Zeitschrift: Bulletin de l'Association suisse des électriciens
Herausgeber: Association suisse des électriciens
Band: 36 (1945)
Heft: 3

Artikel: Betriebserfahrungen mit Transformatoren
Autor: Kraft, A.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-1056449

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

ASSOCIATION SUISSE DES ÉLECTRICIENS

BULLETIN

RÉDACTION:
Secrétariat de l'Association Suisse des Electriciens
Zurich 8, Seefeldstrasse 301

ADMINISTRATION:
Zurich, Stauffacherquai 36 ♦ Téléphone 25 17 42
Chèques postaux VIII 8481

Reproduction interdite sans l'assentiment de la rédaction et sans indication des sources

XXXVIe Année | N° 3 | Mercredi, 7 Février 1945

Betriebserfahrungen mit Transformatoren

Von *A. Kraft*, Siebnen (Kt. Schwyz)

621.314.21

Im Kraftwerk Wäggital sind elf Hochspannungstransformatoren von je 16 500 kVA aufgestellt, welche nach durchschnittlich 20jährigem Betrieb revidiert wurden. Ueber die hiebei gemachten günstigen Erfahrungen wird im folgenden berichtet.

L'usine du Wäggital est équipée de onze transformateurs à haute tension, de 16 500 kVA chacun, qui ont été revisés après avoir été en service pendant 20 ans en moyenne. Les expériences faites jusqu'ici avec ces transformateurs ont été des plus satisfaisantes.

Einleitung

Die Betriebserfahrungen, über die berichtet wird, betreffen elf Transformatoren, mit einer Scheinleistung von je 16 500 kVA, welche von der A.-G. Brown, Boveri & Co., Baden, in den Jahren 1923...1926 geliefert worden sind. Diese Transformatoren waren also bis zum Jahre 1944 durchschnittlich zwanzig Jahre im Betrieb.

Im Kraftwerk Wäggital [1]) wird die Energie mit acht Drehstromgeneratoren erzeugt. Vier dieser Maschinen sind in der Anlage Rempen, die andern vier in der Anlage Siebnen aufgestellt. Jeder Generator ist für eine Scheinleistung von 16 500 kVA gebaut; die Nennspannung beträgt 8,8 kV und die Frequenz 50 Hz.

Die im Werk Rempen produzierte Energie wird bei einer Spannung von 50 kV nach Siebnen übertragen. Jeder Generator arbeitet über einen Transformator und eine dreiphasige Freileitung auf die 50-kV-Sammelschiene im Schalthaus Siebnen.

Im Werk Siebnen wird die Arbeit zweier Generatoren ebenfalls durch zwei Transformatoren von 8,8 auf 50 kV, diejenige der andern beiden Energieerzeuger von 8,8 auf 150 kV transformiert. Ein weiterer Transformator dient zur Kupplung der 50- und 150-kV-Sammelschienen. Ferner sind zwei 50/150-kV-Transformatoren vorhanden zum Energieaustausch zwischen dem Elektrizitätswerk der Stadt Zürich und den Bernischen Kraftwerken.

Beschreibung der Transformatoren

Allgemeines

Jeder der sechs 8,8/50-kV-Transformatoren, gleicher Bauart (Fig. 1), hat auf der im Dreieck geschalteten Unterspannungsseite drei Anzapfungen, welche im spannungslosen Zustand gewechselt werden können. Die Oberspannungsseite besitzt Sternschaltung mit herausgeführtem und isoliertem Nullpunkt. Das Uebersetzungsverhältnis bei Leerlauf ist 8800/9220/9580/50 000 V. Das totale Oelgewicht beträgt 8,4 Tonnen.

Die beiden 8,8/150-kV-Transformatoren (Fig. 2) haben auf der Unterspannungsseite die gleiche Schaltung und die gleichen Anzapfungen wie die vorerwähnten Apparate. Die Oberspannungsseite besitzt ebenfalls Sternschaltung mit herausgeführtem, isoliertem Nullpunkt. Das totale Oelgewicht eines Transformators beträgt 17 Tonnen.

Die drei 50/150-kV-Transformatoren (Fig. 3) sind in Stern/Stern geschaltet.

Beim Kuppeltransformator sind die Nullpunkte auf der Unter- und Oberspannungsseite herausgeführt und isoliert. Das Uebersetzungsverhältnis bei Leerlauf ist 45 000/47 800/50 400/141 000 V. Die Anzapfungen sind unter Last umschaltbar. Das totale Oelgewicht dieses Apparates beträgt 18 Tonnen.

Die andern beiden Transformatoren wurden im Jahre 1942 zu Reguliertransformatoren umgebaut. Das neue Uebersetzungsverhältnis ist 47 200... 50 000/130 000 V, in sechs Regulierstufen mit Umschaltung unter Last durch Sternpunktstufenschalter auf der Unterspannungsseite. Der oberspannungsseitige Nullpunkt ist herausgeführt und starr geerdet. Das totale Oelgewicht pro Transformator beträgt nun 20,5 Tonnen.

Angaben über die Konstruktion

Die Transformatoren besitzen glattwandige, mit Rücksicht auf Vacuumfestigkeit besonders versteifte Oelkasten (Fig. 1, 2 und 3). Sie haben Kupferwicklungen, die mit Ausnahme derjenigen eines 8,8/50-kV-Transformators im Werk Rempen, imprägniert sind.

Die Durchführungen für 8,8 kV Spannung, in Fig. 1 und 2 sichtbar, bestehen aus einteiligem Porzellan, das mit Compoundmasse ausgegossen

[1]) Bull. SEV 1932, Nr. 2, S. 25...49.

und mit Bleiglätte in die Befestigungsflanschen eingekittet ist. Auf der 50-kV-Seite wurden Bakdura-Durchführungen verwendet (Fig. 1). Die Befestigungsflanschen sind bei diesen auf dem Isoliermaterial aufgezogen, das den Leiter satt umschliesst.

