

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 123/124 (1944)
Heft: 25

Artikel: Ueber die Entwicklung der schweizerischen Niederdruck-Wasserkraftanlagen in den letzten 50 Jahren
Autor: Stambach, Ernst
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-54067>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

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. [Voir Informations légales.](#)

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. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 16.05.2025

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

INHALT: Ueber die Entwicklung der schweizerischen Niederdruck-Wasserkraftanlagen in den letzten 50 Jahren. — Die neue Kehrlicht-Verwertungs-Anlage der Stadt Basel. — Mitteilungen: Woher die hohen Heizkosten? Die Berechnung der Betonauskleidung von Druckstollen. Zur Verwirklichung des sog. «Schweiz. Strassenkreuzes». Die Entwicklung des

Pfandbriefes. Brown-Boveri-Mitteilungen. Schweizerischer Strassenverkehrsverband. Löschen und Verschliessen brennender Gasleitungen. Eidg. Techn. Hochschule. — Wettbewerbe: Gewerbeschulhaus in Amriswil. Wiederaufbau von Trans, Graubünden. — Nekrologe: Albert Isler. — Literatur. — Mitteilungen der Vereine. — Vortragskalender.

Band 124

Der S. I. A. ist für den Inhalt des redaktionellen Teils seiner Vereinsorgane nicht verantwortlich
Nachdruck von Text oder Abbildungen ist nur mit Zustimmung der Redaktion und nur mit genauer Quellenangabe gestattet

Nr. 25

Ueber die Entwicklung der schweizerischen Niederdruck-Wasserkraftanlagen in den letzten 50 Jahren

Von Dipl. Ing. ERNST STAMBACH, Motor-Columbus A.-G., Baden*)

Mit dem Abbruch des ersten grossen schweizerischen Flusskraftwerkes Chèvres an der Rhone, das durch den Rückstau des neu erstellten Kraftwerkes Verbois überflutet wird, ist das erste halbe Jahrhundert moderner Wasserkraftnutzung in der Schweiz zu Ende gegangen. In dieser Zeitspanne von 1893 bis 1943 hat die technische Gestaltung der Niederdruck-Wasserkraftanlagen eine Stufe erreicht, die der schweizerischen Technik alle Ehre macht. Wenn im Nachstehenden versucht werden soll, diese Entwicklung an Hand ausgeführter Kraftwerke, die in unserem Lande auf engstem Raum mannigfaltig entstanden sind, in grossen Zügen zu charakterisieren, so kann es sich nur darum handeln, die wichtigsten unter ihnen ihrem Wesen nach zu streifen und andeutungsweise Erläuterungen über die fortschreitende Gestaltung einzelner Teile dieser Anlagen zu geben. Da jedes Kraftwerk als Einzelercheinung auftritt, die je nach den örtlichen Verhältnissen, der technischen Entwicklung und den wirtschaftlichen Bedingungen zur Zeit ihrer Entstehung gekennzeichnet ist, lassen sich bei diesem Werdegang wohl gewisse Tendenzen verfolgen, ohne dass dafür aber allgemein gültige Richtlinien aufgestellt werden könnten. Zahlenwerte, die die Entwicklung bestimmter Bauobjekte im Ablauf einer begrenzten Zeit belegen, dürfen in diesem Zusammenhang meistens nur der Grössenordnung, nicht aber der absoluten Grösse nach bewertet werden. Damit das Bild nicht durch die allfälligen nachträglich vorgenommenen Ergänzungen und Aenderungen verzerrt werde, ist hier nur der ursprüngliche Zustand der Bauwerke zu besprechen. Die Betrachtungen beschränken sich im wesentlichen auf den baulichen Teil der Kraftwerke und berühren den maschinellen Teil, wie Turbinen, Einlauf- und Stauwehrrschützen, nur so weit, als diese für die Gestaltung der Gesamtanlage von Bedeutung sind. Entstehung und Werdegang der elektrischen Einrichtungen der Kraftwerke kommen hier nicht zur Darstellung. Schliesslich sei vorausgeschickt, dass bei der Beurteilung der Flusskraftwerke gewisse Gegenüberstellungen nur innerhalb abgegrenzter Gefällsstufen vorgenommen werden können. Bisweilen wird man also zwischen eigentlichen Niederdruckwerken mit Gefällen von 4 bis 12 m und Mitteldruckwerken mit Gefällen von etwa 15 bis 25 m zu unterscheiden haben.

Massgebend für die allgemeine Gestaltung einer Wasserkraftanlage sind im wesentlichen die örtlichen Verhältnisse des ausgenützten Flussgebietes und die technischen Möglichkeiten, einen bestimmten Baugeanken im Rahmen der Wirtschaftlichkeit in die Tat umzusetzen. Die Turbine, als Kern des Maschinenhauses, gibt diesem das Gepräge und beeinflusst

weitgehend auch die Zu- und Ableitung des Wassers. Daneben stellt das Stauwehr ein weiteres Hauptobjekt der Niederdruckkraftwerke dar. Seine Gestaltung hängt von den hydraulischen Eigenheiten des Flusslaufes und den geologischen Verhältnissen der Baustelle und im einzelnen auch von der Konstruktion der beweglichen Wehrrabschlüsse ab.

Ihrer Anordnung nach sind die hier betrachteten Kraftwerke in zwei Hauptgruppen zu unterteilen, nämlich in sog. Kanalkraftwerke (Abb. 1 bis 3) und in Flusskraftwerke, bei denen Ober- und Unterwasserkanal der Längenausdehnung nach stark reduziert sind und deshalb eine untergeordnete Rolle spielen oder überhaupt wegfallen (Abb. 4 bis 7). Bei der ersten Kategorie befindet sich das Maschinenhaus entweder ausserhalb des Flusslaufes zwischen Ober- und Unterwasserkanal an einer topographisch und geologisch geeigneten Stelle, oder am Flusslauf selbst bei der Abzweigung oder Wiedereinmündung des Kraftwerkkanals. Die im Interesse eines vereinfachten Betriebes wünschbare Zusammenlegung von Stauwehr und Maschinenhaus kann auch bei Werken mit Unterwasserkanal erreicht werden (Beispiel Abb. 3, Kraftwerk Rapperswil-Auenstein). Während bei Kanalkraftwerken das Nutzgefälle durch das Abschneiden von Flusschleifen und durch Anlage von Gerinnen mit kleinem Fließwiderstand und kleinerem Gefälle gewonnen wird, muss dieses bei den Flusskraftwerken durch Aufstau, ausnahmsweise auch durch Flussbetsenkung im Unterwasser herausgeholt werden. Erfolgt der Aufstau erheblich über die natürliche Hochwasserlinie, so kann eine unerwünschte Beeinträchtigung des natürlichen Geschiebeganges und damit eine allmähliche Auflandung des Staugebietes verursacht werden.

