

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 89/90 (1927)
Heft: 4

Artikel: Die technische Entwicklung der hydro-elektrischen Anlagen in der Schweiz in der Darstellung durch die E.T.H. an der Internationalen Ausstellung in Basel 1926
Autor: Wyssling, W.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-41641>

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: 05.04.2026

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

INHALT: Die technische Entwicklung der hydro-elektrischen Anlagen in der Schweiz. — Die Wiederherstellungsarbeiten in Eisenbeton an der Kathedrale von Reims. — Automobil und Eisenbahn. — Wie der Wohnungsbau in Wien finanziert wird. — Mitteilungen: Die Stautufe Viereth der Gross-Schiffahrtstrasse Rhein-Main-Donau. Neue Ausgrabungen in Ur (Chaldäa). Vom Wäggitälwerk der Stadt Zürich.

Eidgen. Technische Hochschule. Einheitliche Verkehrsregelung. Die Ausstellung „Das Bauernhaus im Kanton Zürich“. Elektrifikation der Schweizer Bundesbahnen. Die Vergleichbarkeit von Wirtschaftlichkeitsziffern. — Nekrologie: H. Huser. A. Hardegger. — Korrespondenz. — Vereinsnachrichten: Zürcher Ingenieur- und Architekten-Verein. Sektion Bern des S. I. A. S. T. S.

Band 89. Nachdruck von Text oder Abbildungen ist nur mit Zustimmung der Redaktion und nur mit genauer Quellenangabe gestattet.

Nr. 4

Die technische Entwicklung der hydro-elektrischen Anlagen in der Schweiz in der Darstellung durch die E. T. H. an der Internationalen Ausstellung in Basel 1926.

II. Die Entwicklung der elektrischen Hauptbestandteile unserer hydro-elektrischen Werke.

Von Prof. Dr. W. WYSSLING, Zürich.

Die erste der ausgestellt gewesenen Tafeln¹⁾ zeigte im oberen Teil die *Entwicklung der Transformatoren*, und zwar ausser den zugehörigen masstäblichen Ansichts- und Schnittzeichnungen im Masstab 1:10 den in der Tabelle I wiedergegebenen Text. Die Zeichnungen illustrierten vor allem das Anwachsen der räumlichen Grösse der Transformatoreneinheiten, z. B. von etwa $\frac{1}{4}$ m Höhe im Jahre 1886 auf rd. 4 m im Jahre 1925 (56 kV). Als älteste in der Schweiz industriell verwertete Transformatoren aus den Jahren 1886/88 figurieren die des Elektrizitätswerks Luzern (des ersten Wechselstromwerks der Schweiz) mit ringförmigem Kern, gebaut von der (ursprünglich ebenfalls schweizerischen) Firma Ganz & Cie. in Budapest (Patent Zippernowski, Déri & Blathy) und umgebaut durch den kürzlich verstorbenen Direktor V. Troller, damaligen Besitzer jener Anlage, ferner die der Société Electrique Vevey-Montreux. Diese beiden Ausführungen konnte man daneben in natura sehen.

Der erst recht zaghaften Vergrößerung der Einheitsleistung der Transformatoren von etwa 2 kVA auf ungefähr das Zehnfache im ersten Jahrzehnt folgt im zweiten,

¹⁾ Auf die Wiedergabe dieser Tafeln muss aus drucktechnischen Gründen leider verzichtet werden. Der Autor bedauert, dass er infolgedessen dem Leser den Eindruck des Ausgestellten nur sehr mangelhaft vermitteln kann. Die Originaltafeln werden in der E. T. H. ausgestellt bleiben.

mit Beginn der künstlichen Kühlung, ein Aufsteigen von dort auf etwa das Hundertfache, und sodann in den letzten zwei Jahrzehnten, mit höchster Ausbildung der Kühlungsmethoden, bis zu der durch die Transportfähigkeit gegebenen Grenze (Beispiele von 12 500 kVA). Neben der sukzessive durch die Technik ermöglichten Erhöhungen der verwendeten Spannungen ist in wirtschaftlich-technischer Hinsicht besonders interessant die Abnahme des „spezifischen Gewichts“, bewirkt sowohl durch die Verwendungsmöglichkeit grösserer Einheiten wie namentlich die künstliche Kühlung und die Einführung des Drehstroms. Das Gewicht pro Leistungseinheit sank im ersten Jahrzehnt schon nahezu auf ein Drittel des ursprünglichen, d. h. auf etwa 30 kg/kVA, für die grössten Einheiten aber seither auf etwa 2,5 kg/kVA (für Drehstrom 50 Perioden und entsprechende Kühlung), womit man sich wohl einer erreichbaren unteren Grenze nähert.