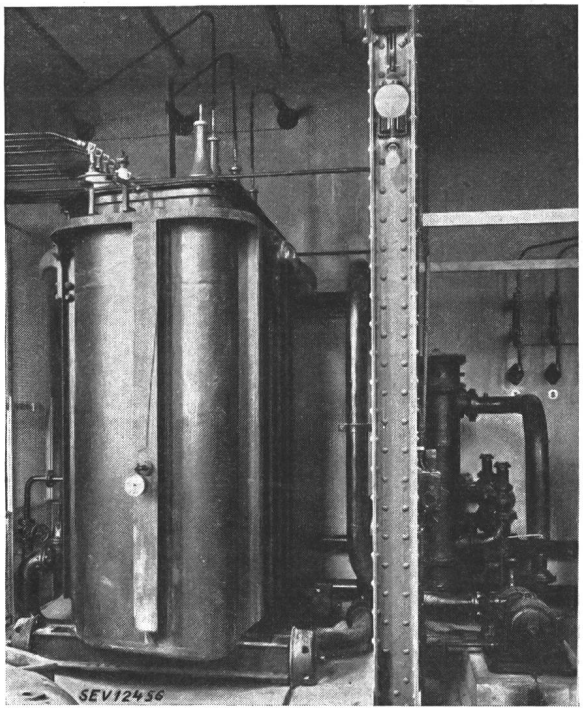

Fig. 1.
Transformator mit Aussenkühlung
16 500 kVA; 8,8/50 kV; 50 Hz.

Die 150-kV-Durchführungen haben dreiteilige, ölgefüllte Porzellankörper (Fig. 3). Die Verbindungs- und Befestigungsflanschen sind auf dem Porzellan aufgekittet.

Die Ableitung der Verlustwärme erfolgt mit äusserer Wasserkühlung. Das warme Oel wird oben am Transformator entnommen und mit einer Pumpe, im Gegenstrom zum Kühlwasser, durch zwei parallelgeschaltete, vertikal montierte Oelkühler unten in den Transformator zurückgefördert (Fig. 1). Um zu vermeiden, dass das im warmen Oel liegende obere Joch eine höhere Temperatur annimmt als das untere, wird Querschlitzen im oberen Joch, über separate Leitung, gekühltes Oel zugeführt.

Das Kühlwasser tritt nach dem Durchfliessen von Revolverfiltern durch Blenden in die Kühler. Die Blenden sind so dimensioniert, dass im Betrieb das Oel unter grösserem Druck steht als das Wasser. Die Kühler setzen sich zusammen aus einem gusseisernen Mantel, mit einer oberen und unteren Wasserkammer, und einem Röhreneinsatz mit Leitblechen für das Oel. Die Kühlröhren bestehen aus Messing.

Zur Ueberwachung der Transformatoren im Betriebe sind Oelströmungsmesser vorhanden, kombiniert mit Signaleinrichtung beim Unterbruch der Oelförderung, ferner Oelstandanzeiger mit Alarmvorrichtung und Wasserunterbruchmelder. Da die Abschlussdeckel der Oelkessel nicht abgedichtet sind, konnten Sicherheitsklappen weggelassen werden. Dagegen wurden die beiden umgebauten 50/150-kV-Transformatoren beim Umbau mit Oelausgleichgefässen und Sicherheitsventilen versehen.

Für die Temperaturkontrolle besitzen die 8,8/50-kV- und die 8,8/150-kV-Transformatoren drei elektrische Widerstandsthermometer für Fernmessung und ein Quecksilber-Zeigerthermometer zur Ablesung der Oeltemperatur beim Apparat. Zwei Widerstandsmesselemente sind auf der 8,8-kV-Seite in die Wicklungen, am Kupfer anliegend, eingebaut, das dritte liegt im Oel. Die 50/150-kV-Transformatoren haben zwei Widerstandsthermometer

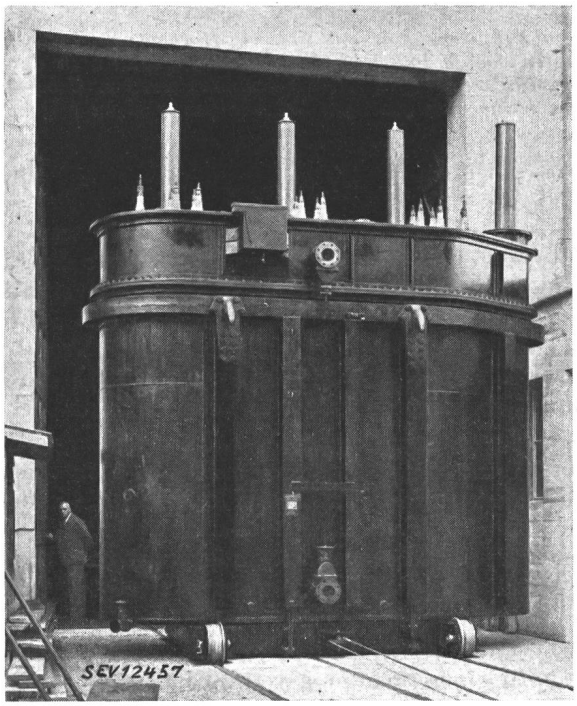

Fig. 2.
Transformator beim Transport zum Aufstellungsort
16 500 kVA; 8,8/150 kV; 50 Hz.

mit Fernmessung und ein Quecksilber-Zeigerthermometer, alle drei zur Kontrolle der Oeltemperatur.

Als Schutzeinrichtungen dienen Ueberstromrelais. Da die Transformatoren keine Oelausgleichgefässe besitzen, ist der Buchholzschutz vorläufig nicht verwendbar. Andere Schutzeinrichtungen kommen bei der bestehenden Disposition der Schalteinrichtungen nicht in Frage. Die beiden umgebauten 50/150-kV-Transformatoren erhielten beim Umbau den Buchholzschutz.

Oel

Das verwendete Oel ist ein hochwertiges Texas-Naphtenöl, verschiedenen Verbrauchern von Transformatorenöl unter der Marke RT 4613 und K8 bekannt. Die wichtigsten charakteristischen Daten des Oeles, im Anlieferungszustand, sind folgende:

Spezifisches Gewicht bei 15° C: 0,883.
Viskosität bei 20 °C: 5,1° Engler.
Viskosität bei 50° C: 2,0° Engler.
Verhalten in der Kälte: Die Fliesszeit bei — 20° C beträgt 2,5 Sekunden. Bei — 35° C ist das Oel dickflüssig, der Stockpunkt liegt bei — 43° C.
Flammpunkt im offenen Tiegel (Marcusson): 152° C.
Das Oel war in der Durchsicht betrachtet gelblich, klar, in der Aufsicht blaustichig-grün, fluoreszierend, ferner leichtflüssig und frei von folgenden Bestandteilen: mechanische Verunreinigungen, Wasser, freie Mineralsäure, organische Säuren, Alkali, Seife, fette Oele, Harz, Harzöle und Asphalt.
Säurezahl des nicht erhitzten Oeles: 0.
Säurezahl des erhitzten Oeles (nach 168 Stunden): 0,01.
Verteerungszahl des Oeles nach 70stündigem Erhitzen auf 120° C, im Sauerstoffstrom: 0,20 %.
Abnahme der Baumwollzerreissfestigkeit nach 168 h: 1 %.
Abnahme der Baumwollzerreissfestigkeit nach 2mal 168 h: 3 %.

