

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: 78 (1987)

Heft: 9

Artikel: Einige Gesichtspunkte zur Qualitätssicherung bei Messwandlern : UK Qualitätssicherung des FK 38 unter dem Vorsitz vom H.-J. Vorwerk

Autor: [s.n.]

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-903851>

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: 14.01.2026

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

Einige Gesichtspunkte zur Qualitätssicherung bei Messwandlern

UK Qualitätssicherung des FK 38 unter dem Vorsitz von H.-J. Vorwerk

Als Fortsetzung der vor einigen Jahren im Zusammenhang mit Wandler Schäden durchgeführten Untersuchungen [1] wird über neue Betriebserfahrungen berichtet. Es werden qualitäts-sichernde Massnahmen in den Bereichen Konstruktion, Fertigung, Transport, Betrieb und Unterhalt behandelt. Ferner wird auf Besonderheiten bei Wandlern in SF₆-isolierten Schaltanlagen und auf Entwicklungstendenzen im Wandlerbau eingegangen.

Donnant suite aux recherches effectuées, il y a quelques années, au sujet des endommagements de transformateurs de mesure, un rapport est présenté sur de nouvelles expériences faites en service. Il traite des dispositions à prendre pour l'assurance de la qualité tant dans les domaines de la construction et de la fabrication, que dans ceux du transport, du service et de l'entretien. De plus ce rapport présente certaines particularités concernant les transformateurs de mesure installés dans les appareillages de connexion isolés au SF₆, et traite de l'évolution vers laquelle tend le développement des transformateurs de mesure.

Adressen der Autoren

H.-J. Vorwerk, Bernische Kraftwerke AG (BKW), Viktoriaplatz 2, 3000 Bern 25.

Mitglieder der Unterkommission (UK) und beteiligt an diesem Bericht sind: M. Aguet, SE Lausanne; E. Ecknauer, NOK Baden; G.A. Gertsch, Micafil AG, Zürich; P. Jaishi, ATEL Olten; N. Korponay, BBC Baden; Dr.-Ing. R. Minkner, Emil Haefely & Cie AG, Basel; P. Müller, EOS Lausanne; L. Ritter, EWZ Zürich; R. Thévenaz, SI Genève, und H.-J. Vorwerk, BKW Bern (Vorsitz).

In der zweiten Hälfte der siebziger Jahre kam es bei einigen schweizerischen Elektrizitätswerken zu vermehrten Schäden an Messwandlern. Eine Arbeitsgruppe des FK 38¹ nahm sich dieser Sache an mit dem Ergebnis, dass die Ursachen aufgedeckt und Abhilfemassnahmen eingeleitet wurden [1].

Bei dem seinerzeitigen Bericht ging es darum, die Untersuchungsergebnisse möglichst rasch bekannt zu machen, um weitere Schäden zu verhüten. Dadurch war es damals nicht möglich, alle Probleme im Zusammenhang mit der Betriebssicherheit bzw. Qualitätssicherung eingehend zu behandeln. Deshalb wurde die Arbeit nach Erweiterung der Arbeitsgruppe von sechs auf zehn Mitglieder fortgesetzt. Es war beabsichtigt, neben die Bearbeitung der Normen innerhalb des FK 38 ein fachlich kompetentes Gremium zu stellen, bestehend aus Vertretern der Industrie und der Elektrizitätswerke, das sich vor allem mit aktuellen technischen Fragen befassen sollte. Die Arbeit ist inzwischen soweit gediehen, dass weitere Ergebnisse veröffentlicht werden können.

1. Neuere Betriebserfahrungen

Eine ähnlich umfassende Umfrage über Wandler Schäden, wie sie der früheren Veröffentlichung [1] zugrunde lag, wurde diesmal nicht durchgeführt, weil weder die Art noch die Anzahl der Schäden ein gleiches Vorgehen erfordert hätten. Wohl ist auch nach 1981 wieder eine Anzahl Wandler defekt gegangen; die beunruhigende Situation von damals liegt aber heute nicht mehr vor, auch wenn im Einzelfall die Schäden gross sein können (Fig. 1)

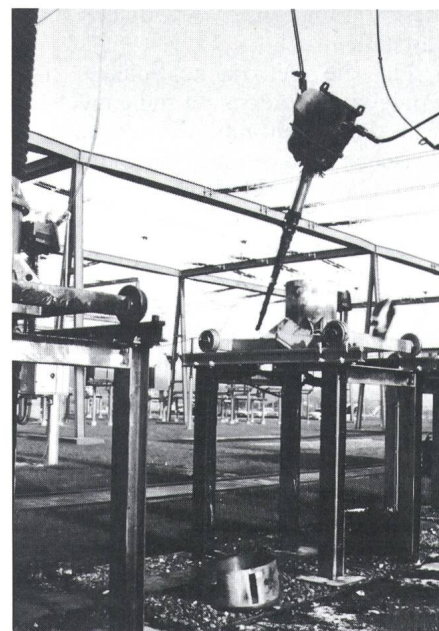
Eine erhöhte Ausfallrate zeigten Giessharz-Spannungswandler der Baujahre 1953 bis 1958, die in Mittel-

spannungsanlagen eingesetzt sind. Sie stammen aus einer Zeit, in der die Teilentladungsmesstechnik noch nicht den gegenwärtigen Stand erreicht hatte, und es besteht die Gefahr, dass sich in den damaligen Fertigungsreihen weitere gefährdete Wandler befinden.

Mit Befriedigung kann festgestellt werden, dass trotz der für schweizerische Verhältnisse extrem tiefen Temperaturen des Winters 1984/85 keine Probleme an Messwandlern aufgetreten sind. Voraussetzung dafür sind u.a. ein richtig bemessenes Ölabschlusssystem und ein für tiefe Temperaturen geeignetes Isolieröl. Teilweise werden die Wandler für eine minimale Umgebungstemperatur von -40 °C bestellt, so dass dann sowieso sehr strenge Winter abgedeckt sind. Das Zuschalten von kalten Wandlern verlief in allen Fällen problemlos.

Ursachen der grösseren Schäden

In einigen wenigen Fällen wurden die betroffenen Wandler vollständig zerstört. Die Schadenursache liess sich



Figur 1 Total zerstörte 220-kV-Messgruppe

FK 38: Fachkollegium 38 des Schweiz. Elektrotechnischen Komitees (CES); Messwandler.

oft nicht mehr mit Sicherheit angeben, weil die einzelnen Teile stark verformt oder verbrannt waren. Unter dem Vorbehalt dieser Unsicherheit lassen sich folgende Ursachen aufführen:

- Blitzeinschlag in Wandlernähe, Wandler am offenen Ende einer Freileitung
- thermische Überlastung bei Resonanzerscheinungen (Ferroresonanz, Kipp-schwingungen)
- Transportschäden, zum Beispiel wegen Nichtbeachtens der Transportvorschriften des Herstellers
- für Temperaturen unterhalb -25°C zu klein bemessene Ausdehnungskörper
- Eindringen von Feuchtigkeit infolge von Korrosion oder mangelhaften Dichtungen.

Porzellanschäden

Bei der Einteilung der Wandler-schäden hinsichtlich ihrer Ursache fiel auf, dass verhältnismässig viel Porzellanrisse aufgetreten sind. Die Risse wurden durch den Ölverlust stets rechtzeitig entdeckt, so dass keine schweren Schäden auftraten. Rissbildung kann, wenn von äusserer Gewaltanwendung abgesehen wird, zwei Ursachen haben. Entweder ist die Porzellanqualität schlecht, oder die Befestigungsart des Porzellankörpers ist ungünstig gewählt.

Was das Material anbetrifft, spielt die Porzellanqualität eine grosse Rolle [2]. Porzellan auf Tonerdebasis KER 110.2 nach DIN 40 685 hat eine wesentlich höhere mechanische Festigkeit und ist weniger anfällig für Rissbildung als das billigere Porzellan KER 110.1 auf Quarzbasis (vergl. auch IEC 672-3 [3]). Die Qualität eines Porzellans lässt sich übrigens durch die Bestimmung seiner Rohdichte leicht feststellen.

