



TLM-Materialprüflabor – Analytik für Transformatoren

TLM™ – Transformer Lifecycle Management™

Answers for energy.

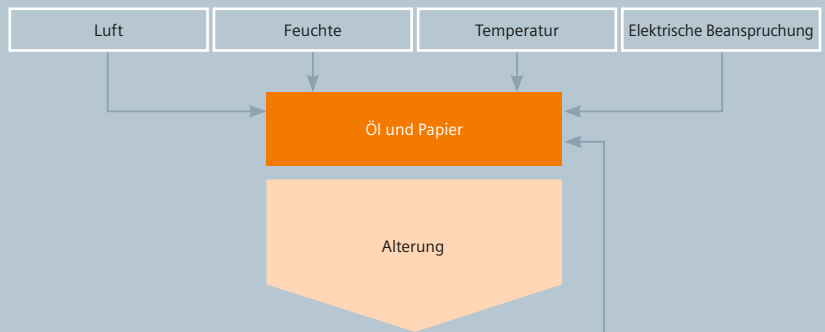
SIEMENS

100 Jahre Know-how für ein langes Transformatorenleben

Die Herausforderung:

Transformatoren gehören zu den wichtigsten Elementen der Energieversorgung. Auch wenn ihr Gewicht von einigen hundert Kilogramm bis zu 800 Tonnen variiert, bestehen sie im Wesentlichen stets aus denselben Hauptmaterialien: Kupfer, Elektroblech, Isolierstoffen (Isolierpapier, Pressspan, KP-Holz) sowie bei ölgekühlten Transformatoren aus Isolierflüssigkeit, die gleichzeitig zur Isolation und Kühlung verwendet wird. Bei der Reparatur und Nachrüstung von Transformatoren kommt es darauf an, Materialschwächen zuverlässig zu erkennen und effizient zu beheben. Dazu ist ein umfassendes werkstoffkundliches Wissen zusammen mit einer spezifischen, präzisen Analytik erforderlich.

Alterungsfaktoren:



Alterungsprodukte:



Auswirkung der Ölalterungsprodukte auf die Alterungsgeschwindigkeit



Siemens blickt auf über ein Jahrhundert Erfahrung in der Fertigung und im Betrieb von Transformatoren zurück. In all den Jahren haben wir zahlreiche Verfahren und Kenngrößen entwickelt, um Alterungsprozesse zuverlässig und frühzeitig zu diagnostizieren. Mit diesem Know-how tragen wir dazu bei, kostspielige Ausfälle zu verhindern, Stillstandzeiten zu minimieren und die Lebensdauer eines Transformators weit über die heute üblichen 25 bis 30 Jahre hinaus zu verlängern.

Das TLM-Materialprüflabor erkennt
Alterungsprozesse im Transformator frühzeitig.

Isolieröluntersuchungen – die wichtigsten analytischen Verfahren



Anordnung zur Messung der Durchschlagsspannung

Die Zusammensetzung der Zelluloseisolierung und des Isolieröls bestimmen maßgeblich die Lebensdauer eines Transformators. Denn von allen eingesetzten Materialien sind sie am stärksten betriebsabhängigen Alterungsprozessen unterworfen. Temperatur, Feuchtigkeit und Sauerstoff führen in einem komplexen Wechselspiel mit Öl und Papier zur Bildung von Gasen, Säuren, Schlamm und wiederum Feuchte, die den Alterungsprozess katalytisch beschleunigt.

Für die zuverlässige Bestimmung der verschiedenen Einflussgrößen – und damit auch des aktuellen Transformatorzustandes – stehen uns heute zahlreiche, einander ergänzende Verfahren zur Verfügung: Gas-in-Öl-Analysen, Untersuchung der Ölkennzahlen, Furananalyse, Bestimmung des DP-Wertes und natürlich die elektrischen Prüfungen.

Bei regelmäßiger Anwendung und Auswertung dieses Instrumentariums lässt sich die Lebensdauer jedes Transformators deutlich verlängern. Die Voraussetzungen dafür schaffen wir mit unserem Materialprüflabor und einem hochqualifizierten Expertenstab.

