Zeitschrift: Pestalozzi-Kalender
Herausgeber: Pro Juventute
Band: 57 (1964)
Heft: [2]: Schüler

Artikel: Elektrizität im Dienste des Verkehrs : Gewinnung und Verteilung
Autor: Lienhard, H.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-989236

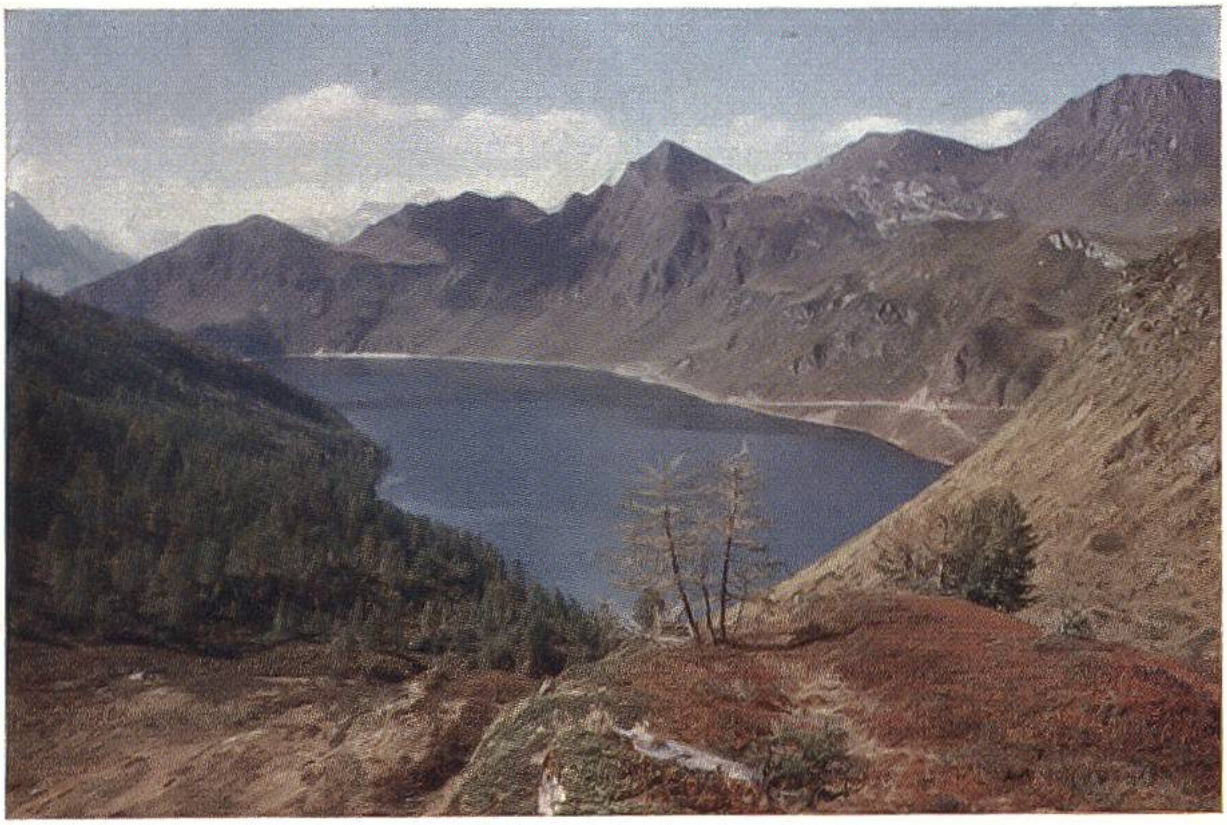
Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. 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

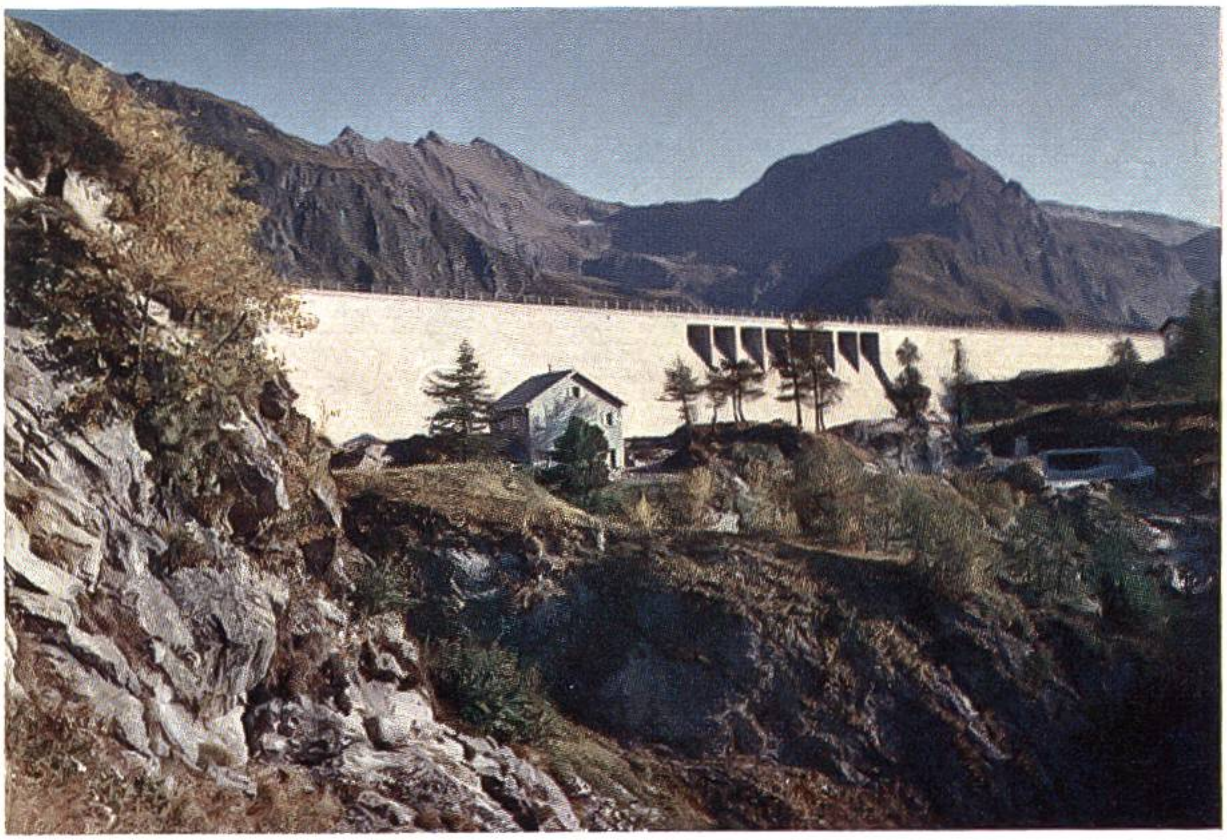
Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans 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