Die vor Ende des letzten Jahrhunderts erstellten Maschinenhäuser der Kraftwerke Chèvres und Rheinfelden (Abb. 4) wurden in Verkennung der Erfordernisse einer guten Wasserführung in Schräglage zur Fließrichtung nahe am Flussufer angelegt. Auch das wesentlich später gebaute Kraftwerk Augst-Wylen (Abb. 5) zeigt solche brüske Umlenkungen des Betriebswassers auf der Ober- und Unterwasserseite, wenn auch hier die gewollte Trennung der Kraftanteile der beiden Uferstaaten zu der eigenartigen Disposition der Doppelanlage geführt hat. Erst das Kraftwerk Laufenburg weist die folgerichtige Anordnung von Stauwehr und Maschinenhaus quer zur Fließrichtung auf, die sich im weiteren zum Typus der Flusskraftwerke entwickelt hat (Abb. 6). Zur Fernhaltung des Gschwemmsels vom Turbineneinlauf haben das Werk Laufenburg wie auch die in dieser Hinsicht gleichartigen Kraftwerke Eglisau und Chancy-Pougny im Oberwasser ein ausgedehntes Vorbecken mit Einlaufbauwerk und Grobrechen erhalten. Mit der Einführung ganz grosser Turbinen und besonders der Kaplan-turbinen, die bezüglich Ge-

*) Das Manuskript dieser Arbeit ist uns am 26. September 1944 eingereicht worden.

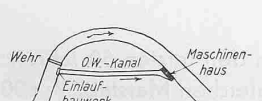


Abb. 1
Maschinenhaus bei der Wasserrückgabe, U.W.-Kanal fehlt. (Kraftwerke Beznau und Albruck-Dogern)



Abb. 2
Maschinenhaus zwischen Ober- und Unterwasserkanal (Kraftwerke Olten-Gösgen und Hagneck)



Abb. 3
Maschinenhaus bei der Wasserentnahme, Oberwasserkanal sehr kurz. (Kraftwerk Rapperswil-Auenstein)

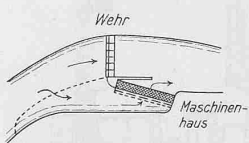


Abb. 4
Kraftwerke Chèvres und Rheinfelden

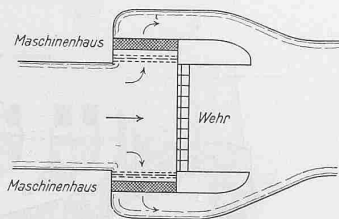


Abb. 5
Kraftwerk Augst-Wylen

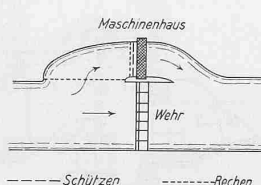


Abb. 6
Kraftwerke Eglisau, Laufenburg und Chancy-Pougny

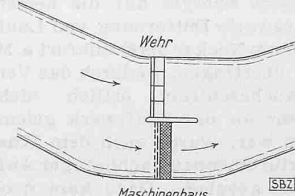


Abb. 7
Kraftwerke Ryburg-Schwörstadt, Mühleberg, Wettingen, Klingnau, Reckingen und Verbois

Tabelle I. Baujahre und Ausbau schweizerischer Niederdruck-Wasserkraftanlagen

Kraftwerk	Baujahre	Konz. Betriebs-Wassermenge		Netto-Gefälle m	Konstruktion	Turbinen			Installierte Leistung		
		Q m³/sec	vorhanden an Tagen			Anzahl Lauf- räder einer Gruppe	Lage der Welle	Zahl	einer Turbine PS	Total PS ^{a)}	Für den Eigenbedarf PS
Chèvres	1893—1896	330	160	4,3—8,5	Jonval	2	vert.	15	1 200	18 000	2×150
Rheinfelden	1895—1898	520	270	3,2—4,5	Francis	2	"	20	840	16 800	—
Hagneck	1897—1899	80	260	5,5—9,0	"	3	"	{ 4 1	{ 1 350 1 600	7 000	2×20 + 40
Beznau	1898—1902	340	255	2,6—5,2 ³⁾	"	3	"	{ 6 5	{ 1 000 1 200	12 000	2×400
Augst	1907—1912	380 ²⁾	250	3,9—7,8	"	4	horiz.	10	3 000	30 000	2×400
Kallnach	1909—1913	60	300	18,0—22,0	"	2	"	6	2 500	15 000	—
Laufenburg	1908—1914	650	290	8,0—11,5 ⁴⁾	"	4	"	10	6 500	65 000	—
Olten-Gösgen	1913—1917	350	120	13,5—17,0	"	1	vert.	6 ⁷⁾	7 000	42 000	—
Eglisau	1915—1920	405	155	9,2—12,0 ⁵⁾	Francis-Dubs ⁶⁾	1	"	7	6 000	42 000	190 ⁹⁾
Mühleberg ¹⁾	1917—1921	320	—	16,9—20,1	"	1	"	6 ⁷⁾	8 100	48 600	—
Chancy-Pougny	1920—1925	450	110	6,3—8,9	"	1	"	5	9 000	45 000	370
Ryburg-Schwörstadt	1927—1930	1000	168	7,4—12,5	Kaplan	1	"	4	38 700	154 800	—
Albbruck-Dogern	1929—1933	900	190	8,0—11,6	"	1	"	3	37 600	112 800	—
Wettingen	1930—1933	120	124	21,2—23,2	"	1	"	3	10 000	30 000	—
Klingnau	1931—1935	650	130	4,6—7,5	"	1	"	3	18 600	55 800	—
Reckingen	1938—1941	510	129	7,0—10,1	"	1	"	2	22 100	44 200	—
Verbois	1938—1943	510	86	16,0—20,8	"	1	"	4	31 500	126 000	—
Rupperswil-Auenstein	1942—1945	350	128	9,5—12,5	"	1	"	2	23 000	46 000	500