Für die Betriebstauglichkeit eines Porzellanisolators sind seine mechanische Festigkeit und die Verbindung zwischen dem Porzellanisolator und dem Flansch entscheidend. Als technisch besser als die Klemmung mittels Pressbriden hat sich die Einzementierung des Porzellankörpers in den Flansch herausgestellt. Die Auswahl der Materialien für die Flansche und deren konstruktive Ausbildung sowie die Einzementierungstechnik sind entscheidend für die Zuverlässigkeit und mechanische Festigkeit dieser Befestigungsart.

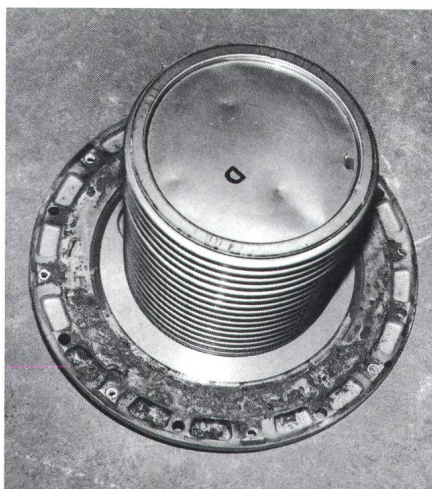
Bei der Herstellung von langen Porzellan-hohlkörpern hat sich die Verbindung zweier Hohlkörper mittels einer Klebetechnik auf Epoxdharzbasis durchgesetzt und bewährt. Bei diesem Herstellprozess werden die Porzellan-

körper keinem zusätzlichen Brand (sog. grüner Brand) unterworfen, wie dies bei der Verbindung mittels Porzellanmasse notwendig ist. Der zweite Brand bringt eine geringere Festigkeit als der Basisbrand. Ausserdem können durch den grünen Brand Luftein-schlüsse in der Verbindungsstelle entstehen und zu Teilentladungen führen.

Korrosion

Bisher waren Korrosionsschäden an Wandlern in der Schweiz praktisch unbekannt. Teile aus gewöhnlichem Stahl wurden wie üblich gestrichen; verzinkte Bauteile oder solche aus nichtrostendem Stahl, Aluminium oder Buntmetall blieben meistens unbehandelt. In letzter Zeit stellte man wohl auch aufgrund der zunehmenden Luftverschmutzung fest, dass gewisse, bisher nur im Ausland bekannte Korrosionserscheinungen nach 5 bis 10 Betriebsjahren vereinzelt auch hier auftraten. Dabei wurde auch nichtrostendes Material angegriffen.

Spaltkorrosion ist bisher in stärkerem Masse an Wandlern in Schaltanlagen im Bereich von Industriegebieten aufgetreten. Als besonders gefährdet sind Spalte bis 1,5 mm anzusehen, aus denen das Wasser nicht oder nur schwer wegfließen kann. Die Spaltkorrosion kann zu Undichtigkeiten durch Rostunterwanderung an Flachdichtungen und O-Ring-Abdichtungen führen (Fig. 2). Zur Vermeidung der Spaltkorrosion wird generell eine Behandlung der Dichtflächen mit geeigneten Schutzanstrichen empfohlen.



Figur 2 Durch Spaltkorrosion beschädigter Deckel aus Anticorodal mit Federbalg aus rostfreiem Stahl

Korrosion an der dem Porzellanflansch zugewandten Fläche. Bereits beschädigte O-Ring-Nut.

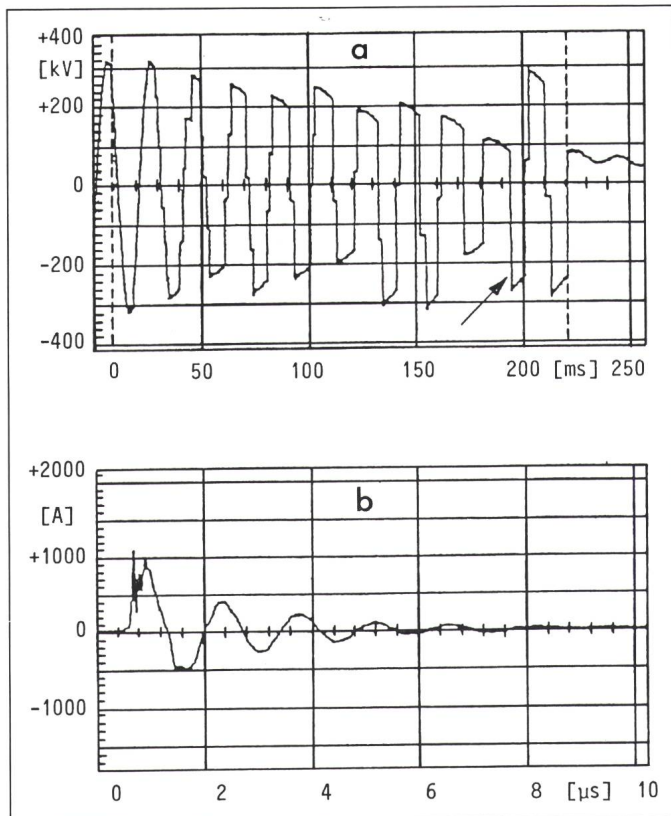
Auch haben sich zwei in Reihe geschaltete Dichtungen bewährt, deren Zwischenraum mit Silikonpaste gefüllt ist. Die Verbindungsstellen sind ausserdem so auszubilden, dass Regenwasser überall gut abfliessen und sich auch nicht in Hohlräumen stauen kann. Neben der Korrosionsgefahr würden beim Gefrieren des Wassers ausserordentlich hohe Kräfte auftreten, welche das Gerät beschädigen könnten.

2. Qualitätssicherung in Konstruktion und Fertigung, Prüfungen im Werk

Über die Qualitätssicherung in Konstruktion und Fertigung wurde bereits früher ausführlich berichtet [1]. Nachstehend deshalb nur einige Ergänzungen, vor allem zu den Prüfungen im Werk.

Die heutigen im Werk durchgeführten Prüfungen decken die allgemeinen Betriebsverhältnisse gut ab, so dass die Betriebssicherheit der Messwandler trotz der Diskrepanz zwischen den Temperaturen während der Prüfungen und im Betrieb gewährleistet ist. Es ist praktisch nicht möglich und vom Aufwand her auch nicht vertretbar, alles zu prüfen. Theoretische Überlegungen, also z.B. Berechnungen oder geeignete Kriterien zur Materialwahl, können ebenfalls zur Verbesserung der Qualität beitragen und haben als Nachweis von Eigenschaften neben der eigentlichen Prüfung durchaus ihre Berechtigung. Nicht zuletzt spielt auch das Vertrauensverhältnis zwischen Anwender und Hersteller eine Rolle.

Verschiedene Beanspruchungen könnten jedoch in Zukunft zu gewissen Problemen führen, wie zum Beispiel diejenigen durch Trennerschaltungen, bei denen langdauernde Folgen steiler transients Überspannungen erzeugt werden (z.B. Fig. 3), die zu einer ungleichmässigen Spannungsverteilung im Wandler führen. Besonders hohe Beanspruchungen werden durch SF_6 -Trenner [4] oder extrem langsam arbeitende Freilufttrenner verursacht. In der Schweiz sind diesbezüglich bisher keine besonderen Schwierigkeiten aufgetreten. Die Wandlerhersteller haben solche Probleme inzwischen erkannt und die entsprechenden Typen- oder Entwicklungsprüfungen durchgeführt, um ein zufriedenstellendes Verhalten zu gewährleisten. Für derartige Prüfungen



Figur 3
Spannungsverlauf am
Stromwandler beim
Öffnen eines
420-kV-Trenners

- a Der Spannungssprung kann grösser als der Scheitelwert der Netzspannung sein, s. Pfeil
b Strom durch die Wandlerisolation bei einer Rückzündung

zen auftreten und die Einzelteile zu schwingen beginnen. Fast unendlich viele Arten von Anregungen sind denkbar. Manchmal kann das Durchfahren von relativ sanften Bodenwellen schädlicher sein als ein harter, kurzer Stoss, verursacht durch ein Schlagloch. Der Konstrukteur muss sich der Gefahren bewusst sein und seine Apparate so konstruieren und verpacken lassen, dass sie üblichen Transportbedingungen widerstehen können. Er muss in den Transportvorschriften auf spezielle Eigenarten seiner Produkte hinweisen, z.B. auf die Lage oder Richtung von Teilen, die bei falscher Transportlage verrutschen könnten. Es sollte die Regel sein, an gut sichtbarer Stelle, z.B. in der Nähe des Leistungsschildes, einen haltbar befestigten Hinweis anzubringen, aus dem die zu beachtende Transportvorschrift eindeutig hervorgeht.

