

Zeitschrift: Bulletin de l'Association suisse des électriciens
Herausgeber: Association suisse des électriciens
Band: 35 (1944)
Heft: 22

Artikel: Betriebserfahrungen über Transformatoren mit Aluminiumwicklungen
Autor: Wacker, W.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1057001>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 25.12.2024

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

Bei der neuen Spreizflanschisolation ist die Sache eindeutiger, da sie fugenlos aus dem Zwischenraum der Wicklungen herauswächst und sich derart verbreitert, dass auch bei kleinem Schutzringradius kein Raum mehr ist für Teilentladungen.

Der Vorsitzende dankt den Herren Diskussionsrednern für ihre Beiträge, besonders dem Referenten, Herrn Meyers, für die Beantwortung der Fragen, und gibt hierauf das Wort Herrn Rochat, dann Herrn Wacker. (Der Vortrag Rochat erscheint später.)

Betriebserfahrungen über Transformatoren mit Aluminiumwicklungen

Vortrag, gehalten an der Diskussionsversammlung des SEV vom 13. Juli 1944 in Zürich,

von W. Wacker, St. Gallen

621.314.21.045:621.315.53

Die Ergebnisse einer umfassenden Rundfrage bei mehreren Elektrizitätswerken, Fabrikanten und Reparaturfirmen betr. Erfahrungen über Transformatoren mit Aluminiumwicklungen werden mitgeteilt, und es wird kurz auf ihre Technologie, Konstruktion, Verhalten im Kurzschluss und Wirtschaftlichkeit eingegangen. Auf Grund dieser Umfrage darf gesagt werden, dass sich der Aluminiumtransformator durchaus bewährte, und dass keine Störungen bekannt wurden, die auf die Verwendung von Aluminium zurückgeführt werden müssten. Dies gilt namentlich auch für die während des Krieges 1914/18 gebauten und zum Teil heute noch im Betrieb stehenden Aluminiumtransformatoren. Eine Zurückhaltung in der Bestellung solcher Apparate erscheint ungerechtfertigt.

L'auteur communique les résultats d'une enquête détaillée auprès d'entreprises électriques, de fabricants et d'ateliers de réparation, à propos des expériences faites avec les transformateurs à bobinages en aluminium. Il donne quelques brèves explications sur la technologie, la construction, le comportement en cas de court-circuit et le rendement économique de ces transformateurs. D'une manière générale, ceux-ci se sont bien comportés et les bobinages en aluminium n'ont donné lieu à aucune perturbation. Un certain nombre de ces transformateurs avaient été construits durant la guerre de 1914—1918 et sont encore actuellement en service. Les transformateurs de ce genre peuvent donc être recommandés sans crainte.

Im folgenden sollen über die bisherigen Betriebserfahrungen über Transformatoren mit Aluminiumwicklungen, im folgenden mit Al-Transformatoren bezeichnet, einige Angaben gemacht werden, soweit dies im Rahmen der Möglichkeit liegt. Um eine breitere Grundlage für diese Mitteilungen zu erhalten, wurden 11 Elektrizitätswerke (Überland- und städtische Werke) sowie 7 Hersteller- und Reparaturfirmen von Transformatoren um die Bekanntgabe ihrer Erfahrungen ersucht. Für die grosse Unterstützung, die vom Sekretariat des SEV und von den an der Umfrage beteiligten Elektrizitätswerken und Firmen bei den Erhebungen gewährt wurde, soll an dieser Stelle bestens gedankt werden.

ten Kriege gebaut wurden, die Betriebsdauer bis auf 25 Jahre ausdehnte.

Die Ergebnisse der Umfrage erstrecken sich über ca. 300 Al-Transformatoren, welche bei den angefragten Elektrizitätswerken seit kürzerer oder längerer Zeit im Betrieb stehen und über mehr als 2300 solcher Apparate, die von den Herstellerfirmen während des jetzigen Krieges gebaut und abgeliefert wurden. Hiezu kommen noch Angaben, die mehr als 100 Al-Transformatoren betreffen, welche aus dem letzten Weltkrieg stammen.

Einmütig gaben alle befragten Elektrizitätswerke und Firmen der Auffassung Ausdruck, dass die Betriebs- und damit die Beobachtungsdauer für die im Laufe des jetzigen Krieges gebauten Al-Transformatoren zu kurz sei, um ein endgültiges Urteil über das Betriebsverhalten dieser Apparate abgeben zu können.