Die untere Hälfte der Tafel trug neben analogen Zeichnungen den in Tabelle II enthaltenen Text über die *Entwicklung der Schalter*. Es handelt sich dabei nur um die in den *Kraftwerken* verwendeten *Grossschalter* (Maschinen- und Linienschalter). Bis etwa um die Jahrhundertwende sehen wir die Trockenschalter in Verwendung; der Begriff der „Abschaltleistung“ war damals noch nicht geschaffen, wenn diese auch, nach Massgabe der Verhältnisse, schon in jenem Zeitraume vom einfachen etwa aufs Zehn-

I. Entwicklung der Transformatoren

	Trockentransformatoren					Öltransformatoren			
	Für Einphasenstrom				Für Dreiphasenstrom				
Baujahr	1886	1888	1891	1895	1899	1902	1907	1925	1925
Erbauer	Soc. Electr. Vevey-Montreux	V. Troller Ganz & Cie. (EW Luzern)	MFO (EW Zürich)	BBC (Sihlwerk)	Alioth	MFO	MFO	BBC	BBC
Kühlung	Natürliche Luftkühlung	Natürliche Luftkühlung	Natürliche Luftkühlung	Natürliche Luftkühlung	Natürliche Luftkühlung	Natürliche Ölkühlung	Ölkühlung mit innerer Wasserschlange	Ölkühlung mit äusserem Ölaufschlag	Nat. Ölkühlung Radiatoren Freilufttype
Periodenzahl	50	50	50	42	50	50	50	50	50
Spannung V	1200/40	2000/100	2000/100	5000/125	5000/250	10000/240	25000/3500	56000/8700	46000/16000
Dauer-Scheinleistung kVA	2	10	25	30	40	150	2000	12500	3500
Totales Gewicht kg	150	350	650	920	850	1430	12500	31000	20000
Gewicht pro Leistung kg/kVA	75	35	26	31	21	9,5	6,25	2,5	5,7

II. Entwicklung der Schalter

	Trockenschalter				Ölschalter					
	1886	1891	1895	1899	1900	1901	1905	1912	1925	1925
Baujahr	1886	1891	1895	1899	1900	1901	1905	1912	1925	1925
Erbauer	V. Troller (Thorenberg Luzern)	MFO (Letten Zürich)	BBC (Waldhalde)	MFO	BBC	BBC	MFO	BBC	MFO	BBC
Spannung V	2000	2000	5000	8000	8000	3500	50000	35000	90000	150000
Abschaltleistung kVA	„200“	„150“	„300“	„1200“	„300“	1750	40000	125000	300000	1250000
Polzahl für diese	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3

IV. Entwicklung der Niederdruck-Turbinen und ihrer Generatoren

Schaffhausen „A“ Neu 1900		Schaffhausen „B“ Alt 1890		Schaffhausen „B“ Neu 1908		Chèvres I 1896	
<i>Turb. EWC</i>	<i>Gen. MFO</i>	<i>Turb. Rieter</i>	<i>Gen. MFO</i>	<i>Turb. Bell</i>	<i>Gen. MFO</i>	<i>Turb. EWC</i>	<i>Gen. CIEM</i>
60 Uml/min	167 Uml/min	48 Uml/min	167 Uml/min	75 Uml/min		80 Uml/min	
Einfach Francis	Drehstrom	2 kränzige Jonval	Drehstrom	2fach Francis	Drehstrom	Dop. 3kränz. Diag.	Zweiphasen
350 PS	300 kVA	300 PS	250 kVA	520 bis 450 PS	575 kVA	800 bis 1200 PS	1000 kVA
3,5 bis 4,5 m	2100 V	4,5 m	2000 V	3,7 bis 5,5 m	2100 V	4,3 bis 8,5 m	2750/5500 V
10,0 bis 7,8 m ³ /sek	50 ∞	8,3 m ³ /sek	50 ∞	14,2 bis 8,1 m ³ /sek	50 ∞	20,2 bis 15,3 m ³ /sek	45 ∞
116 kg/PS incl. Getriebe				35,5 kg/PS	57,2 kg/kVA	31,6 kg/PS	73 kg/kVA
40,7 kg/PS excl. Getriebe							
Chèvres II 1899		1922 Chèvres III 1899		Matte Bern Alt 1891		Matte Bern Neu 1922	
<i>Turb. EWC</i>	<i>Gen. CIEM</i>	<i>Turb. Charmilles</i>	<i>Gen. BBC</i>	<i>Turb. Bell</i>	<i>Gen. MFO</i>	<i>Turb. Bell</i>	<i>Gen. BBC</i>
120 Uml/min		130,4 Uml/min		41 Uml/min	375 Uml/min	171/214 Uml/min	
4fach Zentrifugal	Zweiphasen	Einfach Konus	Zweiphasen	3kränzige Jonval	Gleichstrom	Einfach Schrauben	Drehstrom
850 bis 1200 PS	1000 kVA	2150 PS	1000 kVA	150 PS	98 kW	298/340 PS	250/275 kVA
4,3 bis 8,5 m	5000 V	7,5 m	6000 V	1,5 bis 3,4 m	140 V	3,45 m	6000 V
21,5 bis 15,3 m ³ /sek	46 ∞	28,0 m ³ /sek	50 ∞	12,5 bis 5,5 m ³ /sek	700 A	7,9/9,0 m ³ /sek	40/50 ∞
39,2 kg/PS	40 kg/kVA	17,1 kg/PS	44 kg/kVA	177,5 kg/PS	70 kg/kW	44,2 kg/PS	40,7 kg/kVA
Ruppoldingen Alt 1896		Ruppoldingen Neu 1925		Rheinfelden 1898		Beznau Alt 1902	
<i>Turb. Bell</i>	<i>Gen. BBC</i>	<i>Turb. Charmilles</i>	<i>Gen. BBC</i>	<i>Turb. EWC</i>	<i>Gen. AEG</i>	<i>Turb. Bell</i>	<i>Gen. BBC</i>
28,5 Uml/min		94 Uml/min		55 Uml/min		66,7 Uml/min	
3kränzige Jonval	Zweiphasen	Einf. Konus-Prop.	Drehstrom	Dop. 4kränz. Rad.	Drehstrom	3fach Francis	Drehstrom
300 PS	250 kVA	1000 PS	680 kVA	840 PS	720 kVA	900 bis 1200 PS	1000 kVA
1,9 bis 3,6 m	5000 V	4,1 m	7700 bis 8400 V	3,2 m	6800 V	3,2 bis 3,7 m	8000 V
19,7 bis 10,4 m ³ /sek	40 ∞	21,6 m ³ /sek	50 ∞	28,5 m ³ /sek	50 ∞	28,0 bis 32,5 m ³ /sek	50 ∞
105 kg/PS	107 kg/kVA	25,2 kg/PS	39,6 kg/kVA	110 kg/PS	100 kg/kVA	53,6 kg/PS	47 kg/kVA
Augst 1912		Eglisau 1920		Wynau Neu 1923		Glattfelden Neu 1925	
<i>Turb. EWC</i>	<i>Gen. BBC</i>	<i>Turb. EWC u. Bell</i>	<i>Gen. MFO</i>	<i>Turb. Vevey</i>	<i>Gen. BBC</i>	<i>Turb. EWC</i>	<i>Gen. BBC</i>
107 Uml/min		83,4 Uml/min		107 Uml/min		500 Uml/min	
4fach Francis	Drehstrom	Einfach Francis	Drehstrom	Einfach. Propeller	Drehstrom	Kaplan	Drehstrom
2200 bis 3000 PS	3000 kVA	4080 bis 6000 PS	5150 kVA	1100 bis 2700 PS	2200 kVA	365 PS	400 kVA
6,0 bis 7,4 m	6800 V	8,25 bis 10,97 m	7600 bis 8500 V	2,5 bis 5,2 m	9500 V	7,2 m	500 V
35,0 bis 40,0 m ³ /sek	50 ∞	47,6 bis 52,5 m ³ /sek	50 ∞	42,0 bis 45,0 m ³ /sek	50 ∞	4,75 m ³ /sek	50 ∞
66,6 kg/PS	22,7 kg/kVA	28 kg/PS	24,3 kg/kVA	30 kg/PS	25,4 kg/kVA	42 kg/PS	14,2 kg/kVA