Das Oel wird im Betriebe hinsichtlich allgemeinem Zustand, spezifischem Gewicht, Viskosität und Säurezahl laufend kontrolliert, in letzter Zeit alle zwei Jahre. Bei den Oelfüllungen mit relativ hoher Säurezahl findet periodisch auch die Untersuchung der Abnahme der Baumwollzerreissfestigkeit statt. In Fig. 4 ist die Veränderung der Säurezahl des Oeles im Laufe mehrerer Betriebsjahre für die verschiedenen Transformatoren dargestellt.

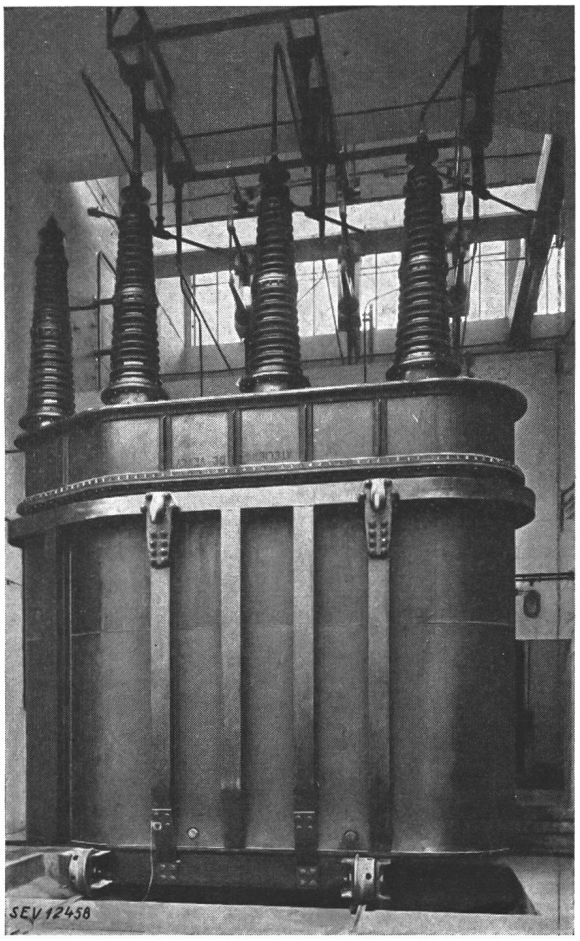

Fig. 3.
Transformator am Aufstellungsort
16 500 kVA; 50/150 kV; 50 Hz.

Kühlwasser

Das zur Kühlung des Oeles erforderliche Wasser wird in beiden Werken, im Rempen und in Siebnen, den Druckleitungen entnommen und über ein Druckreduzierventil in das Kühlwassernetz geleitet,

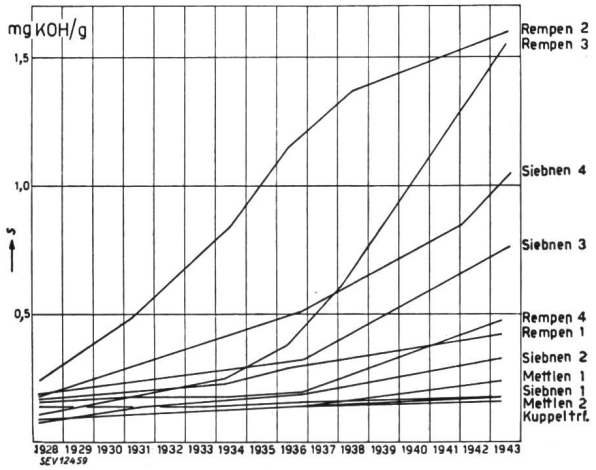

Fig. 4.
Veränderung der Säurezahl *s* des Oeles im Laufe mehrerer Betriebsjahre

an welchem die Transformatoren-Oelkühler angeschlossen sind. Auf Grund der chemischen Analyse handelt es sich um ein gipsfreies, nicht aggressives, weiches Wasser, Kalkhärte 9,7 französische Härtegrade.

Infolge des weichen Wassers hat sich in den Kühlsystemen nie ein erwähnenswerter Kalkansatz gebildet. Im Sommer ist das Kühlwasser im Werk Siebnen zeitweise stark schlammhaltig. Dies macht die Reinigung der Kühler alle ein bis zwei Jahre notwendig.

Beobachtungen im Betrieb

Alle Transformatoren wurden im Laufe der Jahre selten und nur ganz kurzzeitig überlastet. Bei den sechs 8,8/50-kV-Transformatoren stieg die Temperatur des Oeles im Maximum auf 56 bis 67° C, die Temperatur des Kupfers erreichte Werte von 82 bis 90° C. In den 8,8/150-kV-Transformatoren betrug die höchste Betriebstemperatur des Oeles 69° C und diejenige des Kupfers 80° C. An den 50/150-kV-Transformatoren wurde im Betrieb eine maximale Oeltemperatur von 65° C gemessen. Die Zahl der Kurzschlüsse, welchen die Apparate ausgesetzt waren, ist unbekannt.

Innerhalb der zwanzig Betriebsjahre traten zwei Betriebsschäden auf, welche eine längere Ausserbetriebnahme von Transformatoren nötig machten. Im Jahre 1930 entstand, infolge einer Fehlschaltung, an einem 8,8/50-kV-Transformator des Werkes Rempen ein Wicklungsschaden; im August 1931 wurde durch eine Gewitterüberspannung die Wicklung eines 8,8/150-kV-Transformators im Werk Siebnen beschädigt. An den 8,8/50-kV-Transformatoren des Werkes Rempen wurden bei Gewittern, vor dem Einbau von Ueberspannungsableitern [2]), wiederholt die 50-kV-Nullpunkt-Durch-

führungen gegen Erde überschlagen. Zweimal entstanden hierbei im Isoliermaterial Risse, die einen Ersatz der Durchführungen nötig machten.

