

	DIN EN 62975 (VDE 0370-19)	DIN
	Diese Norm ist zugleich eine VDE-Bestimmung im Sinne von VDE 0022. Sie ist nach Durchführung des vom VDE-Präsidium beschlossenen Genehmigungsverfahrens unter der oben angeführten Nummer in das VDE-Vorschriftenwerk aufgenommen und in der „etz Elektrotechnik + Automation“ bekannt gegeben worden.	VDE

ICS 29.040.10

Einsprüche bis 2019-03-11

Entwurf

**Natürliche Ester –
Richtlinien für Wartung und Betrieb in elektrischen Betriebsmitteln
(IEC 10/1064/CD:2018);
Text Deutsch und Englisch**

Natural esters –
Guidelines for maintenance and use in electrical equipment
(IEC 10/1064/CD:2018);
Text in German and English

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2019-01-11 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt.

Weil die beabsichtigte Norm von der vorliegenden Fassung abweichen kann, ist die Anwendung dieses Entwurfs besonders zu vereinbaren.

Stellungnahmen werden erbeten

- vorzugsweise online im Norm-Entwurfs-Portal von DIN unter www.din.de/go/entwuerfe bzw. für Norm-Entwürfe der DKE auch im Norm-Entwurfs-Portal der DKE unter www.entwuerfe.normenbibliothek.de, sofern dort wiedergegeben;
- oder als Datei per E-Mail an dke@vde.com möglichst in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter www.din.de/go/stellungnahmen-norm-entwuerfe oder für Stellungnahmen zu Norm-Entwürfen der DKE unter www.dke.de/stellungnahme abgerufen werden;
- oder in Papierform an die DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE, Stresemannallee 15, 60596 Frankfurt am Main.

Die Empfänger dieses Norm-Entwurfs werden gebeten, mit ihren Kommentaren jegliche relevanten Patentrechte, die sie kennen, mitzuteilen und unterstützende Dokumentationen zur Verfügung zu stellen.

Gesamtumfang 61 Seiten

DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE

Anwendungsbeginn

Anwendungsbeginn dieser Norm ist

Inhalt	Seite
Nationales Vorwort.....	4
Einleitung	5
1 Anwendungsbereich	6
2 Normative Verweisungen	6
3 Begriffe	7
4 Kategorien von Betriebsmitteln	8
5 Prüfungen zur Diagnose für Natürliche Ester.....	9
6 Bewertung von natürlichen Estern in neuen Betriebsmitteln.....	9
7 Bewertung von natürlichen Estern bei in Betrieb befindlichen Betriebsmitteln	10
7.1 Allgemeine Angaben	10
7.2 Wiederholrate der Prüfungen	11
7.3 Prüfverfahren.....	12
7.3.1 Feldprüfungen	12
7.3.2 Laborprüfungen	12
7.4 Klassifizierung von in Betrieb befindlichen natürlichen Estern.....	12
8 Allgemeine Anforderungen für Korrekturmaßnahmen	18
9 Auswertung der Ergebnisse	18
9.1 Allgemeine Angaben	18
9.2 Farbe und Aussehen	18
9.3 Säuregehalt	18
9.4 Durchschlagsspannung.....	19
9.5 Dielektrischer Verlustfaktor (DDF) und spezifischer Widerstand	19
9.6 Additive.....	19
9.6.1 Oxidationsstabilität	19
9.6.2 Polymerisation	19
9.7 Grenzflächenspannung (IFT)	20
9.8 Partikelanzahl	20
9.9 Flamm- und Zündpunkt	20
9.10 Kompatibilität von natürlichen Estern	20
9.11 Pourpoint	20
9.12 Dichte.....	20
9.13 Viskosität	20
9.14 Gelöstes Gas in Öl	20
10 Probenahme von natürlichen Estern aus Betriebsmitteln	21
Anhang A (informativ) Wasser und natürliche Esterflüssigkeiten.....	22

	Seite
A.1 Allgemeine Angaben	22
A.2 Wassergehalt	22
A.2.1 Allgemeine Angaben	22
A.2.2 Wasser in natürlichen Estern	22
A.2.3 Probenahmetemperatur bei oder über 20 °C	23
A.2.4 Wassersättigung und Trend	23
A.3 Feuchtigkeitsgleichgewicht zwischen flüssiger und fester Isolierung	25
A.4 Wassergehalt im natürlichen Ester / Papier-System	25
A.5 Einige spezielle Eigenschaften von natürlichen Esterisolierrflüssigkeiten in Bezug auf Feuchtigkeit	25
A.6 Verweisungen	26
Anhang B (informativ) Austausch von natürlichen Estern in Transformatoren (en: Retrofilling)	27
B.1 Retrofilling	27
B.2 Rekonditionierung	28
B.3 Wiederaufbereitung	29
Anhang C (informativ) Zusätzliche funktionelle Anforderungen für die Verwendung von natürlichem Ester in Transformatoren	30
Anhang D Literaturhinweise	31
Bilder	
Bild A.2 – DDF-Verhalten gealterter natürlicher Ester bei unterschiedlichen Temperaturen (60 °C, 100 °C und 150 °C)	23
Bild A.3 – Feuchtigkeitsättigungswerte zwischen Flüssigkeiten und Temperatur	24
Tabellen	
Tabelle 1 – Kategorien von Betriebsmitteln	8
Tabelle 2 – Diagnoseprüfungen für natürliche Ester	9
Tabelle 3 – Empfohlene Grenzwerte für die Eigenschaften von natürlichen Estern nach dem Einfüllen in neue elektrische Transformatoren und Drosseln vor dem Einschalten	10
Tabelle 4 – Empfohlene Wiederholrate der Prüfungen ^a	12
Tabelle 5 – Empfohlene Grenzwerte für in Betrieb befindliche natürliche Ester in Transformatoren	14
Tabelle A.1 – Richtlinien für die Interpretation von Messwerten, ausgedrückt in Prozent Sättigung	23
Tabelle A.2 – Typische Werte für A und B für verschiedene Isolierrflüssigkeiten [2]	24

Nationales Vorwort

Das internationale Dokument IEC 10/1064/CD:2018 „Natural esters – Guidelines for maintenance and use in electrical equipment“ (CD, en: Committee Draft) ist unverändert in diesen Norm-Entwurf übernommen worden. Dieser Norm-Entwurf enthält eine noch nicht autorisierte deutsche Übersetzung.

Um Zweifelsfälle in der Übersetzung auszuschließen, ist die englische Originalfassung des CD entsprechend der diesbezüglich durch die IEC erteilten Erlaubnis beigelegt. Die Nutzungsbedingungen für den deutschen Text des Norm-Entwurfes gelten gleichermaßen auch für den englischen IEC-Text.

Das internationale Dokument wurde vom TC 10 „Fluids for electrotechnical applications“ der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC) erarbeitet und den nationalen Komitees zur Stellungnahme vorgelegt.