V. Entwicklung der Hochdruck-Turbinen und ihrer Generatoren

Waldhalde 1895		Oelberg 1910		Siebnen 1924		Combe-Garot 1897	
<i>Turb. EWC</i>	<i>Gen. BBC</i>	<i>Turb. Rieter</i>	<i>Gen. Alioth</i>	<i>Turb. EWC</i>	<i>Gen. MFO</i>	<i>Turb. Pic Pic</i>	<i>Gen. CIEM</i>
360 Uml/min		187,5 Uml/min		500 Uml/min		310 Uml/min	
Girard	Zweiphasen	Einf. Francis Spir.	Drehstrom	Einf. Francis Spir.	Drehstrom	Partial Girard	Gleichstrom
400 PS	350 kVA	2000 bis 2500 PS	1700 kVA	14750 bis 17500 PS	16500 kVA	400 PS	270 kW
62 bis 74 m	5300 V	17,7 bis 20,2 m	8600 V	176 bis 197 m	8800 V	88 m	1800 V
0,62 m ³ /sek	42 ∞	11,2 bis 12,0 m ³ /sek	50 ∞	7,4 bis 7,85 m ³ /sek	50 ∞	0,55 m ³ /sek	150 A
27,6 kg/PS	42,9 kg/kVA	16 kg/PS	26 kg/kVA	4,7 kg/PS	6,9 kg/kVA	22,5 kg/PS	40,7 kg/kW
Obermatt 1905		Albula 1910		Lungernsee 1924		Barberine 1925	
<i>Turb. Bell</i>	<i>Gen. MFO</i>	<i>Turb. EWC</i>	<i>Gen. MFO</i>	<i>Turb. Bell</i>	<i>Gen. BBC</i>	<i>Turb. Bell</i>	<i>Gen. BBC</i>
300 Uml/min		600 Uml/min		500 Uml/min		333 Uml/min	
1 strahl. Pelton	Drehstrom	Dop. Francis Spir.	Drehstrom	Francis Spiral	Drehstrom	1 strahl. Pelton	Einphasen
2500 PS	1850 kVA	3000 bis 3300 PS	2450 kVA	12000 PS	12000 kVA	15600 PS	10000 kVA
300 m	6000 V	143 bis 153 m	7000 V	156 m	8000 bis 8400 V	720 m	15000 V
0,78 m ³ /sek	50 ∞	2,1 bis 2,27 m ³ /sek	50 ∞	7,0 m ³ /sek	50 ∞	2,0 m ³ /sek	16 ² / ₃ ∞
8,1 kg/PS	21,5 kg/kVA	8,35 kg/PS	10,6 kg/kVA	7,0 kg/PS	6,1 kg/kVA	3,3 kg/PS	22,2 kg/kVA

