierte Turbine wurde vom Winterthurer Spinnereiindustriellen, Oberst und Ständerat *Heinrich Rieter* (1814–89) geliefert, der 1853 in der von seinem Ingenieur und Schwager, *David H. Ziegler* (1821–1901), geleiteten Maschinenfabrik Obertöss am südwestlichen Stadtrand den Turbinenbau aufgenommen hatte [15]. Drei Jahre danach tat es ihnen und der vorgenannten Escher Wyss der Flechtereiindustrielle *August Bell* (1814–70) in Kriens, 3 km südwestlich von Luzern, gleich. Später folgten noch einige andere. Damit wurde der Turbinenbau eine Spezialität der jungen Schweizer Maschinenindustrie, die dank zahlreicher Spitzenleistungen rasch auch internationale Bedeutung erlangte.

Ein weiteres schönes Beispiel für «Auf der grünen Wiese», oder besser gesagt «Am blauen Bach», errichtete Fabriken ist die Spinnerei Neuthal bei Bauma, 25 km östlich von Zürich [16]. Sie wurde 1827 gegründet vom Müllersohn *Rudolf Guyer*, dem Vater des späteren «Eisenbahnkönigs» und Erbauers der Jungfraubahn, *Adolf Guyer-Zeller* (1829–99).

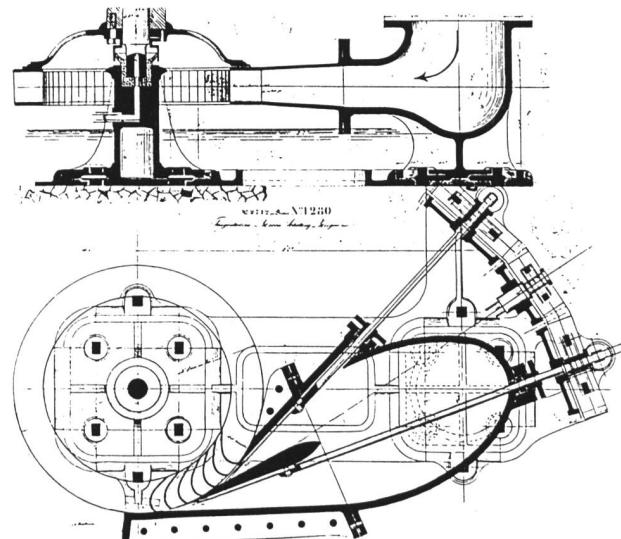


Bild 6. Vertikal- (oben) und Horizontalschnitt (unten) des Zuppingerschen Tangentialrades (nach Originalplan Sulzer-Escher Wyss).

Vorerst wurde die Wasserkraft des Kringelbaches genutzt, an dem sich schon eine Mühle samt Weiher aus dem 18. Jahrhundert befanden (Bild 8). Der rund 18000 m³ stauende Erddamm dieses Äusseren Weiher ist heute rund 4 m hoch und 55 m lang. Vor 1838 wurden die zwei bestehenden Mühlräder von 5 m Durchmesser durch zwei solche von 12 m Durchmesser im sechsstöckigen Fabrikgebäude ersetzt bzw. ergänzt. 1851 wurden durch den 10 m hohen und 30 m langen Unterer Damm 16000 m³ zusätzliches Speichervolumen geschaffen.

Im Todesjahr des Fabrikgründers 1879 wurde eine umfassende Erneuerung und Erweiterung der Energieversorgung mit Ersatz der beiden Wasserräder durch Girardturbinen in Angriff genommen. Die eine von etwa 10 kW Leistung wurde vom Äusseren Weiher gespiesen mittels einer vergrabenen Druckleitung von 400 m Länge und 30 cm Durchmesser. Die mächtigere zweite Turbine von 55 kW erhielt ihr Wasser über eine ähnliche Leitung vom neuerrichteten Farnbühl-Weiher von rund 7000 m³ Inhalt, der seinerseits durch eine Zuleitung aus dem Wissenbach, parallel zum alten Kanal zum Äusseren Weiher, versorgt wurde. Ans Unterwasser der beiden Turbinen wurde ein drittes Kraftwerk angeschlossen, mit zusätzlicher Wasserentnahme aus dem Wissenbach und einer 10-kW-Girardturbine in einem separaten, noch erhaltenen Turbinenhaus (Bild 9). Von diesem wurde die Energie mittels einer 180 m langen Drahtseiltransmission, von der ebenfalls noch Überreste stehen, bachaufwärts in die Fabrik «zurück» übertragen. Diese Überreste und die Dämme wurden 1988/89 umfassend restauriert.

Grosskraftwerke für die Allgemeinversorgung

Eine erheblich längere und stärkere Drahtseiltransmission hatte bereits 1866 der Uhrenfabrikant Heinrich Moser (1805–74) in Schaffhausen durch die darin spezialisierte Maschinenfabrik Rieter errichten lassen für sein 1863 in Angriff genommenes Rheinkraftwerk im Südwesten der Stadt zur Versorgung verschiedener Betriebe und Fabriken an beiden Flussufern [17]. Durch einen flussaufwärts gekrümmten, auf Fels gegründeten Steindamm mit fester Holzschwelle liess er das benötigte Wasser zum Maschinenhaus am linken Rheinufer leiten, wo ein Unterwasserkanal zusätzliche Fallhöhe schuf (Bild 10). Die von drei Jonvalturbinen erbrachte Leistung betrug 550 kW, wovon 400 kW mittels der 480 m langen Drahtseiltransmission über den Rhein und dessen rechtem Ufer entlang aufwärts übertragen wurden. 1900 wurde die eindrückliche Transmission

