Entwicklung der Wasserkraftnutzung im 19. Jahrhundert

Autor(en): **Schnitter, N.**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association Suisse des Electriciens, de l'Association des Entreprises électriques suisses**

Band (Jahr): **83 (1992)**

Heft 2

PDF erstellt am: **31.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-902778

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Entwicklung der Wasserkraftnutzung im 19. Jahrhundert

N. Schnitter

Bis Mitte des 19. Jahrhunderts waren die vom Mittelalter ererbten Wasserräder die einzigen in der Schweiz verfügbaren Motoren. Ihre Zahl dürfte etwa 10 000 erreicht haben. Sie wurden dann rasch durch Turbinen ergänzt und verdrängt. Deren Potential liess sich jedoch so lange nicht voll ausschöpfen, als man Energie nicht über große Entfernungen zu übertragen vermochte. Erst die Elektrizität brachte gegen Ende des 19. Jahrhunderts den Durchbruch.

Jusqu'au milieu du 19e siècle les roues hydrauliques héritées du moyen-âge étaient les seuls moteurs disponibles en Suisse, où leur nombre atteignit environ 10 000. Par la suite elles furent supplées ou remplacées par des turbines. L'utilisation complètes 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 19e siècle.

Auszugsweiser Vorabdruck aus dem Buch *N. Schnitter*: Die Geschichte des Wasserbaus in der Schweiz, Olynthus 1992.

Adresse des Autors
Niklaus Schnitter, Fleinerweg 4, 8044 Zürich.

Wasserräder, die einzigen verfügbaren Motoren

Seit Wasserräder im Zuge und als Grundlage der «industriellen Revolution des 12. Jahrhunderts» für viele Zwecke angewendet und stark verbreitet worden waren, blieben sie über viele Jahrhunderte die einzige nicht auf Muskelkraft beruhende motorische Energiequelle in der Schweiz. Das blieb selbst während der industriellen Revolution des 18. und 19. Jahrhunderts so, die in anderen Ländern weitgehend auf Kohle und Dampfkraft gründete.

In der Schweiz fehlte, abgesehen vom beschränkt verwendbaren Holz, Kohle als Brennstoff für Dampfmaschinen, zumal es für ihren Import auch kein leistungsfähiges Transportmittel gab. Ein solches stand erst mit der Verbreitung der Eisenbahn in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts zur Verfügung. Aus diesen Gründen zählte die erste landesweite Statistik aus dem Jahre 1875 rund 6000 Wasserräder [1]. Selbst 1914 waren es noch 4900. Heute sind davon wenige Hunderte übrig.

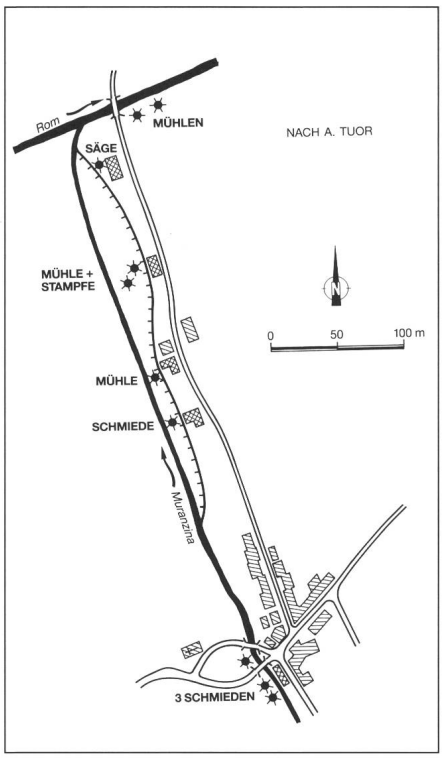

Bild 1 Frühere Wasserräder um Santa Maria im Münstertal, Graubünden

Das Wasserrad im Wandel

Vor der – weiter unten behandelten – Einführung der Turbine in den 1830er Jahren standen vermutlich noch viel mehr Wasserräder in Betrieb. Während sich nämlich zum Beispiel aus der oben genannten Statistik des Jahres 1875 für den Kanton Thurgau rund 350 Wasserräder errechnen lassen, führt ein Protokoll des thurgauischen Regierungsrates aus dem Jahre 1825 deren 593 bzw. etwa 70% mehr auf. Interessant ist auch ihre Aufteilung nach Anwendungszwecken, wobei Mehrzweckräder nach dem Anteil ihrer Anwendungen zugeordnet sind:

Getreideverarbeitung	72%
Holzverarbeitung (meist Sägen)	11%
Kollergänge bzw. «Reiben»	7%
Stampfwerke bzw. «Bläuen»	4%
Ölmühlen bzw. «Ölen»	2%
Papiermühlen	2%
Gewebeverarbeitung bzw. «Walken»	1%

Dies ist ein getreuer Spiegel der im Spätmittelalter erfolgten Diversifikation der Anwendung von Wasserrädern. Eines der 593 Räder gehörte bereits zu einer «Fabrik». Es handelt sich um die 1777 eröffnete Stoffdruckerei des Frühindustriellen Bernhard Greuter, 1745 bis 1822, in Islikon, 4 km südwestlich

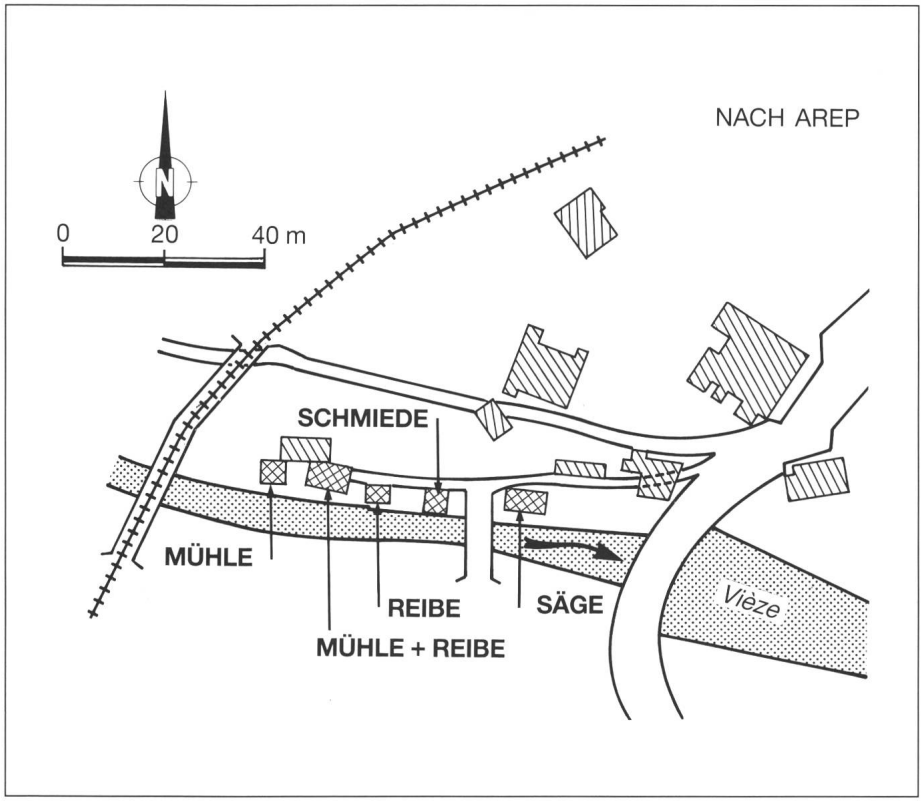

Bild 2 Der Wasserräderkomplex von La Tine im Val d'Illiez, Wallis

der thurgauischen Kantonshauptstadt Frauenfeld. Der «Greuterhof» samt Wasserrad von 8,2 m Durchmesser wurde kürzlich restauriert und dient nun einer Stiftung für Berufsinformation [2].

Überträgt man die Thurgauer Verhältnisse auf die ganze Schweiz, so hat es hier vor der Einführung der Turbine rund 10 000 Wasserräder oder eines pro 200 Einwohner gegeben. Bei einer mittleren Leistung von fünf kW standen somit pro Kopf etwa 25 Watt oder ein halber «Energiesklave» (die durchschnittliche Leistung eines Menschen bei täglich 8000 Kilojoule Nahrungsaufnahme, 20% Wirkungsgrad und neun Stunden Arbeit) an motorischer Kraft zur Verfügung. Eine solche Mittelung über die Gesamtbevölkerung erscheint zulässig, weil seit dem Mittelalter das Wasserrad in die hintersten, nun intensiv besiedelten Gebirgstäler vorgedrungen war.

Als Beispiel seien hier die zehn Wasserräder von Santa Maria im Münstertal, 74 km südöstlich von Chur in Graubünden, genannt. Je vier davon trieben Mühlen und Schmieden an, die übrigen zwei je eine Säge und eine Stampfe (Bild 1, [3]). Bei den meisten dieser Räder scheint es sich um vertikale Strauberräder gehandelt zu haben. In einem anderen Beispiel wurden hingegen in der Mehrzahl horizontale Stockräder verwendet, und zwar für den Antrieb von je zwei Mühlen und Reiben sowie einer Schmiede und einer Säge, die sich innerhalb von lediglich 50 m am linken Ufer der Vièze de la Tine im Val d'Illiez zusammendrängten (Bild 2, [4]). Dieser interessante Komplex 34 km westlich von Sitten im Wallis soll nun 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 [5].

