

Zeitschrift: Prisma : illustrierte Monatsschrift für Natur, Forschung und Technik
Band: 5 (1950)
Heft: 9

Artikel: Die Entwicklung der Stromversorgung : 50 Jahre Erzeugung und Verteilung elektrischer Energie
Autor: Hug, Alfred
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-654170>

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: 30.01.2025

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

Die Entwicklung der Stromversorgung

50 Jahre Erzeugung und Verteilung elektrischer Energie

Von Dipl.-Elektroingenieur Alfred Hug

Schon im 18. Jahrhundert war die Erzeugung elektrischer Energie mittels galvanischer Batterien (z. B. Volta-Säule) bekannt. Die entnehmbare Strommenge war jedoch gering, und diese Batterien verbrauchten sich relativ rasch, so daß sie für industrielle Anwendungen nicht geeignet waren. Immerhin ermöglichten sie wichtige Entdeckungen, welche schließlich zur Erfindung der „Dynamomaschine“ führten. Wenn auch die ersten Maschinen Dauermagnete an Stelle einer elektrischen Erregung aufwiesen, so konnte sich die eigentliche Starkstromtechnik doch erst mit der Erfindung des „Selbsterregungsprinzips“ im Jahre 1866 durch den Dänen Sören Hjorth entwickeln. Offenbar ohne die Arbeiten des letzteren gekannt zu haben, ließen im Sommer desselben Jahres Werner Siemens u. a. Maschinen mit elektrischer Selbsterregung anfertigen, welche als erste „dynamoelektrische Maschinen“ anzusprechen sind. In der Schweiz wurde der erste Gleichstromdynamo erst im Jahre 1875 vom Basler Emil Bürgin gebaut. Zum Vergleich mit modernen Maschinen sei eine solche in Abb. 1 abgebildet. Ohne auf technische Einzelheiten einzugehen, kann erwähnt werden, daß diese Maschinen hauptsächlich für die Beleuchtung mittels Bogenlampen dienten und ständig verbessert wurden. Den großen Aufstieg der Starkstromtechnik brachte jedoch erst die Erfindung der Glühlampe durch T. A. Edison im Jahre 1879. Deren Betrieb verlangte eine Anpassung der Dynamomaschine (Nebenschlußerregung statt Hauptschlußerregung). Charakteristisch für jene Zeit war, daß die Vorausberechnung von Maschinendaten fast unbekannt war und daß brauchbare Unterlagen dazu fehlten. Erst in

den achtziger Jahren waren sie so weit gediehen, daß sie in der Praxis verwendet werden konnten.

Mit der Verbreitung der elektrischen Glühlampenbeleuchtung wurde es notwendig, die Stromerzeuger in sogenannten Zentralen zu vereinigen. In der Schweiz hat unseres Wissens die Stadt Lausanne die erste Zentrale für die Erzeugung von Gleichstrom bauen lassen (im Jahre 1882). Als Antrieb dienten Turbinen, welche an der städtischen Hochdruck-Wasserversorgung angeschlossen waren. Verschiedene Städte und Dörfer ließen in der Folge solche Werke für Beleuchtungszwecke bauen. Zum Betrieb der Dynamos kam damals wie noch heute für die schweizerischen Verhältnisse in erster Linie Wasserkraft in Frage, so daß das Problem der „elektrischen Kraftübertragung“ vom Ort der Erzeugung zum Ort der Verwendung aktuell wurde. Da beim Gleichstrom die erzeugbare Spannung relativ niedrig war, ergaben sich bei der Übertragung großer Leistungen auf weite Distanzen erhebliche Verluste. Wohl wurde nach Möglichkeiten gesucht, diesen Nachteil zu umgehen, indem man die Betriebsspannung erhöhte, was jedoch nicht beliebig weit fortgesetzt werden konnte. In den neunziger Jahren war man so weit, daß man glaubte, die Übertragung auf größere Distanzen mit hochgespanntem Gleichstrom (bis zirka 15.000 Volt) sei eine geeignete Lösung. Leider bot aber die Verteilung dieses Gleichstromes Schwierigkeiten, weil die Verbraucher Niederspannung be-

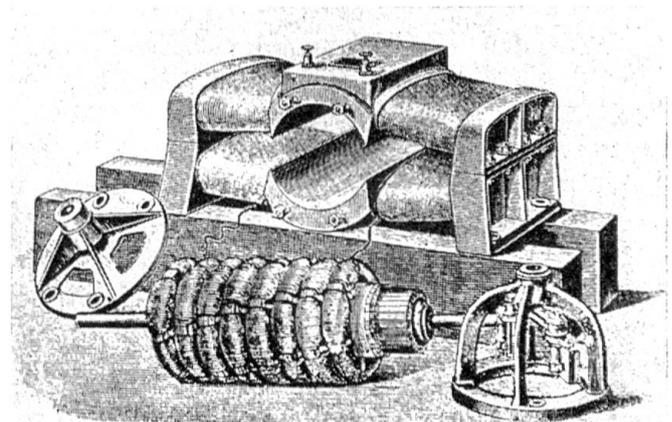


Abb. 1. Erster schweizerischer Gleichstromdynamo für Maschinenbetrieb (Baujahr 1875). Erbauer: Emil Bürgin

