

## **Weltweite Erfahrungen mit ölisolierten Hochspannungswandlern**

Dipl. Ing. Peter Matthiessen, Emil Haefely & Cie AG Basel, Kunden Service

Der heutige Ölwanter wird seit über 80 Jahren gebaut. Er hat sich bewährt und sein Betriebsverhalten ist bekannt, solange nicht wesentliche Änderungen im Netz oder an Bauteilen der Wandler vorgenommen werden.

Alle Details der Wandler sollten so dimensioniert und koordiniert sein, dass sich heute eine durchschnittliche wartungsfreie Lebensdauer von 30 Jahren ergibt.

Um unvorhersehbare Ausfälle zu vermeiden, sollen Geräte nach Überbeanspruchungen, extremen Klimabedingungen oder längerer Betriebszeit (je nach Konstruktion 10 bis 20 Jahre) analysiert werden, um die weitere Betriebssicherheit zu ermitteln.

Die heute gebräuchlichen Analysemethoden werden beschrieben. Die Ergebnisse der Analysen beeinflussen die Konstruktion und Prüfung von Neugeräten.

## **Inhaltsverzeichnis**

- 1. Einleitung**
- 2. Es ist erforderlich, den augenblicklichen Zustand der Messwandler zu kennen**
- 3. Analysemethoden**
- 4. Weltweite Praxis**
- 5. Zusammenfassung**

## **Weltweite Erfahrungen mit Ölisolierten Hochspannungswandlern**

### **1. Einleitung**

Der elektrische Messwandler ist älter als 100 Jahre. Vor ca. 80 Jahren wurde mit der Einführung der Hochspannungsübertragung die Ölisolation für Messwandler eingesetzt. Bereits mehrere Generationen dieses Typs haben sich bewährt. Es ist erstaunlich, wie wenig Änderungen der Messwandler zwischenzeitlich erfahren hat. Dies lässt darauf schliessen, dass die bisher verwendete Technik sich problemlos einsetzen lässt. Mit ein Grund für die wenigen Änderungen ist die konservative Haltung der Energieversorgungsunternehmen (EVU), die durch das Sicherheitsbedürfnis der Leistungsübertragung begründet ist.

Lediglich der kapazitive Spannungswandler, der es schwer hatte sich durchzusetzen, stellt eine erprobte Variante zu den ersten Entwicklungen dar. Seit jedoch die Kondensatortechnik stark verbessert wurde und höhere Kapazitäten zur Verfügung stehen, werden bei höheren Spannungen nicht nur seine kostemässigen sondern auch seine technischen Vorteile gegenüber dem induktiven Wandler sichtbar.

Sensoren, die das elektrische oder magnetische Feld direkt erfassen, gibt es bereits seit über 30 Jahren. Sie haben sich aber wegen der anfänglichen Störanfälligkeit und der Sekundärtechnik noch nicht durchgesetzt.

Bei Hochspannungswandlern wird zum überwiegenden Teil Öl-Papierisolation verwendet. Auch die SF<sub>6</sub>-Isolation hat ihren Platz bei Wandlern für gasisolierte Schaltanlagen oder im Grundwasser-Schutzgebiet gefunden. Feststoffisolation wird bei Hochspannung kaum noch verwendet, da sie teuer ist und in der Vergangenheit einige Schäden erleiden musste.

## **2. Es ist erforderlich, den augenblicklichen Zustand der Meswandler zu kennen**

Das Öl-Papierdielektrikum ist ein organischer Werkstoff und unterliegt somit, wie auch Giessharz, der natürlichen Alterung. Die Alterung ist von vielen Parametern abhängig, daher ist es schwierig, die Lebenserwartung des Geräts genau vorauszusagen. Es ist festzustellen, dass Geräte, die ständig mit höheren Temperaturen betrieben werden, schneller altern.

Allgemein wird eine Einsatzdauer von 30 Jahren angenommen. Es ist aber erforderlich, bereits schon vor Ablauf dieser Zeit den Zustand des Gerätes hinsichtlich seiner Funktionstüchtigkeit und seiner Isolierfähigkeit zu kennen. Kriterien müssen hierfür bekannt und vergleichende Erfahrungswerte vorhanden sein. Dies zu erarbeiten, verlangt eine enge Zusammenarbeit zwischen Betreiber und Hersteller. Bei der Entwicklung des Gerätes muss der Hersteller darauf achten, dass die Lebensdauer aller Bauteile koordiniert ist, damit unnötige Unterhalts- und Austauscharbeiten, die auch oft ein Risiko darstellen, vermieden werden.

Eine weitere Notwendigkeit für eine Diagnose der Messwandler kann nach einer Störung in der Anlage gegeben sein. Besteht der Verdacht einer Überbeanspruchung, müssen die Geräte überprüft werden. Hat ein Wandler den Schaden selbst verursacht, ist es ratsam, alle weiteren der gleichen Serie oder eventuell sogar der gleichen Konstruktion zu kontrollieren. Im Gegensatz zur allgemeinen Untersuchung, zur Feststellung des Alterungszustandes, können bei Schadenfällen die Überprüfungen gezielt auf bestimmte Verhaltensweisen vorgenommen werden.

