

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen

Band: 67 (1976)

Heft: 22

Artikel: Betriebserfahrungen mit Isolierölen von Transformatoren und Messwandlern

Autor: Gänger, B. / Vorwerk, H.-J. / Hartmann, H.

Kapitel: 3: Betriebserfahrungen mit Isolierölen in magnetischen Messwandlern mit Nennspannungen oberhalb 100 kV

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-915234>

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: 20.02.2026

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

spät erkannt würden, sollten die Kontrollperioden nicht zu stark gedehnt werden. Damit der Aufwand in vernünftigen Grenzen gehalten werden kann und angesichts der Tatsache, dass Transformatoren ein und derselben Fabrikationsserie in den Messwerten im allgemeinen nur wenig voneinander abweichen, ist von einem Transformator, dem Leittransformator, in kurzen und bei den übrigen (gleicher Typ, gleiche Fabrikation, annähernd gleicher Zeitpunkt der Inbetriebnahme, vergleichbare Belastung und Aufstellung) in wesentlich längeren Intervallen das Öl zu kontrollieren.

Die Kontrollintervalle sind aus Tabelle V ersichtlich.

3. Bei Transformatoren mit Isolierölen, die sich den empfohlenen Grenzwerten nähern, ist eine häufigere Kontrolle des Isolieröles angebracht. Das gleiche gilt auch für Transformatoren, die im Laufe ihrer Betriebszeit wiederholt zu notwendigen Verbesserungen Anlass gaben. Dabei ist die Vorgeschichte und die Messwertänderung von Messung zu Messung zu berücksichtigen. In zweifelhaften Fällen ist eine Absprache mit dem Hersteller empfehlenswert.

4. Die Inhibierung der Transformatorenöle hat sich als vorteilhaft erwiesen, wobei empfohlen wird, von Anfang an inhibiertes Öl einzufüllen. Da dieses Vorgehen heute nahezu bei allen in der Schweiz zum Einsatz kommenden Transformatoren üblich ist, bezieht sich Tabelle V nur auf inhibierte Öle.

5. Mit den heute gebräuchlichen Isolierölen wurden gute Erfahrungen gemacht. Es ist jedoch zu beachten, dass die früher verwendeten Öle in gewissen Fällen vielleicht deshalb zu Beanstandungen Anlass gaben, weil sie nicht von Anfang an inhibiert waren oder auch der Fabrikationsablauf nicht ganz dem heutigen Wissensstand entsprach.

6. Beurteilt man die verwendeten Ölabschlußsysteme anhand der ausgewerteten Messergebnisse von Öluntersuchun-

gen, so kann für kein System etwas Nachteiliges herausgelesen werden. Die einfache Trockenvorlage mit Ölausdehnungsgefäß dominiert zahlenmässig. Es sei jedoch an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass in sehr seltenen Fällen Transformatoren angetroffen werden, die hin und wieder Luft im Buchholzschutz sammeln. Durch periodisches Entgasen des Öles kann dem begegnet werden. Bei Grosstransformatoren dürfte es deshalb unter Umständen vorteilhaft sein, den hermetischen Abschluss mit einer in direkter Berührung mit dem Öl stehenden Membran zu wählen.

7. Die hier angegebenen Empfehlungen gelten für Hoch- und Höchstspannungstransformatoren. Eine direkte Übertragung der Schlussfolgerungen auf Transformatoren kleinerer Nennspannungen ist aufgrund der ausgewerteten Daten nicht ohne weiteres möglich. Allerdings dürften die Empfehlungen zumindest teilweise auch für die Kontrollen kleinerer Transformatoren nutzbringend sein.

Literatur

- [1] Guide pour la maintenance et la surveillance des huiles isolantes en service. Publication de la CEI No 422, 1973.
- [2] H. Hartmann: Betriebserfahrungen mit Isolierölen in Transformatoren und Messwandlern. Bull. SEV 62(1971)25, S. 1200...1209.
- [3] J. Schober und W. Strittmatter: Über den Einfluss geringer Wassergehalte auf die Durchschlagfestigkeit von Isolierflüssigkeiten. Bull. SEV 59(1968)1, S. 13...18.
- [4] W. Erb und J. Schober: Empfehlungen zur Kontrolle von Transformatoröl im Betrieb. Brown Boveri Mitt. 59(1972)8, S. 422...426.
- [5] E. Dörnenburg und W. Strittmatter: Überwachung von Öltransformatoren durch Gasanalyse. Brown Boveri Mitt. 61(1974)5, S. 238...247.
- [6] P. Stoll und C. Vuilleumier: Eine chromatographische Methode zur Absolutbestimmung von CO₂ in Transformatorenölen. Bull. SEV 62(1971)23, S. 1113...1115.

