

Beurteilung der Hermetisierung eines Leistungstransformators mit TRAFOSEAL

Dipl. Ing. Altmann

1. Einleitung

Die gegenwärtige technische Praxis bietet eine Reihe von Lösungen an, mit deren Hilfe es möglich ist, das Eindringen von atmosphärischem Sauerstoff und Feuchtigkeit in den Leistungstransformator wesentlich zu verlangsamen, und dadurch nicht nur dessen Oxidationsalterung [L1] aber gemäss neuesten Untersuchungen auch die ausschliesslich durch erhöhte Anfeuchtung der Maschinen verursachte Alterung [L2] zu verlangsamen.

Zu den bekanntesten Methoden können wir die Hermetisierung der Ölfüllung der Transformatoren rechnen, wobei diese durch folgende Massnahmen realisiert wird:

- Geeignete Membran oder geeigneter Balg im Konservator zur Verlangsamung der Kontaminierung des Öls mit Sauerstoff und Feuchtigkeit auf ein sehr niedriges Niveau
- Stickstoff-Vorlage – Mittels der wird im Konservator über dem Ölspiegel ein Stickstoff-Polster gebildet, das das Eindringen von Luftsauerstoff und Feuchtigkeit in die zu schützende Ölfüllung verhindert. [L4]

Beide Lösungen sind sehr verbreitet und arbeiten meist zufriedenstellend, weisen jedoch bei näherer Betrachtung einige unangenehme Mängel auf:

- Balg oder Membran – beschränkte Lebensdauer, relativ hohe Anschaffungskosten, nötige regelmässige Kontrollen der Undurchlässigkeit des Hermetisierungselementes.
- Stickstoff-Vorlage – Notwendige Kontrolle des Wirkungsgrades, relativ hohe Betriebskosten, verbunden mit dem Wechseln der N₂-Druckflaschen,

Beide diese Hermetisierungstypen werden darüber hinaus vor allem an neuen Transformatoren in Anlehnung an die Kundenwünsche installiert.

In der letzten Zeit gewinnt immer mehr ein völlig neues technisches und ökonomisches Problem an Bedeutung, verbunden mit der stets wachsenden Zahl von Transformatoren, deren Typenschild-Lebensdauer bereits erschöpft ist, oder innerhalb der nächsten 5 bis 10 Jahre erschöpft sein wird. Die Entstehung dieses Problems ist verbunden mit den chronisch unzureichenden Investitionen in den Einkauf von neuen Transformatoren. Das Mass der Reinvestitionen in den Ankauf neuer Maschinen, sowohl in Europa [L6] als auch in den USA [L5], ist in den letzten mindestens 30 Jahren etwa 1%. Die vorausgesetzte Lebensdauer der Transformatoren ist zirka 40 Jahre, und das Resultat ist die Entstehung einer ganzen Generation überalteter Transformatoren.

Andererseits, aus technischer Sicht, kann als positiv die Tatsache gelten, dass ein grosser Teil der gealterten Transformatoren eine ausreichende Reserve in der mechanischen Festigkeit der Papier- (Zellulose-) Isolanten besitzt, d.h. in dem Parameter, das die Lebensdauer der behandelten Maschinen in dominanter Weise beeinflusst.

Diese reserve, üblicherweise als Restlebensdauer des Papiers bezeichnet, kann jedoch sehr schnell erschöpft werden, falls:

- Sich der gegebene Transformator bereits auf dem ansteigenden Teil der Wannenkurve befindet [L6], wo der Grad der Depolymerisation des Papiers (bei gleichen Randbedingungen) rasch mit der Zeit ansteigt
- Der gegebene Transformator unter schlechteren Randbedingungen betrieben wird (z.B. bei wesentlich höherer Leistung und Temperatur).

Der einmal erreichte Degradationsgrad des Papiers im gegebenen Transformator kann natürlich nicht absolut verringert werden, aber es ist möglich, auf relativ einfache Weise die Geschwindigkeit der Degradation zu verringern, indem wir auf geeignete Weise und

langzeitig die Randbedingungen, unter denen der Transformator arbeiten wird, verändern. Durch die daraus resultierende Verlängerung der Lebensdauer des Transformators um z.B. 10 oder mehr Jahre können wir mindestens das erreichen, dass wir die unerlässlichen zukünftigen Investitionen über ein längeres Zeitintervall aufteilen können.