Prüfungen nach dem Transport

Nach dem Transport ist der Zustand des Wandlers zu überprüfen. Welche Prüfungen durchzuführen sind, muss in der Transportvorschrift enthalten sein. Unbedingt notwendige Prüfungen:

1. Sichtkontrolle einschliesslich Kontrolle des Zubehörs.
2. Kontrolle auf unterbruchsfreie Potentialverbindungen.
3. Messung des Wicklungswiderstandes, bei Stromwandlern und kapazitiven Spannungswandlern auch Messung der Kapazität.

Bei Verdacht auf Haarrisse im Porzellan kann die Fingernagelprobe nützliche Dienste leisten. Über Windungsschlüsse und das Einhalten der Klassengenauigkeit kann die Aufnahme einiger Punkte der Magnetisierungskurve und der Vergleich mit der entsprechenden Referenzkurve Auskunft geben. Werden innere Beschädigungen vermutet, so ist eine TE-Messung als Prüfung bestens geeignet. Ist sie nicht durchführbar, so kann nach einigen Wochen Betrieb eine Gasanalyse weiterhelfen.

4. Besonderheiten im Betrieb

Die Betriebsbedingungen der Hochspannungsnetze haben spezifische Auswirkungen auf die eingesetzten Wandler, welche durch die allgemeinen Qualitätsnormen und Prüfvorschriften nicht in allen Fällen abgedeckt werden.

liegen bis heute einige Vorschläge vor, die jedoch nicht durchwegs befriedigen. Eine standardisierte Typenprüfung ist noch zu schaffen. Das FK 38 wird sich darum bemühen. Es sei erwähnt, dass dem Durchgriff der Überspannungen auf die Sekundärkreise durch geeignete Schutzmassnahmen Rechnung zu tragen ist [5; 6].

Die heute durchgeführte Stossprüfung hat sich bewährt und sollte als Typenprüfung, eventuell sogar als Stichprobenprüfung beibehalten werden. Eine Prüfung mit abgeschnittenem Stoss ist als zusätzliche Typenprüfung besonders bei Stromwandlern zu empfehlen, um deren korrekte Auslegung gegenüber steilen Transienten zu kontrollieren.

Die kürzlich vom FK 38 überarbeitete SEV-Regel über TE-Messungen [7] stellt als Stückprüfung sicher, dass die zur Gewährleistung einer hohen Betriebssicherheit der Wandler notwendigen tiefen TE-Werte einwandfrei nachgewiesen werden können.

3. Transportprobleme

Es wird vielfach der Tatsache zu wenig Beachtung geschenkt, dass Wandler auf dem Transport vom Herstellerwerk zum Aufstellungsort Beschädigungen erleiden können, die bei den

der Inbetriebnahme vorangehenden Prüfungen nicht entdeckt werden und später zu Störungen führen. Grobe Beschädigungen lassen sich in der Regel durch eine Sichtkontrolle feststellen. Kleinere, vor allem innere Beschädigungen sind dagegen kaum mit einfachen Mitteln am Aufstellungsort aufzudecken.

Transportbeanspruchungen

Umfangreiche Literaturangaben findet man in [8]. Die ganze Problematik wird von der einfachen Formel $F = m \cdot a$ beschrieben, allerdings sind die Zusammenhänge recht komplex.

Die Masse m eines aus Wandler und Verpackung bestehenden Transportgutes setzt sich aus vielen, stark unterschiedlichen Einzelmassen zusammen. Es gibt darunter kompakte, wie Kerne und Wicklungen, weniger kompakte, wie Papier oder Folienisolation, und Flüssigkeit, z.B. Isolieröl. Es befinden sich darunter elastische, zähe Materialien, wie Stahlblech, Aluminium usw., und spröde Teile, zu denen u.a. der Porzellanisolator zählt. Alle diese Einzelmassen sind mit unterschiedlichen elastischen Verbindungselementen zu einer Einheit zusammengebaut. Daraus ergibt sich, dass bei entsprechender Anregung mechanische Resonanzen

Betriebsspannungen bis 200 kV

Die heute bestehenden Netze in den Spannungsbereichen 50...60 kV und 110...150 kV sind historisch gewachsen, erfüllen verschiedenartige Aufgaben und weisen deshalb unterschiedliche technische Daten auf. In den üblicherweise getrennt betriebenen Netzen entstehen jedoch daraus wenig Betriebsprobleme.

Eine Reduktion der Typenvielfalt könnte zwar für die Wandlerproduktion durch grössere Stückzahlen auf dem Schweizer Markt und durch Verringerung der Fehlerquellen eine Qualitätsverbesserung bewirken. Technische Gründe stehen aber einer Vereinheitlichung entgegen. Damit bleibt als wichtigstes Qualitätskriterium das Isolationsniveau, das den Betriebsbedingungen und der Ausrüstung im Netz entsprechen muss.

Betriebsspannungen zwischen 200 und 300 kV

Im schweizerischen 220-kV-Übertragungsnetz wird der regelkonforme Wert von 245 kV für die höchste verkettete Betriebsspannung U_m in Wirklichkeit zeitweise überschritten. In einzelnen Stationen gilt dies für jährlich 2000...3000 h bei Werten bis 260 kV.

Wandler in diesen Netzen, welche gemäss $U_m = 245$ kV dimensioniert sind, werden dielektrisch und thermisch über die Regeln hinaus beansprucht, wodurch die Lebensdauer und die Betriebssicherheit je nach Spannungshöhe und Dauer der Überbeanspruchung Einschränkungen erfahren können. Bei der Festlegung von Nennspannung und Nennspannungsfaktor entstehen Probleme.

Verschiedene Werke haben für diese Wandler eigene, unterschiedliche Zusatzspezifikationen erstellt. Eine einwandfreie Lösung ergibt sich aber nur durch die Anwendung einer geeigneten Spannungsnorm, z.B. $U_m = 300$ kV. Das skizzierte Problem wird zurzeit durch das FK 38 bearbeitet.

Erwärmung

Messwandler sind gegenüber Leistungstransformatoren hinsichtlich Erwärmung weitaus empfindlicher. Bei gleicher Bauart bietet der Nennstrom 1 A gegenüber 5 A erwärmungstechnische Vorteile.

Neben den Eisen- und Kupferverlusten sind besonders die Verluste im Ölpapier-Dielektrikum zu beachten. Diese führen erfahrungsgemäss bei einer

Spannungserhöhung um 25% zu einer Lebensdauerkürzung um ungefähr 10 Jahre.

Sonderprobleme

Die konstruktive Weiterentwicklung der Messwandler und die technischen Änderungen in den Leitungsnetzen haben die Bedeutung verschiedener Wechselwirkungen zwischen Netz und Wandler verändert. Ehemals kritische Phänomene sind entschärft, neue treten auf.

Für ein befriedigendes spannungstransientes Verhalten moderner Wandler gibt es heute Problemlösungen. Zunehmend sind jedoch steile transiente Einflüsse aus dem Netz zu beachten, wie Schalt- und Entladeströme von Kabelleitungen und Überspannungen beim Schalten von Freilufttrennern mit langsamen Antrieben, insbesondere aber von Trennern in SF₆-Anlagen (vergl. Abschnitt 2).

Einen Sonderfall bilden Resonanzerscheinungen, die bei geeignetem Schaltzustand auch im starr geerdeten Netz am induktiven Spannungswandler auftreten, angeregt durch Steuerkondensatoren des benachbarten Leistungsschalters. Eine entsprechende Vermutung muss möglichst vorgängig durch Rücksprache mit den Herstellern des Wandlers und des Schalters abgeklärt werden. Als Abhilfe kommt in Frage, den Wandler zu bebürden und/oder den Schwingkreis durch Änderung der Kondensatorkapazität oder den Einsatz eines anderen Wandlertyps zu verstimmen.

5. Kontrollen im Betrieb, Unterhalt

Messwandler konventioneller Bauart, wie sie heute noch hauptsächlich zur Anwendung kommen, stellen anspruchsvolle, unterhaltsarme Apparate dar. Trotzdem müssen vor der Inbetriebnahme und später auch im Betrieb gewisse Kontrollmessungen durchgeführt werden, um Störungen zu vermeiden und eine lange Lebensdauer zu gewährleisten. Nach dem Transport und der Montage am Aufstellungsort müssen vor der Inbetriebnahme Messungen durchgeführt werden, um sicherzustellen, dass die Apparate bis dann keinen Schaden erlitten haben.