In bezug auf die Ausführungsart der erwähnten Transformatoren handelt es sich zum weitaus grössten Teil um solche in Öl für Innenraum- und Freiluftaufstellung mit und ohne unter Last schaltbaren Stufenschaltern, deren Schaltheufigkeit in Einzelfällen bis 12 000 Schaltungen pro Jahr betragen kann, sowie um einige vereinzelte Lufttransformatoren. Mit Ausnahme von einigen Lokomotivtransformatoren ist ausschliesslich von Dreiphasentransformatoren für 50 Hz die Rede. Deren Leistungen liegen zwischen 8 und 22 000 kVA, die Oberspannungen zwischen 9 und 73 kV und die Unterspannungen zwischen 220 V und 10 kV.

Uebereinstimmend teilten alle in die Umfrage einbezogenen Unternehmungen mit, dass bis jetzt noch keine einzige Störung bei den Al-Transformatoren neueren Herstellungsdatums auf die Verwendung von Aluminium als Wicklungsmaterial zurückzuführen war. In bezug auf die aus dem letzten Krieg stammenden Al-Transformatoren wurde ausnahmslos bestätigt, dass keine davon zu Klagen im Betrieb Anlass gegeben hätten. Sofern diese in Herstellungs- oder Reparaturwerkstätten zurückkehrten, war es, um sie für eine andere Spannung umzubauen, oder um deren Leistung durch Umbau auf eine Cu-Wicklung etwas zu erhöhen.

Bei den im Laufe des gegenwärtigen Krieges gebauten Al-Transformatoren beträgt die Betriebs- und Beobachtungszeit einige Monate bis höchstens 4 Jahre, während sich bei denjenigen, die im letz-

Trotzdem die generellen Angaben über das Betriebsverhalten zu einem sehr befriedigenden Resultat gelangen, soll im folgenden auf einige Detailfragen kurz eingetreten werden. Zunächst sei der Vergleich der physikalischen und technologischen Haupteigenschaften von Cu und Al in Erinnerung gerufen.

So beträgt bekanntlich der elektrische Widerstand von Al ca. das 1,6...1,65fache desjenigen von Cu, d. h. ein leitwertgleicher Leiter muss in Al den 1,6...1,65fachen Querschnitt oder die 1,265...1,283fachen linearen Dimensionen aufweisen, wie der entsprechende Cu-Leiter.

Die spezifische Wärme für Al beträgt das 2,34fache, die Wärmeleitfähigkeit das 0,53fache des Cu. Diese Zahlen im Zusammenhang mit den wirksam gekühlten Wicklungsflächen erlauben einen Vergleich der Al- mit der Cu-Wicklung in bezug auf das thermische Verhalten.

Die mechanischen Materialkonstanten des Al ergeben im Vergleich zu denjenigen des Cu folgende Relativ-Werte: Die Zugfestigkeit von Al $\frac{1}{2}$ hart beträgt 42,8...62,5 % derjenigen von geglähtem Cu. Die zulässige Belastung des Al-Drahtes darf mit ca. 50 % derjenigen des Cu angesetzt werden. Der Elastizitätsmodul des Al beträgt das 0,5...0,6fache des Cu. Setzt man jedoch leitwertgleiche Leiter in Al und Cu voraus, so ergeben sich wesentlich günstigere Vergleichswerte. So kann die absolute Festigkeit des leitwertgleichen Al-Leiters mit ca. 70...90 % des Cu-Leiters bewertet werden.

Die Längsdehnung bei Zugbeanspruchung kann beim Al-Leiter zu 104...125 % derjenigen des leitwertgleichen Cu-Leiters erwartet werden.

Je nach den im einzelnen konkreten Fall gewählten Al-Sorten (weich, $\frac{1}{2}$ hart oder hart) können diese angegebenen Verhältniszahlen noch Änderungen erfahren. Die Auswahl des Wicklungsmaterials richtet sich nach den nötigen Wicklungsabmessungen. Es sei noch bemerkt, dass weiches Al eine bessere elektrische Leitfähigkeit besitzt als Al $\frac{1}{2}$ hart oder hart. Dafür ist die mechanische Festigkeit des weichen Al kleiner. Es kann somit als Regel gelten: steigende Reinheit des Al über 99,5 % erhöht die elektrische Leitfähigkeit, wobei die mechanische Festigkeit sinkt.