Die Internationale Elektrotechnische Kommission (IEC) und das Europäische Komitee für Elektrotechnische Normung (CENELEC) haben vereinbart, dass ein auf IEC-Ebene erarbeiteter Entwurf für eine Internationale Norm zeitgleich (parallel) bei IEC und CENELEC zur Umfrage (CDV-Stadium) und Abstimmung als FDIS (en: Final Draft International Standard) bzw. Schluss-Entwurf für eine Europäische Norm gestellt wird, um eine Beschleunigung und Straffung der Normungsarbeit zu erreichen. Dokumente, die bei CENELEC als Europäische Norm angenommen und ratifiziert werden, sind unverändert als Deutsche Normen zu übernehmen.

Da der Abstimmungszeitraum für einen FDIS bzw. Schluss-Entwurf FprEN nur 6 Wochen beträgt, und dann keine sachlichen Stellungnahmen mehr abgegeben werden können, sondern nur noch eine „JA/NEIN“-Entscheidung möglich ist, wobei eine „NEIN“-Entscheidung fundiert begründet werden muss, wird bereits der CD als DIN-Norm-Entwurf veröffentlicht, um die Stellungnahmen aus der Öffentlichkeit frühzeitig berücksichtigen zu können.

Für dieses Dokument ist das nationale Arbeitsgremium K 182 „Flüssigkeiten und Gase für elektrotechnische Anwendung“ der DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE (www.dke.de) zuständig.

Für den Fall einer undatierten Verweisung im normativen Text (Verweisung auf ein Dokument ohne Angabe des Ausgabedatums und ohne Hinweis auf eine Abschnichtsnummer, eine Tabelle, ein Bild usw.) bezieht sich die Verweisung auf die jeweils aktuellste Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments.

Für den Fall einer datierten Verweisung im normativen Text bezieht sich die Verweisung immer auf die in Bezug genommene Ausgabe des Dokuments.

Der Zusammenhang der zitierten Dokumente mit den entsprechenden deutschen Dokumenten ergibt sich, soweit ein Zusammenhang besteht, grundsätzlich über die Nummer der entsprechenden IEC-Publikation. Beispiel: IEC 60068 ist als EN 60068 als Europäische Norm durch CENELEC übernommen und als DIN EN 60068 ins Deutsche Normenwerk aufgenommen.

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. IEC ist nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

Die Deutsche Fassung wurde im [Abschnitt 2](#) an die aktuellen Standardtexte angepasst.

Das Original-Dokument enthält Bilder in Farbe, die in der Papierversion in einer Graustufen-Darstellung wiedergegeben werden. Elektronische Versionen dieses Dokuments enthalten die Bilder in der originalen Farbdarstellung.

Natürliche Ester – Richtlinien für Wartung und Betrieb in elektrischen Betriebsmitteln

Einleitung

Natürliche Ester werden zunehmend in Transformatoren und solchen elektrischen Betriebsmitteln eingesetzt, die bei der Erzeugung, Übertragung, Verteilung und dem Verbrauch von elektrischer Energie benötigt werden. Heute wird die Anzahl dieser Betriebsmittel, hauptsächlich Transformatoren, die mit natürlichen Estern isoliert sind, auf annähernd 1,5 Millionen geschätzt.

Die Überwachung und Aufrechterhaltung der Flüssigkeitsqualität ist wesentlich, um den zuverlässigen Betrieb von mit natürlichem Ester gefüllten elektrischen Betriebsmitteln sicherzustellen. In vielen Ländern haben die Elektrizitätsbehörden, Energieversorgungsunternehmen und die Industrie zu diesem Zweck entsprechende Verfahrensregeln eingeführt. Eine Überprüfung der aktuellen Erfahrungen zeigt eine breite Variation von Verfahren und Kriterien. Es ist jedoch möglich, die Messergebnisse und die Signifikanz von genormten Flüssigkeitsprüfungen zu vergleichen und einheitliche Kriterien für die Auswertung von Prüfdaten zu empfehlen.

Wenn bei der Alterung der Flüssigkeit (durch Zersetzung oder Verunreinigung) ein bestimmter Umfang überschritten wird, kommt es unvermeidlich zu einer gewissen Erosion des Sicherheitsbereichs und die Frage nach dem Risiko eines vorzeitigen Ausfalls sollte in Betracht gezogen werden. Während die Quantifizierung des Risikos sehr schwierig sein kann, können in einem ersten Schritt mögliche Auswirkungen einer verstärkten Alterung identifiziert werden. Die dieser Norm zugrunde liegende Philosophie besteht darin, den Anwendern eine möglichst breite Verständnisbasis für die Verschlechterung der Flüssigkeitsqualität zu vermitteln, damit sie fundierte Entscheidungen zu Inspektions- und Wartungsverfahren treffen können.

Neue natürliche Esterflüssigkeiten sind nachhaltige Ressourcen und unmittelbar verfügbar. Gebrauchte natürliche Ester gelten nach den meisten Vorschriften als kontrollierter Abfall. Wenn Leckagen auftreten, kann das negative Umweltauswirkungen haben, die jedoch begrenzt sind.

Diese Internationale Norm soll, obwohl sie technisch fundiert ist, hauptsächlich den Anwendern als gemeinsame Grundlage für die Erstellung von spezifischeren und vollständigeren Verfahrensregeln unter Berücksichtigung der örtlichen Gegebenheiten dienen. Bei der Suche nach dem besten Kompromiss zwischen technischen Anforderungen und wirtschaftlichen Faktoren muss eine fundierte ingenieurwissenschaftliche Beurteilung durchgeführt werden.

Da bis heute die Anwendung natürlicher Ester in Transformatoren mit hoher Leistung zeitlich begrenzt ist, müssen die in diesem Dokument vorgeschlagenen empfohlenen Werte umsichtig verwendet werden. Eine Überwachung durch Experten mit entsprechenden Fachkenntnissen wird dringend empfohlen.

1 Anwendungsbereich

Diese Norm soll Verfahren und Überwachungsmaßnahmen festlegen, die für den Betrieb, die Handhabung und die Wartung von natürlichen Esterflüssigkeiten in Transformatoren und anderen elektrischen Betriebsmitteln erforderlich sind.

Diese Norm gilt für natürliche Ester, die ursprünglich in Übereinstimmung mit **IEC 62770** und anderen anwendbaren Normen (IEEE, ASTM, usw.) für den Einsatz in Transformatoren, Schaltanlagen und anderen elektrischen Betriebsmitteln geliefert wurden, bei denen eine Flüssigkeitsprobenahme durchführbar ist und für die die normalen Betriebsbedingungen zutreffen, wie sie in den Gerätespezifikationen festgelegt sind.

Gegenwärtig ist nur eine begrenzte Menge an Informationen für andere elektrische Betriebsmittel als Transformatoren verfügbar.

Diese Norm soll auch den Betreiber von Energieanlagen unterstützen, den Zustand des natürlichen Esters zu bewerten und ihn in einem betriebsfähigen Zustand zu erhalten. Diese Norm bietet außerdem eine gemeinsame Grundlage für die Erstellung spezifischerer und vollständigerer lokaler Verfahrensregeln.