2. Prinzip des TRAFOSEAL

Aus theoretischen und experimentellen Erkenntnissen, die in [L1,L2] angegeben sind, geht klar hervor, dass die geforderte Änderung der Randbedingungen auf folgendem beruhen muss:

- Herabsetzung der gesamten mittleren Anfeuchtung des Transformators auf max. zirka 1–2% des mittleren Wassergehalts in der Zellulose, der die durch eine übermäßige Anfeuchtung verursachte Alterung des Papiers verlangsamt oder stoppt
- Hermetisierung der Maschine, die eine dauerhafte Herabsetzung der Intensität des Eindringens von Sauerstoff und Luftfeuchtigkeit in den gegebenen Transformator sicherstellt und dadurch wesentlich auch die weitere Oxidationsalterung einschränkt

Im Falle einer Hermetisierung des Transformators sollten jedoch auch weitere Bedingungen erfüllt werden:

- Sie darf finanziell und vom Zeitaufwand her nicht zu aufwendig sein
- Sie muss einfach ohne langzeitigen Stillstand des Transformators realisierbar sein
- Sie muss ausreichend zuverlässig sein und ohne zusätzliche Anforderungen auf Bedienung und Wartung.

Der neue Typ der Hermetisierung, der die oben angeführten Anforderungen im allgemeinen erfüllt, ist schematisch in Bild 1 veranschaulicht.

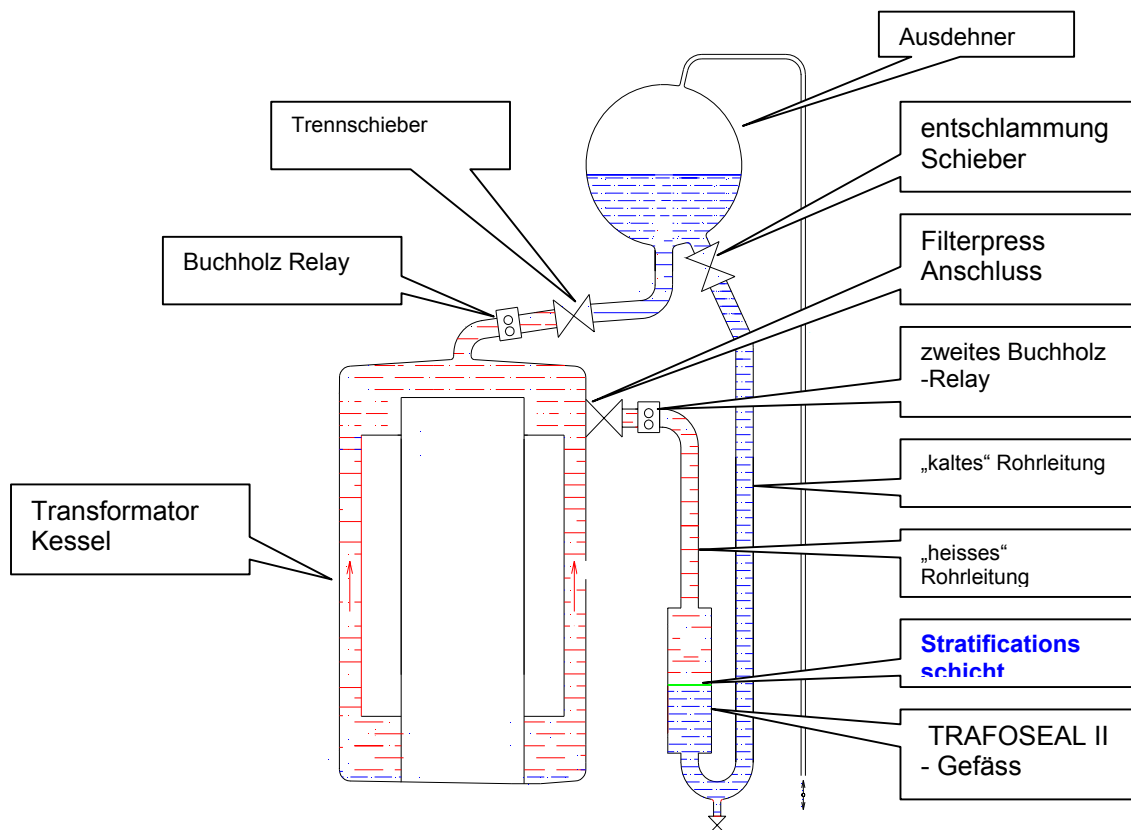


Bild 1. Schematisch dargestellter Anschluss von TRAFOSEAL II an einen Ofentransformator mit freiem Ölspiegel im Konservator

Aus dem Bild ist ersichtlich, dass eine nachträgliche Hermetisierung des Transformators mittels TRAFOSEAL II einfach und leicht realisierbar ist, da an den meisten Transformatoren beide nötigen Anschluss-Stellen verfügbar sind (z.B. der obere oder untere Schieber des Transformatorgefässes, bestimmt für den Anschluss einer Filtrieranlage, und die Abschamm-Rohrleitung, bzw. das Abschammventil des Konservators).