Adresse des Autors

Hans-Joachim Vorwerk, Bernische Kraftwerke AG, Viktoriaplatz 2, 3013 Bern.

Betriebserfahrungen mit Isolierölen in magnetischen Messwandlern mit Nennspannungen oberhalb 100 kV

Von H. Hartmann

621.315.615.2 : 621.314.222.8.027.8

Ausgewertet werden die Messresultate an Isolierölfüllungen von in schweizerischen Elektrizitätsnetzen höherer Spannung in Betrieb stehenden Messwandlern. Währenddem in den meisten Fällen das Langzeitverhalten der Öle in Ordnung ist, traten doch einige Ausreisser auf, deren Ursache, sofern möglich, nachgegangen wird. Es werden Grenzwerte und Kontrollintervalle für Wandleröle empfohlen, wobei Abweichungen gegenüber den Empfehlungen der CEI begründet werden.

Interprétation des résultats des mesures des charges d'huile isolante de transformateurs de mesure en service dans des réseaux suisses à haute tension. Dans la plupart des cas, le comportement de longue durée des huiles est en ordre; il y avait néanmoins quelques exceptions, dont la cause a été recherchée, lorsque cela était possible. Des valeurs limites et des intervalles de contrôle sont recommandés pour les huiles de transformateurs de mesure, les écarts par rapport aux Recommandations de la CEI étant justifiés.

1. Einleitung

Das Ziel der systematischen Untersuchung der Messungen an Messwandlern der schweizerischen Elektrizitätsnetze höherer Spannungen war, das Verhalten der Isolieröle während des Betriebes und zudem den Einfluss der verschiedenen Ölabschlüsse kennenzulernen. Die bei der früheren Veröffentlichung [1]¹⁾ vorgeschlagenen periodischen Kontrollen und Grenzwerte und diejenigen der in der Zwischenzeit erschienenen internationalen Empfehlungen der CEI [2] sollten ebenfalls überprüft werden.

Zu beachten ist, dass Messwandler gegenüber Transformatoren [3] wesentlich kleinere Isolierölmengen enthalten, und

¹⁾ Siehe Literatur am Schluss des Aufsatzes.

damit ihre Ölfüllungen empfindlicher auf die verwendeten Baustoffe und Eingriffe von aussen zu reagieren vermögen. Für das Verhalten der Öle während des Betriebes sind die während längerer Zeitdauer einwirkenden Temperaturen entscheidend. Diese sind bei den Wandlern ganz allgemein tiefer als bei Transformatoren.

2. Resultate der Betriebsüberwachungen

2.1 Allgemeines

Von insgesamt 535 Messwandlern aus den Netzen der fünf grössten Elektrizitätsunternehmen der Schweiz lagen Untersuchungsergebnisse vor. Die Wandler lassen sich in folgende Netzspannungen und Wandlerarten unterteilen:

Abschluss	150 kV			220 kV			380 kV		Total	
	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp		%
Starr, Gaspolster	10	–	12	7	13	3	14	–	59	11
Druckfrei, Gummibalg, Gaspolster	10	2	91	69	39	59	–	11	281	52
Druckfrei, Gummibalg, ölgefüllt	36	48	–	19	–	24	–	–	127	24
Druckfrei, Metallbalg ölgefüllt	3	–	3	36	7	19	–	–	68	13

- 150 kV: 215 Einheiten (59 St, 50 Sp, 106 K)
- 220 kV: 295 Einheiten (131 St, 59 Sp, 105 K)
- 380 kV: 25 Einheiten (14 St, 11 Sp, 0 K)

Darin bedeuten St = Stromwandler, Sp = Spannungswandler und K = Kombiwandler (St und Sp in einem Gehäuse).

Das Isolieröl wird bei den ausgewerteten Messwandlern gegen atmosphärische Einflüsse mit folgenden dichten Abschlüssen geschützt, die auch die temperaturbedingten Ölschwankungen aufzunehmen haben:

- Starrer Metallabschluss, N₂-Gaspolster mit Überdruck von 0,4 bar bei 20 °C (Kurzbezeichnung: starr, Gaspolster)
- Nachgiebiger, somit druckfreier Kunstgummiabschluss mit N₂- oder Luftpolster (druckfrei, Gummibalg Gaspolster)
- Nachgiebiger, somit druckfreier ölgefüllter Kunstgummiabschluss (druckfrei, Gummibalg ölgefüllt)
- Nachgiebiger, somit druckfreier ölgefüllter Metallbalgabschluss (druckfrei, Metallbalg ölgefüllt)

Die Ausführungen mit starrem Abschluss sind bei den erfassten Wandlern mit nur 11 % deutlich in der Minderzahl gegenüber denjenigen mit nachgiebigen Membranen (Tabelle I). Frei atmende Wandler wurden nicht berücksichtigt, weil diese seit längerer Zeit für die Schweiz nicht mehr gefertigt werden. Die Anzahl Untersuchungen aus Wandlern mit inhiertem Öl ab Inbetriebnahme ist in Tabelle II in Klammern gesetzt.