Bemerkungen: ¹⁾ Speicherwerk mit Wochenausgleichbecken.²⁾ Anteil der Schweiz.³⁾ Staukote 327,05.⁴⁾ Staukote 302,50.⁵⁾ Staukote 343,48.⁶⁾ Räder mit grossem Spalraum.⁷⁾ Für max. 8 Einheiten vorgesehen.⁸⁾ Summe aller Einheiten.⁹⁾ Mit Wasser aus der Glatt betrieben.

schwemmseldurchgang weniger empfindlich sind als die früheren Turbinenkonstruktionen, hat man dann beim Werk Ryburg-Schwörstadt gewagt, diese teuren Bauwerke wegzulassen, nachdem durch Modellversuche festgestellt worden war, dass der grösste Teil des Geschwemmsels unmittelbar gegen das Stauwehr abtrieb, wogegen das Betriebswasser unter nur geringfügiger Ablenkung von seiner natürlichen Fliessrichtung direkt dem Maschinenhaus zuströmt. Der einzige Geschwemmselschutz besteht in einem dem Turbineneinlauf vorgelagerten Grobrechen mit 150 mm Stablichtweite (Abb. 7).

Der Anordnung nach als Sonderfall unter den schweizerischen Niederdruckwerken ist das Kraftwerk Kallnach zu bezeichnen. Die Wasserzuleitung erfolgt dort durch einen 2 km langen Stollen und durch eiserne Druckleitungen. Ein 3 km langer Unterwasserkanal führt das Wasser vom Maschinenhaus zum Vorfluter zurück.

Zur Illustration der Entwicklung des Turbinenbaues darf bei dieser Gelegenheit daran erinnert werden, dass der universelle Mathematiker Leonhard Euler (1707 bis 1783) auch der Erfinder der technisch ausführbaren Wasserturbine war¹⁾. Er eilte dadurch seiner Zeit geistig weit voraus, denn erst 1827 kam die erste betriebsfähige Turbine durch Benoit Fourneyron (1802 bis 1867) in Betrieb. Sie leistete 6 PS bei 1,4 m Gefälle und wies den hohen Wirkungsgrad von 80 % auf²⁾. 1840 nahmen Escher Wyss den Bau von Jonval-Turbinen auf, 1859 erstellte August Bell in Kriens das erste Tangentialrad, den Vorläufer der Freistrahlturbine, und 1860 verliess die erste Girard-Turbine die Werkstätten von Benjamin Roy, des Gründers der jetzigen Ateliers de Constructions mécaniques de Vevey. Mit dem 1891 geglückten Versuch, hochgespannte elektrische Energie auf die bemerkenswerte Entfernung von Laufen am Neckar bis Frankfurt a. M. zu übertragen, wodurch das Verbrauchszentrum örtlich nicht mehr an das Kraftwerk gebunden war, wurde auch dem Wasserturbinenbau nachhaltiger Auftrieb gegeben. Dazu kam noch die Einführung der direkten

Kupplung der Turbine mit dem Generator bei Erhöhung der Drehzahl und die Erfindung der Druckölregulierung. Während bis zu diesem Zeitpunkt die grössten Einheitsleistungen kaum über 600 PS hinausgingen, machte die Entwicklung nun einen kühnen Sprung: Paul Piccard in Genf erhielt den Auftrag zur Ausführung von Turbinen mit je 5000 PS Leistung für das Kraftwerk am Niagara-Fall. In der Schweiz gelangten 1893 im Kraftwerk Chèvres 15 Einheiten zu immerhin je 1200 PS in vertikalaxiger Anordnung mit direkt gekuppeltem Generator zur Aufstellung, sodass diese Anlage mit Recht als das erste schweizerische Grosskraftwerk bezeichnet werden darf. Schon 1895 wurde aber beim Kraftwerk Rheinfelden die bis anhin am meisten verwendete Jonval-Turbine verdrängt und durch die Francis-Turbine ersetzt, die vorerst in vertikalaxiger Ausführung (in Rheinfelden, Hagneck³⁾, Beznau³⁾) [Abb. 8]), dann horizontal gelagert (in Augst-Wyhlen und Laufenburg [Abb. 9]) und schliesslich wieder vertikal gerichtet (in Olten-Gösgen, Eglisau, Mühleberg und Chancy-Pougny [Abb. 10]) das Feld behauptete. Bell & Cie. bauten 1922 die erste Schraubenturbine in der Schweiz für das Kraftwerk Matte in Bern. Diese Konstruktion wurde aber drei Jahre später durch die Kaplan-Turbine (erste schweizerische Ausführung in Glattfelden) verdrängt, die, allerdings nach harten Kämpfen des Erfinders⁴⁾,

³⁾ Bauleitung Motor-Columbus A.-G., Baden, früher Motor A.-G.
⁴⁾ Schon 1912 stand Kaplan's erste Laboratoriums-Turbine im Betrieb, vergl. SBZ 1938, Bd. 111, Seite 328³⁾.

Zur Entwicklung der Niederdruck-Wasserkraftanlagen in den letzten 50 Jahren:
vier Maschinenhaus-Querschnitte im gleichen Masstab, 1 : 600

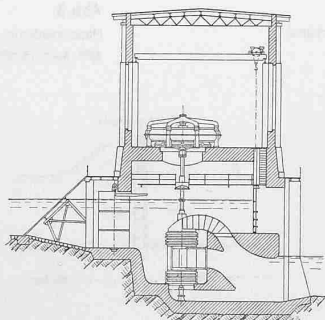


Abb. 8. Rheinfelden 1895

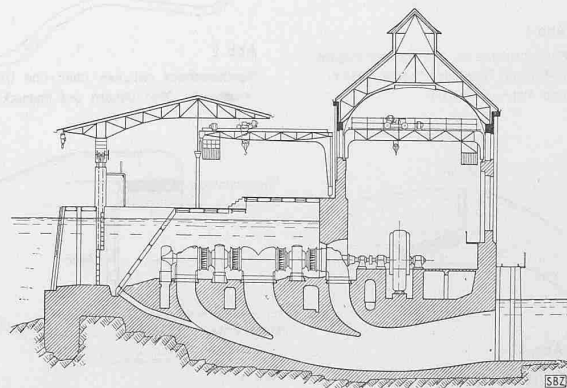


Abb. 9. Augst 1907

¹⁾ Vgl. SBZ 1944, Bd. 123, Seite 2*.²⁾ Vgl. SBZ 1927, Bd. 90, Seite 24.