Der *konstruktive Aufbau* des Al-Transformators ist im Prinzip der gleiche wie der des Cu-Transformators. Im allgemeinen weist er jedoch etwas grösseres Eisengewicht, ein grösseres Gesamtvolumen und eine grössere Oelmenge auf. Dank geringeren Gewichtes des Wicklungsmaterials ist das Gesamtgewicht des Al-Transformators ungefähr gleich demjenigen des Cu-Transformators. Die Dimensionierung richtet sich naturgemäss nach den Materialkonstanten und technologischen Eigenschaften des Aluminiums, also nach der elektrischen und Wärmeleitfähigkeit, den mechanischen Festigkeitswerten sowie nach den Erwärmungs- und Wärmeabgabekoeffizienten. Vergleichsziffern könnten höchstens von Herstellerfirmen für konkrete Fälle bekanntgegeben werden.

Neben den eigentlichen Al-Wicklungen dürften die *Verbindungen* besonderes Interesse bieten. Grundsätzlich erfordern Al-Leiter-Verbindungen eine andere Behandlungsweise und Herstellungstechnik als diejenigen für Cu-Leiter.

Im Laufe der Entwicklung haben sich zur Hauptsache 4 Arten von Verbindungen herausgebildet, nämlich die Lötung, Verschraubung, Verschweissung und die Verwendung von Cu-Hülsen, die unter Zuhilfenahme eines Reiblotes auf das Al-Ende luft- und feuchtigkeitsdicht aufgebracht werden.

Anfänglich, bis die Arbeiter das Al-Löten beherrschten, war eine gute Lötverbindung noch schwierig herzustellen. Es wurde von einem Fabrikanten mitgeteilt, dass in wenigen vereinzelt Fällen bei Schweisstransformatoren korrodierte Lötstellen festgestellt wurden, die auf das Anlernen der Arbeiter auf Al-Verbindungen zurückgeführt werden mussten. Diese Anfangsschwierigkeiten können

heute jedoch als überwunden gelten und sind nicht mehr zu befürchten. Eine wesentliche Verbesserung stellt die Einführung der Hartlötung mit einem nicht hygroskopischen Lötmedium dar. Es ist damit möglich, bei einer Temperatur von 60...70° unter dem Schmelzpunkt des Al, d. h. bei ca. 588...600°, eine absolut korrosionsfeste Verbindung herzustellen.

Die Herstellung der Hartlötung ist etwas weniger heikel als das Schweißen, weil die Temperatur unterhalb des Schmelzpunktes liegt. Für Oel-Transformatoren spielt die Korrosionsfreiheit der Verbindung eine weniger ausschlaggebende Rolle, weil unter Oel kein Feuchtigkeitszutritt erfolgen kann. Besondere Bedeutung gewinnt dieses Verfahren aber bei den an freier Luft liegenden Verbindungen.

Verschraubte Verbindungen haben nach Angaben der Werke noch keine Störungen ergeben. Weil der Betrieb der Transformatoren immer standstilllos vor sich ging, wurden diese nicht aus dem Oelkessel ausgebaut und die Verbindungen nicht speziell kontrolliert. Schraubverbindungen mit genügend starken Eisenschrauben, gut vorbereiteten Kontaktstellen und federnder Zwischenlage haben sich bewährt. Die Verwendung von Al-Schrauben dagegen hat sich nicht als zweckmässig erwiesen, da sich die Al-Bolzen mit der Zeit streckten, was grössere Erwärmung zur Folge hatte. Nachziehen der Mutter setzte wohl die Erwärmung herab, aber mit der Zeit dehnten sich die Schrauben derart stark, dass die Mutter kaum mehr gedreht werden konnte und ein Anfressen des Al-Gewindes auftrat. Al-Transformatoren aus dem letzten Krieg wiesen durchweg verschraubte Verbindungen auf. An diesen wurden während der langjährigen Betriebsdauer weder mechanische noch chemische Veränderungen festgestellt, und sie gaben auch zu keinen Störungen Anlass.