Spezialität: unterirdische Wasserräder

Hinsichtlich Auslegung und Gestaltung behielten die Wasserräder, namentlich jene im Gebirge, die bäuerlich-handwerkliche Technik des Spätmittelalters bei, auch wenn diejenigen Radteile wie Wellen oder Getriebe, die stärkeren Beanspruchungen ausgesetzt waren, oder bisweilen auch das ganze Rad zunehmend aus Eisen und später aus Stahl gefertigt wurden.

Zum Abschluss dieses Abschnittes 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 in dieser Weise die Fallhöhe von Bächen – oft sogar mehrfach durch untereinander angeordnete oberschächtige Vertikalräder – genutzt, die in natürlichen Karsthöhlen verschwinden. Die grösste derartige Anlage erstellte Jonas Sandoz um das Jahr 1665 am Col-des-Roches, 17 km nordwestlich von Neuenburg [6]. Er begnügte sich nicht mit den vorhandenen Höhlen und Gängen, sondern erweiterte und ergänzte diese durch Ausbrüche, Stollenbauten und Ausmauerungen, um mit drei Wasserrädern insgesamt 20 m Fall-

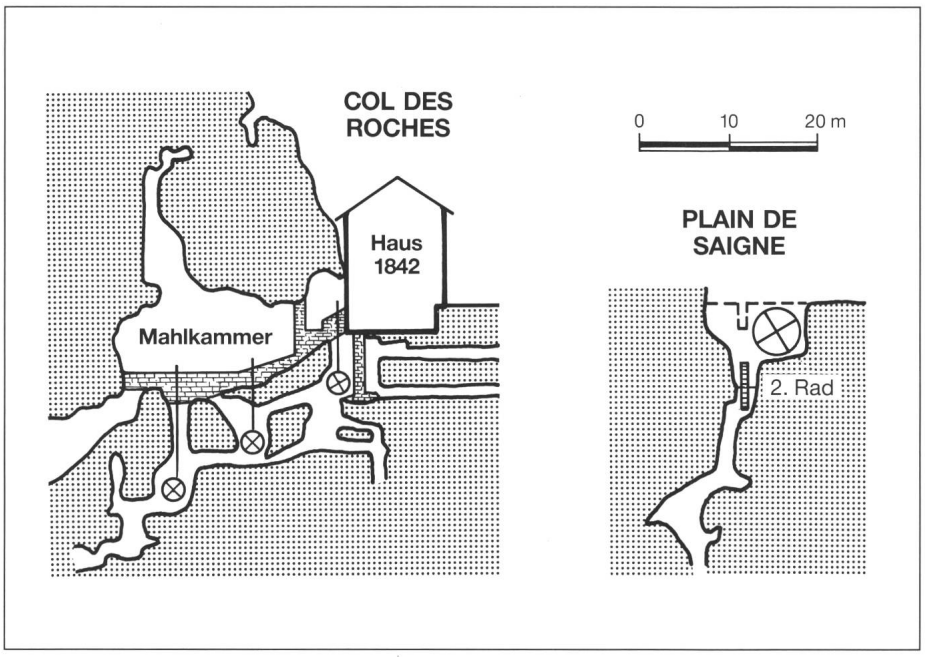

Bild 3 Vertikalschnitte durch die unterirdischen Mühlen am Col-des-Roches und im Plain de Saigne

höhe zu nutzen. Angetrieben wurden vier Mühlen, eine Reibe und eine Öle (Bild 3, links).

Bereits über ein Jahrhundert zuvor hatten die Brüder Jacques und Jean Rochat im unterirdischen Abfluss des Brenet-Sees bei Bon Port, 28 km nordwestlich von Lausanne, Mühlen, Sägen und Schmieden erstellt [7]. Im 17. und 18. Jahrhundert entstand schliesslich eine zweistöckige Anlage im Plain de Saigne, 22 km südwestlich von Delsberg im Kanton Jura (Bild 3, rechts [8]).

Die wohl sonderbarste unterirdische Wasserkraftanlage liess der Seidenbandfabrikant Johann R. Meyer, 1768 bis 1825, von 1791 an unter dem Gebiet des heutigen Bahnhofs von Aarau erstellen – und das klammheimlich [9]: Beginnend bei seiner Liegenschaft nördlich des Bahnhofes, zapfte er mit einem rund 1,5 km langen Stollensystem das Grundwasser an und leitete es auf ein ebenfalls unterirdisches Wasserrad von beachtlichen 9,75 m Durchmesser, das Meyers Fabrik antrieb. Erst 1827, 36 Jahre nach Baubeginn, erhielt die Anlage ihre offizielle Konzession!

Einführung der Turbine

Im Zeichen der Aufklärung und der beginnenden Industrialisierung im 18. Jahrhundert wurden in Frankreich und England auch die vom Mittelalter übernommenen Wasserräder wissenschaftlich unter die Lupe genommen. 1752 begann der englische Ingenieur John Smeaton, 1724–1792, mit Modellversuchen, denen ein Jahr später in Frankreich jene von Antoine Deparcieux, 1703–1768, folgten. Gleichzeitig entwickelte der damals in Berlin lehrende Basler Mathematiker und Physiker Leonhard Euler, 1707–1783, die erste konsistente, also in sich geschlossene

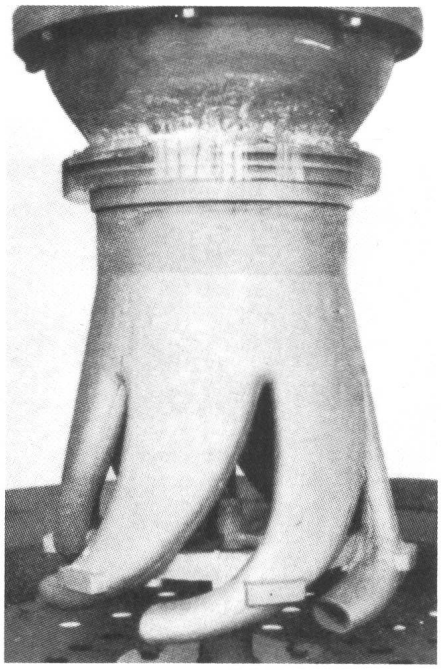

Bild 4 1943 gebautes und geprüftes Modell der 1754 von Leonhard Euler entworfenen Reaktionsturbine

Foto: Sulzer-Escher Wyss, Zürich

Theorie der hydraulischen Maschinen. Er legte dabei das 1753 vom Göttinger Gelehrten Johann Andreas Segner, 1704–1777, in Nörten bei Göttingen für eine Ölpresse installierte Reaktionsrad zugrunde. Dieses funktionierte wie ein heutiger Gartensprenger [10]. 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 wurde ein Wirkungsgrad von 71% gemessen (Bild 4).

Obschon damit der theoretische Grundstein für die modernen Turbinen gelegt war, dauerte es noch ein Dreivierteljahrhundert, bis der französische Bergbauingenieur Benoit Fourneyron, 1802–1867, im Jahre 1827 die erste industriell verwertbare Überdruck- oder Reaktionsturbine – mit Wasserfluss von innen nach aussen – konstruierte und ab 1832 erfolgreich vermarktete (Bild 5, links [11]). Allerdings blieb Fourneyron nicht sehr lange ohne Konkurrenz, denn schon 1841 trat die Textilfirma von André Koechlin, 1789–1875, im elsässischen Mühlhausen mit einer Maschine auf den Plan, die sein Werkmeister F. Nicolas J. Jonval, 1804 bis 1844, konstruiert bzw. vom Deutschen Carl Anton Henschel, 1780–1861, kopiert hatte. Sie war axial durchflossen und wies erstmals auch ein Saugrohr zur vollständigen Nutzung der Fallhöhen auf (Bild 5, Mitte).

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 – heute Sulzer-Escher Wyss im Hardquartier – gegründet hatte [12]. Da die Fabrik den Grossteil ihrer Einrichtungen, einschliesslich der Wasserräder an der Limmat, selbst gebaut und dann erfolgreich für Dritte hergestellt hatte, war inzwischen aus der Spinnerei eine Maschinenfabrik geworden. Sie pflegte vor allem den Bau hydraulischer Maschinen. Neben Jonval-Überdruckturbinen gehörte ab 1846 ein Vorläufer der heutigen Freistrahl- oder Aktionsturbine zum Programm, nämlich das vom Escher Wyss-Ingenieur Walter Zuppinger, 1814–1889, für Fallhöhen über 15 m entwickelte Tangentialrad (Bild 6).