Tabelle II. Charakteristik der Turbinen einiger Kraftwerktypen

Kraftwerk	Turbinen-Konstruktion	Turbinen-Laufräder		Betriebswasser-menge Q m^3/sec	Spezifische Schluck-fähigkeit $Q_1 = \frac{Q}{\sqrt{H}}$	Max. Turbinen-Leistung N PS	Einheits-Leistung $N_1 = \frac{N}{\sqrt{H^3}}$	Drehzahl n pro min	Spezifische Drehzahl $n_s = \frac{n\sqrt{N}}{H\sqrt{H}}$	Max. Wirkungs-grad η %
		Zahl	Durch-messer m							
Chèvres	Jonval	2	2,50	20	10	1 200	136	80	360	~68
Rheinfelden	Francis, vert.	2	2,35	28,5	16	840	147	55	370	~75
Laufenburg	Francis, horiz.	4	2,22	60	20	6 400	219	107	560	~85
Chancy-Pougny ¹⁾	Francis-Dubs, vert.	1	5,36	94	32	9 150	347	83,3	520	88,9
Ryburg-Schwörstadt	Kaplan	1	7,00	314	93	40 000	1 020	75	740 ²⁾	92,7

Bemerkungen: ¹⁾ Angaben für die Turbine von Charmilles. ²⁾ Später sind $n_s > 800$ bei etwas anderen Betriebsbedingungen erreicht worden.

im Siegeszug die früheren Systeme der Niederdruckturbinen überflügelte und 1931 im Kraftwerk Ryburg-Schwörstadt³⁾ mit einer Einheitsleistung von 38 000 PS den bisher grössten Vertreter in der Schweiz aufwies (Abb. 11). Es war der Initiative der Motor-Columbus A.-G. zuzuschreiben, dass die Erstellung solch grosser Kaplanturbinen gewagt wurde, die gegenüber den zu jener Zeit grössten Turbinen dieser Art⁴⁾ für höheres Gefälle und für die dreifache Wassermenge gebaut sind. Die Vorteile der Kaplan-Turbine liegen in der weitgehenden Ausnutzung variabler Betriebswassermengen bei stark wechselndem Gefälle und in der Schnelligkeit, die die direkte Kupplung mit grossen und rasch drehenden Generatoren erlaubt. Durch die Verstellbarkeit der Laufradschaufeln und deren günstiges Zusammenwirken mit den Schaufeln des Leitapparates⁵⁾ wird ein hoher Wirkungsgrad über einen weiten Betriebsbereich erzielt, sodass die Kaplan-Turbine sich vorzüglich für die Ausnutzung unserer Flusswasserkraft eignet und deshalb für deren weitere Entwicklung richtungweisend geworden ist. Sie ist auch schon für Mitteldruckwerke, zum Beispiel im Kraftwerk Wettingen bei 23 m Gefälle, verwendet worden und hat sich in ausländischen Anlagen, die von schweizerischen Maschinenfabriken ausgerüstet wurden, sogar für über 50 m Gefälle als konkurrenzfähig erwiesen.

Zur Beurteilung der schweizerischen Turbinen-Konstruktionen sind in Tabelle II einige Vertreter der in Tabelle I in Betracht gezogenen Kraftwerke mit ihren Charakteristiken zusammengestellt. Als äusserlich sichtbare Merkmale sind zunächst im Zusammenhang mit den Betriebswassermengen die Anzahl Laufräder und deren Durchmesser verglichen⁶⁾. Ueber die Grössenverhältnisse gibt aber die spezifische Schluckfähigkeit, die auf die Einheit des Gefalles bezogen ist, eindeutigen Aufschluss. Sie zeigt von der Jonval-Turbine im Kraftwerk Chèvres bis zu der Kaplan-Turbine im Kraftwerk Ryburg-Schwörstadt die beachtenswerte Zunahme von 10 auf 93 m^3/sec . Noch viel auffallender werden die Maschinen von Chèvres, die

damals in jeder Beziehung als Spitzenleistungen des Turbinenbaues angesehen wurden, bezüglich der Einheitsleistung von den modernen Ausführungen übertroffen⁸⁾. Mit diesen erheblichen Leistungssteigerungen erhielten die Maschinen natürlich auch wesentlich grössere Abmessungen, die nur durch die entsprechende Erhöhung der spezifischen Drehzahl n_s in tragbaren Grenzen gehalten werden konnten. Interessant ist auch ein Vergleich der jeweils erreichten maximalen Wirkungsgrade, die trotz der Zunahme der spezifischen Drehzahlen auf etwa 92 % angestiegen sind. Diese hohen Werte dürften nach Ansicht der Turbinenbauer kaum noch nennenswert überboten werden können⁹⁾.

Die Bestimmung der Grösse der Turbineneinheiten erfolgt auf Grund wirtschaftlicher Überlegungen im Zusammenhang mit der Festlegung der Ausbaugrösse des Werkes. Diese wurde früher auf die mittlere Niederwassermenge begrenzt. Mit der Verwertbarkeit unkonstanter elektrischer Energie und der Zusammenschaltung der Laufkraftwerke mit Akkumulierwerken, eingeführt durch die Motor A.-G. in der Werkkombination Beznau-Löntschi, ging man mit dem Ausbau erheblich höher, so erstmals beim Werk Olten-Gösgen³⁾ auf das reichlich Dreifache der Niederwassermenge. Seither richtete sich der Ausbau der meisten Werke nach der rund viermonatlich vorhandenen Wassermenge (Tabelle I). Im Kanton Aargau wird zur Förderung eines möglichst hohen Ausbaues eine Ermässigung des Wasserzinses für die unkonstante Kraft zugebilligt. Die Steigerung des Ausbaues der Werke hätte eigentlich eine Vergrösserung der Maschinenhäuser zur Folge haben müssen, wenn nicht durch die Erhöhung der Leistung pro Gruppe ein Gegengewicht geschaffen worden wäre, das zu einer beträchtlichen Verkleinerung der Maschineneinheit führte. Die bedeutenden Veränderungen in dieser Richtung sind aus Tabelle III ersichtlich und kommen beispielsweise beim Vergleich zwischen den Kraftwerken Chèvres und Klingnau zum Ausdruck. Bei ungefähr gleichem Gefälle dieser beiden Anlagen waren in Chèvres 15 Einheiten mit einer Gesamtleistung von 18 000 PS installiert. Im Kraftwerk Klingnau vollbringt eine einzige Maschine diese Leistung, dazu noch bei rund $2\frac{1}{2}$ mal kleinerem Flächenbedarf