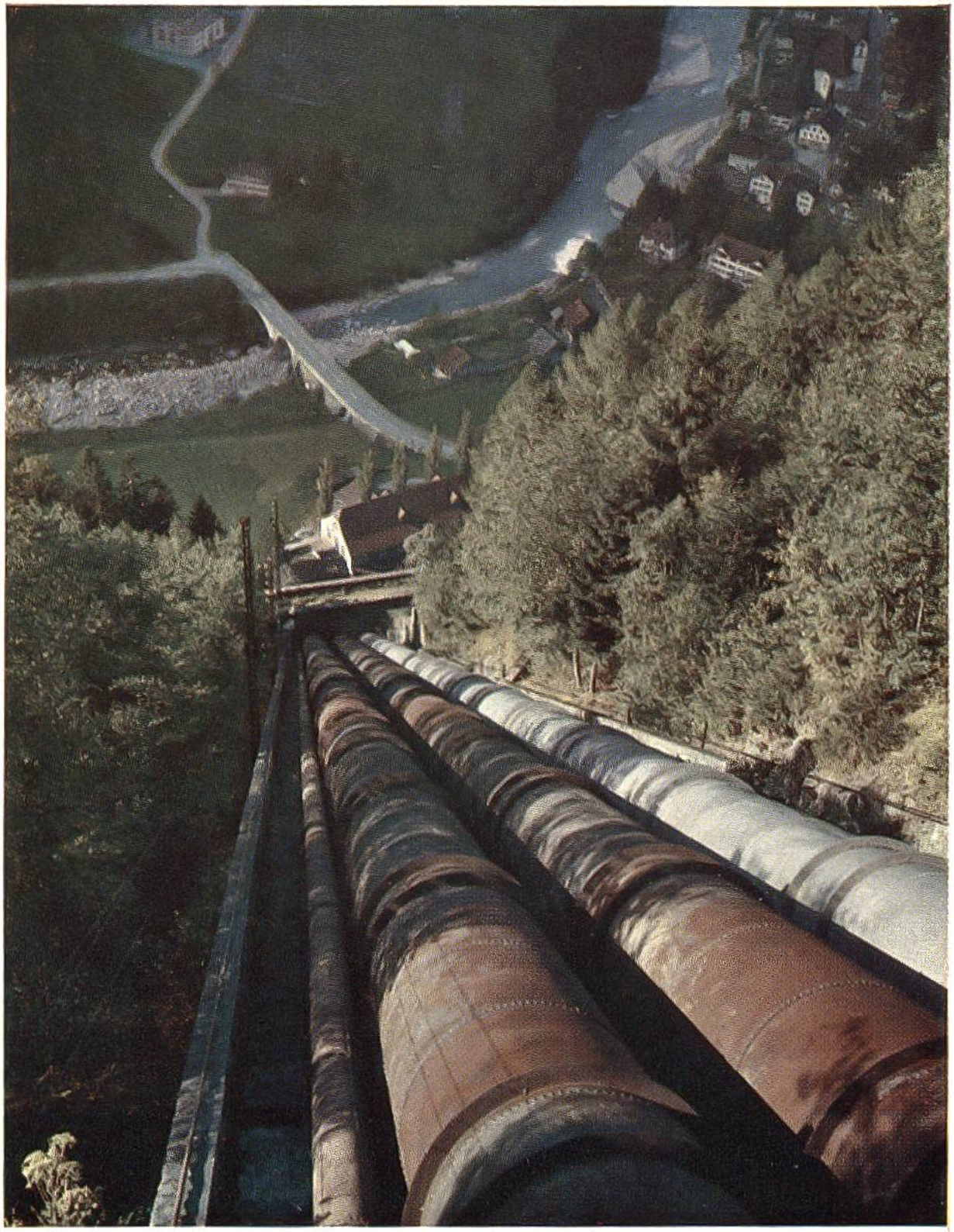
Download PDF: 11.07.2025

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

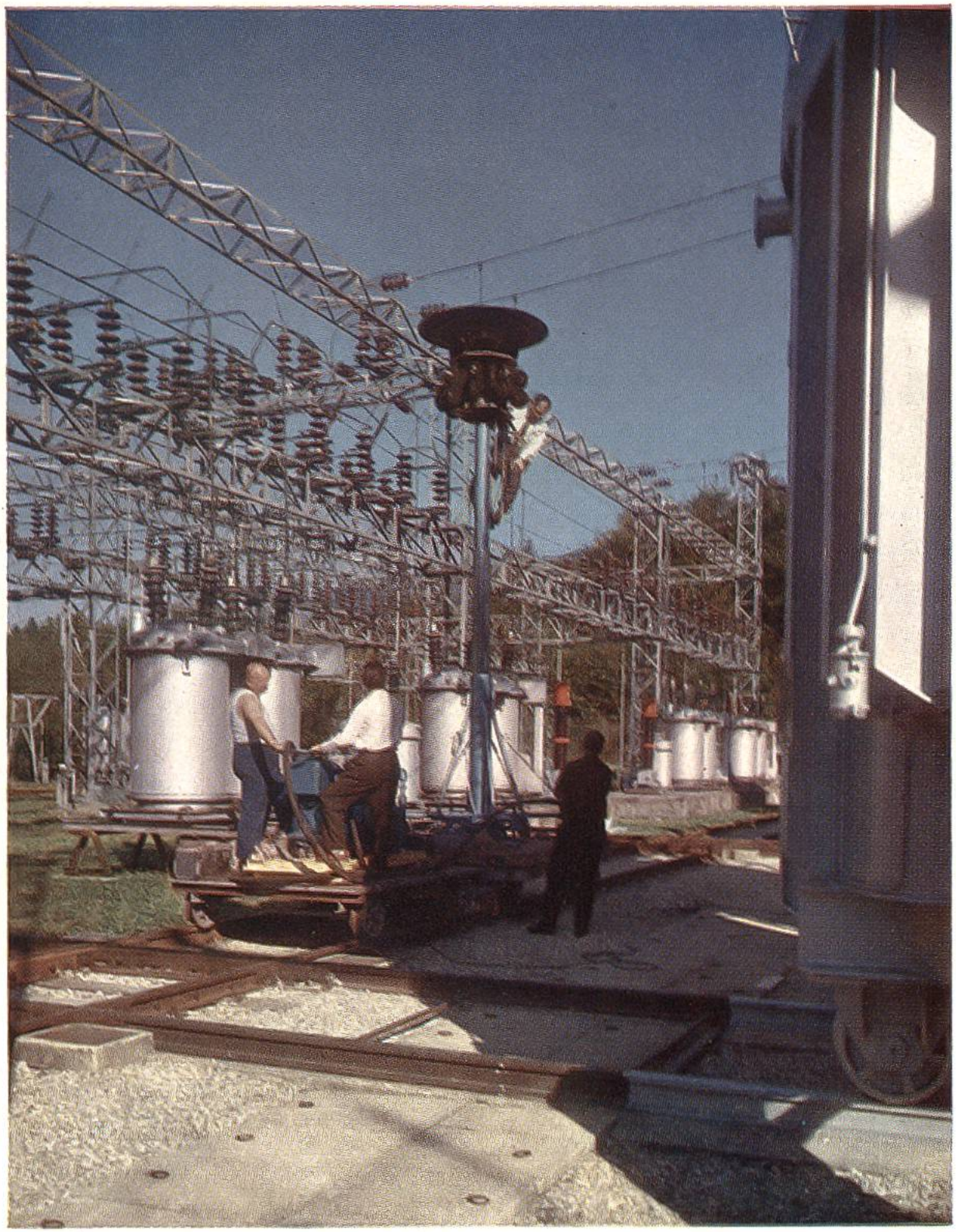




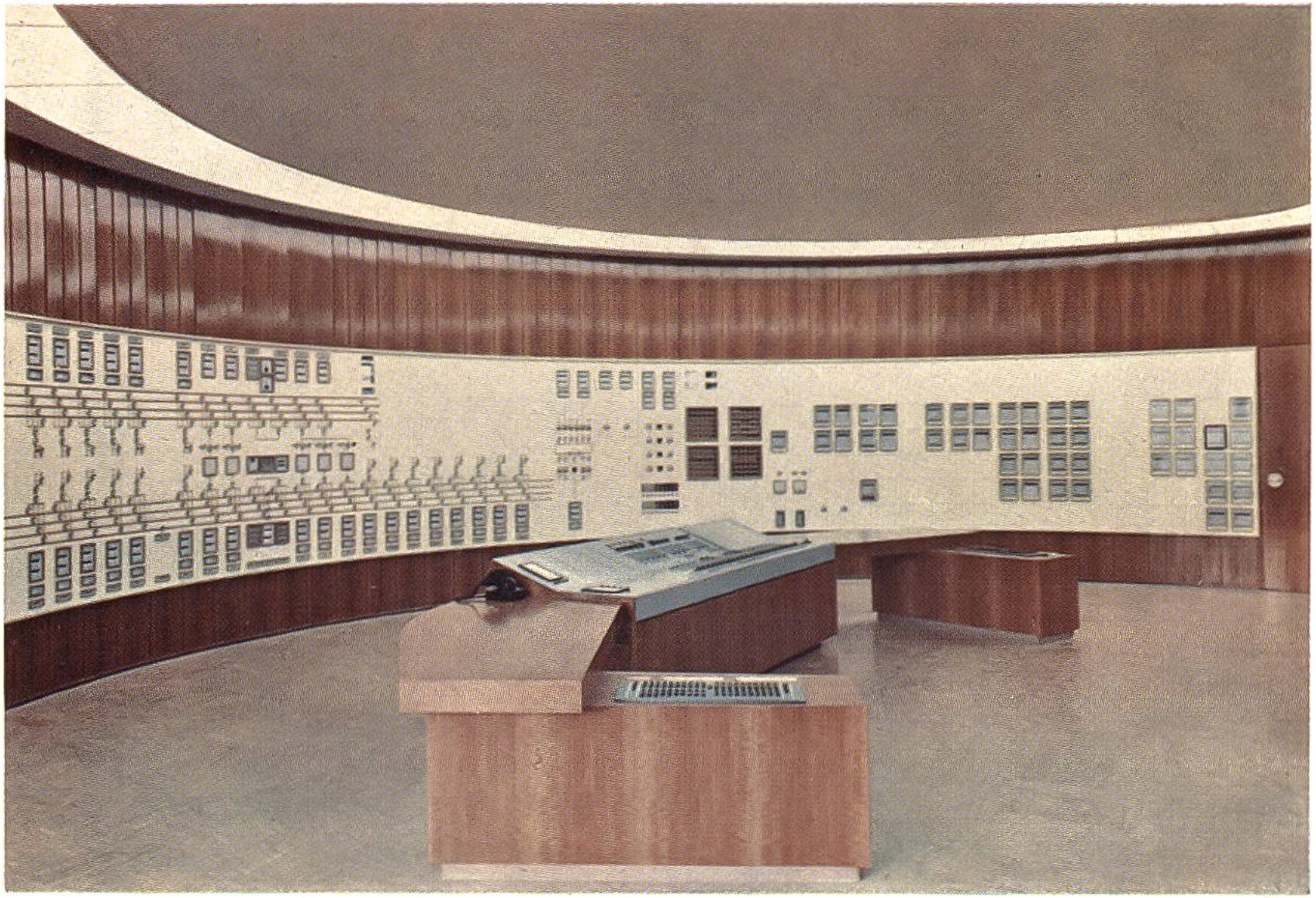
Oben: Stausee des Kraftwerkes Ritom der Bundesbahnen.
Unten: Staumauer des Ritomsees im hochgelegenen Val Piora östlich über Airolo.