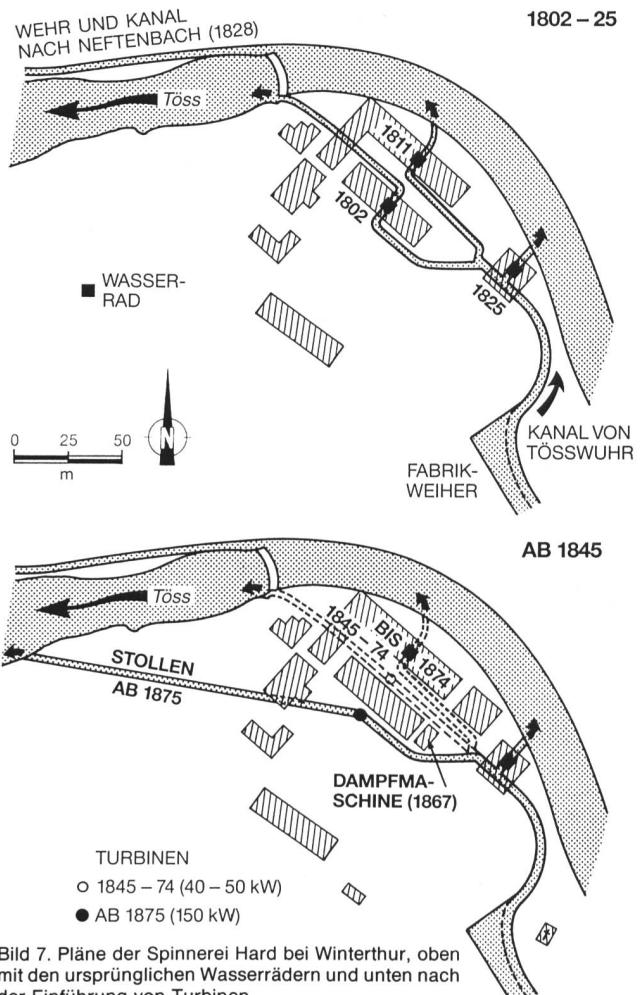


Bild 7. Pläne der Spinnerei Hard bei Winterthur, oben mit den ursprünglichen Wasserrädern und unten nach der Einführung von Turbinen.

abgebrochen und das Maschinenhaus einschliesslich eines inzwischen dazugekommenen zweiten elektrifiziert. 1964 ging die ganze Anlage im Stau des heutigen Kraftwerkes Schaffhausen (22000 kW) unter. Sie kann als erstes Grosskraftwerk der Schweiz gelten.

Das zweite, mit einer anfänglichen Leistung von 440 kW, entstand 1869–72 an der Saane bei Maigrange, 1 km südlich von Freiburg, auf Initiative des unternehmungslustigen Neuenburger Ingenieurs Guillaume Ritter (1835–1912). Er erstellte dafür mit Privatkapital auch die erste grosse Staumauer der Schweiz von 21 m grösster Höhe, 195 m Kronen-

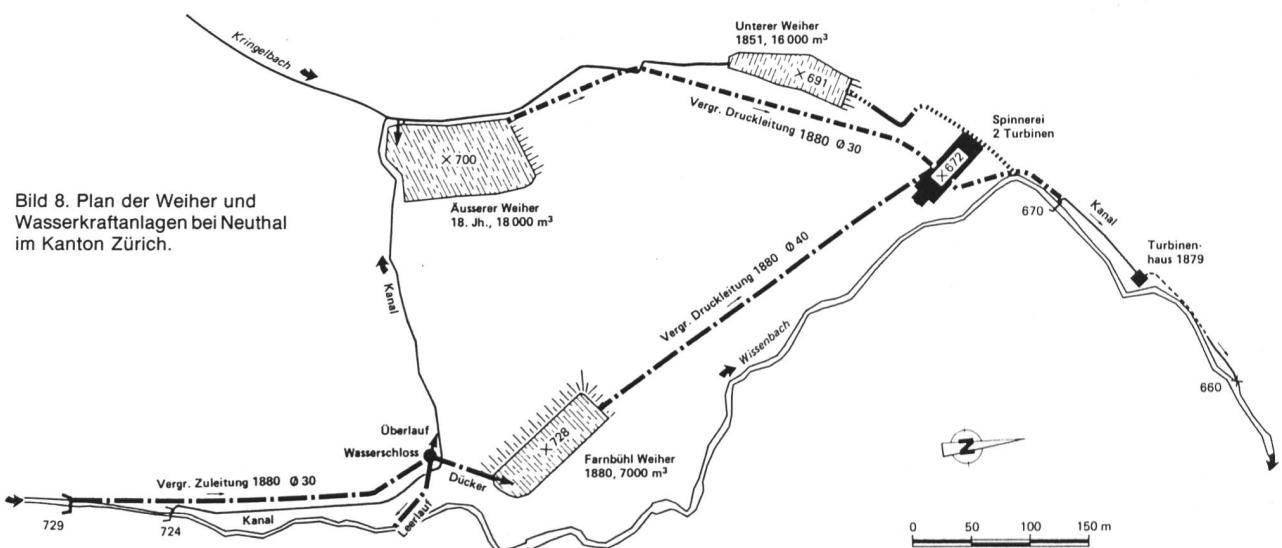


Bild 8. Plan der Weiher und Wasserkraftanlagen bei Neuthal im Kanton Zürich.



Bild 9. Turbinenhaus von 1879 am Wissenbach unterhalb der Fabrik Neuthal; rechts das Antriebsrad der Seiltransmission zur Fabrik (Foto des Autors).



