Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke

Band: 38 (1947)

Heft: 12

Artikel: Die Starkstromtechnik in Nordamerika : Eindrücke von einer Studienreise

Autor: Wanger, W.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-1061421

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: 15.12.2025

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

SCHWEIZERISCHER ELEKTROTECHNISCHER VEREIN

BULLETIN

REDAKTION:
Sekretariat des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins
Zürich 8, Seefeldstrasse 301

ADMINISTRATION:
Zürich, Stauffacherquai 36 ◆ Telephon 23 77 44
Postcheckkonto VIII 8481

Nachdruck von Text oder Figuren ist nur mit Zustimmung der Redaktion und nur mit Quellenangabe gestattet

38. Jahrgang Nr. 12 Samstag, 14. Juni 1947

Die Starkstromtechnik in Nordamerika

Eindrücke von einer Studienreise

Vortrag, gehalten vor dem SEV am 20. Mai 1947 in Zürich

von *W. Wanger*, Baden

621.31(7)

Allgemeines

Der Vorstand des SEV hat mich ersucht, Ihnen über meine Studienreise nach Nordamerika zu berichten. Es ist mir ein grosses Vergnügen, dieser Aufforderung nachzukommen. Meine Reise dauerte vom 29. August bis 21. Dezember 1946. Ich verwendete rund 14 Tage für einen Abstecher nach Kanada und hatte für die Vereinigten Staaten nach Abzug der Zeit für Hin- und Rückflug ziemlich genau drei Monate zur Verfügung.

Die Reise erfolgte im Auftrag der Firma Brown Boveri. Da wir in der Schweiz während des Krieges den Kontakt mit der amerikanischen Technik fast vollständig verloren hatten, sollte ich für das Gebiet der Starkstromtechnik den heutigen Stand der Entwicklung feststellen, insbesondere abklären, was während des Krieges Neues entwickelt worden war. Im weitern interessierten uns natürlich auch die Entwicklungs-*Tendenzen*, um so gut als möglich die nächste Zukunft voraussehen zu können. Ich sollte also, kurz gesagt, untersuchen, ob die amerikanische Starkstromtechnik gegenüber unserer Schweizer Technik irgendwie im Vorsprung sei und worin gegebenenfalls ihre Ueberlegenheit bestehe.

Das war eine ganz klare, aber auch eine sehr weit gesteckte Aufgabe. Für ihre Durchführung hatte ich vollständig freie Hand. Ich beschloss, in erster Linie Kraftwerkgesellschaften (im weitesten Sinne des Wortes), Fabriken von elektrischem Material und technische Hochschulen zu besuchen. Neben diesen drei Punkten figurierten auf dem Programm natürlich auch Fabriken mit industrieller Anwendung der Elektrizität. Allerdings zwang mich die begrenzte verfügbare Zeit zu einer gewissen Zurückhaltung, und auf ein paar Fabrikbesuche, die ich schon auf dem Programm hatte, musste ich dann infolge des Kohlenstreiks und wegen einer unerwarteten Fahrplanänderung beim Rückflug nach Europa doch noch verzichten. Im weitern interessierte ich mich für die elektrische Traktion und Zugbeleuchtung, und selbstverständlich liess ich mir die Gelegenheit nicht entgehen, ein paar grosse Ingenieurbureaux zu besuchen. Schliesslich habe ich noch beim National Bureau of Standards und bei einer chemischen Fabrik vorgesprochen. Ich will Sie mit der namentlichen Aufzählung all dieser vielen Firmen und Institutionen nicht behelligen; einzelne davon werde ich im Laufe des Vortrages erwähnen.

Sozusagen überall wurde ich recht gut empfangen, und die Leute waren mir gegenüber durchaus nicht zurückhaltend. Sie interessierten sich meistens sehr für die schweizerischen Forschungen und Entwicklungsarbeiten und für die europäische Technik im allgemeinen, und wenn ich ihnen davon berichtete, rückten sie auch mit *ihren* Ansichten heraus und zeigten mir recht offen alles, was ich zu sehen wünschte.

Da die Reise in erster Linie dem Studium der Starkstromtechnik diente, möchte ich auch im Vortrag das Hauptgewicht auf dieses Gebiet legen, um so mehr, als man ja sicher bei einer Veranstaltung des SEV erwartet, in erster Linie etwas über ein elektrotechnisches Thema zu hören. Ich werde mir aber auch ein paar wenige Bemerkungen über allgemeine Eindrücke in den Vereinigten Staaten erlauben und hoffe, dass Sie sich auch dafür interessieren.

Ueber den chronologischen und geographischen Ablauf meiner Reise möchte ich mich nicht äussern. Bei der Aufstellung des zeitlichen Programms war einerseits auf Klima und Jahreszeit Rücksicht zu nehmen: in Kanada z. B. sind gewisse Orte ausserhalb der grossen Städte im Winter nur schwer zugänglich. Anderseits musste die Route so festgelegt werden, dass ich nicht mehr Kilometer als unbedingt notwendig zurückzulegen hatte, denn man hat es da drüben mit sehr grossen Distanzen zu tun. Beispielsweise braucht der Schnellzug quer durch den Kontinent 3 Tage und 4 Nächte, und der Weg, den man dabei zurücklegt, ist nahezu doppelt so lang wie die Strecke von Madrid nach Warschau. Wenn man in einem so grossen Raum in beschränkter Zeit möglichst viel sehen will, muss man das Programm sehr sorgfältig aufstellen. Kuriositätshalber sei erwähnt, dass ich während der insgesamt 115 Tage

meiner Reise an nicht weniger als 60 verschiedenen Orten übernachtete; ich war also durchschnittlich nicht einmal zwei Nächte hintereinander am gleichen Ort.

Aus den interessanten Ausführungen, die Herr *H. Tschudi* an der Isolationstagung machte *), haben Sie wohl den Eindruck erhalten, dass nach Kriegsende im amerikanischen Wirtschaftsleben alles ein bisschen drunter und drüber ging. Den gleichen Eindruck erhielt ich auch aus den Schilderungen anderer Herren, die die Vereinigten Staaten vor mir besucht hatten. Es ist aber erstaunlich, wie rasch sich alles normalisierte, so dass bei meiner Reise, die etwa ein halbes Jahr nach der von Herrn Tschudi stattfand, die Verhältnisse schon sehr viel besser waren.

Uebrigens ist es gar nicht verwunderlich, dass beim Uebergang von der Kriegs- zur Friedensordnung nicht sofort alles restlos klappte, sondern am Anfang allerlei Reibungen und auch soziale Spannungen auftraten. Nachdem man während des Krieges ausserordentlich streng gearbeitet hatte — sehr lange Arbeitszeit, keine Ferien, usw. —, wollte es jedermann nach dem Waffenstillstand endlich einmal besser haben. So kam man dazu, überall die Vierzigstundenwoche einzuführen. Nun wollten aber die Arbeiter in 40 Stunden so viel verdienen, wie vorher in vielleicht 60 Stunden. Dadurch wurde die grosse Streikwelle ausgelöst, und das ganze Preis-Lohn-Gefüge, das während des Krieges durch Regierungsverordnungen stabil gehalten worden war, geriet ins Wanken.

Amerika befindet sich heute im Prozess eines eigentlichen sozialen Umbruchs. Viele Gewerkschaften haben eine Machtposition erringen können, die das, was wir in der Schweiz kennen, bei weitem übertrifft. So sind z. B. grosse Unternehmungen gezwungen worden, mit einer Gewerkschaft einen Vertrag abzuschliessen, wonach sie nur Mitglieder dieser Gewerkschaft als Arbeiter einstellen dürfen (closed shop!). Die Gewerkschaftsbeiträge, die vielleicht einmal dazu dienen, einen Streik gegen die Firma zu inszenieren, werden durch diese gleiche Firma den Arbeitern vom Lohn abgezogen und der Gewerkschaft abgeliefert.

Aber dieser ganze Machtkampf zwischen Arbeitern und Unternehmern spielt sich auf dem Boden der Privatwirtschaft ab. Nicht einmal Lewis, der extreme Führer der Kohlenarbeiter, will etwas von einer Verstaatlichung der Kohlengruben wissen. Die Amerikaner sind überzeugt, dass die Staatsbureaukratie bloss die persönliche Initiative tötet. Nachdem wir alle während des Krieges durch staatliche Notverordnungen eingeengt worden sind, ist es im Grunde genommen sonderbar, dass z. B. die Franzosen und Engländer das Heil in einer weitern Ausdehnung der Staatsmacht durch weitgehende Verstaatlichungen suchen. In Amerika ist das jedenfalls nicht so. —

Dem Europäer fällt drüben vor allem auf, wie reich das Land ist, reich an landwirtschaftlichen Produkten, an industriellen Rohstoffen, an Energie usw. Der allgemeine Lebensstandard ist unbedingt wesentlich höher als bei uns, und der Amerikaner betreibt in vieler Beziehung eine eigentliche Verschwendung, z. B. im Essen, in der Heizung, usw. Dieser hohe Lebensstandard hat zur Folge, dass die Arbeitskraft viel teurer ist als bei uns. Der mittlere Stundenlohn eines Arbeiters in der Starkstromindustrie beträgt mindestens $ 1.— (also Fr. 4.30), der eines gelernten Arbeiters noch ganz wesentlich mehr. Es ist klar, dass unter diesen Umständen der amerikanische Konstrukteur vor allem danach trachtet, die Arbeit im Fabrikationsprozess zu reduzieren, wobei Materialeinsparungen viel weniger wichtig sind. Viele lohnintensiven Konstruktionen, die für uns sehr vorteilhaft sind, eignen sich daher für die amerikanische Industrie durchaus nicht.

Einen frappanten Kontrast zu dem Ueberfluss auf vielen Gebieten bildet der Mangel auf andern Gebieten, dadurch verursacht, dass während des Krieges gewisse zivile Verbrauchsgüter überhaupt nicht fabriziert werden durften. So besteht heute eine riesige Nachfrage nach Autos, Kühlschränken, Rundfunkempfängern usw., die noch auf lange Zeit nicht voll befriedigt werden kann. Auch auf einen ganz gewöhnlichen Telephonanschluss muss man fast so lange warten wie in gewissen Stadtkreisen von Zürich. Und in der Starkstromindustrie ist es durchaus nicht besser; die Lieferfristen sind von der gleichen Grössenordnung wie bei uns. Die amerikanische Industrie ist also noch auf mehrere Jahre hinaus für den Inlandbedarf vollauf beschäftigt. So ist es verständlich, dass die auf Kriegsende erwartete grosse amerikanische Exportoffensive bisher ausgeblieben ist und wahrscheinlich noch längere Zeit ausbleiben wird.

Nach diesen paar Bemerkungen allgemeiner Art möchte ich nun auf die Starkstromtechnik übergehen, wobei ich zunächst versuchen werde, einen kleinen Ueberblick über die Energieversorgung des Kontinents zu geben.

Die Elektrizitätsversorgung

Im industriellen Osten der Staaten (Fig. 1) basiert die Elektrizitätsversorgung überwiegend auf thermischen Kraftwerken. Diese sind nahe bei den grossen Verbrauchszentren errichtet worden, so dass das Problem der Energie*übertragung* etwas in den Hintergrund tritt.

Ich hatte Gelegenheit, die grossen städtischen Netze in Philadelphia, New York, Detroit und Chicago zu besichtigen; dann das Netz der Indiana and Michigan Electric Co., das ein paar mittlere Industriestädte versorgt und dabei eher den Charakter eines Ueberlandnetzes hat. Von grossen hydraulischen Kraftwerken in diesem Gebiet kann ich nur Safe Harbor in der Nähe von Baltimore erwähnen.

Ein wirklich neues Kraftwerk habe ich in dieser ganzen Gegend nicht gesehen. Es gibt wohl interessante Erweiterungsbauten, es gibt neue Unterstationen und neue Leitungen; aber neue Anlagen im Grossen findet man nicht hier, sondern im Westen und im Süden. An beiden Orten ist die Bundes-

*) Erscheint später im Bulletin.

regierung massgebend am Ausbau der Wasserkräfte beteiligt.

Für das ganze Gebiet westlich des Mississippi ist das Bureau of Reclamation [1]) zuständig. Diese von der Bundesregierung finanzierte Organisation mit Sitz in Denver ist das grösste Ingenieurbureau des ganzen Landes. Es umfasst elektrische, mechanische, Dammbau- und Brückenbau-Abteilungen mit total etwa 2000 Angestellten und einem Jahresbudget von normalerweise etwa 150 Millionen $.

Die vom Bureau of Reclamation behandelten Projekte bezwecken nicht in erster Linie die Elektrizitätserzeugung, sondern ihre primäre Aufgabe ist die Bewässerung von Land mit zu wenig Niederschlägen und die Flussregulierung, wobei es sich einerseits um Schiffbarmachung, anderseits um Hochwassereindämmung handelt. Die hydraulische Energieerzeugung, die sich meistens mit diesen Projekten verbinden lässt, dient dann grossenteils zur Finanzierung der übrigen Anlagen. Die Regierung ist z. B. bestrebt, das Wasser für die künstliche Bewässerung umsonst oder doch sehr billig abzugeben.

[1]) Reclamation = Urbarmachung.

Fig. 2 gibt einen kleinen Begriff von der grossen Zahl solcher Anlagen; alle schwarzen Flecke bezeichnen Bauten des Bureau of Reclamation, wobei aber auf dieser Uebersichtskarte bei weitem nicht alle Werke ersichtlich sind. Als Beispiele von modernen hydraulischen Kraftwerken, die ich besuchte, möchte ich den bekannten Boulder Dam im Südwesten und die Kraftwerke am Columbia River im Nordwesten kurz besprechen.

Fig. 1
Uebersichtskarte der Vereinigten Staaten mit angrenzenden Gebieten

Boulder Dam liegt am Colorado River. Dieser Fluss führt durch eine Gegend, die fast das ganze Jahr ausserordentlich trocken ist. Aber im Frühling, wenn der Schnee auf den Rocky Mountains schmilzt, hat er während kurzer Zeit riesige Wassermengen. Was für eine Gewalt er dabei entwickelt, ersieht man am besten aus einem Bild vom Grand Canyon (Fig. 3), wo er sich etwa 1000 m tief ins Plateau eingegraben hat. Im Unterlauf überschwemmte er früher regelmässig grosse Gebiete. Man baute wohl für teures Geld gewaltige Dämme längs des Flusses, aber der Colorado durchbrach sie immer wieder.

Durch den Boulder Dam (Fig. 4) ist nun ein Staubecken geschaffen worden, das imstande ist, das Wasser des ganzen Jahres zu speichern und sogar

noch verschieden grosse Wasserführung einzelner Jahre auszugleichen. So füllt man jetzt im Frühjahr den Stausee und verhindert dadurch die verheerenden Ueberschwemmungen im Unterlauf. Nachher steht dann das ganze Jahr hindurch genug Wasser zur Verfügung, um weite Landstriche in Arizona und Südkalifornien zu bewässern und die grossen Städte wie Los Angeles und andere mit Trinkwasser zu versorgen. Gleichzeitig ist ein Kraftwerk mit über 1 Million Kilowatt installierter Leistung entstanden.