Hochdruck-Kraftwerk Amsteg. Im Vordergrund Druckleitungen, auf dem Talboden Maschinenhaus, im Hintergrund die Reuss, in die durch den Unterwasserkanal das genutzte Wasser fliesst.



Unterwerk des Kraftwerkes Rupperswil. Rechts ist ein Grosstransformator sichtbar, im Hintergrund Schalt- und Verteilanlage. Der erhöht aufgestellte Circarama-Apparat hat diese Anlagen für die Landesausstellung 1964 photographiert (siehe Artikel «Circarama-Theater», Schatzkästlein S. 37).



Kommandoraum eines modernen Kraftwerkes. Von hier aus wird der Betrieb der Generatoren, der hydraulischen Maschinen und Apparate gesteuert und die Freiluftschaltstation bedient.

ELEKTRIZITÄT IM DIENSTE DES VERKEHRS

Gewinnung und Verteilung

Besteht überhaupt ein Zusammenhang zwischen Elektrizität und Verkehr? Die Frage ist eindeutig zu bejahen; auf den ersten Blick könnte man sogar meinen: ein doppelter. Fahren nicht die Lokomotiven unserer Eisenbahnen, die Trams und Trolleybusse «elektrisch»? Und wie steht es mit den elektrischen Leitungen, grossen und kleinen, die von weither in die Fabrik und in unser Haus führen, transportieren auch diese «etwas»?

Elektrizität ist eine der möglichen Formen von Energie; ein Ausdruck, der physikalisch der Arbeit oder dem Arbeitsvermögen gleichgesetzt werden kann, also eine «Ware» ganz besonderer Art, die an geeigneten Orten «produziert» wird und dann mittels elektrischen Leitungen zum Ort des Bedarfes geleitet wird. Neben der Elektrizität gibt es natürlich andere Energieformen, wie z. B. mechanische in Form von potentieller oder kinetischer Energie, Wärme, Licht und andere. Energie ist aber in jedem Fall die Voraussetzung für den Antrieb irgendeiner Maschine. Diese Tatsache lässt nun auch die erwähnte doppelte Bejahung der anfangs aufgeworfenen Frage richtigstellen. Die Elektrizität ist in jedem Fall nur Mittel zum Zweck, und die elektrischen Bahnen beruhen auf der Tatsache, dass die als Antriebsmittel für die Lokomotiven benötigte Energie über Leitungen (die Fahrleitung) an den Ort des jeweiligen Verbrauches transportiert wird. Grundsätzlich unterscheidet sich also eine Lokomotive von einer Antriebsmaschine in einer Fabrik nur dadurch, dass sie ortsveränderlich ist und deshalb ein Verteilsystem sowie einen Mechanismus voraussetzt, die an Stelle eines festen Anschlusses den benötigten Energiebezug jederzeit – auch während der Fahrt – sicherstellen. Elektrische Leitungen sind damit ein Transportsystem besonderer Art; ein System, das trotz oft geringen räumlichen Abmessungen ganz erhebliche Energiemengen zu transportieren gestattet.

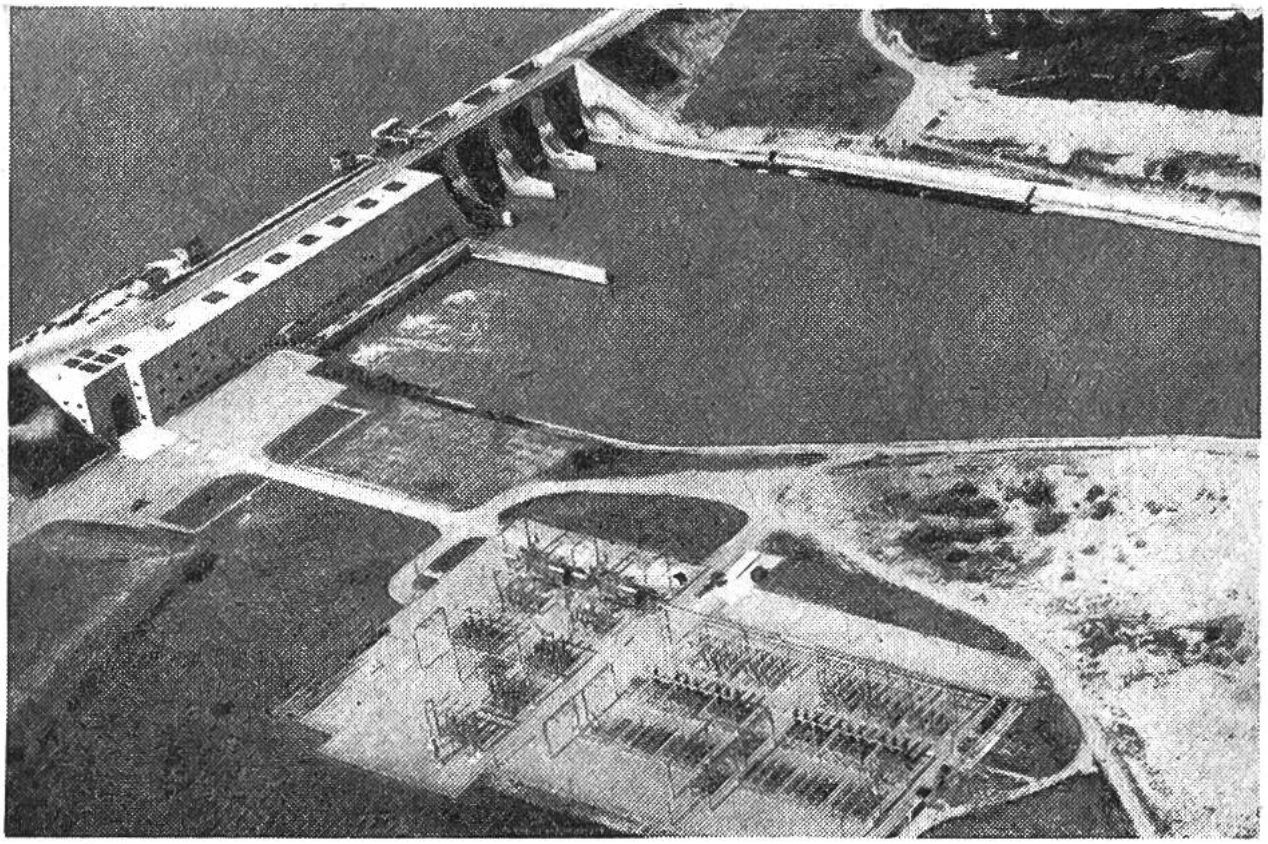
Wir wollen uns nun aber das Produktions- und Verteilsystem der Elektrizität etwas näher ansehen und uns vor allem auch mit den

Anlagen befassen, wie sie für den Betrieb «elektrischer» Bahnen Voraussetzung sind. Hier sind die wichtigsten Energieverbraucher der in den Kraftwerken erzeugten elektrischen Energie die Lokomotive bzw. die angehängten Züge. Die Lokomotive nimmt die zur Bewegung des Zuges erforderliche elektrische Leistung über einen Stromabnehmer vom über dem Geleise montierten Fahrdraht ab und verursacht dadurch eine Teilbelastung des Produktionssystems, also der Kraftwerke, die zusätzlich noch um die Energieverluste in der Fahrleitung, bei der Transformierung im Unterwerk und in der Übertragungsleitung erhöht wird. Die Belastung durch einen Zug (ausgedrückt in Kilowatt, abgekürzt kW) ist natürlich nicht immer gleich gross; vielmehr verursacht das Anfahren des Zuges oder der Übergang von einer horizontalen Strecke in eine Steigung oder umgekehrt von einer Steigung auf ein Gefälle starke Leistungsänderungen. Deshalb ist auch das Verhältnis der grössten zur mittleren Leistung, die ein Zug bei der Fahrt einer längeren Strecke benötigt, sehr verschieden. Bei einem schweren Personenzug im Flachland kann sich ein Schwankungsverhältnis des Leistungsbedarfes von 1 : 10 ergeben. Je mehr Züge allerdings gleichzeitig verkehren, desto günstiger wird das Verhältnis zwischen grösster und mittlerer Leistung im ganzen Netz.