(Reproduktion aus: „Wyssling, die Entwicklung der schweizerischen Elektrizitätswerke in den ersten 50 Jahren.“ Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein)

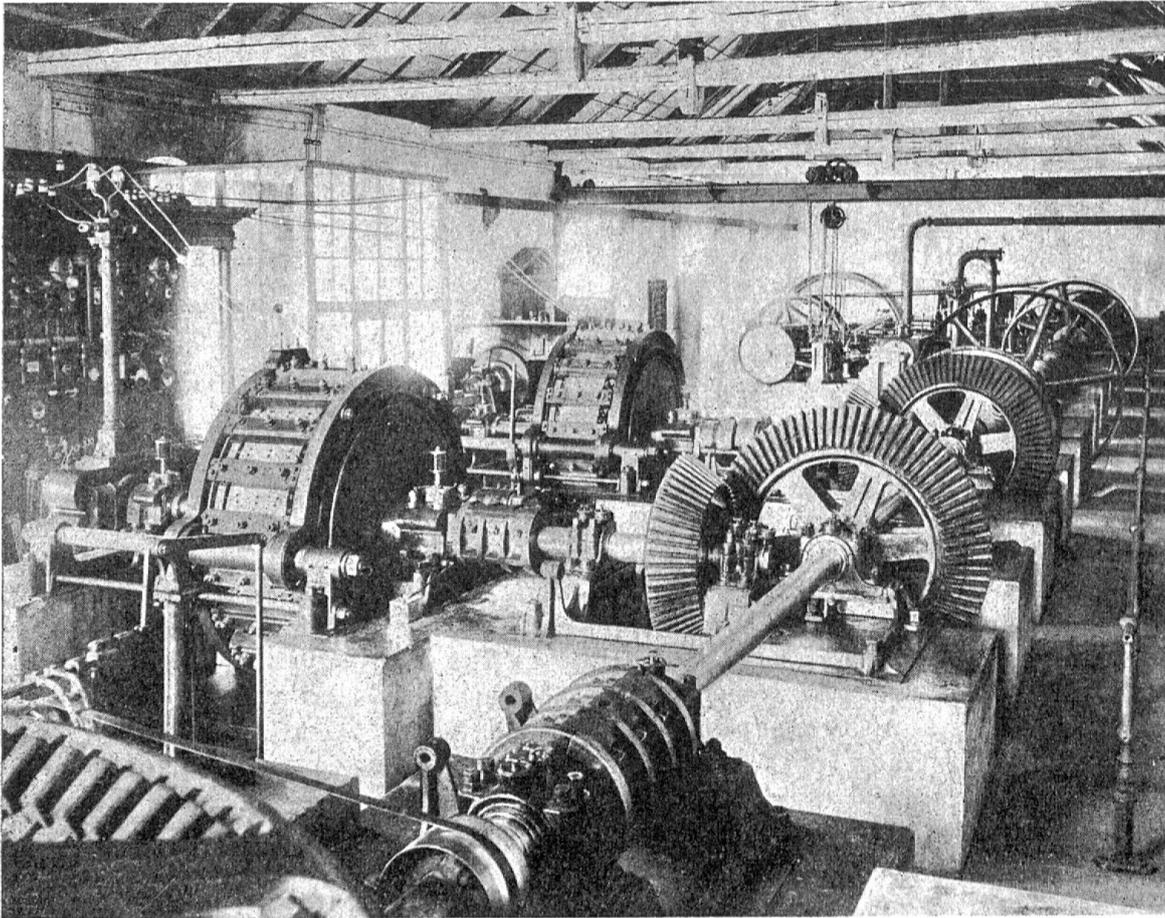


Abb. 2. Er-
stes schwei-
zerisches
Wechsel-
stromkraft-
werk Thor-
berg, Luzern
(Baujahr
1886)

(Reproduk-
tion aus dem
gleichen Buch
wie Abb. 1)

nötigten. Es mußten also rotierende Umformergruppen mit Sekundärdynamos für niedrige Spannung verwendet werden.

Dies verursachte für Erstellung und Betrieb große Kosten, weshalb sich nach und nach die Verwendung von Wechselstrom einzubürgern begann.

Das erste in der Schweiz und von Schweizern hergestellte Wechselstromwerk war dasjenige von Thorberg, Luzern, welches im Jahre 1886 in Betrieb genommen wurde (s. Abb. 2). Dieses Werk war zu Beleuchtungszwecken erstellt worden und lieferte Einphasenwechselstrom.