Serviceleistungen unseres Labors

Das Siemens TLM-Materialprüflabor ist ganz auf die Labordiagnostik von ölgefüllten elektrischen Betriebsmitteln ausgerichtet. Das hochqualifizierte Personal entwickelt ständig neue Verfahren der Alterungsdiagnostik und wendet dieses Wissen zum Nutzen unserer Kunden an.

Aufbauend auf unserem großen Erfahrungsschatz erstellen wir elektrotechnische Materialspezifikationen für feste Isolierstoffe, elektrisch und magnetisch leitende Materialien und Isolierflüssigkeiten. Darüber hinaus führen wir Lieferantenaudits und -bewertungen durch.

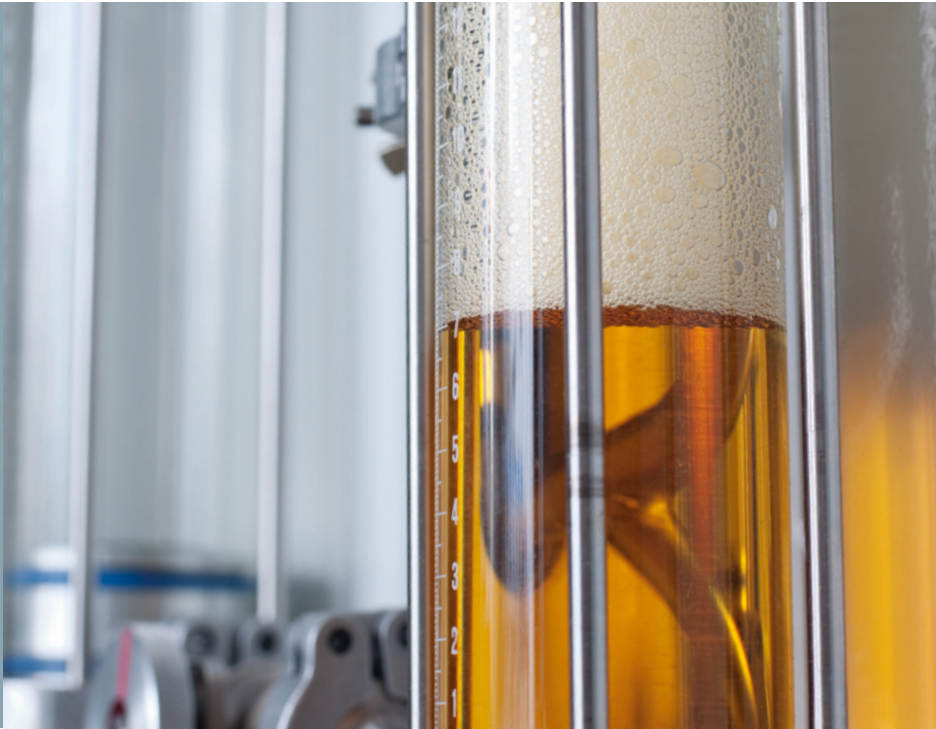
Beweisbare Kompetenz

Unsere technische Kompetenz ist auch aus der Mitgliedschaft in diversen Gremien ersichtlich, wie z. B.:

- DKE 182 – Flüssigkeiten und Gase für elektrotechnische Anwendung
- Cigre D1 – Materials and Emerging Test Techniques
- Diverse Cigre-Arbeitsgruppen um die Thematiken der Gas-in-Öl-Analyse und des korrosiven Schwefels
- Arbeitsgruppen der IEC TC 10 – Fluids for electrotechnical applications

Unsere Serviceleistungen umfassen Isolieröl- und Materialuntersuchungen. Die Diagnose-Prüfverfahren unterscheiden zwischen der Alterungsanalytik oder Zustandserfassung von Ölen bzw. Isolierstoffen und der Neuzustandsbewertung von Ölen bzw. Isolierstoffen.

Mehr Handlungsspielraum durch rechtzeitige Diagnose –
das TLM-Materialprüflabor hilft, die Lebensdauer Ihres Transformators zu verlängern.



Extraktionsapparatur zur Gas-in-Öl-Analyse

Das wohl wichtigste Verfahren zur Diagnostik von Alterungsvorgängen in Öl- und Öl-Papier-Isolierungen durch dielektrische, thermische, dynamische und chemische Alterung ist die Gas-in-Öl-Analyse (DGA = Dissolved Gas Analysis). Sie gestattet eine Aussage über die Art und den Umfang unerwünschter Zustände. Daneben sind weitere Methoden zur Früherkennung von komplexen Fehlerfällen verfügbar.