Spätere Kontrollmessungen sind nach den Empfehlungen des Herstellers durchzuführen. Kontrollen zwischen den normalen Intervallen sind immer dann erforderlich, wenn ein

Verdacht besteht, dass ein Wandler versteckte Mängel aufweist oder bereits Störungen an gleichen Apparaten aufgetreten sind.

Im folgenden werden fünf Gruppen von Prüfungen beschrieben, die in der Anlage durchgeführt werden können. Welche Methode wann zur Anwendung gelangen soll, hängt von vielen Faktoren ab. So z.B. von den Empfehlungen des Herstellers, der Unterhaltskonzeption des Anwenders, vom Vorhandensein der notwendigen Einrichtungen usw.

Elektrische Messungen

Diese sind in der Regel einfach durchzuführen und erfordern keinen grossen Aufwand an Geräten.

Widerstandsmessung: Sie ist eine allgemein bekannte und einfache Methode und dient dazu, Drahtbrüche, schlechte Kontaktstellen, falsche Schaltungen (z.B. Serie- statt Parallelschaltung) von Wicklungen aufzudecken.

Übersetzungsmessungen: Diese Methoden bedürfen keiner weiteren Erläuterung.

Kapazitätsmessung: Sie wird in der Regel mit einer Messbrücke durchgeführt. Es können Herstellerangaben überprüft werden oder ob z.B. Teilkapazitäten eines kapazitiven Wandlers durchgeschlagen haben. Auch das Fehlen einer Erdverbindung lässt sich feststellen. Diese Messung kann mit derjenigen des Verlustfaktors kombiniert werden.

Aufnahme der Magnetisierungskurve bei Stromwandlern: Zur Durchführung werden je ein passendes Volt- und Amperemeter sowie eine variable Spannungsquelle benötigt. Bei offener Primärwicklung werden der in der Sekundärwicklung fliessende Erregerstrom und die angelegte Spannung gemessen. Die Kerne müssen vorher entmagnetisiert werden.

Grobe mechanische Einflüsse auf die Kerne, Veränderungen der Luftspalte und Windungsschlüsse lassen sich damit durch Vergleich mit der ursprünglichen Magnetisierungskurve feststellen.

Polaritätskontrolle: Das Messgerät ist im Prinzip ein Drehspulinstrument mit Nullstellung des Zeigers in Skalenmitte. Vier Messleitungen werden an die vier Klemmen der zwei Wicklungen, deren Wickelsinn (Polarität) bestimmt werden soll, angeschlossen. Auf Knopfdruck wird Gleichstrom durch eine der Wicklungen geschickt.

Die Richtung des Zeigerausschlages ist massgebend für den Wickelsinn. Falls das Messgerät fehlt, kann es durch eine Taschenlampenbatterie und ein Universalmessgerät mit Drehschaltmesswerk ersetzt werden.

Ölmessungen

Die Bedeutung der Qualitätskontrolle von Messwandleröl [1; 9; 10] ist heute unbestritten. Als Vorzüge der Ölmessungen gelten die einfache, preiswerte Durchführung und die recht gute Aussagekraft für Wandler mit Öl unter gas- und druckfreiem Luftpabschluss, also für den grössten Teil der Hochspannungsmesswandler. Die kapazitiven Spannungswandler mit synthetischen Ölen können allerdings auf diese Weise weniger umfassend beurteilt werden. Rücksprachen mit dem Hersteller sind in jedem Fall zu empfehlen, denn er kennt seine Wandler in allen Einzelheiten.

Die Qualität der Messwerte hängt entscheidend von der Sorgfalt bei der Probenahme und von deren rascher Verarbeitung ab. Konstruktionen mit nur einer Füllschraube und weiche Faltenbälge, die vor dem Öffnen mechanisch gestützt werden müssen, erschweren die Ölentnahme. Für alle Wandler gilt, dass nach der Ölentnahme der Ölstand der drei Einheiten im Feld zu Vergleichszwecken gleich sein muss.

Die geringen Ölvolumen moderner Wandler erlauben nur eine sehr knappe Vorspülung und erfordern die sofortige Nachfüllung mit aufbereitetem Öl. Ist neben der Öl- auch die Gasmessung vorgesehen, müssen die Manipulationen unter Luftpabschluss erfolgen. Hierzu ist heute eine geeignete Vorrichtung auf dem Markt verfügbar (Fig. 4).

Als wichtigste Werte zur Beurteilung des Wandleröls [10] gelten heute:

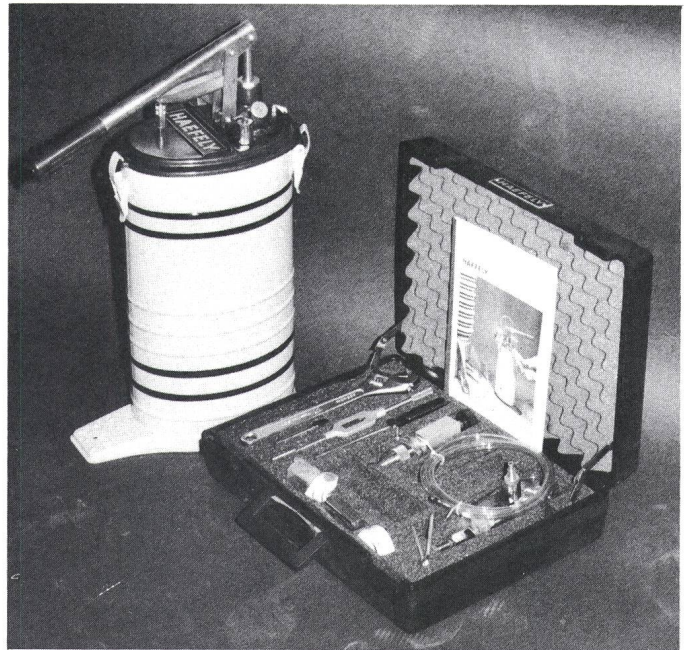
- Verlustfaktor, Messung kalt und warm
- Neutralisationszahl
- Durchschlagsspannung
- Wassergehalt.

Die Grenzflächenspannung wird ebenfalls als Kriterium benutzt, um chemische Einflüsse in der Isolationsanordnung zu erkennen. Der Gas- oder Inhibitorgehalt im Öl hingegen kann nur durch spezielle Messungen bestimmt werden.

Die Ölmesswerte allein erlauben keine absoluten Aussagen. Schlechte Werte erfordern Wiederholungsmessungen, und es sollten zur Ergänzung auch elektrische Messungen hinzuge-

Figur 4
Entnahmegrät für
Ölproben, mit
Zubehörkoffer

Damit kann Öl aus dem Messwandler entnommen und durch die gleiche Menge ersetzt werden, ohne dass das Wandleröl mit Luft in Berührung kommt.



zogen werden, damit der Zustand des Wandlers besser beurteilt werden kann. Umgekehrt ermöglichen gute Werte allein noch keine positive Langzeitprognose. Wichtigste Erkenntnis aus den Messungen ist die Tendenz der Messergebnisse bei Folgemessungen am gleichen Prüfling, möglichst durch dasselbe Labor ausgeführt. Dies setzt eine Anfangsmessung am Öl aus dem neuen Wandler voraus.

Neue Wandler werden vor Inbetriebnahme der vollständigen elektrischen Stückprüfung unterzogen. Daneben führen die meisten Anwender die Ölmessung als Stichprobe aus jeder Lieferung durch. Bei normalem Betriebsverhalten werden Wiederholungsmessungen empfohlen, für deren Systematik sich zwei Methoden eingebürgert haben:

- Relativ häufige Wiederholungsmessungen (alle 4 Jahre) an einer kleinen Zahl von Leitwandlern (etwa 10% der jeweiligen Lieferungen)
- Wiederholungsmessungen jeweils nach 10 Jahren an einem Anteil von 30 bis 100% aller Wandler.