III. Entwicklung der Schaltanlagen

Baujahr	1886	1895	1905	1908	1917	1920	1924
Vorgesehene Leistung kW	400	1100	8000	25 000	40 000	28 000	100 000
Raumbedarf m ³ Brutto-Gebäudeanteil ohne Transformatoren mit Kommandorraum	40	165	8000	7000	28 000	14 000	30 000
Spezifisch m ³ /kW	0,1	0,15	1,0	0,27	0,7	0,5	0,3
Bauart	Bedienstelle unten im Maschinensaal Direkte Betätigung der Schalter Schalter auf Holzwand		Kommandorraum erhöht im Maschinenraum Fernbetätigung der Schalter mechanisch Schaltraum an den Masch'raum angebaut Feuersichere Kleinzellen stärkster Unterteilung		Kommandorraum separat am Masch'raum m. Sicht auf d. Masch. Elektrische Fernbetätigung mit Rückmeldeanlage Getrenntes, mit dem Maschinenhaus verbundenes Schaltheus Zum Teil Hallen mehrstöckig Feuersichere für Schalter mit Klappenabschluss		
Kraftwerk	Thorenberg	Waldhalde	Obermatt	Löntschi	Gösgen	Eglisau	Wäggitall

fache und auf über 1000 kVA steigen musste und an Stelle der ersten, sehr ungenügenden Formen, die wir noch beim Thorenberger Werk (Luzern) 1886 und beim ersten Zürcherwerk (im Letten 1891) sehen, unsere Fabriken M. F. O. und BBC bemerkenswerte neue konstruierten. Mit Einführung und allmählichem Ausbau des Oelschalters im jetzigen Jahrhundert sehen wir dann die Abschaltleistung rasch ansteigen, in den letzten Jahren entsprechend dem, durch das Zusammenschalten grösster Kraftwerke bewirkten Bedarf, geradezu emporschnellen bis auf die Höhe von 1¹/₄ Millionen kVA (schweizerische Konstruktion für 150 kV für Nordamerika). Auch dem Laien musste die bildliche Darstellung des Anwachsens der Grösse der Schalter in den 40 Jahren des Bestehens schweizerischer Elektrizitätswerke von etwa 1/4 m Höhe (Thorenberg) auf nahe 5 m (150 kV) und entsprechende Volumina, wohl einen imponierenden Begriff dieser Entwicklung geben.

Die anfängliche Absicht, Bauart und *Entwicklung der gesamten Schaltanlagen* bildlich vorzubringen, scheiterte an Schwierigkeiten der Darstellung wie des Raumes. (Diesbezüglich gewährten übrigens einige gleichartig dargestellte typische Querschnitte von Schaltanlagen in der Ausstellung der einzelnen Elektrizitätswerke einen sehr instruktiven Einblick). Wir mussten uns begnügen mit der Erstellung der Tabelle III am Fusse der ersten Tafel. Diese Tabelle spricht dem Techniker für sich selbst. Sie bezieht sich nicht auf Freiluftanlagen, sondern nur auf solche in geschlossenen Gebäuden. Hingewiesen sei nur auf den dadurch aufgezeigten Gang des *Raumbedarfs* ganzer Schaltanlagen für Kraftwerke. Zahlen, wie sie hierüber angeführt sind, kann allerdings keine absolute Genauigkeit zugesprochen werden. Denn selbst wenn man die in der Tabelle vorgemerkten Präzisierungen annimmt, so kann doch bei der Mannigfaltigkeit der Methoden noch eine verschiedene Auffassung des „Raumbedarfs“ Platz greifen. Ferner spielt selbstverständlich die Zahl der Einheiten an Maschinen und an Linien, die nicht allein von der Gesamtleistung des Werks abhängig ist, dabei eine erhebliche Rolle. Da diese Zahlen unter sorgfältig gleich gehaltener Betrachtungsweise entstanden, können wir ihnen immerhin einen wesentlichen *Vergleichswert* zusprechen. Man erkennt aus den gewählten typischen Beispielen, wie zunächst die Erhöhung der Sicherheit durch Einführung besonderer *Schalträume*, eine Steigerung des Raumbedarfs etwa von 0,1 auf 0,15 m³/kW herbeiführte, wie die weitere Verbesserung durch das „Zellensystem“ (das zunächst in übertriebener Weise angewendet worden war) den Raumbedarf vorerst bis auf 1 m³/kW steigerte, und wie dieser sodann durch Beschränkung der Zelleneinteilung auf das Nötigste wieder fast auf den vierten Teil hiervon heruntergedrückt worden ist. Die zur Erreichung höherer Sicherheit und durch das Anwachsen der Werkleistungen und der Spannungen nötig gewordene Einführung abgetrennter Kommandorräume und Schaltheuser hat dann auch für grössere Anlagen den Raumbedarf in der Folge abermals auf etwa 1/2 bis 3/4 m³/kW gesteigert

und erst in den modernsten „Hallenbauten“ bei Anlagen mit wenigen, grössten Einheiten sich wieder auf etwa 1/3 m³/kW reduzieren lassen. Die Bedeutung dieser Zahlen liegt angesichts der grossen Kosten, die Hochbauten heute noch besonders in der Schweiz veranlassen, auf der Hand.