Unterhalts- und Betriebskosten

Der Unterhalt der Transformatoren umfasst laufende äussere Kontroll- und Reinigungsarbeiten, den Ersatz kleiner unvermeidlicher Oelverluste, die periodische Untersuchung des Oeles sowie die Reinigung und Revision der Wasserfilter und Oelkühler im Innern, nach Notwendigkeit. Die Kosten für diesen Unterhalt betrugen für alle elf Transformatoren zusammen durchschnittlich 400 Fr. pro Jahr. Diese mittleren Jahreskosten erhöhten sich in den folgenden Fällen um die für jeden Fall angegebenen Beträge. Die beiden erwähnten grösseren Betriebsschäden hatten in den betreffenden Jahren Mehraufwendungen von 3100 Fr. und 4100 Fr. zur Folge. Ferner musste innerhalb der langen Betriebszeit an einem der vorhandenen zweiundzwanzig Oelkühler das Kühlrohrsystem repariert werden, was Mehrkosten von 1200 Fr. ergab. Eine Erhöhung der Unterhaltskosten verursachten sodann die im folgenden erwähnten, ausserordentlichen Transformatorenrevisionen in den Jahren 1938, 1942, 1943 und 1944, nämlich 850, 400, 500 und 13 100 Fr.

Ueber die jährlichen Betriebskosten für das Kühlwasser, den Elektrizitätsverbrauch zur Umwälzung des Oeles und die Maschinenschmierung, ferner für die Wartung usw. können keine Angaben gemacht werden, weil der Wasser- und Elektrizitätsverbrauch nicht besonders gemessen und die übrigen Aufwendungen für die Transformatoren nicht speziell ausgeschieden werden.

Revisionen und deren Ergebnisse

Die periodische Kontrolle des Oeles der verschiedenen Transformatoren hatte schon vor dem Jahre 1938 gezeigt, dass das Oel der Transformatoren Rempen 2 und 3 sowie Siebnen 4 eine hohe Säurezahl aufwies. Trotzdem die ergänzende Untersuchung des Oeles hinsichtlich Abnahme der Baumwollzerreissfestigkeit günstige Resultate ergab, wurde in Aussicht genommen, den aktiven Teil der drei erwähnten Transformatoren sobald als möglich zur Kontrolle auszuheben und besonders den Zustand der Wicklungen festzustellen.

Im Juni 1938 konnten die Transformatoren Rempen 2, 3 und 4 kontrolliert werden, und es wurde beschlossen, sobald als möglich auch die übrigen Einheiten einer Revision zu unterziehen. Zwei davon, die 50/150-kV-Transformatoren, Mettlen 1 und 2 benannt, wurden im November 1941 untersucht, um festzustellen, ob die Wicklungen noch in einem umbaubaren Zustande seien. Wie zu erwarten war, befanden sich die nur kurzzeitig im Betrieb gewesenen Transformatoren in sehr gutem Zustande, so dass die Aenderungsarbeiten bedenkenlos durchgeführt werden durften. Auch das Oel war einwandfrei.

Tabelle I.

Transformator Anlage Nr.	Transformator Fabrik Nr.	Ablieferungsjahr	Datum der Revision	Säurezahl im Jahre 1943	Betriebsstunden bis letzte Revision [1]	Bemerkungen
Rempen 1	18 460	1924	17. 8. 1944	0.42	76 200	
Rempen 2	18 254	1924	22. 6. 1938 11. 8. 1944	1.60	75 700	
Rempen 3	18 400	1924	27. 6. 1938 26. 8. 1943	1.55	80 400	
Rempen 4	18 355	1924	27. 6. 1938	0.47	44 300	Betriebsschaden im September 1930
Siebnen 1	19 920	1923	17. 7. 1944	0.18	35 000	Blitzschaden im August 1931
Siebnen 2	19 410	1924	30. 6. 1944	0.33	35 000	
Siebnen 3	18 350	1924	21. 6. 1944	0.87	50 000	
Siebnen 4	18 236	1924	14. 6. 1944	1.05	35 000	
Siebnen, Kupplung 50/150 kV	24 373	1926	13. 9. 1944	0.16	—	

Mit Ausnahme von Transformator Rempen 2 haben alle Transformatoren imprägnierte Wicklungen.
An den im Betriebe nicht beschädigten Transformatoren wurden die aktiven Teile bis zur Revision nie ausgebaut.

[1]) Der grosse Unterschied zwischen den Betriebsstunden der Transformatoren Rempen und derjenigen der Transformatoren Siebnen ist darauf zurückzuführen, dass die Transformatoren im Werk Rempen nicht nur während der Erzeugung von elektrischer Energie im Betrieb stehen, sondern auch beim Betrieb der Speicherpumpen, wobei hauptsächlich Ueberschussenergie aus Laufwerken verwendet wird.

In Anpassung an die Betriebsbedürfnisse wurden die Revisionen der übrigen Transformatoren zeitlich nach Tabelle I durchgeführt. Darin sind auch die Revisionen im Jahre 1938 enthalten, nicht aber die Untersuchungen der Transformatoren Mettlen, im Jahre 1941.

Die Revisionen erfolgten im Beisein eines Transformatorenspezialisten der Lieferfirma sowie eines Betriebsingenieurs der NOK, mit langjährigen Erfahrungen im Bau und Betrieb von Transformatoren. Die erforderlichen Instandstellungsarbeiten wurden von einem Monteur der Liefer-

[2]) A. Kraft. Betriebserfahrungen mit 50-kV-Ueberspannungsableitern. Bull. SEV 1943, Nr. 6, S. 134.

firma, ebenfalls Transformatorenspezialist, unter Mitwirkung von Kraftwerk-Personal ausgeführt.