Gas-in-Öl-Analyse (DGA)

Thermische Belastung und elektrische Fehler beschleunigen die natürliche Alterung des Öls und der Isolierteile. Dabei bilden sich Spaltgase, die im Öl gelöst werden. Die Geschwindigkeit der Zersetzung und die Art der Gase ändern sich bei fehlerhaftem Betrieb, sei es durch thermische Überlastung oder durch elektrische Fehler. Aus der Menge und Art der Fehlergase, den Gasanstiegswerten und den Verhältnissen der Gasarten zueinander kann auf die Art des Fehlers geschlossen werden.

Mittels DGA können vor allem sich langsam entwickelnde Fehler erkannt werden. Die Analyse wird mittels Gaschromatographie durchgeführt. Anhand der zeitlichen Entwicklung der Gaskonzentrationen ist eine Prognose der Transformatorlebensdauer möglich.

Polymerisationsgrad (DP) und Furananalyse

Der DP-Wert des Kraft-Isolierpapiers ist ein Maß für die Anzahl polymerisierter Glukoseringe. Eine Verringerung des Wertes bedeutet Alterung und somit eine Abnahme der Zugfestigkeit. Neuwertige Zellulose hat einen DP-Wert von 1000–1100, gealterte Zellulose dagegen nur von 150–200.

Da die Entnahme von Papierproben im laufenden Betrieb nicht möglich ist, bestimmen wir den DP-Wert anhand von Zelluloseabbauprodukten, den Furanen. Diese sind teilweise öllöslich und geben einen Aufschluss über die Zersetzungsgrade der festen Isolierung.



Automatisierte Furananalyse

Ölkennzahlen

Grundlage für die Wartung von Isolierflüssigkeiten auf Mineralölbasis sind die Normen VDE 0370 Teil 2 (= IEC 60422) und VDE 0370 Teil 1 (= IEC 60296). Wichtig sind folgende Ölkennzahlen:

- **Farbe und Aussehen** helfen bei der vergleichenden Bewertung: Eine schnelle Dunkelfärbung oder dunkles Öl sind Hinweise auf Ölalterung.
- **Der Wassergehalt** im Öl steht im Gleichgewicht mit der Feuchtigkeit in der festen Isolation. Er senkt die Durchschlagspannung und beschleunigt den Alterungsprozess.
- **Die Durchschlagspannung (U_d)** gibt an, wie gut ein Isolieröl der elektrischen Belastung widerstehen kann und ist maßgeblich für die Betriebstüchtigkeit des Transformators. Die Durchschlagspannung wird nach IEC 60156 (VDE 0370 Teil 5) gemessen.

Öldiagnostik – alle Antworten aus einer Hand



Bestimmung der Grenzflächenspannung

- **Der dielektrische Verlustfaktor** gibt die Phasenverschiebung von Strom und Spannung an, die im Idealfall 90° beträgt. Wird die Verschiebung größer, entsteht zusätzliche Wärme, die im ungünstigsten Fall zum thermisch bedingten Durchschlag führen kann. Der Verlustfaktor wird sehr stark von polaren Komponenten beeinflusst und ist daher ein sehr sensibler Parameter.
- **Die Neutralisationszahl** ist ein Maß für alterungsbedingte saure Komponenten im Öl. Sie verschlechtern die dielektrischen Eigenschaften des Isoliersystems. Um rechtzeitig Gegenmaßnahmen einleiten zu können, ist es wichtig, die beginnende Säure- und Schlamm- bildung frühzeitig zu erkennen.
- **Die Grenzflächenspannung** ist neben der Neutralisationszahl und dem Verlustfaktor ein Indikator für die Schlamm- bildung im Transformator. Sie ist ein Maß für die Konzentration der polaren Moleküle im Öl, die während des Alterungsprozesses entstehen. Je höher deren Konzentration ist, desto niedriger ist die Grenzflächenspannung und desto größer die Neigung des Isolieröls zur Schlamm- bildung.
- **Inhibitoren** verzögern als Alterungs- schutzmittel die Zersetzung des Isolieröls. Nach IEC 60666 ist nur DBPC (Ditertiär-Butyl-Para-Cresol) zugelassen und wird üblicherweise mit einer Menge von $0,3 \pm 0,05$ Gewichtsprozent eingesetzt. Der Inhibitorgehalt kann mittels Infrarot- spektrometrie oder Gaschromatogra- phie mit massenselektivem Detektor bestimmt werden.