In der Zeit zwischen 1888 und 1891 herrschte unter den Fachleuten ein lebhafter Kampf über die Frage, ob in Zukunft Elektrizitätswerke für Gleich- oder Wechselstrom zu bauen seien. Zugunsten des Gleichstromes wurde die Möglichkeit der Aufspeicherung in Akkumulatoren, zugunsten des Wechselstromes die Transformierbarkeit angeführt. Unter anderem wurde dem Wechselstrom zur Hauptsache vorgeworfen, er sei wohl für Beleuchtungszwecke, nicht aber für den Betrieb von Motoren brauchbar. Das Jahr 1891 setzte diesem Kampf ein Ende, als an der Internationalen Elektrotechnischen Ausstellung in Frankfurt a. M. ein neues Wechselstromsystem, der „Drehstrom“ gezeigt wurde.

Dieses schon 1885 von Galileo Ferraris erfundene und erstmals im Jahre 1890 von v. Dolivo-Dobrowolsky verwendete System gestattete sowohl die Transformierung (Wechselstrom!) als auch den Betrieb von Motoren, sogenannten Drehstrommotoren, welche sich seit dieser Zeit stark entwickelt haben. Interessant ist die Tatsache, daß das erste diesbezügliche Patent im Jahre 1890 in der Schweiz angemeldet wurde. Einen für den Betrieb geeigneten einfachen, robusten und billigen Motor für Drehstrom konstruierte in der Schweiz der junge C. E. L. Brown der Maschinenfabrik Oerlikon, den sogenannten asynchronen Dreiphasenmotor. Vor allem fiel bei diesem vorteilhaft auf, daß er keinen Kollektor aufwies, unter Last anlaufen konnte und seine Drehzahl für jede Belastung nahezu konstant war. Außer der einfachen Möglichkeit, Motoren zu betreiben, ergab sich für den Drehstrom noch diejenige einer rationelleren Energieübertragung, welche kombiniert mit der Transformierung auf Höchstspannungen ein Maximum von Wirkungsgrad gestattete. Die entsprechende Industrie begann sofort Mehrphasengeneratoren zu bauen; einen solchen zeigt die Abb. 3. Die Entwicklung der Generatoren ging nun in

Richtung einer Erhöhung von Leistung und Spannung. Während die Leistung um 1890 200 kVA bei einer Spannung von zirka 2000 V betrug, steigerte sich diese nach und nach auf bis 1800 kVA um die Jahrhundertwende und bis 50.000 kVA bei Spannungen bis zu 20 kV heute. Durch die gewaltige Erhöhung der Einheitsleistung von Generatoren wurde eine beträchtliche Verbilligung der Anlage und des Betriebes von Kraftwerken möglich. Diese Erhöhung war unter anderem durch die Vergrößerung der Turbinendrehzahlen erreicht worden. Außerdem half auch die Reduktion des Einheitsgewichtes der Generatoren auf ein Drittel bis ein Viertel desjenigen von 1900 sowie eine Verbesserung des Wirkungsgrades auf 96 bis 97% mit, dieses Resultat zu erzielen. Wie bereits erwähnt, war die schweizerische Elektrizitätswirtschaft schon früh auf die Verwertung der inländischen Wasserkräfte angewiesen, da die Brennstoffe für den Betrieb von Wärmekraftmaschinen relativ teuer zu stehen kommen. Daraus folgt die besonders große Bedeutung

des Wasserturbinenbaues und die auf diesem Gebiet geleistete Entwicklungsarbeit. Die Anforderungen von seiten der Industrien für elektrische Maschinen stiegen und zwangen damit den Turbinenbau zu immer weiteren Verbesserungen. Umgekehrt erhöhten die Fortschritte im Turbinenbau die Wirtschaftlichkeit der Elektrizitätswerke. Während in den Jahren vor 1900 die sogenannten hydroelektrischen Anlagen kleine Leistungen mit nur mäßigen Gefällen aufwiesen, stiegen nach 1900 die Leistungen beträchtlich. Der Bau von Hochdruckturbinen ermöglichte die Ausnutzung immer größerer Gefälle (300 m im Jahre 1899; über 1600 m heute!). Die Turbinentypen nach Jonval und nach Girard wurden ersetzt durch die wesentlich günstigere Francisturbine für Mittel- und Niederdruck, ergänzt durch die Peltonturbine für Hochdruck. Die ersten Verbesserungen der Turbinen ersetzten die Handregulierung durch automatische Regulierung. Wichtig war ferner der Übergang von langsam laufenden Turbinen,