Die Norm enthält Empfehlungen zu Prüfungs- und Auswertungsverfahren und beschreibt Verfahren zur Rekonditionierung und Wiederaufbereitung der Flüssigkeit, wo notwendig.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente, die in diesem Dokument teilweise oder als Ganzes zitiert werden, sind für die Anwendung dieses Dokuments erforderlich. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

ASTM D1275, *Standard Test Method for Corrosive Sulfur in Electrical Insulating Oils*

ASTM D3455, *Standard Test Methods for Compatibility of Construction Material with Electrical Insulating Oil of Petroleum Origin*

DIN 51353, *Prüfung von Isolierölen; Prüfung auf korrosiven Schwefel – Silberstreifenprüfung*

IEC 60156, *Insulating liquids – Determination of the breakdown voltage at power frequency – Test method*

IEC 60247, *Insulating liquids – Measurement of relative permittivity, dielectric dissipation factor ($\tan \delta$) and d.c. resistivity*

IEC 60475, *Method of sampling liquid dielectrics*

IEC 60567, *Oil-filled electrical equipment – Sampling of gases and analysis of free and dissolved gases – Guidance*

IEC 60666, *Detection and determination of specified additives in mineral insulating oils*

IEC 60814, *Insulating liquids – Oil-impregnated paper and pressboard – Determination of water by automatic coulometric Karl Fischer titration*

IEC 60970, *Insulating liquids – Methods for counting and sizing particles*

IEC 61125, *Unused hydrocarbon based insulating liquids – Test methods for evaluating the oxidation stability*

IEC 61619, *Insulating liquids – Contamination by polychlorinated biphenyls (PCBs) – Method of determination by capillary column gas chromatography*

IEC 62021, *Insulating liquids – Determination of acidity – Part 3: Test methods for non-mineral insulating oils*

IEC 62535, Insulating liquids – Test method for detection of potentially corrosive sulphur in used and unused insulating oil

IEC 62535, Insulating liquids – Test method for detection of potentially corrosive sulphur in used and unused insulating oils.

IEC 62697-1, Methods for quantitative determination of corrosive sulfur compounds in unused and used insulating liquids – Part 1: Test method for quantitative determination of dibenzylidissulfide (DBDS).

IEC 62961, Insulating liquids – Test methods for the determination of interfacial tension of insulating liquids - Determination with the ring method

ISO 12185, Crude Petroleum and Petroleum Products – Determination of Density – Oscillating U-Tube Method

ISO 2049, Petroleum products – Determination of colour (ASTM scale)

ISO 2592, Petroleum products – Determination of flash and fire points - Cleveland open cup method

ISO 2719, Determination of flash point – Pensky-Martens closed cup method

ISO 3016, Petroleum products – Determination of pour point

ISO 3104, Petroleum products – Transparent and opaque liquids – Determination of kinematic viscosity and calculation of dynamic viscosity

ISO 3675, Crude petroleum and liquid petroleum products – Laboratory determination of density – Hydrometer method

ISO 4406:1999, Hydraulic fluid power – Fluids – Method for coding the level of contamination by solid particles

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die folgenden Begriffe.

ISO und IEC stellen terminologische Datenbanken für die Verwendung in der Normung unter den folgenden Adressen bereit:

- IEC Electropedia: verfügbar unter <http://www.electropedia.org/>
- ISO Online Browsing Platform: verfügbar unter <http://www.iso.org/obp>

3.1

gesetzliche Vorschriften

Vorschriften für das jeweilige Verfahren in dem betreffenden Land

ANMERKUNG Solche Vorschriften können durch lokale, regionale oder nationale Gesetzgebung oder sogar durch den Eigentümer oder Betreiber des Betriebsmittels selbst festgelegt werden. Es muss immer die strengste aller Kombinationen dieser Vorschriften zugrunde gelegt werden. Es liegt in der Verantwortung jedes Anwenders dieser Norm, sich mit den für ihre Situation geltenden Vorschriften vertraut zu machen. Solche Vorschriften können sich auf betriebliche, Umwelt- oder Gesundheits- und Sicherheitsaspekte beziehen. In der Regel ist eine ausführliche Risikobewertung erforderlich.

3.2

Regelmäßige Prüfungen (Gruppe 1)

Mindestprüfungen, die erforderlich sind, um die Flüssigkeit zu überwachen und sicherzustellen, dass sie für den weiteren Betrieb geeignet ist

ANMERKUNG Wenn die Ergebnisse dieser Prüfungen die empfohlenen Grenzwerte nicht überschreiten, sind bis zur nächsten regulären Überprüfungsperiode in der Regel keine weiteren Prüfungen notwendig, jedoch können unter bestimmten Bedingungen zusätzliche Prüfungen als sinnvoll erachtet werden.

3.3

Ergänzende Prüfungen (Gruppe 2)

zusätzliche Prüfungen, die verwendet werden können, um weitere spezifische Informationen über die Qualität des natürlichen Esters zu erhalten, und um bei der Bewertung des natürlichen Esters für die weitere Verwendung im Betrieb zu unterstützen

3.4

Spezielle investigative Prüfungen (Gruppe 3)

Prüfungen, die hauptsächlich dazu dienen, die Eignung des natürlichen Esters für die Art des betreffenden Betriebsmittels zu bestimmen und um die Übereinstimmung mit Umwelt- und Betriebsaspekten sicherzustellen

4 Kategorien von Betriebsmitteln

Um den unterschiedlichen Anforderungen der Anwender Rechnung zu tragen, wurden die Betriebsmittel in verschiedene Kategorien eingeteilt, wie in Tabelle 1 unten aufgeführt.