Im Gegensatz zur standardmässigen direkten Verbindung des oberen Teils des Transformatorgefässes und des Konservators unterdrückt dann die neue Art der Hermetisierung die Kontaminierung des Transformators dadurch, dass sie:

- eine freie Vermischung des heissen Öls aus dem Transformatorgefäss mit dem kalten, mit Luft und Luftfeuchtigkeit kontaminierten Öl aus dem Konservator verhindert
- das heisse und das kalte Öl durch eine **thermische Stratifikationsschicht** voneinander trennt, die sich spontan an der Grenzschicht zwischen dem heissen und kalten Öl im TRAFOSEAL-Gefäss bildet und sich als eine ideal flexible horizontale „Membran“ verhält [L7].

TRAFOSEAL II wird durch das Öffnen des Abschammventils des Konservators und des Schiebers am Transformatorgefäss, und anschliessend durch Schliessen des Trennschiebers in der Verbindungsleitung zwischen Transformator und Konservator, in Betrieb genommen.

Die Funktion des Konservators als Dillatationsgefäss wird durch die neue Schaltung nicht beeinträchtigt. Bei einem Temperaturanstieg der Ölfüllung des Transformatorgefässes steigt das heisse Öl durch die „heisse“ Ölleitung in den oberen Teil des TRAFOSEAL-Gefässes, verschiebt die Stratifikationsschicht nach unten, und dabei wird die gleiche Menge kalten Öls aus dem TRAFOSEAL-Gefäss durch die „kalte“ Rohrleitung in den Konservator gedrückt.

Derselbe Prozess, aber in umgekehrter Strömungsrichtung, verläuft bei einem Absinken der Temperatur des Öls im Transformatorgefäss. Das heisse Öl aus dem TRAFOSEAL-Gefäss strömt zurück in das Transformatorgefäss, und die thermische Stratifikationsschicht wird durch das Einströmen des kalten Öls aus dem Konservator im TRAFOSEAL-Gefäss nach oben verschoben.

Durch das Schliessen der direkten Verbindung zwischen Gefäss und Konservator wird jedoch die Funktion des bestehenden Buchholz-Relais auf das Auffangen und die Signalisierung einer erhöhten Gasmenge aus dem Gefäss der Maschine beschränkt. Die Signalisierung eines unzulässigen Durchflusses zwischen Gefäss und Konservator übernimmt nun ein weiteres Buchholzrelais, das in die „heisse“ Leitung zwischen Transformatorgefäss und TRAFOSEAL-Gefäss eingebaut ist.

Den Anschluss von TRAFOSEAL an einen Ofentransformator mit 17MVA zeigt Bild 2.

