

# In seinen Adern fließt Transformatoröl

Schadensanalyse eines 220 kV-Transformators mit Michael Krüger

Die in Kraftwerken erzeugte Energie wird zu den Verbrauchern transportiert. Um den Energietransport über weite Strecken verlustarm zu betreiben, wird die Generatorspannung, welche in den Kraftwerken zwischen 6 kV und 27 kV beträgt, auf die Spannungsebenen 110 kV, 220 kV bzw. 380 kV hochtransformiert. Diese Transformation erfolgt in Kraftwerken durch Maschinentransformatoren und in Umspannanlagen durch Kuppeltransformatoren. In der Umspannanlage Bürs der Vorarlberger Illwerke AG wurde in einem solchen Transformator ein Kurzschluss ausgelöst. Michael Krüger konnte mit innovativen Messverfahren nachweisen, dass eine Reparatur sehr aufwendig und keinesfalls rentabel war. Beim Öffnen des Transformators zeigten sich die Schäden dann in ihrem ganzen Ausmaß.

## Marder als Schadensverursacher

Es handelte sich um einen Transformator für drei Spannungsebenen: 220 kV, 110 kV und 10 kV. Die 10 kV-Wicklung diente als Tertiärwicklung zur Deckung des Eigenbedarfes der Umspannanlage. Vielfach sind die Durchführungen für die 10 kV-Wicklungen am Deckel des Transformatorbuchs angebracht. Früher waren die Zuleitungsschienen für die Tertiärwicklungen häufig nicht gegen Berührung geschützt. So konnte es passieren, dass Kleintiere wie z.B. Marder im Winter auf den warmen Transformatorbuchs kletterten und einen Kurzschluss zwischen zwei Schienen oder zwischen einer Schiene und dem Kessel verursachten. Genau dieses passierte an dem beschädigten Transformator. Die Schutzrelais erkannten den Kurzschluss und die Leistungsschalter schalteten den Transformator innerhalb von etwa 100 ms ordnungsgemäß ab. Kurzzeitig floss dabei ein Kurzschlussstrom von 54 kA durch die 10 kV-Wicklung.

## Schadensermittlung

Um das Ausmaß des Fehlers abzuklären, erhielt OMICRON von den Vorarlberger Illwerken den Auftrag, Diagnosemessungen am Transformator durchzuführen. Es sollte festgestellt werden, ob eine Reparatur möglich war. Eine Messung der Isolationswiderstände ergab, dass die im Dreieck geschalteten 10 kV-Wicklungen einen Kurzschluss gegen Kern und Kessel hatten. Zusätzlich zu der Messung der Isolationswiderstände wurden die Leerlaufströme aller Phasen gemessen. Auffallend dabei war der Leerlaufstrom der Phase U, welcher etwa 34-mal so hoch war wie jene der Phasen V und W. Dies ist ein Anzeichen für einen Kurzschluss in einer der Wicklungen der Phase U. Die Messung der Übersetzungsverhältnisse zwischen Oberspannungswicklungen und Tertiärwicklungen ergab eine Abweichung von -24% bei der Phase U, d.h. die gemessene Spannung an der Tertiärwicklung war

um 24% zu niedrig. Diese zu niedrige Spannung war ein Anzeichen dafür, dass Teile der Wicklung durch den hohen Kurzschlussstrom nicht mehr wirksam, also möglicherweise kurzgeschlossen oder verbrannt, waren. Eine Messung der Übertragungsfunktion mit Hilfe der Frequenzganganalyse (Frequency Response Analysis, FRA) bestätigte diese Annahme. Somit war der Schaden bereits eingekreist, aber noch nicht exakt bestimmt.

### Exakte Analyse mit innovativem Verfahren

Um den Schaden noch genauer zu analysieren, fand ein neuartiges Messverfahren Anwendung: Die frequenzabhängige Messung der Kurzschlussimpedanzen. Dieses Verfahren wurde erstmals im Jahr 2001 von Hydro Québec, einem kanadischen Elektrizitätsunternehmen, beschrieben. Dabei wird eine Seite des Transformators, z.B. die Tertiärwicklung, kurzgeschlossen und von der anderen Seite, z.B. der Hochspannungswicklung, die Kurzschlussimpedanz gemessen. Das ist an sich nichts Neues – neu dabei ist allerdings, dass diese Messung nicht wie üblich bei 50 Hz, sondern über einen weiten Frequenzbereich durchgeführt wird und die Kurven für die drei Phasen miteinander verglichen werden. Neu ist auch, dass die Impedanz für die Auswertung in Wirkwiderstand (Realteil) und Blindwiderstand (Imaginärteil) zerlegt wird. Dazu ist es notwendig, dass nicht nur der Wert der Impedanz aus Spannung und Strom bestimmt wird, sondern auch deren Winkel mit sehr hoher Präzision gemessen wird. Die Messung ist recht aufwändig, da eine leistungsfähige Quelle benötigt wird, die Spannungen über einen



weiten Frequenzbereich zur Verfügung stellen kann. Zusätzlich werden spezielle Messgeräte für die komplexe Messung von Impedanzen benötigt. OMICRONs CPC 100 eignet sich für diesen Zweck ideal, da der eingebaute Leistungsverstärker Frequenzen von 15 Hz