Tabelle 1 – Kategorien von Betriebsmitteln

Kategorie	Betriebsmitteltyp
Kategorie O	Leistungstransformatoren/-drosseln mit einer Nennspannung des Systems von 400 kV und höher.
Kategorie A	Leistungstransformatoren/-drosseln mit einer Nennspannung des Systems zwischen 170 kV und 400 kV. Außerdem Leistungstransformatoren jeder Nennspannung, bei denen die Kontinuität der Versorgung unerlässlich ist, und ähnliche Betriebsmittel für spezielle Anwendungen, die unter erschwerten Bedingungen betrieben werden.
Kategorie B	Leistungstransformatoren/-drosseln mit einer Nennspannung des Systems von über 72,5 kV und bis einschließlich 170 kV (andere als die der Kategorie A).
Kategorie C	Leistungstransformatoren/-drosseln für MV/LV-Anwendungen, z. B. mit einer Nennspannung des Systems bis einschließlich 72,5 kV und Bahn-Transformatoren (andere als die der Kategorie A). Ölgefüllte Leistungsschalter mit einer Nennspannung des Systems von mehr als 72,5 kV. Ölgefüllte Schalter, metallgekapelte AC-Schaltanlagen und -Steueranlagen mit einer Nennspannung des Systems größer oder gleich 16 kV.
Kategorie D	Messwandler und Schutztransformatoren mit einer Nennspannung des Systems von über 170 kV.
Kategorie E	Messwandler und Schutztransformatoren mit einer Nennspannung des Systems bis einschließlich 170 kV.
ANMERKUNG 1 Getrennte Auswahlkessel von Laststufenschaltern sind derselben Kategorie zuzuordnen wie der zugehörige Gerätetransformator. ANMERKUNG 2 Unabhängig von der Baugröße oder der Spannung kann eine Risikobewertung möglicherweise Verfahren zur Zustandsüberwachung rechtfertigen, die in der Regel für eine höhere Klassifizierung vorgesehen sind. ANMERKUNG 3 Aus praktischen und wirtschaftlichen Gründen dürfen einige Energieversorgungsunternehmen beschließen, dass ihre Kleintransformatoren bis 1 MVA und 36 kV in dieser Klassifizierung nicht enthalten sind. Routineüberwachungsprogramme dürfen für diese Art von Betriebsmitteln als nicht wirtschaftlich angesehen werden. Wenn für diese Transformatoren ein Überwachungsprogramm erforderlich ist, sollten die Richtlinien für die Kategorie C angemessen sein. ANMERKUNG 4 Aufgrund der sehr begrenzten Anzahl tatsächlicher Anwendungen sind für die Kategorien D und F noch keine empfohlenen Grenzwerte verfügbar. Solche Kategorien werden hier jedoch nur für die Konsistenz nach IEC 60422 angegeben.	

5 Prüfungen zur Diagnose für Natürliche Ester

Eine große Anzahl von Prüfungen kann auf natürliche Esterflüssigkeiten in elektrischen Betriebsmitteln angewendet werden. Die in Tabelle 2 aufgeführten Prüfungen gelten als ausreichend, um zu bestimmen, ob der Zustand des natürlichen Esters für den weiteren Betrieb ausreichend ist, und um die Art der erforderlichen Korrekturmaßnahmen vorzuschlagen, falls notwendig.

ANMERKUNG Die Prüfungen sind nicht in der Reihenfolge ihrer Priorität innerhalb einer Gruppierung aufgeführt.

Tabelle 2 – Diagnoseprüfungen für natürliche Ester

Eigenschaft	Gruppe	Unterabschnitt	Methode
Gruppe 1 – Regelmäßige Prüfungen			
Viskosität	1	9,13	ISO 3104
Farbe und Aussehen	1	9,2	ISO 2049
Durchschlagsspannung	1	9,4	IEC 60156
Wassergehalt	1	9,4	IEC 60814
Säuregehalt (Neutralisierungsnummer)	1	9,3	EC 62021-3
Dielektrischer Verlustfaktor (DDF) und spezifischer Widerstand	1	9,5	IEC 60247
Gelöstes Gas in Öl	1	9,14	IEEE C57.155
Gruppe 2 – Ergänzende Prüfungen			
Zündpunkt	2	9,9	ISO 2592
Grenzflächenspannung (en: Interfacial tension, IFT)	2	9,7	IEC 62961
Dichte	2	9,12	ISO 3675
Gruppe 3 – Spezielle Investigative Prüfungen (informativ)			
Pourpoint	3	9,11	ISO 3016
Gehalt an Additiven	3	9,6	Nach den Angaben des Herstellers
Partikel (zählen und Größeneinteilung)	3	9,8	IEC 60970 – Rücksprache mit dem Betriebsmittelhersteller
Flüssigkeitskompatibilität und -mischbarkeit	3	9,10	
Werkstoffkompatibilität (siehe Retrofill)		Anhang B	ASTM D3455, keine IEC-Gleichwertigkeit
Flammpunkt	3	9,9	ISO 2719

6 Bewertung von natürlichen Estern in neuen Betriebsmitteln

Ein wesentlicher Teil elektrischer Betriebsmittel wird dem Endanwender bereits befüllt mit natürlichen Esterflüssigkeiten geliefert. In solchen Fällen kann der natürliche Ester nicht mehr als „neuer natürlicher Ester“, wie in IEC 62770 definiert angesehen werden, da er bereits mit Isolier- und anderen Werkstoffen in Berührung gekommen ist. Daher müssen seine Eigenschaften wie die zutreffenden Eigenschaften für einen im Betrieb befindlichen natürlichen Ester betrachtet werden, auch wenn das elektrische Betriebsmittel selbst möglicherweise nicht unter Spannung steht.

Die Eigenschaften natürlicher Ester für neue Betriebsmittel müssen der Kategorie und den Funktionen der Transformatoren und Drosseln entsprechen (siehe Tabelle 3).

ANMERKUNG Da die Merkmale des natürlichen Esters in neuen Betriebsmitteln ein integraler Bestandteil des Designs dieses Betriebsmittels sind, darf der Anwender fordern, dass diese Merkmale besser sind als die in Tabelle 3 vorgeschlagenen Mindestanforderungen, die auf der Erfahrung vieler Jahre betrieblicher Praxis beruhen.

Tabelle 3 – Empfohlene Grenzwerte für die Eigenschaften von natürlichen Estern nach dem Einfüllen in neue elektrische Transformatoren und Drosseln vor dem Einschalten

Eigenschaft	Höchste Spannung für das Betriebsmittel (kV)		
	< 72,5 kV	72,5 kV bis 170 kV	> 170 kV
Aussehen	Klar, frei von Sedimenten		
Farbe (auf der Skala in ISO 2049 angegeben)	Max. 2,0	Max 2,0	Max. 2,0
Durchschlagsspannung (kV)	> 55	> 60	> 60
Wassergehalt (mg / kg) ^a	≤ 200 ^b	≤ 150	≤ 100
Säuregehalt (mg KOH/g)	Max 0,08	Max 0,08	Max 0,08
Dielektrischer Verlustfaktor bei 90 °C und 40 Hz bis 60 Hz ^c	Max 0,07	Max 0,07	Max 0,07
Dichte bei 20 °C (g/ml)	Max 1		
Viskosität bei 40 °C (mm ² /s)	Max 50		
Zündpunkt (°C)	Min 300 °C		
Gesamtgasgehalt (Analyse gelöster Gase)	0,5 % nach IEC 60567 ^d		
Gesamtgehalt an PCB (mg / kg)	Nicht nachweisbar (< 2 insgesamt)		

^a Die Werte sind nicht temperaturkorrigiert, da möglicherweise nicht genügend Zeit vergangen ist, um ein Gleichgewicht zwischen der Isolierung aus natürlichem Ester und Zellulose zu erreichen.

^b Für den Einsatz in Transformatoren der Klasse 72,5 kV sollte der maximale Wassergehalt je nach den lokalen Gegebenheiten zwischen dem Lieferanten und dem Nutzer vereinbart werden.