⁵⁾ Die Kaplan-Turbine des Kraftwerkes Lilla-Edet in Schweden leistet bei 6,5 m Gefälle und bei einer Wassermenge von 100 m^3/sec rund 8000 PS.

⁶⁾ Vergl. SBZ 1935, Bd. 106, Seite 71*.

⁷⁾ Die bisher grösste Kaplan-Turbine im Kraftwerk Vargön in Schweden hat einen Laufraddurchmesser von 8 m. Vergl. SBZ 1938, Bd. 111, Seite 328*.

⁸⁾ Die grösste bis heute erreichte Einheitsleistung besitzt die Spiral-Francis-Turbine von Escher-Wyss im Kraftwerk Sungari in Mandschukuo mit $N = 115\,000$ PS. Vergl. SBZ 1942, Bd. 119, Seite 32*.

⁹⁾ Nähere Angaben siehe «Escher-Wyss-Mitteilungen» 1942/43: «100 Jahre Wasserturbinen».

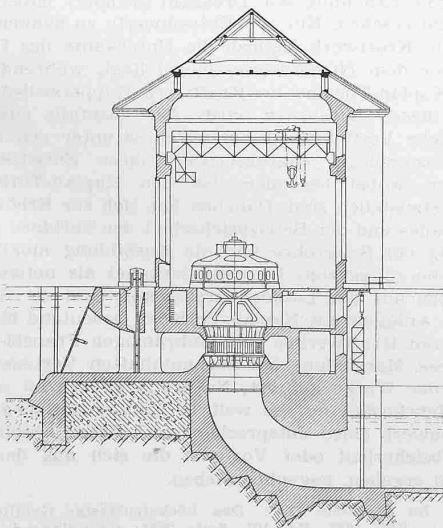


Abb. 10. Eglisau 1915

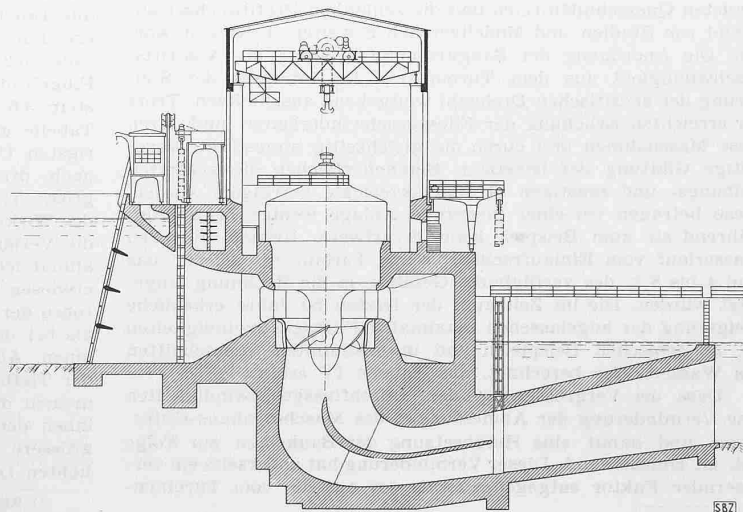


Abb. 11. Ryburg-Schwörstadt 1927

Tabelle III. Einzelheiten über die Turbinenanlagen schweizerischer Niederdruck-Kraftwerke

Kraftwerk	Gefälle	Max. Wassermenge einer Turbine m³/sec	Max. Leistung einer Turbine PS	Turbinen-Ax-Abstand m	Fundamentbreite m	Maschinensaalbreite i. L. m	Flächenbedarf für 100 install. PS einer Masch.		Turbinen-Laufrad		Saugrohr				
							Fundament m²	Maschinensaal m²	Max. Durchm. D m	U. K. über Niederwasser m	Sohle unter N. W. m	Höhe H ⁵⁾ m	Länge L m	Verhältnisse	
														H/D	L/D
Unterer Gefällsbereich															
Chèvres	4,3—8,5	21,5	1 200	7,5	24,6	11,0	15,4	6,9	2,9						
Rheinfelden	3,2—4,5	28,5	840	6,75	26,0	11,0	20,9	8,9	2,35						
Hagneck	5,5—9,0	~20	1 600	7,5	24,0	10,0	11,2	4,7	1,8						
Beznau	2,6—5,2 ¹⁾	37	1 200	7,5	27,9	11,0	17,4	6,9	2,6						
Augst	3,9—7,8	40	3 000	10,0	46,6	11,0	15,5	3,7	1,9	+ 3,8	5,2	9,0	15,7 ⁶⁾	—	
Laufenburg	8,0—11,5 ²⁾	65	6 500	10,5	41,6	11,3	6,7	1,82	2,22	+ 5,9	5,5	11,4	23,0 ⁶⁾	—	
Eglisau	9,2—12,0 ³⁾	56	6 000	9,6	31,0	14,0	5,0	2,24	4,15	+ 6,2	5,1	11,3	9,9	2,72 2,39	
Chancy-Pougny	6,3—8,9	100	9 500	15,0	39,5	14,5	6,2	2,29	5,36	+ 3,3	6,2	9,5	12,0	1,77 2,24	
Ryburg-Schwörstadt	7,4—12,5	314	40 000	27,0	57,5	15,0	3,9	1,01	7,0	+ 0,9	11,5	12,4	35,0	1,77 5,00	
Albbruck-Dogern	8,0—11,6	314	40 000	27,0	62,5	16,4	4,2	1,11	7,0	— 0,6	14,4	13,8	40,0	1,97 5,72	
Klingnau	4,6—7,5	218	19 300	23,4	53,6	16,0	6,5	1,94	6,45	— 1,0	13,8	12,8	30,0	1,98 4,65	
Reckingen	7,0—10,1	255	26 700	24,5	51,0	15,0	4,7	1,38	6,20	— 0,9	12,2	13,1	28,0	2,12 4,51	
Rupperswil-Auenstein	9,5—12,5	193	25 000	20,5	52,3	15,9	4,3	1,30	5,3	— 3,5	13,7	10,2	22,6	1,93 4,27	
Oberer Gefällsbereich															
Kallnach	18,0—22,0	12,5	2 500	7,5	16,6	14,0	5,0	4,2							
Olten-Gösgen	13,5—17,0	58	10 000	12,0	39,5	14,0	4,7	1,68	3,45	+ 4,65	5,2	9,9	9,7	2,87 2,81	
Mühleberg	16,9—20,1	40	8 100	12,0	37,6	13,8	5,6	2,04	3,22	+ 7,2	4,3	11,5	10,6	3,58 3,30	
Wettingen	21,2—23,2	40	11 700	12,0	47,0	11,0	4,8	1,13	2,6	— 1,5	6,3	4,8	23,0	1,85 8,85	
Verbois	16,0—20,8	128	31 500	17,1	49,8	13,4	2,7	0,73	4,5	— 1,9	9,7	7,8	20,9	1,73 4,65	