Aufgrund der Diagnoseergebnisse von OMICRON entschieden sich die Illwerke für die Verschrottung des Transformators.



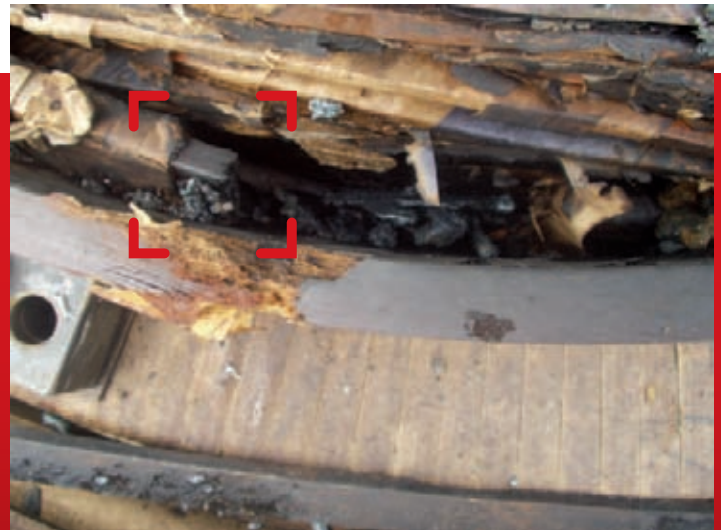
**CPC 100:** Universelles Prüfgerät zur elektrischen Diagnose.

»Bei der Öffnung des Transformators zeigte sich, dass die aus den Diagnoseergebnissen gezogenen Schlüsse absolut richtig waren – das Ausmaß des Schadens war sofort erkennbar.«

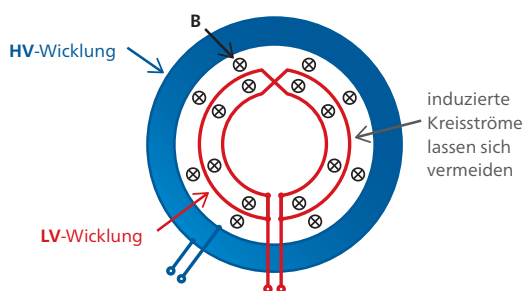


**Johannes Berthold**

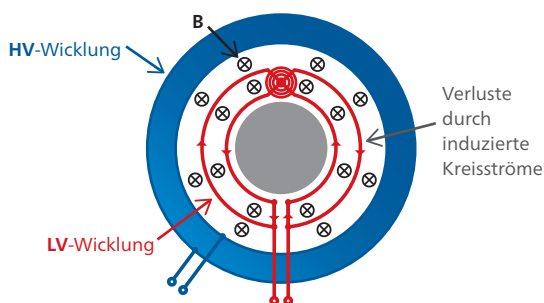
Leiter der Umspannanlage Bürs bei den Vorarlberger Illwerken.



Durch Kurzschluss unterbrochener Leiter.



Durch den Einsatz von Drill-Leitern lassen sich induzierte Kreisströme und damit einhergehende Verluste vermeiden.



Beim Auftreten eines Kurzschlusses zwischen den Parallelleitern sind Verluste durch induzierte Kreisströme wiederum vorhanden. Das Übersetzungsverhältnis und der Wicklungswiderstand bleiben jedoch konstant. Ein solcher Fehler kann weder durch eine Übersetzungsmessung noch durch eine Widerstandsmessung entdeckt werden.

bis 400 Hz erzeugen kann und die eingebaute Messelektronik nicht nur Beträge von Spannungen und Strömen, sondern auch die zugehörigen Phasenwinkel sehr genau messen kann. Damit sind alle für das neue Messverfahren notwendigen Funktionen in diesem sehr kompakten Prüfgerät vereint.