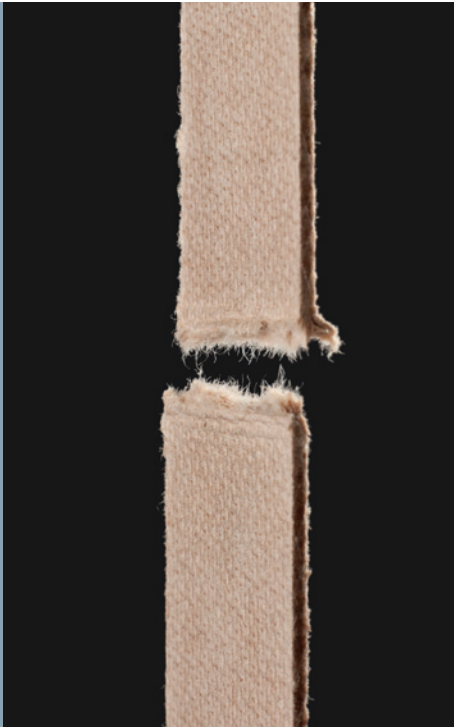


Apparatur zur Bestimmung der Oxidationsbeständigkeit

Zulassung von neuen Isolierflüssigkeiten

Bei alten Transformatoren mit stark zersetztem Öl ist der Austausch der Isolierflüssigkeit oft die letzte Möglichkeit, die Lebensdauer weiter zu verlängern. Für die Zulassung der neuen Isolierflüssigkeit muss die Öl- qualität vor der Neubefüllung geprüft werden. Wir führen die erforderlichen Untersuchungen durch und können die Oxidationsbeständigkeit nach verschiedenen Methoden (DIN 51554, IEC 61125, ASTM D2440, DIN EN 14112) bestimmen. Mit unserer elektronisch gesteuerten und überwachten Oxi- dationsapparatur können wir die Testbedingungen wesentlich exakter einstellen und überwachen als von den Normen gefordert. Das Ergebnis: deutlich bessere Reproduzierbarkeiten und eine gesicherte Bewertung.

Materialuntersuchungen – vom Kessel bis in den Kern



Prüfung der Zugfestigkeit von Pressspan

Transformatoren bestehen neben flüssigen Isolierstoffen im Wesentlichen aus folgenden Hauptmaterialien: Kupfer, Elektroblech und festen Isolierstoffen (Papier, Press- und Blockspan, KP-Holz). Während der meist jahrzehntelangen Betriebsdauer unterliegen auch diese Materialien deutlichen Alterungsprozessen. Mit unseren Untersuchungen begutachten wir den Zustand dieser Materialien und bieten unseren Kunden so die Möglichkeit, notwendige Wartungsmaßnahmen frühzeitig planen zu können.

Zu den Materialuntersuchungen gehören die Untersuchungen von festen Isolierstoffen, leitenden metallischen Werkstoffen (kornorientiertes Elektroblech und Kupferwerkstoffe) sowie Anstrichstoffen und Dichtungsmaterialien.