Von 1870 an wurde das Zuppinger-Rad bei Vorliegen grösserer Wassermengen ergänzt durch die 1863 von

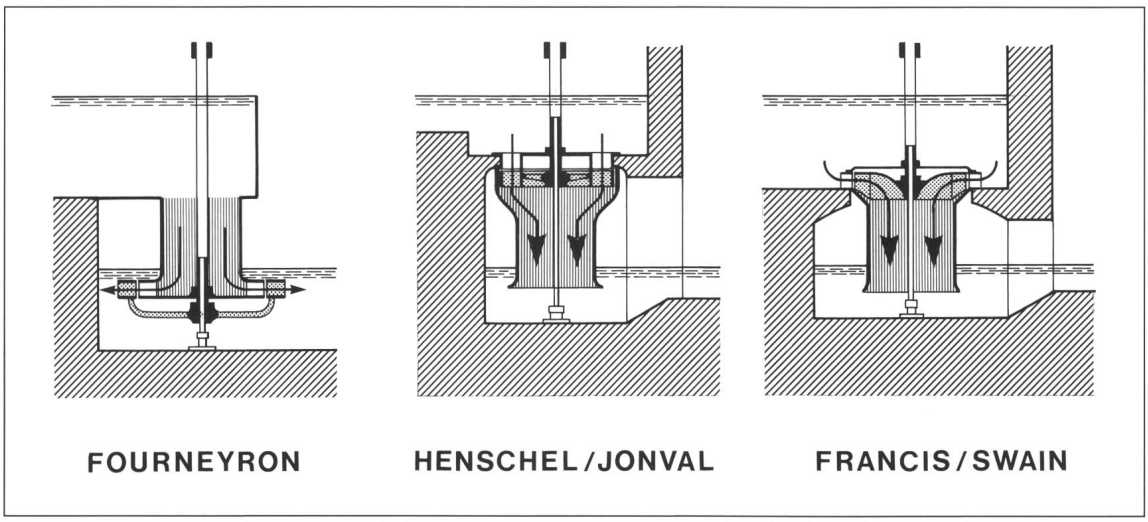

Bild 5 Vertikalschnitte der gängigsten Überdruckturbinen
(nach L. Quantz: Wasserkraftmaschinen, 1924)

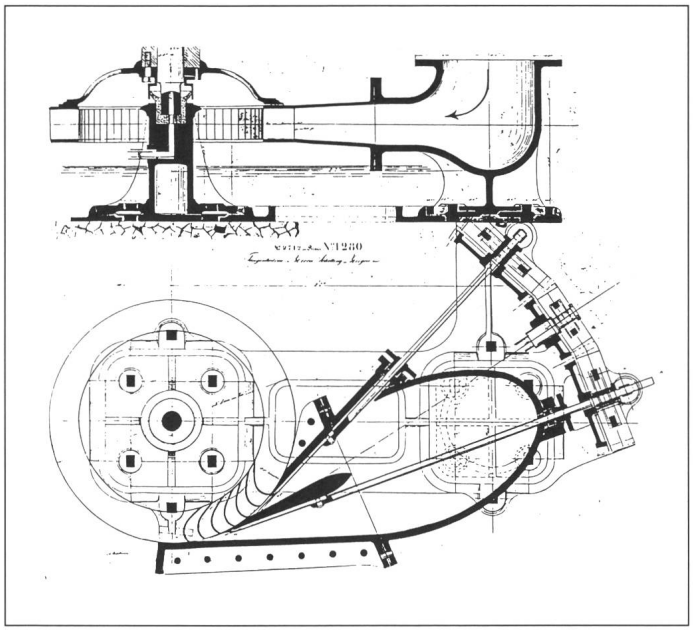

Bild 6
Vertikal- (oben) und Horizontalschnitt des Zuppingerschen Tangentialrades
(nach Originalplan Sulzer-Escher Wyss, Zürich)

L. Dominique Girard, 1815–1871, in Paris herausgebrachte vollbeaufschlagte Strahlturbine. Dieser Typ stellte 1875 bereits über die Hälfte des Leistungspotentials von 22 MW der rund 400 dazumal in der Schweiz installierten Turbinen [1]. Jonvalturbinen hatten 39% und Tangentialräder 10% Anteil. Die Hälfte der Turbinenleistung war übrigens in den vier Kantonen Zürich, St.Gallen, Glarus und Bern installiert (heute sind es 50% im Wallis und in Graubünden). Im Kanton Glarus erfolgten bereits 73% der Wasserkraftnutzung mittels Turbinen, im gesamtschweizerischen Durchschnitt 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 höhere Drehzahl erlaubte oft auch Einsparungen bei den Getrieben. Schliesslich brachten die Turbinen eine weitere Steigerung des Wirkungsgrades, obschon neuere Wasserräder inzwischen 80% erreicht hatten. Deren Gesamtleistung liess sich, bei vertretbaren Dimensionen, aber nicht über 40 kW steigern, während Turbinen viel grössere Leistungskonzentrationen in einer einzigen Maschine ermöglichten.

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 Druckwasser zur Verfügung standen. In dieser Beziehung blieb alles beim alten, und selbst die modernsten Fabriken mussten – wie ehedem die alten Mühlen – in unmittelbarer Nähe der Wasserkraftquellen errichtet werden. Daraus erklären sich auch die schon erwähnte Konzentration der Turbinen in den am frühesten industrialisierten Kantonen sowie die Bevorzugung von kleineren Gewässern, die sowohl konzentrierte Fallhöhen als auch die Möglichkeit zur Anlage eines Regulierbeckens boten [1].

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 [13]). Sie löste mindestens eines der drei ursprünglichen Wasserräder ab und wurde ihrerseits mehrfach durch grössere Maschinen ersetzt, 1875 gar an einem neuen Standort. Diese vierte Turbine lieferte der Winterthurer Spinnerei-Industrielle, Oberst und Ständerat Heinrich Rieter, 1814–1889. Er hatte 1853 in der Maschinenfabrik Obertöss am südwestlichen Stadtrand, die von seinem Inge-

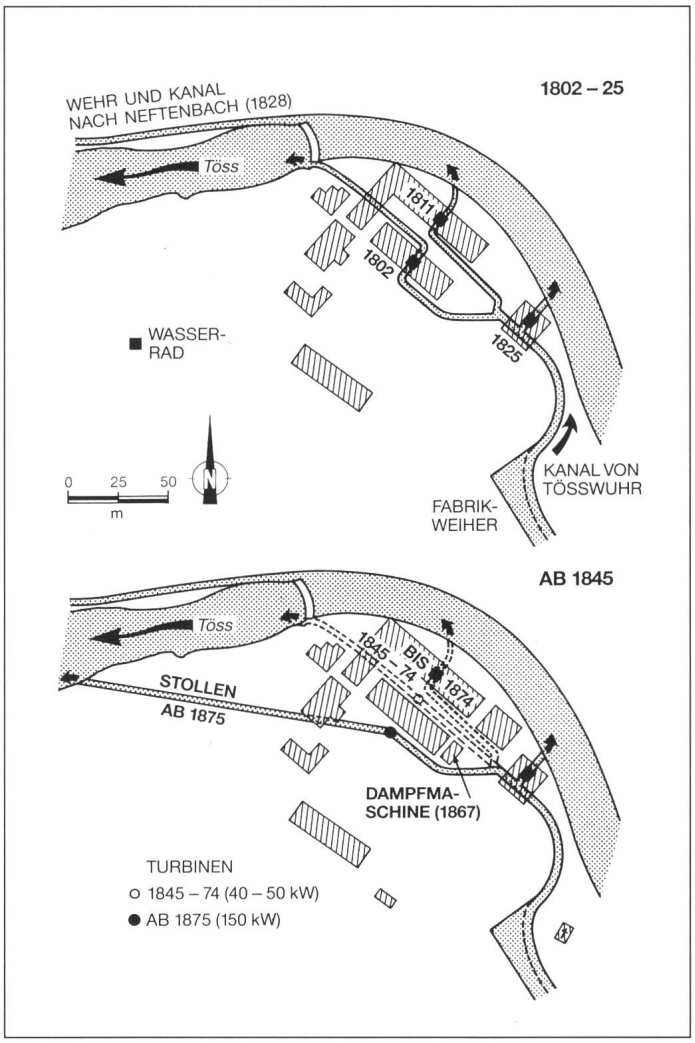

Bild 7
Pläne der Spinnerei in der Hard bei Winterthur: oben mit ursprünglichen Wasserrädern, unten nach der Einführung von Turbinen

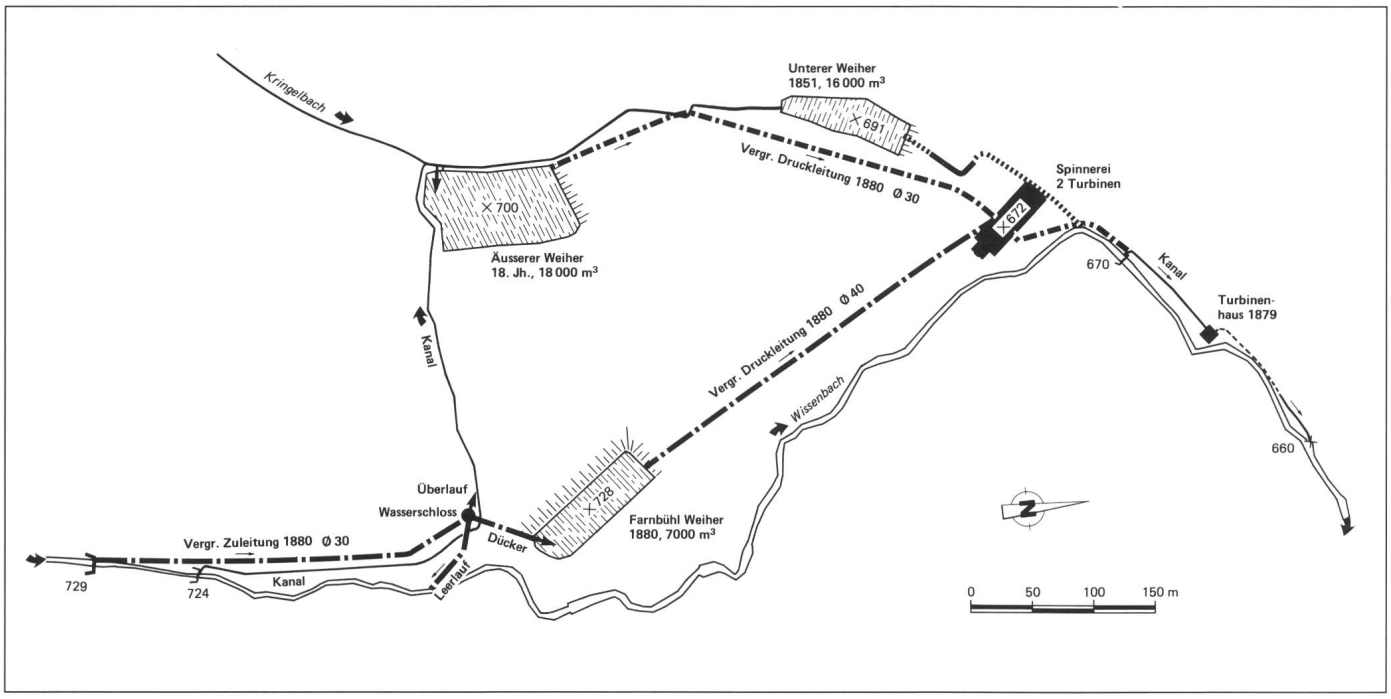

Bild 8 Plan der Weiher und Wasserkraftanlagen bei Neuthal im Kanton Zürich

nieur und Schwager David H. Ziegler, 1821–1901, geleitet wurde, den Turbinenbau aufgenommen [14].