Vermehrt durchgeführte Diagnosen haben erreicht, dass die Anzahl der unvorher-gesehenen Ausfälle im Verhältnis zu den in Betrieb befindlichen Geräten geringer geworden ist. Nicht zu unterschätzen ist auch der verbesserte Einfluss der Erfahrungswerte auf Neukonstruktionen.

### 3. Analysemethoden

Durch moderne Messmethoden stehen uns heute Hilfsmittel zur Verfügung, die eine sichere Aussage bei der Analyse ermöglichen.

In der Vergangenheit beschränkten sich die Überprüfungen vorwiegend auf die Messung der Ölcharakteristiken wie dielektrischer Verlustfaktor, Durchschlagsfestigkeit, Neutralisationszahl, Wassergehalt und Grenzflächenspannung.

Vereinzelt wurden auch Kontakt- und Isolationswiderstände gemessen sowie eine Spannungsprüfung mit reduzierter Prüfspannung im Labor durchgeführt. Die Verlustfaktormessung mit Hochspannung wurde allgemein verlassen, da sie in der Station zu aufwendig ist. Sie erfolgt heute vorwiegend mit nur einigen kV, wobei mehr Aufwand für Abschirmungen vorgesehen wird. Aber auch diese Methode ist heute selten anzutreffen, da aus der Ölmessung die gleichen und noch mehr Schlüsse über den Zustand des Dielektrikums gezogen werden können als bei der direkten Verlustfaktormessung.

Heute wird vermehrt die Analyse der in Öl gelösten Gase zur Beurteilung des Betriebs- und Alterungszustandes herangezogen. Die Messmethoden und Interpretationen der Messergebnisse sind weitgehend aus der Literatur bekannt. Mehrere von einander unabhängige leistungsfähige Labors haben die gleichen Proben untersucht und die Messergebnisse untereinander verglichen. Dies hat Schwachstellen aufgezeigt und durch Verbesserungen zu einer grösseren Reproduzierbarkeit der Ergebnisse, selbst verschiedener Laboratorien, geführt. Einige Firmen haben auch die Messung der C<sub>3</sub>-Verbindungen eingeführt, die im Öl fester gebunden sind und daher bei der Ölprobenentnahme weniger leicht entweichen.

Eine Bestimmung der Alterung mit der Hochdrucksflüssigkeits-Chromatographie (HPLC) ist im Kommen. Sie stellt jedoch noch höhere Ansprüche an die Messung und Probeentnahme, da die zu ermittelnden Konzentrationen bei einigen tausendstel Volumen-ppm (vpm) liegen. Allgemein ist eine HPLC nur dann wirksam, wenn die Alterung der Zellulose eingetreten ist, was durch hohe CO<sub>2</sub>- und CO- Werte bei der Gasanalyse angezeigt wird.

Für die genaue Bestimmung ist eine zuverlässige Probeentnahme unerlässlich, da hierbei Gase entzogen oder zugefügt werden können. Die analysierenden Labors oder Wandlerhersteller können Hinweise für eine erfolgreiche Probeentnahme geben.

Die korrekte Ölentnahme ist auch für die Messung der Ölcharakteristiken wichtig. Hierbei kann bereits eine kleine Unsauberkeit oder Reste von Reinigungsmittel in den Probengefässen sehr falsche Ergebnisse hervorrufen. Die Ölcharakteristiken sind auch heute noch die gebräuchlichsten Bewertungskriterien für die Alterung der Wandler. Es ist empfehlenswert, abweichend von der Norm, die Verlustfaktormessung während einer Heizzeit von ca. 30 Minuten bei 100°C zu beobachten. Ein Absinken des Verlustfaktors während der Heizzeit zeigt, dass leicht flüchtige Bestandteile wie Wasser vorhanden sind. Steigt der Verlust hingegen, so ist in den meisten Fällen das Öl nicht mehr thermisch stabil. Es entsteht dann die Gefahr eines thermischen Durchschlages im Dielektrikum.

Bei einigen Betreibern von Hochspannungsanlagen ist es üblich, einen repräsentativen Querschnitt einer älteren Wandlergeneration auszubauen und in einem Hochspannungsprüffeld auf Teilentladung, Veränderung der Hochspannungskapazität und des Verlustfaktors sowie der Genauigkeit zu überprüfen. Hierbei ist es schwierig, einen repräsentativen Querschnitt zu bestimmen, da an den verschiedenen Einsatzorten sehr unterschiedliche Beanspruchungen vorgelegen haben können.