Eine Unterteilung nach Ölsorten wurde nicht vorgenommen, weil diese nicht immer bekannt waren. Die konstruktiven Einzelheiten der Wandler, ob Stützertyp, Kopfstromtyp oder dergleichen, wurden ebenfalls nicht erfasst, da dies für den Ölzustand, wenn überhaupt, nur geringe Bedeutung haben dürfte.

2.2 Messwerte

Der Eintrag der eingegangenen Messwerte erfolgte in die Tabelle II sowie in die Fig. 1...4.

2.2.1 Verlustfaktor

Zur Beurteilung des qualitativen Verhaltens des Isolieröles in Messwandlern von über 100 kV ist der dielektrische Verlustfaktor $\text{tg } \delta$ wegen der fast ausschliesslichen Verwendung fester Isolation aus ölprägniertem Papier und deren hohen elektrischen Beanspruchung von besonderer Bedeutung. Bei zu hohen Verlustfaktoren besteht die Gefahr von Wärmedurchschlägen [1].

Alle vorliegenden $\text{tg } \delta$ -Messwerte, vielfach über Jahre in ihrem Verlauf verfolgt, sind in Fig. 1 eingetragen. Ausserdem wurde in Tabelle II ihre Zuordnung zur Gruppe der praktisch neuwertigen Öle ($\text{tg } \delta_{90^\circ} < 1\%$), der mässig gealterten Öle (1...10 %) bzw. der stark gealterten Öle ($> 10\%$) unter Aufteilung auf Bauart und Ölabschluss vorgenommen.

Fig. 1 lässt zunächst keinen generellen Verlauf des Verlustfaktors erkennen: Vielfach nimmt dieser zwar mit der Zeit zu, in einigen Sonderfällen sogar unerwartet rasch, jedoch kommt es auch öfters zum gegenteiligen Vorgang, einem Rückgang im $\text{tg } \delta$ mit fortschreitender Betriebszeit.

Bei 4,5 % der Untersuchungen überschritt der Verlustfaktor den in Tabelle III von [1] angegebenen Grenzwert von 10 %. Den grösseren Anteil davon stellen die Spannungswandler,

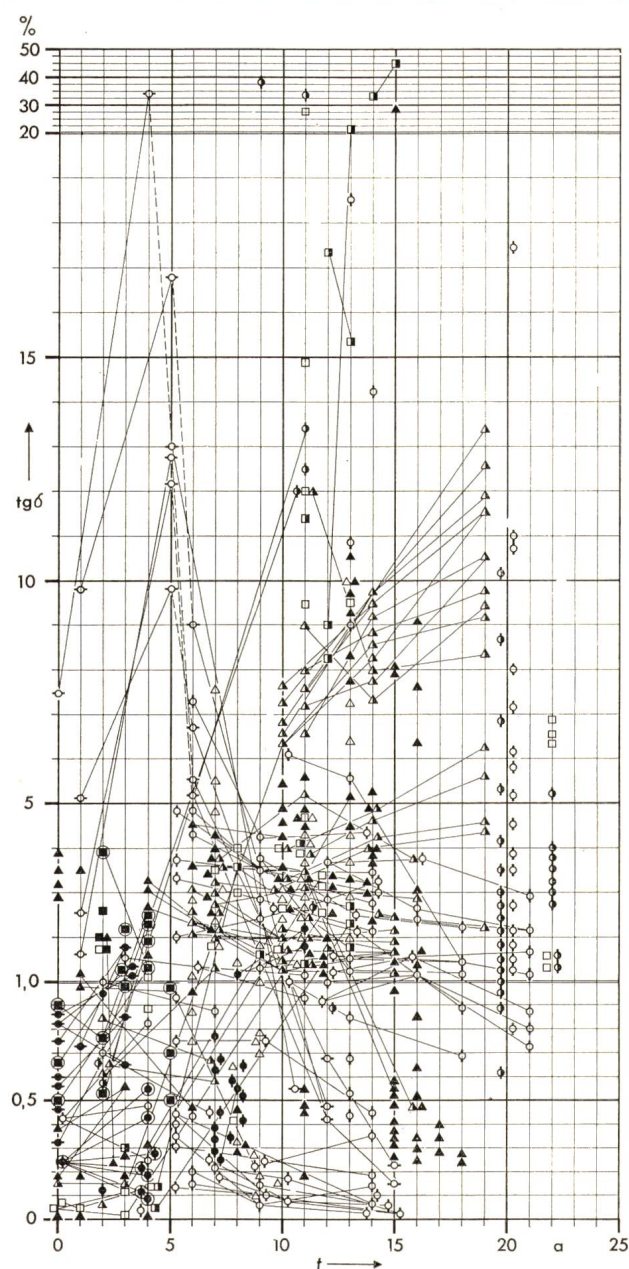


Fig. 1 Verlustfaktor $\text{tg } \delta$ (90 °C) in Abhängigkeit der Anzahl Betriebsjahre a