Bild 10. Modell des Moserschen Rheinkraftwerkes im Museum zu Allerheiligen in Schaffhausen; Ansicht von Unterwasser (Foto Elektrizitätswerk Stadt Schaffhausen).

länge und erstmals 1 Mio m³ Stauinhalt (Bild 11) [18]. Zudem verwendete er für den 32 000 m³ umfassenden Mauerkörper als erster in Europa den Baustoff Beton, welcher nur wenige Jahre zuvor in den USA zum erstenmal seit der Römerzeit wieder im Talsperrenbau angewandt worden war. Eine weitere Neuerung betraf die Energieverteilung, für die Ritter nicht nur ein ganzes Netz von Drahtseiltransmissionen von etwa 3 km Gesamtlänge errichten liess, sondern neben der normalen Trinkwasserversorgung aus Grundwasserbrunnen unterhalb der Talsperre noch eine Wasserverteilung unter erhöhtem Druck aufbaute. An diese konnten mechanische Kraft benötigende Betriebe ihre Miniturbinen oder hydraulischen Kolbenmaschinen anschliessen (total 260 kW). Nach seinem Konkurs ging das Kraftwerk Maigrauge 1888 an den Kanton Freiburg über. Es wurde 1891–95 elektrifiziert und auf 590 kW erweitert. 1908–10 wurde dem um rund 3 m erhöhten Stau noch das Elektrizitätswerk Ölberg von 5600 kW Leistung angeschlossen.

Eine gemischte Energieverteilung wie in Freiburg mittels Drahtseilen (220 kW, je 600 m flussauf- und -abwärts) und Druckwasser wurde auch angewandt beim 1876–78 unter Leitung des bekannten Zürcher Stadt- und späteren Quaingenieurs Dr. h. c. Arnold Bürkli (1833–94) erstellten Wasserwerk Letten an der Limmat mit anfänglich vier Jonvalturbinen von je 75 kW [19]. Das Druckwassersystem erhielt 1883 als weitere Neuerung hoch oben auf dem Zürichberg, rund 160 m über der Limmat, einen Weiher, der die Betriebsschwankungen auszugleichen hatte. Also eine Art Pumpspeicherung «avant la lettre»! Der diesen Resi-Weiher aufstauende, 19 m hohe Erdkörper war einer der ersten in der Schweiz mit einem dichtenden Lehmkerne in der Mitte seines Querschnittes (Bild 12). Nach seiner zeitweiligen Verwendung zu Wasserversorgungszwecken bereichert der neulich sanierte Weiher heute ein beliebtes Naherholungsgebiet, während das Kraftwerk Letten ab 1892 elektrifiziert und 1952 durch einen Neubau (4000 kW) ersetzt wurde.

1883–86 entstand schliesslich auf Initiative der Genfer Ingenieure Théodore E. B. Turrettini (1845–1916) und Emile Merle d'Aubigne (1846–84) mitten in Genf das Wasserwerk La Coulouvrenière als Ersatz für die am Seeausfluss bestehenden alten und mehrfach umgebauten Wasserräder und Pumpen (Bild 13) [20]. Unter geschickter Nutzung vorhandener Inseln konnten die notwendigen Bauten untief im

tragfähigen Flussbett gegründet werden. Neben Trinkwasser aus dem Genfersee wurde auch Energie gewonnen, die, wie bei den alten Anlagen schon ab 1872, mittels Druckwasser verteilt wurde. Die Betriebsschwankungen wurden durch ein Überdruckventil aufgefangen, das einen Wasserstrahl in die Luft schleuderte, der Vorgänger des heute nur noch als Attraktion dienenden Genfer «Jet d'eau» [21]. Mit anfänglich fünf und am Schluss (1896) achtzehn Maschineneinheiten von 156 kW oder insgesamt 2800 kW stiess La Coulouvrenière als erstes schweizerisches Kraftwerk in den Megawatt-Bereich (1 MW = 1000 kW) vor, wohl aber auch an die Grenze der mechanisch oder hydraulisch übertragbaren Energiemenge. Im Hinblick auf einen Neubau flussabwärts wurde die Anlage 1988 stillgelegt.

4. Hydroelektrizität, die ideale Ehe

Die Anfänge

In der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts trat als neues Energieverteilmedium die Elektrizität auf den Plan, nachdem es Anfang der 1860er Jahre gelungen war, brauchbare Maschinen zur Erzeugung bzw. Verwendung von Gleichstrom zu bauen. Ihre ersten Anwendungen dienten der Beleuchtung mittels zwischen zwei Kohleelektroden erzeugten Lichtbogen. Die ersten wasserkraftgespeisten Bogenlampen der Welt erleuchteten 1878 eine Gemäldegalerie bei Cragside, rund 430 km nördlich von London [22]. Doch schon im Sommer des nächsten Jahres liess Johannes

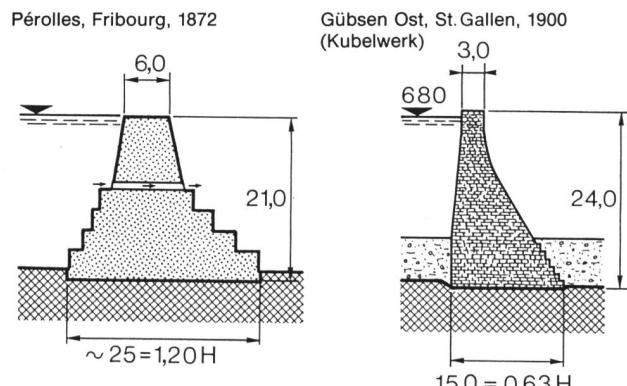


Bild 11. Querschnitte zweier früher schweizerischer Gewichtsstaumauern; linke über-, rechte unterdimensioniert und 1986 verstärkt.