Fig. 5 zeigt den Damm in seiner ganzen Höhe, mit dem hufeisenförmig angeordneten Kraftwerk unten in der Schlucht. Der Damm ist über 200 m hoch. Die mächtigen Einlasstürme, das typische Wahrzeichen von Boulder Dam, sieht man am besten auf einem Bild aus der Zeit des Baues (Fig. 6); bei meinem Besuch waren sie zum grössten Teil unter Wasser. Fig. 7 zeigt noch die Schlucht vor dem Bau des Dammes.

Noch grösser als Boulder Dam ist das Kraftwerk Grand Coulee Dam am Columbia River (Fig. 8), das erst 1941 mit den ersten Maschinen in Betrieb genommen wurde. Im vollen Ausbau wird es rund 2 Millionen Kilowatt installierte Leistung haben. Was das bedeutet, erkennen Sie am besten, wenn

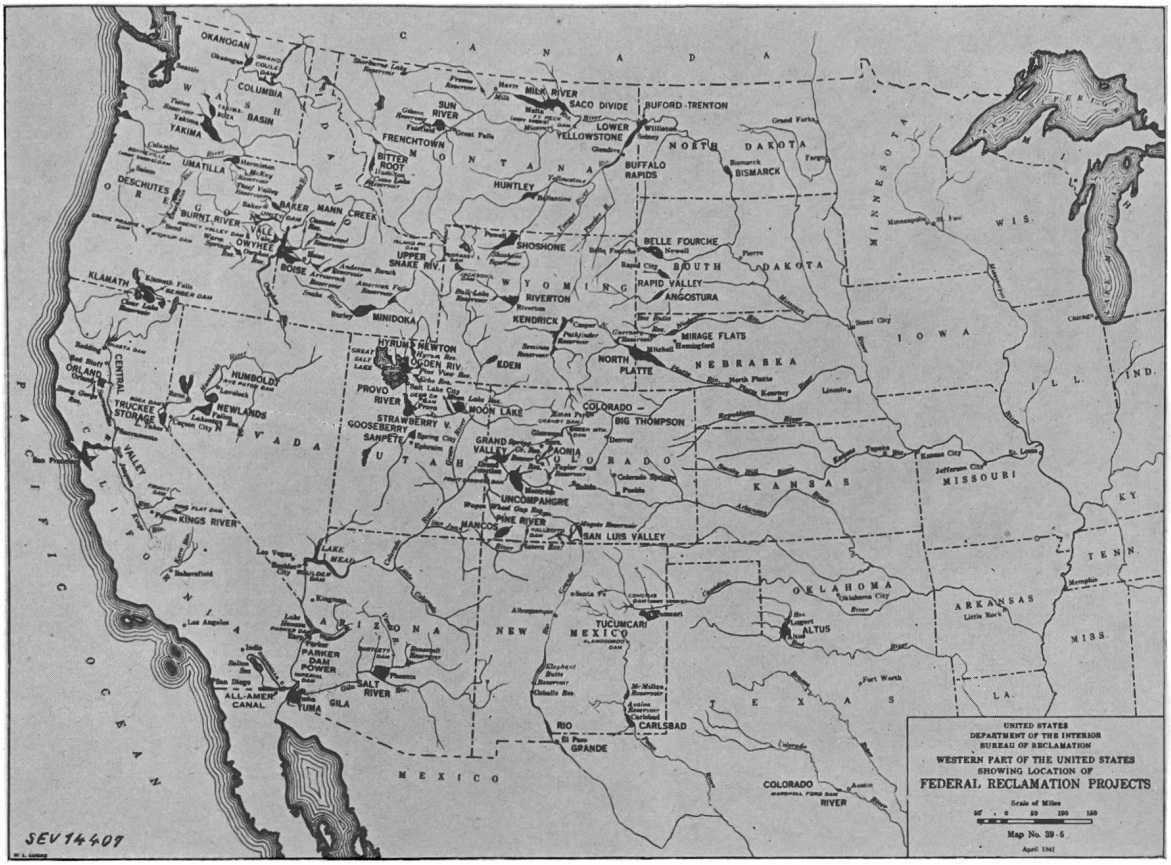

Fig. 2
Uebersichtskarte der Bauten des Bureau of Reclamation

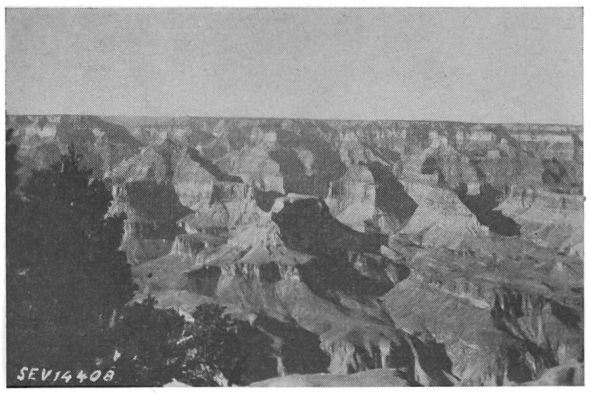

Fig. 3
Grand Canyon vom Südrand aus gesehen

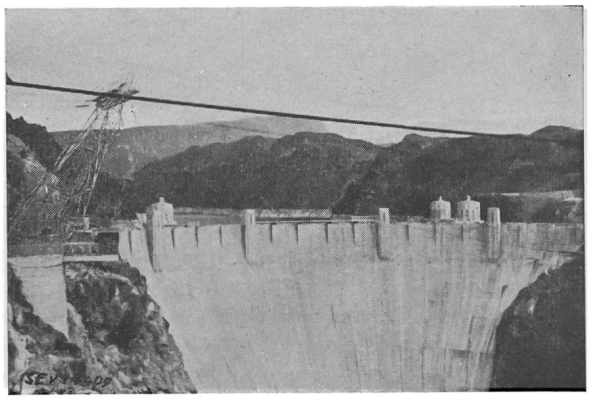

Fig. 4
Boulder Dam
Staumauer mit Stausee dahinter

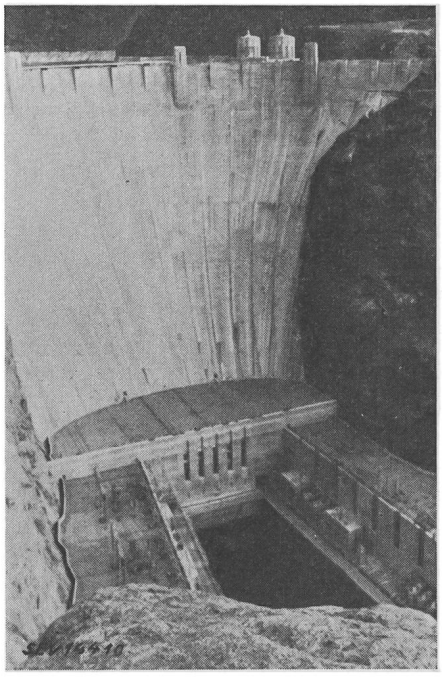

Fig. 5
Boulder Dam
Staumauer mit Kraftwerk

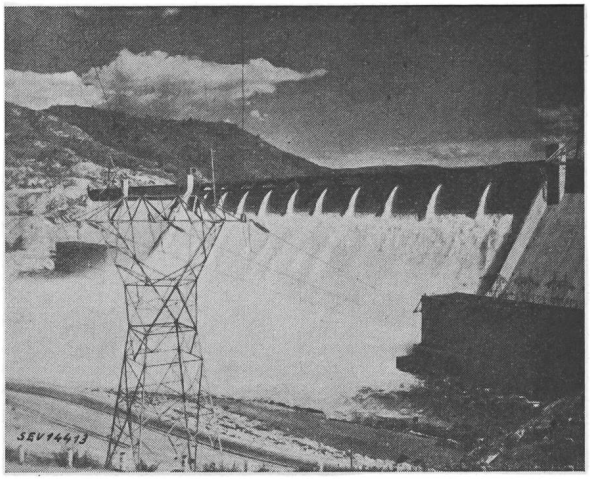

Fig. 8
Grand Coulee Dam

Sie sich vergegenwärtigen, dass die totale Leistung aller hydraulischen Kraftwerke der Allgemeinversorgung in der Schweiz zusammen nicht ganz so gross ist. Selbst das berühmte russische Kraftwerk am Dnjepr ist nur etwa 1/3 so gross wie Coulee Dam. Einen guten Begriff von der gewaltigen Grösse des Dammes gibt Fig. 9. Man beachte, wie klein die einzelnen Schafe im Vergleich zur Länge des Dammes erscheinen.

Die Gegend, in der das Kraftwerk steht, ist furchtbar kahl und öde, wie Fig. 10 zeigt. Jenseits des Flusses befindet sich die Siedlung, die für die Angestellten des Werkes angelegt worden ist. Fig. 11 zeigt ein Detail aus dieser Siedlung; man sieht, was für hübsche Gärten man bei künstlicher Bewässerung in dieser öden Gegend anlegen kann.

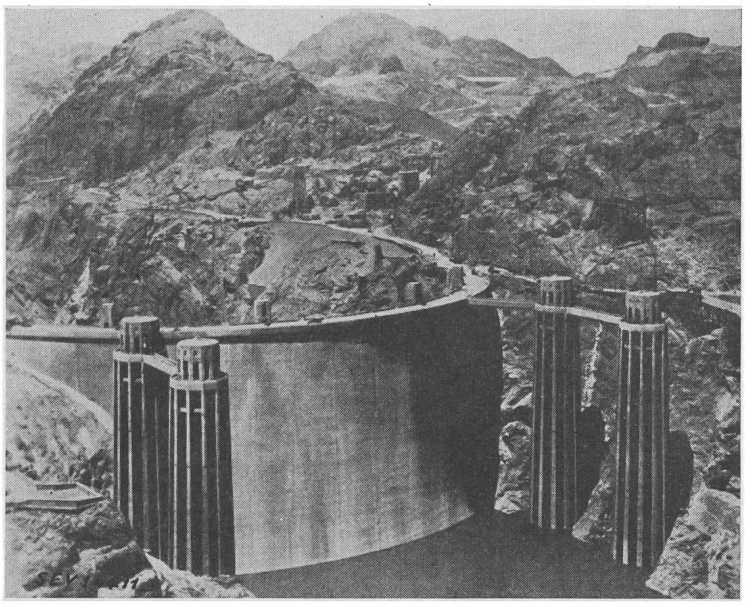

Fig. 6
Boulder Dam
Staumauer von der Oberwasserseite aus gesehen, kurz nach Staubeginn

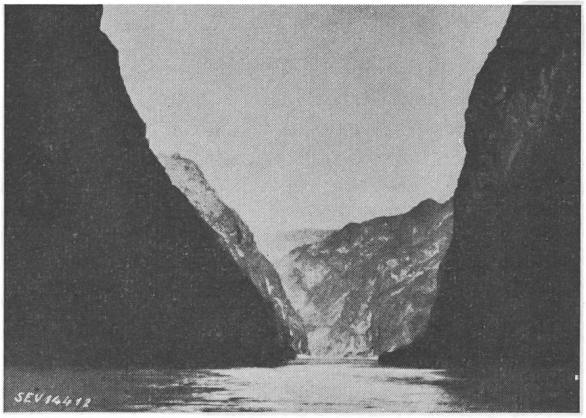

Fig. 7
Schlucht des Colorado-River vor dem Bau des Boulder Dam

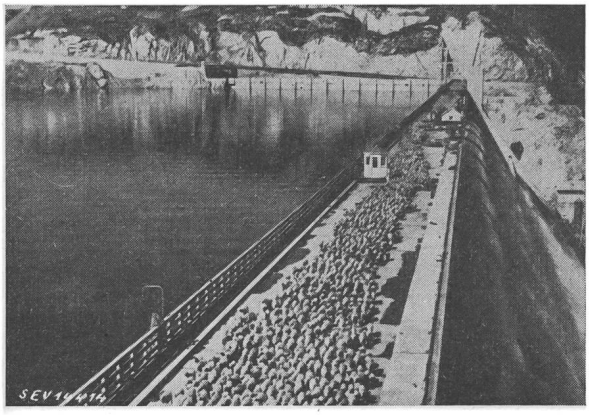

Fig. 9
Schafherde auf dem Grand Coulee Dam
(Länge des Dammes ca. 1300 m)

Die primäre Aufgabe des Coulee Dams ist die Bewässerung von grossen Ländereien im Staate Washington (Fig. 12). Dieses Land liegt aber teilweise etwas höher als der Stausee, so dass das Wasser noch etwa 11 m hinauf gepumpt werden muss. Dafür sind insgesamt 12 Pumpen zu 50 000 kW vor-

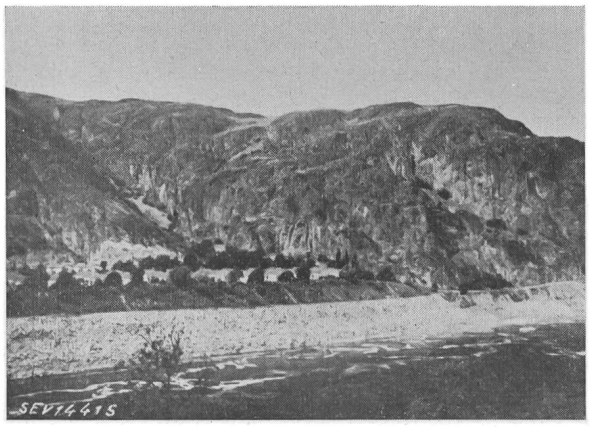

Fig. 10
Columbia River und Werksiedlung beim Grand Coulee Dam

gesehen (die Pumpanlage ist gegenwärtig im Bau). Zum Antrieb dienen Synchronmotoren, von denen je 2 von einem Generator gespeist werden.

Das Staubecken des Grand Coulee Dam gestattet eine zweckmässige Regulierung der Wasserführung des Columbia River, so dass auf den rund 1000 km zwischen Grand Coulee und der Mündung ins Meer noch eine ganze Anzahl grosser Kraftwerke gebaut werden können, ohne dass weitere grosse Stauseen nötig wären. Eines dieser Kraftwerke, Bonneville, ist schon ausgebaut und hat eine Leistung von 600 000 kVA.

Selbstverständlich wäre über diese und andere Werke des Bureau of Reclamation noch sehr viel

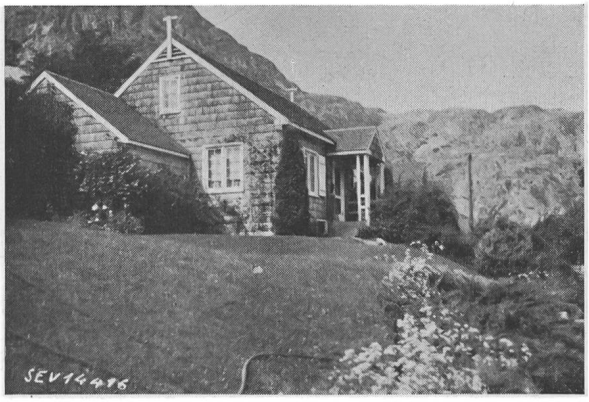

Fig. 11
Wohnhaus mit Garten beim Grand Coulee Dam
Der Wasserschlauch auf dem Rasen gibt die Erklärung für die schöne Vegetation in dieser trockenen Gegend

Interessantes zu sagen, aber ich muss mich beschränken. Eine andere bemerkenswerte Schöpfung der Bundesregierung ist die Tennessee Valley Authority (TVA). Der Tennesseefluss kommt im Süden des Landes in südwestlicher Richtung von den Appalachians herunter (Fig. 1), fliesst durch mehrere Staaten und ergiesst sich dann in den Ohio. Die TVA, die unter Roosevelts New Deal gegründet wurde, hatte die Aufgabe, den Tennessee und seine Nebenflüsse auszubauen. Der Zweck war Hochwasserregulierung, Schiffbarmachung und Energieerzeugung; Bewässerungsprobleme gibt es dagegen in dieser Gegend nicht.