^c Höhere Werte für den dielektrischen Verlustfaktor können auf eine übermäßige Verunreinigung oder auf die falsche Verwendung von festen Werkstoffen in der Herstellung hinweisen und sollten untersucht werden.

^d Endverbraucher und Hersteller müssen den in flüssigen Dielektrika gelösten Stickstoffgehalt festlegen. Dieser empfohlene Grenzwert muss aus einer Probe abgeleitet werden, die 24 h bis 48 h nach dem Füllen des Transformators entnommen wird. Diese Grenze gilt nur für Transformatoren mit hermetischen Ausdehnungssystemen.

7 Bewertung von natürlichen Estern bei in Betrieb befindlichen Betriebsmitteln

7.1 Allgemeine Angaben

Ein natürlicher Ester im Betrieb wird Wärme, Sauerstoff, Wasser und anderen Katalysatoren ausgesetzt, die alle die Eigenschaften aller Isolierungen beeinträchtigen. Um die Qualität des im Betrieb befindlichen natürlichen Esters aufrecht zu halten, müssen regelmäßige Probeentnahmen und Analysen durchgeführt werden.

Oft kann das erste Anzeichen einer Verschlechterung des natürlichen Esters durch direkte Beobachtung der Klarheit und Farbe des natürlichen Esters durch das Sichtglas des Konservators erkannt werden. Aus ökologischer Sicht kann diese schlichte und einfache Überprüfung auch zur Überwachung von Leckagen und Verschüttungen von natürlichen Estern verwendet werden.

Die Auswertung der Ergebnisse im Hinblick auf die funktionelle Verschlechterung des natürlichen Esters muss von erfahrenem Personal basierend auf den folgenden Elementen des Risikomanagements und des Lebenszyklusmanagements durchgeführt werden:

- Kennwerte für den Typ und die Familie von natürlichem Ester und Betriebsmitteln, entwickelt mit statistischen Verfahren

- Bewertung der Trends und der Änderungsquote der Werte für eine gegebene Eigenschaft von natürlichem Ester
- Normale oder typische Werte für „annehmbar“ oder „schlecht“ für den entsprechenden Typ und die entsprechende Betriebsmittelfamilie

Da bis heute die Anwendung natürlicher Ester in Transformatoren mit hoher Leistung zeitlich begrenzt ist, müssen die in diesem Dokument vorgeschlagenen empfohlenen Werte umsichtig verwendet werden. Eine Überwachung durch Experten mit entsprechenden Fachkenntnissen wird dringend empfohlen.

7.2 Wiederholrate der Prüfungen

Es ist unmöglich, eine allgemeine Regel für die Wiederholrate der Prüfungen von natürlichen Estern im Betrieb festzulegen, die für alle möglichen Situationen gelten würde, die möglicherweise anzutreffen sind.

Die optimale Frequenz hängt von der Art, der Funktion, der Spannung, der Leistung, den Konstruktions- und Betriebsbedingungen der Betriebsmittel sowie vom Zustand der natürlichen Ester ab, wie in der vorherigen Analyse bestimmt. Oft muss ein Kompromiss zwischen wirtschaftlichen Faktoren und Zuverlässigkeitsanforderungen gefunden werden.

Viel größere Schwierigkeiten bestehen darin, die Wiederholrate der Prüfungen und die zulässigen Ölverschlechterungsgrade zu bestimmen, die für alle Anwendungen von Isolierflüssigkeiten vertretbar sind in Bezug auf Unterschiede hinsichtlich der Betriebsrichtlinien, Zuverlässigkeitsanforderungen und Typen von elektrischen Systemen. Beispielsweise könnten große Energieunternehmen die vollständige Anwendung dieser Empfehlungen auf Verteilungstransformatoren als unwirtschaftlich empfinden. Umgekehrt könnte der industrielle Anwender, dessen Aktivitäten von der Zuverlässigkeit seiner Stromversorgung abhängen, wünschen, häufigere und strengere Prüfungen der dielektrischen Qualität von Flüssigkeiten als Mittel zum Schutz vor Ausfällen der Stromversorgung einzuführen.

Als Anhaltspunkt wird in [Tabelle 4](#) eine empfohlene Wiederholrate der Prüfungen angegeben, die sich für verschiedene Typen von Betriebsmitteln eignet. Einige Betriebsmittel sind jedoch mit Systemen ausgestattet, die die Exposition der Flüssigkeit gegenüber der Atmosphäre kontrollieren. Wenn solche Systeme in gutem Zustand gehalten werden, können weniger häufige Prüfungen basierend auf der Lebenszyklusanalyse (LCA) und / oder des Lebenszyklusmanagements (LCM) und der Risikobewertung (RA) zulässig sein.

Im Allgemeinen sollten Kontrollmessungen auf der Basis der folgenden Kriterien, die für natürliche Ester wie auch für andere Transformatorenöle gelten, durchgeführt werden:

- a) Die Merkmale dürfen, sofern nicht anders definiert, in Intervallen wie in [Tabelle 4](#) vorgeschlagen, periodisch überprüft werden;
- b) Die Wiederholrate der Prüfungen darf erhöht werden, wenn eine der signifikanten Eigenschaften anzeigt, dass die Flüssigkeit in einem annehmbaren oder schlechten Zustand ist oder wenn eine Trendanalyse signifikante Veränderungen anzeigt
- c) Die Oxidation des natürlichen Esters wird mit erhöhter Temperatur und in Gegenwart von Sauerstoff und Wasser beschleunigt. Daher müssen bei stark belasteten Transformatoren häufiger Flüssigkeitsproben und ergänzende Prüfungen durchgeführt werden;
- d) Die Prüfungsfrequenz wird anhand einer Kosten-Nutzen-Bewertung basierend auf einer Lebenszyklusanalyse und einer Risikobewertung ermittelt. Für einige Eigentümer kann dieser Ansatz andere Wiederholraten der Prüfungen als die in [Tabelle 4](#) angegebenen bedeuten. Einige Energieversorgungsunternehmen könnten es beispielsweise vorziehen, dieses Programm für diese Art von Betriebsmittel nicht durchzuführen, und kleine Betriebe könnten es vorziehen, diese Art von Betriebsmittel sogar in eine höhere Kategorie einzubeziehen.

Tabelle 4 – Empfohlene Wiederholrate der Prüfungen^a

Eigenschaft	Betriebsmittelkategorie					
	O	A	B	C ^b	D	E
Gruppe 1 (Regelmäßige Prüfungen) ^c – Jahre	1 bis 2	1 bis 3	1 bis 4	2 bis 6	-	-
Gruppe 2 (Ergänzende Prüfungen)	^d					
Gruppe 3 (Spezielle Investigative Prüfungen)	^e					
Gruppe 3 (Additive)	In Übereinstimmung mit den Empfehlungen des Herstellers natürlicher Ester					

^a Diese vorgeschlagenen Zeiträume beziehen sich auf ein übliches Routinewartungsprogramm. Wenn eine oder mehrere der gemessenen Eigenschaften anzeigen, dass die Flüssigkeit in einem annehmbaren oder schlechten Zustand ist oder wenn eine ungewöhnliche Alterungstendenz beobachtet wird, sollten diese Zeiträume entsprechend der Wichtigkeit der Betriebsmittel verkürzt werden.