Der aktive Teil der Transformatoren wurde jeweils während der Kontrolle sukzessive aus dem Oel gehoben und sobald als möglich wieder eingetaucht (Fig. 5). Selbstverständlich war er auch

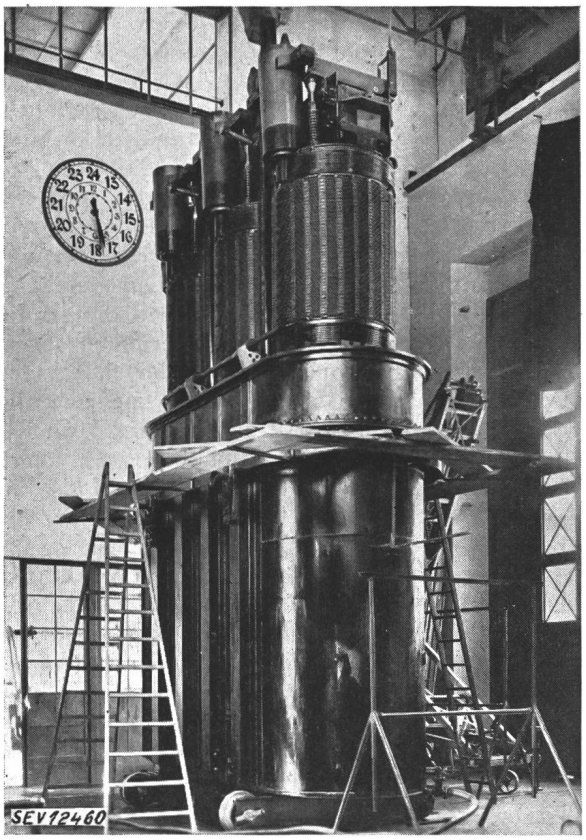

Fig. 5.
Transformator Siebnen 1, aktiver Teil ausgehoben
16 500 kVA; 8,8/150 kV; 50 Hz.

während der Durchführung der Reparaturarbeiten, dem Filtrieren der Oelfüllungen und dem Reinigen der Transformatorenkessel ausserhalb des Oeles (Fig 6). Trotzdem wurde auf das nachträgliche Auskochen der Transformatoren verzichtet, dagegen beim Wiedereinfüllen des Oeles in die Kessel grösste Sorgfalt angewendet, um Lufteinschlüsse in den Wicklungen zu vermeiden.

Bei allen sechs 8,8/50-kV-Transformatoren war der erste Eindruck, den man vom Zustande des Transformatorkörpers gewann, sehr befriedigend. Bei näherem Zusehen wurden an den wichtigsten Teilen folgende Feststellungen gemacht. Das Magnetgestell war bei vier Transformatoren, soweit zugänglich, in gutem Zustand und mechanisch in Ordnung; das obere Joch sass überall gut auf. Bei einem Transformator lagen auf der Stirnseite des obern Jochs vier Blechpakete auf einer Säulensitzfläche nicht mehr gut auf. Durch Nachpressen des oberen Jochs wurde eine teilweise Verbesserung der Auflage erreicht. Die Stossfugeneinlagen zwischen den Sitzflächen von Joch und Säule waren an der erwähnten Stelle sowie an den anderen beiden Säulen, soweit sichtbar, in Ordnung. Im übrigen sass das obere Joch, soweit kontrollierbar, überall gut auf. An einem zweiten Transformator hatte das obere Joch auf der Stirnseite einer Säule Spiel. Hier brachte das Nachpressen des oberen Joches keine Verbesserung. Da aber der Transformator im Betrieb kein auffallendes Geräusch verursacht und die Stossfugenisolationen, soweit sie besichtigt werden konnten, in Ordnung waren, wurde der Transformator in diesem Zustand belassen. Im übrigen waren die Magnetgestelle auch dieser Transformatoren in gutem Zustande.

Mit Ausnahme von Transformator Rempen 4 wurde bei allen Transformatoren auf den horizontalen Flächen des oberen Jochs sowie auf den oben liegenden Konstruktionsteilen ein leichtes Oelschlammdepot festgestellt; bei einem Transformator war dieses etwas reichlicher und auch an den vertikalen Flächen des oberen Jochs vorhanden.

Auf der Unterspannungsseite wurde im Oelschlamm auch abgebröckelte Bleiglätte gefunden, herrührend von Kittstellen der 8,8-kV-Durchführungen, an zwei Transformatoren ausserdem geringe Menningrückstände und vereinzelte Zunderteilchen,

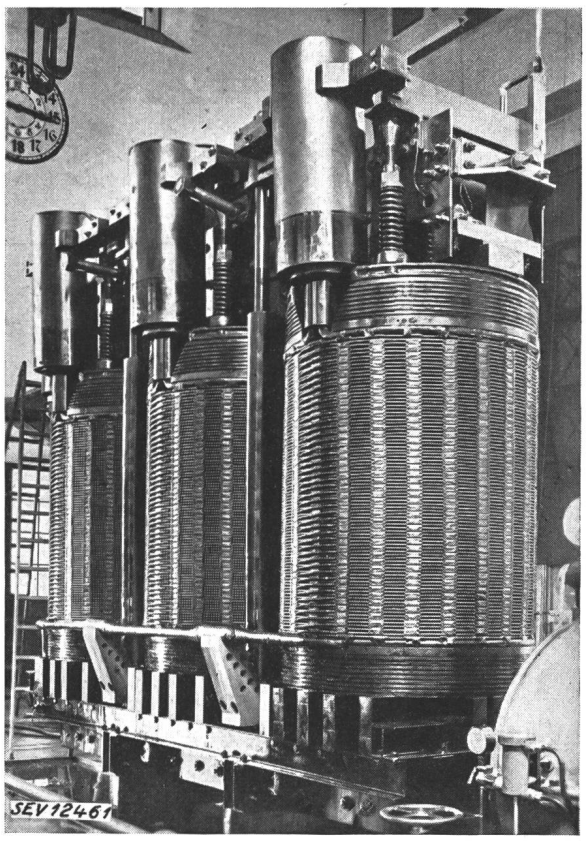

Fig. 6.
Transformator Siebnen 1, aktiver Teil, auf dem Montageplatz
16 500 kVA; 8,8/150 kV; 50 Hz.

welche vermutlich beim Dichten der Kühlrohre zurückgeblieben sind.

Das Magnetgestell des Transformators Rempen 4 war vollständig sauber. Es ist dies darauf zurück-

zuführen, dass dieser Transformator im Jahre 1930 wegen dem oben erwähnten Betriebsunfall repariert werden musste. Bei dieser Gelegenheit wurde der aktive Teil des Transformators gereinigt und blieb bis zur Revision sauber.