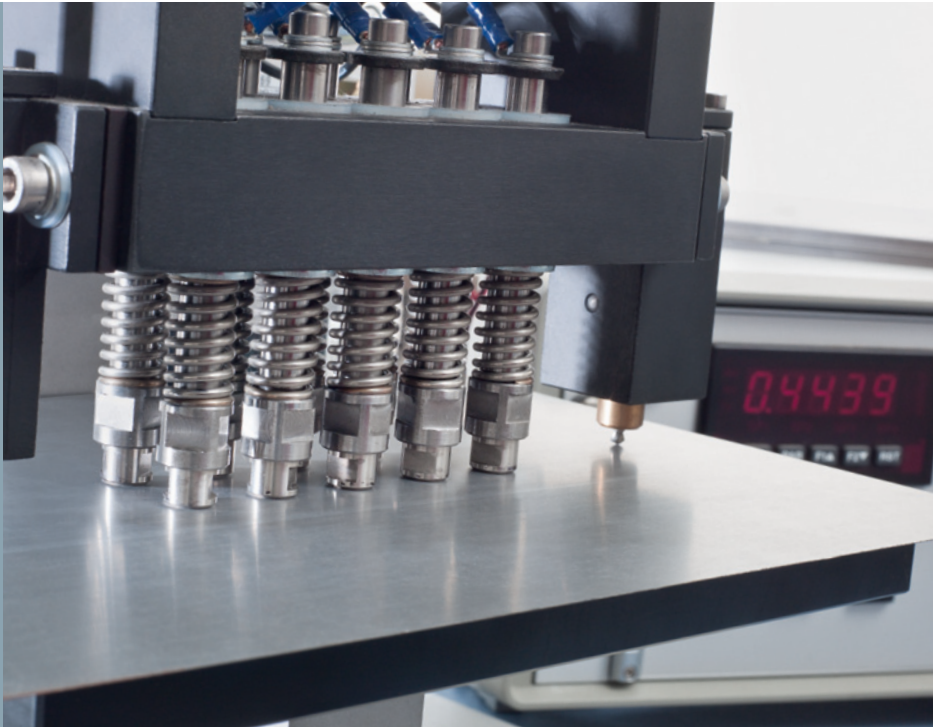


Ummagnetisierungsverlustmessung mittels Single-Sheet-Tester

Feste Isolierstoffe

Zu den festen Isolierstoffen in Transformatoren gehören natürliche Feststoffe wie Pressspan und Isolierpapier sowie künstlich hergestellte Schichtpressstoffe (z. B. Blockspan, verschiedene faserverstärkte Kunstharze). Im Materialprüflabor werden diese Stoffe auf ihre physikalischen Eigenschaften gemäß verschiedenen Normen (z. B. IEC 60641, DIN VDE 0311) getestet und somit auf ihre Anwendbarkeit für die Fertigung. Folgende Untersuchungen werden dabei unter anderem durchgeführt:

- Bestimmung der Dichte
- Chemische Analyse auf Metallfreiheit
- Schrumpfungsverhalten
- Feuchtegehalt
- Biege-, Druck- und Zugfestigkeitsprüfung
- Verträglichkeit mit Isolierflüssigkeiten
- Imprägnierverhalten
- Leitfähigkeit und pH-Wert des wässrigen Auszugs
- Aschegehalt



Prüfung des Oberflächenwiderstandes von Kernblech mittels Franklin-Tester

Kupferwerkstoffe

Kupferwerkstoffe kommen hauptsächlich in der Wicklung und beim Wicklungsausgang als Einzel-, Mehrfach- und Drillleiter zum Einsatz. Der Zustand der Lackierung und der Papierumwicklung ist entscheidend für einen sicheren Transformatorenbetrieb. Wir führen folgende Untersuchungen an Kupferwerkstoffen durch:

- Beständigkeit der Lackisolation nach beschleunigter Alterung in Isolierflüssigkeiten
- Dicke und Härte der Lackisolation
- Haftung und Dehnbarkeit beim Biegen und Dehnen
- $R_p 0,2$ und Bruchdehnung des Kupfers
- Durchschlagfestigkeit von lackierten Drähten
- Bestimmung des Verfestigungsfaktors von Drillleitern mit Backlack



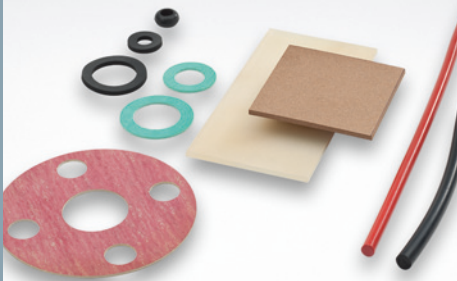
Härteprüfung von Werkstoffen

Kornorientiertes Elektroblech

Der Kern von Transformatoren besteht aus kornorientiertem Elektroblech. Dabei werden drei Qualitäten unterschieden: konventionelles kornorientiertes Elektroblech, hochpermeables kornorientiertes Elektroblech und domänenverfeinertes Elektroblech. Im Materialprüflabor werden folgende Untersuchungen zum kornorientierten Elektroblech durchgeführt:

- Oberflächenwiderstand mittels Franklin-Tester (IEC 60404-11)
- Ummagnetisierungsverlustmessung mittels Single-Sheet-Tester (SST) (IEC 60404-3)
- Magnetostriktion

Materialuntersuchungen – vom Kessel bis in den Kern



Dichtungsmaterialien

Dichtungsmaterialien

Kessel, Kesseldeckel, Mannlochdeckel und Schieber eines Transformators werden mittels isolierflüssigkeitsbeständiger Dichtungsmaterialien abgedichtet. Im Kontakt mit der Isolierflüssigkeit können nur geeignete Dichtungsmaterialien, wie z. B. Nitril-Butadien-Kautschuk (NBR), Fluor-Kautschuk (FPM), Fluor-Silikon-Kautschuk (FMQ) und asbestfreie Fasermaterialien (FA 200), verwendet werden. Im Außenbereich müssen die Dichtungsmaterialien wetter- und UV-beständig sein.

Im Materialprüflabor werden Dichtungsmaterialien bezüglich

- Härte
- Kälte- und Wärmebeständigkeit
- Verhalten in Isolierflüssigkeiten geprüft.



Prüfung der Ölkompatibilität von Werkstoffen

Anstrichstoffe

Außenanstrichstoffe sind als Korrosionsschutz für Kessel, Radiatoren, Kühler und sonstige Anbauteile gedacht, während Innenanstriche zum Schutz des Transformators vor möglichen Metallpartikelkontaminationen eingesetzt werden.

Die Hauptanstrichstoffe, die zum Einsatz kommen, sind umweltfreundliche Anstrichstoffe – auf Wasserbasis oder "High Solid". Im Materialprüflabor untersuchen wir den Zustand der Anstriche mittels folgender Verfahren:

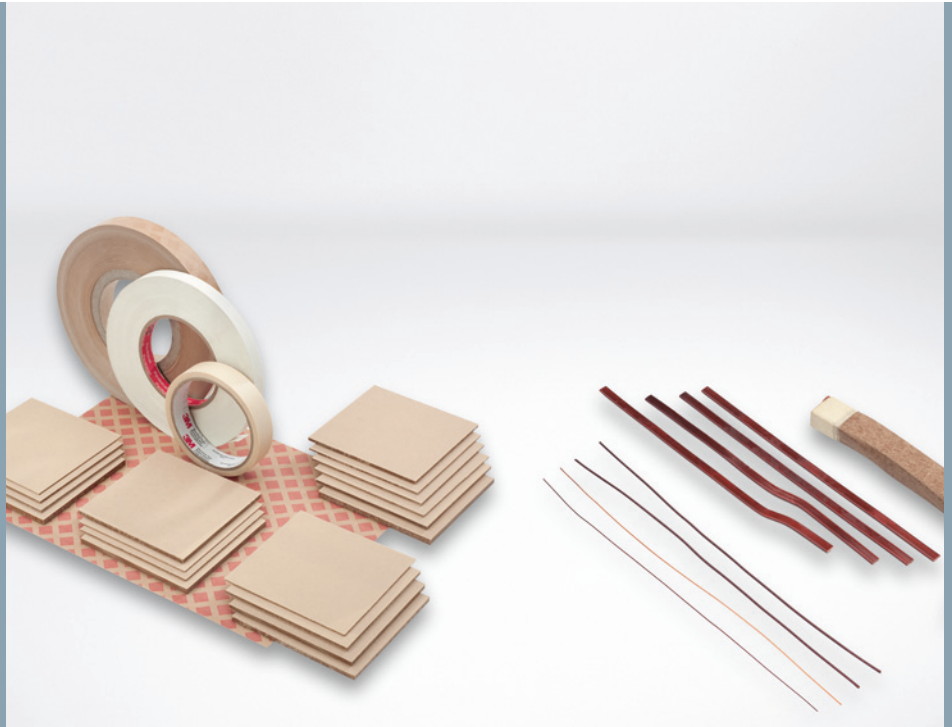
- Schichtdickenmessung
- Gitterschnittprüfung
- Einwirkung der Anstrichstoffe auf die Isolierflüssigkeit (DGA/Ölkennzahlen)



Dichtungsmaterialien

Fertigungshilfsstoffe

Klebstoffe, Gießharze, Trocknungsmittel, Gleitwaxse und Reinigungsmittel sind nur eine Auswahl der zahlreichen Hilfsstoffe bei der Transformatorfertigung oder -reparatur. Dennoch muss das Verhalten jedes dieser Hilfsstoffe bis ins Detail verstanden werden – gerade auch im Wechselspiel mit anderen Materialien. Wir untersuchen daher die Adhäsionskraft von Klebstoffen, das Adsorptionsverhalten von Trocknungsmitteln und die Beständigkeit verschiedener Hilfsstoffe in Isolierflüssigkeiten.