^b Siehe 7.2 d).

^c Prüfungen der Gruppe 1 müssen vor dem Einschalten und nach dem Befüllen oder Nachfüllen des Transformators durchgeführt werden.

^d Diese Prüfungen können regelmäßig, jedoch seltener als regelmäßige Prüfungen durchgeführt werden. Die Frequenz hängt vom Zustand der Flüssigkeit, Alter und Art ab. Erste (Benchmark-) Messungen in neuen oder überholten Betriebsmitteln sollten vor dem Einschalten durchgeführt werden.

^e Dies sind sehr spezielle Prüfungen, die nur unter besonderen Umständen durchgeführt werden müssen.

7.3 Prüfverfahren

7.3.1 Feldprüfungen

Unter bestimmten Umständen müssen Prüfungen näher am Probenahmeort als im Labor durchgeführt werden. Feldprüfungen können dem Betreiber helfen, den natürlichen Esterzustand schnell einzuschätzen. Feldprüfungen müssen von erfahrenen Betreibern durchgeführt werden.

7.3.2 Laborprüfungen

Ein vollständiges Untersuchungsschema umfasst alle in [Tabelle 1](#) aufgeführten Prüfungen. Diese Prüfungen sind in die drei Gruppen unterteilt, die als routinemäßig, ergänzend und investigativ identifiziert werden.

7.4 Klassifizierung von in Betrieb befindlichen natürlichen Estern

In Betrieb befindliche natürliche Esterflüssigkeiten werden nach den Ergebnissen der in [Tabelle 2](#) aufgeführten Prüfungen eingestuft. Der Trend solcher Ergebnisse innerhalb einer Zeitperiode liefert nützliche Informationen für eine Klassifizierung der Isolierflüssigkeit.

Isolierflüssigkeiten dürfen basierend auf der Bewertung der in [Tabelle 2](#) aufgeführten Eigenschaften als „gut“, „annehmbar“ oder „schlecht“ klassifiziert werden. [Tabelle 5](#) beinhaltet Anleitungen zur Unterstützung dieses Klassifizierungsprozesses.

- **Gut**
Natürliche Esterflüssigkeit ist im Normalzustand; übliche Probenahme fortsetzen.
- **Annehmbar**
Natürliche Esterflüssigkeit weist leichte Alterung auf; häufigere Probenahme empfohlen.
- **Schlecht**
Natürliche Esterflüssigkeit zeigt eine signifikante Alterung; Folgeaktionen in Übereinstimmung mit erfahrenem Personal planen.

Beim derzeitigen Stand der Technik sind nur empfohlene Grenzwerte für Transformatoren verfügbar. Wenn das Prüfungsergebnis außerhalb der in [Tabelle 5](#) empfohlenen Grenzwerte liegt, ist es mit früheren Ergebnissen zu vergleichen und gegebenenfalls muss eine frische Probe zur Bestätigung der Ergebnisse entnommen werden.

ANMERKUNG Normalerweise sind keine Korrekturmaßnahmen erforderlich, wenn nur ein oder einige Prüfungsergebnisse geringfügig von den in [Tabelle 5](#) angegebenen Grenzwerte abweichen.

Tabelle 5 – Empfohlene Grenzwerte für in Betrieb befindliche natürliche Esterin Transformatoren (1 von 4)

Eigenschaft	Kategorie ^a	Empfohlene Vorgangsgrenzen			Empfohlene Vorgänge	Anmerkungen
		Gut	Annehmbar	Schlecht		
Farbe und Aussehen	O-A-B-C	Klar und ohne sichtbare Verunreinigung	–	Dunkel und / oder trüb	Wie von anderen Prüfungen vorgeschrieben.	Dunkle Farbe ist ein Anzeichen für eine chemische Verunreinigung oder Alterung. Trübung ist ein Anzeichen für einen hohen Wassergehalt.
Durchschlagsspannung (kV)	O–A	> 60	50 bis 60	< 50	Gut: Normale Probenahme fortführen. Annehmbar: Häufigere Probenahme durchführen. Überprüfen Sie andere Parameter z. B. Wasser, Partikelgehalt und gegebenenfalls DDF / Resistivität und Säuregehalt. Schlecht: Rekonditionieren Sie die Flüssigkeit oder ersetzen Sie sie alternativ oder bereiten Sie sie die Isolierflüssigkeit in Kombination mit nachfolgenden Trocknungsverfahren auf, wenn dies wirtschaftlicher ist, weil andere Prüfungen auf eine starke Alterung hinweisen.	
	B	> 50	40 bis 50	< 40		
	C	> 40	30 bis 40	< 30		
Wassergehalt (mg / kg)	O–A	< 100	100 bis 300	> 300	Gut: Normale Probenahme fortführen. Annehmbar: Häufigere Probenahme durchführen. Überprüfen Sie andere Parameter z. B. Durchschlagsspannung, Partikelgehalt und gegebenenfalls DDF / Resistivität und Säuregehalt. Schlecht: Überprüfen Sie die Wasserquelle, rekonditionieren Sie die Isolierflüssigkeit oder, falls dies wirtschaftlicher ist, weil andere Prüfungen auf eine starke Alterung hinweisen, ersetzen Sie sie alternativ oder bereiten Sie die Isolierflüssigkeit in Kombination mit nachfolgenden Trocknungsvorgängen auf, wobei jedoch die Wassermenge in der festen Isolierung berücksichtigt werden muss.	Die Werte für den Wassergehalt sind immer zusammen mit den Werten für die Durchschlagsspannung zu betrachten. Bei Verdacht auf ein Feuchtigkeitsproblem wird eine Probenahme bei unterschiedlichen Betriebsmitteltemperaturen empfohlen. Bei Schaltgeräten ohne Papierisolierung sind die Werte der Durchschlagsspannung von übergeordneter Bedeutung. Die aufgeführten Grenzwerte basieren auf statistischen Studien. Das Gleichgewicht zwischen fester und flüssiger Isolierung unter 40 °C ist nicht zuverlässig und für schwer belastete Transformatoren mit einer Isolierflüssigkeitstemperatur über 70 °C kann eine Umsetzung des in Anhang B beschriebenen Korrekturverfahrens sinnvoll sein.
	B	< 150	150 bis 350	> 350		
	C	< 200	200 bis 400	> 400		

Tabelle 5 (2 von 4)