In der Physik und Technik muss man den Begriff der Leistung von demjenigen der Arbeit scharf unterscheiden. So stellt auch hier die Bewegung eines Zuges über eine ganze Strecke während einiger Zeit eine Arbeit dar, die in der mit Kilowattstunden bezeichneten Einheit ausgedrückt wird und beim Schreiben meistens mit kWh abgekürzt wird. Auch der Arbeitsaufwand im Verlaufe eines Tages ist kein gleichmässiger, sondern ebenfalls Schwankungen unterworfen, zum grössten Teil durch den ungleichen Einsatz von Zügen bedingt; z. B. verkehren zu den «Verkehrsspitzen» am Morgen und Abend viel mehr Züge als in Nachtzeiten.

Die Kraftwerke als «Produktionsstätte» der Elektrizität

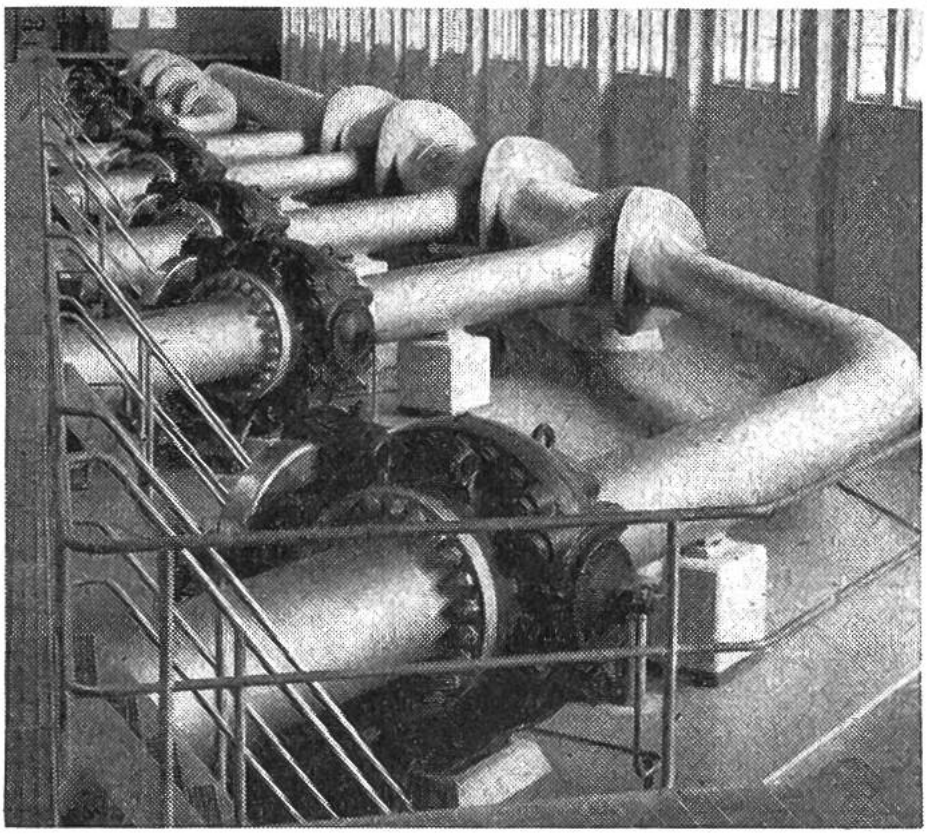
Es ist eine Eigentümlichkeit der elektrischen Energie, dass sie als solche nicht gespeichert werden kann, das heisst dass sich in jedem Zeitpunkt Erzeugung und Verbrauch einschliesslich aller



Luftaufnahme des Kraftwerkes Verbois bei Genf. Links: Maschinenhaus und anschliessend Wehranlage, die den gestauten Fluss vom «Unterwasser» trennt. Im Vordergrund ist die Hochspannungs-Schaltanlage sichtbar.

Verluste decken müssen. Die schweizerische Elektrizitätserzeugung erfolgt zu rund 98% in Wasserkraftwerken, die man entsprechend ihrer Betriebsart als Laufkraftwerke oder Speicherkraftwerke bezeichnet.

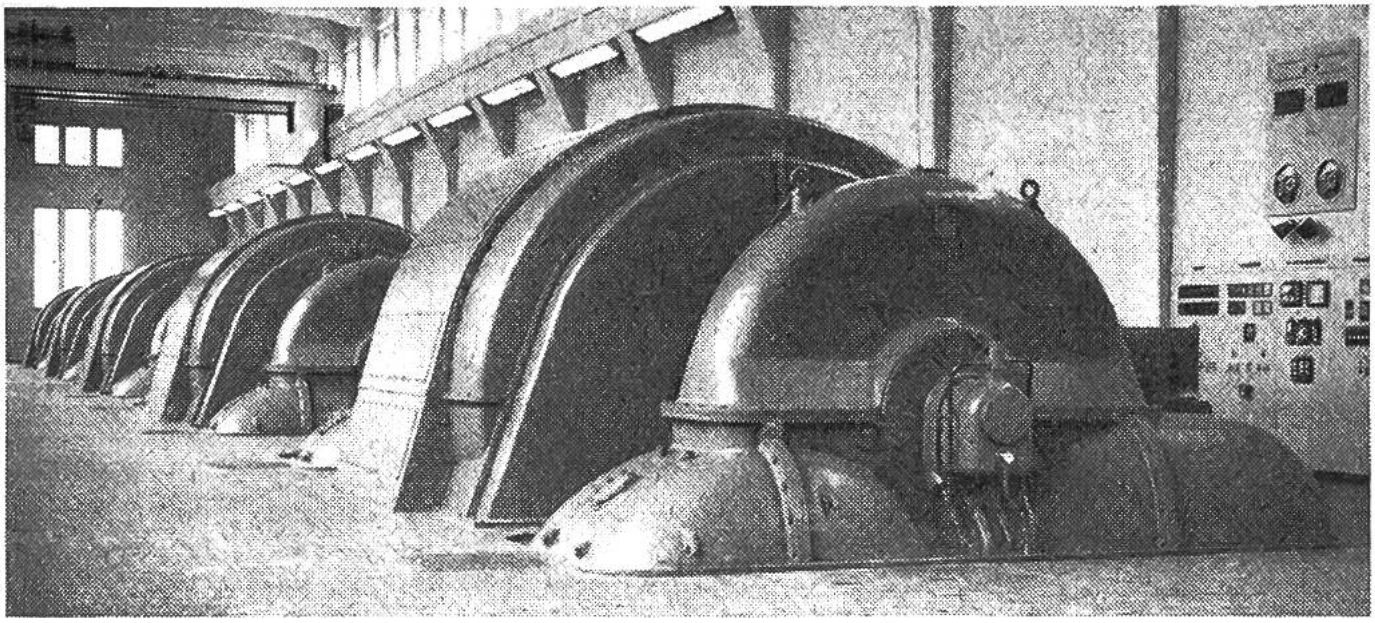
Mit **Laufkraftwerk** oder **Flusskraftwerk** bezeichnet man Anlagen, die den natürlichen Abfluss eines Gewässers und die hiedurch anfallende «hydraulische» Energie «laufend» verwerten. Diese Laufkraftwerke können kein Wasser speichern, und ihre Elektrizitätserzeugung richtet sich deshalb nach der Wasserführung des Flusses. Diese weist neben den von Niederschlägen beeinflussten täglichen oder wöchentlichen Schwankungen bedeutende jahreszeitliche Veränderungen auf, die durch den alpinen Charakter unserer Gewässer bedingt sind und sich so äussern, dass die aus den Laufkraftwerken verfügbare Leistung im Frühling und Sommer bedeutend grösser ist als im Winter. Im Winter gelangen bekanntlich nicht alle Niederschläge zum Abfluss, da sie zum Teil als Schnee fallen und über längere Zeit in fester Form liegen blei-



Hochdruck-Wasserverteilleitungen in der Zentrale Riddes der Kraftwerke Mauvoisin. Dieses Verteilsystem mit den eingebauten Kugelschiebern (Hahnen) führt direkt zu den im Nebenraum aufgestellten Wasserturbinen.