Nach übereinstimmenden Äusserungen von Herstellerfirmen hat sich als sehr gute und in jeder Hinsicht zuverlässige Verbindung die *Schweissung* erwiesen. Diese wird daher überall, wo es irgendwie möglich ist, angewendet. Diese Verbindungsart ist sicher korrosionsfrei, weil nicht verschiedene Metalle miteinander in Berührung kommen und keine Uebergangswiderstände verursacht werden. Die Schweissung hat sich als die beste und sicherste Verbindungsart gezeigt. Wenn von einem Nachteil gesprochen werden könnte, wäre es der, dass hiezu speziell eingeschulte Arbeiter benötigt werden. Beim heutigen Stand der Verarbeitungstechnik kann füglich damit gerechnet werden, dass keine Schwierigkeiten in den Verbindungen im Betrieb auftreten werden. Bemerkenswerterweise sind auch keine Klagen über irgendwelche Unzulänglichkeiten an Verbindungen aus den Elektrizitätswerkbetrieben laut geworden.

Ein besonderes Augenmerk soll noch auf den *Kurzschluss* gerichtet werden, da dieser ausschlaggebend ist für die mechanische und thermische Beanspruchung, welcher ein Transformator ausgesetzt ist.

Auf Grund eingehender Studien und theoretischer Ueberlegungen wird von einer Unternehmung die Befürchtung ausgedrückt, dass der Al-Transformator bei Kurzschluss gegenüber einem solchen mit Cu-Wicklungen im Nachteil sei. Es wird dabei darauf hingewiesen, dass die elastischen Eigenschaften des Cu günstiger und demzufolge besser geeignet seien zur Aufnahme stossweiser Belastungen. Sodann wird damit im Zusammenhang bekanntgegeben, dass die Lieferfirmen die zulässige Kurzschlussdauer für Al-Transformatoren gegenüber analogen Cu-Transformatoren herabsetzen und dass mit dem Wiedereinschalten länger zugewartet werden müsse als bei den Cu-Transformatoren.

Dazu ist ergänzend zu bemerken, dass sich die auftretenden Kurzschlusskräfte in den zumeist verwendeten kreisrunden Spulen zur Hauptsache als Zugkräfte auswirken und dass die absolut zulässige Zugbelastung eines leitwertgleichen Al-Leiters ca. 70...90% des entsprechenden Cu-Leiters ist. Sollte diese Festigkeit nicht genügen, so hat es der Konstrukteur in der Hand, durch konstruktive Massnahmen oder durch Wahl von mechanisch festeren Al-Legierungen (z. B. Aldrey) der Gefahr einer zu grossen dynamischen Beanspruchung zu begegnen. Dabei muss berücksichtigt werden, dass der spez. Widerstand von $0,029 \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$ auf $0,033 \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$ wächst. Solche Vorkehrungen dürften jedenfalls nur bei speziellen Grosstransformatoren mit geringer Streuung nötig werden, für normale Typen dagegen nicht. In bezug auf den Temperaturanstieg ist im Kurzschluss bei Vernachlässigung der Abkühlung zu bemerken, dass bei leitwertgleichen Leitern aus Cu und Al bei Al die Temperatur *langsamer* ansteigt als in Cu.

Den kritischen Ueberlegungen stehen Aeusserungen entgegen über betriebsmässige Kurzschlüsse an Al-Transformatoren von 22 000 kVA Leistung bei einem Uebersetzungsverhältnis von 9/65-69-73 kV und einer Kurzschlussspannung von 8,5%. Diese Transformatoren für Freiluftaufstellung und Wasserkühlung waren direkt an den Generator angeschlossen und erlitten Kurzschlüsse unmittelbar nach ihren Oberspannungsklemmen bei voll erregter Maschine. Laut Bericht des betreffenden Werkes haben diese Transformatoren die erwähnten Kurzschlüsse anstandslos ausgehalten. Von einer Herstellerfirma wird ebenfalls bekanntgegeben, dass ganz allgemein Al-Transformatoren Kurzschlüsse ohne besondere Erscheinungen und ohne irgendwelche Störungen über sich ergehen liessen. Es wird dabei jedoch vermerkt, dass es nicht sicher sei, ob der dabei aufgetretene Strom wirklich seinen maximalen Wert erreicht habe. Aus allen von den Werken zugestellten Angaben ging hervor, dass keine Schäden an Al-Transformatoren infolge von Kurzschlüssen aufgetreten sind.