Badrutt (1819–89) in St. Moritz/Graubünden Speisesaal und Vorplatz seines Kulmhotels mit Bogenlampen beleuchteten (Bild 14) [23]². Die zwei Wechselstromerzeuger wurden von einer vom nahegelegenen Brattabach gespiesenen Miniturbinen angetrieben. Nach der Erfindung der Glühlampe 1879 durch den Amerikaner Thomas A. Edison (1847–1931) fand die elektrische Beleuchtung eine rasche Verbreitung. Schon 1881/82 entstand in Lausanne auf Initiative von Ingenieur Léon Raoux (1854–1910) ein Wasserkraftwerk von 15 kW Leistung, welches 20 Glühlampen in einem Restaurant, aber auch zwei Straßenlaternen mit Gleichstrom versorgte. Fünf Monate später wurden in Minneapolis/Minnesota sowie in Appleton/Wisconsin, 270 km nördlich von Chicago, die ersten hydroelektrischen Anlagen der USA in Betrieb genommen.

Auch bei der heute so wichtigen Anwendung der Wasserkraft für die elektrische Traktion war die Schweiz von Anfang an ganz vorne mit dabei. Wenige Jahre nachdem in Portrush, 80 km nordwestlich von Belfast in Nordirland, das erste Wasserkraftwerk (70 kW) der Welt für eine Straßenbahn in Betrieb genommen worden war, entstand 1887 in Montreux am Genfersee die mit 880 kW viel grössere Anlage Taulan für den gleichen Zweck sowie für Beleuchtungen [24]. Ihre drei Girardturbinen arbeiteten unter einer Fallhöhe von 250 m, damals ein Schweizer Rekord (den Weltrekord von 500 m hielt seit 1882 das Kraftwerk Lancey nordöstlich von Grenoble in Südostfrankreich). Eine weitere Neuerung war, dass Einphasen-Wechselstrom erzeugt wurde, der teilweise mittels Kabeln über fast 20 km verteilt wurde.

Trotz solchen Fortschritten blieb die Übertragung grosser Elektrizitätsmengen über grosse Distanzen problematisch. Nach den ersten Versuchen 1882/83 des Franzosen Marcel Deprez (1843–1918) mit leistungsschwachen Gleichstromübertragungen über beachtliche Distanzen baute 1884 der junge Genfer Ingenieur René Thury (1860–1938) die erste definitive Leitung aus der Taubenlochschlucht nach Bözingen, nordöstlich von Biel im Kanton Bern. Sie war zwar nur 1,5 km lang und wies lediglich 400 V Spannung auf, übertrug aber 22 kW [24]. Gleich leistungsfähig, doch bereits 8 km lang und auf 2500 V gespannt, war die Leitung von einer Girardturbine in Kriegstetten, südöstlich von Solothurn. Kon-

² Die Datierung des Ereignisses auf den 25.12.1878 auf der 1932 im Kraftwerk Islas des EW St.Moritz angebrachten Gedenktafel stimmt nicht mit Angaben in der Tagespresse überein (z.B. «Der freie Rhätier» vom 7.8.1879).

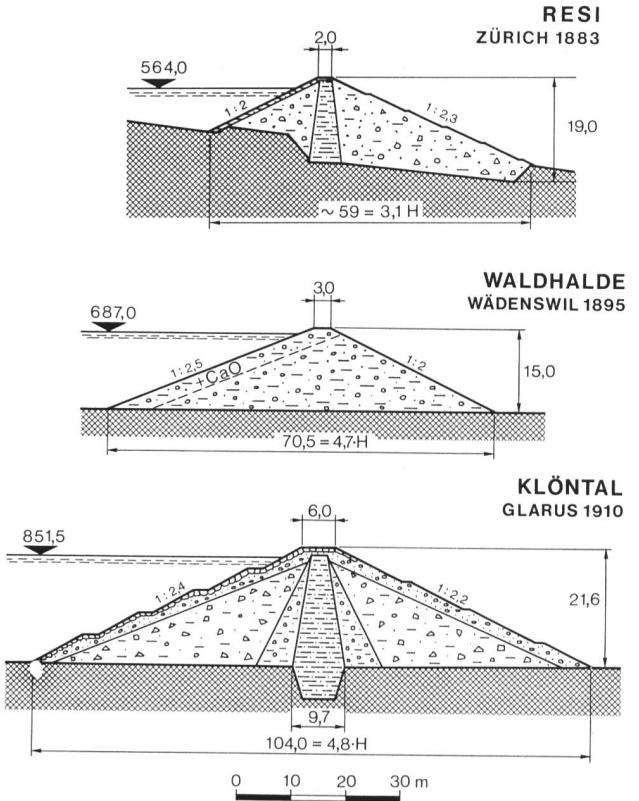


Bild 12. Querschnitte dreier früher Erddämmen in der Schweiz.

struiert wurde sie 1886 vom damals 23jährigen Dr. h.c. Charles E. L. Brown (1863–1924), dem späteren Mitbegründer der elektrotechnischen Firma von Weltruf, der Brown Boveri & Cie im aargauischen Baden (heute Asea Brown Boveri).

Nach diesem Erfolg in der Gleichstromtechnik wandte sich Brown dem Wechselstrom zu und entwarf sowohl die Generatoren als auch die Transformatoren der epochalen Dreh-(Dreiphasenwechselstrom)übertragung vom Wasserkraftwerk Lauffen, 120 km (entlang Leitung 170 km) südlich von Frankfurt/BRD zur daselbst 1891 abgehaltenen internationalen elektrotechnischen Ausstellung. Dabei wurden 130 kW unter 15000 V Spannung übertragen. Der Wirkungsgrad erreichte, wie schon bei der Leitung Kriegstetten–Solothurn, 75%. Sowohl Spannung wie Wirkungsgrad wurden bei den nächsten Leitungen rasch gesteigert.