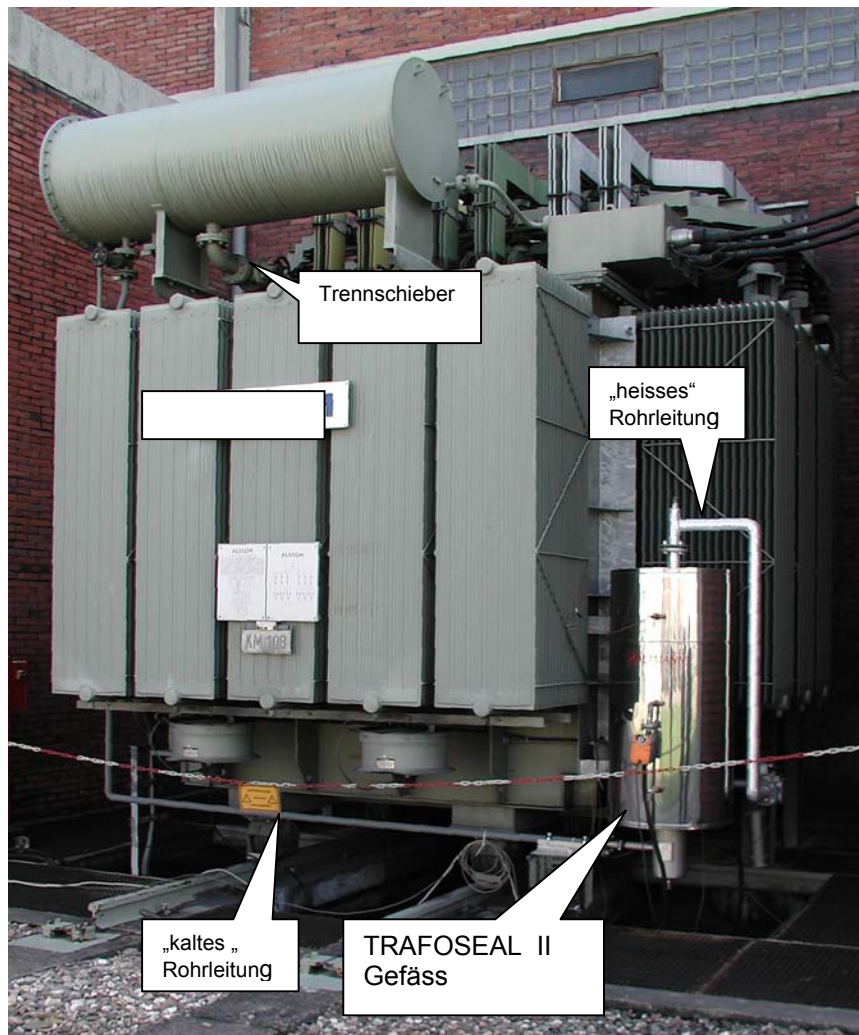


Bild 2 Installation von TRAFOSEAL an einem Ofentransformator mit 17 MVA Leistung.

3. Funktionsprüfung des TRAFOSEAL im Betrieb.

Die grundlegende qualitative Funktionsüberprüfung des neuen Typs der Hermetisierung konnte sehr einfach mit Hilfe einer Thermo-Kamera durchgeführt werden, da in diesem Fall für die Funktionsüberprüfung ein Vergleich der Konservator-Temperatur zweier identischer, identisch belasteter Ofentransformatoren genügte, von denen der eine mit TRAFOSEAL ausgerüstet war, und der andere nicht. Die Messung ergab, dass es an dem mit TRAFOSEAL ausgerüsteten Transformator zu der angestrebten Verringerung der Strömung des heißen Öls aus dem Transformatorgefäß in den Konservator kam [L8].

Für eine quantitative Beurteilung der Effektivität des neuen Typs der Hermetisierung wurde eine genauere Methode gewählt, in deren Rahmen die Messung an einem und demselben Transformator, einmal mit eingeschaltetem (TRAFOSEAL ON), und einmal mit abgeschaltetem TRAFOSEAL (TRAFOSEAL OFF) erfolgte. Für die Messung des Gasgehalts im Öl wurde der On-Line-Chromatograph TGM der Firma Gatron [L9] benutzt, der mittels Entnahmehahn direkt an die Ölfüllung des Transformatorgefäßes angeschlossen wurde.

Durchführung des Experiments:

Vor dem Beginn des Experiments wird im ersten Schritt die Ölfüllung des Transformators stets während des normalen Betriebes mittels Vakuumsseparator entgast, und im zweiten Schritt wird der Separator abgeschaltet. Mit einem On-line-Chromatograph wird dann laufend die dynamik der Sättigung des Öls mit atmosphärischen Gasen, d.h. mit N₂ und O₂ verfolgt, und es werden auch gleichzeitig die Gehalte an CO, CO₂ und H₂ im Öl gemessen.

Die Messresultate zeigt Bild 3.