Eine elektrische Teilentladungsmessung in der Anlage hat sich bisher noch nicht bewährt, da äusserliche Störungen nur schwer zu unterdrücken sind und die Messung zu unempfindlich machen. Weiterhin ist diese Methode aufwendig und kann nur in Ausnahmefällen mit erhöhter Spannung erfolgen. Bei dieser Messung ist es jedoch erstrebenswert festzustellen, wie gross der Abstand zwischen Betriebsspannung und Teilentladungs-Einsatz- bzw. Aussatzspannung ist. Bei Prüfspannungen oberhalb der Nennspannung, oftmals in Phasenopposition, kann die Beanspruchung über der Trennstrecke des Trenners sehr hoch sein, so dass hier zwei Trenner in Reihe geschaltet werden müssen und ihr Verbindungspunkt geerdet werden muss.

Einfacher und erfolgreicher sind akustische Messmethoden, bei denen zunehmend Erfahrungen gesammelt werden. An anderer Stelle dieser Vortragsreihe ist hierüber berichtet worden. Die Messungen werden an den in Betrieb befindlichen Geräten durchgeführt. Sie zeigen zwar nur eventuelle Entladungen zur Zeit der Messung, sind aber schnell und kostengünstig vorzunehmen.

Eine weitere wichtige moderne Messmethode ist die Thermovision. Schon geringe Temperaturunterschiede innerhalb des Gerätes oder im Vergleich mit anderen Apparaten können entdeckt werden. Dadurch werden hohe Übergangswiderstände an den Primäranschlüssen oder schlechte Kontakte im Inneren des Wandlers erfasst. Auch starke Erwärmungen des Dielektrikums, die zu Wärmedurchschlägen führen können oder defekte Wickel bei Koppelkondensatoren für kapazitive Spannungswandler sind beobachtet worden, bevor es zu Schäden kam.

Einige der in diesem Kapitel beschriebenen Messmethoden wurden so weiterentwickelt, dass sie kontinuierlich erfasst werden können und im Schadensfall das Gerät ausschalten. Leider sind diese Überwachungseinrichtungen teuer und störungsanfällig. Auch ist deren Lebenserwartung kürzer als die des überwachten Gerätes. Weiterhin muss ihre Funktionstüchtigkeit regelmässig überprüft und gewartet werden, was einen grossen Aufwand erfordert.

#### **4. Weltweite Praxis**

Die Methoden der Überwachung durch die Betreiber von elektrischen Messwandlern sind in der Welt sehr unterschiedlich. Sie reichen von:

Nichts machen und nach einer festgelegten Betriebsdauer konsequent alle Geräte austauschen.

über

Nichts machen und warten, bis der erste Schaden auftritt. Dann austauschen oder weitere Einsatzdauer analysieren.

bis zu

Analyse der in Öl gelösten Gase alle 6 Monate durchführen.

Die Wahl der Methode spiegelt oft die Erfahrung des EVU mit deren eingesetzten Geräten wider. So ist z.B. die oben erwähnte halbjährliche Gasanalyse auf Schäden zurückzuführen, die bei Haarnadelstromwandlern mit Stickstoffpolsterabschluss zu Teilentladungen in den Ölspalten führten. Die Praxis, alle Wandler nach einer definierten Einsatzdauer auszutauschen, unabhängig vom Hersteller, Bauweise und Einbaubedingungen ist zwar konsequent aber auch teuer.

Desgleichen kann der Aufwand auch sehr hoch sein, wenn es zu Schäden kommt, weil man sich nicht über den Zustand älterer Geräte informiert, obgleich Analysemethoden zur Verfügung stehen. Wie schon gesagt, ist die Ausfallrate geringer geworden. Dies vorwiegend bei EVUs, die Zustandsbeurteilungen durchführen lassen.

Die Zusammenarbeit zwischen Hersteller und Betreibern ist im Hinblick auf die Beurteilung des zukünftigen sicheren Betrieb wichtig. Ein Dilemma entsteht, wenn der Lieferant die Herstellung der Wandler eingestellt und die Fachleute die Firma verlassen haben. Oftmals findet man aber in anderen Firmen Spezialisten die diese Geräte und ihr spezifisches Verhalten kennen.

Es gibt auch weltweite Kontakte von Wandlerfachleuten in internationalen Gremien wie IEC oder CIGRE. Wegen des grösseren Rahmens und der Konkurrenzsituation lassen sie jedoch oftmals die erforderliche Offenheit vermissen.

## **5. Zusammenfassung**

An die Betriebssicherheit der Messwandler werden hohe Ansprüche gestellt. Daher ist es erforderlich, die Betriebstüchtigkeit zu überprüfen und Aussagen über die weitere Einsatzfähigkeit zu machen.

Hierfür stehen Messmethoden zur Verfügung, die zum Teil neue Wege beschreiten, wie z.B. die im Öl gelösten Zersetzungsprodukte, welche bei inneren Schäden produziert werden oder akustische Messungen bei denen innere elektrische Entladungen aufgespürt werden.

Die Beurteilung des Zustandes des Wandlers und des weiteren Einsatzes erfordert eine enge Zusammenarbeit zwischen Betreiber und Hersteller.