Bei Messwandlern mit Baujahr vor 1972 und generell solchen mit über 20 Betriebsjahren wird eine Ölmessung an allen Wandlern im Abstand von 5 Jahren empfohlen. Einzelne Wandler mit abnormalem Verhalten sollen jeweils sofort gemessen werden, in der Regel mit Gasanalyse. Wiederholungsmessungen in kürzeren Abständen sind anschliessend angezeigt.

Wesentliche Voraussetzung für brauchbare Ergebnisse der Ölmessung

ist die Beibehaltung einer gewählten Methode über einen längeren Vergleichszeitraum.

Gasanalytische Prüfungen

Grundlage der gasanalytischen Überwachung ist die Tatsache, dass immer gasförmige Verbindungen aus dem Isolieröl abgespalten werden, wenn das Öl überhitzt wird oder elektrischen Entladungen ausgesetzt ist. Es entsteht bei allen derartigen Beanspruchungen des Öls eine Anzahl chemisch unterschiedlicher Gase: Wasserstoff, Kohlenwasserstoffverbindungen und Kohlenoxide. Aus der Zusammensetzung dieser Gasgemische kann man die Fehlerart erkennen, d.h. welche Art von Entladungen oder ob thermische Überbeanspruchung Ursache der Gasbildung ist. Anhand der Kohlenoxide ist beim Gasgemisch auch häufig zu erkennen, ob ausser dem Öl auch Feststoffisolation angegriffen wurde. Alle derart gebildeten Gase sind - mehr oder weniger gut, - im Isolieröl löslich. Für die Untersuchung ist es also notwendig, dem Wandler auf geeignete Art eine Ölprobe zu entnehmen und die darin gelösten Gase zu extrahieren. Für deren Analyse stehen hochempfindliche Geräte zur Verfügung. So gelingt es, Mängel zu entdecken, lange bevor sie sich zu einem Schaden ausbilden können. Die kapazitiven Spannungswandler mit synthetischen Ölen können auf diese Weise allerdings weniger umfassend beurteilt werden. Die Kontaktnahme mit dem Hersteller ist dabei unerlässlich.

Probenahme: Für die Ölprobenahme bedient man sich im wesentlichen zweier Praktiken: der Ölentnahme mittels Spritze und der Ölentnahme in einem verschliessbaren und vor der Entnahme evakuierten Gefäss. Vom Entnahmevergange bis zur Analyse muss bei beiden Verfahren gewährleistet sein, dass weder Luft in die Probe gelangt noch ein Verlust der gelösten Gase eintreten kann. Besonders heikel ist die Entnahme bei kapazitiven Spannungswandlern, wenn nicht eine besondere Ölentnahmevorrichtung vorhanden ist.

Gasanalyse: Für die Analyse der extrahierten Gase dient die Gaschromatographie. Deren Nachweisempfindlichkeit ist derart hoch, dass die Kohlenstoffverbindungen noch in Gehalten, die deutlich unter $1 \cdot 10^{-6} \text{ cm}^3 \text{ Gas/cm}^3 \text{ Öl}$ liegen, signifikant nachgewiesen werden können.

Beurteilung: Hierzu genügt es, den Gehalt an Wasserstoff, Kohlenmonoxid, Kohlendioxid, Methan, Äthan, Äthylen und Acetylen zu bestimmen. Die Fehler, die man bei Wandlern im Betrieb gelegentlich feststellt, lassen sich in drei Grundtypen einteilen:

- Entladungen innerhalb von Gaseinschlüssen
- andere Entladungen und
- Überhitzung durch schlechte Verbindungen oder Klemmstellen.

Typisch für den ersten Grund ist, dass sich vorwiegend Wasserstoff bildet, der nur geringe Beimengungen von Methan und Äthan enthält. Erfahrungsgemäss wird bei dieser Entladungsart die Feststoffisolation praktisch nicht angegriffen. Die zersetzte Ölmenge ist minimal, und nur wenn die Entladungen über lange Zeit andauern, treten örtlich Veränderungen am Öl ein: Es wird zäher, und schliesslich bildet sich X-Wachs.

Das Gasgemisch, das durch andere Entladungen im Öl entsteht, enthält zwar auch Wasserstoff, aber das markanteste Kennzeichen ist das Auftreten von Acetylen. Die anderen Begleitgase sind weniger aufschlussreich, da häufig eine thermische Ölzersehung, zu erkennen an der Bildung von Äthylen, als Begleiterscheinung zu finden ist.

Wird die Feststoffisolation mitbetroffen, dann wird die elektrische Festigkeit bleibend geschwächt. Aus diesem Grund kann diese Entladungsart bei längerer Einwirkung weitaus gefährlicher sein als die Entladungen in Gaseinschlüssen. Leider lässt sich die Beschädigung der Feststoffisolation

nicht leicht aus der Gaszusammensetzung ablesen. Zwar wird bei diesem Vorgang Kohlenmonoxid gebildet, doch entsteht Kohlenmonoxid auch laufend als Folge des normalen Alterungsprozesses, so dass immer ein recht hoher, mit der Zeit zudem langsam ansteigender Kohlenmonoxidpegel im Öl vorhanden ist.

Ob und in welchen Zeitabständen bei Messwandlern Gasanalysen durchzuführen sind, bleibt eine Ermessensfrage. Die Messungen sind sehr teuer und stehen damit in einem ungünstigen Verhältnis zum Wandlerpreis. Bei teilentladungsfreien Wandlern wird eine derartige Prüfung in der Regel als überflüssig erachtet. Sollten jedoch Verdachtsmomente aufkommen, dass irgend etwas mit einem Wandler nicht in Ordnung ist, so kann die Gasanalyse bei der Beurteilung eine wertvolle Hilfe sein. Zeitlich werden diese Messungen am zweckmässigsten mit den anderen Ölmessungen kombiniert. Wichtig für eine sichere Beurteilung ist der Ausgangswert nach ein bis zwei Betriebsjahren.

Empfehlungen: Noch offen ist die Frage bezüglich der zeitlichen Abstände, in denen die vorsorglichen Gasanalysen vorgenommen werden sollten. In vorangegangenen Kapiteln wurde gezeigt, dass die meisten Fehler ohne gasanalytische Untersuchungen, wenn überhaupt, erst in einem sehr späten Stadium erkannt werden können. Eine erste Untersuchung sollte daher etwa 1-2 Jahre nach Inbetriebnahme des Wandlers erfolgen. Der Zeitpunkt für die nächste Untersuchung hängt dann entscheidend vom Resultat der ersten Analyse ab. Findet man bei dieser Analyse nur sehr geringe Konzentrationen von Zersetzungsgasen, speziell Acetylen und Äthylen, so ist der Abstand von 5 Jahren bis zur Zweituntersuchung durchaus ausreichend. Sind dann die Konzentrationen der relevanten Zersetzungsgase immer noch gering, darf mit gutem Recht davon ausgegangen werden, dass der Wandler keine Fehler aufweist. Weitere Untersuchungen erübrigen sich dann.

Thermovisionsmessungen

Die Instrumente für Thermovisionsmessungen wurden in den letzten 15 Jahren beträchtlich verbessert, so dass heute geeignete Geräte zur Kontrolle der Hochspannungsinstallationen im Betrieb zur Verfügung stehen. Inzwischen wurde viel an Erfahrung gewon-

nen [11; 12], was diese Art von Messungen zur Routine werden lässt.