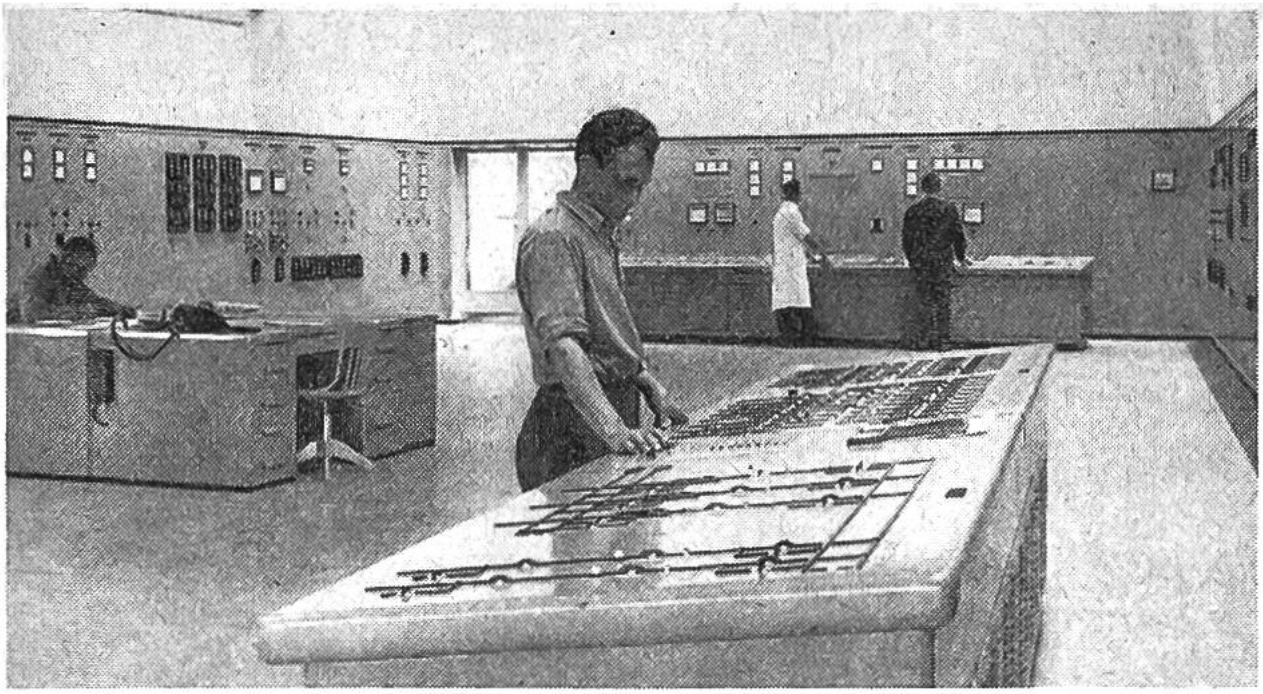
ben. Glücklicherweise wirken die grossen schweizerischen Mittellandseen und die künstlich angelegten Speicherbecken im Hochgebirge stark ausgleichend auf die Abflussmenge der Flüsse, so dass sich die Erzeugungsmöglichkeit in den grossen Niederdruck-Laufwerken stark ausgleichen und somit auch im Winter mit einer Produktion von 40 bis 45 % im Verhältnis zu 55 bis 60 % im Sommer gerechnet werden kann. Bei Hochdruck-Laufwerken an Gebirgsbächen ohne Speichermöglichkeit fällt dieses Verhältnis auf etwa 20 bis 30 % im Winter und steigt auf 70 bis 80 % im Sommer.

Aus welchen Teilen setzt sich nun ein **Niederdruck-Laufkraftwerk** zusammen? Durch die Erteilung einer Konzession wird ein bestimmter Abschnitt eines Flusslaufes festgelegt, in dessen Grenzen die Wasserkraft zur Nutzung herangezogen werden kann. Bedingung ist, dass ausserhalb dieser festgelegten Grenzen weder bei Betrieb noch bei Stillstand des Kraftwerkes eine Änderung des bestehenden Abflusszustandes auftritt. Der



Maschinensaal des Kraftwerkes Riddes (links anschliessend an Bild 2) mit 5 kombinierten Maschinengruppen. Im Vordergrund Peltonturbine, daran anschliessend Synchrongenerator zur Elektrizitätserzeugung. Rechts Schalttafelfeld mit Überwachungsinstrumenten.

Höhenunterschied zwischen dem obern und untern Wasserspiegel ergibt das Bruttogefälle. Die ganze, diesem Bruttogefälle entsprechende Wasserkraft wurde vor der Erstellung des Werkes beim Abfluss im natürlichen Flussbett durch Reibungsverluste aufgezehrt. Durch sorgfältigen Ausbau des rauhen und unregelmässigen Flussbettes oder die Anlegung eines getrennten Oberwasser- und Unterwasserkanals können diese Reibungsverluste auf ein Minimum reduziert werden. Der ausgebaute Fluss oder, sofern vorhanden, der Oberwasserkanal wird durch ein Stauwehr abgeriegelt. Mit diesem besteht die Möglichkeit, das Wasser unter sehr kleinem Gefälle dem Maschinenhaus bzw. den Turbinen zuzuführen. Aus Sicherheitsgründen muss in jedem Fall die Wehranlage so gebaut und bemessen sein, dass allfällig auftretende Hochwasser über das Wehr abgeleitet werden können. Von der Oberwasserseite gelangt nun das Wasser in die bei kleinerem Gefälle meist als Kaplanturbine ausgebildete Wasserkraftmaschine und anschliessend durch das Turbinensaugrohr in den Unterwasserkanal oder die Unterwasserseite des Flusses, von wo es ebenfalls wieder unter sehr kleinem Gefälle zur Wasserrückgabe an die untere Konzessionsgrenze geleitet wird. Eine Übersicht

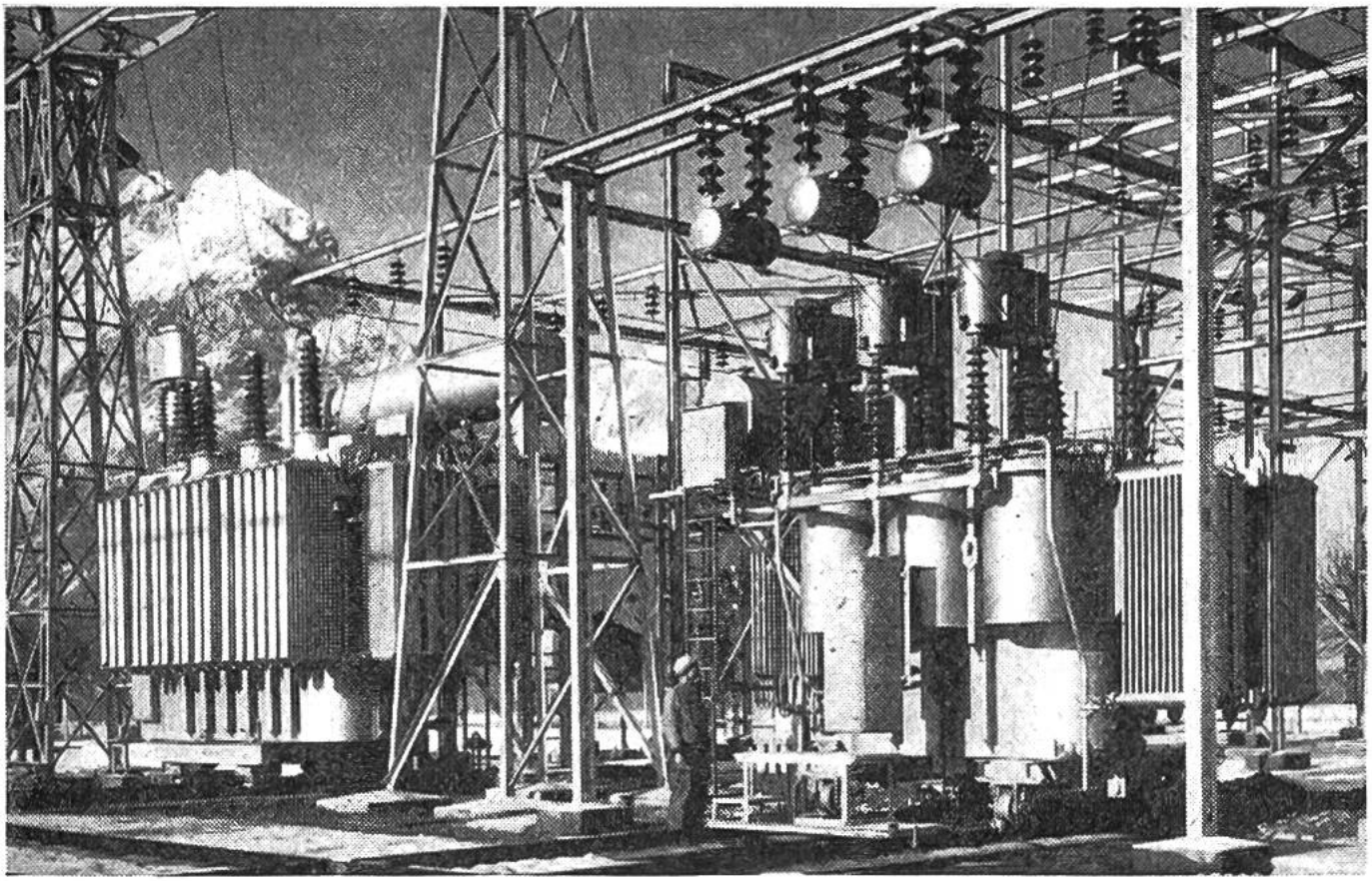


Kommandoraum im Unterwerk Aathal der Elektrizitätswerke des Kantons Zürich. Von hier aus werden auch andere Unterwerke ferngesteuert.