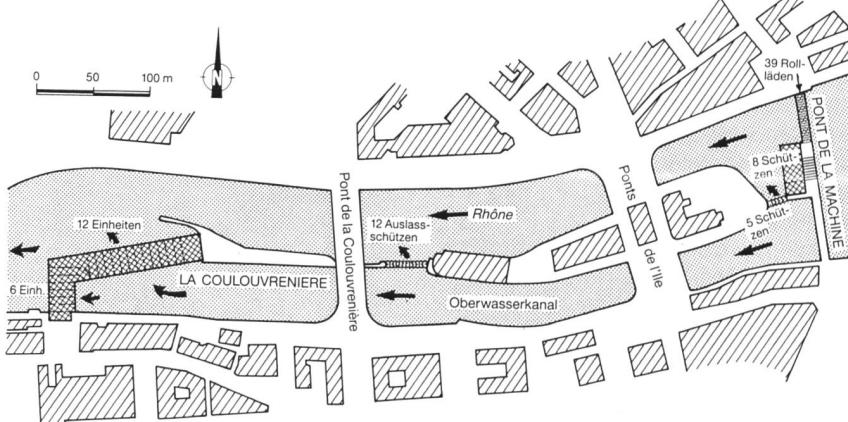


Bild 13. Plan des Wasserwerkes La Coulouvrenière in Genf.

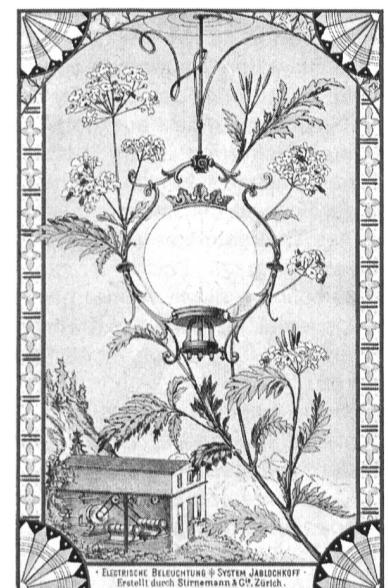


Bild 14. Illustration aus einem Prospekt des Kulmhotels in St. Moritz von 1882, mit links unten einer Darstellung des hydroelektrischen Werkes von 1879 (links Miniturbine, rechts Generatoren).

Nach dem Durchbruch von Frankfurt wurde in der Schweiz der Gleichstrom durch den Wechselstrom weit früher und rascher als in den meisten Ländern abgelöst [24]. Noch vor Ende des Jahrhunderts wurden keine Gleichstromwerke mehr erstellt. Gleichzeitig fand eine explosive Steigerung der Wasserkraftnutzung statt, von etwa 105 MW Ende 1891 auf rund 180 MW an der Jahrhundertwende (inkl. Wasserräder und Kleinanlagen). Das entspricht einer jährlichen Zuwachsrate von rund 7 % (Verdoppelung innert 10 Jahren). Jeder Schweizer verfügte nun über 54 W an motorischer Kraft oder Licht, wovon letzteres nur etwa 5 % beanspruchte. Als Kraftquelle stand somit bereits etwa ein ganzer «Energiesklave» pro Einwohner zur Verfügung.

Erste grosse Elektrizitätswerke

40 % der vorgenannten Leistungszunahme von 75 MW zwischen 1892 und 1900 wurden von nur zwei hydroelektrischen Kraftwerken erbracht. Es waren dies die Anlagen Chèvres (17 MW) an der Rhone unterhalb Genf und Rheinfelden (12, später 25 MW) am Rhein, 16 km östlich von Basel. Für die erste Anlage war der vorgenannte Turretini verantwortlich, der inzwischen auch in eine internationale Kommission gewählt worden war, welche den Bau des ersten Elektrizitätswerkes von 38 MW Leistung an den Niagarafällen in den USA 1890–95 begleitete. Die Leistung seiner Anlage La Coulouvrière wurde schon durch die erste Ausbauetappe 1893–96 von Chèvres (6 MW) deutlich übertroffen [25]. Das auf einer Kalksteinrippe gegründete Wehr wies sechs Öffnungen auf, die durch 10 m lange und 8,5 m hohe Schützentafeln verschlossen waren, welche auf Rollen ließen und mit Hilfe von Gegengewichten und handbetriebenen Winden gehoben bzw. gesenkt wurden (Bild 15). Es war dies das erste grosse Schützenwehr in der Schweiz. Das Maschinenhaus verließ schräg nach Unterwasser und beherbergte vorerst fünf und ab 1899 weitere zehn (11 MW) auf einer Welle übereinander angeordnete Turbinenpaare. Bei geringem Wasserdargebot wurden nur die unteren Turbinen unter hoher Fallhöhe betrieben; bei hohen Abflüssen verminderte sich letztere infolge von Anstieg des Unterwasserspiegels bei Öffnung der Schützen, und es liefen beide Turbinen eines Paares. Während für die erste Bauetappe je dreirädrige, konische Jonvalturbinen zum Einsatz kamen, griff man für die zweite Etappe auf eine Art zweirädriger, von innen nach aussen durchflossener Fourneyronturbinen zurück. Das Kraftwerk Chèvres wurde 1943 durch die Neuanlagen Verbois (93 MW) überstaut.