Drei Jahre danach tat es ihnen und der schon genannten Firma Escher Wyss der Flechterei-Industrielle August Bell, 1814–1870, in Kriens, drei km südwestlich von Luzern, gleich. Später folgten noch einige andere. Damit wurde der Turbinenbau eine Spezialität der jungen Schweizer Maschinenindustrie, die dank zahlreichen Spitzenleistungen rasch auch internationale Bedeutung erlangte.

Ein weiteres schönes Beispiel für Fabriken, die «auf der grünen Wiese» oder besser gesagt «am blauen Bach» errichtet wurden, ist die Spinnerei Neuthal bei Bauma, 25 km östlich von Zürich [15]. Rudolf Guyer, Müllerssohn und Vater des späteren «Eisenbahnkönigs» und Erbauers der Jungfraubahn, Adolf Guyer-Zeller, 1829–1899, gründete sie 1827. Vorerst wurde die Wasserkraft des Kringelbaches genutzt, an dem schon eine Mühle samt Weiher aus dem 18. Jahrhundert stand (Bild 8). Der rund 18 000 m³ stauende Erddamm dieses äusseren Weihers ist heute 4 m hoch und 55 m lang. Noch vor 1838 waren die zwei bestehenden Mühlräder von 5 m Durchmesser durch zwei von 12 m Durchmesser im sechsstöckigen Fabrikgebäude ersetzt bzw. ergänzt worden. 1851 schuf der 10 m hohe und 30 m lange Untere Damm 16 000 m³ zusätzliches Speichervolumen.

1879, im Todesjahr des Fabrikgründers, wurde eine umfassende Erneuerung und Erweiterung der Energieversorgung mit Ersatz der beiden Wasserräder durch Girardturbinen in Angriff genommen. Die eine Turbine leistete ungefähr 10 kW und wurde vom Äusseren Weiher über eine vergrabene Druckleitung von 400 m Länge und 30 cm Durchmesser gespiesen. Die mächtigere zweite Turbine von 55 kW Leistung erhielt ihr Wasser durch eine ähnliche Leitung vom neu angelegten Farnbühl-Weiher mit rund 7000 m³ Inhalt, der seinerseits durch eine Zuleitung aus dem Wissenbach, der parallel dem alten Kanal zum Äusseren Weiher verlief, versorgt wurde. Ans Unterwasser der beiden Turbinen wurde ein drittes Kraftwerk mit einer 10-kW-Girardturbine in einem separaten, noch erhaltenen Turbinenhaus angeschlossen, wofür man zusätzlich Wasser aus dem Wissenbach entnahm (Bild 9). Vom neuen Turbinenhaus übertrug man die Energie mittels einer 180 m langen Drahtseiltransmission, von der ebenfalls noch Überreste stehen, bachaufwärts in die Fabrik «zurück». Überreste und Dämme wurden 1988–1990 umfassend restauriert [15].

Grosskraftwerke für die Allgemeinversorgung

Eine erheblich längere und stärkere Drahtseiltransmission hatte bereits 1866 der Uhrenfabrikant Heinrich Moser, 1805–1874, in Schaffhausen für sein 1863 in Angriff genommenes Rheinkraftwerk im Südwesten der Stadt errichten lassen [16]. Sie diente zur Versorgung verschiedener Betriebe und Fabriken an beiden Flussufern. Lieferant war die auf solche Transmissionen spezialisierte Maschinenfabrik Rieter. Ein flussaufwärts gekrümmter, auf Fels gegründeter Steindamm mit fester Holzschwelle leitete das benötigte Wasser zum Maschinenhaus am linken Rheinufer, wo ein Unterwasserkanal zusätzliche Fallhöhe schuf (Bild 10). Die von drei Jonvalturbinen erbrachte Leistung betrug 550 kW. 400 kW davon übertrug die 480 m lange Drahtseiltransmission über den Rhein und an dessen rechtem Ufer flussaufwärts.

Im Jahre 1900 wurde die eindrückliche Transmission abgebrochen und das Maschinenhaus einschliesslich eines inzwischen dazugekommenen zweiten elektrifiziert. 1964 überflutete der Aufstau des heutigen 22 000-kW-Kraftwerks Schaffhausen die ganze Anlage. Sie kann als erstes Grosskraftwerk der Schweiz gelten.

Das zweite Grosskraftwerk, mit anfänglich 440 kW Leistung, entstand 1869–1872 in der Mageren Au an der Saane, einen Kilometer südlich von Freiburg, auf Initiative des unternehmungslustigen Neuenburger Ingenieurs Guillaume Ritter, 1835–1912. Er erstellte dafür mit Privatkapital die erste grosse Staumauer der Schweiz mit 21 m Höhe, 195 m Kronenlänge und erstmals 1 Mio. m³ Stauinhalt (Bild 11 und 12, links oben [17]). Zudem verwendete er für den 32 000 m³

Bild 9 Turbinenhaus von 1879 am Wissenbach unterhalb der Fabrik Neuthal; rechts das Antriebsrad der Seiltransmission zur Fabrik

umfassenden Mauerkörper als erster in Europa Beton als Baustoff, nachdem dieser nur wenige Jahre zuvor in den USA erstmals 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 mit etwa 2 km Gesamtlänge errichten liess, sondern – neben der normalen Trinkwasserversorgung aus Grundwasserbrunnen unterhalb der Talsperre – noch eine Wasserverteilung unter erhöhtem Druck aufbaute. An diese konnten Betriebe, die mechanische Kraft benötigten, ihre Kleinstturbinen oder hydraulischen Kolbenmaschinen anschliessen, wobei die mögliche Gesamtleistung 260 kW betrug. Nach seinem Konkurs ging das Kraftwerk Magere Au 1888 an den Kanton Freiburg über. Es wurde zwischen 1891 und 1895 elektrifiziert und auf 590 kW erweitert. 1908–1910 erhöhte man den Stau um rund 3 m und schloss noch das Elektrizitätswerk Ölberg mit 5600 kW Leistung an [18].

Eine gemischte Energieverteilung wie in Freiburg hatte auch das Zürcher Wasserwerk Letten an der Limmat, das 1876–1878 unter Leitung des bekannten Zürcher Stadt- und späteren Quai-Ingenieurs Dr. h. c. Arnold Bürkli, 1833–1894, erstellt und anfänglich mit vier Jonvalturbinen von je 75 kW ausgerüstet wurde [19]. Drahtseile übertrugen 220 kW je 600 m flussauf- und -abwärts, daneben gab es ein Druckwassersystem. Letzteres erhielt 1883 als weitere Neuerung einen Weiher hoch oben auf dem Zürichberg, rund 160 m über der Limmat, der die Betriebsschwankungen auszugleichen hatte. Also eine Art Pumpspeicherung «avant la lettre»! Der 19 m hohe Erddamm, der diesen Resi-Weiher aufstaute, war einer der ersten in der Schweiz mit einem dichtenden Lehmkern in der Mitte seines Querschnittes (Bild 12, rechts oben). Nachdem er zeitweilig zur Wasserversorgung gedient hatte, bereichert der kürzlich sanierte Weiher heute ein beliebtes Naherholungsgebiet, während das Kraftwerk Letten ab 1892 elektrifiziert und 1952 durch einen Neubau mit 4000 kW Leistung ersetzt wurde.

Schliesslich entstand 1883–1886 auf Initiative der Genfer Ingenieure Théodore E. B. Turretini, 1845–1916, und Emile Merle d'Aubigne, 1846–1884, mitten in Genf das Wasserwerk La Coulouvrenière als Ersatz für die am Seeausfluss bestehenden alten und mehrfach umgebauten Wasserräder und Pumpen (Bild 13 [20]). Dank geschickter Einbeziehung vorhandener Inseln konnten die notwendigen Bauten untief im tragfähigen Flussbett gegründet werden. Neben Trinkwasser aus dem Genfersee wurde auch Energie gewonnen und mittels Druckwasser verteilt, wie schon ab 1872 bei den alten Anlagen. Die Betriebsschwankungen fing man mit einem Überdruckventil auf,

Bild 10 Modell des Moserschen Rheinkraftwerkes im Museum Allerheiligen in Schaffhausen, Ansicht vom Unterwasser
Foto: Elektrizitätswerk Stadt Schaffhausen

Bild 11
Baustelle der Staumauer Pérolles vom Oberwasser
Foto: Entreprises Electriques Fribourgeoises, Fribourg

das einen Wasserstrahl in die Luft schleuderte – der Vorgänger des heute nur noch als visuelle Attraktion dienenden Genfer «Jet d'eau» [21]. Mit anfänglich fünf und zuletzt – 1896 – achtzehn Maschineneinheiten von je 156 kW oder insgesamt 2800 kW stiess La Coulouvrenière als erstes schweizerisches Kraftwerk in den MW-Bereich vor, aber auch an die Grenzen der mechanisch oder hydraulisch übertragbaren Energiemengen. Im Hinblick auf einen Neubau flussabwärts wurde die Anlage 1988 stillgelegt.