über ein derartiges Flusskraftwerk vermittelt die Luftaufnahme des Kraftwerkes Verbois bei Genf.

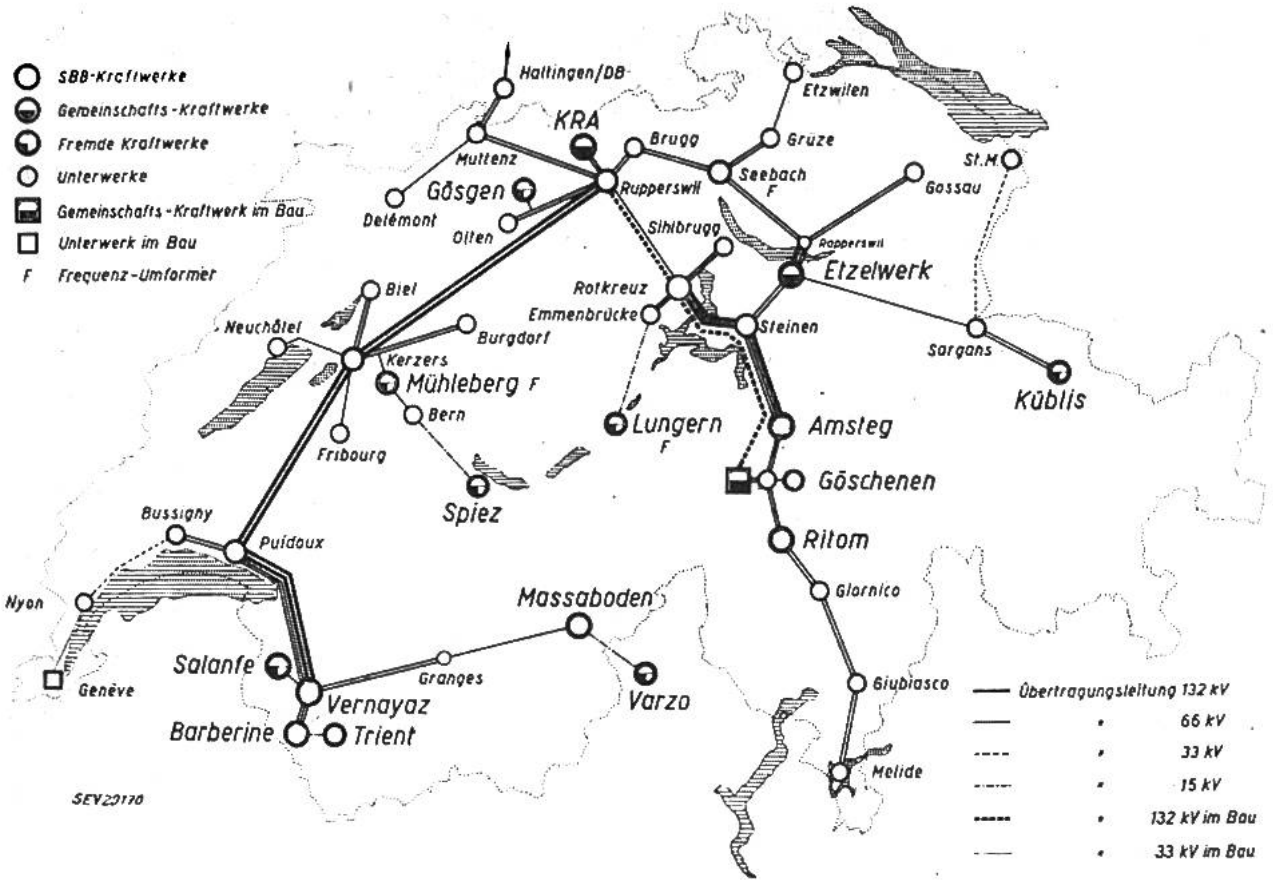
Wie ist demgegenüber ein **Hochdruck-Speicherkraftwerk** aufgebaut? Wir sagten einleitend, dass Elektrizität nicht gespeichert werden kann. Eine Vorratshaltung – namentlich für den höheren Winterbedarf – ist auf Umwegen allerdings möglich, nämlich durch die Speicherung von Wasser in hochgelegenen Gebirgstälern. In der Schweiz wurde in den letzten Jahren eine grössere Anzahl hochgelegener Speicherseen gebaut, die gestatten, sehr nennenswerte Mengen Wasser zu stauen und dann zu nutzen, wenn ein tatsächlicher Bedarf vorliegt.

Für die Wasserkraftnutzung taugliche Wasserspeicher können geschaffen werden durch die Anzapfung und Absenkung natürlicher Bergseen, wie z. B. Lungernsee und Davosersee, durch das Anlegen künstlicher Seen durch Talabschlüsse in Form von Staumauern oder Staudämmen, beispielsweise Wäggital, Etzel, Grimsel, Zervreila, Mauvoisin, Grande Dixence und andere, oder durch Kombination beider Möglichkeiten, also der Anzapfung eines natürlichen Sees durch Höherstauung, wie z. B. beim Klöntalersee, Ritomsee, Lucendrosee.



Freiluft-Transformatorenstation Wimmis der Bernischen Kraftwerke AG, Bern. Dreiwicklungs-Stufentransformator für 20000 kVA, mit angebautem Stufenschalter für 150 kV. Rechts: Dreiphasentransformator für 25000 kVA mit Stufenschalter 65 kV.

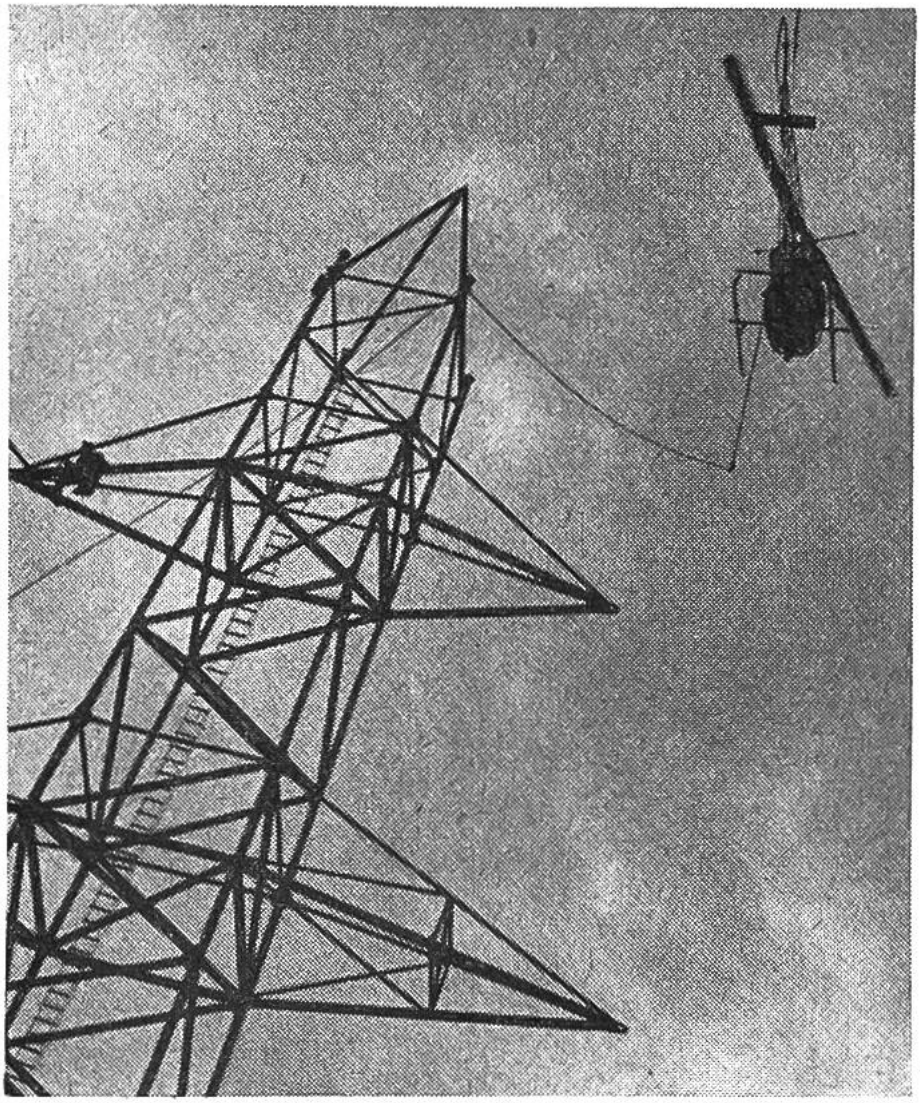
Welche Anlageteile sind aber für ein Hochdruck-Speicherkraftwerk ausser einem Stausee und abschliessendem Damm oder Mauer notwendig? Das Speicherwasser wird von der mit Abschlussorganen ausgestatteten Wasserfassung in den Druckstollen, das Wasserschloss und Druckleitungen oder an deren Stelle durch einen Druckschacht zu den im Maschinenhaus aufgestellten Peltonturbinen geleitet und fliesst dann durch den Ablaufkanal in ein natürliches Gewässer.
Während die Farbphoto Seite 189 den lieblich daliegenden Ritomstausee zeigt, ist im unteren Bild die Staumauer ersichtlich. Das Farbbild Seite 190 zeigt demgegenüber die vom Stausee ins Tal führenden Druckrohrleitungen des Kraftwerkes Amsteg, unten das Maschinenhaus, in dem mittels der Wasserturbinen den unter grossem Druck herabstürzenden Wassermassen die Energie entzogen und in den Generatoren in Elektrizität umgewandelt wird; rechts im Bilde ist der Ablaufkanal in die Reuss sichtbar. Wie die Druckleitungen in einem solchen Kraftwerk für die Zu-