Im 1895–98 erstellten Kraftwerk Rheinfelden wurden zwanzig ebenfalls vertikale Turbinenpaare eingebaut von total 12 MW Leistung [26]. Diese vierrädrigen Turbinen waren nun aber von dem bereits 1847 in den USA vom englischen Bauingenieur James B. Francis (1815–92) entwickelten und 1869 vom Amerikaner Asa M. Swain (1830–1908) verbesserten Typ mit Wassereintritt von aussen und axialem Wasseraustritt (Bild 5) [12]. Das Projekt für das Kraftwerk Rheinfelden stammte vom Aarauer Bauunternehmer Olivier Zschokke (1826–98) und dem Aachener Wasserbauprofessor und bekannten Talsperrenbauer Otto Intze (1843–1904), während dem Neffen des Erstgenannten, ETHZ-Prof. Dr. h.c. Conradin Zschokke (1842–1918) die Bauleitung übertragen wurde. Angesichts des erstmalig internationalen Charakters des Werkes ist es erstaunlich, dass die Konzession zu seinem Bau bereits zwei Jahre nach Gründung der entsprechenden Gesellschaft 1889 vorlag. Erheblich mehr Zeit beanspruchte die Finanzierung, die schliesslich weitgehend von Deutschland aus erfolgte. Der Bau selbst war relativ einfach, weil überall auf Fels gegründet werden konnte. Namentlich auch das Wehr über den Rhein, das aus

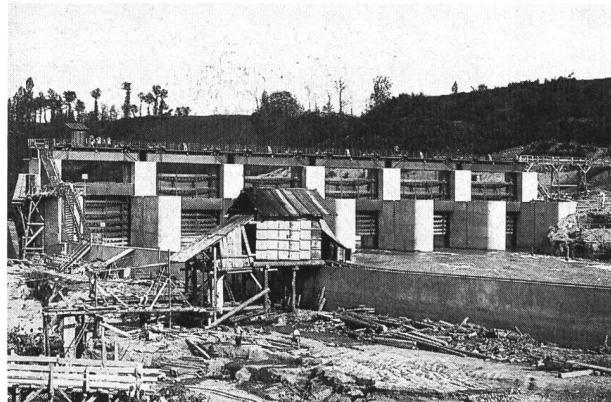


Bild 15. Unterwasserseitige Ansicht 1894 des Wehres Chèvres an der Rhone unterhalb von Genf mit (im Vordergrund) der Baugrube für das Maschinenhaus (Foto Coll. iconographique Vieux Genève, Genève).

einer niedrigen überströmten Betonmauer bestand, der dann allerdings 1902 noch 1 m hohe Schützen aufgesetzt werden mussten. Ein in den Fels gesprengter Kanal von 950 m Länge führte dem rechten Rheinufer entlang zur Rückseite des flussparallel angeordneten Maschinenhauses (Bild 16).

Neben den beschriebenen zwei grossen Niederdruckwerken entstanden an die 130 kleinere hydroelektrische Anlagen, welche vorzugsweise unter Mittel- oder Hochdruck arbeiteten [24]. Für letztere wurde noch vor der Jahrhundertwende die ab 1878 von Lester A. Pelton (1829–1908) in Kalifornien entwickelte und von seinem Mitarbeiter William A. Doble verbesserte Freistrahliturbine mit Doppelbechern in der Schweiz eingeführt [12]. Die genutzte Fallhöhe erreichte bereits 1902 im 1,5-MW-Kraftwerk Vouvry, 38 km nordwestlich von Sitten im Wallis, mit 920 m einen neuen Weltrekord, der schon 1914 in Fully, 22 km südwestlich der Stadt, um fast das Doppelte (1645 m) überboten wurde [27]. Beide Werke benutzten als Ausgleichsspeicher natürliche Seen. Wo solche nicht vorhanden waren, legte man zusehends Talsperren an. So z. B. 1895 einen 15 m hohen Erddamm für das 1,5-MW-Kraftwerk Waldhalde, 23 km südöstlich von Zürich (Bild 12), und 1900 eine 24 m hohe Gewichtsstaumauer, nebst zwei kleinen Erddämmen, für die ursprünglich gleich leistungsfähige Anlage Kubel, 5 km südwestlich von St. Gallen (Bild 11) [27]. Diese wurde 1973–76 (15 MW) modernisiert, Waldhalde bereits 1965–67 (2,7 MW).

Beginn des Kraftwerkverbunds

Wo eine Wasserspeicherung wie bei den Niederdruckanlagen an den grossen Flüssen des Mittellandes nicht machbar war, schlug Dr. h.c. Agostino Nizzola (1869–1961) deren elektrische Kupplung mit Speicherwerkten vor [24]. Er war von ihrer Gründung bis 1942 Leiter der Motor (heute: Motor-Columbus) AG in Baden/Aargau. Diese, die Elektrobank (heute: Elektrowatt) in Zürich und die Indélec in Basel waren in den Jahren 1895/96 entstanden, um Elektrizitätswerke zu projektiert, zu finanzieren und zu bauen. Die hinter diesen Firmen stehenden elektrotechnischen Fabrikanten erhofften sich dadurch, mit Recht, eine weitere Beliebung ihres Absatzes. Anfang des 20. Jahrhunderts entstanden dann allerdings Überkapazitäten und ein ruinöser Preis- und Ausscheidungskampf. Dies rief, wie bei den Eisenbahnen ein Jahrzehnt zuvor, einen zunehmenden Staatsinterventionismus auf den Plan (siehe Verfassungsinitiative von 1906, welche zugunsten des 1908 genehmigten Verfassungsartikels über die Oberaufsicht des Bundes bei der Nutzbarmachung der Wasserkräfte zurückgezogen wurde).



Bild 16. Luftaufnahme des Niederdruck-Kraftwerkes Rheinfelden, eine typische Umleit- oder Kanalanlage (Foto Elektrowatt, Zürich).

Die erste Kupplung einer Nieder- mit einer Hochdruckanlage bewerkstelligte Nizzola 1903 durch eine 65 km lange 16-kV-Hochspannungsleitung von Hagneck nach Spiez im Kanton Bern. Das erstgenannte 5-MW-Niederdruckwerk entstand 1897–1900 nach Projekt von Prof. Zschokke an der Mündung in den Bielersee des für die 1. Juragewässerkorrektion 1878–87 erstellten Aarekanals bei Hagneck, 24 km nordwestlich von Bern [27]. Es wies als erstes schweizerisches Kraftwerk Turbinen von 1 MW Leistung auf. Das 1897–99 erbaute Kanderkraftwerk mit Maschinenhaus bei Spiez am Thunersee, 34 km südöstlich von Bern, wurde 1902 um den Tagesspeicher Spiezmoos von 0,25 Mio m³ Inhalt und auf eine Gesamtleistung von 5 MW erweitert (Bild 17) [27]. Beide Anlagen wurden 1906 vom Kanton Bern erworben und bildeten den Grundstock für die staatlichen Bernischen Kraftwerke AG (BKW). Hagneck wurde 1975–78 (11 MW) modernisiert, Spiez 1982–86 (19 MW).