Die *Wirtschaftlichkeit* moderner Al-Transformatoren kann wegen ebenfalls zu kurzer Betriebs- und Beobachtungszeit noch nicht richtig und endgültig beurteilt werden. Hiezu dürfte eine Betriebszeit von ca. 10 Jahren erforderlich sein. Von Unternehmungen

wird hervorgehoben, dass der Al-Transformator gegenüber einem solchen aus Kupfer für gleiche Verhältnisse grössere Abmessungen, grösseres Gewicht, grössere Anschaffungskosten und einen etwas geringeren Wirkungsgrad aufweise. Ergänzend kann hiezu mitgeteilt werden, dass ein Al-Transformator für 100% Nennleistung ein aktives Eisenvolumen eines Cu-Transformators für 125% Nennleistung besitzt. Darin liegt unter Umständen eine stille Umbaureserve, falls in späteren Jahren ein Al-Transformator in der Leistung zu knapp werden sollte und sich die Neuanschaffung grösserer Transformatoren noch nicht lohnt. Es kann dieser Transformator mit einer Cu-Wicklung versehen werden, um seine Leistungsfähigkeit um ca. 25%, bezogen auf die ursprüngliche Nennleistung des Al-Transformators, zu erhöhen. Hingegen wird das Wicklungsgewicht wesentlich geringer als das Cu-Gewicht, so dass das Totalgewicht ungefähr dem Cu-Transformator entspricht. Die Verluste eines Al-Transformators mit 100% Nennleistung sind ungefähr die gleichen wie beim Cu-Transformator für 125%. Eine Ausnahme in bezug auf das Gewicht machen die Lokomotivtransformatoren, deren Gesamtgewicht bei Verwendung von Al kleiner ist als bei Cu-Wicklungen, was namentlich für Leichtfahrzeuge bedeutsam ist.

Als Beispiel für die Schätzung der Wirtschaftlichkeit gibt ein Werk für einen 200-kVA-Transformator folgendes bekannt: Anschaffungskosten des Al-Transformators ca. 17% höher als die des Cu-Transformators, wobei der Wirkungsgrad um durchschnittlich 0,6% geringer ist. Für die Verlustdeckung und die Kapitalkosten wird mit einer jährlichen Mehraufwendung von rund 230 Fr. gerechnet. Eine genaue Abklärung der Wirtschaftlichkeit kann nur erfolgen, wenn die vorhandenen oder die zu erwartenden Belastungsverhältnisse im Verlaufe eines Jahres bekannt sind, z. B. an Hand einer Dauerkurve der Belastung.

Stark bestimmend für die Beurteilung der Wirtschaftlichkeit des Al-Transformators ist die Preisgestaltung von Cu und Al. Bei annähernd gleichem Volumenpreis der beiden Materialien ist Al wirtschaftlich im Nachteil. Im Laufe des Krieges aber hat sich das Verhältnis stark zugunsten des Al verschoben (Cu ca. 1,5...1,7mal so teuer wie Al). Wie sich in Zukunft die Cu- und Al-Preise zueinander verhalten werden, ist wegen der Ungewissheit über die künftige Entwicklung des Welthandels nicht abzusehen.

Zum Schluss sei zusammenfassend erwähnt, dass sich in betriebstechnischer Hinsicht der Al-Transformator durchaus bewährt hat und dass keine Störungen bekanntgegeben wurden, die auf die Verwendung von Al zurückgeführt werden mussten. Dies gilt namentlich auch für die während des letzten Krieges gebauten und zum Teil heute noch in Betrieb stehenden Al-Transformatoren.

Obwohl in wirtschaftlicher Beziehung das Al gegenüber dem Cu als Wicklungsmaterial etwas ungünstiger dasteht, sind die Verhältnisse doch der-

art, dass die Anschaffung eines Al-Transformators ohne weiteres gerechtfertigt werden kann.

Auf Grund der bisherigen Erfahrungen kann mit Sicherheit angenommen werden, dass die in den letzten Jahren gemachten Fortschritte in der Ver-

arbeitungs- und Fabrikationstechnik auch für die Zukunft zumindest einen guten Al-Transformator erwarten lassen. Eine Zurückhaltung in der Bestellung von Al-Transformatoren erscheint deshalb ungerechtfertigt.

(Fortsetzung des Berichtes folgt.)