Erhitzte Stellen an den äusseren und inneren Hochspannungsverbindungen sind die am häufigsten gefundenen Fehler. In Figur 5 ist ein Beispiel solcher Messungen angegeben. Die Gasanalyse erbrachte folgende Ergebnisse:

Methan	CH ₄	337 ppm Vol./Ölvolumen
Äthylen	C ₂ H ₄	993 ppm Vol./Ölvolumen
Äthan	C ₂ H ₆	161 ppm Vol./Ölvolumen
Propylen	C ₃ H ₆	944 ppm Vol./Ölvolumen
Propan	C ₃ H ₈	73 ppm Vol./Ölvolumen

Diese Werte weisen auf eine lokale Ölüberhitzung in einem Temperaturbereich von 300 bis 1000 °C hin. Die folgenden Werte,

Verlustfaktor 90 °C:	0,81%
Oberflächenspannung:	26,8 mN/m
Neutralisierungszahl:	0,062 mg KOH/g Öl

Wassergehalt: weniger als 1 ppm

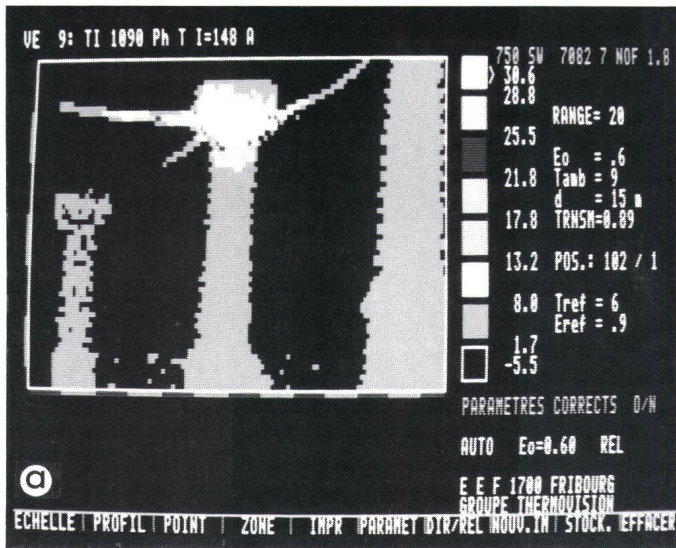
erlaubten aber, dass der Wandler nach Festziehen der losen Muttern an den Verbindungen im Kopf wieder in Betrieb gesetzt werden konnte.

Es wird empfohlen, die Thermovisionsmessungen kurz nach Inbetriebnahme und dann alle zwei Jahre durchzuführen.

Neuartige Messmethoden am Aufstellungsort

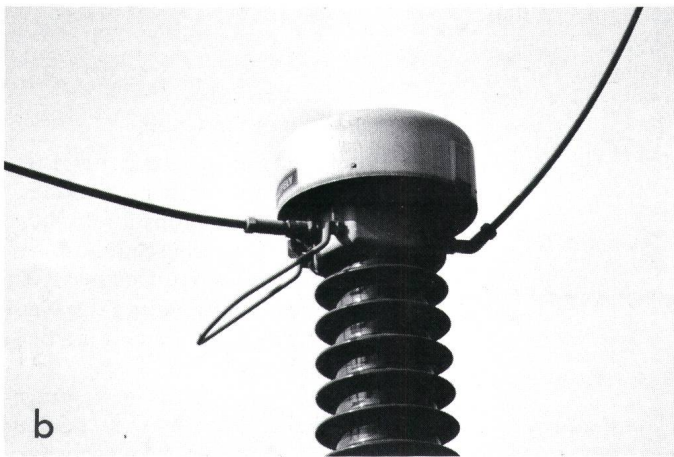
Die seinerzeitige Häufung von Schäden [1] führte dazu, dass nach Möglichkeiten gesucht wurde, die Messwandler am Einbauort Kontrollmessungen zu unterziehen. Man wollte sich damit den Aus- und Wiedereinbau sowie die Transporte zum Hersteller und zurück ersparen. Die in dieser Richtung unternommenen Anstrengungen zielten auf die Messung des dielektrischen Verlustfaktors und auf Teilentladungsmessungen bei variabler Spannung.

Es zeigte sich, dass vor allem das Verfolgen des zeitlichen Verlaufs der Messwerte gewisse Aussagen erlaubt. Entschliesst man sich für derartige Messungen, die einiges an Aufwand bedeuten und deshalb kaum allgemeine Anwendung finden, sondern vor allem bei Verdacht auf gefährdete Wandler zur Beurteilung herangezogen werden, so ist es wichtig, dass man von Referenzwerten ausgehen kann. Die Ausgangswerte sind deshalb bereits im Rahmen der Abnahmeprüfungen festzuhalten und mit denen am Einbauort bei Inbetriebnahme zu vergleichen.



Figur 5
Warmstelle am Kopf
eines 220-kV-
Topfstromwandlers

a Thermogramm
bei 148 A
b Normalbild



Bis ans Lebensende des Wandlers sollten diese Messungen dann alle drei bis fünf Jahre wiederholt werden. Bei erheblichen Messunterschieden von Messung zu Messung sind die Messintervalle zu verkürzen. Zweifelhafte Wandler werden einer gründlichen Überprüfung im Werk unterzogen. Wichtig ist für das Auffinden solcher Objekte, dass bei der Vorortmessung gesunde Vergleichswandler geprüft werden können, damit Umgebungseinflüsse erkannt und keine falschen Schlüsse gezogen werden.

Messung des dielektrischen Verlustfaktors: Die Einrichtungen, das Vorgehen und die Besonderheiten bei derartigen Messungen sind in [13] und [14] ausführlich beschrieben. Figur 6 zeigt den Ablauf bei derartigen Messungen. Es hat sich als zweckmässig erwiesen, die Messwandler von vornherein isoliert aufzustellen, wodurch sich das Messprozedere vereinfachen lässt. Die Dauer der Ausserbetriebnahme für die Messungen beträgt ungefähr 2 h pro Feld.

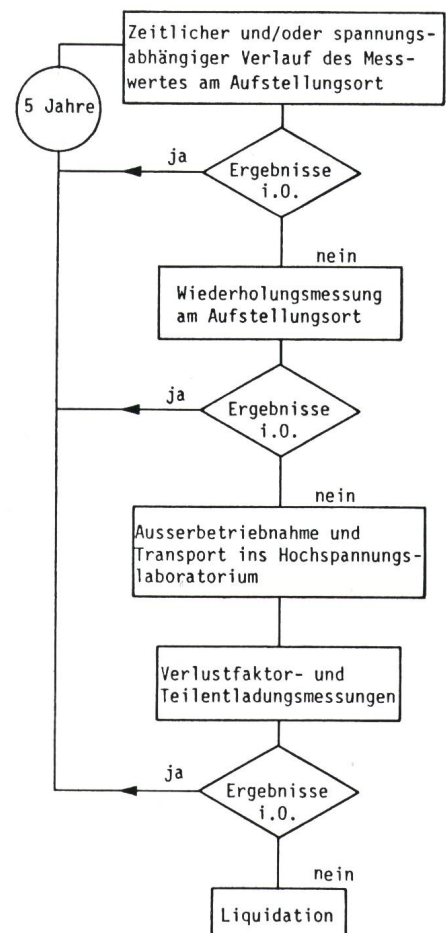
Teilentladungsmessungen: Seit einigen Jahren werden grosse Anstrengungen unternommen, um ebenfalls TE-Messungen am Einbauort durchzuführen [15]. Das Problem besteht darin, trotz des in den Hochspannungsanlagen vorhandenen hohen Umweltstörspegels eine hochempfindliche Messung zu gewährleisten. Die FKH² zusammen mit der Fachgruppe Hochspannungstechnik der ETHZ hat das Messverfahren so weit entwickelt, dass heute auswertbare Messergebnisse zu erwarten sind. Die zunehmende Erfahrung auf diesem Gebiet und weitere Verfeinerungen des Messverfahrens werden dazu führen, dass bei Verdacht auf gefährdete Wandler mehr und mehr auf diese Methode zurückgegriffen wird.

² Forschungskommission des SEV und VSE für Hochspannungsfragen

6. Wandler in SF₆-isolierten Schaltanlagen

Bei den SF₆-Schaltanlagen handelt es sich um eine relativ junge Technik, weshalb die Besonderheiten der in solchen Anlagen eingesetzten Messwandler hier in einem eigenen Abschnitt behandelt werden. Für Stromwandler werden keine besonderen Probleme gesehen. Die nachfolgenden Ausführungen beschränken sich deshalb auf magnetische und elektronische Spannungswandler. Es sei an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass die Prüfung von elektronischen Spannungswandlern am vollständigen System, bestehend aus Teiler, Kabel und Messverstärker, beim Hersteller erfolgen sollte.

Durch hochempfindliche Teilentladungsmessungen ist sicherzustellen, dass die Wandler im Betrieb teilentladungsfrei sind. Dies kann am besten durch Prüfung nach SEV 3304, 2. überarbeitete Auflage [16], geschehen, indem nach Abschnitt 10.2, Wandler mit flüssiger oder gasförmiger Isola-



Figur 6 Ablauf bei dielektrischen Messungen an Messwandler im Betrieb

tion, vorgegangen wird. Zwischen 0 und $1,2 U_m/\sqrt{3}$ sollte der gemessene TE-Wert unterhalb 1 pC bleiben und sich nicht ändern. Nur dann ist mit grosser Sicherheit gewährleistet, dass die Wandler auch wirklich teilentladungsfrei sind.