Bedeutendere Ausmasse erreichte Nizzolas zweiter Kraftwerkverbund, der oft als sein erster dargestellt wird: der 27-kV-Zusammenschluss 1908 der 100 km voneinander entfernten Kraftwerke Lütsch im Kanton Glarus und Beznau an der Aare. Letzteres war 1898–1904 nach Projekt von Prof. Zschokke 23 km nordöstlich von Aarau entstanden und wies damals eine installierte Leistung von 9 MW auf [27]. Das 26-MW-Hochdruckwerk Lütsch (1919: 49 MW), knapp nördlich von Glarus, wurde 1905–10 gebaut, mit einem auf einem alten Bergrutsch ruhenden Erddamm von 27 m grösster Höhe, welcher den natürlichen Klöntalersee auf einen Jahresspeicher mit dem damals «enormen» Inhalt von 56 Mio m³ aufstaute (Bild 12) [27]. 1914 gingen auch diese beiden Anlagen an ein Konsortium von Kantonen über, woraus die öffentliche Nordostschweizerische Kraftwerke AG (NOK) im aargauischen Baden hervorging. Diese erneuerte und erweiterte Beznau 1926/27 auf 26 MW und Lütsch 1971–75 auf 60 MW.

Einen Kraftwerkverbund besonderer Art veranlasste der Tessiner Nizzola viel später (1932) durch den Bau einer 150 (heute 380)-kV-Leitung über den auf 2108 m ü. M. gelegenen St.-Gotthard-Pass. Allerdings war das nicht die erste «elektrische Alpentransversale» in der Schweiz. Bei der Elektrifizierung der Schweizerischen Bundesbahnen erhielt deren Gotthardtunnel 1920 neben dem 15-kV-Fahrdrähten auch ein 60-kV-Kabel zwischen dem Speicherwerk Ritom (44 MW) südlich des Tunnels und dem Laufkraftwerk Amsteg (66 MW) nördlich desselben. 1921 entstand eine 55-kV-Leitung über die Pässe Albula und Bernina in Graubünden. Doch erst die leistungsfähige Gotthardleitung erlaubte in grösserer Masse aus den oft markanten Unterschieden im Wasserdargebot beidseits der Alpen Nutzen zu ziehen.



Bild 17. Luftaufnahme des Speicherwerk Spiez am Thunersee mit Tagesspeicher Spiezmoos (Foto Bernische Kraftwerke, Bern).

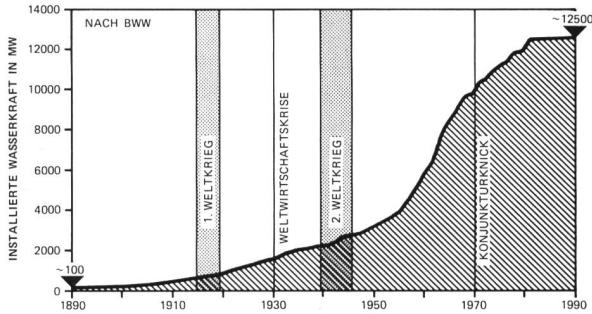


Bild 18. Entwicklung der Wasserkraftnutzung in der Schweiz in den letzten hundert Jahren.

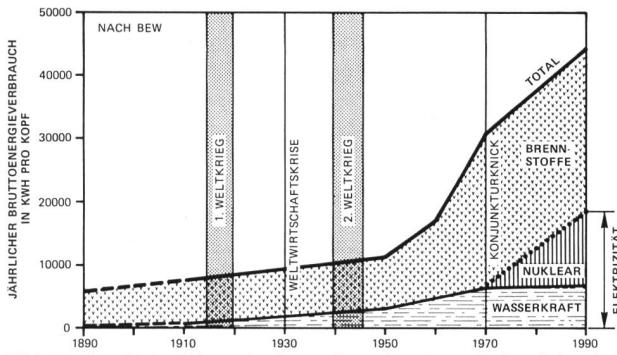


Bild 19. Anteil der Wasserkraft am Energieverbrauch der Schweizer Bevölkerung.

5. Epilog

Die elektrischen Verbundnetze, deren Anfänge eben skizziert wurden, sowie die im 19. Jahrhundert erworbenen technischen Errungenschaften und Erfahrungen bildeten die Grundlage für den Vollausbau der schweizerischen Wasserkräfte in unserem Jahrhundert, neben Holz (und Uran in sehr verdünnter Form) die einzige heimische Energiequelle. Wie Bild 18 zeigt, verlief dieser Ausbau 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 (im Gegensatz zum 19. Jahrhundert nach den Napoleonischen Wirren zu Beginn). Die jährliche Zuwachsrate sank nach den schon erwähnten 7% zu Beginn des Jahrhunderts auf rund 5% zwischen 1910 und 1970, um dann auf 1,5% zurückzugehen. Gesamthaft ergab sich über hundert Jahre eine 125fache Steigerung.

Das bezieht sich wohlgernekt nur auf die Nutzung der Wasserkraft. Den gesamten energetischen Rahmen pro Kopf der Bevölkerung zeigt Bild 19, wobei vorweg auffällt, wie scheinbar bescheiden der Beitrag der Wasserkraft war und ist. Das röhrt daher, dass schon immer der Löwenanteil des Energieverbrauchs für Wärme eingesetzt und direkt durch Brennstoff 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 anderen Räumen und deren Beheizung.