Kraftwerk Lucendro

A. Projektbeschreibung

(Nach Mitt. von Motor-Columbus A.-G. in der Wass.- u. Energ.-Wirtsch. 1944, Nr. 7/8)

621.311.21(494.56)

1. Stauseen

Die günstige topographische und geologische Gestaltung des Lucendrosees, dem die Gotthardreuss entströmt, hat schon früher den Gedanken aufkommen lassen, den See künstlich zu stauen, um Winterenergie zu gewinnen. Vorarbeiten und Projektstudien zeigten, dass es günstiger ist, nicht das Gefälle nach Hospental, sondern das grössere, nach Süden, bis Airolo auszunützen. Die Ableitung des Wassers aus dem Lucendrosee nach Süden gibt auch eine günstige Möglichkeit, das Wasser des Sellasees dem gleichen Werk zuzuleiten.

Das natürliche Einzugsgebiet des Lucendrobeckens beträgt 7 km², das des Sellasees 6 km². Weitere 10 km² werden durch künstliche Einleitung von Seitenbächen gewonnen, so dass im ganzen der Abfluss eines Gebietes von 23 km² ausgenützt wird.

Der Ausfluss des *Lucendrosees* wird durch eine Staumauer abriegelt, und der Seespiegel wird durch Stauung um rund 60 m gehoben. Dadurch wird ein Staubecken von 25 · 10⁶ m³ Inhalt geschaffen.

Der *Sellasee* wird durch eine Mauer um 32 m gestaut, so dass sein Speicherinhalt 9 · 10⁶ m³ beträgt. Das Stauziel des Lucendrosees ist auf 2134,50 m festgesetzt, das des Sellasees auf 2256 m. Die Ausnützung der Niveaudifferenz zwischen beiden Seen kann später in einem Nebenkraftwerk erfolgen.

2. Stollen und Druckleitung

Die Anzapfung des Lucendrosees erfolgt wenig über seiner tiefsten Stelle, d. h. etwa 20 m unter dem ursprünglichen Seespiegel. Das Wasser wird in einem kreisrunden Druckstollen abgeleitet. Wo der Stollen bei gutem Fels unverkleidet gelassen werden kann, beträgt der Durchmesser 2,40 m, in den mit Beton verkleideten Partien 2,00 m. Die durchfließende Wassermenge kann in beiden Fällen 6 m³/s erreichen.

Der Stollen führt unter den Gotthardseen in südöstlicher Richtung gegen das Sellatal, nimmt dort das Wasser dieses Tales und des gestauten Sellasees auf und unterfährt alsdann in mehr südlicher Richtung das Sorescialtal und den Kamm der *Loita dura*. Etwas östlich des *Sasso rosso* tritt der Stollen direkt über Airolo an den Tag.

Am Stollenende sind die Wasserschlosskammern angeordnet. Der Stollen selbst geht in die eiserne Druckleitung über, deren obere Abschlüsse in einer im Berg eingebauten Apparatkammer untergebracht sind. Die obersten 400 m der Druckleitung mussten im Hinblick auf die Felskonfiguration in einen steilen Schrägstollen mit 76,4 % Gefälle verlegt werden. Von da an liegt die Druckleitung frei. Sie führt steil in gerader Linie zum Maschinenhaus. Im Schrägstollen liegt eine Leitung von 1470 mm Durchmesser, in die übrige offene Strecke kommen zwei Leitungen von 945...900 mm Durchmesser zu liegen, von denen zunächst allerdings erst eine ausgeführt wird.

Die Rohre der Druckleitung bestehen aus Kesselblech von 9...58 mm Wandstärke. Die Nähte der Rohre werden mit elektrischer Lichtbogenschweissung ausgeführt, und zwar sowohl die Längs- und Quernähte in der Werkstätte, als auch die Montagenähte auf der Baustelle. So werden, abgesehen von Expansionen, weder Muffen noch Flanschen nötig. Aus der Fabrik werden die Rohre in Schüssen von 12 m Länge auf die Baustelle geliefert.

¹⁾ Bull. SEV 1932, Nr. 25, S. 672.