Erklärung der Symbole in Tabelle III. Zu beachten sind die zwei verschiedenen Maßstäbe für $\text{tg } \delta$

Abschluss	starr, Gaspolster						druckfrei, Gummibalg Gaspolster						druckfrei, Gummibalg ölgefüllt						druckfrei, Metallbalg ölgefüllt						Total																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
	150			220			380			150			220			380			150			220			380			150			220			380			St			Sp			K			Tot.																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St	Sp	K	St

St: Stromwandler; Sp: Spannungswandler; K: Kombiwandler. In Klammern: Anzahl Untersuchungen aus Wandlern mit inhibiertem Isolieröl.

und zwar unabhängig vom Abschlußsystem. Nachdem einige Fabrikanten ab 10 % das Auswechseln, bzw. die Regeneration des Isolieröles empfehlen, muss der Grenzwert der CEI-Publikation 422 von 20...200 % [2] für Messwandler heute üblicher Bauart als sicherlich zu hoch gewertet werden.

Erforderlich ist, die Lebensläufe der Wandler mit Überschreitung der Grenzwerte zu überprüfen. Leider war dies nur bei den in Fig. 2 separat eingetragenen 220-kV-Wandlern älterer Bauart möglich. Beide Typen stehen in der gleichen Anlage in Betrieb.

Bei der damaligen Erstlieferung von 220-kV-Stromwandlern mit druckfreiem, ölgefülltem Gummibalg-Abschluss stieg der Verlustfaktor der Füllöle bereits innert Monaten erheblich an, bedingt durch die anfängliche Einwirkung des Öles auf den Gummibalg. Weil dadurch der Verlustfaktor hohe Werte erreichte, wurden die Ölfüllungen erneuert und auch zwischen Wandlerkopf und Wanderraum ein Agens zur selbsttätigen Reinhaltung des Öles eingesetzt. Dies brachte den Verlustfaktor in kurzer Zeit auf niedrige Werte zurück. Seit 15 Jahren gehören diese Wandler nun zu denjenigen mit besonders niedrigem dielektrischem Kennwert. Die Gummibälge sind noch voll betriebsstüchtig, wie entsprechende Messungen zeigten.













Die 220-kV-Spannungswandler hatten bei der Inbetriebnahme offene Ölabschlüsse mit Luftentfeuchtern. Diese wurden nach 8 Jahren durch druckfreie Gummibalgabschlüsse mit Gaspolster ersetzt. Das Öl wurde getrocknet und entgast. Fig. 2 zeigt, dass ohne Regenerierung und gleichzeitige Inhibition bzw. ohne Ölwechsel die dielektrischen Verluste weiterhin stark ansteigen, praktisch gleich wie beim offenen Wandler. Bei diesen Wandlern wird zurzeit die Isolation mit Öl gespült und mit inhibiertem Neuöl imprägniert.

Von Wandlern mit inhibierten Isolierölen stehen nur 27 Einheiten (5 %) bei einem Elektrizitätswerk in Betrieb, entsprechend den Klammerwerten in Tabelle II. Deren Verlustfaktor liegt durchwegs unter 4 %. Dabei ist zu beachten, dass es sich zur Hauptsache um Wandler mit höchstens 5 Jahren Betrieb handelt. Wegen der kurzen Betriebszeit und auch dem relativ kleinen Probenumfang kann die Auswirkung des Inhibitors noch nicht abschliessend beurteilt werden [4].

Nach den früheren Untersuchungen [1] konnte an Transformatoren im Laufe der Betriebsjahre fast durchwegs ein annähernd gleichmässiges Ansteigen des Verlustfaktors fest-

Erklärung der in den Fig. 1...4 verwendeten Symbole

Tabelle III

Ölabschluss	Wandlerart	Stromwandler	Spannungswandler	Kombinierte Wandler
Starr, Gaspolster				
Druckfrei, Gummibalg, Gaspolster				
Druckfrei, Gummibalg, ölgefüllt				
Druckfrei, Metallbalg ölgefüllt				

Inhibierte Öle sind mit einem Kreis um die obigen Symbole bezeichnet

gestellt werden. Werden die heute sanierten Wandler der Fig. 2 in Fig. 1 ausgeschieden, so ergibt sich diesbezüglich bei den Wandlern ein abweichender, sehr unregelmässiger Verlauf. Vergleicht man die Absolutwerte, so bleiben diese sowohl bei den Transformatoren [1; 3] als auch bei den vorliegenden Messwandlern überwiegend unter 10%, und es muss bei beiden Apparaten nur mit einigen wenigen Ausreissern nach oben gerechnet werden. Letzteres spricht aber doch auch bei den Messwandlern, trotz den dichten Abschlüssen gegen die Atmosphäre und den tiefen Betriebstemperaturen, für eine periodische stichprobenweise Überprüfung des Verlustfaktors während des Betriebes.