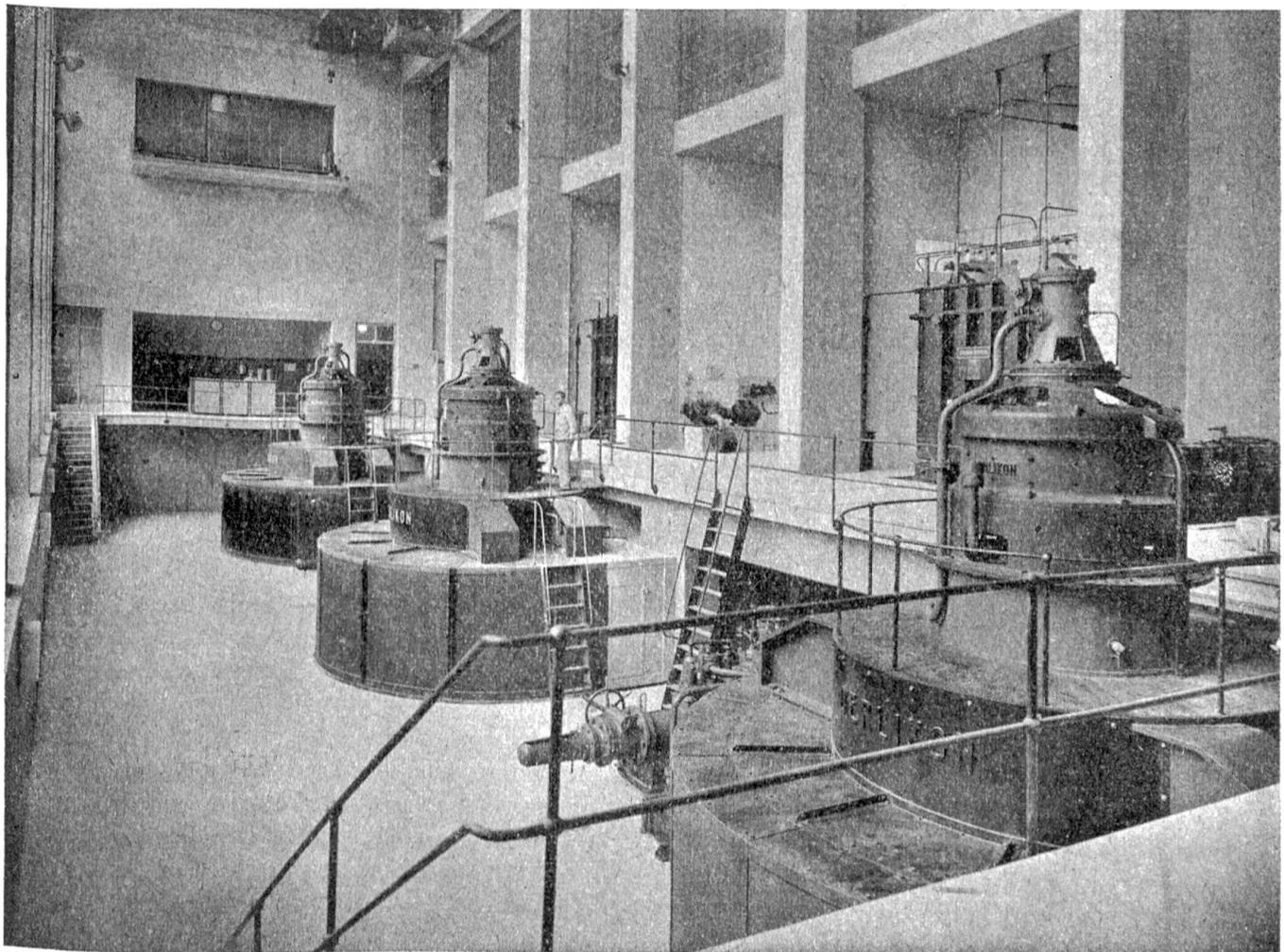


Abb. 3. Modernes schweizerisches Flußkraftwerk (Wettingen)

(Bild: Maschinenfabrik Oerlikon, Oerlikon-Zürich)

welche mittels Übersetzungen die Generatoren antreiben mußten (siehe auch Abb. 2), zu schnell laufenden, direkt auf die Generatorwelle arbeitenden Turbinen, womit eine Erhöhung des Wirkungsgrades und der Betriebssicherheit möglich wurde. Solange Übersetzungen zur Anwendung kamen, wurden Generatorwellen horizontal angebracht. Mit dem Wegfall der Übersetzungen wurden die Generatoren mit vertikalen Wellen versehen, welche direkt mit der Turbinenwelle gekuppelt wurden. Die Hochdruckturbinen wurden jedoch noch lange mit horizontaler Welle gebaut. Eine weitere Entwicklungsstufe waren die Leitschaufeleinrichtungen, welche später auch regulierbar hergestellt wurden, womit eine Anpassung an die Wassermenge erreicht werden konnte (Finksche Leitschaufeln). In den Jahren 1914 bis 1916 wurde eine neuartige Wasserturbine von Kaplan in Brünn konstruiert, welche eine bedeutende Erhöhung des Wirkungsgrades besonders bei Teilbelastungen möglich machte. Die Fabrikation derartiger Turbinen wurde in der Schweiz erst im Jahre 1919 aufgenommen. Mit zunehmender Größe der Turbinen konnten Regulierungen nicht mehr von Hand durchgeführt werden, sondern mußten mittels Hilfsantrieben, genannt Servomotoren, bewerkstelligt werden. Diese arbeiten meistens mit Drucköl. Während am Anfang die Regulierung lediglich auf die zugeführte Wassermenge über Ventile wirkte, wurde die regulierende Wirkung auch auf den Leitapparat übertragen bzw. bei der Kaplan-turbine auf die Schaufelstellung des Laufrades. Im Ausland, wo relativ wenige Wasserkräfte zur Verfügung stehen, dafür aber billige Brennstoffe, wurden anfänglich die Generatoren mittels Dampfmaschinen angetrieben. In der Schweiz wurden solche Dampfmaschinen in Form von Lokomobilen für bewegliche Beleuchtungsanlagen verwendet. Später wurden Dampfmaschinen immer seltener für diesen Zweck angewandt, da, wie oben erwähnt, die Ausnützung der Wasserkraft günstiger war.