Übersichtsplan der Kraftwerke und Hochspannungs-Verteilleitungen des Netzes der Schweizerischen Bundesbahnen für das Bahnstromsystem von $16^2/_3$ Hertz. Dieses Produktions- und Verteilsystem ist von demjenigen der allgemeinen 50-Hertz-Elektrizitätsversorgung getrennt.

führung zu den einzelnen Wasserturbinen aufgeteilt werden, zeigt das Bild des Kraftwerkes Riddes. Im folgenden Bild ist der Maschinensaal eines grossen Kraftwerkes zu sehen, in dem die Peltonturbinen mit den die Elektrizität erzeugenden Turbinen direkt gekuppelt sind. Die in einem solchen Generator erzeugte elektrische Energie wird nun über Kabel in das nahegelegene Unterwerk (vergleiche die Aufnahme des Kraftwerkes Verbois) geleitet. Hier wird die Spannung durch grosse Transformatoren auf eine für die Übertragung geeignete hohe Spannung transformiert. Von der Schaltstation aus führen dann Hochspannungs-Freileitungen zu andern Unterwerken und schliesslich in die Verbrauchszentren.

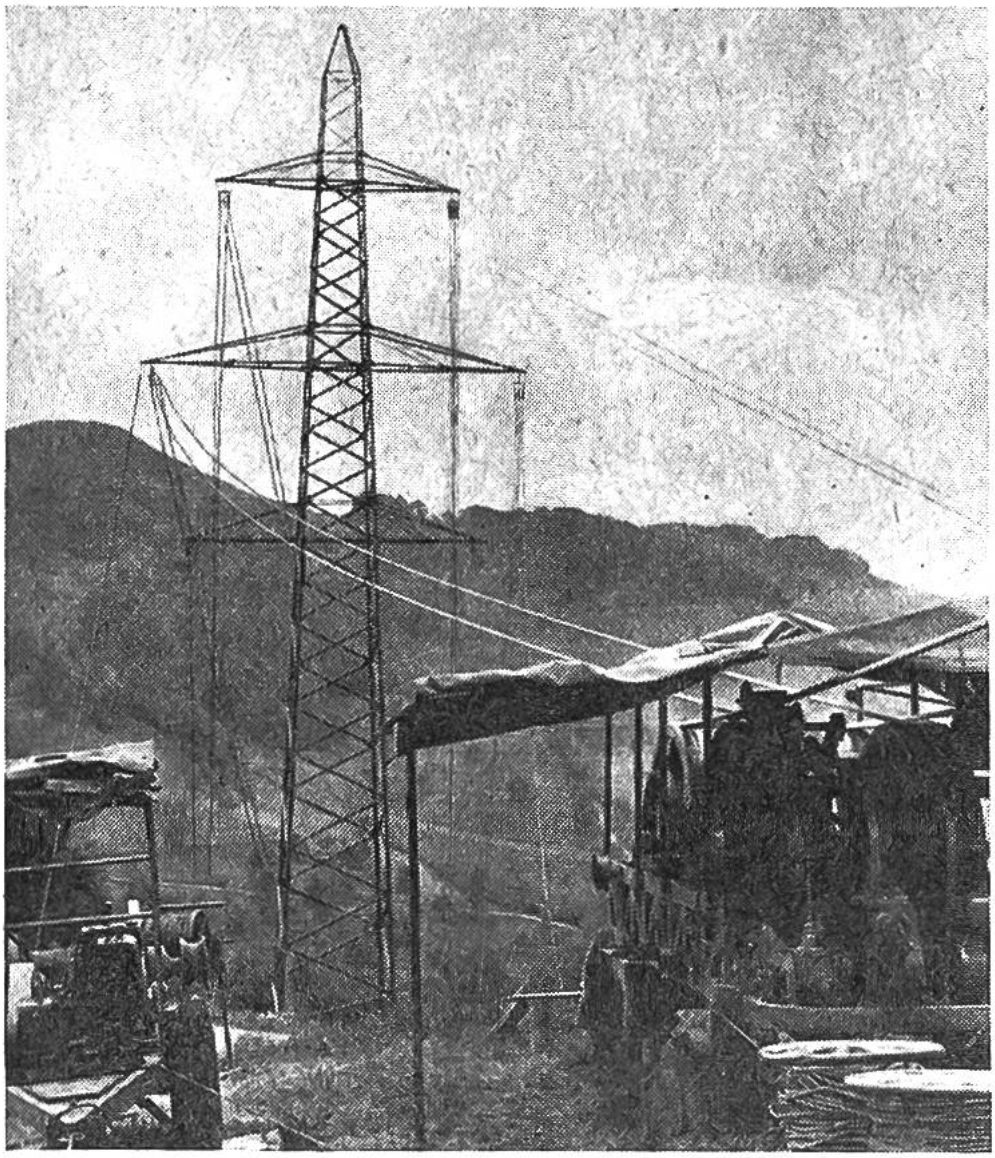
Heute erfolgt der Betrieb der Kraftwerke weitgehend automatisch, und die Aufgabe des Menschen beschränkt sich vorwiegend auf die Erteilung von Befehlen von einer zentral gelegenen Steuerstelle aus sowie auf das Überwachen der Arbeitsweise der verschiedensten Geräte.



Beim Bau einer Hochspannungsleitung werden zuerst die Masten aufgebaut; anschliessend erfolgt der Seilzug, das Auslegen und Abspannen der den elektrischen Strom führenden Leiterseile aus Stahl-Aluminium oder Aldrey. Das Bild zeigt das Auslegen eines «Vorseiles» mittels eines Helikopters von Mast zu Mast, mit dem dann das «Zugseil» für den Nachzug der definitiven Leiterseile nachgezogen wird.

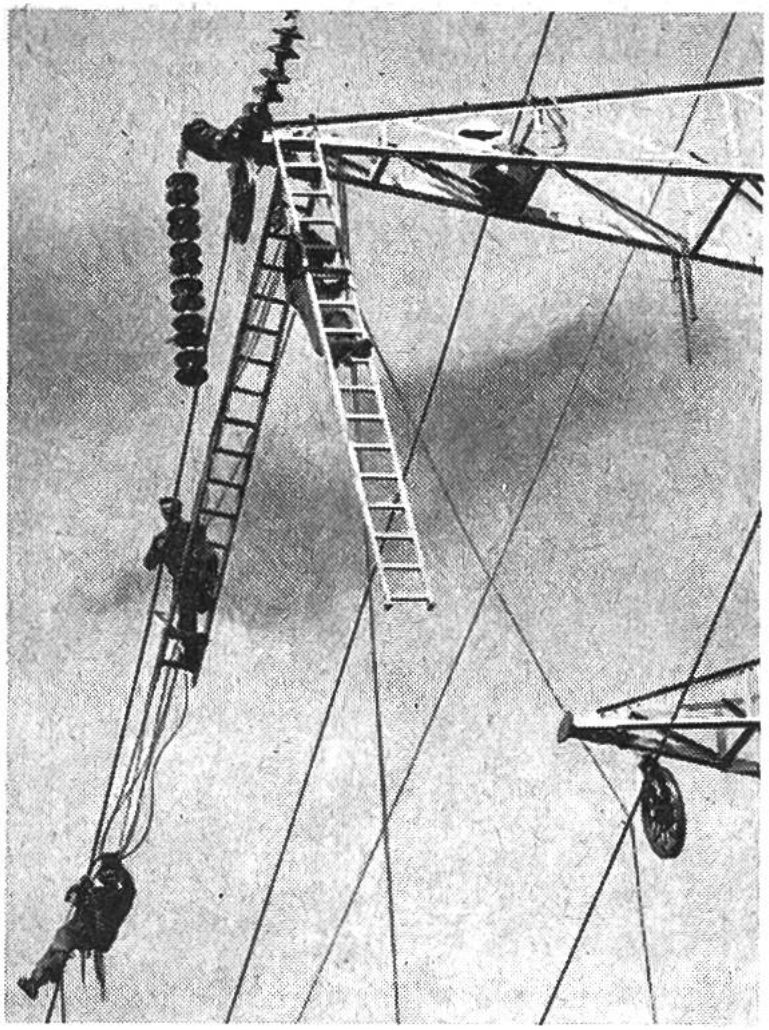
Die Energie-Übertragungsanlagen

Die in den verschiedenen Kraftwerken erzeugte elektrische Energie muss nun zum Verbraucher transportiert werden können. In den vorstehend erwähnten Unterschieden in der Erzeugungsmöglichkeit von Lauf- und Speicherkraftwerken liegt auch die Notwendigkeit, alle diese Kraftwerke durch geeignete Hochspannungsleitungen miteinander zu verbinden, was praktisch nichts anderes heisst, als dass alle Kraftwerke elektrisch gesehen «parallel geschaltet» werden können und dann im «Verbundbetrieb» arbeiten. Je grösser die Distanzen und die zu übertragenden Lei-