Die an fünf Transformatoren mit einem Lack imprägnierten Wicklungen sahen bei drei Transformatoren wie fabrikneu aus, aber auch an den übrigen zwei Transformatoren waren sie in sehr gutem Zustande, trotz der Imprägnierung weich und elastisch sowie mechanisch vollständig fest. An der nicht imprägnierten Wicklung des sechsten Transformators wurde schon bei der Besichtigung im Jahre 1938 festgestellt, dass die Baumwollbandagen um die Drahtisolation der Wicklung und um die Wicklungsspulen angegriffen waren. Der Zustand der erwähnten Wicklungsteile war aber so, dass bei Reparaturarbeiten die Wicklung ohne Bedenken hätte demontiert und wieder montiert werden können. Im übrigen befand sich die Wicklung absolut in Ordnung. Bei der Revision im August 1944 konnte eine Verschlechterung des Zustandes der Wicklungsbandagen gegenüber demjenigen im Juni 1938 nicht festgestellt werden, trotzdem die Säurezahl des Oeles inzwischen von 1,37 auf 1,6 mgKOH/g gestiegen war.

An allen Transformatoren waren die Oelkanäle zwischen den Oberspannungs- und Unterspannungswicklungen sowie zwischen den einzelnen Spulen, soweit sichtbar, vollständig frei von Oelschlammdepots. Auf der Unterspannungsseite eines Transformators waren verschiedene Stellen der Wicklungspressringe mit abgebröckelter Bleiglätte verunreinigt.

Tabelle II.

Transformator Nr.	Pro Säule, auf der Oberspannungsseite verschobene Keile [1] U	V	W	Bemerkungen
Rempen 1	1 (1 n. u.)	—	—	siehe unten [2]
„ 2	1 (8 n. o.)	—	2 (10 n. o.)	siehe unten [3]
„ 3	—	—	—	siehe unten [4]
„ 4	an allen drei Säulen vereinzelte Keile um 3 cm n. o. verschoben			Säule *U* ein Holzkeil mit Preßspankanal unten herausgefallen
Siebnen 3	—	2 (47 n. o.) (15 n. u.)	4 (6 n. o.) (6 n. o.) (6 n. o.) (20 n. u.)	Unterspannungsseite 4 Distanzhölzer für Ableitungen gebrochen
„ 4	3 (bis 50 n. o.)	3 (10 n. o.) (10 n. o.) (10 n. u.)	3 (10 n. o.) (10 n. o.) (10 n. u.)	

[1]) Die in Klammern gesetzten Zahlen geben an, um wieviel cm die Keile über die Wicklungsenden hinaus verschoben waren; die beigesetzte Bezeichnung n. o. bedeutet «nach oben», n. u. «nach unten».

[2]) Auf der Oberspannungsseite an Säule *U* war ein Wicklungspressbolzen verbogen und an Säule *W* am unteren Teil der Wicklung ein Preßspankanal 60 cm nach unten getrieben, sowie ein eiserner Abstützwinkel verbogen worden. Dieser Transformator hat vermutlich während der 20 Betriebsjahre mehrere schwere Kurzschlüsse aushalten müssen.

[3]) Auf der Unterspannungsseite der Säule *U* waren 2 Keile 10 cm n. u. und an Säule *W* ein Preßspankanal 6 cm n. u. verschoben, ferner ein unten eingebauter Pressring-Schutzwiderstand teilweise verbrannt. Er musste ersetzt werden.

[4]) Bei der Kontrolle im Juni 1938 waren drei Presspankanäle 10...15 cm n. u. verschoben, im August 1943 vereinzelte Keile an den drei Säulen n. o. und n. u. über die Wicklungsenden hinaus verschoben.

Hinsichtlich der hölzernen Wicklungsdistanzierungskeile und anderer Isolationsteile aus Holz oder Preßspan konnten die in Tabelle II wiedergegebenen Feststellungen gemacht werden.

Die Kontrolle der Wicklungspressung ergab an allen Säulen von vier Transformatoren ungefähr gleiche Wicklungssenkungen von 2,5; 4; 6 und 10 mm, infolge Alterung des Isoliermaterials. An zwei Transformatoren konnte keine Senkung festgestellt werden.

Die aus Bakdura bestehenden 50-kV-Durchführungen waren an drei Transformatoren in Ordnung, an zwei Transformatoren wiesen die des Nullpunktes und an einem weiteren Transformator zwei Phasen-Durchführungen am Oberteil Längsrisse auf. Trotz der befriedigenden Betriebserfahrungen mit diesem Durchführungstyp werden defekt gewordene Bakdura-Durchführungen seit einiger Zeit durch Micafil-Kondenstor-Durchführungen ersetzt. Die Durchführungsisolatoren auf der 8,8-kV-Seite wiesen mit wenig Ausnahmen mehr oder weniger starke Bleiglätte-Abbröckelungen an den Kittstellen auf. An zwei Transformatoren war an der Mehrzahl der Isolatoren die Compoundmasse ausgelaufen.

Bekanntlich werden Widerstandselemente für die Temperaturmessung ungern in die Wicklungen eingebaut. Es dürfte deshalb von Interesse sein, zu erfahren, wie sich die auf der 8,8-kV-Seite eingebauten Messelemente im Laufe der Jahre verhalten haben. Von den, in allen 8,8/50-kV-Transformatoren zusammen, eingebauten zwölf Widerständen waren bis auf zwei alle in Ordnung. An einem Transformator hatte ein Widerstandselement Unterbruch, an einem anderen war das Temperaturmesselement abgerissen, die zugehörige Kupferableitung nach oben gestossen und dadurch die Bandage aus Stearlinglitze entzweigerissen worden.

Bei der Kontrolle der Oelfüllungen konnten folgende Feststellungen gemacht werden. Am Transformator Rempen 2 war an der Kastenwandung im Bereiche der Oeloberfläche eine leichte Schlammkruste sichtbar. An den Kesselwandungen der übrigen Transformatoren hatte es keine erwähnenswerten Schlammablagerungen. Mit einer Ausnahme besass das Oel goldgelbe Farbe, war in der Durchsicht klar und hatte keinen abnormalen Geruch. Das Oel des Transformators Rempen 2 war bei der Revision im Juni 1938 hinsichtlich Farbe und Durchsicht den anderen Oelen gleich, roch aber ziemlich stark sauer und hatte, wie bereits erwähnt, eine Säurezahl von 1,37 mg KOH/g. Im August 1944 war dieser Wert auf 1,60 mg KOH/g gestiegen und das Oel stark verfärbt, tief dunkelbraun, aber in der Durchsicht klar.