Der Verlustfaktor in Abhängigkeit des Wassergehaltes ist in Fig. 3 dargestellt. Erhöhter Feuchtigkeitsgehalt des Öles

äusserte sich im gemessenen Bereich nicht im dielektrischen Verlustfaktor. Auch vom Abschlußsystem her ist keine klare Auswirkung, weder auf den $\text{tg } \delta$ noch auf den Wassergehalt, erkenntlich.

2.2.2 Neutralisationszahl

Der Grenzwert von 0,3 mg KOH/g für die Versäuerung des Öles gemäss [1] wird von keinem Wandler überschritten (Tabelle II, Fig. 4), der Grenzwert von 0,5 mg nach CEI [2] dürfte somit für diese Apparate zu hoch angesetzt sein. Die gemessenen Neutralisationszahlen von fast durchwegs $< 0,2$ mg müssen den mässigen Betriebstemperaturen und den geschlossenen Bauarten mit Fernhaltung des Luftsauerstoffes zugeschrieben werden. Demgegenüber werden bei den Trans-

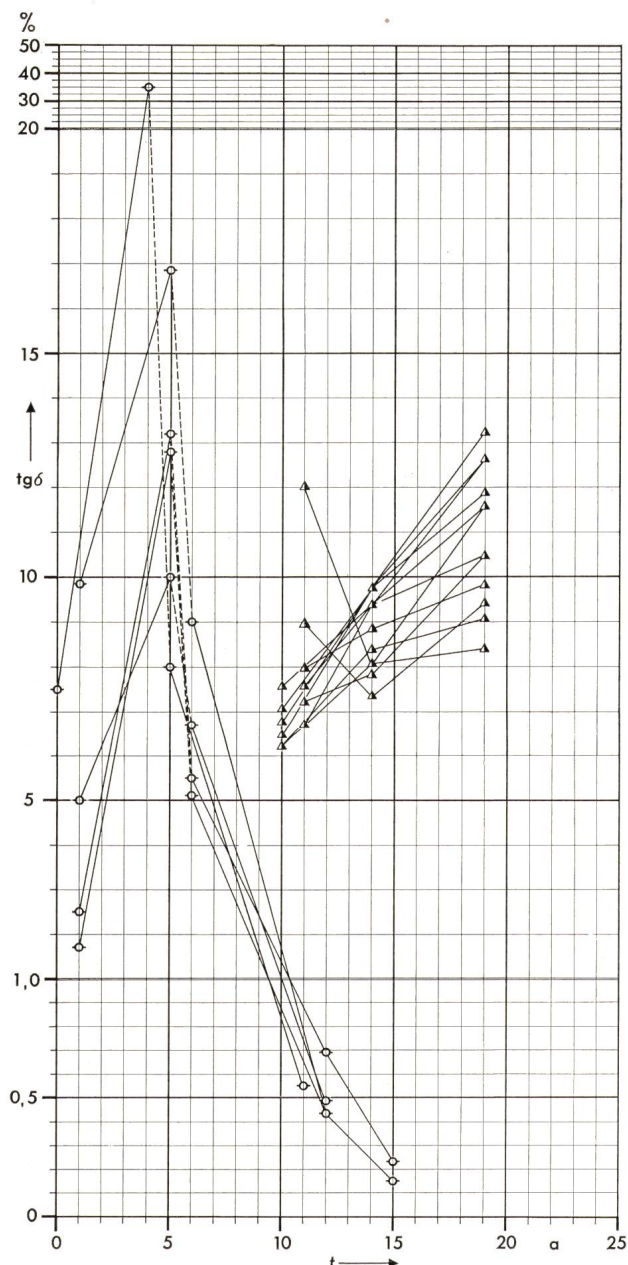


Fig. 2 Verlustfaktor $\text{tg } \delta$ (90 °C) in Abhängigkeit der Anzahl Betriebsjahre α

Auszug aus Fig. 1 von ungewöhnlichem Verlauf des $\text{tg } \delta$ bei bekannter Verursachung

Links: Stromwandler 220 kV

Rechts: Spannungswandler 220 kV

Erklärung der Symbole in Tabelle III.