Heute betreibt die TVA 26 grosse hydraulische, 6 grosse thermische und verschiedene kleine Kraftwerke mit einer totalen installierten Leistung von 2½ Millionen Kilowatt. Fig. 13 zeigt das von der TVA betreute Gebiet und die Lage der verschiedenen Kraftwerke am Tennessee und seinen Zuflüssen. Aus der untern Skizze sind die Gefällsverhältnisse ersichtlich. TVA ist die Gesellschaft mit der grössten Jahresproduktion von elektrischer Energie in der ganzen Welt. In diesem Zusammenhang ist auch interessant zu erwähnen, dass eine Menge Netze von Chicago bis zum Golf von Mexiko (siehe Fig. 1) zusammengeschlossen sind, wobei Generatoren von insgesamt etwa 12 Millionen Kilowatt parallel arbeiten.

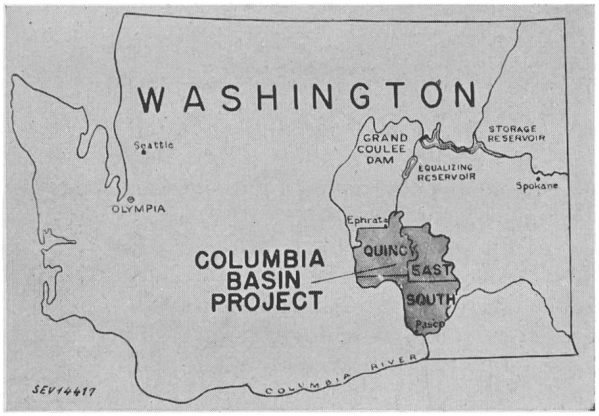

Fig. 12
Uebersichtskarte des Staates Washington
Die schraffierte Fläche bezeichnet das Gebiet, das aus dem Stausee des Grand Coulee Dam künstlich bewässert werden soll (hiezu dient das Ausgleichsbecken: Equalizing Reservoir)

Gestatten Sie mir noch ein paar Bemerkungen über die Elektrizitätsversorgung von Kanada, die zu einem sehr grossen Teil auf hydraulischer Erzeugung basiert. Das Beauharnois-Kraftwerk am St. Lawrence River bei Montreal und die verschiedenen Kraftwerke am Niagarafall können heute kaum mehr als modern gelten. Immerhin handelt es sich hier um ganz beträchtliche installierte Leistungen: Das grösste Niagarawerk, Queenston, hat z. B. etwa 400 000 kW, Beauharnois sogar 600 000 kW und soll mit der Zeit auf volle 1½ Millionen kW ausgebaut werden. Bemerkenswert ist der MFO-Generator im Kraftwerk Beauharnois, mit dem die Betriebsleitung sehr zufrieden ist.

Ein ganz modernes Kraftwerk ist Shipshaw am Saguenay River, einem Nebenfluss des St. Lawrence. Es liegt in einer verlassenen Gegend ein paar hundert Kilometer nördlich von Quebec und dient mit seiner Leistung von etwa 800 000 kW hauptsächlich zur Speisung der Aluminiumfabrik in Arvida, die nur wenige km von diesem Kraftwerk entfernt ist.

Eine Eigentümlichkeit der kanadischen Elektrizitätsversorgung ist, dass in der Provinz Ontario noch vorwiegend 25 Hz verwendet werden. Das ist bei der Beleuchtung ausserordentlich unangenehm, ganz besonders bei Verwendung von Gasentladungslampen, die in Amerika sehr verbreitet sind. In den Staaten hat man heute fast ausnahmslos die genormte Frequenz 60 Hz. Ausser bei den Bahnen findet man 25 Hz wohl kaum beim Verbraucher; dagegen wird diese niedrige Frequenz noch an einigen Orten für Erzeugung und Uebertragung verwendet, wobei vor der Abgabe an den Verbraucher in Gleichstrom umgeformt wird. Das wird z. B. in Chicago bei der Versorgung der Hoch-, Untergrund- und Strassenbahnen, sowie bei der Allgemeinversorgung des Zentrums so gemacht.

Auch andere Städte haben noch Gleichstrom im Zentrum, und obwohl fortwährend neue Gebiete auf Wechselstrom umgestellt werden, wächst die Gleichstromlast immer noch, statt abzunehmen, weil im verbleibenden Gebiet der Bedarf unablässig steigt. Diese Gleichstrom-Gebiete bereiten den Werken grosse Sorgen. Einen Begriff von der Bedeutung, die der Gleichstrom heute noch hat, vermittelt vielleicht die Tatsache, dass z. B. die New York Edison Co. allein in Manhattan noch 600 000 kW Last mit Gleichstrom versorgt.

Diese allgemeinen Betrachtungen über die Energieversorgung haben unter anderem die wohlbekannte Tatsache illustriert, dass in Amerika alles viel grösser ist als bei uns. Nun will ich versuchen, Ihnen zu zeigen, was, abgesehen von den andern Grössenverhältnissen, für die amerikanische Starkstromtechnik typisch ist, insbesondere, was drüben anders gemacht wird als bei uns. Selbstverständlich sind diese Unterschiede manchmal rein durch die in beiden Ländern abweichenden Voraussetzungen bedingt, ohne dass eine der beiden Lösungen absolut besser wäre; oder in andern Fällen hat die historische Entwicklung und die Gewohnheit zu verschiedenartiger Praxis geführt, wobei sich wiederum beide Lösungen mit guten Gründen vertreten lassen.

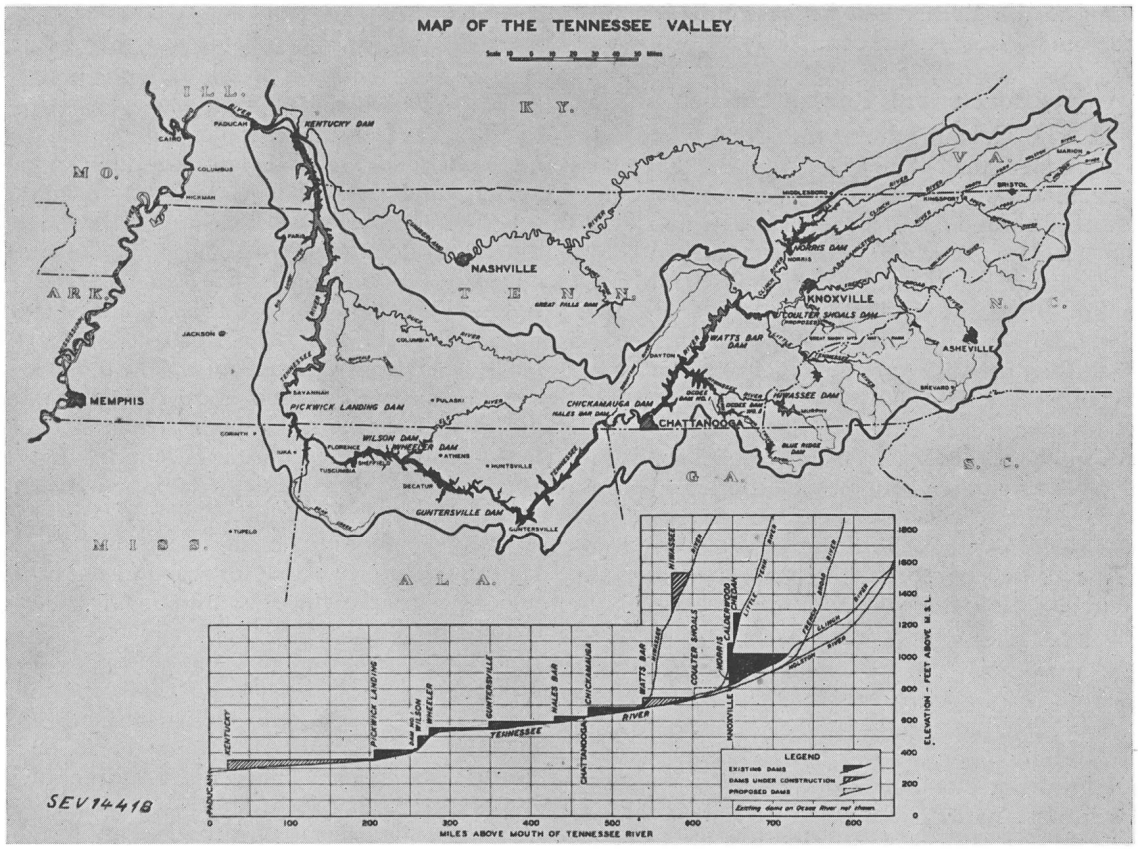

Fig. 13
Karte des Tennessee Valley und Längsprofil des Tennessee mit seinen Nebenflüssen

Wenn ich aber in manchem Fall entweder der amerikanischen oder der schweizerischen Technik den Vorzug gebe, so fassen Sie das bitte als meine rein persönliche Ansicht auf. Selbstverständlich will ich Ihnen meine Meinung nicht aufdrängen; aber ich glaube, der Vortrag ist interessanter, wenn ich zu den Problemen, die ich aufwerfe, auch Stellung nehme.

Ich möchte noch erwähnen, dass die kanadische Starkstromtechnik sehr stark von der amerikanischen beeinflusst ist. Anderseits stellt man aber in Kanada auch einen grossen europäischen Einfluss fest, der viel ausgeprägter ist als in den Staaten. So liegt die kanadische Technik zwischen der amerikanischen und europäischen drin, wobei sie sich wohl mehr an die erste anlehnt. Die folgenden Ausführungen über die «amerikanische» Praxis be-

ziehen sich, sofern ich nicht ausdrücklich etwas anderes sage, auf das, was in den Staaten üblich ist.

Ich werde meinen Ueberblick mit den Kraftwerken und Unterstationen beginnen, zuerst das einzelne Material, wie Generatoren, Transformatoren, Leistungsschalter, und anschliessend die Schaltanlagen behandeln, dann zu den Freileitungen und ihrem Schutz übergehen, weiter zu den allgemeinen Fragen der Fernkraftübertragung aufsteigen und einiges über die Energieverteilung in den grossen Städten berichten. Schliesslich kommen dann noch die verschiedenen Anwendungen der Elektrizität und die amerikanische Fabrikation und Forschung an die Reihe. Ich beginne mit den Generatoren und Phasenschiebern.

Generatoren und Phasenschieber

Auf diesem Gebiet scheint mir die wichtigste Abweichung der amerikanischen von der europäischen Praxis die weitgehende Verwendung der Wasserstoffkühlung bei Turbogeneratoren und Phasenschiebern. Die Amerikaner haben nun mit dieser Kühlungsart eine rund 20jährige Erfahrung, und es gilt als selbstverständlich, dass heute alle mittleren und grossen Turbogeneratoren mit Wasserstoffkühlung gebaut werden. Dabei wird meistens die zweipolige Bauart (also 3600 U./min) bevorzugt. Bei Westinghouse sah ich z. B. neben sehr vielen zweipoligen Turbogeneratoren mit Leistungen bis 100 000 kVA nur einen einzigen vierpoligen in Fabrikation. Auch Phasenschieber werden fast ausnahmslos für Wasserstoffkühlung gebaut, und zwar ohne Zögern noch bei Drehzahlen bis hinunter auf 1200 oder 900, ja sogar 600 U./min.

Die bekannten Vorteile sind die kleinern Ventilationsverluste und die bessere Kühlfähigkeit des Wasserstoffs. Eine Maschine gleicher Grösse kann daher etwa 20...30 % höher belastet werden als bei Luftkühlung, oder bei gleicher Belastung ist der Wirkungsgrad um ein paar Zehntel Prozent höher. Der Gewinn ist natürlich um so grösser, je höher die Drehzahl ist; aber sogar für Phasenschieber von bloss 900 U./min liegen amerikanische Messungen vor, wonach die totalen Leerlaufverluste in Wasserstoff nur etwa halb so gross sind wie in Luft. Im weitern hat der vollständige Abschluss der Maschine von der Aussenluft zur Folge, dass die Kühlkanäle nicht verschmutzt und verstopft werden, und schliesslich soll die Isolation durch Glimmen im Wasserstoff weniger angegriffen werden als in Luft mit ihrem Sauerstoffgehalt.

Wir waren in der Schweiz bis jetzt in der Anwendung der Wasserstoffkühlung zurückhaltend, wohl hauptsächlich, weil uns die erforderlichen Hilfseinrichtungen, z. B. zur Entgasung des Dichtungs- und Lageröls, zu kompliziert schienen. Der Betrieb in Amerika hat nun aber gezeigt, dass man diese Hilfseinrichtungen grossenteils gar nicht braucht. Der Wasserstoff im Innern der Maschine wird unter einem kleinen Ueberdruck von etwa 25 mm Hg gehalten, damit sicher keine Luft eindringt, sondern durch vorhandene Undichtigkeiten eher etwas Wasserstoff nach aussen fliesst. Die Vakuumanlagen zur fortlaufenden Aufbereitung des Oels werden neuerdings überhaupt nicht mehr gebaut. Von allen Betriebsleuten wurde mir bestätigt, dass der ganze Unterhalt im Nachfüllen von Wasserstoff bestehe, der zuvor getrocknet wird. Man hat also heute bestimmt keinen Grund mehr, sich wegen vermeintlicher Komplikationen die unbestrittenen Vorteile der Wasserstoffkühlung entgehen zu lassen.

Die Gehäuse der wasserstoffgekühlten Maschinen sind so stark konstruiert, dass sie standhalten, wenn wider alles Erwarten im Innern ein explosives Gasgemisch entstehen und sich entzünden sollte. Die Lager sind auch bei den grössten Einheiten in die Schilder eingebaut. Die Dichtungsstelle befindet sich bei den Generatoren neuerdings innerhalb der Lager, so dass diese im Betrieb zugänglich sind. Bei den Phasenschiebern wird dagegen zur Vereinfachung des Dichtungsproblems die Welle überhaupt nicht aus dem Gehäuse herausgeführt.

Wird der Druck des Wasserstoffs erhöht, so steigen die Ventilationsverluste nur unbedeutend, aber die Kühlfähigkeit nimmt stark zu. Es sind bereits ein paar Maschinen gebaut worden, die mit 1 kg/cm² Ueberdruck betrieben werden können. Sie halten dabei eine um 15...20 % höhere Belastung aus als bei Wasserstoffkühlung mit ungefähr Atmosphärendruck. Bis jetzt werden aber alle diese Maschinen die meiste Zeit mit kleinem Druck betrieben und laufen höchstens während Ueberlastungsperioden von einigen Stunden mit dem hohen Druck.

Die Wasserstoffkühlung erleichtert auch die Aufstellung der Maschinen im Freien. Für Phasenschieber und Umformer gilt das heute als absolut normal, und zwar nicht etwa nur in Gegenden mit besonders wenig Niederschlägen. Auch die Generatoren von Davis Dam, d. i. das kürzlich begonnene Kraftwerk am Colorado oberhalb Boulder Dam, werden im Freien aufgestellt werden. Es ist ein Portalkran und eine Halle für die Reparatur der Rotoren vorgesehen, aber die Statoren bleiben bei Reparaturen im Freien stehen.