Ausser den bei SF₆-Anlagen üblichen Kontrollen der Gasfüllung auf Feuchtigkeit und Zersetzungsprodukte sowie der Überwachung des Fülldruckes sind die Wandler als wartungsfrei zu betrachten. Allerdings sollten bei im Freien aufgestellten Schaltanlagen die Gehäuse periodisch auf Korrosionserscheinungen kontrolliert werden.

Steile transiente Vorgänge, wie sie in SF₆-Anlagen auftreten können, werden in der Regel von den Wandlern schadlos ausgehalten. Eine gewisse Gefährdung der auf der Sekundärseite angeschlossenen Verbraucher ist jedoch nicht auszuschliessen. Abhilfe kann hier durch niederinduktive Erdung, abgeschirmte Kabel oder Varistoren bzw. Kombinationen aus diesen Massnahmen geschaffen werden. Gegen beschädigte Varistoren und die damit verbundene Gefahr von Kurzschlüssen können Sicherungen helfen.

Kippschwingungen, die unabhängig von der Sternpunktbehandlung durch das Zusammenwirken des Wandlers mit den vorhandenen Kapazitäten (Steuerkondensatoren von Leistungsschaltern, Erdkapazitäten der Schaltanlage und des Netzes im allgemeinen) entstehen können, sind auf jeden Fall zu vermeiden. Zwischen dem Lieferanten des Wandlers und demjenigen der Schaltanlage ist dazu eine rechtzeitige Fühlungnahme unerlässlich, damit von Anfang an Abhilfemassnahmen eingeplant werden können. Die Verantwortung dafür wird grundsätzlich beim Lieferanten der SF₆-Anlage gesehen.

Es ist nicht zu erwarten, dass mit den üblichen Konstruktionen bei Defekten innerhalb der Wandlerkapselung Zersetzungsprodukte gefährlichen Ausmasses in die Schaltanlage gelangen oder umgekehrt.

7. Entwicklungstendenzen bei Wandlern für Systemspannungen > 100 kV

Messprinzipien und Isolationssysteme

Nach den Messprinzipien lassen sich bei den in den Anlagen eingesetz-

ten Strom- und Spannungswandlern zwei Arten unterscheiden:

- Wandler, die zur Übertragung der Signale keine zusätzliche Hilfsenergie benötigen, und
- Wandler, die zur Übertragung der Signale Hilfsenergie benötigen, sei es aus dem zu überwachenden System selbst oder aus Speichern.

Zu den Messwandlern, für die keine Hilfsenergie zur Verfügung gestellt werden muss, gehören die Spannungs- und Stromwandler mit Eisenkernen, die auf dem Induktionsprinzip beruhen, sowie die kapazitiven Spannungswandler, die zur Messung einen kapazitiven Teiler benötigen. Die Konstruktionen sind so ausgelegt, dass sie die geforderten Messeigenschaften für die Verrechnung der Energie und zum Schutz der Systeme sehr gut erfüllen. Jeder dieser Messwandler benötigt eine Hochspannungsisolation für die Trennung der Primärwicklung von der Sekundärwicklung. Die heute im wesentlichen eingesetzten Hochspannungsisolationssysteme sind:

- Papier mit Öl imprägniert,
- Papier und Kunststoffolie mit Öl imprägniert und
- Kunststoffolie mit SF₆ imprägniert.

Trends bei den Isolationssystemen

Seit 1970 geht der Trend zum ölarmen Wandler. Dies setzt eine genaue Kenntnis des elektrischen Feldes und des zweckmässigen Isolationsaufbaus der Strom- und Spannungswandler voraus. Die Höhe der zulässigen Feldstärke bei maximaler Systemspannung mit ausreichender Lebensdauer für ein gewähltes Öl-Papier-Dielektrikum beruht auf umfangreichen Messungen und Erfahrungen. Die beobachtete Entwicklung war nur möglich durch die für Feldberechnungen zur Verfügung stehenden leistungsfähigen Rechner. Das hermetisch abgeschlossene System mit Metall- und Kunststoffbälgen hat sich gegenüber dem mit Stickstoff abgeschlossenen mehr und mehr durchgesetzt. Der ölarme Strom- und Spannungswandler ist heute die dominierende Lösung für Freiluftschaltanlagen, da für dieses Konstruktionsprinzip die meisten Erfahrungen und Untersuchungsergebnisse vorliegen.

Bei den kapazitiven Spannungswandlern geht der Trend zum Einsatz von Papier und Kunststoffolien, imprägniert mit Öl oder anderen Isolierflüssigkeiten als Dielektrikum. Es werden dadurch stabilere Kapazitäts- und

Verlustfaktorwerte in Abhängigkeit der Temperatur und kleinere Abmessungen bei gleichbleibender Feldstärke im Papierdielektrikum erreicht.

Mit dem vermehrten Einsatz von SF₆-Anlagen, besonders bei Systemspannungen ≥ 145 kV, wurden ölfreie Spannungswandler benötigt. Ab etwa 1975 sind die ersten Spannungswandler mit Lagenisolation aus Folien mit SF₆-Imprägnierung eingesetzt worden. Dieses Isolationssystem – Kunststoffolie und SF₆ – lässt sich auch für einzelne Strom- und Spannungswandler in Freiluftanlagen einsetzen. Erfahrungen über das Verhalten bei tieferen Temperaturen, Beanspruchungen durch atmosphärische Überspannungen und über die Lebensdauer liegen noch nicht vor.

Trend bei den Wandlerkonstruktionen

Ein weiterer Schwerpunkt der Entwicklungstätigkeit auf dem Wandlergebiet war, bei Isolationsdurchschlägen grössere Wandlerbeschädigungen durch die steigenden Kurzschlussströme (infolge der Vermaschung der Netze) zu vermeiden. Es sollen einige Beispiele angegeben werden.

Der Kopfstromwandler mit einem coaxialen Leiter oder zwei coaxialen Leitern ist die beste physikalische Lösung für die Beherrschung der Stromkräfte, da die Induktivität des Primärleiters ein Mass für die auftretenden Kräfte im Kurzschlussfall ist. Diese Konstruktion ersetzt den offenen (Haarnadelkonstruktion) und den geschlossenen Topfstromwandler. Der Einleiter-Kopfstromwandler besitzt dabei die niedrigst mögliche Induktivität. Als weitere Vorteile sind zu erwähnen, dass sich die Kerne bei einem Kopfstromwandler durch die gleichmässige Magnetisierung besser ausnutzen lassen und dass die Erwärmung beim Kopfstromwandler durch den Primärstrom gering ist und keinen Einfluss auf die Alterung der Isolation hat. Das Verhalten des niederinduktiven Kopfstromwandlers gegenüber Impulsspannungen mit steilem Anstieg ist unproblematisch, was nicht für den offenen und geschlossenen Topfstromwandler gilt, da je nach Beanspruchungsrichtung der Primäranschlüsse die Isolation des Primärleiters im Innern beschädigt werden kann. Hier sind noch Mängel in der Prüfanordnung gemäss IEC 185 [17] zu beseitigen.

Beim magnetischen Spannungswandler geht der Trend für

- $72,2 \text{ kV} \leq U_m \leq 245 \text{ kV}$ zur einspulgigen und für
- $300 \text{ kV} \leq U_m \leq 525 \text{ kV}$ zur zweispulgigen

Lagenwicklung mit geschlossenem Eisenkern und integrierter gesteuerter Durchführung.

Die komplexe Hochspannungsisolation für den Kopf beim Stromwandler und der Lagen- und Enddistanzen beim Spannungswandler wurde von den grossvolumigen Porzellanisolatoren der Wandlergenerationen vor 1970 in ein vergleichsweise elastisches, verformbares Metallgehäuse verlegt, was einen entscheidenden Fortschritt in der Wandlerentwicklung darstellt, da die Isolationstechnik der Durchführung im Porzellanisolator leichter beherrscht und mit hoher Zuverlässigkeit hergestellt werden kann.