Die Vorseile für den Seilzug sind mit der links im Bild sichtbaren Seilwinde ausgelegt worden. Über die am Mastausleger sichtbaren Seilrollen werden nun die schweren (im Bild von rechts kommend) sichtbaren Leiterseile ausgelegt. Der Zug erfolgt von einer um einen Seilzugabschnitt entfernt aufgestellten grossen Seilzugmaschine. Die auf dem Bild rechts sichtbare Seilbremsmaschine sorgt dafür, dass ein gewisser Seilzug aufrechterhalten wird.

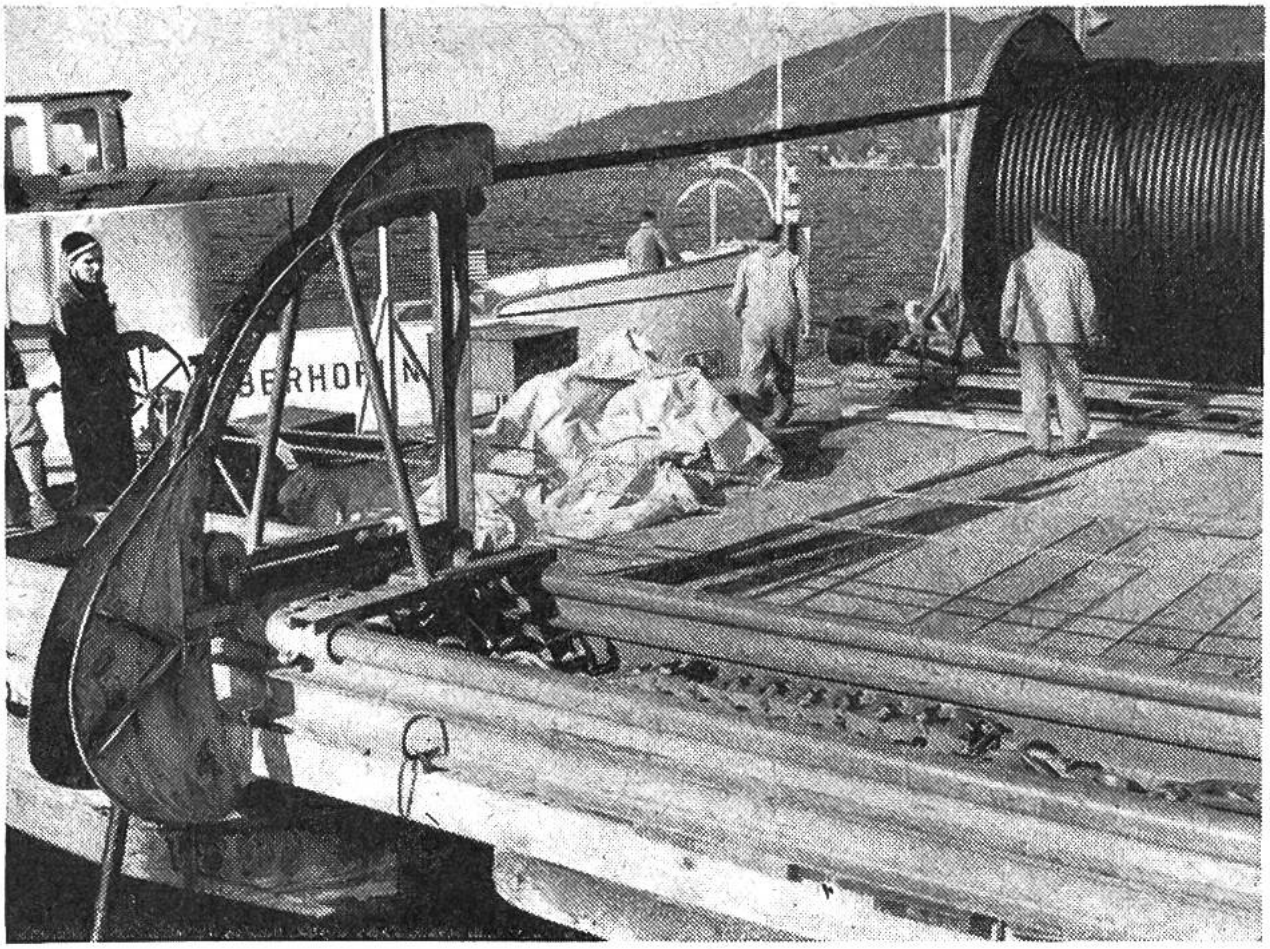
stungen von den Produktions- zu den Verbrauchszentren werden, desto höher müssen die elektrischen Spannungen für den technisch und wirtschaftlich zweckmässigen Transport werden.
Für ganz spezielle Anwendungen können an Stelle von Hochspannungs-Freileitungen für die Energieübertragung auch Hochspannungskabel verwendet werden. Aus Kostengründen – ein in Kabeln ausgeführter Leitungsabschnitt ist um ein Mehrfaches teurer als ein solcher mit Freileitung – sind aber der Anwendung von Hochspannungskabeln wirtschaftliche Grenzen gesetzt.



Nach erfolgtem Seilzug werden die Ausleger «ausgerüstet», d. h. die Isolatoren montiert und die Seildurchhänge einreguliert; eine gefahrvolle, Geschick und Mut erfordernde Arbeit viele Meter über dem Erdboden.

Das Hochspannungsnetz der Allgemeinversorgung und das bundesbahneigene Hochspannungsnetz

Während heute in Europa die Elektrizitätsversorgung auf der Basis des Drehstromsystems mit einer Frequenz von 50 Hz erfolgt, haben die Schweizerischen Bundesbahnen sich aus technischen Gründen im Zusammenhang mit den elektrischen Bahnmotoren für die Lokomotiven bereits im zweiten Jahrzehnt dieses Jahrhunderts zur Einführung des Wechselstrom-Einphasensystems mit einer Frequenz von $16\,^2/_3$ Hz entschlossen. Die Tatsache dieser unterschiedlichen Stromsysteme macht in der Praxis das Vorhandensein zweier getrennter Hochspannungs-Übertragungssysteme erforderlich. Aus technischen Gründen kann aber auch die Stromerzeugung für die beiden Systeme nicht in den gleichen Generatoren erfolgen, so dass auch separate Generatoren in den Kraftwerken erforderlich sind. Die Schweizerischen Bundesbahnen haben deshalb im Zuge ihrer schon früh energisch vorange-



Kabelauslegung im Thunersee: Kabelrolle und Ablaufvorrichtung auf dem Verlegefloss, das vom Begleitschiff von Ufer zu Ufer gezogen wird.

triebenen Elektrifikation eine Reihe eigener Kraftwerke gebaut, von denen hier nur Ritom, Amsteg, Barberine, Vernayaz sowie verschiedene Gemeinschaftswerke, wie z. B. das Etzelwerk, Rupperswil-Auenstein oder als neuestes Werk Göschenen, genannt seien. In diesen Gemeinschafts-Kraftwerken sind sowohl Generatoren für das Netz der Allgemeinversorgung wie auch für den Bahnbetrieb aufgestellt. Über das Wasser kann hier ein gegenseitiger Austausch von Energie für die Bundesbahnen und die Allgemeinversorgung vorgenommen werden, wozu sonst recht komplizierte Maschinengruppen für Frequenzumformung nötig wären.

Zieht man in Betracht, dass die schweizerischen Bahnen mit etwa 10% am gesamten schweizerischen Verbrauch elektrischer Energie teilhaben, so kann man sich leicht vorstellen, dass das Netz der Allgemeinversorgung ein weit umfangreicheres sein muss.

H. Lienhard, Elektrowirtschaft, Zürich