Generatoren mit sehr hohen Spannungen, die seit einiger Zeit in England grosse Mode sind, gibt es in Amerika nicht. Auch die grössten Einheiten haben meistens nur etwa 13 000 V. Neuerdings beabsichtigt man, in einzelnen Fällen auf 18 000 V zu gehen, weil das wegen der kleinern Ströme wirtschaftlich vorteilhaft scheint; dagegen wird nicht in Betracht gezogen, statt Generator und Transformator einen Generator von sehr hoher Spannung zu verwenden.

Mit Rücksicht auf die Stabilität des Parallelbetriebes wird in Amerika grosser Wert auf eine rasche Spannungsregelung gelegt. Das bedingt in erster Linie eine reichliche Dimensionierung der Erregermaschinen, was sich mit unserer Auffassung deckt. Die in den Staaten verwendeten Regler arbeiten meistens nach dem Vibrationsprinzip, neuerdings kombiniert mit Schützensteuerungen. Die in der Schweiz üblichen Sektorregler sind diesen Reglern bestimmt ebenbürtig; bei Bedarf können sie ebenfalls durch Schützensteuerungen ergänzt werden.

In einigen wenigen Anlagen werden statt Erregermaschinen Gleichrichter verwendet, um eine möglichst rasche Regelung zu erzielen. Ich glaube aber, dass sich mit Serieerregern in Verbindung mit den besten Schnellreglern ähnliche Resultate erreichen lassen, so dass wenigstens vorderhand keine Veranlassung besteht, die amerikanischen «electronic exciters» zu kopieren.

Es fällt einem überall auf, dass in die Nuten eingebettete Thermoelemente, die wir als schwachen Punkt in der Isolation lieber vermeiden, in grosser Zahl angewendet werden. General Electric Company — ich verwende hiefür im folgenden die in Amerika übliche Abkürzung GE — gibt z. B. an, dass sie solche Elemente bei allen Turbomaschinen über 750 kVA und bei allen übrigen Synchronmaschinen über 1500 kVA verwendet. Thermorelais — unsere bevorzugte Lösung — kommen also nur für kleine Maschinen in Betracht.

Beim Schleuderversuch hat die amerikanische Praxis ganz andere Wege eingeschlagen als die schweizerische. Die Rotoren werden nur sehr selten in der Fabrik geschleudert. Dagegen schleudert man regelmässig im Kraftwerk. Dabei wird dann aber nicht nur der Rotor des Generators geprüft, sondern auch die Turbine, die Lager, die Fundamente usw. haben den Beweis zu erbringen, dass sie der im Betrieb möglichen höchsten Drehzahl gewachsen sind.

Transformatoren

Damit gehe ich nun zu den Transformatoren über. Wir hatten hier seit einiger Zeit den Eindruck, dass die Amerikaner mehr und mehr den dreiphasigen Transformator gegenüber drei einphasigen bevorzugen, und somit in ihrer Entwicklung gerade den umgekehrten Weg gehen als wir, da wir ja früher ausschliesslich dreiphasige Transformatoren gebaut hatten und heute für grosse Leistungen häufig einphasige vorziehen. Dieser Eindruck ist aber nicht richtig, im Gegenteil, die früher in Amerika und Europa sehr verschiedene Praxis gleicht sich gegenseitig mehr und mehr an, ungefähr auf der Basis, dass man für Leistungen unterhalb 20 000...30 000 kVA dreiphasige Transformatoren vorzieht und darüber eher Gruppen von drei einphasigen verwendet. Allerdings sind in Amerika schon Dreiphasentransformatoren bis 105 000 kVA ausgeführt worden [2]), aber das sind Ausnahmen.

Alle Fabrikanten sind vom Auskochen der Transformatoren im Oel vollständig abgekommen; der aktive Teil wird ohne Oel im sogenannten Atmungsprozess getrocknet, worauf das vorbehandelte Oel unter Vakuum eingesaugt wird.

Neuerdings werden die Kessel meistens zugeschweisst statt verschraubt, um aller Dichtungssorgen enthoben zu sein; sogar die Flansche der Durchführungen werden angeschweisst. Bei einer Revision oder Reparatur wird die Naht mit dem Schweissbrenner aufgeschnitten und nachher von neuem zugeschweisst, wobei genügend Material vorhanden ist, um diese Operation etwa 6...8mal auszuführen. Das dürfte für eine totale Lebensdauer von etwa 50 Jahren genügen. Es wird behauptet, dass das Auf- und Zuschweissen weniger Arbeit verursache als das Lösen und Anziehen der vielen Bolzen bei der alten Konstruktion. Ich zweifle aber, ob sich die Schweizer Betriebsleute mit einer solchen Praxis befreunden könnten.

In bezug auf die Kühlung sieht man bei Transformatoren, die vor dem Krieg gebaut wurden, alle möglichen Systeme: natürliche und forcierte Luftkühlung, Wasserkühlung mit Kühlschlangen im Transformatorkessel oder mit Kühler ausserhalb, usw. Als modern gilt eine Kühlart, die mit dem Schlagwort «forced oil, forced air» bezeichnet wird. Dabei wird das Oel mit Pumpen durch die ausserhalb des Transformators angebrachten Radiatoren gepumpt, die ihrerseits mit Ventilatoren angeblasen werden; die forcierte Luftkühlung ist aber nur bei hoher Belastung in Betrieb. Der grösste bisher gebaute Einphasen-Transformator hat bei abgestellten Ventilatoren eine Leistung von 50 000 kVA, bei forcierter Kühlung von 88 000 kVA. Das gibt also für die dreiphasige Gruppe 264 000 kVA.

Die Transformatoren sind selten frei aufgestellt wie bei uns. Auch in Freiluftanlagen sind sie meistens durch Betonwände von den Nachbartransformatoren getrennt, damit bei einem allfälligen Oelbrand dessen Ausbreitung verhindert wird. In zwei Anlagen sah ich sogar fixfertig installierte Löscheinrichtungen. Bei Bedarf muss bloss ein Schieber geöffnet werden, und dann wird der Transformator von allen Seiten heftig mit Wasser bespritzt. Ich habe nicht den Eindruck, dass die amerikanischen Transformatoren häufigere Defekte haben als unsere, aber die Amerikaner sind gewöhnt, viel mehr Schutz- und Sicherheitsmassnahmen vorzusehen als wir; ich werde bei den Schaltanlagen noch darauf zurückkommen.

Sozusagen alle neuern Grosstransformatoren haben ein Stickstoffkissen über dem Oelspiegel und sind gegen die umgebende Luft vollständig abgeschlossen. Die Wärmedehnungen des Oels werden von diesem Stickstoffkissen aufgenommen, wobei noch gewisse Einrichtungen erforderlich sind, damit der Druck nicht zu hoch steigt (normalerweise ist ein Ueberdruck von etwa 25 mm Hg vorhanden). Man ist zu dieser Konstruktion gekommen, weil bei einem Transformator mit Oelkonservator bei Defekt Oel ausgestossen werden kann und die Gefahr eines Oelbrandes besteht. Ferner erwartet man eine geringere Alterung des Oels, wenn es überhaupt nicht mit dem Sauerstoff der Luft in Berührung kommt.

Dazu ist zu sagen, dass bei einer Konstruktion mit Oelkonservator, bei der das Oel an der Berührungsfläche mit der Luft nicht heiss wird, keine wesentliche Oxydation zu erwarten ist. Und die Erfahrungen, die bei Defekten an Transformatoren in der Schweiz gemacht wurden, sind auch nicht derart, dass sie die Einführung einer Komplikation, wie das Stickstoffkissen eine darstellt, unbedingt nötig machen würden.

Bemerkenswert ist, dass der Buchholtzschutz in Amerika ausserordentlich selten verwendet wird. Bei

[2]) Von Westinghouse für Philadelphia Electric Company.

der neuen Konstruktion mit Stickstoffkissen ist er natürlich sowieso nicht möglich.

Die Stossprüfung ist in Amerika sehr verbreitet. Ausser den Prüfungen mit voller und abgeschnittener Welle, die in den amerikanischen Landesvorschriften verankert sind, wird manchmal noch eine verschärfte Prüfung durchgeführt, bei der der Ueberschlag in der Front erfolgt und etwa 50...70 % höhere Spannungen erreicht werden als bei der Prüfung mit voller Welle. Immerhin werden alle Stossprüfungen nur auf ausdrückliches Verlangen der Kunden und gegen besondere Bezahlung durchgeführt.

Damit möchte ich das Gebiet der Grosstransformatoren verlassen und zu den Transformatoren übergehen, die in Gebäuden aufgestellt werden. Hier wird immer noch in grossem Umfang unbrennbares Oel, genannt Pyranol oder Inerteen, verwendet. Es wird zugegeben, dass alle diese Isolierflüssigkeiten unter dem Einfluss eines Lichtbogens Chlor abspalten, so dass bei einem Defekt die Gefährdung des Personals kaum geringer ist als bei einem Oelbrand. Es sind lediglich Vorschriften der Behörden oder Bestimmungen der Versicherungsgesellschaften, die zur Verwendung dieser sogenannten unbrennbaren Oele zwingen. Wir hatten also sicher recht, dass wir in der Schweiz nichts davon wissen wollten.

Eine viel bessere Lösung scheint die Verwendung von luftisolierten Trocken-Transformatoren zu sein, die heute bereits bis zu Spannungen von etwa 15 kV und Leistungen von etwa 6000 kVA verwendet werden und eine sehr rasche Verbreitung finden. Allein Westinghouse hat seit 1937 solche Transformatoren für eine totale Leistung von etwa 1½ Millionen kVA hergestellt.

Von den kleinen Transformatoren, den sog. «distribution transformers», möchte ich bloss erwähnen, dass verschiedene Fabriken hiefür eine riesige Seriefabrikation aufgezogen haben. So fabriziert z. B. Westinghouse monatlich 18 000 Stück. Solche Verteiltransformatoren sind meist einphasig; in diesem Fall ist der Eisenkörper aus Bändern gewickelt, wobei eine Blechqualität gewählt wird, bei der die Eisenverluste für ein Feld in Längsrichtung besonders klein sind. Der Amerikaner nennt solche Bleche «oriented laminations».

Ganz allgemein steht in Amerika besseres Blech zur Verfügung als bei uns. Wegen der verschiedenen Maßsysteme und Nennfrequenzen ist zwar ein Vergleich etwas schwierig, aber wenn man die erhaltenen Werte so gut wie möglich auf unsere Normen umrechnet, so findet man bei GE eine Verlustziffer von etwa 0,75 W/kg bei 10 000 Gs und 50 Hz, während Westinghouse aus eigener Fabrikation sogar Bleche mit 0,65 W/kg hat. Demgegenüber hat das beste Blech, das in der Schweiz in grössern Mengen erhältlich ist, eine Verlustziffer von etwa 0,9 W/kg.

Leistungsschalter

Wenn ich nun auf die Leistungsschalter übergehe, muss ich zuerst feststellen, dass zwar in Amerika die Entwicklung ölloser Schalter viel später eingesetzt hat als in Europa, dass aber heute volle Uebereinstimmung darüber herrscht, in Innenraumanlagen keine Oelschalter zu verwenden. Allis Chalmers fabrizieren einen Druckluftschalter, der der Brown-Boveri-Konstruktion nachgebildet ist. Westinghouse baut einen Druckluftschalter mit Querblasung, während der bekannte Deion-Grid-Schalter als überholt gilt. GE endlich stellt neben Hochleistungs-Druckluftschaltern einen Schalter mit magnetischer Blasung her, der durch Kolbenbewegung noch etwas Blasluft erzeugt, um auch die kleinen Ströme rasch und sicher zu löschen.

In Freiluftanlagen, d. h. bei Spannungen über 15 kV, trifft man dagegen in den Staaten fast keine Druckluftschalter, und auch ölarme Schalter habe ich selten gesehen. Wahrscheinlich ist der «Impulse Breaker» der GE der einzige Typ. Fig. 14 zeigt einen solchen Schalter in der Anlage Boulder Dam. Er soll

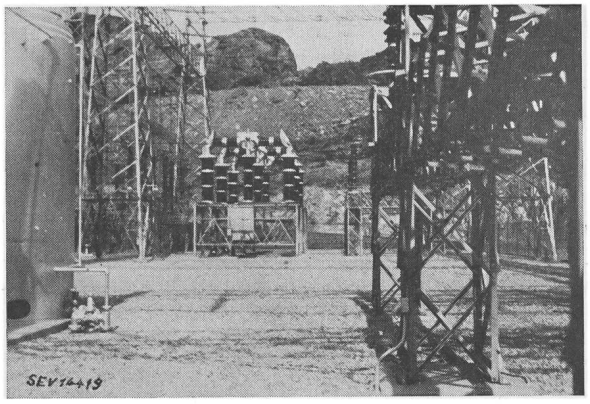

Fig. 14
Impulse Breaker der GE in der Anlage Boulder Dam

etwas teurer sein als ein entsprechender Grosskessel-Oelschalter und ist trotz guter Betriebserfahrungen nur in wenigen Exemplaren gebaut worden. GE hat übrigens auch einen Druckluftschalter für 138 kV gebaut, doch scheint es vorderhand nur ein Versuchsschalter zu sein.

So beherrscht denn in den amerikanischen Freiluftanlagen immer noch der Grosskessel-Oelschalter das Feld. Die Schalter der berühmten Boulder-Dam-Leitung (Fig. 15) haben nicht weniger als 4500 l Oel pro Pol. Zur Erreichung kurzer Schaltzeiten wurden früher riesige Federspeicher verwendet; heute rüstet man diese grossen Freiluftschalter allgemein mit Druckluftantrieben aus.

Im Gegensatz zu den Staaten hat der Freiluft-Druckluftschalter in Kanada eine viel weitere Verbreitung gefunden. Neben einer grossen Bestellung, die Brown Boveri kürzlich erhielt, möchte ich vor allem die Druckluftschalter der English Electric Co. erwähnen, die bis zu Spannungen von 120 kV in Betrieb sind.

Die Abschaltzeiten sind in Amerika genormt; man spricht von 8, 5 oder 3 cycle breakers mit Schaltzeiten von etwa 0,13, 0,08 bzw. 0,05 s. Dabei sind die Schalter mit 0,13 s weitaus am häufigsten; in neue Höchstspannungsanlagen werden nun häufig Schalter mit 0,08 s eingebaut; aber Schalter mit 0,05 s sind immer noch relativ selten und werden

nur an ganz wichtigen Orten verwendet. Es braucht eben einen viel grössern Aufwand, um mit Grosskesselölschaltern so kurze Schaltzeiten zu erreichen, als etwa mit Druckluftschaltern.

Schaltanlagen

Damit möchte ich die Schalter verlassen und einiges über die Anordnung und Schaltung der Sammelschienen und die Schaltanlagen im allgemeinen sagen.