Die Säurezahlen wurden im Jahre 1943 für alle Oelfüllungen ermittelt und in Tabelle I zusammengestellt. Wie schon aus der graphischen Darstellung Fig. 4 zu ersehen ist, zeigen die Säurezahlen der verschiedenen Oelfüllungen eine starke Streuung, trotzdem seinerzeit die genau gleiche Oelsorte verwendet wurde und die Betriebsverhältnisse ange-

nähert die gleichen waren. Die Ursache dieser Erscheinung konnte nicht abgeklärt werden.

Besonders hohe Säurezahlen wies das Oel in den Transformatoren Rempen 2 und 3 auf. Man liess deshalb für diese beiden Oele auch die Abnahme der Baumwollzerreissfestigkeit untersuchen. Es wurden bei einer Oeltemperatur von 110° C festgestellt: für das Oel aus Transformator Rempen 2, nach 72 Stunden eine Abnahme von 1 %, nach 168 Stunden 0 % und für das Oel aus Transformator Rempen 3, nach 72 Stunden 1 %, nach 168 Stunden 4 %. Die Untersuchungsergebnisse zeigen die günstige Eigenschaft des verwendeten Oeles, auch bei relativ hoher Säurezahl keine zersetzenden Einwirkungen auf die organischen Baustoffe zu haben. Diese Eigenschaft des Oeles wurde durch die Transformatorenrevision bestätigt. Trotzdem soll insbesondere das Oel von Transformator Rempen 2 aber auch dasjenige des Transformators Rempen 3, sobald es die Betriebsverhältnisse gestatten, durch neues Oel ersetzt werden.

Die Revision der Oelkühler der sechs 8,8/50-kV-Transformatoren konnte in neuester Zeit nicht durchgeführt werden, soll aber so bald als möglich nachgeholt werden. Bei der Revision von Transformator Rempen 2, im Juni 1938, wurde ein Kühler nachgesehen und hierbei festgestellt, dass die obere und untere Wasserkammer wie auch die Kühlrohre ganz sauber und noch vollständig intakt waren.

An den 8,8/150-kV-Transformatoren Siebnen 1 und 2 sowie dem 50/150-kV-Kuppeltransformator wurden folgende Feststellungen gemacht. Am Transformator 1 waren das Magnetgestell und die übrigen Konstruktionsteile, soweit sichtbar, praktisch frei von Oelschlamm und am Transformator 2 mit einem leichten Oelschlammdepot belegt, beim Kupplungstransformator dagegen lag auf beiden Stirnseiten sowie den horizontalen Flächen des oberen Jochs eine gleichmässig 5 mm dicke Oelschlammschicht. Von allen kontrollierten Transformatoren wies der Kuppeltransformator die stärkste Oelschlammausscheidung auf. Sie war aber noch so klein, dass sie auf die Betriebssicherheit des Transformators nicht den geringsten Einfluss haben konnte. An Transformator 1 war unterspannungsseitig auf dem Magnetgestell und den Distanzierungshölzern der blanken Ableitungsschienen stellenweise abgebröckelte Bleiglätte zu sehen. Bei allen drei Transformatoren befand sich das Magnetgestell, soweit zugänglich, mechanisch in gutem Zustand, und es lag das obere Joch überall gut auf, trotzdem der Transformator 2 nach Ansicht des Betriebspersonals stärker brummte, als der genau gleich gebaute Transformator 1.

Die Baumwollbandagen und Drahtisolationen der imprägnierten Wicklungen dieser drei Transformatoren sahen aus wie bei der Neulieferung. Nur an einer Säule des Transformators 1 war die um die unterste Spule der Oberspannungswicklung und den Schutzring gewickelte Stearlinglitze stellenweise entzweigerissen, was auf die Auswirkung elektrodynamischer Kräfte bei einem Netzkurzschluss zurückzuführen sein dürfte. In sämtlichen Oelkanälen zwischen den Oberspannungs- und Unterspannungswicklungen sowie zwischen den einzelnen Spulen konnten, soweit sichtbar, nirgends Oelschlammdepots beobachtet werden.

Am Transformator 2 war an einer Säule, oberspannungsseitig, ein Wicklungsdistanzierungskeil etwa 8 cm nach oben verschoben, und am Kuppeltransformator standen an einer Säule, auf der Unterspannungsseite, zwei Preßspankanäle 10 cm nach unten über das Wicklungsende vor. An einer Säule des Transformators 2 wurden zwischen den Ableitungsschienen, auf der Unterspannungsseite, Ueberschläge festgestellt, herrührend von Ueberspannungen und begünstigt durch die Verunreinigung der Zwischenisolation mit Bleiglätte. Beide Ableitungsschienen wiesen Brandperlen auf. Ferner waren auch an der der Ueberschlagstelle gegenüberliegenden Oelleitung zum oberen Joch, Erde, Brandstellen sichtbar, was darauf hindeutet, dass bei dieser Störung Ueberschläge nicht nur zwischen den spannungführenden Ableitungen, sondern auch zwischen diesen und Erde aufgetreten waren. Der Ueberschlagslichtbogen löschte von selber und die ganze Störung blieb unbemerkt, weil der Transformator keinen Buchholzschutz besitzt.

An allen drei Transformatoren konnten Wicklungssenkungen, infolge Alterung des Isoliermaterials, beobachtet werden, am Transformator 1 an allen drei Säulen, aber verschieden stark, 10 bis 17 mm, am Transformator 2 nur an den innen gelegenen Unterspannungswicklungen, und zwar 8, 10 und 14 mm, und am Kupplungstransformator an allen drei Säulen die Ober- und Unterspannungswicklungen, 10, 20 und 20 mm.

Die ölgefüllten 150-kV-Durchführungen waren alle am Unterteil mehr oder weniger undicht. Die schlechtesten hatten so grosse Oelverluste, dass sie jeweils innert zwei Monaten nachgefüllt werden mussten; bei andern war dies erst nach Ablauf einiger Monate nötig.