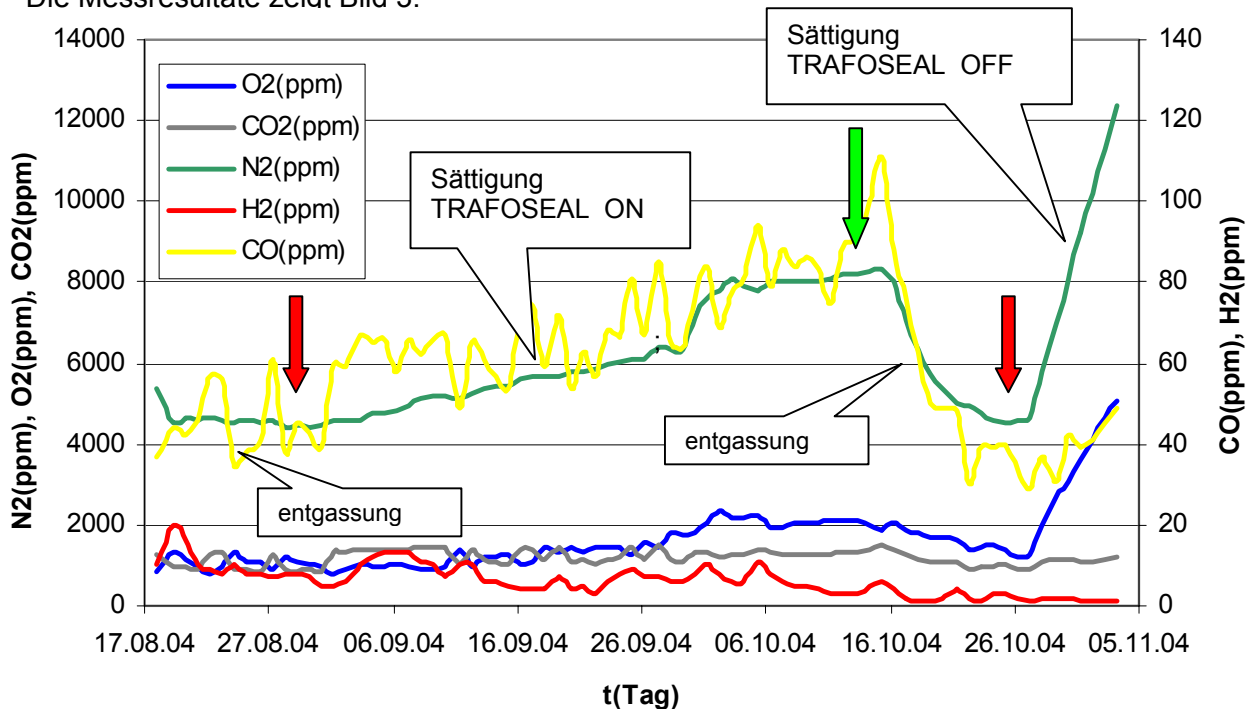


Bild 3 Verlauf der Betriebsmessung im Zeitintervall 18.8 2004 – 3.1 2004

Der Verlauf des Betriebsexperiments war wie folgt: - Am 9.8 2004 wurde am Transformator TRAFOSEAL II installiert, in Betrieb gesetzt und es wurde mit der Entgasung der Ölfüllung mittels Separator VS-06 begonnen.

Am 18.8 2004 wurde an den Transformator der On-Line-Chromatograph TGM angeschlossen und es wurde mit der Messung begonnen. Nach dem Erreichen eines Beharrungszustands bei den Gehalten der meisten gemessenen Gase wurde am 31.8 2004 der Separator VS-06 abgeschaltet (roter vertikaler Pfeil) und es begann die Sättigung der Ölfüllung des Transformatorgefässes.

Am 29. 9 wurde der Transformator mit Rücksicht auf notwendige Wartungsarbeiten abgeschaltet, und er begann sich abzukühlen, was sich durch einen teilweisen „Durchschlag“ von TRAFOSEAL bemerkbar machte – der Wert des Gehalts an N₂ im Öl stieg rascher an, um sich dann zu stabilisieren.

Nach erneuter Inbetriebnahme des Transformators wurde deswegen am 15.10 erneut der Separator VS-06 (grüner vertikaler Pfeil) eingeschaltet, und mit dessen Hilfe das Öl im Transformatorgefäss entgast.

Nach der Stabilisierung des N₂- und O₂-Gehalts im Öl, auf einem Niveau, das annähernd den Bedingungen am 18. 8 entspricht, wurde am 27.10 erneut der Separator abgeschaltet (roter vertikaler Pfeil). Die Bedingungen für eine standardmässige Sättigung des Öls mit atmosphärischen Gasen wurden durch Öffnen des Trennschiebers in der Verbindungsleitung

Gefäß – Konservator realisiert, und gleichzeitig wurde TRAFOSEAL ausser Betrieb gesetzt, indem der Schieber am Transformatorgefäß geschlossen wurde.

Mit Ausnahme der Ausserbetriebsetzung aus Gründen nötiger Wartungsarbeiten wurde der Transformator stets bei nominaler Leistung betrieben.

4. Beurteilung des Wirkungsgrades von TRAFOSEAL

Eine quantitative Beurteilung des Wirkungsgrades des neuen typs der Hermetisierung ist sehr einfach möglich, indem wir die Intensität der Kontaminierung des Transformators mit inertem Gas aus der Umgebung messen, in diesem Fall mit Stickstoff (N₂), d.h. mit einem Gas, das in unserem Transformator nicht verbraucht, sondern nur aufgefangen wird.

Für die Messung der Kontamination wurde die in der Literatur [L10] vorgeschlagene Methode angewandt, die de facto die Ölfüllung des Transformatorgefäßes als Messgerät benutzt – d.h. sie hält das Volumen des entgasten Öls im Transformatorgefäß für eine **genau definierbare und homogene Auffangkapazität** mit einem Volumen V_n , der wir das inerte Gas aus der Umgebung zuführen, und die **Geschwindigkeit des Anstiegs** des Gehalts an diesem Gas beschreibt uns dann genau die **Ergiebigkeit der Quelle des gegebenen Gases**.