Hydroelektrizität

In der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts trat als neues Medium zur Energieverteilung die Elektrizität auf den Plan, nachdem es anfangs der 1860er Jahre gelungen war, brauchbare

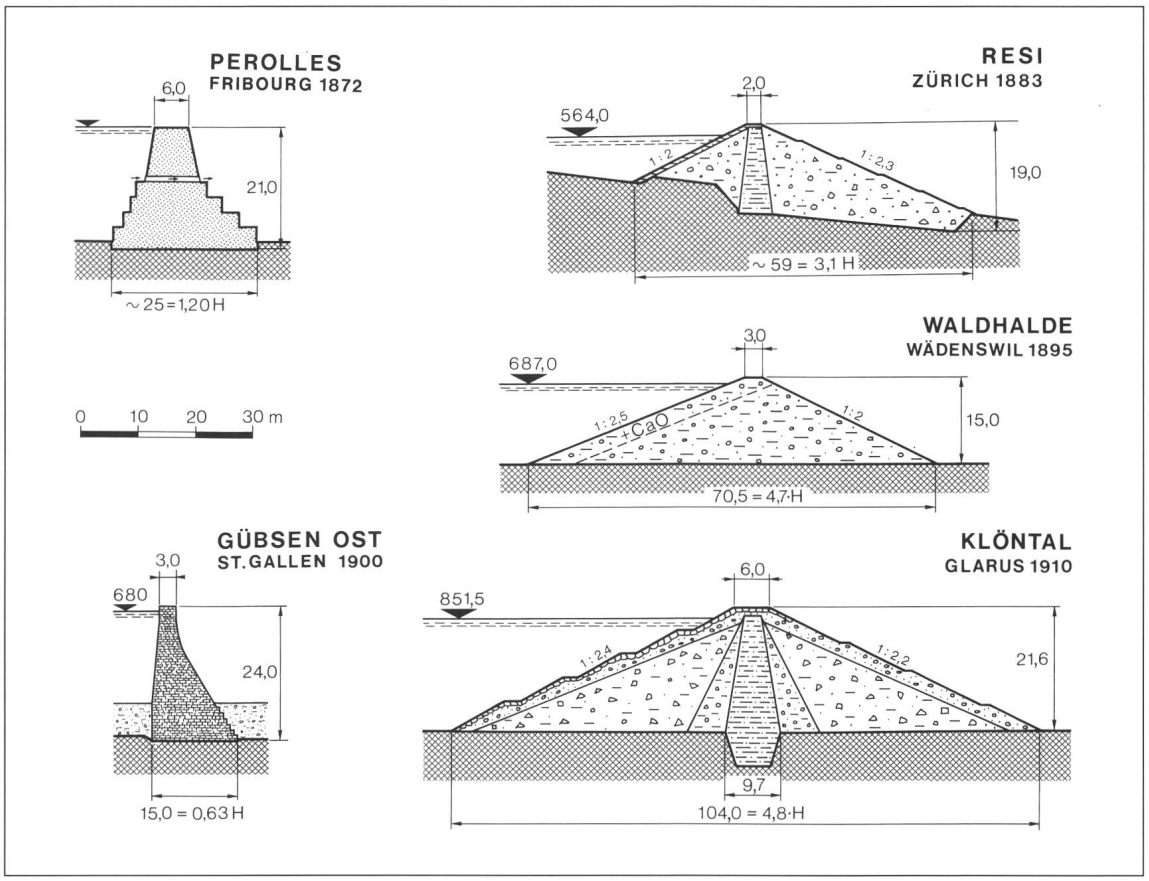

Bild 12
Querschnitte zweier früher Gewichtsstaumauern (links) und dreier Erddämme (rechts) in der Schweiz

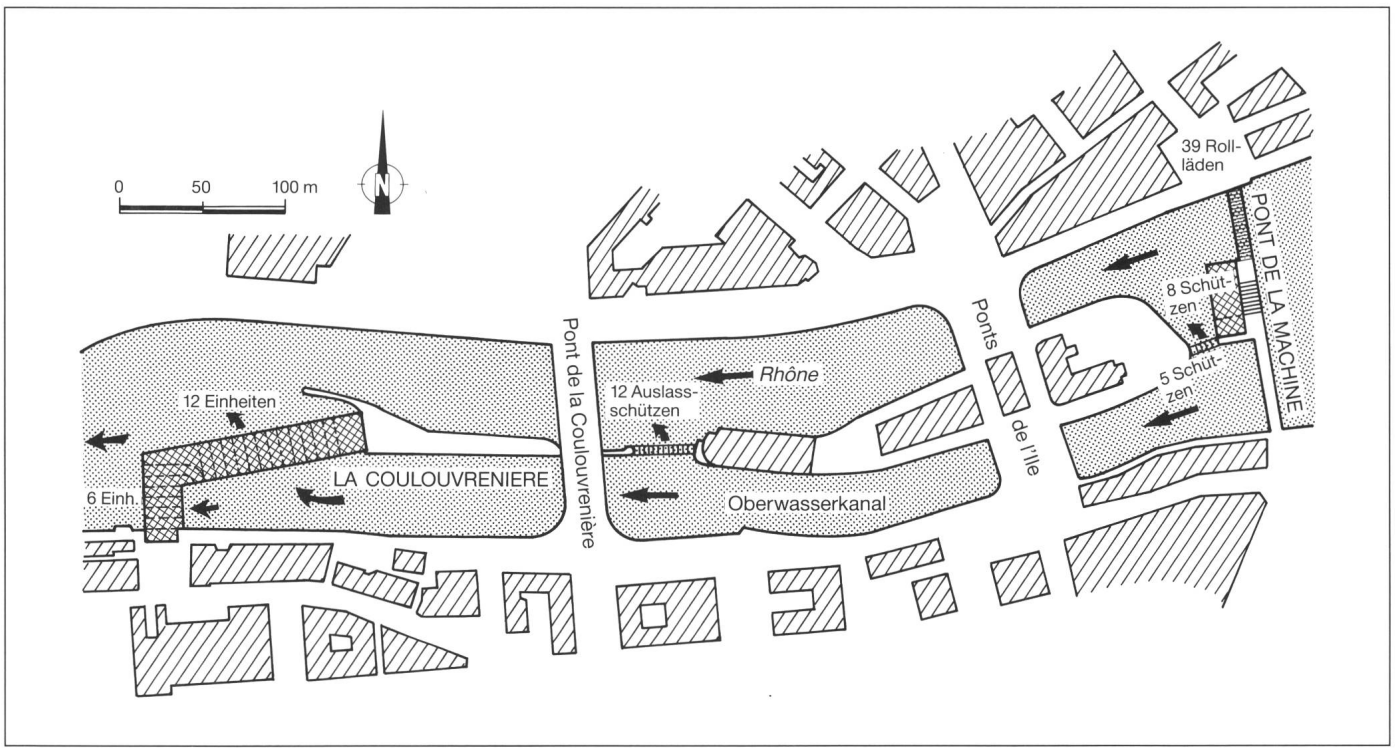

Bild 13 Plan des Wasserwerkes La Coulouvrenière in Genf

Maschinen für die Erzeugung wie für die Verwendung von Gleichstrom zu bauen. Dessen erste Anwendung war die Beleuchtung mit einem Lichtbogen, der zwischen zwei Kohleelektroden erzeugt wurde. Die ersten wasserkraftgespiesenen Bogenlampen der Welt erleuchteten 1878 eine Gemäldegalerie bei Cragside, rund 430 km nördlich von London [22]. Doch schon im Sommer des darauffolgenden Jahres liess Johannes Badrutt, 1819–1889, in St. Moritz in Graubünden Speisesaal und Vorplatz seines Kulmhotels mit Bogenlampen beleuchten (Bild 14 [23]). Die beiden Wechselstromerzeuger wurden von einer aus dem nahen Brattabach gespiesenen Kleinstturbine angetrieben.

Nachdem 1879 der Amerikaner Thomas A. Edison, 1847–1931, eine brauchbare und in Grossserie herstellbare Glühlampe erfunden hatte, fand die elektrische Beleuchtung rasche Verbreitung. Schon 1881 und 1882 entstand in Lausanne auf Initiative von Ingenieur Léon Ráoux, 1854–1910, ein Wasserkraftwerk von 15 kW Leistung, das 20 Glühlampen in einem Restaurant sowie zwei Strassenlaternen mit Gleichstrom versorgte. Fünf Monate später wurden in Minneapolis im Bundesstaat Minnesota sowie in Appleton im Staat 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, 1883 das erste Wasserkraftwerk – mit 70 kW Leistung – 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 Fallhöhe hielt seit 1882 das Kraftwerk Lancey nordöstlich von Grenoble in Südostfrankreich). Eine weitere Neuerung war die Erzeugung von Einphasen-Wechselstrom, der zum Teil mit Kabeln über fast 20 km verteilt wurde.