An den Transformatoren 1 und 2 wurde festgestellt, dass bei fast allen 8,8-kV-Durchführungen die am Unterteil mit den Durchführungsbolzen verlöteten Isolatorkappen, aus Messing, an den Lötstellen losgerissen waren. Bei den meisten Durchführungen wurde ein stellenweises, mehr oder weniger starkes Abbröckeln von Bleiglätte und demzufolge auch die bereits erwähnte Verunreinigung der oben liegenden Konstruktionen des aktiven Teiles beobachtet. Im übrigen waren diese Durchführungen in Ordnung. Dasselbe gilt für die 50-kV-Durchführungen auf der Unterspannungsseite des Kuppeltransformators.

Die Widerstands-Temperaturmesselemente, welche bei den Transformatoren 1 und 2 auf der 8,8-kV-Seite eingebaut sind, wiesen keinerlei Fehler auf.

Das Oel war in allen drei Transformatoren einwandfrei. Die im Jahre 1943 ermittelten Säurezahlen sind in Tabelle I eingetragen.

Sämtliche Oelkühler dieser drei Transformatoren wurden einer Totalrevision unterzogen. Bei allen

Kühlern war der Boden der untern Wasserkammer etwa 2 mm stark mit Schlamm bedeckt, die zylindrische Wandung der Kammer hatte einen dünnen Schlammbelag mit etwas Rostansatz. Die Kühlrohre wiesen auf der Wasserseite einen schwachen Schlammniederschlag auf. Die untere Gummidichtung zwischen Rohrbündel und Mantel befand sich allgemein in gutem Zustand, dagegen mussten alle oberen Dichtungen wegen Zersetzung des Gummis ersetzt werden.

Ausgeführte Instandstellungsarbeiten

An fünf Transformatoren wurde der aktive Teil durch Abspülen mit dem eigenen Oel von Schlammdepots und Bleiglätterückständen gereinigt und hierauf das Oel durch die Filterpresse in saubere Gefässe abgelassen. Nach Reinigung der Transformatorenkessel und Behebung der erwähnten kleinen Mängel an den aktiven Teilen pumpte man das Oel ein zweites Mal durch die Filterpresse und in die Kessel zurück. An den übrigen Transformatoren konnten mit Rücksicht auf den Betrieb nur die nötigsten Reinigungsarbeiten am oberen Joch durchgeführt werden. An drei Transformatoren wurde soweit möglich das obere Joch nachgepresst und an einem anderen verbogene Eisenteile ersetzt bzw. gerichtet. Selbstverständlich ersetzte man alle defekten 50-kV-Durchführungen und baute an Stelle von mangelhaften 8,8-kV-Durchführungen solche verbesserter Konstruktion ein. Ferner wurden an sämtlichen 150-kV-Durchführungen die Dichtungsstellen am Unterteil konstruktiv verbessert und statt Korklinoleumdichtungen Dichtungen aus ölfestem Gummi verwendet.

Die Röhrenkörper aller revidierten Oelkühler wurden nach der Reinigung mit 2 kg/cm² abgepresst und dicht befunden. Die Dichtungen zwischen Röhrenkörper und Mantel ersetzte man oben und unten durch solche aus ölbeständigem Gummi und das Innere der Wasserkammern wurde mit Menning gestrichen.

Die Aufwendungen für sämtliche Instandstellungsarbeiten sind in den bekanntgegebenen Unterhaltskosten enthalten.

Feststellungen und Schlussfolgerungen

Die Revisionen haben gezeigt, dass die aktiven Teile sämtlicher untersuchter Transformatoren nach einer Betriebszeit von ungefähr zwanzig Jahren in sehr gutem Zustand waren. Diese Feststellung gilt im besondern für die Transformatoren, deren Wicklungen seinerzeit imprägniert worden sind. Auf den oben gelegenen, horizontalen Konstruktionsteilen wurden, mit Ausnahme eines Transformators, nur ganz geringe Depots von Oelschlamm beobachtet. Weitere Verunreinigungen, Kittmasse, waren an den Transformatoren mit 8,8-kV-Porzellandurchführungen feststellbar.

Ausser einigen unbedeutenden Mängeln, Verschiebung von Wicklungsdistanzkeilen und Preßspankanälen sowie Rissbildungen in ein paar Oelholzstücken, konnten keine Veränderungen von Bedeutung festgestellt werden. Grössere Beschädigungen, welche die Betriebssicherheit hätten beeinträchtigen können, waren an keinem der elf Transformatoren zu konstatieren.

Die Instandstellung beschränkte sich auf Reinigungsarbeiten, das Filtrieren des Oeles und die Behebung der erwähnten kleinen Mängel. Ferner wurden die Durchführungen verbessert und zum Teil ersetzt.

Das Oel ist im allgemeinen in gutem Zustand. Nur bei zwei Transformatoren wurden so hohe Säurezahlen festgestellt, dass das Oel in absehbarer Zeit regeneriert werden muss. Aber auch in diesen beiden Fällen besteht vorläufig kein schädigender Einfluss auf die organischen Baustoffe.

Auf Grund der gemachten Feststellungen wurde erneut bestätigt, dass der Transformator bei guter Planung in konstruktiver und materialtechnischer Hinsicht, bei gewissenhafter Werkstattarbeit und sorgfältiger Wartung ein sehr widerstandsfähiger und betriebssicherer Apparat mit langer Lebensdauer ist.

Die Imprägnierung der Wicklungen muss unbedingt empfohlen werden, da sie die Lebensdauer, selbst bei Verwendung eines Oeles bester Qualität, erheblich verlängert.

Von grosser Wichtigkeit ist die Verwendung eines erstklassigen Oeles, welches in seinen physikalischen und chemischen Eigenschaften den Forderungen des Transformatorenbetriebes genau entspricht.

Unerlässlich ist auch die aufmerksame Kontrolle und sorgfältige Wartung der Transformatoren im Betrieb. Die beschriebene Ueberwachung des Zustandes der Oelfüllungen hat sich als zweckmässig erwiesen. Alle diese Aufgaben können mit geringen Aufwendungen erfüllt werden.

Adresse des Autors:
A. Kraft, Betriebsdirektor der A.-G. Kraftwerk Wäggital, Siebnen (Kt. Schwyz).