Der Anstieg des Stickstoffgehaltes im Transformatorgefäß kann einfach durch eine Differentialgleichung beschrieben werden:

$$(1) V_n \cdot dC_{N_2,n} / dt = v_o \cdot (C_{N_2,kon} - C_{N_2,n})$$

wo:

V_n Ölvolumen im Transformatorgefäß (m³)

$dC_{N_2,n} / dt$ Saturationsgradient (ppm s⁻¹ , hier ppm N₂ /Tag)

v_o Volumenstrom des Öls, zirkulierend zwischen Konservator und Gefäß der Maschine (m³ s⁻¹ hier m³ /Tag)

$C_{N_2,kon}$ Stickstoffgehalt der Ölfüllung des Konservators (ppm)

$C_{N_2,n}$ Stickstoffgehalt der Ölfüllung des Transformatorgefäßes (ppm)

Bild 4 zeigt dann eine der Möglichkeiten für die Bestimmung beider zeitlichen Sättigungsgradienten: Hermetisierter / nicht hermetisierter Transformator.

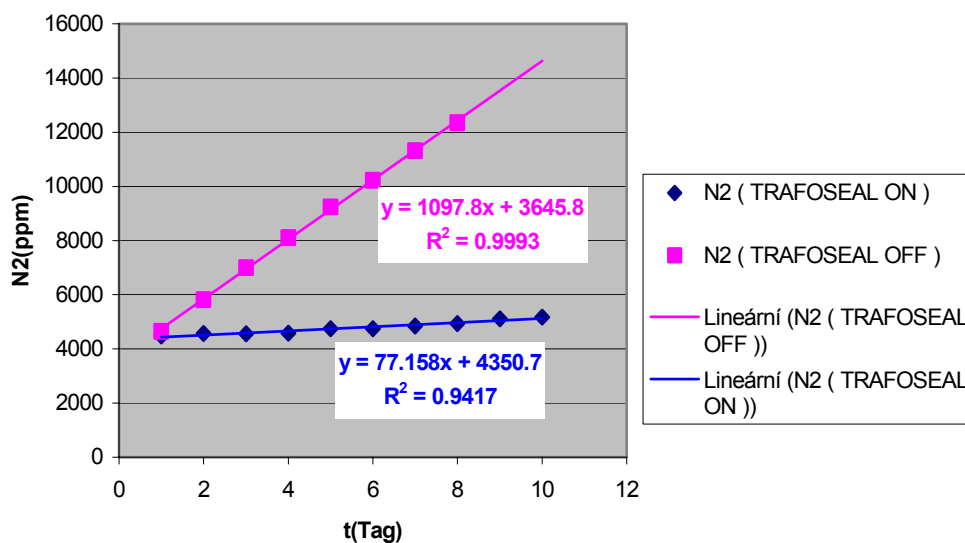


Bild 4: Bestimmung der N₂-Saturationsgradienten bei einer nichthermetisierten (TRAFOSEAL OFF) und einer hermetisierten Transformator (TRAFOSEAL ON).

Für die Bestimmung des N₂-Sättigungsgradienten $dC_{N_2,n} / dt$ sowohl für den **hermetisierten**, als auch den **nicht hermetisierten** Fall haben wir den Anfangsabschnitt beider Sättigungskurven, d.h. die ersten 10 Tage nach Abschalten des Separators, benutzt.

In den beiden Fällen ist klar zu sehen, dass beide N₂-Saturationskurven anfangs einen nahezu linearen Charakter haben, und es demzufolge möglich ist, die Tangente zur Sättigungskurve durch eine durch die ersten zehn Messpunkte definierte Gerade zu approximieren. Der Wert R^2 zeigt dann, dass diese Approximierung zulässig ist.

Aus dem Bild geht klar hervor, dass der anfängliche Gradient bei einer nicht hermetisierten Maschine zirka 1097 ppm N₂ / Tag beträgt, während es bei TRAFOSEAL lediglich zirka 77 ppm N₂ / Tag sind, d.h. dass die anfängliche erhebliche Kontaminierung der Ölfüllung mit Gasen aus der Umgebung durch den Einsatz von TRAFOSEAL zirka auf ein Vierzehntel reduziert wurde.

Den Mechanismus der Kontaminierung (und Dekontaminierung) der Ölfüllung des Transformators können wir uns in diesem Falle als virtuellen Strom des im Konservator durch atmosphärische Gase (N₂, O₂) kontaminierten Öls vorstellen, das dauernd aus dem Konservator in das Transformatorgefäß fließt, wo der Sauerstoff ständig im Prozess der Alterung verbraucht wird, wobei gleichzeitig dieselbe Ölmenge, durch Alterungsprodukte kontaminiert, (CO, CO₂, H₂, ...) das Gefäß verlässt und zurück in den Konservator strömt, wo die Gase in die atmosphärische Umgebung entweichen.