Die Sammelschienen in allen wichtigen Kraftwerken und Unterstationen sind doppelt ausgelegt, wobei in der Regel für jeden Anschluss (Leitung, Transformator oder Generator) zwei Leistungsschalter und insgesamt 4 Trenner vorhanden sind. Hier verwenden *wir* dagegen gewöhnlich nur *einen* Schalter und schalten mit Trennern auf die gewünschte Sammelschiene um. Eine andere, ebenfalls teure, aber in Amerika beliebte Lösung ist die Verwendung von Ringsammelschienen, wobei die Sammelschiene zwischen je zwei Anschlüssen durch Schalter unterbrochen werden kann. Gewisse Kraftwerke gehen hier sogar so weit, jedesmal zwei Schalter hintereinander zu verwenden, damit bei Defekt des einen immer noch der andere die Auftrennung übernehmen kann.

Bei fast allen grossen Innenraumanlagen sind die Sammelschienen phasenweise gekapselt, früher in Beton- oder Eternitkanälen, heute in Blechverschalungen (aber ohne Compoundfüllung). Die seinerzeit propagierte Anordnung der einzelnen Phasen in verschiedenen Stockwerken gilt heute als überholt, an ihre Stelle ist die Kapselung der Phasen getreten. Die neueste Ausführung verwendet ein starkes Stahlrohr, wobei die blanke Schiene im Zentrum verläuft und durch Isolatoren in 4 Richtungen gegen das Rohr abgestützt wird. Häufig sind die Blechkanäle selber gegen das Gebäude isoliert und in einzelne Abschnitte unterteilt, die über Stromwandler mit der Erde verbunden sind. Bei Erdschluss eines Pols fliesst dann ein Strom durch einen dieser Wandler und sorgt für die Auslösung der betreffenden Schalter.

Alle diese Konstruktionen sind natürlich unsinnig teuer. Die Amerikaner glauben aber, sie seien mit Rücksicht auf die grosse Energiekonzentration unerlässlich. Ein grosser Nachteil ist auch die vollständige Unübersichtlichkeit solcher Anlagen. Das führt zwangsläufig zur Anwendung einer Unmenge Verriegelungen. Die Amerikaner sind wahre Meister im Aufbau ausgeklügelter Verriegelungssysteme, aber der europäische Ingenieur wird sich kaum dafür begeistern können.

Die Freiluftanlagen weichen im allgemeinen weniger von der europäischen Praxis ab, abgesehen von der reichlicheren Verwendung von Leistungsschaltern. Meistens sind die Eisenkonstruktionen viel schwerer als bei uns. Typisch ist in dieser Beziehung Fig. 15, die einen Ausschnitt aus der Schaltanlage des Boulder-Dam-Werkes zeigt. Die verschiedenen Apparate werden immer so hoch aufgestellt, dass man sich ohne Gefahr frei in der Anlage bewegen kann. Höchstspannungsschalter mit ihren sehr hohen Kesseln stehen also direkt auf dem Boden, niedrigere Apparate werden dagegen auf Sockel gestellt.

Es ist üblich, als Blitzschutz Erdseile über die ganze Station zu spannen. Ueberspannungsableiter werden in der Regel bis zu den höchsten Spannungen verwendet, während sie bekanntlich in der Schweiz bei Spannungen über 50 kV selten sind. Dabei werden sie in Amerika meistens direkt auf

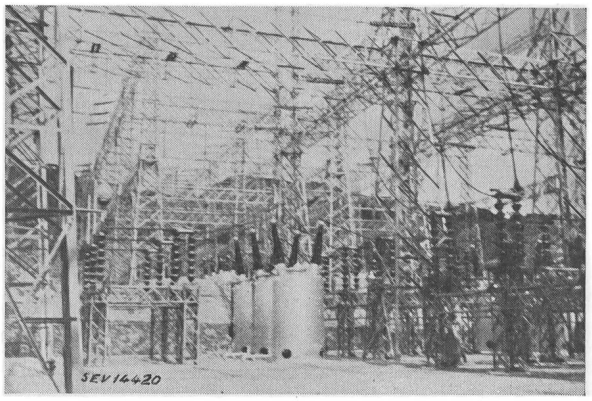

Fig. 15
Ausschnitt aus der Schaltanlage Boulder Dam
In der Mitte Grosskesselölschalter für 287 kV

oder neben den Transformatoren aufgestellt, was natürlich zur Folge hat, dass die Leitungsschalter nicht gegen Ueberschläge geschützt werden. Der Amerikaner nimmt diesen Nachteil in Kauf; für ihn ist der Ableiter vor allem ein Schutz für den Transformator, weniger ein Mittel für die Koordination der Isolationen der ganzen Anlage.

In jeder Schaltanlage steht eine starke Akkumulatoren-Batterie zur Verfügung. Ihre Spannung beträgt meist 250 V, nur in kleinen Verteilstationen manchmal 125 V. Für die Auslösung verwendet man gewöhnlich eine besondere Batterie von 45 V. Relativ selten wird für kleinere Schalter der sog. Rectax-Antrieb verwendet, ein Gleichstromantrieb mit angebautem Gleichrichter mit Anschluss an ein Wechselstromnetz.

Die Schalttafeln in den Kommandoräumen sind in der Regel weniger übersichtlich und auch ästhetisch weniger befriedigend als bei uns. Leuchtschaltbilder habe ich nirgends angetroffen; höchstens wird ganz ausnahmsweise der Spannungszustand gewisser Anlageteile durch kleine Glimmlampen auf einer Schalttafel angezeigt. Gewöhnlich werden aber nur die Schalterstellungen rückgemeldet. Beim Load-Dispatcher, der die Energieerzeugung und -Verteilung eines ganzen Netzes dirigiert, werden die Befehle und Rückmeldungen meist nur telephonisch übermittelt und die Stellungen der verschiedenen Schalter von Hand mit grünen und roten Steckknöpfen auf einer Blechtafel markiert. Im Kommandoraum des Kraftwerkes einer Millionenstadt habe ich sogar gesehen, dass man sich damit begnügte, gewöhnliche grüne und rote Stecknadeln in eine alte Blaupause einzustecken, wobei die grünen Stecknadelköpfe natürlich auf dem blauen Papier kaum sichtbar waren. Auf diesem Gebiet

könnten die Amerikaner sicher von den Europäern noch viel lernen, wenn sie auch nicht gerade die teuren Leuchtschaltbilder kopieren.

In städtischen Verteilnetzen sind metallgekapselte Freiluftschalttafeln, sog. «unit-type substations», sehr beliebt. Sie enthalten in einem kubischen Blechgehäuse Transformator, Schalter, Messinstrumente und alles Zubehör. Ein kleiner Heizwiderstand verhindert Kondenswasserbildung im Innern. Diese Schalttafeln werden in der Fabrik fix-fertig montiert und irgendwo im Freien aufgestellt, je nach Bedarf auch 2...3 nebeneinander. Wenn dann die Last weiter wächst, wird an Stelle dieser Freiluftschalttafeln eine Unterstation gebaut, und die Schalttafeln stehen für anderweitige Verwendung zur Verfügung.

Man hat jetzt etwa 10 Jahre Betriebserfahrung mit diesen «unit-type substations» und ist mit ihnen sehr zufrieden. Um einen Begriff von ihrer grossen Verbreitung zu geben, sei erwähnt, dass z. B. die Philadelphia Electric Company 60 und die Pacific Electric Company 50 solche Einheiten mit Leistungen von 2500...4500 kW haben. Der Preis für die komplette Station wird mit zirka $ 7.—/kVA angegeben.

Aber auch für Aufstellung in Gebäuden werden ähnliche Einheitsschaltanlagen, «cubicles» genannt, in riesigen Mengen hergestellt, nur werden dann natürlich die Instrumente aussen aufgebaut. Jedermann ist überzeugt, dass es wesentlich billiger ist, die Schaltanlagen konfektionsmässig in der Fabrik fertig zusammenzustellen als wie früher an Ort und Stelle nach Mass aufzubauen. Sowohl bei der GE als auch bei Westinghouse und Allis Chalmers findet man in mächtigen Fabrikhallen nichts anderes als solche «cubicles». Die grösste Anlage dieser Art, die ich sah, ist etwa 20 m lang und 6 m hoch und hat oberspannungsseitig 35 kV.

Im Zusammenhang mit den Schaltanlagen möchte ich noch ein paar Worte über Automatisierung und Fernsteuerung von Kraftwerken und Unterstationen sagen. Man macht davon in Amerika sehr weitgehenden Gebrauch. Das grösste ferngesteuerte Kraftwerk, das ich sah, ist Ocoee 3 im Netz der Tennessee Valley Authority. Es hat einen Wasserkraftgenerator von 30 000 kVA sowie einen Dreiwicklungs-Transformator mit 2 abgehenden Leitungen und wird von einem andern Kraftwerk aus, das einige km unterhalb am gleichen Fluss liegt, ferngesteuert. Und zwar wird dort lediglich auf einen Knopf gedrückt, und dann läuft automatisch die Gruppe im obern Kraftwerk hoch und schaltet sich über den Transformator auf eine der beiden Leitungen parallel. Zur Fernsteuerung und Rückmeldung dient ein Kabel mit 52 Adern. Die Anlage ist seit 1943 im Betrieb.

Auch die Unterstationen in den Städten werden heute meistens von einer zentralen Stelle aus ferngesteuert. Hier verlegt man gewöhnlich nicht so viele Steuerleitungen, sondern verwendet Impulsschaltungen.

Selbst in grossen bedienten Kraftwerken wird möglichst viel automatisiert. So ist z. B. in einem neuen Kraftwerk für die Bedienung einer 150 000-kW-Dampfturbinengruppe ein einziger Mann vorgesehen, der lediglich im Notfall einen Druckknopf zu betätigen hat; alles andere geht automatisch.

Freileitungen und ihr Schutz

Von den Kraftwerken und Unterstationen gehe ich nun auf die Freileitungen über. Für Höchstspannungsleitungen wird meist Aluminium vorgezogen, weil die Leitung als Ganzes billiger wird als mit Kupfer. Gewöhnlich verwendet man Aluminiumkabel mit Stahlseele, ausnahmsweise auch Reinaluminium mit kleinern Mastabständen; die bei uns üblichen Aluminiumlegierungen habe ich dagegen nirgends gesehen.

Doppelleitungen auf den gleichen Masten — in Tannenbaumanordnung — sind mit Rücksicht auf die kleinern Kosten bei weitem zahlreicher als zwei Einfachleitungen auf verschiedenem Gestänge. Die Betriebserfahrungen zeigen, dass bei Blitzschlägen meistens nur *ein* Strang einer Doppelleitung betroffen wird, sofern man sehr rasche Schalter und Relais hat.

Die Verwendung von Erdseilen stellt den Normalfall dar; immerhin hat man hie und da darauf verzichtet, besonders wenn man Schalter mit Schnellwiedereinschaltung verwendet. In der amerikanischen Literatur liest man viel von den sog. «counterpoises», das sind im Boden verlegte durchgehende

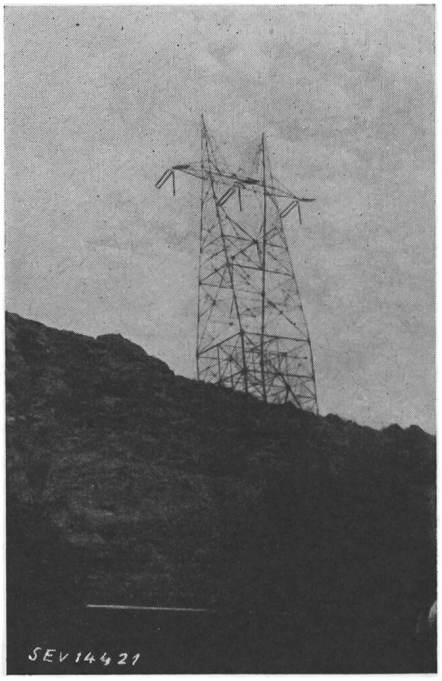

Fig. 16
Eiserner Gittermast der 287-kV-Leitung von Boulder Dam nach Los Angeles

Erdseile. Sie sind aber tatsächlich nur in sehr wenigen Fällen, z. B. in der Wüste oder in felsigem Gebiet, verwendet worden. Meistens erreicht man ohne dieses teure Mittel einen genügend kleinen Erdwiderstand der Masten, d. h. etwa 5...15 Ohm.

Die Isolation ist gewöhnlich gut so hoch wie bei unsern bestisolierten Leitungen, aber nur in Ausnahmefällen wesentlich höher.

Höchstspannungsleitungen haben fast immer eiserne Gittermasten. Fig. 16 zeigt einen Mast der Boulder-Dam-Leitung von 287 kV. Im Gegensatz dazu sieht man noch bei Spannungen bis 115 kV

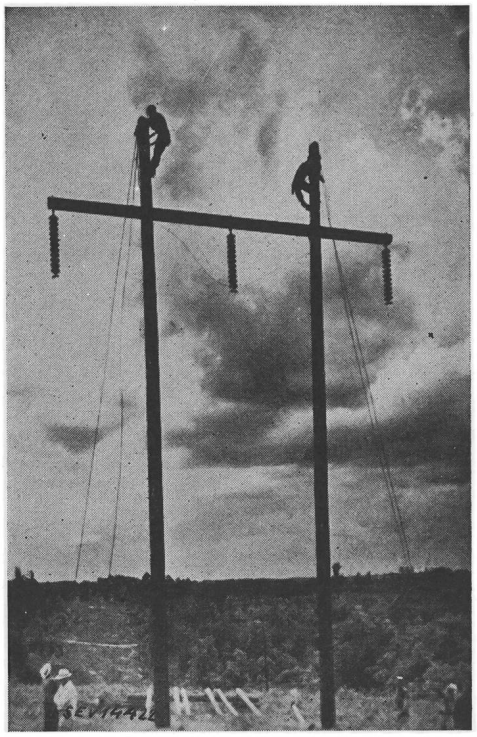

Fig. 17
Holzmast einer 154-kV-Verbindungsleitung zwischen den Netzen der TVA und der American Gas and Electric Company

häufig Holzstangen. Während des Krieges ging man sogar noch weiter; TVA baute z. B. Holzmastleitungen von 154 kV (Fig. 17). Man rechnet bei guter Imprägnierung des Unterteils der Stangen mit einer Lebensdauer von 20...25 Jahren und nimmt an, dass nach dieser Zeit ohnehin eine neue Leitung — z. B. von höherer Spannung — gebaut werden müsse.

Auf den wichtigen Leitungen verwendet man für den Kurzschlußschutz normalerweise Distanzrelais. Während *wir* in der Regel kürzere Schalterzeiten haben, haben die Amerikaner dafür kürzere Relaiszeiten als wir. Sie erreichen diese durch einen wesentlichen Mehraufwand an Relais.

Beim Distanzschutz lösen nur dann die Relais an *beiden* Enden einer Leitungsstrecke mit Grundzeit aus, wenn der Kurzschluss auf den mittlern 80 % der Strecke liegt. Bei einem Fehler auf den restlichen 20 % wird immer an einem Ende mit wesentlicher Verzögerung ausgelöst; nur auf diese Art lässt sich eine vollständige Selektivität erreichen. Um nun für die ganze Leitungslänge eine Auslösung mit Grundzeit zu erzwingen, wird der Distanzschutz in Amerika sehr häufig durch eine Hochfrequenzkopplung ergänzt. Man lässt dann die erste Zone der Distanzrelais etwa 10 % über die zu schützende Leitungsstrecke hinausragen, wodurch man die gewünschte rasche Auslösung für die ganze Strecke erzielt, aber die Selektivität verliert. Diese wird nun dadurch zurückgewonnen, dass man durch Vermittlung der Hochfrequenzkopplung die Schalter nur dann auslösen lässt, wenn die Relais an *beiden* Enden der Strecke ansprechen, was ein eindeutiges Kriterium dafür ist, dass der Fehler auf der betrachteten Strecke liegt.