Die *Entwicklung der Generatoren* war auf der zweiten Tafel gemeinsam mit jener der Turbinen dargestellt; über die letztgenannten wird im folgenden Abschnitt berichtet. Die Tafel enthielt für Hochdruck- und Niederdruckanlagen neben den Querschnitten der Generatoren und Turbinen im Einheitsmasstab 1:25 den in den Tabellen IV und V wiedergegebenen Text.

Die älteste verzeichnete Niederdruckanlage ist die 1866 erstellte Schaffhauser Anlage „A“, welche die bekannte Kraftverteilung mittels Drahtseiltransmission vom sog. „Moserdamm“ besorgte und noch keine elektrischen Generatoren zeigen kann. (Die Ausführungspläne dieser Anlage, ein Muster alter Planzeicherkunst, waren unter den historischen Gegenständen ausgestellt.) Die ersten Generatoren treten in dieser Anlage beim Umbau (1900) und zehn Jahre vorher bei der Schaffhauser Anlage „B“ auf. Die geringe Drehzahl der damaligen Turbinen und die beschränkten Möglichkeiten des Generatorenbaues führten zum Antrieb der Generatoren durch Uebersetzung mittels Holzzahnrädern auf deren horizontale Welle. Das selbe, aber noch mit Zuzug eines Riemenantriebs, sehen wir aus der gleichen Epoche (1891) bei der alten Gleichstromanlage „Matte“, Bern, während allerdings schon 1896 die alte Ruppoldingener Anlage den damals kühnen Versuch der Verwendung direkt gekuppelter, sehr langsam laufender Generatoren aufweist (28,5 Uml/min, die damals „langsam laufenden“ Generatoren dieser Grösse). Alle weiteren gezeigten Ausführungen für Niederdruck bis und mit der ersten Beznauer Anlage (1892) besitzen dann diese Lösung der direkt an vertikale Welle gekuppelten Generatoren, ermöglicht durch die damals gelungene etwelche Steigerung der Turbinen-Drehzahlen. Besonders bemerkenswert sind die Lösungen mit „Homopolar-Generatoren“ in Chèvres (1896) und Rheinfelden (1898), Ausführungen, auf die man zu jenen Zeiten grösste Hoffnungen setzte, die aber aus bekannten Gründen bald wieder verschwanden und heute der Geschichte angehören, überholt durch den gewöhnlichen Polradtypus. Die weitere Entwicklung der Turbinen im gegenwärtigen Jahrhundert, die schon durch die Francis-Turbinen und seither in bedeutend höherem Masse bei den Propeller-Turbinen höhere Drehzahlen ermöglicht hat, lässt den direkt gekuppelten Polradtyp der Generatoren dann auch bei Niederdruck-Anlagen günstigere Formen und Grössen annehmen.

Bei den mit Hochdruckturbinen (von Anfang an direkt) gekuppelten Generatoren ist namentlich die Steigerung der Einheitsleistung (bis zu 16 500 kVA für 50 periodigen Drehstrom und 10 000 kVA für 16²/₃ periodigen Einphasenstrom) und die konstruktive Ueberwindung der Schwierigkeiten sehr hoher Drehzahlen bemerkenswert; auch die Verbes-

serung der Foundationen, der Lagerung und der künstlichen Kühlung der Generatoren war teilweise aus den Zeichnungen ersichtlich.

Die Zahlen des „spezifischen Gewichts“ (kg pro kVA Leistung), welche die Tabellen für die Generatoren zeigen, sind selbstverständlich nur im Zusammenhange mit den jeweiligen Drehzahlen und der Stromart zu beurteilen. Es hätte nahe gelegen, für die aufgeführten Generatoren die Angabe der heute üblichen „Maschinenkonstanten“ vorzunehmen, wovon wir leider wegen Unsicherheiten gerade bei den älteren Maschinen absehen mussten. Unter Berück-

sichtigung des Umstandes, dass in der Steigerung der Drehzahlen und der Einheitsgrößen selbst ebenfalls Entwicklungsfortschritt liegt, können immerhin diese Gewichtszahlen auch für sich allein eine gewisse Einsicht gewähren. Sie verzeigen für Drehstrommaschinen (von 40 bis 50 Perioden) bei Niederdruckanlagen eine Gewichtsabnahme von anfänglich über 100 kg/kVA bis auf rund 25 kg/kVA hinunter, und bei ebensolchen Generatoren für Hochdruckanlagen von rund 40 kg/kVA bis auf weniger als 7 kg/kVA. Unser grösster heutiger Einphasengenerator für $16\frac{2}{3}$ Perioden weist etwas über 22 kg/kVA auf.

III. Die Entwicklung der Turbinen-Anlagen.

Von Prof. Dr. F. PRÄSIL, Zürich.