Mit der Entwicklung der sogenannten Lichtwerke (Kraftwerke, welche vorwiegend Strom für Beleuchtungszwecke liefern) wurden Wärmekraftmaschinen für vorübergehenden Betrieb zur Deckung der Belastungsspitzen eingesetzt, wie dies übrigens heute noch, jedoch mit anderen Maschinen, gemacht wird. Einen bedeutenden Fortschritt erzielte man, als für den Antrieb elektrischer Maschinen Dampfturbinen eingesetzt werden konnten. Die Einführung

der Dampfturbinen bedingte die Konstruktion von sogenannten Turbogeneratoren, welche für eine bedeutend höhere Drehzahl als für Wasserturbinen, meist 3000 Umdrehungen pro Minute, gebaut werden mußten. Diese werden heute bis zu sehr bedeutenden Einheitsleistungen ausgeführt (bis zirka 100.000 kVA). Abb. 4 zeigt eine Dampfturbinenanlage in einem Kraftwerk zur Deckung der Spitzenleistung. Die Dampferzeugung geschieht mittels der Verbrennung von Kohle in fester und neuerdings in Staubform in entsprechenden Kesselanlagen. Auch die Dampferzeugung durch Verbrennung von mineralischen Ölen wird angewendet. Besonders interessant ist die Gewinnung von Dampf in Atomkraftwerken, in welchen Wärme als Nebenprodukt entsteht und deren Arbeitsweise im Heft Nr. 7/4. Jg. beschrieben ist. Der Wirkungsgrad solcher Anlagen ist allerdings heute noch nicht so, daß man von einer rationalen Energieerzeugung sprechen könnte. Gerade für die Deckung der Belastungsspitzen von Kraftwerken wird noch eine andere Antriebsmaschine für Generatoren verwendet: der Dieselmotor als Langsamläufer sowie die neueste Wärmekraftmaschine: die Gasturbine, welche die eleganteste Art der Ausnützung von Brennstoffen darstellt. Die Gasturbine ist wie die Dampfturbine ein Schnellläufer, dessen Verwendung in der Praxis, besonders für hohe Leistungen, wegen der hohen Temperaturen der eintretenden Gase noch Schwierigkeiten bereitet.

Nachdem von der Erzeugung der elektrischen Energie die Rede war, sei nun deren Verteilung besprochen. Beim Gleichstrom lag ja die Schwierigkeit darin, daß einerseits für die Möglichkeit einer Fernübertragung mit geringen Verlusten eine hohe Spannung erforderlich war, während andererseits der Verbraucher zu Beleuchtungs- und Antriebszwecken eine niedrige Spannung benötigte. Dies hat den Übergang zum Wechselstrom wesentlich erleichtert, da dieser mittels Transformatoren für die Übertragung hochgespannt werden und am Bestimmungsort wieder in eine niedrige Spannung transformiert werden kann. Während die ersten solcher Übertragungsanlagen einphasigen Wechselstrom führten, wurden solche nach und nach dreiphasig gebaut, um bessere Wirkungsgrade zu erreichen. Ein Sprung zu höheren Spannungen war jedoch erst mit der Einführung des Öltransformators möglich, was nur einige Jahre vor der Jahrhundertwende erfolgte. Die wesentlichen Vorteile waren:

die bessere Isolierfähigkeit des Öls, der Abschluß des Transformators gegen Luftfeuchtigkeit und bessere Wärmeableitung durch die Ölzirkulation. Durch diese Vorteile ließen sich die Transformatoren kleiner und billiger bauen, und die Betriebsspannung konnte beträchtlich erhöht werden. Die folgenden Jahre brachten Verbesserungen in den Wirkungsgraden und Abmessungen der Transformatoren. Die weitere Entwicklung der letzteren bezieht sich auf die erhöhte Materialausnutzung und verbesserte Kühlmethoden sowie auf die Herstellung von „kurzschlußsicheren“ Transformatoren, was sich bei Erhöhung der Leistung als wichtig erwies. Um die Jahrhundertwende wurden Transformatoren hauptsächlich als „Verteiltransformatoren“ von unter 100 kVA Leistung verwendet. Da nun die Generatorspannungen nicht über zirka 15.000 V gebracht werden konnten, die zu übertragenden Leistungen aber immer stiegen, mußten Transformatoren für wesentlich höhere Spannungen und Leistungen von mehreren Tausend kVA gebaut werden. Wenn die Bauart in Öl für kleinere Transformatoren zweckmäßig erschien, so war dies in noch höherem Maße für große Anlagen der Fall. Die Spannung konnte auf diese Weise gesteigert werden auf 150 kV und auf 220 kV mit Einzelleistungen bis zu 70.000 kVA. Es existieren heute sogar einzelne Transformatoren mit Einzelleistungen bis zu 120.000 kVA. Interessant ist die Abnahme des Gewichts pro Leistungseinheit und die Steigerung des Wirkungsgrades am Transformator. Dieses Einheitsgewicht sank seit

der Jahrhundertwende auf die Hälfte, ja ein Drittel, je nach Ausführungsart. Der Wirkungsgrad betrug dazumal zirka 96%, wo heute für große Einheiten solche von zirka 99% die Regel bilden. Dabei ist nicht nur der Wirkungsgrad bei Vollast maßgebend, sondern ebenso sehr derjenige für Teillasten, welche den Gesamtwirkungsgrad von Kraftwerken wesentlich beeinflussen. Besonders bei großen Transformatoren- und auch Maschineneinheiten ist ein hoher Wirkungsgrad nicht nur wegen der verlorenen elektrischen Energie anzustreben, sondern weil eben diese in Wärme umgewandelt wird und die entsprechenden Objekte heizt, so daß für deren Kühlung mehr aufgewendet werden muß. Die Verbesserung des Wirkungsgrades wurde hauptsächlich durch die Verwendung legierter Bleche möglich, deren Verluste durch Ummagnetisierung auf die Hälfte, mit Speziallegierungen sogar auf den achten Teil sanken.

Wie bereits erwähnt, erfolgt heute im allgemeinen die Verbindung eines Kraftwerkes mit dem entfernt liegenden Verbraucherzentrum über Hochspannungsleitungen. Die um die Jahrhundertwende angewandten Spannungen von zirka 10 kV genügten für die Übertragung auf eine Distanz von 30 bis 40 km. Die ständig wachsende Nachfrage für elektrische Energie, besonders von großen Verbraucherzentren, zwangen dazu, die Spannungen immer mehr zu erhöhen. Sie wurden auf das Zehn- bis Zwanzigfache gesteigert. Mit diesen höchsten Spannungen wurde die Übertragung großer Leistungen über mehrere hundert Kilometer mög-

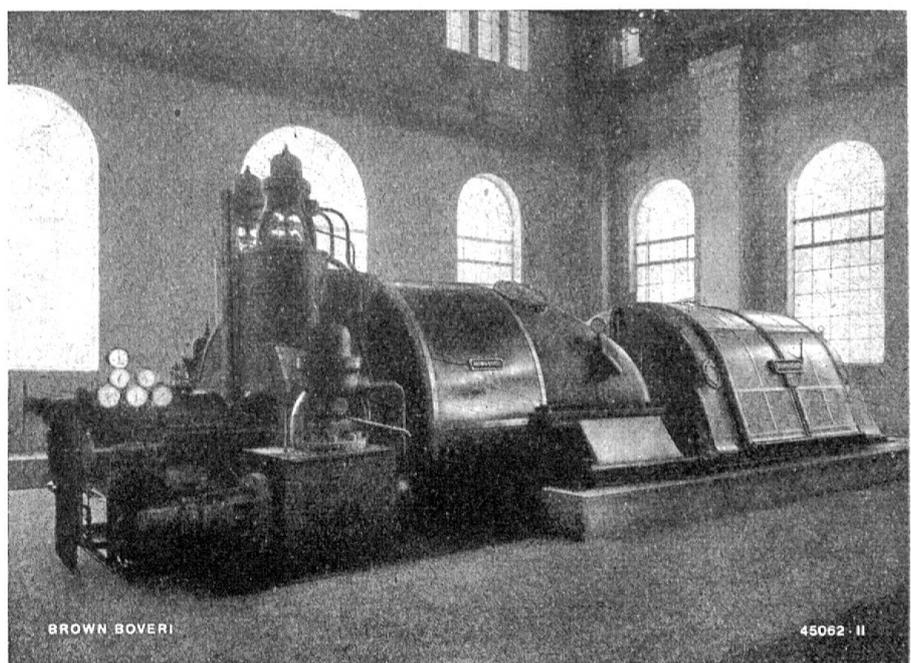


Abb. 4. Dampfturbinengruppe für 24.000 kVA, 5600 Volt, in einem ausländischen Kraftwerk; Hersteller: Brown, Boveri & Cie. A.G., Baden (Schweiz)