Zu beachten sind die zwei verschiedenen Maßstäbe für $\text{tg } \delta$

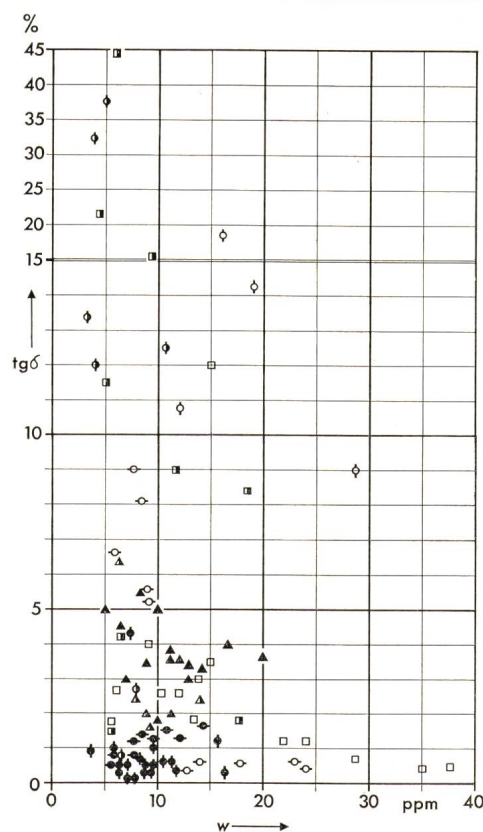


Fig. 3 Verlustfaktor $\text{tg } \delta$ (90 °C) in Abhängigkeit des Wassergehaltes w

Erklärung der Symbole in Tabelle III.

Zu beachten sind die zwei verschiedenen Maßstäbe für $\text{tg } \delta$

formatoren [1; 3] wegen den von den Wandlern abweichenden Betriebs- und Konstruktionsverhältnissen zum Teil wesentlich höhere Werte festgestellt.

2.2.3 Durchschlagsspannung

Der Grenzwert 45/50 kV/2,5 mm nach SEV [1] und CEI [2] wird gemäss Tabelle II nur von knapp 3 % der Untersuchungsergebnisse unterschritten. Bei 62 % hat das Öl Durchschlagswerte von 50...75 kV und bei 35 % von mehr als 75 kV. Dies sind sehr gute Resultate; sie können wie in den vorstehenden Abschnitten begründet werden.

Durchschlagsprüfungen müssen mit aller Vorsicht ausgeführt werden, weil eventuelle Fremdstoffe, die erst bei der Ent-

nahme ins Öl gelangen, tiefe Werte vortäuschen können. Dazu ist die entsprechende CEI-Publikation 156 [5] streng zu beachten.

2.2.4 Gasgehalt

Wird an Hochspannungsmesswandlern der Gasgehalt des Isolieröles bestimmt, so können nach *Dörnenburg* [6] eventuelle innere Unregelmässigkeiten, insbesondere auch Teilentladungen mit Sicherheit festgestellt werden. Etwas umständlich und daher kostspielig ist die Ölentnahme und sind die Messungen selbst. Dabei muss aber beachtet werden, dass damit die schwierigen und noch aufwendigeren Teilentladungs-Messungen in den Anlagen der Elektrizitätsunternehmen selbst oder das Prüfen in einem Prüflabor, mit Demontage- und Montagearbeiten, Hin- und Rücktransporten, umgangen werden können.

Bei 5 Messwandlern (von 80 gemessenen), alle vom gleichen Lieferanten und mit druckfreiem, ölgefülltem Metallbalg wurde beim Wasserstoffgehalt der Grenzwert nach *Dörnenburg* [6] von 200 ppm überschritten. Der hohe Prozentsatz ergibt sich aus der kleinen Zahl der bis heute gemessenen Wandler; denn Gasgehalte wurden nur an zwei Bauarten bestimmt, bei welchen man während des Betriebes Unregelmässigkeiten festgestellt hatte. Die 5 Wandler wurden in Betrieb belassen, weil der Gehalt des Öles an andern Gasen nicht auf irgendwelche Gefährdung hinwies. Es ist vorgesehen, ihren Gasgehalt nach ca. 5 Jahren wieder zu überprüfen.