Die, die Entwicklung des Turbinenbaues betreffenden Darstellungen sind bereits im offiziellen Führer („S. B. Z.“ Bd. 88, Nr. 1 vom 3. Juli 1926, Seite 27 und 28) in solcher Weise beschrieben, dass die historische Entwicklung der Turbinensysteme und die hierauf einflussnehmende Entwicklung der Generatoren und des Fundamentbaues im wesentlichen klar gelegt ist. Die seit 1914 einsetzende moderne Entwicklung der Turbinenkonstruktionen einerseits in Richtung der Schnellläufigkeit, andererseits in Richtung der Erhöhung des Wirkungsgrades ist an Hand von Reproduktionen der ausgestellten Hauptcharakteristiken im Band 88 der „S. B. Z.“, Nr. 12 vom 18. Sept. 1926, beschrieben und erörtert.

Die dem vorangehenden Bericht beigegebenen Tabellen IV und V geben in Zahlen ein Bild der stetigen Zunahme der Leistungsfähigkeiten der Turbineneinheiten und durch Angabe der Ausführungsgewichte pro PS ein Bild des die konstruktive und produzierende Tätigkeit leitenden Bestrebens, den Anforderungen der Wirtschaftlichkeit entgegenzukommen.

Die Entwicklung der Disposition von *Niederdruck-Turbinen* von der alten, axialen Jonvalturbine bis zu den modernen Schnellläufern sei im folgenden, entsprechend den Darstellungen, kurz beschrieben.

Im Elektrizitätswerk der Stadt Schaffhausen kamen folgende Turbinen zur Aufstellung:

1866: In der Anlage „A“ zweikränzige Jonvalturbine in offenen Wasserkästen auf Holzträgern aufgelegt mit zylindrischen Blehsaugrohren.

1899: In der Anlage „B“ zweikränzige Jonvalturbine in offenen Wasserkästen, eingelegt in einbetonierten gusseisernen Tragkränzen, ferner zuerst ebenfalls zylindrische Blehsaugrohre mit späterem Einbau von koaxialen, konischen Saugrohren zur Erhöhung der Saugwirkung.

1900: Umbau der Anlage „A“ durch Einbau von Francisturbinen auf Holzträgern mit konischen Blehsaugrohren an Stelle der alten Jonvalturbine.

1908: Umbau der Anlage „B“: die mit den geometrischen, lotrechten Achsen in den Mittelebenen der Wasserkammern liegenden alten Turbinen wurden durch Zwillings-Francisturbinen ersetzt, deren Achsen derart ausserhalb der Mittelebenen der Wasserkästen liegen, dass deren Begrenzungswände einem spiralförmigen Einlauf entsprechend umgeformt werden konnten; die Laufräder giessen in entgegengesetzten Richtungen aus, was zu einer Disposition der Saugkanäle unter weitgehender Benützung der Stirnwände der ganz in Beton ausgeführten Wasserkästen und der Fundamente führte. — Alle diese Anlagen sind (samt der alten Seiltransmission, Red.) von Dir. Geiser in der „S. B. Z.“ Bd. 54 u. 55 (1909 und 1910) beschrieben worden.

Die Anforderung gleicher Drehzahl für Turbine und Generator behufs direkter Kupplung führte für Aggregate von relativ grosser Konsumsfähigkeit bereits um 1896 auf die Anordnung von Etagen-Turbinen; als Beispiele sind die Querschnitte der Aggregate mit lotrechten Wellen von Chèvres 1896, Rheinfelden 1898 und Beznau 1902 vorgeführt. Die Etagen-Anordnung ist hydraulisch dadurch bedingt gewesen, dass man die Radkonstruktionen in gewohnter Weise auf möglichst kleine absolute Austritts-

Geschwindigkeit aus dem Laufrad und Durchflussgeschwindigkeiten in den Saugkanälen dimensionierte; die Verwendung von mehreren Räderpaaren auf *einer* Welle führte aber auf komplizierte, mehrfach originelle Formen der diese Kanäle enthaltenden Betonfundamente, z. B. Chèvres, erster Ausbau.

Die Probleme der hydraulischen Energieumsetzungen in solchen Räumen waren damals noch nicht dringlich; die Fortschritte in der Turbinenkonstruktion sind im Ausbau verschiedener Einzelheiten, z. B. der Spurlager und der Regulierungsmechanismen zu finden, und in dem Bestreben, die Kapazität der Einheiten zu vergrössern; dies führte auch auf die Anordnung von Etagen-Turbinen mit wagrechten Wellen entsprechend dem dargestellten Beispiele der Anlage Augst 1912, sowie jener von Laufenburg u. a. m.

Ab 1914 tritt wieder die einkränzige Anordnung mit lotrechter Welle in den Vordergrund, aber mit hydraulisch auf grosse Konsum- und Leistungsfähigkeit berechneten und gebauten Schnellläufern, spiralförmigen Zuführungskanälen und mit Saugkanälen ausgerüstet, in denen in weit höherem Mass als bei den älteren Anordnungen die zur Erzielung vermehrter Saugwirkung nötige hydraulische Energieumwandlung erzielt werden kann.