Dies ist der normale Schutz für wichtige Hochspannungsleitungen. Nur in relativ seltenen Fällen wird auf den Distanzschutz verzichtet und ein reiner Hochfrequenz-Streckenschutz verwendet.

Probleme der Grosskraftübertragung

Unter den spezifischen Fragen der Grosskraftübertragung möchte ich zunächst auf die Nullpunkterdung eingehen. Weitaus die meisten Hochspannungsnetze haben den Nullpunkt direkt geerdet, und es besteht keine Absicht, davon abzuweichen. Immerhin sind einzelne Leitungen, die nicht in einem grossen, vermaschten Netz liegen, mit Löschspulen versehen worden, und man anerkennt allgemein, dass durch diese Massnahme der Betrieb wesentlich verbessert wurde. Man ist aber der Auffassung, dass man bei grösserer Vermaschung und Zusammenschluss mit andern Netzen den Nullpunkt wieder fest erden werde.

Praktisch ist also die Löschspule in Amerika viel weniger verbreitet als bei uns, theoretisch geht aber die amerikanische Ansicht wie die unsrige dahin, dass Löschspulen in Hochspannungsnetzen mässiger Ausdehnung sehr nützlich sind, dass jedoch bei sehr grosser Netzausdehnung und sehr hoher Spannung die direkte Nullpunkterdung vorzuziehen sei. Als Kuriosum erwähne ich, dass die GE noch vor ein paar Monaten in ihrer Zeitschrift beim Bericht über die Verwendung von Löschspulen in einem 13- und einem 100-kV-Netz in Colorado von einer Pionierleistung sprach.

Von der Methode der Schnellwiedereinschaltung wird in Amerika viel häufiger Gebrauch gemacht als bei uns. Aber von einer allgemeinen Verwendung oder auch nur allgemeinen Anerkennung dieser Methode ist man weit entfernt. Man darf eben nicht übersehen, dass ihr Nutzen nicht mehr so gross ist, wenn man es mit Doppelleitungen oder stark vermaschten Netzen zu tun hat. Besteht bei der Wiedereinschaltung der Kurzschluss noch, so wird die Stabilität sogar mehr gefährdet als ohne Wiedereinschaltung. Die polweise Unterbrechung und Schnellwiedereinschaltung, die besonders bei Einfachleitungen sehr interessant scheint, wird auch in Amerika erst tastend ausprobiert.

Bei der Einführung höherer Spannungen ist man sehr zurückhaltend. Im Osten des Landes müssen eben — wie ich schon auseinandersetzte — trotz Zusammenschluss einer riesigen Gesamtleistung nur mässige Leistungen wirklich fernübertragen werden. Aber auch im Westen, wo die hydraulischen Kraftwerke vorherrschen und die Energie tatsächlich über beträchtliche Distanzen übertragen werden muss, zögert man sehr mit der Wahl höherer Span-

nungen. Die massgebenden Kreise sind der Ansicht, dass man eine Uebertragungsleitung mit mindestens 120 % der natürlichen Leistung belasten müsse, um sie wirtschaftlich zu betreiben. Während des Krieges ist man sogar auf 130...140 % der natürlichen Leistung gegangen und will nun zunächst die bestehenden 220-kV-Leitungen so hoch ausnützen und die Stabilität durch Verwendung von Seriekapazitäten oder sogar durch Ueberdimensionierung der Generatoren verbessern, bevor man Leitungen höherer Spannung baut. Die nächst höhere Spannung wird bestimmt nicht über 345 kV liegen.

Das heisst aber nicht, dass die Energieübertragung mit höherer Spannung nicht studiert werde. Auf Initiative von Philip Sporn von der American Gas and Electric Company werden zwei etwa 2½ km lange Versuchsleitungen gebaut, auf denen man Versuche mit Spannungen bis 500 kV machen kann. Westinghouse liefert die Transformatoren und Ableiter, GE die Schalter und verschiedene andere Firmen die übrige Ausrüstung. Die Leitungen sollen sukzessive mit verschiedenen Leitern und Leiteranordnungen unter Spannung gesetzt werden, ohne dass aber nennenswerte Leistung übertragen würde.

Bei der grossen Zurückhaltung gegenüber der Einführung höherer Wechselspannungen scheint es verständlich, dass in Amerika auch die Aussichten für Gleichstrom-Hochspannungs-Uebertragung nicht sehr günstig sind. Ich habe verschiedene Herren getroffen, die sich für die Gleichstromübertragung theoretisch sehr interessierten, aber ich habe niemand gefunden, der bereit wäre, für eine solche Uebertragung Geld auszulegen.

Energieverteilung in den grossen Städten

Für die grossen Ueberlandnetze im Westen ist die Stabilität des Parallelbetriebes eines der wichtigsten und schwierigsten Probleme. Daher erklärt es sich auch, dass man neben äusserst kurzen Relais- und Schalterzeiten auf grosses Kurzschlussverhältnis und kleine transiente Reaktanz der Generatoren so viel Wert legt. Allerdings haben kleine Reaktanzen grosse Kurzschlußströme zur Folge, und es ist klar, dass man in Mammutkraftwerken wie Grand Coulee oder Boulder Dam durch besondere Massnahmen — z. B. Unterteilung der Sammelschienen und Parallelschaltung bloss am Ende der Uebertragungs-Leitungen — versuchen muss, die Kurzschlußströme möglichst zu begrenzen.

In den grossen Städten des Ostens gibt es dagegen praktisch kein Stabilitätsproblem. Da hier ungeheure Leistungen auf relativ kleinem Raum konzentriert sind — Chicago hat z. B. eine Spitzenlast von zirka 2 Millionen kW, New York sogar noch mehr —, muss das ganze Bestreben darauf gerichtet sein, die Kurzschlußströme zu verkleinern.

Man findet daher in all diesen Netzen eine Verteilung der Leistung auf zwei oder mehr Sammelschienensysteme, die nur über grosse Drosselspulen miteinander verbunden werden. In Umspannstationen von 24/4,8 kV habe ich auch gesehen, dass die einzelnen abgehenden Kabel überhaupt nicht zusammengeschaltet sind. Fällt dann z. B. der Transformator, der ein solches Kabel speist, infolge einer Störung aus, so muss das Kabel auf den Nachbartransformator umgeschaltet werden, wofür eine rasch wirkende Automatik vorhanden ist. Manchmal werden sogar in Serie mit Generatoren oder Transformatoren Drosselspulen verwendet, wenn man sich nicht mehr anders zu helfen weiss.

Trotz solchen Massnahmen hat man es meistens mit riesigen Kurzschlussleistungen zu tun. In New York rechnet man noch im 13-kV-Netz mit etwa 2½ Millionen kVA asymmetrisch, was einem Effektivwert des Kurzschlußstromes von etwa 75 000 A (Wechselstromglied) oder einem maximalen Scheitelwert von etwa 200 000 A entspricht.

Die hohe Kurzschlussleistung hat natürlich auch ihre Vorteile. So kann man es sich z. B. in Safe Harbor leisten, eine 30 000 - kVA - Umformergruppe (60/25 Hz) in Korndörfferschaltung anlaufen zu lassen. Auch die Niederspannungsnetze sind sehr stark. In New York lässt man Kurzschlussankermotoren bis etwa 40 kW am Einheitsnetz mit voller Spannung anlaufen, während die entsprechende Zahl beispielsweise für Basel 3 kW beträgt.

Im Gegensatz zu unsern Städten sind in den amerikanischen meistens 2 Hochspannungsverteilnetze einander überlagert. Das höhere mit etwa 24 oder vielleicht auch bloss 12 kV speist Unterstationen, in denen auf etwa 2 oder 4 kV herabtransformiert wird, und erst mit dieser kleinen Spannung werden dann die Transformatoren beliefert, an die das Niederspannungsnetz angeschlossen ist. Nur in wenigen Städten transformiert man von 13 kV oder mehr direkt auf Niederspannung.

Wechselstrom-Netzmodelle

Man kann nicht von der amerikanischen Energie-Uebertragung und -Verteilung reden, ohne die Wechselstrom-Netzmodelle zu erwähnen. Es sind heute in den Vereinigten Staaten etwa 20 Stück in Betrieb. Die grossen Werke und Fabrikanten haben ihr eigenes, mittlere und kleinere Werke haben sich zusammengeschlossen und gemeinsam eines angeschafft, das dann z. B. von einer technischen Hochschule verwaltet wird. Man darf schon behaupten, dass heute keine einzige neue Leitung mehr gebaut wird, ohne dass man zuvor mit einem Netzmodell in jeder Hinsicht gründlich abgeklärt hat, welches die günstigste Lösung ist.

Die knappe Zeit erlaubt mir leider nicht, ausführlich über Aufbau und Wirkungsweise dieser Netzmodelle zu sprechen. Ein Wechselstrom-Netzmodell kostet je nach Grösse etwa $ 100 000.— oder noch mehr. Die amerikanischen Betriebsleute sind aber restlos davon überzeugt, dass sich dieser grosse Betrag in kurzer Zeit bezahlt macht.

Mutatoren

Wenn ich nun zur industriellen Anwendung der Elektrizität übergehe, möchte ich mit den Mutatoren beginnen. Diese erleben unstreitig ihren grössten Triumph bei der Aluminiumherstellung. Ich hatte Gelegenheit, die gewaltigen Anlagen der Aluminum Company of Canada in Arvida zu besichtigen.

Brown Boveri hat dorthin unmittelbar vor dem Kriege 30 Gross-Mutatoren geliefert; das war damals eine der grössten Gleichrichteranlagen. Nachher, als eine Lieferung aus Europa nicht mehr möglich war, kam eine wesentlich grössere Anlage von GE, ebenfalls mit Mehranodengefässen, und schliesslich wurde auch diese durch eine neue Fabrik mit Einanodengefässen von Westinghouse in den Schatten gestellt. Diese neueste Fabrik ist ein paar hundert Meter breit und rund einen Kilometer lang, also etwa so lang wie die Zürcher Bahnhofstrasse vom Bahnhof bis zum See, und auf einer Seite des Gebäudes steht auf dieser ganzen Länge in ununterbrochener Reihe ein Gleichrichter nach dem andern.

Wie in dieser Anlage, sind auch in andern an Stelle von Grossgleichrichtern immer mehr Einanodengefässe verwendet worden. Die Betriebsleute schätzen in erster Linie die leichte Auswechselbarkeit bei Störungen. Dieser Vorteil wird allerdings noch viel besser zur Geltung kommen, wenn im Gegensatz zur heutigen amerikanischen Praxis die Einanodengefässe ohne Pumpen und Wasserkühlung erhältlich sind.

Für Kontaktgleichrichter besteht überall Interesse, jedoch hat noch keine der drei grossen Firmen die Fabrikation aufgenommen. Dagegen beabsichtigt die ITE Circuit Breaker Company of Philadelphia dies zu tun, nachdem scheinbar einer ihrer Mitarbeiter aus Berlin die Siemensschen Unterlagen mitgebracht hat.

Elektrische Traktion

Die elektrische Traktion spielt bei den Hoch- und Untergrundbahnen der Großstädte eine wichtige Rolle; ich hatte aber nicht den Eindruck, dass im Lauf der letzten Jahre irgendwelche nennenswerten Fortschritte gemacht worden sind.

Elektrische Strassenbahnen gibt es in sämtlichen grössern Städten. Obwohl sich der Autobusverkehr sehr entwickelt hat, übertrifft er wohl nur in den paar allergrössten Städten den Strassenbahnverkehr und hat ihn in keiner einzigen Großstadt ganz verdrängen können wie z. B. in Paris. Der modernste Strassenbahnwagen ist auch heute noch der sog. Presidents' Conference Car (abgekürzt PCC), der leichte und schnelle Einheitswagen, der seit der zweiten Hälfte der Dreissigerjahre in verschiedenen Städten eingeführt wurde. Aber nur an wenigen Orten (z. B. in Washington) beherrscht er wirklich das Stadtbild. Meistens ist er in der Minderzahl, und viele Städte haben diesen Wagentyp überhaupt noch nicht. Und was man sonst sieht, ist zum grösseren Teil veraltetes Material in recht schlechtem Zustand. Auch der Trolleybus ist hie und da zu treffen, doch spielt er im Stadtverkehr nur eine untergeordnete Rolle.

Die Vollbahnen haben zum allergrössten Teil Dampf- und neuerdings in riesigem Ausmass Dieseltraktion. Von den ganz wenigen elektrischen Strecken sind wohl diejenigen der Pennsylvania Railroad von New York nach Washington und Harrisburg und in Long Island die wichtigsten. Sie werden mit 11 000 V Einphasenstrom von 25 Hz betrieben. Die Energie wird von 3 verschiedenen Kraftwerkgesellschaften gekauft, wobei zum Teil 25-Hz-Generatoren, zum Teil starre Umformer zur Kopplung mit den 60-Hz-Netzen verwendet werden.

Der Betrieb funktioniert ausgezeichnet und ist sehr dicht. Zwischen New York und Philadelphia fährt ungefähr jede halbe Stunde ein Schnellzug. Dazu kommt der Vororts- und Güterverkehr, so dass z. B. in Philadelphia allein auf den Linien der Pennsylvania Railroad täglich etwa 600 Züge abgehen und ebensoviele ankommen.

Zugbeleuchtung und Verwandtes

Für die Zugbeleuchtung wird bis jetzt fast ausschliesslich ein System mit etwa 30 V Gleichstrom und den üblichen Glühlampen verwendet. Es wird von Zugbeleuchtung mit Fluoreszenzlicht gesprochen; ich habe aber auf meinen vielen Reisen nur einen einzigen Wagen mit dieser Beleuchtung getroffen; das Licht war sehr reichlich und angenehm.

Anscheinend ist für *neue* Wagen sehr weitgehend Fluoreszenzlicht vorgesehen; Pennsylvania Railroad hat z. B. 30 Stück mit dieser Beleuchtung bestellt. In diesen Wagen sollen Batterien von 110 V verwendet werden; für den Betrieb der Lampen wird in Wechselstrom umgeformt. Angenehm ist, dass heute schon in allen Schlafwagen 120-V-Steckdosen für den Anschluss elektrischer Rasierapparate vorhanden sind.

Alle Schnellzugswagen auf sämtlichen Hauptlinien der USA haben Luftkonditionierung. Beim bisherigen System werden grosse Eisbehälter mitgeführt; man pumpt Wasser durch das Eis und kühlt die von aussen angesaugte und filtrierte Luft mit diesem Wasser. Die Luft macht einen geschlossenen Kreislauf mit etwa 25 % Erneuerung. Neuerdings verwendet man motorgetriebene Kühlaggregate, die an eine stark vergrösserte Lichtbatterie angeschlossen werden.

Die Luftkonditionierung dient nicht nur zur Kühlung der Luft im Sommer, sondern sie befreit vor allem von der Rauch- und Russplage beim Dampfbetrieb. Sie ist also in der Schweiz infolge der elektrischen Traktion bedeutend weniger interessant.