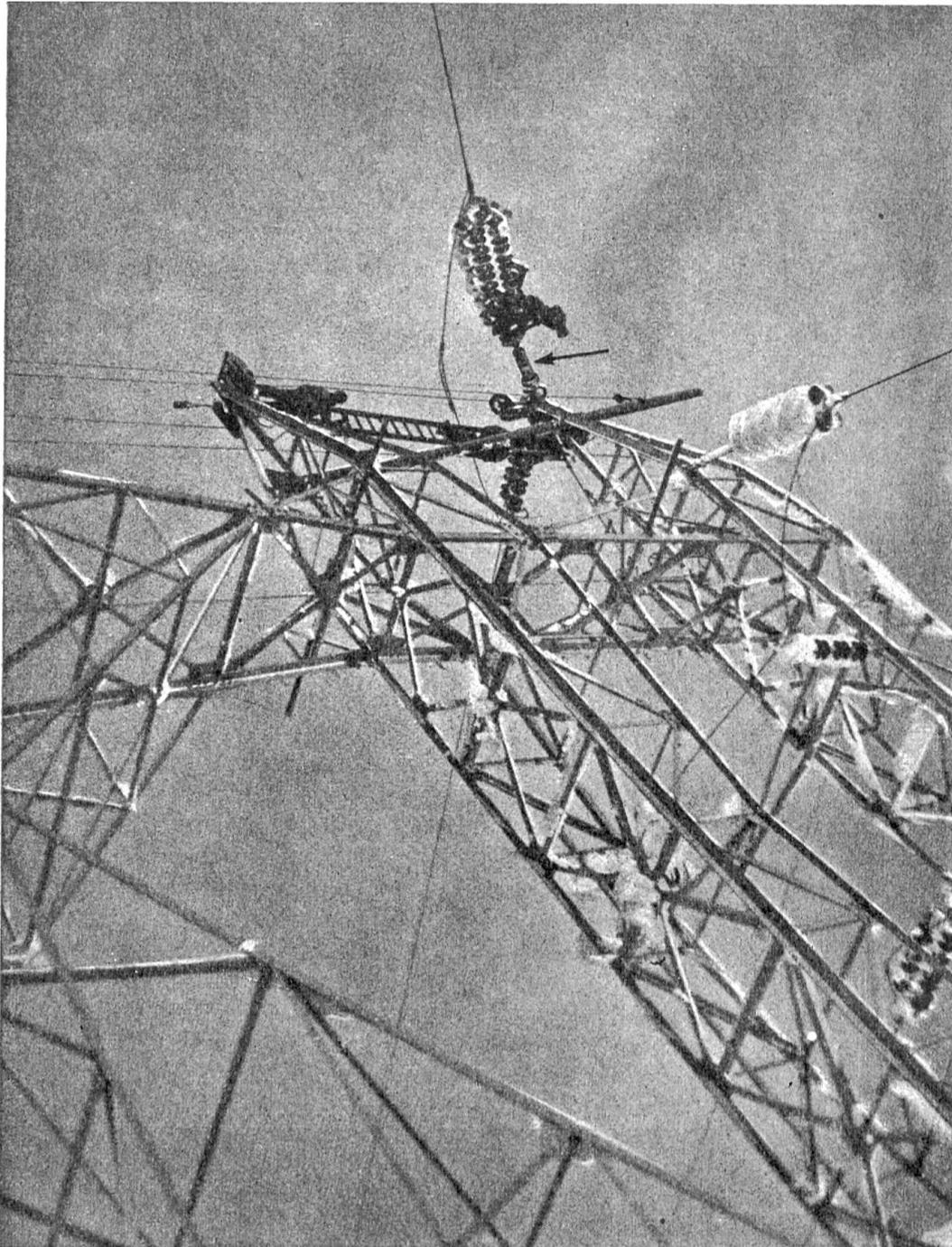


Abb. 5. Einbau eines Geber-Dynamometers zwischen Isolatorenkette und Mast der Gotthardleitung zur Fernregistrierung der Eislasten. Hersteller: Trüb, Täuber & Co. A.G., Zürich.

(Bild: Nordostschweizerische Kraftwerke A.G., Baden, Schweiz)

lich. Es ist jedoch nicht zweckmäßig, so hohe Spannungen in unmittelbare Nähe der Verbraucher zu bringen, weshalb eine Transformation auf Zwischenspannungen von 8 bis 15 kV in sogenannten Unterwerken vorgenommen wird. Von diesen aus wird dann die Weiterleitung an die Ortstransformerstationen vorgenommen, welche ihrerseits dem eigentlichen Verbraucher elektrische Energie in Niederspannung zur Verfügung stellen. Die mögliche Energieübertragung auf große Distanzen ist schon ziemlich früh dazu verwendet worden, Kraftwerke miteinander zu verbinden, was den Vorteil bietet, daß Belastungen verteilt werden