Die Wirkungsweise der Francisturbinen bis 1914 sind in Nr. 12 von Bd. 88 der „S. B. Z.“ (18. Sept. 1926) durch die Hauptcharakteristiken Abb. 16 bis und mit 18, die der seither verwendeten Schnellläufer durch die Abb. 19 bis 26 kenntlich gemacht.

Seit 1914 bedient sich die ausführende Praxis in ausgedehntem Mass des wissenschaftlichen Modellversuches zur Prüfung und Feststellung des Wertes der von den Konstrukteuren zur Anwendung vorgeschlagenen Bauarten; es wurden auf Grund der Ergebnisse solcher Versuche nicht nur Turbinen für Neuanlagen, wie z. B. 1920 für die Anlage Eglisau, sondern auch für Umbau alter Anlagen gebaut, z. B. Ersatz der 1891 erstellten zweikränzigen Jonvalturbine in der Zentrale Matte des E. W. Bern durch Einbau von Bell-Extra-Schnellläufern 1923, Ersatz der 1896 erstellten dreikränzigen Axialturbinen in der Zentrale Ruppoldingen des E. W. Olten-Aarburg durch Konusturbinen Konstruktion Charmilles 1925; für einen derartigen Umbau ist auch 1923 die Konstruktion der Propellerturbine der Ateliers de Constructions mécaniques de Vevey für Wynau entstanden.

Beim Umbau der Anlage Glattfelden kam in der Schweiz die erste Kaplan-Turbine zur Aufstellung, in allerdings wesentlich kleineren Abmessungen, als die in Basel ausgestellten Ausführungen solcher Turbinen. Mit dieser Ausführung hat das System auch in der Schweiz Eingang gefunden, das der Erfinder, Prof. V. Kaplan in Brünn, durch zähe Ausdauer und im unerschütterlichen Vertrauen auf den schliesslichen Erfolg aus primitiven Anfängen mit ganz kleinen Modellen zu kräftiger Lebensfähigkeit brachte; es ist zu hoffen, dass über Versuche mit solchen Turbinen bald in solch eingehender Weise berichtet werden wird, wie dies in ähnlichen Fällen bis jetzt üblich war.

Die Entwicklung der *Hochdruck-Turbinen* war in acht Schnitten vorgeführt. Die ältern Systeme sind durch die modernen Hochdruck-Francis- und Pelton-turbinen ersetzt;

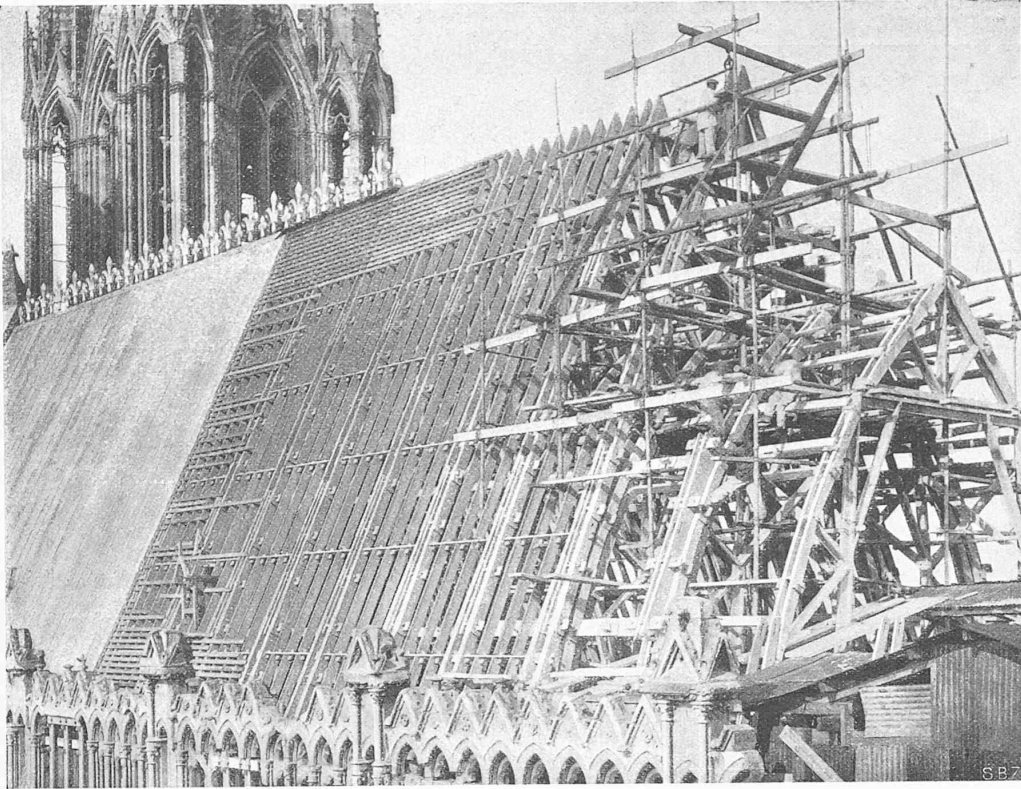


Abb. 1. Wiederherstellung des Daches über dem Langhaus der Kathedrale von Reims, aus Südosten gesehen.
Aufrichten der Binder und Sparren aus armierten Betonbohlen, System Deneux