Silikonisolation

Der Ueberblick über die Starkstromtechnik in Amerika wäre unvollständig ohne ein paar Bemerkungen über die neuen Werkstoffe. Davon scheint mir besonders zweierlei wichtig: einerseits die hochwertigen Dynamobleche, anderseits die Silikonisolation.

Von den Dynamoblechen habe ich schon bei den Transformatoren gesprochen, von der Silikonisolation haben Sie vor kurzem an der Isolationstagung des SEV einiges gehört. Die Ansichten über die Möglichkeiten, die die Silikonisolation bietet, scheinen sich nun allmählich auf einer mittleren Linie zu stabilisieren. Im Gegensatz zu der Auffassung, die noch vor nicht sehr langer Zeit infolge einer übertriebenen Zeitungspropaganda ziemlich verbreitet war, ist natürlich keine Rede davon, dass in Zukunft

alle elektrischen Motoren bei erhöhter Erwärmung nur noch einen Bruchteil ihrer bisherigen Grösse erreichen werden. Anderseits ermöglicht aber die Silikonisolation auf Anwendungsgebieten, wo ein kleines Gewicht ausschlaggebend ist, also z. B. bei der Traktion oder im Flugzeugbau, sehr interessante Fortschritte.

Fabrikation und Forschung bei den Grossfirmen

Im Zusammenhang mit der Entwicklung dieser neuen Werkstoffe möchte ich hervorheben, dass die amerikanischen Grossfirmen der Elektrotechnik ausserordentliches Gewicht auf die Entwicklung der für ihre Fabrikation benötigten Rohmaterialien und Halbfabrikate legen. Westinghouse so gut wie GE kommen immer mehr dazu, so ziemlich restlos alles, was sie brauchen, im eigenen Konzern zu fabrizieren. Das gibt ihnen gegenüber unsern elektrischen Konstruktionsfirmen einen riesigen Vorteil, denn einerseits stehen ihnen verschiedene wertvolle Ausgangsmaterialien zur Verfügung, die im freien Handel nicht erhältlich sind, anderseits erhalten sie stets gleich bleibende Qualität, was wir von uns bestimmt nicht behaupten können.

Damit stehen wir schon mitten in den Fabrikationsfragen. Ich habe verschiedene amerikanische Fabrikationsfirmen bereits mehrmals erwähnt und möchte nun zusammenhängend noch kurz darauf zurückkommen. Ich hatte Gelegenheit, vier Fabriken der General Electric Company zu besuchen, nämlich den Stammsitz in Schenectady, die Transformatorenfabrik in Pittsfield, die Motorenfabrik in Lynn bei Boston und die Schalter- und Relaisfabrik in Philadelphia. Bei Westinghouse sah ich den Stammsitz und das Forschungslaboratorium in East-Pittsburgh sowie die Transformatorenfabrik in Sharon. Dann war ich auch bei Allis Chalmers in Milwaukee. Dazu kamen noch ein paar kleinere Fabrikationsfirmen, die ich aber nicht alle aufzählen möchte.

Ich habe schon bei der Besprechung des verschiedenen elektrischen Materials allerlei Fabrikationsfragen angeschnitten. Vielfach sind eben Konstruktionen, die von den unsrigen abweichen, ausschliesslich oder doch hauptsächlich aus Gründen der Fabrikation eingeführt worden. Das trifft z. B. zu für die Verteiltransformatoren mit aus Bändern gewickelten Eisenkörpern.

Die Fabrikationsmethoden für das *grosse* elektrische Material sind, soweit ich feststellen konnte, ziemlich die gleichen wie bei uns. Ich erwartete, wenigstens bei der Seriefabrikation, grosse Unterschiede zu treffen und war sehr überrascht, dass das in vielen Fällen durchaus nicht zutrifft. Beispielsweise hat die GE die Fabrikation ihrer modernen Kleinmotoren (von 1...15 kW) praktisch genau so organisiert, wie ich sie aus schweizerischen Fabriken kenne. Wohl sind die Serien viel grösser, aber die Mechanisierung und Automatisierung ist keineswegs weiter getrieben. So wird z. B. keine einzige Wickelmaschine verwendet; alle Wicklungen werden genau wie bei uns durch Mädchen von Hand eingelegt.

Der Materialprüfung wird allgemein grosse Beachtung geschenkt. Bei der GE steht z. B. ein grosses Röntgenlaboratorium zur Verfügung, das vor allem im Dampfturbinenbau gebraucht wird. Man durchleuchtet etwa 10 % von allem Material. Einer der Röntgenapparate ist für eine volle Million Volt ausgelegt.

Man glaubt bei uns häufig, dass die Entwicklungslaboratorien der Grossfirmen vom normalen Betrieb vollständig getrennt seien und beinahe ausserhalb der Firmen ein Eigenleben führen. Das trifft aber nur sehr bedingt zu. Es gibt wohl Forschungslaboratorien, die räumlich getrennt sind und auch geistig mit den andern Zweigen der Firma wenig Kontakt haben. Aber in diesen Laboratorien wird vor allem Grundlagenforschung betrieben, die sich die schweizerische Industrie überhaupt nicht leisten kann. Daneben befasst man sich vielleicht noch mit Materialforschung und mit Forschung auf weite Sicht auf dem Hochfrequenzgebiet und dergleichen. Aber die Laboratorien, die etwa unsern Hochspannungsversuchslokalen oder unsern Schalterprüfanlagen entsprechen, sind auch in Amerika den betreffenden Fabriken angegliedert.

Die schweizerischen Hochspannungslaboratorien können sich übrigens mit denen der amerikanischen Grossfirmen durchaus messen. Dagegen stehen in Amerika zur Prüfung von Schaltern bedeutend grössere Leistungen zur Verfügung.

Forschungsinstitute und technische Schulen

Ein Hochspannungslaboratorium besitzt auch das National Bureau of Standards in Washington. Diese staatliche Institution hat einerseits ähnliche Aufgaben wie unser eidg. Amt für Mass und Gewicht, ist aber nebenbei weitgehend technische Prüfanstalt. Im Gegensatz zum SEV betreibt das American Institute of Electrical Engineers keine Prüfanstalt.

Das interessanteste Forschungsinstitut ausserhalb der Grossfirmen, das ich getroffen habe, ist die Armour Research Foundation in Chicago. Sie steht in loser Verbindung mit dem Illinois Institute of Technology, einer technischen Hochschule, und führt für verschiedene Firmen gegen Bezahlung Forschungsarbeiten auf allen möglichen Gebieten der Technik durch. Diese Forschungsstätte nahm 1936 mit einem Budget von bloss $ 35 000.— die Arbeit auf und hat sich seither ohne fremde Mittel ausserordentlich rasch entwickelt. 10 Jahre später — bei meinem Besuch — beschäftigte sie etwa 500 Angestellte und hatte ein Budget von $ 2 500 000. —.

Bei den technischen Hochschulen kann ich mich im Rahmen dieses Vortrages nicht lange aufhalten. Ich konnte feststellen, dass sie für Elektrotechnik im allgemeinen nicht besser ausgerüstet sind als die Eidg. Technische Hochschule. Einzelne Professoren betreiben neben ihrer Lehrtätigkeit noch etwas Forschung, aber zum mindesten auf dem Gebiet der Starkstromtechnik liegt das Schwergewicht der Forschung bei den grossen Konstruktionsfirmen.

Schlussfolgerungen

Ich habe nun versucht, Ihnen einen Einblick in die amerikanische Starkstromtechnik zu vermitteln. Natürlich gäbe es noch ausserordentlich viel Interessantes zu berichten; die Auswahl aus dem grossen Material, das mir zur Verfügung stand, ist mir nicht leicht gefallen. Ich habe mich bemüht, das für Amerika Typische hervorzuheben und insbesondere die wichtigsten Unterschiede zwischen der amerikanischen und unserer Technik zu zeigen.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass während des Krieges, als unsere Verbindungen mit Amerika unterbrochen waren, eine riesige Entwicklungsarbeit auf kriegswichtigen Gebieten wie Flugzeugbau, Hochfrequenztechnik, Radar, Atomzertrümmerung usw. geleistet worden ist, dass aber die klassische Starkstromtechnik in dieser Zeit qualitativ keine wesentlichen Fortschritte gemacht hat. Es wurden neue Kraftwerke errichtet und alte erweitert, es wurden grosse Industrieanlagen gebaut, und es wurde vor allem fabriziert. Wir hatten auf dem Gebiet der Starkstromtechnik einen riesigen Vorteil, weil wir während dieser ganzen Zeit weiter forschen und entwickeln konnten, weil wir sogar neue Laboratorien aufstellen konnten, während sich Amerika vollständig auf Kriegsproduktion und kriegsbedingte Forschung konzentrieren musste.

Neben den riesigen amerikanischen Kraftwerken und Netzen nehmen sich unsere Anlagen sehr bescheiden aus. Auch Generatoren und Transformatoren sind in Amerika für wesentlich grössere Einheitsleistungen gebaut worden als bei uns. Ich bin aber fest überzeugt, dass unsere Starkstromtechnik qualitativ den Vergleich mit der amerikanischen im grossen ganzen unbedingt aushält. Auf verschiedenen Gebieten sind wir eigene Wege gegangen, die — bescheiden gesagt — mindestens ebensogut sind wie die amerikanischen (Beispiel: Sektorregler); oder wir haben neue Entwicklungen bedeutend früher durchgeführt als die Amerikaner; ich denke da z. B. an die öllosen Schalter für Innenraumanlagen.

Dagegen glaube ich, dass wir auf gewissen andern Gebieten von den Amerikanern etwas lernen können. Zugegeben, dass vieles, was für Amerika passt, für uns nicht passen würde, weil die Verhältnisse ganz verschieden sind; zugegeben, dass wir mit Recht allerlei in Amerika Uebliches ablehnen, denken Sie z. B. an die Transformatoren mit sog. unbrennbarem Oel; aber in einigen Punkten scheint mir doch die amerikanische Praxis technisch richtiger oder wirtschaftlich vorteilhafter zu sein.

So bietet die Wasserstoffkühlung der Turbogeneratoren unstreitig bedeutende wirtschaftliche Vorteile. Hier haben die Amerikaner Pionierarbeit geleistet und durch zirka 20jährige Anwendung gezeigt, dass diese Lösung auch technisch gut ist. Auch die Freiluftaufstellung der Phasenschieber, die durch die Wasserstoffkühlung ermöglicht wurde, hat sich im Betrieb gut bewährt.

Bei den Innenraum-Schaltanlagen, wo die berechtigte Forderung «Los vom Oel» von Europa ausging und wo wir heute Schalter, Spannungswandler und Stromwandler ohne Oel bauen können, sollten wir in vermehrtem Masse auch öllose Leistungstransformatoren verwenden, zum mindesten in Fabriken, bewohnten Gebäuden und dergleichen.

Dass wir heute in der Schweiz noch kein einziges Wechselstromnetzmodell haben, ist eigentlich unglaublich. Wir werden es uns auf die Dauer nicht leisten können, unsere Netzprobleme mit blossen Faustformeln zu behandeln, nachdem im Wechselstromnetzmodell ein Werkzeug zur Verfügung steht, das gestattet, vor der Inangriffnahme von Erweiterungen oder Neuanlagen alle interessierenden Fragen genau abzuklären.

Und schliesslich sollten wir aus der amerikanischen Verwendung von Einheitsschalttafeln und fabrikfertigen Schaltanlagen — um nur noch diesen Punkt zu erwähnen — zum mindesten die Lehre ziehen, dass sich mit weitgehender Normung von Schalttafeln noch grosse Einsparungen erzielen lassen.

Alle diese und andere Punkte, in denen sich die amerikanische Starkstromtechnik vorteilhaft von der unsrigen unterscheidet, waren uns schon vor dem Krieg aus der Literatur bekannt. Man ist aber häufig geneigt, das, was im Ausland anders gemacht wird, als vorübergehende Modesache anzusehen oder damit abzutun, dass es zu kompliziert sei oder für uns nicht passe. Das trifft ja manchmal auch zu. In andern Fällen zeigt aber ein Studium an Ort und Stelle, dass eine vermeintliche Modesache schon 10 oder 20 Jahre lang betrieben wird und in dieser Zeit zur absoluten Selbstverständlichkeit geworden ist. Oder man stellt fest, dass anfängliche Schwierigkeiten und Komplikationen längst überwunden und beseitigt sind. So hoffe ich denn, meine Reise werde dazu beitragen, dass wir die Abweichungen der amerikanischen Starkstromtechnik von der unsrigen noch etwas richtiger beurteilen als bisher.

Adresse des Autors:
Dr. sc. techn. *W. Wanger*, Oberingenieur der A.-G. Brown, Boveri & Co., Baden (AG).

Diskussion

Dr. J. Goldstein, beratender Ingenieur, Zürich:

1. Werden von den amerikanischen Transformatorenfabriken Stoßspannungsprüfungen bei der Abnahme allgemein durchgeführt, oder nur auf Verlangen des Kunden?

   Wie ist der Widerspruch zu erklären, dass in den Publikationen der Westinghouse Company von der Stoßprüfung fast aller das Werk verlassenden Transformatoren die Rede ist, während im Vortrag behauptet wurde, dass Stossprüfungen nur auf Verlangen des Kunden durchgeführt werden?

2. Es ist bekannt, dass die USA-Transformatorenwerke im Kernbau bereits das niederwattige (0,6 W/kg) neue Kernmaterial (with oriented grains) verwenden, und zwar in Bandform bei den «Distribution Transformers». Es sind in den Publikationen der Westinghouse Company Hinweise zu finden, dass auch im Grosstransformatorenbau Hipersil als Kernmaterial verwendet wird. Ist dem Herrn Referenten bekannt, welche Kernform dabei in Frage kommt und wie sieht die Kernkonstruktion aus?

3. Es ist mir bekannt, dass die USA-Elektroindustrie, nach eingehenden Versuchen vor etwa 15 Jahren, bei welchen auch Herr Buchholtz zugegen war, den Buchholtzschutz

als «nicht in allen Fällen wirksam» abgelehnt hat. Hat sich diese Einstellung der amerikanischen Elektroindustrie zum «Buchholtzschutz» geändert?

Dr. W. Wanger, Referent:

1. Wenn Herr Dr. Goldstein aus gewissen amerikanischen Veröffentlichungen den Eindruck erhalten hat, die Stoßprüfung werde als Normalprüfung an *jedem* Transformator durchgeführt, so entspricht das nicht ganz den tatsächlichen Verhältnissen. Die amerikanischen Firmen sind teilweise eher zurückhaltend, und selbst Westinghouse, der hauptsächliche Initiant für die allgemeine Einführung der Stossprüfung, ist heute noch nicht dafür eingerichtet, diese Prüfung an jedem Transformator durchzuführen. Uebrigens ist auch in den «American Standards for Transformers, Regulators and Reactors» angegeben, dass die Stossprüfung nur durchzuführen ist, wenn das zwischen Besteller und Fabrikant abgemacht wird.