Der Volumenstrom dieses Öls ist dann einfach zu errechnen:

$$(2) v_o = V_n \cdot dC_{N_2,n} / dt / (C_{N_2,kon} - C_{N_2,n}) \quad (\text{m}^3 \text{ Tag}^{-1})$$

Da wir wissen, dass der Wert V_n annähernd konstant ist, und der Stickstoffgehalt im Gefäß $C_{N_2,n}$ direkt gemessen wird, können wir den Wert des Sättigungsgradienten $dC_{N_2,n} / dt$ mittels Auswertung der ersten Punkte der Sättigungskurve ermitteln.

Beispiel:

Falls wir die vereinfachende Voraussetzung einführen, dass das Öl im Konservator stets voll mit Stickstoff gesättigt ist, d.h. $C_{N_2,kon} \sim 65000$ ppm, und der gemessene Anfangswert des N₂ – Gehalts im Gefäß zirka 4200 ppm beträgt, bekommen wir den Durchfluss zwischen Gefäß ($V_n = 14.2 \text{ m}^3$) und Konservator wie folgt :

$$v_o = (14.2 \cdot 1097) / (65\,000 - 4200) = 0.256 \text{ m}^3 \text{ Öl pro Tag} - \text{für eine nicht hermetisierte Maschine } (dC_{N_2,n} / dt = 1097 \text{ ppm N}_2 / \text{Tag}),$$

aber lediglich

$$v_o = (14.2 \cdot 77) / (65\,000 - 4200) = 0.018 \text{ m}^3 \text{ Öl pro Tag beim Einsatz von TRAFOSEAL } (dC_{N_2,n} / dt = 77 \text{ ppm N}_2 / \text{Tag}).$$

Beide Werte des virtuellen Durchflusses sind nötigerweise mit einem Fehler belastet, da wir den tatsächlichen Wert von $C_{N_2,kon}$, d.h. des Stickstoffgehalts in der Ölfüllung des Konservators, in diesem Experiment nicht gemessen haben.

Nichtsdestoweniger können wir voraussetzen, dass dieser Wert im Fall ohne Hermetisierung wesentlich niedriger sein wird, als die vorausgesetzte volle Sättigung (eine höhere Strömung des Öls zwischen den Gefäßen bei begrenzter Intensität der Diffusion des Stickstoffes durch den Ölspiegel im Konservator) und der tatsächliche Ölstrom wird also grösser sein, als errechnet.

Demgegenüber können wir bei einer hermetisierten Maschine, Dank dem niedrigeren Entziehen von N_2 aus dem Konservator in das Gefäß der Maschine, einen höheren Wert von $C_{N_2, \text{kon}}$ erwarten, und der errechnete virtuelle Strom wird sich mehr der Wirklichkeit nähern.

Eine weitere Präzisierung der Werte der virtuellen Strömung ist natürlich nur durch On-Line-Messung des Wertes $C_{N_2, \text{kon}}$ möglich. Im Prinzip bedeutet dies eine solche Modifizierung des On-Line-Chromatographen, die es ermöglicht, während des Prozesses der Messungen am gegebenen Tag automatisch eine Ölprobe nicht nur aus dem Gefäß des Transformators, sondern auch aus dessen Konservator zu entnehmen.

5. Quantitative Schätzung der Reduktion der Oxidations-Alterung des Papiers

Falls wir imstande sind, mit ausreichender Genauigkeit die Menge der im Prozess der Oxidationsalterung entstehenden Gase (CO , CO_2) zu bestimmen, für dieselbe hermetisierte / nichthermetisierte Maschine, sind wir in der Lage, auch den Wirkungsgrad der Hermetisierung mittels TRAFOSEAL zu ermitteln, vor allem, was die Reduktion der Oxidationsalterung der Zellulose-Isolanten des gegebenen Transformators betrifft.

Da im Zustand einer vollen Sättigung des Öls, $O_2 \sim 20000$ ppm, sich der Gleichgewichtszustand von CO_2 bei der nichthermetisierten Maschine vor dem Betriebsexperiment zwischen 4000 a 5000 ppm bewegte, wird durch die von uns ermittelte virtuelle Strömung aus dem Gefäß der nicht hermetisierten Maschine ein CO_2 -Massestrom herausgetragen, der durch folgenden Ausdruck gegeben ist:

$$V_{CO_2} = v_o \cdot (C_{CO_2, n} - C_{CO_2, \text{kon}}) \cdot 1e-6 = 0.256 \cdot (5000 - 400) \cdot 1e-6 = 1.18 \text{ e-3 m}^3 / \text{Tag}$$

Demgegenüber ist im hermetisierten Regime (siehe Bild 3) der Gleichgewichts-Gehalt an CO_2 im Öl sichtbar erheblich reduziert. Der CO_2 -Gehalt im Öl schwankt zwar, aber der Gleichgewichtswert bleibt in etwa auf einem Niveau von 1000 – 1200 ppm.