Bei einem der beteiligten Elektrizitätsunternehmen sind in allen Spannungs- und Kombiwandlern von 220 und 380 kV aller untersuchten Fabrikate Gasschutzapparate eingebaut. Die Auffangtrichter dieser Apparate sind unter Öl angeordnet. Gasausscheidungen, die zum Ansprechen dieser Schutzapparate führten, sind bei 4 von 15 in Betrieb stehenden Wand-

lern, alle mit starren Metallabschlüssen mit N₂-Überdruck-Gaspolstern eines Fabrikates, aufgetreten (Überdruck bei 20 °C 0,4 bar). Die Analysen der im Gasschutzapparat aufgefangenen Gase ergaben bei 3 Wandlern 80...95 % N₂, 0...0,1 % H₂, 5...20 % O₂. Nur bei einem Wandler liess die folgende Zusammensetzung des aus dem Isolieröl extrahierten Gasgemisches auf innere Teilentladungen schliessen; die Gaszusammensetzung im Gasschutzapparat wurde nicht gemessen:

Wasserstoff	200 ppm	Acetylen	1 ppm
Methan	53 ppm	Kohlenmonoxid	210 ppm
Aethan	26 ppm	Kohlendioxid	500 ppm
Aethylen	2 ppm		

Dieser Wandler wurde ausgebaut, und die Teilentladungs-Messungen im Labor bestätigten den unterhalb der Betriebsspannung liegenden Einsatz der Teilentladungen.

Von allen 279 in Betrieb stehenden Messwandlern mit eingebauten Gasschutzapparaten haben nur die 4 erwähnten Apparate, alle mit N₂-Gasüberdruck, angesprochen.

Obige Vorkommnisse erfordern betriebliche Nachmessungen des Gasgehaltes bei Unregelmässigkeiten an Messwandlern und Stichprobenkontrollen bei Wandlern mit Gasüberdruck, auch wenn bei diesen bei den Abnahmeprüfungen die Teilentladungsfreiheit bestätigt wurde.

3. Ölentnahme

Bei den Messwandlern ist wegen der gedrängten Bauart und der dadurch bedingten kleinen Ölmengen, aber auch wegen den geschlossenen Abschlüssen besondere Sorgfalt bei der Ölentnahme für Prüfzwecke am Platze. Es muss im besonderen darauf geachtet werden, dass dabei keine Gasblasen in die Wandler eintreten. Als Nachfüllöl ist gut getrocknetes und entgastes zu verwenden, wobei wiederum jede Blasenbildung beim Einfüllen verhindert werden muss. Die CEI hat über die Probenentnahme Richtlinien herausgegeben [7]. Für die Gasanalysen soll das Öl zudem unter Vakuum entnommen werden. Entsprechende Empfehlungen werden zurzeit von der CEI ebenfalls ausgearbeitet.

4. Schlussfolgerungen

4.1. Auf Grund der vorliegenden Untersuchungen konnte festgestellt werden, dass sich die heute zur Verwendung gelangenden Isolieröle bezüglich Langzeitverhalten in Messwandlern bewährt haben.

4.2. Diese guten Resultate, auch bezüglich hoher elektrischer Festigkeit selbst nach langer Betriebszeit, sind zum guten Teil dem einwandfreien Schutz gegen atmosphärische Einflüsse (dichte Ölabschlüsse) und der sorgfältigen Auswahl der Baumaterialien zu danken.

4.3. Nur bei den starren Abschlüssen mit Gasüberdruck sind während des Betriebes besondere Öluntersuchungen, wie Gasanalysen des Isolieröles, zusätzlich als Stichproben zu empfehlen. Auch bei andern Wandlern mit irgendwelchen Unregelmässigkeiten kann diese Prüfung wertvolle Aufschlüsse über das betriebliche Verhalten bringen.

4.4. Über die Wirkung der Inhibierung des Isolieröles liegen bei den Messwandlern noch zuwenig Erfahrungen vor, um abschliessend über die Nützlichkeit dieser Massnahme urteilen zu können. Das gute Langzeitverhalten der vielen erfassten nichtinhibierten Öle zusammen mit dem wirksamen luftdichten

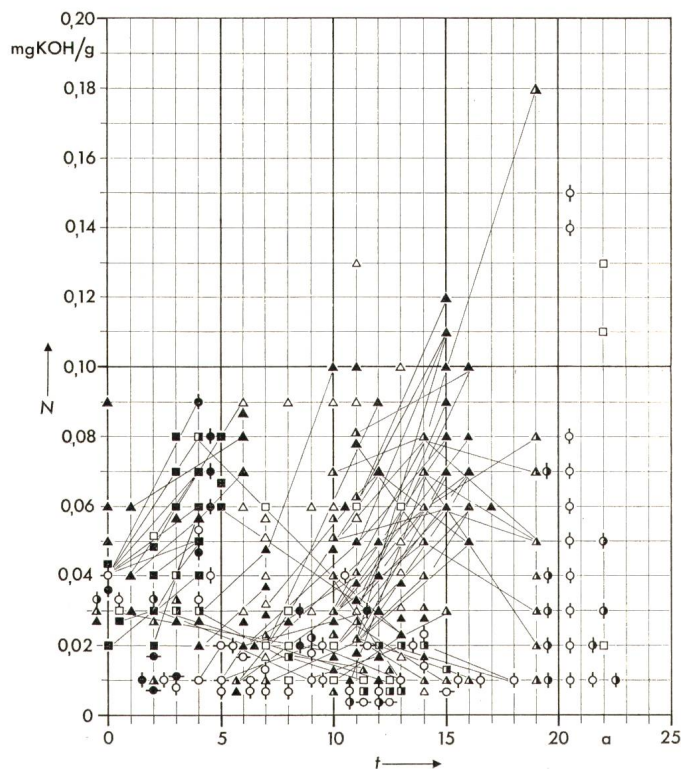


Fig. 4 Neutralisationszahl N in Abhängigkeit der Anzahl Betriebsjahre a
Erklärung der Symbole in Tabelle III