Anderseits wird aber die Stossprüfung — wie ich ja im Vortrag erwähnte — viel häufiger durchgeführt als bei uns. Die Amerikaner haben sich anfänglich nicht zu viel Sorgen gemacht, wie ein eventueller Isolationsdefekt bei dieser Prüfung aufgedeckt werden könne. Sie haben die Stossprüfung einfach einmal eingeführt und damit praktische Erfahrungen gesammelt. Wenn ein Transformator, der dieser Prüfung unterworfen worden war, sich nachher im Betrieb gut verhielt, so war die Sache in Ordnung. Es ist aber schon denkbar, dass manchmal Perforationen der Drahtisolation vorgekommen sind, ohne dass man sie bemerkte, weil sich die Durchschlagstelle nachher mit Oel füllte. Man weiss ja, dass manchmal ein Transformator, der bei der Stossprüfung einen solchen Durchschlag erlitten hat, nachher alle anderen Prüfungen anstandslos besteht. Es kommt sogar vor, dass ein Transformator, dessen Drahtisolation bei der Prüfung mit abgeschnittener Welle durchgeschlagen wurde, nachher die Stossprüfung mit voller Welle besteht, ohne dass an der Durchbruchstelle ein neuer Durchschlag erfolgt.

Erst in neuerer Zeit hat man sich in Amerika systematisch mit der Frage befasst, wie eine Isolationsbeschädigung beim Stossversuch einwandfrei festgestellt werden könne. Man ist der Auffassung, dass die Ueberlagerung einer betriebsfrequenten Spannung kein zuverlässiges Mittel ist. Sie kompliziert bloss den Versuch und erschwert den Nachweis eines eventuellen Defektes mit gewissen anderen Methoden. Auch die nachträgliche Prüfung mit induzierter Spannung ist ungenügend, und die Beobachtung von aufsteigenden Gasblasen oder Rauch gibt ebenfalls keine eindeutigen Resultate.

Ein wesentlich besseres Hilfsmittel ist die oszillographische Aufnahme der Stoßspannung an den Transformatorklemmen, aber auch dieses Mittel versagt in vielen Fällen. Von den in Amerika entwickelten Methoden ist wohl diejenige von *Hagenguth* [1]) die zuverlässigste. Sie besteht im Oszillographieren des Stoßstromes, der vom Sternpunkt der Transformatorwicklung nach der Erde fliesst. Ich glaube aber nicht, dass diese Methode schon die endgültige Lösung des Problems darstellt; jedenfalls braucht es eine riesige Erfahrung, um aus dem Verlauf des Stoßstromes die richtigen Schlüsse über das Verhalten des Transformators bei der Prüfung zu ziehen. Diese Ansicht vertritt nicht nur Dr. *Wellauer* in einer Veröffentlichung, die kürzlich im Bulletin des SEV erschien [2]), sondern auch ein schwedischer Forscher, und den gleichen Eindruck erhält man übrigens auch aus den amerikanischen Publikationen über dieses Thema.

2. Zur Frage nach dem Aufbau des Eisenkörpers der Transformatoren kann ich sagen, dass es keine einheitliche, für Amerika typische Konstruktion gibt. Es werden sowohl Kern- als auch Manteltransformatoren gebaut, wobei gewisse Fabrikanten der einen, andere der anderen Bauart den Vorzug geben oder auch je nach Grösse den einen oder anderen Typ wählen. Uebrigens gibt es auch für die Hauptisolation der Grosstransformatoren keine einheitliche Konstruktion. GE verwendet vorwiegend Papierisolation — ähnlich wie bei Kabeln — und bettet die bekannten Potentialschilder darin ein. Westinghouse und Allis Chalmers bauen dagegen die Hauptisolation mit vielen Platten, Hülsen und Winkeln aus Transformerboard auf, wobei diese Isolierteile sehr weitgehend genormt sind.

3. Zu den Bemerkungen von Herrn Dr. Goldstein über den Buchholtzschutz habe ich höchstens noch beizufügen, dass mir als Erklärung für die Abneigung dagegen an verschiedenen Orten gesagt wurde, man wolle nicht, dass ein Transformator abgeschaltet werde, solange sein Betrieb noch möglich sei.

Prof. E. Dünner, Eidgenössische Technische Hochschule, Zürich:

1. Wenn bei der Stossprüfung Gasblasen oder Rauch im Transformatorenöl aufsteigen, wie kann man feststellen, wo ein Defekt aufgetreten ist, und was wird dann vorgekehrt?
2. Wie ist die Tendenz der Bauart der gewöhnlichen Asynchronmotoren (Lagerschild aus Guss oder Stahl, Wicklung aus mit Baumwolle oder mit Lack isolierten Drähten)?
3. Die vom Referenten genannte sehr niedrige Verlustziffer von Dynamoblechen amerikanischer Herkunft bestätigte sich bei Versuchen in der Schweiz nicht; man erhielt statt der Verlustziffer $V_{10} = 0{,}6...0{,}7$ Werte zwischen 1,0... 1,2 W/kg. Der Lieferant wandte ein, die Bleche müssten eben nach dem Stanzen geglüht werden. Wie stellt man sich das für Bleche von Leistungstransformatoren vor?

Dr. W. Wanger, Referent:

1. Selbstverständlich kann aus dem Aufsteigen von Gasblasen oder Rauch nicht geschlossen werden, *wo* ein Isolationsdefekt liegt. Hierüber geben höchstens die Kathodenstrahl-Oszillogramme von Stoßspannung oder Stoßstrom einen gewissen Aufschluss, wenn man sie mit den entsprechenden Oszillogrammen bei kleiner Spannung vergleicht, bei der sicher kein Durchschlag vorgekommen ist. Herr Dr. *Wellauer*, der auch hier ist, geht aber gewiss mit mir einig, dass es eine sehr lange Erfahrung braucht, um aus der Lage einer Unregelmässigkeit auf einem solchen Oszillogramm einigermassen angeben zu können, wo sich der Fehler befindet. Eine Angabe der genauen Windung dürfte in der Regel überhaupt nicht möglich sein.

Praktisch wird es dann eben darauf herauskommen, dass ein Transformator, der die Prüfung nicht bestanden hat, zurückgewiesen wird. Der Fabrikant wird ihn ausbauen und reparieren, wenn nötig, sogar konstruktive Aenderungen daran vornehmen. Wenn bei der zweiten Prüfung die Abweichungen im Verlauf der Oszillogramme nicht mehr vorkommen, so ist das ein Zeichen dafür, dass der Fehler behoben wurde.

2. Bei den Motoren verwendet GE eine Gusskonstruktion. Die neue Konstruktion von Westinghouse soll dagegen vollständig geschweisst sein. Ich habe aber die Motorenfabrik bei Westinghouse nicht gesehen, denn diese Firma war gerade dabei, die Fabrikation für ihre umkonstruierten Motoren einzurichten, und die neue Fabrik war noch nicht im Betrieb.

Was die Isolation der Drähte betrifft, habe ich bei kleinen Induktionsmotoren nur Lackdrähte gesehen. (Wir pflegen diese Drähte als Emaildrähte zu bezeichnen, obwohl es sich eigentlich nicht um Email handelt.) GE hat einen neuen Lack, «Formax» genannt, entwickelt, der bezüglich Abreibfestigkeit und Wärmebeständigkeit besser sein soll als alle bisher verwendeten Lacke.

3. Die Frage betreffend Ausglühen der Bleche kann ich dahin beantworten, dass in Amerika tatsächlich alle Transformatorenbleche nach dem Stanzen ausgeglüht werden. Das ist möglich, weil die Bleche im Gegensatz zu unserer Praxis nicht mit Papier, sondern mit Lack, Kaolin oder dergleichen isoliert werden. Je nach der Wärmebeständigkeit der verwendeten Isolierschicht wird diese entweder schon vor dem Stanzen oder erst nach dem Ausglühen aufgebracht, aber geglüht wird auf alle Fälle. Bei kleineren Transformatoren begnügt man sich in der Regel mit einer Oxydschicht als Isolation.

H. Wüger, Vizedirektor der Elektrizitätswerke des Kantons Zürich:

1. Wie wird in den Unterwerken die Spannung reguliert? Verwendet man jetzt auch Reguliertransformatoren, oder sind immer noch Induktionsregler gebräuchlich?

[1]) *Hagenguth, J. H.:* Progress in impulse testing of transformers. Electr. Engng., Trans. Sect. Bd. 63 (1944), December-Supplement, S. 999...1005, u. S. 1444.

[2]) *Wellauer, M.:* Beitrag zur Frage der Stoßspannungsprüfung an Transformatoren. Bull. SEV Bd. 38 (1947), Nr. 6, S. 149...154.

2. Erfolgt die Spannungsregulierung wie bei uns für ein ganzes Unterwerk gemeinsam oder hat ein System, einzelne Leitungen oder gar jede Phase jeder Leitung für sich getrennt zu regulieren, allgemeinen Eingang gefunden?
3. Welche Entwicklung hat die Anwendung der Röhrenableiter genommen, die in den USA schon vor vielen Jahren auf Leitungen oft angewendet wurden?

Dr. **W. Wanger**, Referent:

1. Für die Spannungsregulierung hat man noch zum grössten Teil Induktionsregler. In sehr vielen Netzen verwendet man aber bei Neuanlagen und Erweiterungen nur noch Reguliertransformatoren. Ich habe den bestimmten Eindruck, dass dies auch in Amerika die Lösung der Zukunft ist. Wenn die Induktionsregler heute noch bei weitem überwiegen, so nur deshalb, weil in einer frühern Epoche sehr viele aufgestellt worden sind.

2. In der Regel wird jede abgehende Leitung für sich reguliert. Eine unabhängige Spannungsregulierung der einzelnen Phasen habe ich dagegen nur in einer einzigen Anlage gesehen.

3. Zur Frage nach den Röhrenableitern ist zu sagen, dass die Voraussetzungen für ihre Anwendung zum Schutz der Freileitungsisolatoren in Amerika infolge der direkten Nullpunktserdung günstiger sind als bei uns. Ich habe aber keine Leitung gesehen, die in den letzten Jahren damit ausgerüstet worden wäre. Man spricht heute nicht viel von den Röhrenableitern, und die ganz grosse Mehrzahl der Freileitungen ist nicht damit ausgerüstet.

Schutz gegen unkontrollierte Rückspannung, von Asynchron-Maschinen mit Kondensatoren herrührend

Von *Ch. Jean-Richard*, Bern

621.3.013.62:621.313.332

Die Abgabe von Rückspannungen eines Asynchrongenerators einer Industrieanlage mit eigener Turbine an das parallel angeschlossene Netz kann verhindert werden, indem die Blindleistungskompensation pro Motor einzeln durchgeführt, an der Asynchronmaschine mit einem Spannungsrelais das Produkt $U_1 U_2 \sin \varphi$ überwacht und der Auslösebefehl mit einem eingebauten Schütz parallel zu den Auslösespulen erteilt wird.

L'apparition d'une tension insolite dans un réseau, provenant d'une installation industrielle avec turbine entraînant une machine asynchrone sera évitée par la compensation individuelle et partielle de la puissance réactive par moteur, par le contrôle du produit $U_1 U_2 \sin \varphi$ au moyen d'un relais de tension et par l'emploi d'un déclencheur en parallèle avec les bobines à tension zéro.

Unter den Industrieanlagen, welche an das Netz der Bernischen Kraftwerke A.-G. angeschlossen sind, befinden sich solche mit eigener Turbine kleiner Leistung. Diese Turbinen sind zur Leistungsabgabe bei übersynchronem Betrieb vielfach mit einer Asynchronmaschine gekuppelt.

Der Gesamtleistungsfaktor in einer solchen Anlage wird bestimmt durch die vom Netz bezogenen Wirk- und Blindenergiemengen. Infolge des Betriebes der Asynchronmaschine als Generator geht die bezogene Wirkenergie zurück und die bezogene Blindenergie wird grösser. Der Gesamtleistungsfaktor hat somit doppelt Ursache zu fallen.

Die Betriebsinhaber werden daher veranlasst, durch Anschluss einer Kondensatorenbatterie den Leistungsfaktor möglichst wirksam zu verbessern. Die Kondensatorenbatterie bringt aber für die ausserhalb liegenden elektrischen Anlagen den Nachteil, dass bei Aufheben des Parallelbetriebes die Asynchronmaschine sich selbst erregt und unkontrolliert Rückspannung liefert [1]).

Vorerst wurde versucht, mit einem Frequenzrelais das Eintreten von Rückspannung zu verhindern. Die Erfahrung zeigte jedoch, dass bei Unterbruch des Parallelbetriebes die Frequenz nicht immer von ihrem Sollwert abweicht. Die Anwendung des Frequenzrelais konnte somit nicht befriedigen, ganz abgesehen davon, dass die Kosten des Frequenzrelais im Verhältnis zu denjenigen einer solchen Anlage als erheblich bezeichnet werden müssen.

Durch systematische Untersuchungen wurde geprüft, mit welchen Mitteln die Rückspannung verhindert werden kann.

Zunächst wurde festgestellt, dass die Gefahr einer Rückspannung dort am grössten ist, wo für die Verbesserung des Leistungsfaktors eine zentrale Kondensatorenbatterie verwendet ist. Wird in einer solchen Anlage der Parallelbetrieb mit dem Netz unterbrochen, dann kann bei fehlender Belastung die Asynchronmaschine überkompensiert sein und sich schon bei 50 Hz, der Betriebsfrequenz, selbst erregen. Daraus ergibt sich, dass auf die zentrale Verbesserung des Leistungsfaktors verzichtet werden sollte, sofern mit der individuellen Verbesserung annehmbare Verhältnisse geschaffen werden können.

Aus den Untersuchungen ergab sich weiterhin, dass der Leistungsfaktor einer Kombination von Asynchronmotor mit Kondensator bei Vollast und 50 Hz auf Werte von mehr als 0,9 ansteigt, wenn dem Motor ein Kondensator zugeschaltet wird, welcher die Selbsterregung im Leerlauf erst bei einer Frequenz von mehr als 52 Hz bewirken würde. Der Motor nimmt dabei gleichzeitig Wirkleistung und Blindleistung auf [2]).

[1]) *Hafner, H.:* Der durch Kondensatoren selbsterregte Drehstrom-Asynchrongenerator. Bull. SEV Bd. 26(1935), Nr. 4, S. 89...100.

Buri, W.: Ueber Selbsterregung von Asynchronmaschinen. Bull. SEV Bd. 24(1933), Nr. 15, S. 342...343.

Niethammer, F.: Selbsterregung von Asynchronmotoren und anderen Maschinen. Elektrotechn. u. Maschinenbau Bd. 52 (1934), Nr. 6, S. 61...63.

Brunn, Albert von: Die Expedanz als Ursache der Selbsterregung und der allgemeinen Resonanz. Bull. SEV Bd. 26 (1935), Nr. 6, S. 137...149.

Bornitz, E.: Ueber Selbsterregung von Asynchronmaschinen. Bull. SEV Bd. 26(1935), Nr. 4, S. 110...111.

Tüxen, E.: Die unabhängige Selbsterregung bei Asynchronmaschinen mit Aufhebung der Schlupfspannung. Arch. Elektrotechn. Bd. 31(1937), Nr. 10, S. 625...642.

Leonhard, A.: Selbsterregungserscheinungen bei Betrieb von Asynchronmaschinen über lange Leitungen. Arch. Elektrotechn. Bd. 35(1941), Nr. 12, S. 731...739.

[2]) Wir schlagen vor, die vier Achsen der Leistungsebene zu bezeichnen mit:

Motor (M)	=	Bezug von Wirkleistung
Spule (L)	=	Bezug von Blindleistung
Generator (G)	=	Abgabe von Wirkleistung
Kondensator (C)	=	Abgabe von Blindleistung