Diese Tatsache muss sich natürlich auch in der Menge von CO_2 niederschlagen, die aus dem Gefäß entnommen wird:

$$V_{CO_2} = v_o \cdot (C_{CO_2, n} - C_{CO_2, \text{kon}}) \cdot 1e-6 = 0.018 \cdot (1200 - 400) \cdot 1e-6 = 1.44 \text{ e-5 m}^3 / \text{Tag}$$

Mit anderen Worten: Der virtuelle Durchfluss des Öls, der CO_2 aus dem Gefäß hinausträgt, sank durch die Anwendung der Hermetisierung um das 14-fache, aber da gleichzeitig – dank dem verringerten O_2 -Gehalt und somit der verringerten Oxidationsalterung – der Gleichgewichts-Gehalt an CO_2 im Öl im Gefäß 4x abgesunken ist, sank die Menge des abgesonderten CO_2 mehr als 50x.

Die Reduktion der Intensität der Oxidationsalterung nicht hermetisiertes / hermetisiertes Regime ist also erheblich, und erfüllt sehr gut unsere einleitend gestellten Forderungen.

Ähnlich, wie in dem vorangehenden Kapitel gilt auch hier, dass auch diese Schätzung mit einem Fehler belastet ist, da wir den Wert $C_{CO_2, \text{kon}}$, d.h. den CO_2 -Gehalt im Konservator, bislang nicht gemessen haben.

6. Schlussfolgerung

Die erste Funktionsprüfung von TRAFOSEAL zeigt, dass diese Art der Hermetisierung wesentlich zur Verlängerung der Lebensdauer von Leistungstransformatoren, die bislang ohne Hermetisierung gearbeitet haben, beitragen kann.

Diese Schlussfolgerung gilt vor allem für gealterte Maschinen mit Rücksicht auf:

- ❖ Die Anspruchslosigkeit auf Investitionen – nach bislang getätigten Berechnungen sollten die Kosten für diese Art der Hermetisierung nicht 30 % bis 50% des Gesamtpreises für eine Hermetisierung mittels Balg übersteigen
- ❖ Den universellen Charakter des möglichen Einsatzes – es ist möglich, TRAFOSEAL an einem beliebigen Transformator ohne jegliche weitere konstruktive Massnahmen einzusetzen
- ❖ Die Tatsache, dass der Einsatz keine Bedienung und keine Wartung erfordert
- ❖ Dass es nicht nötig ist, die Funktion speziell zu überwachen – Die Hermetisierung mittels Stratifikationsschicht beruht auf einem sehr robusten physikalischen Prozess, der in der Flüssigkeit spontan lediglich durch Temperaturänderung entsteht, und der sich auf die Dauer nicht stören lässt.

Die bisher getätigten Messungen und deren Auswertungen deuten an, dass eine Hermetisierung diesen Typs die Oxidationsalterung der Zelluloseisolanten bis 50x zu verlangsamen vermag.

Eine genaue quantitative Beurteilung der Hermetisierungsfunktion von TRAFOSEAL wird mit Hilfe einer weiteren On-Line-Messung durchgeführt werden, die auch die Messung des Gehalts an Gasen im Konservator der gegebenen Maschine beinhalten wird.

Literatur

- L1 Lampe, Spicar
Oxygen-free Transformer, reduced Ageing by continuous Degassing,
 CIGRE, paper 12-05, Paris, 1976
- L2 Lungard at all
Aging of Oil-Impregnated Paper in Power Transformers
 IEEE Transactions of Power Delivery, Vol.19, No.1, January 2004
- L3 Weidmann
Flexible Separators S.T.P Type for Power Transformer
 www. Weidmann-acti.com
- L4 Myers, Kelly, Parrish
A Guide To Transformer Maintenance
 TMI Transformer Maintenance Institute,
 Division, S.D.Myers, Inc., Akron,1981
- L5 Woodcock
Risk-Based Reinvestment – Trends in Upgrading the Aged T&D System
 www.energypulse.net
- L6 Werle, Lohmeyer, Wohlfart
Moeglichkeiten zur Beurteilung und Werterhaltung des Isolationssystems von Leistungstransformatoren im Betrieb als Massnahme zur Lebensdauerverlaengerung
 Micafil Symposium 2004
- L7 Altmann
 Patent Draft published under PCT - WO 2003/011422 .

- L8 Altmann
Infrared verification
www.ars-altmann.com /News
- L9 Garton – Transformer Gas Monitoring (TGM)
www.gatron.de / Products and Services
- L10 Altmann
Einfluss der Vakuumaufbereitung von Oelen auf Ergebnisse der Gas-in-Oel-Analyse
EW 5, 25 Februar 2005