Es sind Bemühungen vorhanden, den vom Werkstoff her als spröde zu bezeichnenden Porzellanisolator durch andere Werkstoffkombinationen zu verstärken oder zu ersetzen. Im Versuchsbetrieb befinden sich Porzellanisolatoren, die im Innern mit einem GFK-Zylinder zur Verstärkung und Druckentlastung ausgerüstet sind. Auch der vollständige Ersatz des Porzellanhohlkörpers durch einen Verbundisolator aus GFK-Zylinder mit äusserem Mantel und Schirmen aus Silikonkautschuk befindet sich in Erprobung. Eine Durchsetzung dieser Lösungen ist infolge der Kosten und der geringen Betriebserfahrung wenigstens bisher noch nicht in Sicht.

Messwandler mit Hilfsenergie

Hierzu gehören die elektronischen Spannungswandler oder Messverstärker [18]. Sie befinden sich bereits seit acht Jahren in SF₆-Anlagen und Freiluftanlagen im Einsatz. Diese Messsysteme benutzen zur Messung der Hochspannung einen RC- oder C-Teiler, dessen Sekundärspannung durch einen Verstärker auf eine Ausgangsquelle mit einem Innenwiderstand $R_i = 0$ transformiert wird. Die Ausgangsleistung dieser Messsysteme liegt bei etwa 10 W. Der Einsatz der Messver-

stärker für Verrechnungszwecke wird zugelassen, wenn zwei Bedingungen erfüllt sind:

- Teiler und Messverstärker müssen ein eichfähiges System bilden,
- der Messverstärker muss durch einen Verstärker hoher Stabilität laufend überwacht werden, und die Abweichungen von der Langzeitstabilität müssen angezeigt und gemeldet werden.

Die Frage der Zuverlässigkeit der elektronischen Komponenten, die laufende Wartung der Geräte, die elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) und die Sicherheit gegenüber Überspannungen, hervorgerufen durch Schalthandlungen oder Blitzeinschläge, entscheiden über den Fortschritt auf diesem Gebiet. Einer Digitalisierung diese Analogsysteme steht für die Zukunft nichts im Wege.

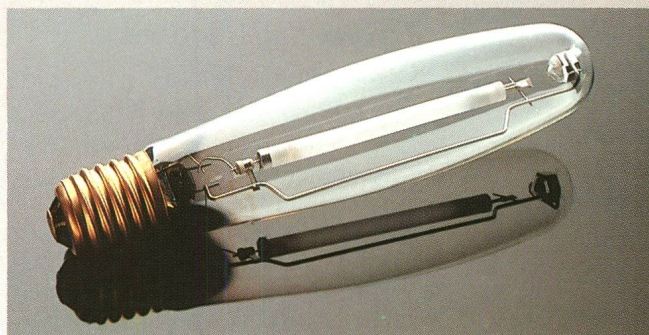
Auch auf dem Gebiet der nichtkonventionellen Stromwandler wurden und werden Entwicklungen in Angriff genommen [19; 20]. Da bei diesen im Gegensatz zu Spannungswandlern die Dynamik des zu übertragenden Stromes sehr gross ist (einige Prozente bis zum Vielfachen des Bemessungsstromes), können nur digitale Signale verarbeitet werden. Nichtkonventionelle Wandler bedingen die Entwicklung einer neuen Schutz- und Strommesstechnik. Ihre Einführung geht einher mit der Digitalisierung der Netz- und Anlagenleittechnik.

Literatur

- [1] H.-J. Vorwerk u.a.: Betriebserfahrungen mit Messwandlern > 100 kV und ihre Konsequenzen. Bull. SEV/VSE 72(1981)1, S. 27...34.
- [2] A. Hecht: Elektrokeramik. Werkstoffe - Herstellung - Prüfung - Anwendung. 2. Auflage. Berlin/Heidelberg/New York, Springer-Verlag, 1976.
- [3] Spécification pour matériaux isolants à base de céramique ou de verre. Troisième partie: Matériaux particuliers. Publication de la CEI 672-3, 1984.
- [4] G. Bernard e.a.: Etude des régimes électromagnétiques accompagnant les manœuvres de sectionneurs dans les postes sous enveloppe métallique. Rev. Gén. Electr. 92(1983)11, p. 667...694.
- [5] D. Koenig a.o.: Performance of GIS disconnectors under laboratory and network conditions. In: Gas-insulated substations. Technology and practice. Proceedings of the international symposium on gas-insulated substations: Technology and practice, Toronto/Ontario/Canada, September 9...12, 1985. New York a.o., Pergamon Press, 1986; p. 75...85.
- [6] S.M. Harvey: Control wiring transients and electromagnetic compatibility in GIS. In: Gas-insulated substations. Technology and practice. Proceedings of the international symposium on gas-insulated substations: Technology and practice, Toronto/Ontario/Canada, September 9...12, 1985. New York a.o., Pergamon Press, 1986; p. 86...95.
- [7] Kommentar zu den vom FK 38 neu überarbeiteten Regeln für die Teilentladungsmessung an Messwandlern. (Entwurf): SEV 3304, 2. überarbeitete Auflage. Bull. SEV/VSE 77(1986)5, S. 287.
- [8] Messtechnik bei Transportbeanspruchungen. Ergebnisse des gleichnamigen Arbeitskreises der SGKV und GUS. Transportkette (Schriftenreihe der Studiengesellschaft für den kombinierten Verkehr e.V.) -(1981/1982)35.
- [9] H. Hartmann: Betriebserfahrungen mit Isolierölen in Transformatoren und Messwandlern. Bull. SEV/VSE 62(1971)25, S. 1200...1209.
- [10] H. Hartmann: Betriebserfahrungen mit Isolierölen in magnetischen Messwandlern mit Nennspannungen oberhalb 100 kV. Bull. SEV/VSE 67(1976)22, S. 1214...1219.
- [11] F. Gantenbein: Temperaturmessungen in Hochspannungsanlagen mittels Infrarot-Messgerät. Bull. SEV/VSE 67(1976)22, S. 1220...1222.
- [12] C. Florin: Einsatz der Thermografie zur Überwachung elektrischer Schaltanlagen und Anlagenteile. Bull. SEV/VSE 76(1985)6, S. 332...337.
- [13] M. Aguet e.a.: Contrôle de qualité des isolations haute tension dans des postes de coupure en exploitation. Rapport CIGRE N° 23-02, 1980.
- [14] M. Aguet: Mesures diélectriques préventives sur des transformateurs de mesure à haute tension en site propre. Bull. ASE/UCS 73(1982)7, p. 300...305.
- [15] P. Osvath, W. Zaengl und H.J. Weber: Teilentladungsmessung: Probleme und deren Lösung mit einem flexiblen Messsystem. Bull. SEV/VSE 76(1985)19, S. 1137...1143.
- [16] Regeln des SEV: Teilentladungsmessungen an Messwandlern. Publikation des SEV 3304.1986.
- [17] Transformateurs de courant. Publication de la CEI 185.1966/82.
- [18] P. Matthiessen und U. Weigel: Spannungswandler für Hochspannungsanlagen mit kapazitivem Teiler und elektronischem Messverstärker. Bull. SEV/VSE 71(1980)9, S. 450...455.
- [19] L. Mouton, A. Stalewski et P. Bullo: Transformateurs de courant et de tension non classiques. Electra (1978)59, p. 91...122.
- [20] M. Aguet, P. Blech et M. Ianovici: Mesure de courant dans les réseaux à haute tension alternative par l'intermédiaire de fibres optiques. Bull. ASE/UCS 71(1980)17, p. 937...940.



**Ce petit réservoir
fait toute la différence
dans la vie d'une lampe
sodium haute pression.**



**Seules les lampes sodium haute pression LUCALOX[®]
GENERAL ELECTRIC possèdent ce petit réservoir.**

C'est un réservoir d'amalgame, spécialement conçu pour réguler la tension d'arc. Sans lui les lampes LUCALOX ne dureraient pas plus que les autres lampes sodium haute pression. A présent les LUCALOX 70 watt GENERAL ELECTRIC possèdent également ce réservoir d'amalgame exclusif.

Si vous souhaitez obtenir de plus amples informations sur notre gamme de lampes sodium haute pression longue durée LUCALOX, contactez votre distributeur de lampes GENERAL ELECTRIC ou adressez votre demande à:

GENERAL  ELECTRIC

General Electric Technical Services Co., Inc.
6, Rue du Simplon
CH-1207
Geneva, Switzerland
Telephone: (41-22) 35-9260
Telex: (845) 422222