3. Maschinenhaus und Freiluftstation

Das Maschinenhaus steht etwa 200 m taleinwärts der Brücke der Bedrettostrasse am linken Tessinufer auf einem flachen Talboden. Es wird zwei horizontalachsige Maschinengruppen enthalten. Die beiden 25 000-kW-Peltonturbinen werden mit Drehstrom-Generatoren von 30 000 kVA, 11 kV, 50 Hz, gekuppelt. Ein kurzer Ablaufkanal führt das Wasser von den Turbinen in den Tessin. Das Maschinenhaus ist mit der Station Airolo durch ein Anschlussgeleise verbunden.

Die Freiluftstation auf der Westseite des Maschinenhauses wird 2 Transformatoren von 31 000 kVA, 11/150 kV, sowie Schalter und Trenner zum Anschluss des Werkes an die Gotthardleitung ¹⁾ aufnehmen.

4. Energiewirtschaft

Das Lucendrowerk, das übrigens im Zehnjahre-Programm für Kraftwerkbau des SEV und VSE enthalten ist, wird hauptsächlich *Winterenergie* liefern. Beim ausgenützten Einzugsgebiet von 23 km² kann mit einer jährlichen Niederschlagshöhe von 2250 mm gerechnet werden. Daraus ergibt sich eine jährliche Wassermenge von 51,5 · 10⁶ m³. Unter Berücksichtigung von Verdunstung, Vereisung und verlorengangenen Hochwasserspitzen in den Bachzuleitungen sind im langjährigen Durchschnitt noch jährlich 46,7 · 10⁶ m³ ausnützbare. Bei vollem See beträgt das Bruttogefälle 995,50 m. Die Ausnützung von 6 m³/s ergibt bei mittlerem Gefälle rund 50 000 kW Turbinenleistung.

Die Energieproduktion in den Wintermonaten November bis April unter Ausnützung des nutzbaren Stauraumes von 34 · 10⁶ m³ wird 78 · 10⁶ kWh ergeben. Dazu kommt noch die zusätzliche Winterenergie aus den Kraftwerken Piottino ²⁾ und Biaschina, wo das Speicherwasser nochmals mit nahezu 600 m Gefälle ausgenützt wird und rund 37 · 10⁶ kWh erzeugt. Die totale Arbeit im Winterhalbjahr beträgt somit 115 · 10⁶ kWh. Alle drei Kraftwerke, Lucendro, Piottino und Biaschina, sind Eigentum der Aare-Tessin A.-G. für Elektrizität (ATEL).

Vorläufig bleibt, abgesehen von einem kleinen Elektrizitätswerk bei Ponte Sordo, noch ein unausgenütztes Gefälle von 194 m zwischen Airolo und Rodi, dessen Ausbau später erfolgen kann. So wird sich mit der Zeit eine lückenlose Ausnützung der Wasserkräfte des Tessins und seiner Zuflüsse vom Gotthard bis gegen Biasca ergeben. Es handelt sich dabei um eine Entwicklung, die mit dem Bau der Biaschina um 1906 begann und vielleicht ein halbes Jahrhundert später zum Abschluss gelangen wird. Gz.

B. Stand der Bauarbeiten im August 1944

In letzter Zeit wurde verschiedentlich durch die ATEL Gelegenheit geboten, die Bauarbeiten des im Entstehen begriffenen Lucendro-Werkes in Augenschein zu nehmen. Gewiss hat jedermann, dem es vergönnt war, an einem schönen Sommertage der Baustelle einen Besuch abzustatten, davon einen bleibenden Eindruck mitgenommen und ist der ATEL dankbar, dass dies ermöglicht wurde. Gerade heute befindet sich das Lucendro-Werk in einem sehr interessanten Baustadium. Oben am Gotthardpass ist die Betonierung der grossen Staumauer des Lucendrosees während der kurzen Bauzeit, die die hohe Lage und die besonderen Witterungsverhältnisse bedingen, in vollem Betrieb. Man sieht viel Altbekanntes von den Bauten im Wägital, an der Grimsel und an der Dixence, aber auch viel Neues. Die Kabeltransportanlage von Airolo zur Baustelle ist wohl ähnlich wie diejenige an der Grimsel, hat aber an Bedeutung noch gewonnen, indem nicht nur der Zement, sondern auch der Sand für den Beton hinauftransportiert werden muss, da an der Baustelle nur Fels, aber kein Moränenschutt anzutreffen ist. Das Kiesmaterial für den

²⁾ Bull. SEV 1932, Nr. 25, S. 661...673.