Bemerkungen: ¹⁾ Staukote 327,05.⁴⁾ Zwischen Einlauf-Rechen bzw. -Schütze und Saugkrümmerende.²⁾ Staukote 302,50.⁵⁾ Mass zwischen U. K. Turbinenrad und tiefstem Punkt des Saugrohrs.³⁾ Staukote 343,48.⁶⁾ Mittel der Doppelturbine.

für die Maschinenhausfundamente und bei $3\frac{1}{2}$ mal geringeren Ausmassen des Maschinensaalgrundrisses. Der Platzbedarf einer Einheit der modernen Kraftwerke, auf die Anzahl der installierten PS bezogen, hat sich also gegenüber früher ganz wesentlich verringert und weist beim Kraftwerk Ryburg-Schwörstadt die bisher erreichten Kleinstwerte auf. Diese Entwicklung hat sich schon oft beim Umbau älterer Anlagen¹⁰⁾ sehr günstig ausgewirkt, da dadurch auf gegebenem Raum eine grössere Maschinenleistung untergebracht werden konnte. Als Kuriosität erscheint heute ein Vorprojekt für das Kraftwerk Rheinfelden aus dem Jahre 1889, das für eine Gesamtleistung von 11 000 PS 50 Maschinengruppen mit einer Maschinensaalgrösse von rund 30 m²/100 PS vorsah (Ryburg-Schwörstadt 1,01 m²/100 PS, vergl. Tabelle III).

Im Bestreben nach der Erhöhung des Wirkungsgrades, bzw. der Verminderung der Gefällverluste ist der Erreichung einer wirbelarmen und stossfreien Wasserströmung zwischen der Stauhaltung und dem Unterwasser besondere Aufmerksamkeit geschenkt worden. Seit der Einführung der spiralförmig ausgebildeten Zulaufkanäle und der Saugkrümmer gegen das Unterwasser im Kraftwerk Olten-Gösgen, die die bis anhin üblichen offenen Wasserkammern ganz verdrängten, sind die ausgerundeten Querschnittformen und die schlanken Profilwechsel auf Grund von Studien und Modellversuchen weiter entwickelt worden. Die Anordnung der Saugkrümmer erlaubte die Austrittsgeschwindigkeit aus dem Turbinenrad im Interesse der Steigerung der spezifischen Drehzahl weitgehend auszunützen. Trotz der erreichten Erhöhung der Fliessgeschwindigkeiten sind durch diese Massnahmen und durch die gleichzeitig angestrebte sorgfältige Glättung der benetzten Betonoberflächen die gesamten Reibungs- und sonstigen Strömungsverluste verringert worden. Diese betragen bei einer modernen Anlage wenige Zentimeter, während sie zum Beispiel beim Kraftwerk Beznau für den Wasserlauf vom Einlaufrechen bis zur Turbine mit 20 cm, das sind 4 bis 8 % des verfügbaren Gefälles, in die Rechnung eingesetzt wurden. Die im Zeitraum der letzten 50 Jahre erhebliche Steigerung der zugelassenen maximalen Fliessgeschwindigkeiten ist, an typischen Beispielen und in bestimmten Querschnitten des Wasserlaufes berechnet, aus Tabelle IV ersichtlich.

Dass die Vergrösserung der Durchflussgeschwindigkeiten eine Verminderung der Abmessungen des Maschinenhaus-Unterbaues und damit eine Herabsetzung der Baukosten zur Folge hat, ist einleuchtend. Dieser Verminderung hat andererseits ein vertuernder Faktor entgegengewirkt, der auf die vom Turbinen-

Tabelle IV

Kraftwerk	Betriebs-eröffnung	Mittl. Fliessgeschwindigkeiten in m/s			
		Rechenbrutto	Leitapparat	Turbinenaustritt	Auslaufende
Chèvres	1896	0,4	1,2	1,6	0,9
Rheinfelden	1898	0,6	1,7	1,8	1,3
Laufenburg	1914	0,7	3,7	3,0	1,3
Chancy-Pougny	1925	0,8	4,0	5,4	1,7
Ryburg-Schwörstadt	1930	0,8	4,4	8,3	1,7
Rupperswil-Auenstein	1945	0,8	4,8	9,4	1,8