Isolierpapier, Pressspan und Kupferwerkstoffe

Fazit

Egal, ob es um die Untersuchung eines im Betrieb befindlichen Transformators geht oder um die Optimierung der verschiedenen Werkstoffe in der Fertigung: Mit dem TLM-Materialprüflabor

sind unsere Kunden jederzeit auf der sicheren Seite und steigern die Lebenserwartung ihrer Transformatoren nachhaltig.

Ansprechpartner des Labors

Laborleitung:

I. Atanasova-Höhlein, PhD, Dipl.-Chem.
Tel.: +49 (911) 434-2324
Fax: +49 (911) 434-2675
E-Mail: ivanka.hoehlein-atanasova@siemens.com

Materialuntersuchungen:

S. Krammer, Dipl.-Ing. Chemie
Tel.: +49 (911) 434-2913
Fax: +49 (911) 434-2675
E-Mail: siegfried.krammer@siemens.com

M. Kuffel, Dipl.-Ing. Chemie
Tel.: +49 (911) 434-2384
Fax: +49 (911) 434-2675
E-Mail: maik.kuffel@siemens.com

K. Zafeiris, Dipl.-Ing. Chemie
Tel.: +49 (911) 434-2548
Fax: +49 (911) 434-2675
E-Mail: konstantinos.zafeiris@siemens.com

Isolieröluntersuchungen:

T. Bergner, Dipl.-Chem.
Tel.: +49 (911) 434-2493
Fax: +49 (911) 434-2675
E-Mail: tatiana.bergner@siemens.com

E. Horn, Dipl.-Ing. Chemie
Tel.: +49 (911) 434-2901
Fax: +49 (911) 434-2675
E-Mail: erika.horn@siemens.com

C. Rehorek, Dipl.-Ing. Chemie
Tel.: +49 (911) 434-2914
Fax: +49 (911) 434-2675
E-Mail: christian.rehorek@siemens.com

S. Seidel, Dipl.-Ing. Chemie
Tel.: +49 (911) 434-2326
Fax: +49 (911) 434-2675
E-Mail: stephanie.seidel@siemens.com

N. Stürmer, Dipl.-Ing. Chemie
Tel.: +49 (911) 434-2696
Fax: +49 (911) 434-2675
E-Mail: nadine.stuermer@siemens.com

Herausgeber und Copyright © 2010:
Siemens AG
Energy Sector
Freyeslebenstraße 1
91058 Erlangen, Germany

Siemens AG
Energy Sector
Transformer Lifecycle Management™
Katzwanger Straße 150
90461 Nürnberg, Germany
Tel.: +49 911/434 2751
Fax: +49 911/434 2811
E-Mail: TLM@siemens.com
www.siemens.com/energy/TLM

Wünschen Sie mehr Informationen,
wenden Sie sich bitte an unser
Customer Support Center.
Tel.: +49 180/524 70 00
Fax: +49 180/524 24 71
(Gebühren in Abhängigkeit vom Provider)
E-Mail: support.energy@siemens.com

Power Transmission Division
Bestell-Nr. E50001-G640-A172
Printed in Germany
Dispo 19200, c4bs Nr. 7487
GB 100365 470182 WS 10102.0

Gedruckt auf elementar chlorfrei gebleichtem Papier.

Alle Rechte vorbehalten.
In diesem Dokument genannte Handelsmarken
und Warenzeichen sind Eigentum der Siemens AG
bzw. ihrer Beteiligungsgesellschaften oder der
jeweiligen Inhaber.

Änderungen vorbehalten.
Die Informationen in diesem Dokument enthalten
allgemeine Beschreibungen der technischen Möglich-
keiten, welche im Einzelfall nicht immer vorliegen.
Die gewünschten Leistungsmerkmale sind daher im
Einzelfall bei Vertragsschluss festzulegen.