Eigenschaft	Kategorie ^a	Empfohlene Vorgangsgrenzen			Empfohlene Vorgänge	Anmerkungen
		Gut	Annehmbar	Schlecht		
Säuregehalt (mg _{KOH} /g _{öl})	O–A–B–C	< 0,30	0,30 bis 0,50	> 0,50	Gut: Normale Probenahme fortführen. Annehmbar: Häufigere Probenahme durchführen. Auf Sedimente und erhöhten Wassergehalt prüfen. Vergewissern Sie sich, dass das Betriebsmittel versiegelt und gemäß seinem Typschild belastet ist. Schlecht: Es darf die Entscheidung getroffen werden, die Isolierflüssigkeit durch Verarbeitung wiederaufzubereiten, oder alternativ, wenn dies wirtschaftlichere ist und andere Prüfungen auf eine starke Alterung hinweisen, die Isolierflüssigkeit zu ersetzen.	
Dielektrischer Verlustfaktor bei 48 Hz bei 62 Hz bei 90 °C	O–A–B–C	< 0,15	0,15 bis 0,3	> 0,3	Gut: Normale Probenahme fortführen. Annehmbar: Häufigere Probenahme durchführen. Überprüfen Sie andere Parameter wie Wassergehalt und Säurezahl. Schlecht: Bereiten Sie die Isolierflüssigkeit auf oder ersetzen Sie alternativ die Isolierflüssigkeit, wenn dies wirtschaftlicher ist, weil andere Prüfungen auf eine starke Alterung hinweisen.	
Der Inhibitorgehalt soll durch den Flüssigkeitshersteller und den Verbraucher festgelegt werden	O–A–B–C	> 70 % des ursprünglichen Wertes	30 %-70 % des ursprünglichen Wertes	< 30 % des ursprünglichen Wertes	Gut: keine Maßnahmen Annehmbar – Vergewissern, dass das Betriebsmittel versiegelt ist und die Viskosität < 15 % des ursprünglichen Wertes ist. Häufigere Probenahme beziehen. Schlecht - An den Hersteller der Flüssigkeit wenden, um das Wiederauffüllen des Inhibitors zu unterstützen, nachdem der Grund(die Gründe) für den Abbau des Inhibitors bestätigt wurde(n), z. B. ein nicht versiegelter Tank und / oder extreme Überlastung über einen längeren Zeitraum.	Eingeschränkt auf inhibierte natürliche Ester

Tabelle 5 (3 von 4)

Eigenschaft	Kategorie ^a	Empfohlene Vorgangsgrenzen			Empfohlene Vorgänge	Anmerkungen
		Gut	Annehmbar	Schlecht		
Viskosität bei 40 °C	O–A–B–C	< 10 % mehr als ursprünglicher Wert	10-15 % mehr als ursprünglicher Wert	> 15 % mehr als ursprünglicher Wert	Gut: keine Maßnahmen Annehmbar: Vergewissern Sie sich, dass das Betriebsmittel versiegelt ist und der Inhibitorgehalt > 30 % des ursprünglichen Wertes ist. Häufigere Probenahme beziehen. Schlecht: Bestimmen Sie den Grund(die Gründe) für die Viskositätserhöhung, z. B. ein nicht abgedichteter Tank und / oder extreme Überlastbedingungen über einen längeren Zeitraum. Bereiten Sie die Isolierflüssigkeit auf oder ersetzen Sie alternativ die Isolierflüssigkeit, wenn dies wirtschaftlicher ist, weil andere Prüfungen auf eine starke Alterung hinweisen.	Keine regelmäßige Prüfung. Nur durchführen, wenn der Säure- und Verlustfaktor nahe an den Grenzwerten liegt und der Inhibitorgehalt <30 % des ursprünglichen Wertes beträgt.
Zündpunkt (°C)	O–A–B–C	≥ 300		< 300	Betriebsmittel bedürfen möglicherweise einer Inspektion. Untersuchen.	Keine regelmäßige Prüfung. Kann erforderlich sein, wenn ein ungewöhnlicher Geruch festgestellt wird, wenn ein interner Fehler aufgetreten ist oder wenn ein Transformator nachgefüllt wird. In einigen Ländern können Gesundheits- und Sicherheitsvorschriften eine höhere Grenze ausschließen.
IFT	O–A–B–C	> 14	12 bis 14	< 12	Gut: Normale Probenahme fortführen. Annehmbar: Häufigere Probenahme durchführen. Auf Sedimente und erhöhten Wassergehalt prüfen. Vergewissern Sie sich, dass das Betriebsmittel versiegelt und gemäß seinem Typschild belastet ist. Schlecht: Es darf die Entscheidung getroffen werden, die Isolierflüssigkeit durch Verarbeitung wiederaufzubereiten, oder alternativ, wenn dies wirtschaftlichere ist und andere Prüfungen auf eine starke Alterung hinweisen, die Isolierflüssigkeit zu ersetzen.	

Tabelle 5 (4 von 4)

^a	Siehe Tabelle 2 .
b	Es ist sicherzustellen, dass die Probenahme ordnungsgemäß durchgeführt wurde, dass das Probenahmeventil vor der Probenahme ordnungsgemäß gereinigt wurde und dass die Transport- und Lagerzeiten im Labor kurz waren.
c	Es sollten keine Maßnahmen auf der Basis eines einzelnen Ergebnisses und einer einzelnen Eigenschaft ergriffen werden. Alle Ergebnisse müssen durch eine Wiederholungsprobe bestätigt werden, insbesondere wenn das Ergebnis im Vergleich zum Trend der vorherigen Ergebnisse ungewöhnlich erscheint.
d	CIGRÉ Broschüre 378:2009 für geeignete Schadensbegrenzungsmaßnahmen.
e	Partikel und gelöste Stoffe in der Isolierflüssigkeit
ANMERKUNG 1	Das Verdunkeln der Farbe wird mit der ursprünglichen Farbe der Flüssigkeit verglichen und hängt von dieser ab.
ANMERKUNG 2	Die Menge der Additive sollte zwischen dem Hersteller und dem Anwender der Flüssigkeit vereinbart werden, bevor sie in die Tabelle aufgenommen werden können. Wenn es um mehr als 70 % verringert wird, kann dies auf ein Problem wie einen nicht versiegelten Tank hinweisen.

8 Allgemeine Anforderungen für Korrekturmaßnahmen

Die Behandlung von natürlichen Estern muss umsichtig durchgeführt werden. Es müssen alle Maßnahmen getroffen werden, um ein unangemessenes Risiko für die Arbeitnehmer, die öffentliche Gesundheit und die Umwelt zu minimieren. Erfahrenes und qualifiziertes Personal ist sich der damit verbundenen Gesundheits- und Umweltrisiken bewusst und muss eine natürliche Esterbehandlung stets streng den gesetzlichen Vorschriften entsprechend durchführen.

Für alle erforderlichen Behandlungen zur Wiederherstellung der Isolierflüssigkeiten müssen qualifiziertes Personal oder Dienstleister beauftragt werden.

Die Eigenschaften der natürlichen Ester nach jeder Behandlung müssen zwischen dem Dienstleister und dem Kunden vereinbart werden.

Zur Vermeidung von Verunreinigungen sollten die Probenahmewerkzeuge nur für natürliche Esterflüssigkeiten verwendet werden.