konstrukteur verlangte Tieferlegung der Turbinen und auf die Vertiefung und Verlängerung der Saugrohre zurückzuführen ist. Diese Massnahmen sind auf Grund eingehender Untersuchungen¹¹⁾ zur Verminderung der mit wachsender spezifischer Drehzahl n_s zunehmenden Kavitationserscheinungen an den Turbinenschaukeln ergriffen worden. Allerdings erfährt damit gerade jener Teil des Bauwerkes eine für die Bauausführung kostspielige Vergrösserung, der ohnehin schon einen grossen finanziellen Aufwand erfordert. Wie sich diese Verhältnisse im Lauf der Zeit, d. h. mit Erhöhung der Drehzahl geändert haben, ist aus Tabelle III zu ersehen. Nur um Extremwerte zu nennen, sei erwähnt, dass im Kraftwerk Eglisau die Unterkante des Laufrades 6,2 m über dem Niederwasserspiegel liegt, während das Flügelrad der Kaplan-Turbine im Kraftwerk Rupperswil-Auenstein 3,5 m in diesen eintauchen wird. Die ebenfalls aus der Tabelle ersichtliche Vertiefung des Saugrohrs unter den niedrigsten Unterwasserspiegel charakterisiert diese Entwicklung noch drastischer, wobei besonders bei den Kaplan-Turbinen grosse Tiefen festzustellen sind. Daneben hat sich zur Erhöhung des Wirkungsgrades und der Betriebssicherheit der Turbinen auch die Verlängerung der Saugrohre und die Ausbildung möglichst allmählicher Uebergänge zum Unterwasserkanal als notwendig erwiesen. Bezogen auf den Laufraddurchmesser sind die Saugrohre der neuen Anlagen mit Kaplan-Turbinen bedeutend länger als bei den älteren Kraftwerken mit einkränzigen Francis-Turbinen. Auch diese Massnahme hat zur namhaften Vertueuerung der Tiefbauten der Werke geführt. Natürlich werden im allgemeinen diese Mehrkosten nur so weit in Kauf genommen, als ihnen der Gegenwert eines entsprechenden Leistungsgewinnes, grössere Betriebssicherheit oder Vorteile, die sich aus der erhöhten Drehzahl ergeben, gegenüberstehen.

¹⁰⁾ Zusammenfassende Referate über den Umbau bestehender, alter Wasserkraftanlagen von Vizedir. J. Moser, vergl. SBZ 1943, Bd. 122, S. 187 und 1944, Bd. 124, S. 35, ferner G. Gruner in Bd. 119, S. 63* (1942).

¹¹⁾ SBZ 1928, Bd. 91, Seite 135*: Das höchstzulässige Gefälle der Wasserturbinen. — SBZ 1933, Bd. 101, Seite 243*: Grundlegende Versuche über Korrosion durch Kavitation und Tropfenschlag. — SBZ 1935, Bd. 106, Seite 298: Spaltkavitation an Wasserturbinen-Laufrädern.

Zusammenfassend darf festgestellt werden, dass die Entwicklung der Turbinenanlagen auf der ganzen Linie in eine Verfeinerung der mechanischen Konstruktion (auf die hier nicht eingetreten werden kann) und in eine Verbesserung der Wasserführung zum Zwecke der Erhöhung des Wirkungsgrades ausmündet. Sie hatte eine wesentliche Vergrößerung der Einheitsleistungen und dadurch der Abmessungen der Maschinen zur Folge. Daraus sind dem Maschinenkonstrukteur eine Reihe von Problemen erwachsen, von denen hier zur Illustration auf eines der wichtigsten, nämlich auf die Ausbildung der Spurlager¹²⁾ der vertikalaxigen Maschinengruppen, hingewiesen werden soll. In der Beschreibung der Turbinen des Kraftwerkes Rheinfelden ist erwähnt, dass die «hohe» Belastung der Spurlager zwischen 36 und 55 t schwankte. Zur Aufnahme dieser Last ist eine Konstruktion gewählt worden, bei der die Lagerplatten unter Oel- und Druck von 25 at geschmiert werden. Wie sich dagegen die Übertragung der Lagerkräfte bei einer modernen Anlage gestaltet, sei zum Vergleich am Beispiel des Kraftwerkes Ryburg-Schwörstadt gezeigt. Die Spurlager werden dort mit je rund 900 t belastet und besitzen, beiläufig erwähnt, einen äusseren Durchmesser von 2,3 m. Zur Verkleinerung der bei der Drehbewegung entstehenden Reibung wird ein Oelfilm ohne Überdruck, also allein infolge Adhäsion, über die Lagerplatte eingezogen und durch leicht konische Auflaufflächen unterhalten, so dass also die ganze bewegte Last auf diesem schwimmt. In gleicher Weise sind die Spurlager der meisten seit der Mitte der Zwanzigerjahre erstellten Turbinenanlagen ausgebildet worden.

Im weiteren wird die bemerkenswerte Vergrößerung der

¹²⁾ Bis vor etwa 40 Jahren am untern Wellende, unter Wasser.

Maschineneinheiten indirekt durch die Tragkraft der im Maschinensaal laufenden, zum Einbau und zur Demontage dienenden Krane veranschaulicht. Im Kraftwerk Rheinfelden beispielsweise genügten hierfür ursprünglich zwei Krane für je 20 t. Im Maschinenhaus von Ryburg-Schwörstadt werden dagegen zwei Krane benötigt, die zusammen eine Last von 300 t zu heben vermögen. Wenn auch solche Nebenanlagen als kostspielige Beigaben beim Kraftwerkbau empfunden werden, so sind andererseits auch die Verrilligungen und Vereinfachungen zu erwähnen, die seit der Einführung der Kaplan-Turbinen im Bereich der Wasserzuführung erreicht werden konnten. Früher erhielt doch jeder Turbineneinlauf ein besonderes Abschlussorgan in Form einer Schütze mit eigenem Antrieb (in den Werken Chèvres, Rheinfelden und Hagneck waren ursprünglich Drehtore mit senkrechter Mittelachse eingebaut). Bei einigen neueren Werken wurde dagegen für alle Turbinen gemeinsam nur ein Satz Notverschlusstafeln angeschafft, der je nach Bedarf zur Verwendung kommt. Eine weitere erhebliche Vereinfachung mit damit verbundenen Einsparungen im Werkbetrieb brachte die maschinelle Rechenreinigung. Noch bis vor dem letzten Krieg mussten Geschwemmsel und Treibeis, das sich am Rechen verfangt, von Hand beseitigt werden, was in einzelnen ausserordentlichen Fällen eines Aufgebotes von über 200 Mann bedurfte. Bei den Kraftwerken Augst-Wyhlen und Chancy-Pougny ging man dazu über, im Normalbetrieb die Treibgutbeseitigung mit Hilfe ausziehbarer Grobrechen und durch Rückspülung der Feinrechen zu bewältigen. Mit dem Kraftwerk Olten-Gösgen ist dann die Rechenreinigungsmaschine eingeführt worden, wie sie seither bei allen grösseren Anlagen verwendet wird. (Schluss folgt)

Die neue Kehrrecht-Verwertungs-Anlage der Stadt Basel

Von Dipl. Ing. C. FELBER, Basel

Nachdem die Anlage bereits seit mehr als einem halben Jahr im Betrieb steht und die Tagespresse kurz über dieses neueste Werk der Kommunal-Technik berichtet hat, scheint es zweckmässig, auch an dieser Stelle vornehmlich dem Fachmann näheren Einblick in die Wirkungsweise, den Aufbau und die technischen Einrichtungen der Verwertungsanlage zu geben.