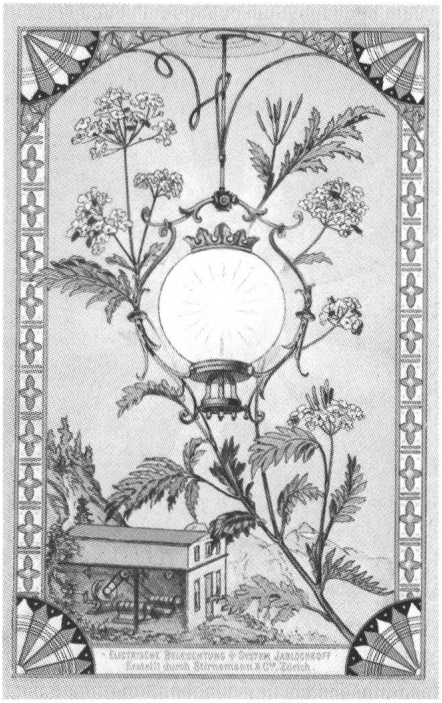

Bild 14 Illustration aus einem Prospekt des Kulmhotels in St. Moritz von 1882
Links unten eine Darstellung des hydroelektrischen Werkes von 1879 (links Miniturbine, rechts zwei Generatoren)

Strom über weite Distanzen

Trotz solchen Fortschritten blieb die Übertragung grosser Elektrizitätsmengen über grosse Distanzen problematisch. Nachdem der Franzose Marcel Deprez, 1843–1918, in den Jahren 1882 und 1883 erste Versuche mit leistungsschwachen Gleichstromübertragungen über beachtliche Distanzen angestellt hatte, baute 1884 der junge Genfer Ingenieur Dr. h. c. René Thury, 1860 bis 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 arbeitete mit nur 400 Volt Spannung, übertrug aber 22 kW [24]. Gleich leistungsfähig, doch bereits 8 km lang und auf 2500 Volt gespannt war die Leitung

von einer Girardturbine in Kriegstetten nach Solothurn. Konstruiert wurde sie 1886 vom damals 23jährigen Dr. h. c. Charles E. L. Brown, 1863–1924, dem späteren Mitbegründer der elektrotechnischen Firma Brown Boveri & Cie. im aargauischen Baden, (heute Asea Brown Boveri AG).

Nach diesem Erfolg in der Gleichstromtechnik wandte sich Brown dem Wechselstrom zu und entwarf sowohl die Generatoren als auch einige der Transformatoren der 1891 erfolgten, epochalen Drehstrom- bzw. Dreiphasenwechselstrom-Übertragung vom Wasserkraftwerk Lauffen nach Frankfurt am Main. Die Leitung von dem in der Luftlinie 120 km südlich Frankfurts gelegenen Neckarstädtchen war 175 km lang und übertrug 130 kW Leistung unter 15 000 Volt Spannung zur internationalen elektrotechnischen Ausstellung in Frankfurt. Ihr Wirkungsgrad erreichte 75%, gleich wie schon die Leitung von Kriegstetten nach Solothurn. Sowohl Spannung wie Wirkungsgrad wurden bei den nächstfolgenden Leitungen rasch gesteigert.

Nach dem Durchbruch in Frankfurt löste in der Schweiz der Wechselstrom den Gleichstrom weit früher und rascher ab als in den meisten Ländern [24]. Noch vor Ende des Jahrhunderts baute man keine Gleichstromwerke mehr. Gleichzeitig fand eine explosive Steigerung der Wasserkraftnutzung statt, von etwa 105 MW Gesamtleistung Ende 1891 auf rund 180 MW zur Jahrhundertwende – jeweils einschliesslich Wasserrädern und Kleinanlagen. Das entspricht einer jährlichen Zuwachsrate von rund 7% bzw. einer Verdoppelung innert zehn Jahren. Jeder Schweizer verfügte nun über 54 Watt 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 75 MW Leistungszunahme zwischen 1892 und 1900 wurden von nur zwei hydroelektrischen Kraftwerken erbracht. Es waren dies die Anlage Chèvres an der Rhone unterhalb Genf mit 17 MW, und die Anlage Rheinfelden am Rhein, 16 km östlich von Basel, mit zunächst zwölf und später 25 MW. Für erstere Anlage zeichnete der schon erwähnte Turretini verantwortlich. Er war inzwischen auch in eine internationale Kommission gewählt worden, die den Bau des ersten, 38 MW leistenden Elektrizitätswerks an den Niagarafällen in den USA in den Jahren 1890–1895 begleitete.

Die 2,8 MW Leistung seiner Anlage La Coulouvrenière wurde bereits mit den 6 MW der ersten Ausbauetappe von Chèvres deutlich übertroffen [25]. Das auf einer Kalksteinrippe gegründete Wehr wies sechs Öffnungen auf. Diese waren mit 10 m langen und 8,5 m hohen Schützentafeln verschlossen, die auf Rollen liefen 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 verlief schräg zum Unterwasser und beherbergte vorerst fünf Turbinenpaare, wobei jedes Paar übereinander auf einer Welle angeordnet war. 1899 kamen weitere zehn solcher Turbinenpaare mit insgesamt 11 MW dazu. Bei geringem Wasserdargebot wurden nur die unteren Turbinen unter grosser Fallhöhe betrieben. Bei hohen Abflüssen verminderte sich die Fallhöhe, weil bei Öffnung der Schützen der Spiegel des Unterwassers stieg, und dann 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 mit 93 MW Leistung überstaut.

Im 1895–1898 erstellten Kraftwerk Rheinfelden wurden zwanzig ebenfalls vertikale Turbinenpaare mit 12 MW

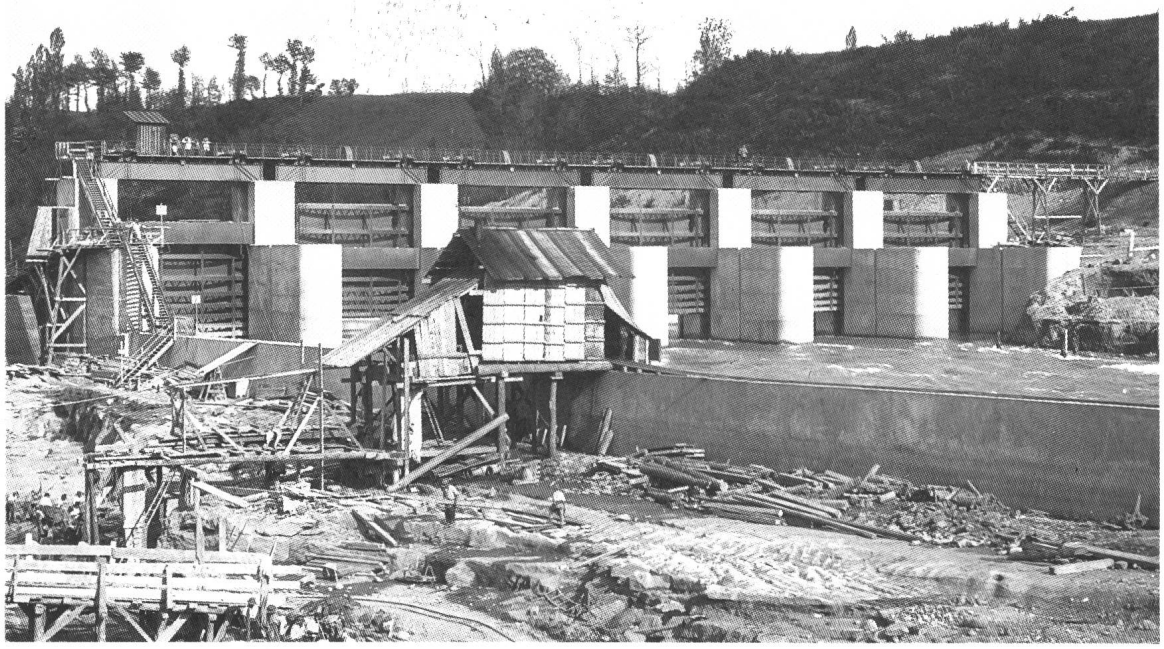

Bild 15
Unterwasserseitige Ansicht (1894) des Wehres Chèvres an der Rhone unterhalb von Genf
Im Vordergrund die Baugrube für das Maschinenhaus
Foto: Coll. Iconographique Vieux Genève, Genève

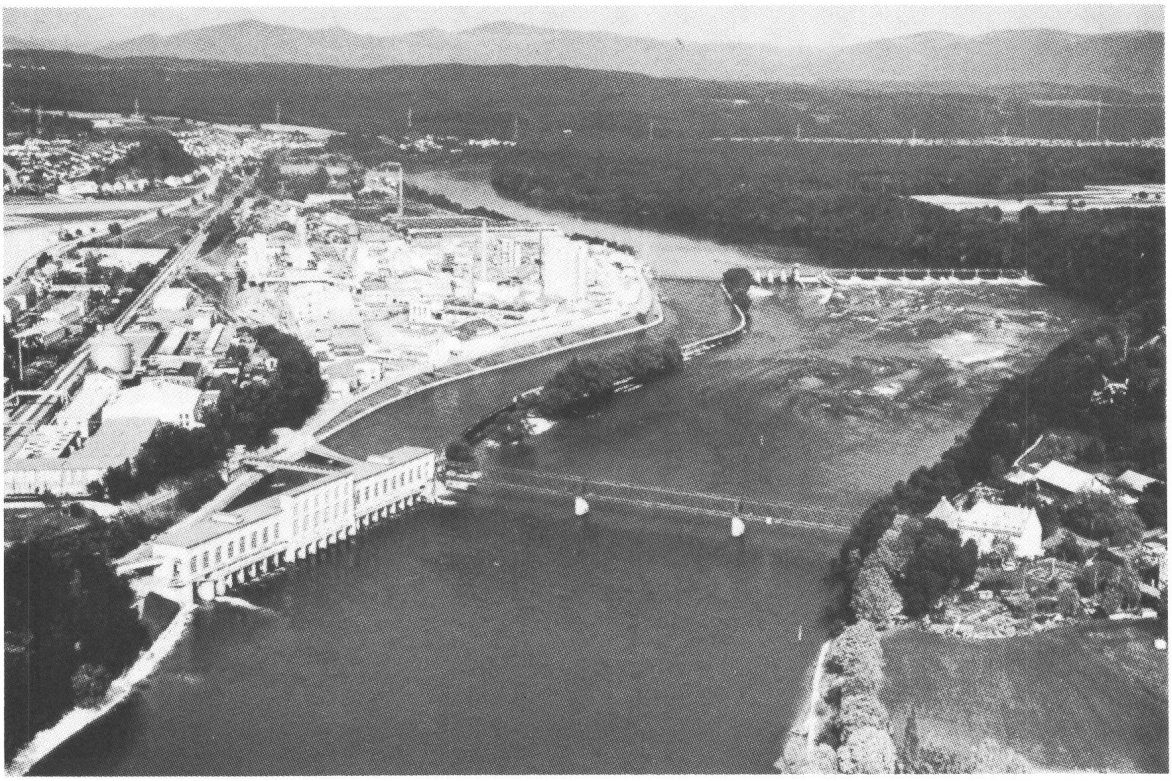

Bild 16 Modernere Luftaufnahme des Niederdruckkraftwerkes Rheinfelden
Foto: Elektrowatt, Zürich