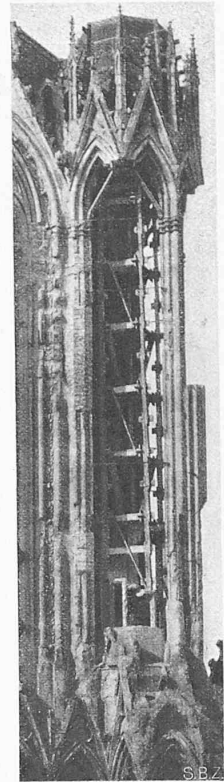


Abb. 2. Aussteifung des nordöstl. Ecktürmchens.

im Ausbau wechseln Ausführungen mit lotrechten und solche mit wagrechten Achsen ab. Die Ausführungen für Albula 1910, Lungernsee 1924, Siebnen 1924 zeigen mit den Gefällswerten 153, 156, 197, dass die Frage der Verwendbarkeit der Francisturbine als Hochdruck-Turbine bis zu 200 m Gefälle zweifellos bereits gelöst ist.

Für die Ausbildung und Prüfung der Schaufelformen von Pelton-Turbinen wird natürlich ebenfalls der Modellversuch verwendet; die bereits erschienenen Veröffent-

lichungen über die Turbinen in den Hochdruck-Zentralen der Schweizerischen Bundesbahnen geben ein klares Bild über die modernen Probleme konstruktiver und technologischer Natur und deren Lösungen.

Trotz der beschränkten Zahl der zur Ausstellung gebrachten Darstellungen dürfte der angestrebte Zweck erreicht worden sein, den Fortschritt des schweizerischen Turbinenbaues und dessen Stetigkeit vor Augen zu führen.

(Schluss folgt.)

Die Wiederherstellungsarbeiten in Eisenbeton an der Kathedrale von Reims.

Die Beschiessung der Stadt Reims im September 1914 und die folgenden Kriegshandlungen haben der ehrwürdigen Krönungs-Kathedrale der französischen Könige Wunden verschiedener Art zugefügt.

Sie hatte erstens unter der direkten *Geschoss- und Splitterwirkung* zu leiden, der besonders die Ost-Teile (also Chor und Querhaus) ausgesetzt waren. Es sind dadurch schwere, sozusagen chirurgische Verletzungen aufgetreten, scharf lokalisierte Schäden, Bauteile und Zierglieder sind weggeschossen; ein grosskalibriges Geschoss hat im vierungsnächsten Ostpfeiler des Süd-Querhauses mehrere Stein-schichten ein Stück weit ausgeschert, ohne sie zu zertrümmern und ohne dass der Pfeiler samt den darauf ruhenden Gewölben eingestürzt wäre. Man hat seither diesen Pfeiler der Länge nach mit Eisen eingeschient, und diese Rüstung durch Bandagen mit Spannschlössern angezogen, um die aus der Flucht herausstehenden Blöcke wieder in ihre normale Lage zurückzuwinden, wobei das Gewölbe zur Entlastung auf das Triforiengesims abgestützt wurde — so wenigstens hat mir der Leiter dieser verantwortungsvollen Arbeiten, H. Deneux, seinerzeit erklärt, vorgehen zu wollen. Andere Geschosse, und einstürzendes Gebälk haben auch an einzelnen Stellen das Gewölbe durchschlagen, meist ohne auch nur die ganze Kappe nachstürzen zu lassen, wie sich denn überhaupt die Kathedrale in dieser Katastrophe

über alles Erwarten gut gehalten hat. Dabei ist ihr freilich ihr archaisch-massiver Knochenbau sehr zu statten gekommen, der sie etwa vor dem zarteren Amiens oder gar der hybriden Gebrechlichkeit von Beauvais auszeichnet; man darf wohl annehmen, dass jene beiden Kathedralen bei gleichen Verletzungen bis auf den Grund eingestürzt wären. Die Pfeiler von Reims sind in fast altgriechischer Weise aus riesigen Werksteinen zusammengesetzt, sodass die Geschosse wohl schwere Absplitterungen, aber keine Zerrüttungen im Mauer-Verband anrichten konnten, wie das bei Verwendung kleinerer Werkstücke eingetreten wäre.

Verhältnismässig leichte Splitterwirkung ist auch an den berühmten drei Westportalen festzustellen, offenbar eine Folge explodierender Geschosse, die nicht die Kirche selber, sondern den Platz getroffen haben. Das südliche dieser Portale ist sozusagen unbeschädigt, das mittlere schwach, das nördliche schwer verletzt: immerhin wird hier Ergänzung aus den Originalstücken möglich sein, soweit nur Absplitterung, und nicht Röstung des Steines vorliegt. Dem berühmten, lächelnden Engel der Verkündigung, der unter dem Namen „Le sourire de Reims“ weltbekannt ist, und der eine der edelsten Blüten einer unsentimentalen, süßen und doch zugleich ritterlich-mondänen Gotik ist, wurde der Kopf abgeschlagen; doch wurde er, durch eine Schramme etwas entstellt, wieder aufgefunden.