Die Hauskehrrecht-Beseitigungsfrage ist durch die Behörden der Stadt Basel im Sinne einer Verwertungsanlage gelöst worden, d. h., die hygienische Beseitigung oder Vernichtung des Kehrrechts wurde kombiniert mit einer weitgehenden Verwertung desselben. Obwohl durch die kriegsbedingte Altstoff-Sammlung, gewisse Komponenten des Hauskehrrechts, so z. B. Knochen Speiseabfälle, Papier, Leder- und Gummiabfälle, Eisen und andere Metalle schon an der Quelle erfasst und für sich einer Verwertung zugeführt werden, muss man sich nicht vorstellen, dass dadurch eine Verwertung des restlichen, durch die normale Kehrrechtabfuhr abgeführten Hauskehrrechts gegenstandslos geworden sei.

Die Verwertung des Hauskehrrechts erstreckt sich in erster Linie auf die Nutzbarmachung seines Heizwertes, der auch heute noch, trotz den obenerwähnten Beeinträchtigungen (die sich mehr quantitativ auf den Kehrreichtanfall und weniger qualitativ auf dessen Heizwert auswirken) ansehnlich ist und von den Vorkriegswerten nur unwesentlich abweicht. Interessanterweise ist eine durch den Krieg und die Altstoffsammlung bedingte Verschiebung im Kehrrecht-Heizwert im Sommer und im Winter eingetreten. Während zu Vorkriegszeiten der Sommer-Heizwert um die 800 kcal/kg, der Winter-Heizwert um die 1200 kcal/kg betrug, sind diese Werte jetzt gegeneinander vertauscht, d. h. der Winter-Kehrrecht ist heute weniger heizkräftig, was auf den vermehrten Aschenanfall im Hauskehrrecht, bedingt durch die Umstellung auf Ofenheizung, zurückzuführen ist. Ausserdem kann festgestellt werden, dass sich die Heizwertzahlen des Winterkehrrechts erst im Winter 1943/44 gesenkt haben, d. h. zu einem Zeitpunkt, in dem vornehmlich minderwertige, aschereiche Ersatzbrennstoffe in den Haushaltungen zur Verwendung gekommen sind. Die nämlichen Feststellungen wurden auch in der stadtzürcherischen Verbrennungs-Anlage und andernorts gemacht.

Mit Ausnahme eines verminderten Anfalles in mengenmässiger Beziehung lässt sich also feststellen, dass der «Kriegs-Hauskehrrecht» seine wichtige Nutzungs-Komponente, die Wärme, immer noch abzugeben in der Lage ist.

Die Speiseabfall-Sammlung der Altstoffwirtschaft erfasst nur diejenigen Abfälle, die als Tierfutter Weiterverwendung finden können. In einem Kommunalwesen von der Grösse der Stadt Basel fallen jedoch auf den Marktplätzen und in Hallen, Kühlhäusern, städtischen und privaten Gärten und Pflanzungen, sowie in den zahlreichen Comestibles- und Gemüsehandlungen,

vor allem aber auch im Rheinhafen, beträchtliche Mengen an verdorbenem Obst und Gemüse usw. an, die einer Nutzung zu Futterzwecken nicht zugeführt werden können. Andererseits ist auch eine Verbrennung dieser Abfälle nicht wirtschaftlich, bestehen sie doch zur Hauptsache aus Wasser. Für solche Obst- und Pflanzenabfälle ist eine Verarbeitung auf Humus-Dünger angezeigt, womit die zweite wichtige Nutzungskomponente des Hauskehrrechts angeführt ist.

Schliesslich können die Rückstände der Kehrrecht-Verbrennung, die Schlacken und die Flugasche, für besondere Zwecke

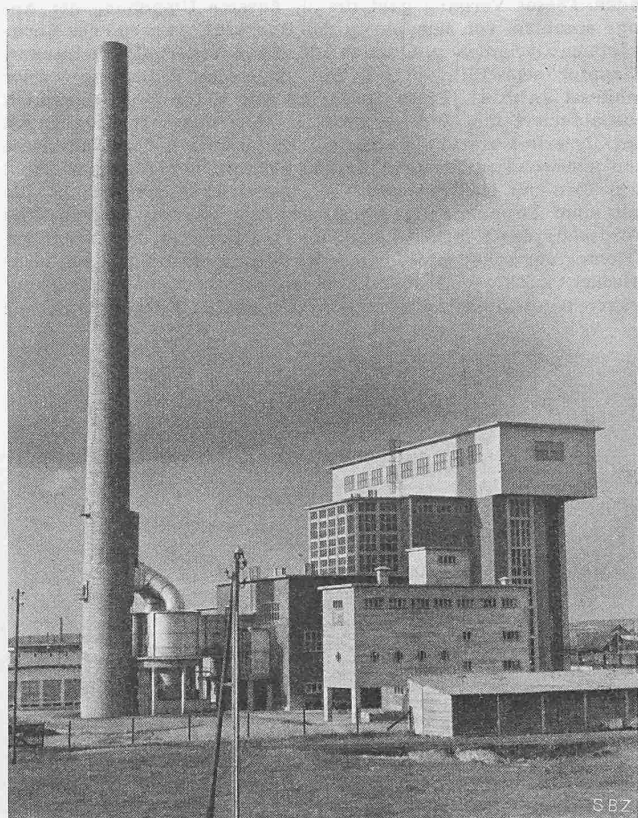


Abb. 1. Gesamtbild der Anlage (vergl. Schnitt Abb. 3, Seite 327)