Geamtleistung eingebaut (Bild 16 [26]). Die vierrädrigen Turbinen waren jedoch von dem Typ mit Wassereintritt von aussen und axialem Wasseraustritt, den der englische Bauingenieur James B. Francis, 1815–1892, bereits 1847 in den USA entwickelt hatte und der 1869 vom Amerikaner Asa M. Swain, 1830 bis 1908, verbessert worden war (Bild 5, rechts [11]). Das Projekt für das Kraftwerk Rheinfelden stammte vom Aarauer Bauunternehmer Olivier Zschokke, 1826–1898, und von dem Aachener Wasserbauprofessor und bekannten Talsperrenbauer Otto Intze, 1843–1904, während die Bauleitung dem Neffen des Erstgenannten, dem Professor an der ETHZ und Dr. h. c. Conradin Zschokke, 1842–1918, anvertraut wurde (Bild 17).

Angesichts des erstmalig internationalen Charakters des Werkes Rheinfelden ist es erstaunlich, dass die Konzession zu seinem Bau bereits 1891, zwei Jahre nach Gründung der entsprechenden Gesellschaft, vorlag. Erheblich mehr Zeit beanspruchte die Finanzierung, die schliesslich weitgehend von Deutschland aus erfolgte. Da überall auf Fels gegründet werden konnte, war der Bau selbst relativ einfach, namentlich auch der des Wehrs über den Rhein. Es bestand aus einer niedrigen, überströmten Betonmauer, der allerdings 1902 noch Schützen von 1 m Höhe aufgesetzt werden mussten. Ein in den Fels gesprengter Kanal von 950 m Länge führte am rechten Rheinufer entlang zur Rückseite des parallel zum Fluss angeordneten Maschinenhauses.

Neben den beschriebenen beiden grossen Niederdruckwerken entstanden an die 130 kleinere hydroelektrische Anlagen, die vorzugsweise unter Mittel- und Hochdruck arbeiteten [24]. Für Hochdruckanlagen führte man in der Schweiz noch vor der Jahrhundertwende die Freistrahlturbine mit Doppelbechern ein, die ab 1878 von Lester A. Pelton, 1829–1908, in Kalifornien entwickelt und von seinem Mitarbeiter William A. Doble verbessert worden war [11]. Die genutzte Fallhöhe erreichte bereits 1902 im 1,5-MW-Kraftwerk Vouvry, 38 km nordwestlich von Sitten im Wallis, mit 920 m einen neuen Weltrekordwert. Der Projektant der Anlage, Anthelme Boucher, 1856–1936, überbot diesen Wert jedoch schon 1914 bei der 8,8-MW-Anlage Fully, 22 km südwestlich der Stadt, mit 1645 m Fallhöhe um fast das Doppelte [27].

Bild 17 Prof. Dr. h. c. Conradin Zschokke, 1842–1918

Beide Werke nutzten als Ausgleichsspeicher natürliche Seen. Wo aber solche nicht vorhanden waren, legte man in zunehmender Zahl Talsperren an, so zum Beispiel 1895 einen 15 m hohen Erddamm für das 1,5-MW-Kraftwerk Waldhalde, 23 km südöstlich von Zürich (Bild 12, Mitte rechts). Ein anderes Beispiel ist die 24 m hohe Gewichtsstaumauer, fertiggestellt 1900, zusammen mit zwei kleinen Erddämmen für die – ursprünglich mit Waldhalde leistungsgleiche – Anlage Kubel, fünf Kilometer südwestlich von St.Gallen (Bild 12, links unten [28]). Sie wurde 1973–1976 modernisiert und auf 15 MW ausgebaut, Waldhalde bereits 1965–1967 auf 2,7 MW.

Beginn des Kraftwerkverbundes

Für solche Anlagen, bei denen – wie bei den Niederdruckanlagen an den grossen Flüssen des Mittellandes – eine

Wasserspeicherung nicht machbar war, schlug Dr. h. c. Agostino Nizzola, 1869 bis 1961 (Bild 18), eine elektrische Kopplung mit Speicherkraftwerken vor [24]. Er leitete die Motor AG, heute Motor-Columbus AG, in Baden im Aargau von ihrer Gründung bis 1942. Dieses Unternehmen, die Elektrobank (heute Elektrowatt) AG in Zürich sowie Indélec in Basel waren in den Jahren 1895 und 1896 gegründet worden, um Elektrizitätswerke zu projektieren, zu finanzieren und zu bauen. Die hinter diesen Firmen stehenden elektrotechnischen Fabrikanten erhofften sich dadurch – mit Recht, wie die Entwicklung zeigte – eine weitere Belebung ihres Absatzes. Anfang des 20. Jahrhunderts entstanden dann allerdings Überkapazitäten und in der Folge ein ruinöser Preis- und Ausscheidungskampf. Dies wiederum bewirkte, wie bei den Eisenbahnen ein Jahrzehnt zuvor, einen zunehmenden Staatsinterventionismus, zum Beispiel in Form der Verfassungsinitiative des Jahres 1906, die aber dann zugunsten des 1908 genehmigten Verfassungsartikels über die Oberaufsicht des Bundes bei der Nutzbarmachung der Wasserkräfte wieder zurückgezogen wurde.

Bild 18 Dr. h. c. Agostino Nizzola, 1869–1961

Die erste Kopplung einer Niederdruck- mit einer Hochdruckanlage bewerkstelligte Nizzola 1903 durch eine 65 km lange 16-kV-Hochspannungsleitung von Hagneck nach Spiez im Kanton Bern. Das 5-MW-Niederdruckwerk Hagneck 24 km nordwestlich von Bern war 1897–1900 nach einem Projekt von Prof. Zschokke erbaut worden, und zwar an der Mündung des – im Zuge der ersten Juragewässerkorrektion in den Jahren 1874–1887 erstellten – Aarekanals in den Bielersee [28]. Als erstes schweizerisches Kraftwerk erhielt es Turbinen von 1 MW Leistung. Das 1897–1899 erbaute Kanderkraftwerk, dessen Maschinenhaus bei Spiez am Thunersee, 34 km südöstlich von Bern steht, wurde 1902 um den Tagesspeicher Spiezmoos mit 0,14 Mio. m^3 Inhalt erweitert und auf 5 MW Gesamtleistung ausgebaut (Bild 19 [29]). Beide Anlagen gingen 1906 in den Besitz des Kantons Bern über und bildeten den Grundstock für die staatlichen Bernischen Kraftwerke AG (BKW). Hagneck wurde 1975–1978 modernisiert und auf 11 MW Leistung ausgebaut, Spiez 1982–1986 auf 19 MW.