Messung	Höchste Netzspannung	Messumfang	Grenzwerte
Durchschlagsspannung (nach CEI)	100...170 kV	Messung vor Inbetriebnahme nur in Sonderfällen Weitere Messungen: nur bei Unsicherheit bereits nach 3 Jahren, sonst 5...8 Jahre nach Inbetriebnahme an einer grösseren Zahl von Wandlern	50 kV 45 kV
	> 170 kV	Messung vor Inbetriebnahme an 1...3 Wandlern des Lieferumfanges Weitere Messungen: nur bei Unsicherheit bereits nach 3 Jahren, sonst 5...6 Jahre nach Inbetriebnahme an einer grösseren Zahl von Wandlern	60 kV 50 kV
Wassergehalt	100...170 kV > 170 kV	Messung vor Inbetriebnahme nur in Sonderfällen In vermehrtem Umfang erst nach 5...8 Jahren	30 ppm 20 ppm
Neutralisationszahl	100...170 kV	Messung vor Inbetriebnahme nur in Sonderfällen In grösserem Umfang erst nach 5...8 Jahren	0,03 mg/g 0,2 mg/g
	> 170 kV	Messung vor Inbetriebnahme an 1...3 Wandlern des Lieferumfanges Weiterhin alle 5...8 Jahre in grösserem Umfang	0,02 mg/g 0,2 mg/g
tg δ (90 °C)	100...170 kV	Messung vor Inbetriebnahme nur an vereinzelten Wandlern In grösserem Umfang nach 5...8 Jahren	2,0 % 15 %
	> 170 kV	Messung vor Inbetriebnahme an 1...3 Wandlern des Lieferumfanges In grösserem Umfang nach 3 und weiteren 5...6 Jahren	1,5 % 10 %
Inhibitorgehalt	–	Nach ca. 10 Jahren	0,1...0,3 %
Gasgehalt	> 170 kV	– Messwandler mit betrieblichen Unregelmässigkeiten – Wandler mit Gasüberdruckabschluss nach 8 Jahren	siehe [6]

Ölabschluss scheint aber derartige Zusätze nicht unbedingt notwendig zu machen.

4.5. Die Grenzwerte der Öldaten und Kontrollintervalle, die auf Grund der vorliegenden Untersuchungen empfohlen werden können, sind in Tabelle IV zusammengestellt.

Bei den Intervallen können nur allgemeine Richtlinien angegeben werden, wobei bei der Beurteilung die früheren Resultate zu berücksichtigen sind. Zu empfehlen sind zur Kostensenkung Stichproben nach Tabelle IV an nur 1...3 Wandlern des gleichen Typs und Baujahres oder in Sonderfällen (zuwenig Vertrautheit mit neuen Bauarten; an bereits in Betrieb stehenden Wandlern der gleichen Bauart festgestellte Unregelmässigkeiten usw.) Messungen bereits vor der Inbetriebnahme.

Literatur

- [1] H. Hartmann: Betriebserfahrungen mit Isolierölen in Transformatoren und Messwandlern. Bull. SEV 62(1971)25, S. 1200...1209.
- [2] Guide pour la maintenance et la surveillance des huiles isolantes en service. Publication de la CEI No 422, 1973.
- [3] H. J. Vorwerk: Betriebserfahrungen mit Isolierölen von Transformatoren mit Nennspannungen oberhalb 100 kV. Bull. SEV/VSE 67(1976)22, S. 1207...1214.
- [4] P. Stoll und C. Vuilleumier: Das Langzeitverhalten von Wandler-Ölen. Bull. SEV 61(1970)7, S. 315...318.
- [5] Méthode pour la détermination de la rigidité électrique des huiles isolantes. Publication de la CEI No 156, 1973.
- [6] E. Dörnenburg und W. Strittmatter: Überwachung von Öltransformatoren durch Gasanalyse. Brown Boveri Mitt. 61(1974)5, S. 239...247.
- [7] Méthode d'échantillonnage des diélectriques liquides. Publication de la CEI No 475, 1974.

Adresse des Autors

H. Hartmann, Ingenieur, NOK Nordostschweizerische Kraftwerke AG, Postfach, 5401 Baden.