können und bei Ausfällen nicht ganze Gebiete ohne Strom sind. Auch für den Export elektrischer Energie sind solche Parallelschaltungen zu Lastverteilungen zweckmäßig. Im Zusammenhang mit dem Export steht die Übertragung über sehr große Distanzen (1000 km und mehr). Dies macht die Verwendung noch höherer Spannungen wünschenswert (380 kV und darüber). Die Probleme in dieser Richtung sind sehr groß und werden seit einigen Jahren studiert, wie auch die prinzipielle Frage, ob größte Leistungen bei so hohen Spannungen zweckmäßiger als Gleichstrom oder als Wechselstrom übertragen werden. Es sind schon für

beide Arten Versuche angestellt worden, welche jedoch bis heute kein definitives Urteil gestatten. Bei Hochspannungs-Freileitungen werden heute sehr hohe Anforderungen gestellt an die Betriebssicherheit sowohl bei starkem Wind, wie bei Sturm, Schnee und Vereisung, besonders bei solchen in den Bergen. Da die Anlagewerte sehr hoch sind, lohnen sich auch größere Kontrolleinrichtungen an solchen, wie z. B. fernregistrierende Eislastmesser (s. Abb. 5). Während Höchstspannungen praktisch nur mittels Freileitungen übertragen werden, kommen für Zwischenspannungen und besonders Niederspannungen außer solchen auch Kabel in Frage. Seit der Jahrhundertwende, wo Kabel infolge mangelnder Betriebssicherheit nur selten benutzt wurden, hat die ausgedehnte Verwendung elektrischer Energie zur Erstellung großer unterirdischer Kabelnetze geführt. Die Verteilung in Städten wäre heute ohne diese gar nicht denkbar.

Die vielen Anlagen, welche benötigt werden, um die Energie vom Kraftwerk zum Verbraucher zu bringen, mußten schon früh gegen Betriebsstörungen (Kurzschluß, Erdschluß, Blitzschlag usw.) gesichert werden. Außerdem müssen große und kleine Stromverbraucher zu- und abgeschaltet und die Spannung der Netze davon unabhängig in engen Grenzen gehalten werden können. Für diese Aufgaben dienen eine große Anzahl Schalt-, Regulier- und Schutzeinrichtungen, welche nach und nach immer vervollkommenet und dem Verwendungszweck besser angepaßt wurden. Wesentlich ist heute der in allen größeren Netzen verwendete Selektivschutz, der dafür sorgt, daß z. B. durch einen Kurzschluß nach der Ortstransformstation nicht noch das Unterwerk oder gar das Kraftwerk abgeschaltet wird. Dadurch würde ja einem großen Verbraucherkreise während der Unterbrechung kein Strom zugeführt. Die Auslösezeiten der automatischen Schalter sind deshalb derart gestaffelt, daß zuerst die unterste Einheit und dann in der Reihenfolge zunehmender Leistungen die folgenden Unterstationen

Abb. 6. Kommandoraum eines modernen Kraftwerkes (Wassen, Schweiz). Anlage: Maschinenfabrik Oerlikon, Oerlikon-Zürich. Meßinstrumente: Trüb, Täuber & Co. A.G., Zürich

und zuletzt das Kraftwerk abgetrennt werden. Bei der Erzeugung elektrischer Energie darf nicht vergessen werden, daß diese ein wirtschaftliches Gut darstellt und verkauft werden soll. Es drängen sich infolgedessen Einrichtungen auf, um festzustellen, wieviel elektrische Energie bezogen wurde. Dazu dient der Elektrizitätszähler. Er wurde in den letzten 50 Jahren bedeutend verbessert in bezug auf das Gewicht und den Preis. Wog ein einfacher Zähler im Jahre 1889 noch zirka 36 kg, so wiegt er heute 1 bis 2 kg. Weitere Verbesserungen wurden erzielt auf dem Gebiete der Genauigkeit sowie der Möglichkeiten der Doppel- und Dreifachtarifzählung, der Maximumzählung, Blindleistungszählung u. a.

Außer der Zählung ist noch erwähnenswert, daß die Überwachung und Regulierung der Erzeugung und Abgabe elektrischer Energie eine Vielzahl von Meßinstrumenten erfordert, welche teils anzeigend, teils registrierend die Belastung der Werke sichtbar machen. Auch diese wurden seit 1900 bedeutend verbessert, und es sind heute für fast jedes Meßproblem geeignete Meßinstrumente erhältlich. Abb. 6 zeigt das Bild eines modernen Kommandoraumes.

Das Gebiet der Entwicklung der Erzeugung und Verteilung elektrischer Energie ist so umfangreich und interessant, daß es auf diesem beschränkten Raume nur möglich war, das Allerwesentlichste anzugeben. Besonderer Wert wurde auf die Zusammenhänge und die Richtung der Entwicklung gelegt. Deshalb ist das für das Verständnis Erforderliche vor der Jahrhundertwende mitberücksichtigt worden.