Elektrische Alpentransversale

Bedeutendere Ausmasse erreichte 1908 Nizzolas zweiter Kraftwerkver-

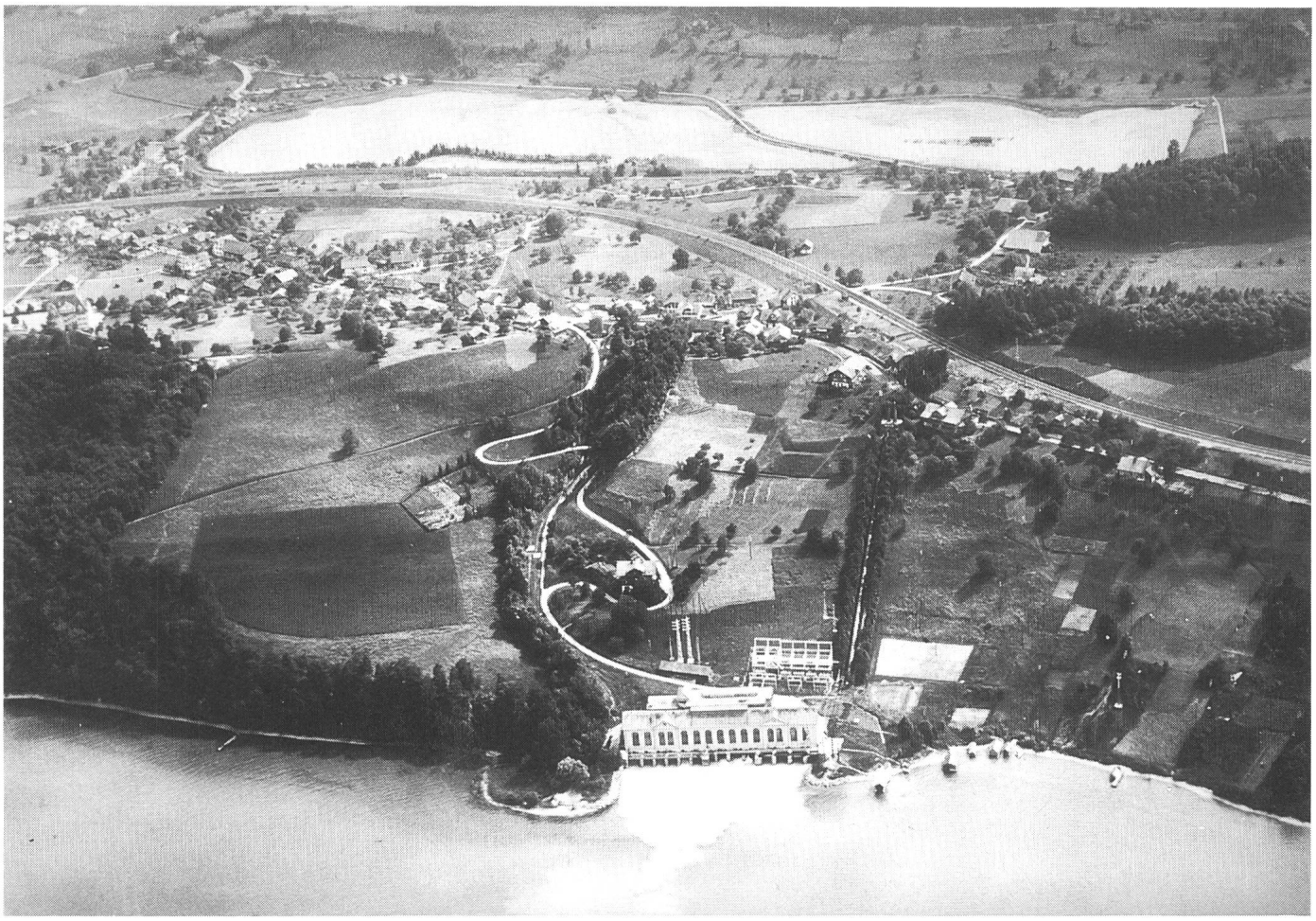

Bild 19 Luftaufnahme des Speicherkraftwerkes Spiez am Thunersee mit Tagesspeicher Spiezmoos (Foto: Bernische Kraftwerke Bern)

bund, der oft als sein erster ausgegeben wird: der 27-kV-Zusammenschluss der 100 km voneinander entfernten Kraftwerke Löntsch im Kanton Glarus und Beznau am Unterlauf der Aare. Letzteres war 1898–1904 nach einem Projekt von Prof. Zschokke mit 9 MW installierter Leistung entstanden [29]. Das 26-MW-Hochdruckwerk Löntsch wurde 1905–1910 knapp nördlich von Glarus erbaut. Sein 27 m hoher Erddamm Rhodannenberg, der auf einem alten Bergrutsch ruht, staute den natürlichen Klöntalersee zu einem Jahresspeicher mit dem damals «enormen» Inhalt von 56 Mio. m^3 (s. Bild 12, rechts unten [30]). 1914 wechselten auch diese beiden Anlagen in den Besitz eines Konsortiums von Kantonen, woraus die öffentliche Nordostschweizerische Kraftwerke AG (NOK) mit Sitz im aargauischen Baden hervorging. Diese erneuerte und erweiterte Beznau 1926 und 1927 auf 26 MW und Löntsch 1971 bis 1975 auf 60 MW.

Einen Kraftwerkverbund besonderer Art veranlasste der Tessiner Nizzola später, nämlich 1932, durch den Bau einer 150-kV-Leitung (heute 380 kV) über den 2108 m hohen Sankt-Gotthard-Pass. Allerdings war das nicht die erste «elektrische Alpentransversale» in der Schweiz: Bei der Elektrifizierung der Schweizerischen Bundesbahnen hatte man schon 1920 im Gotthardtunnel neben den 15-kV-Fahrdrähten auch ein 60-kV-Kabel verlegt, welches das 44-MW-Speicherkraftwerk Ritom südlich des Tunnels mit dem 66-MW-Laufkraftwerk Amsteg im Norden verband.

Und bereits 1921 war eine 55-kV-Leitung über die Pässe Albula und Bernina in Graubünden gelegt worden. Doch erst die leistungsfähige Gotthardleitung Nizzolas erlaubte es, in grösserem Umfang aus den oft markanten Unterschieden im Wasserdargebot beidseits der Alpen Nutzen zu ziehen.

Literatur

[1] *Weissenbach, W.*: Die Wassermotoren der Schweiz. «Die Eisenbahn» 1876, S. 8–11.

[2] *Jossi, H.*: Der Greuterhof in Islikon, eine Wiege der schweizerischen Volkswirtschaft. «Pro Technorama» 1989, Nr. 1, S. 11–14.

[3] *Tuor, A.*: Mühle in Santa Maria, Münstertal/GR. «Industriearchäologie» 1983, Nr. 3, S.15.

[4] La Tine, Fondation des vieux moulins de la Tine: Plaquette. Troistorrents/VS 1986.

[5] *Salamin, F.*: Moulins de St-Luc, Val d'Anniviers. Erhaltung industrieller Kulturgüter in der Schweiz. Verl. Industriearchäologie, Umiken/AG 1987, S. 46–47.

[6] *Garin, M.*: 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, p. 6.1–6.8.

[7] *Pelet, J.-L.* et *Jaccard, M.*: Un complexe usinier a l'époque de la guerre de trente ans. «Rev. histoire mines et métallurgie» 1971, p. 3–69.

[8] *Gigon, R.* et *Wenger, R.*: Inventaire spéléologique de la Suisse, canton du Jura. Com. spél. soc. helv. sciences nat., Porrentruy/JU 1986, S.161–164.

[9] *Meng, R.*: Die Meyerschen Stollen von Aarau. «Aarauer Neujahrsblätter» 1972, S. 53–63.

[10] *Ackeret, J.*: Vorrede zu Leonardi Euleri commentationes mechanicae, vol. 1, O. Füssli, Zürich 1957.

[11] *Meyer, J. H.*: Kraft aus Wasser. Stämpfli Bern 1975.

[12] *Moser, J.*: 100 Jahre Wasserturbinen. «Escher Wyss-Mitteilungen» 1942/43, S. 1–19.

[13] *Dejung, E.* und *Ruoff, M.*: Spinnerei, Weberei und mechanische Werkstätte Hard bei Wülflingen 1800–1924. 270. «Neujahrsblatt Stadtbibliothek Winterthur» 1937.

[14] Rieter, J. J. & Cie.: 150 Jahre Joh. Jacob Rieter & Cie., Winterthur 1945.

[15] *Kaspar, H.* und *Weiss, H.W.*: Frühindustrielle Wasserkraftanlagen. «Schweizer Ing. u. Arch.» 1991, S. 40–44,115–120 und 505–509.

[16] *Niederhauser, P.*: Schaffhausen; Moserdamm, Rheinfallwerke, Pumpspeicher. «Die Geschichte der Gewässerkorrektionen und der Wasserkraftnutzung in der Schweiz». Pro Aqua, Basel 1983, S. 14.1–14.19.

[17] *Ritter, G.*: Observations et particularités techniques, géologiques et hydrologiques relatives à l'établissement du grand barrage de la Sarine à Fribourg. «Bull. soc. neuchâteloise sciences nat.» 1901/02, p. 374–403.

[18] *Zimmermann, N.*: Les EEF et le développement économique. Entr. Electr. Fribourgoises, Fribourg 1990 (auch deutsch).

[19] *Wyssling, W.*: Das Elektricitätswerk der Stadt Zürich. «Schweiz. Bauzeitung» 1893 (Bd. 21), S. 3–7 und 9–11.

[20] *Giacasso, P.*: Utilisation des forces motrices du Rhône aux 18e et 19e siècles. «L'histoire de la protection contre les crues et de l'utilisation des forces hydrauliques en Suisse». Pro Aqua, Bâle 1983, p. 7.1–7.10.

[21] *Vischer, D.*: Ein berühmtes Überdruckventil. «wasser, energie, luft» 1988, S. 208–209.

[22] Water Power: «Int. Water Power and Dam Construction» 1988, Sept., p. 4.

[23] *Töndury, G. A.*: Studie zur Volkswirtschaft Graubündens. Engadin Press, Samedan 1946, S. 114.

[24] *Wyssling, W.*: Die Entwicklung der schweizerischen Elektrizitätswerke und ihrer Bestandteile in den ersten 50 Jahren. Schweiz. Elektrotechn. Verein, Zürich 1946, (S. 22/25/32–35/41/170/312–313).

[25] *Turretini, T.*: Usine de Chèvres. Georg & Cie., Genève 1900.

[26] *Schwing, E.*: 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] *Paschoud, M.*: Notice historique. Dans: Centenaire 1853–1953. Ecole polytechnique, Lausanne 1953, p. 15–56.

[28] Führer durch die schweizerische Wasserwirtschaft, 2 Bände. Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband, Zürich 1926 und 1949.

[29] Elektrizitätswerk Beznau an der Aare. «Schweiz. Bauzeitung» 1907 (Bd. 49), Nr. 6 bis 13.

[30] *Ehrensperger, J.*: Elektrizitätswerk am Löntsch, «Schweiz. Bauzeitung» 1910 (Bd. 55 u. 56).