Auch von der Elektrizität, die bis 1970 fast ausschliesslich aus Wasserkraft stammte, wird der grössere Teil «verbrannt» (inkl. Kochen und Licht). Die für motorische Zwecke übrigbleibende Nutzenergie entsprach Anfang des Jahrhunderts, wie gesagt, einem «Energiesklaven», nach dem Zweiten Weltkrieg deren drei, während heute jeder Mann, inkl. Kind und Kegel, elf solcher unsichtbarer Helfer beschäftigt. Dazu kommen noch gleich viele, welche sich von Brennstoffen ernähren (Auto!). Auch das eine Folge der gestiegenen Ansprüche, diesmal bezüglich Arbeitserleichterung und Mobilität.

Literatur

- [1] N. Schnitter: Mittelalterliche Wasserkraftnutzung in der Schweiz. «wasser, energie, luft – eau, énergie, air», 81. Jahrgang 1989, Heft 4/5, S. 81–89.
- [2] W. Weissenbach: Die Wassermotoren der Schweiz. «Die Eisenbahn» 1876, S. 8–11.
- [3] H. Jossi: Der Greuterhof in Islikon, eine Wiege der schweizerischen Volkswirtschaft. «Pro Technorama» 1989, Nr. 1, S. 11–14.
- [4] A. Tuor: Mühle in Sta. Maria, Münstertal/GR. «Industriearchäologie» 1983, Nr. 3, S. 15.
- [5] Fondation des vieux moulins de La Tine: Plaquette. Troistorrents/VS 1986.
- [6] F. Salamin: Moulins de St-Luc, Val d'Anniviers. Erhaltung industrieller Kulturgüter in der Schweiz. Verl. Industriearchäologie, Umiken/AG 1987, S. 46–47.
- [7] M. Garin: Les Moulins du Col-des-Roches. L'histoire de la protection contre les crues et de l'utilisation des forces hydrauliques en Suisse. Pro Aqua, Bâle 1983, S. 6.1–6.8.
- [8] J.-L. Pelet et M. Jaccard: Un complexe usinier à l'époque de la guerre de trente ans. «Rev. histoire mines et métallurgie» 1971, S. 3–69.
- [9] R. Gigon et R. Wenger: Inventaire spéléologique de la Suisse; canton du Jura. Com. spél. societé helv. sciences nat., Porrentruy/JU 1986, S. 161–164.
- [10] R. Meng: Die Meyerschen Stollen von Aarau. «Aarauer Neujahrsblätter» 1972, S. 53–63.
- [11] J. Ackeret: Vorrede zu Leonardi Euleri commentationes mechanicae, vol. 1, O. Füssli, Zürich 1957.
- [12] J. H. Meyer: Kraft aus Wasser. Stämpfli, Bern 1975.
- [13] J. Moser: 100 Jahre Wasserturbinen. «Escher Wyss-Mitteilungen» 1942/43, S. 1–19.
- [14] E. Dejung und M. Ruoff: Spinnerei, Weberei und mechanische Werkstätte Hard bei Wülflingen 1800–1924. 270. Neujahrsblatt, Stadtbibliothek Winterthur 1937.
- [15] J. J. Rieter & Cie.: 150 Jahre Joh. Jacob Rieter & Cie., Winterthur 1945.
- [16] H. W. Weiss: Wasserkraft und frühindustrielle Entwicklung, gezeigt an Beispielen aus dem Zürcher Oberland. Die Geschichte der Gewässerkorrektionen und der Wasserkraftnutzung in der Schweiz. Pro Aqua, Basel 1983, S. 8.9–8.13.
- [17] P. Niederhauser: Schaffhausen; Moserdamm, Rheinfallwerke, Pumpespeicher. Die Geschichte der Gewässerkorrektionen und der Wasserkraftnutzung in der Schweiz. Pro Aqua, Basel 1983, S. 14.1–14.19.
- [18] G. Ritter: Observations et particularités techniques, géologiques et hydrologiques relatives à l'établissement du grand barrage de la Saône à Fribourg. «Bull. soc. neuchâteloise sciences nat.» 1901/02, S. 374–403.
- [19] W. Wyssling: Das Elektrizitätswerk der Stadt Zürich. «Schweiz. Bauzeitung» 1893 (Bd. 21), S. 3–7 und 9–11.
- [20] P. Giacasso: Utilisation des forces motrices du Rhône aux 18^e et 19^e siècles. L'histoire de la protection contre les crues et de l'utilisation des forces hydrauliques en Suisse. Pro Aqua, Bâle 1983, S. 7.1–7.10.
- [21] D. Vischer: Ein berühmtes Überdruckventil. «wasser, energie, luft – eau, énergie, air», 80. Jahrgang 1988, S. 208–209.
- [22] «Int. Water Power and Dam Construction», Sept. 1988, S. 4.
- [23] G. A. Töndury: Studie zur Volkswirtschaft Graubündens. Engadin Press, Samedan 1946, S. 114.
- [24] W. Wyssling: Die Entwicklung der schweizerischen Elektrizitätswerke und ihrer Bestandteile in den ersten 50 Jahren. Schweiz. Elektrotechn. Ver., Zürich 1946, S. 32–35/22/41/25/170/312–313.
- [25] T. Turrettini: Usine de Chèvres. George & Cie, Genève 1900.
- [26] E. Schwing: Das Kraftwerk Rheinfelden, die erste Grossanlage am Hochrhein. Die Geschichte der Gewässerkorrektionen und der Wasserkraftnutzung in der Schweiz. Pro Aqua, Basel 1983, S. 15.1–15.17.
- [27] Führer durch die schweizerische Wasserwirtschaft, 2 Bände. Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband, Zürich 1926 und 1949.

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