Betriebsmittel zur Rekonditionierung und Wiederaufbereitung sollten auf Werkstoffverträglichkeit (Dichtungen usw.) geprüft werden.

9 Auswertung der Ergebnisse

9.1 Allgemeine Angaben

Durchschlagspannung und Wassergehalt sind üblicherweise stark miteinander verbunden. Die Auswertung des Wassergehalts in natürlichen Estern hängt stark mit der durch direkte Messung der Temperatur im natürlichen Esterstrom bestimmten Probenahmetemperatur zusammen.

Bei Transformatoren mit einer relativ konstanten Last kann eine normierte Berechnung des Wassergehalts bei 20 °C hilfreich bei der Trendanalyse sein. Das Verfahren ist in [Anhang A](#) beschrieben.

9.2 Farbe und Aussehen

Die Farbe eines natürlichen Esters wird im transmittierten Licht bestimmt und wird durch einen Zahlenwert ausgedrückt, der auf einem Vergleich mit einer Reihe von Farbstandards basiert. Es ist eine wichtige allgemeine Eigenschaft, die eine signifikante Alterung von Flüssigkeiten zeigen kann. Eine schnell ansteigende oder hohe Farbzahl ist ein Hinweis auf starke Alterung oder Verunreinigung.

Neben der Farbe kann das Aussehen eines natürlichen Esters Trübungen oder Sedimente aufweisen, was auf das Vorhandensein von freiem Wasser, unlöslichem Schlamm, Kohlenstoffpartikeln, Fasern, Staub oder anderen Verunreinigungen hindeuten kann.

9.3 Säuregehalt

Der Säuregehalt (Neutralisationswert) eines natürlichen Esters ist ein Maß für die sauren Bestandteile oder Verunreinigungen im natürlichen Ester.

Der Säuregehalt eines gebrauchten natürlichen Esters ist auf die Bildung von Zersetzungsprodukten zurückzuführen, üblicherweise aufgrund der Hydrolyse von freiem Wasser. Einige Zersetzungsprodukte können in Verbindung mit Wasser und festen Verunreinigungen unter anderem die dielektrischen Eigenschaften des natürlichen Esters beeinflussen. Säuren, wie sie durch natürliche Ester erzeugt werden, wirken sich im Vergleich zu anderen Isolierflüssigkeiten weniger auf die Cellulosematerialien und Metallteile eines Transformators aus.

Der Säuregehaltpegel kann als Anzeiger zur Aufrechterhaltung eines akzeptablen Zustands des natürlichen Esters verwendet werden.

9.4 Durchschlagsspannung

Die Durchschlagsspannung ist eine Messgröße für die Fähigkeit der flüssigen Dielektrika, elektrischen Belastungen standzuhalten, und hat eine primäre Bedeutung für den sicheren Betrieb elektrischer Betriebsmittel. Sie ist stark abhängig von der Temperatur der Probe aufgrund der Migration von Wasser zwischen festen und flüssigen Isolierungen.

Trockener und sauberer natürlicher Ester weist eine inhärent hohe Durchschlagsspannung auf. Freies Wasser und feste Partikel, letztere insbesondere in Kombination mit hohen Anteilen an gelöstem Wasser, neigen dazu, in Bereiche hoher elektrischer Spannung zu wandern und die Durchschlagsspannung zu reduzieren. Die Messung der Durchschlagsspannung dient daher hauptsächlich dazu, das Vorhandensein von Verunreinigungen wie etwa Wasser oder Partikel anzuzeigen. Ein niedriger Durchschlagsspannungswert kann anzeigen, dass einer oder mehrere von diesen vorhanden sind. Eine hohe Durchschlagsspannung zeigt jedoch nicht notwendigerweise die Abwesenheit aller Verunreinigungen an.

Die Werte der Durchschlagsspannung sind signifikanter, wenn die Probe des natürlichen Esters bei der Betriebstemperatur des Transformators entnommen wurde. Proben, die bei $< 20\text{ °C}$ entnommen wurden, können bei Analyse bei Raumtemperatur möglicherweise einen optimistischen Blick auf den Zustand des Transformators geben. Die Durchschlagsspannung von Ersatzeinheiten, die lange außer Betrieb waren und wieder unter Spannung stehen, sollte bis der Transformator einen stabilen Zustand erreicht hat häufiger kontrolliert werden.

9.5 Dielektrischer Verlustfaktor (DDF) und spezifischer Widerstand

Der dielektrische Verlustfaktor (DDF) und alternativ der spezifische Widerstand sind üblicherweise ausgezeichnete Parameter für die Überwachung von Isolierflüssigkeiten. Ein neuer sauberer und trockener Transformator hat üblicherweise einen sehr niedrigen DDF-Wert und einen sehr hohen spezifischen Widerstandswert.

Diese Parameter sind sehr empfindlich gegenüber der Anwesenheit von löslichen polaren Verunreinigungen, Alterungsprodukten oder Kolloiden in flüssigen Dielektrika.

Die akzeptablen Grenzwerte für diese Parameter hängen weitgehend von der Art der Betriebsmittel ab. Sehr hohe DDF-Werte oder sehr niedrige Werte des spezifischen Widerstands können jedoch die dielektrischen Verluste und / oder den Isolationswiderstand der elektrischen Ausrüstung beeinflussen.

Es besteht im Allgemeinen eine Beziehung zwischen DDF und dem spezifischen Widerstand, wobei der spezifische Widerstand abnimmt, wenn DDF zunimmt. Es ist normalerweise nicht notwendig, beide Prüfungen an dem gleichen natürlichen Ester durchzuführen, und im Allgemeinen ist DDF der gebräuchlichere Test. Der spezifische Widerstand und DDF sind temperatur- und feuchtigkeitsabhängig. DDF neigt dazu, mit der Alterung eines Transformators zuzunehmen.

9.6 Additive

9.6.1 Oxidationsstabilität

Die Oxidationsstabilität bezeichnet die Fähigkeit von neuen natürlichen Estern, einer Oxidation unter thermischer Belastung und in Gegenwart von Sauerstoff und einem Kupferkatalysator standzuhalten. Die Eigenschaft ist definiert als Beständigkeit gegenüber der Bildung von sauren Verbindungen und Verbindungen, die den dielektrischen Verlustfaktor (DDF) beeinflussen und unter gegebenen Bedingungen die Viskosität erhöhen. Für natürliche Ester, die IEC 62770 entsprechen, sind diese Bedingungen in IEC 62770 ausführlich beschrieben. Oxidationsinhibitoren können hinzugefügt werden, um die Oxidationsstabilität zu erhöhen.

9.6.2 Polymerisation

Die Polymerisation von natürlichen Esterflüssigkeiten kann nach längerer Einwirkung von Sauerstoff bei erhöhter Temperatur beobachtet werden. Dies kann zu einer Erhöhung der Viskosität der Flüssigkeit führen und kann überwacht werden. Additive können hinzugefügt werden, um die Langzeitstabilität von natürlichen Estern unter oxidierenden Bedingungen zu verbessern.