**Die FRSL-Methode**

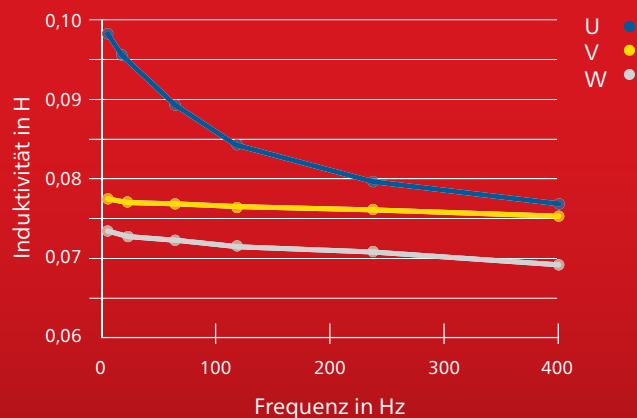
Der Realteil der Kurzschlussimpedanz ist sehr stark von der Frequenz abhängig. Bei niedrigen Frequenzen von einigen Hz wird der Realteil von den Wicklungswiderständen bestimmt. Bei hohen Frequenzen spielen jedoch auch die Verluste im Streuspalt zwischen den Wicklungen eine Rolle. Das ist auch der Grund, dass diese Messung angewandt wird, wenn der Verdacht besteht, dass parallel geschaltete Teileiter von Wicklungen gegeneinander kurzgeschlossen sind. Normalerweise sind diese Teileiter gegeneinander isoliert, um Kreisströme zu unterbinden. Bei einer fehlerhaften Isolation jedoch können hohe Kreisströme auftreten, die einen Transformator im schlimmsten Fall zerstören können. Da diese Messmethode die Verluste im Streuspalt auswertet, wird sie »FRSL-Methode« (Frequency Response of Stray Losses) genannt.

Zusätzlich wurde beim betroffenen Transformator der Frequenzgang des Blindwiderstandes der Kurzschlussimpedanz gemessen. Der Verlauf der Kurzschlussinduktivität über der Frequenz gab einige Rätsel auf. Der Wert der Phase U war

»Wir stellen unser Expertenwissen und langjährige Erfahrung unseren Kunden zur Verfügung.«



Dr. Michael Krüger



Die Kurzschlussinduktivität verändert sich abhängig von der Frequenz.

bei niedrigen Frequenzen total unterschiedlich zu den Messungen an den Phasen V und W. Bei hohen Frequenzen hingegen waren die Impedanzwerte aller Phasen fast gleich.

Ein solcher Verlauf lässt auf folgenden Fehler schließen: Die Leiter der Tertiärwicklung der Phase U sind unterbrochen und berühren an diversen Stellen den Kern. Dadurch muss sich der Prüfstrom bei der Messung der Kurzschlussimpedanz über den Kern schließen. Für niedrige Frequenzen steht dafür der ganze Kernquerschnitt zur Verfügung und sorgt so für einen erhöhten Induktivitätswert. Bei höheren Frequenzen jedoch verdrängt der Skineffekt den magnetischen Fluss zur Oberfläche des Eisenkerns. Dadurch ist der Wert der Kurzschlussinduktivität ähnlich dem der nicht beschädigten Phasen V und W.

#### Deutliches Ergebnis: Reparatur nicht empfohlen

Aufgrund der bereits vorliegenden Daten konnte eine einfache und kostengünstige Reparatur durch die Experten von OMICRON ausgeschlossen werden. »Die Diagnosemessungen durch OMICRON mit völlig neuen Messverfahren waren für uns sehr hilfreich. Aufgrund des Alters des Transformators und der großen Aufwendungen für einen Transport in das Herstellerwerk

entschieden wir uns dafür, den Transformator nicht zu reparieren«, erinnert sich Johannes Berthold, Leiter der Umspannanlage Bürs bei den Vorarlberger Illwerken.

#### Eine Partnerschaft mit Zukunft

Die Vorarlberger Illwerke sind mit dem Ergebnis der Diagnosemessungen sehr zufrieden. Völlig neue Messverfahren ermöglichen eine genaue Beurteilung über das Fehlerausmaß bei defekten Transformatoren. Bei den Vorarlberger Illwerken ist man sich einer Sache sicher: Auch in Zukunft werden sie auf das Wissen und die Erfahrung von OMICRON zurückgreifen. 🚩

**Dr. Michael Krüger**

Leiter Bereich Engineering Services  
Primary Testing

#### Vorarlberger Illwerke AG

Das Unternehmen wurde 1924 gegründet und liefert seither Spitzen- und Regelenergie, mit der Belastungsspitzen im Tagesverlauf abgedeckt werden. Firmensitz des Konzerns illwerke vkw ist im österreichischen Bregenz.