Ölprüfungen in Anlagen größer 1 kV

Ein wichtiger Teil der vorbeugenden Schadenverhinderung

Die Verfügbarkeit ölgefüllter Betriebsmittel hängt ganz wesentlich von der Ölqualität ab. Im Laufe der Zeit ändert Öl seine Eigenschaften, sodass eine kontinuierliche Überwachung notwendig ist, bevor es zu Störungen kommt. Dieser Beitrag beschreibt die maßgeblichen Eigenschaften des Öls und geht der Frage nach, wann mindestens was zu prüfen ist.

In elektrischen Betriebsmitteln wird Öl seit mehr als 120 Jahren als Isolier- und Kühlmittel, als Dielektrikum sowie zur Lichtbogenlöschung eingesetzt. Heute dürften weltweit mehrere hunderttausend Tonnen für diesen Zweck im Einsatz sein [1].

Die Verfügbarkeit ölgefüllter Betriebsmittel hängt ganz wesentlich von der Ölqualität ab. Im Laufe Zeit ändert Öl seine Eigenschaften, sodass eine kontinuierliche Überwachung notwendig ist, bevor es zu Störungen kommt. Mit DIN EN 60422 (VDE 0370-2) [1] steht eine Leitlinie zur Überwachung und Wartung von Isolierölen in elektrischen Betriebsmitteln zur Verfügung.

Sie unterscheidet drei Prüfgruppen:

- **Gruppe 1.** Routineprüfungen (ein Mindestumfang der Überwachung)
- **Gruppe 2.** Ergänzende Prüfungen (spezielle Informationen über die Ölqualität)
- **Gruppe 3.** Besondere investigative (nachforschende) Prüfungen, z. B. nach Ereignissen.

Maßgebliche Öleigenschaften und ihr Einfluss

Farbe und Aussehen des Öls

Die Farbe des Öls wird bei durchscheinendem Licht gegen eine weiße Fläche bestimmt und mit einer Zahl aus der Standardfarbreihe beschrieben. Eine merkliche Zunahme der Dunkelfärbung oder eine hohe Farbzahl können auf Verunreinigungen hindeuten.

Bei dieser Sichtprüfung werden auch eventuelle Trübungen erkannt, die auf Zersetzungsprodukte oder freies Wasser im Öl schließen lassen.

Autor
Dipl.-Ing. (FH) Ing. Friedemann Schmidt war beim TÜV Nord als anerkannter Sachverständiger tätig, Magdeburg.

Durchschlagspannung

Auch wegen seiner hohen Durchschlagspannung wurde Mineralöl sehr schnell zu einem bewährten Isolierstoff.

Die Durchschlagspannung ist eine funktionelle Eigenschaft, die das Standvermögen gegen elektrische Spannungsbeanspruchungen beschreibt. Sie hat die Maßeinheit der Feldstärke (z. B. kV/cm) und weist damit auch auf den physikalischen Hintergrund hin, warum Verunreinigungen im Öl die Durchschlagfestigkeit erheblich senken. Solche sind nämlich Orte hoher Feldstärken, von denen aus der Spannungsdurchschlag initiiert wird.

In Datenblättern werden die Durchschlagspannungen oft auf eine Durchschlagstrecke von 2,5 cm bezogen. Das ist der vorgeschriebene Abstand der Elektroden in Prüfgeräten. Leider wird das oft nicht erwähnt, sondern einfach als bekannt vorausgesetzt und führt mitunter zu Missverständnissen.

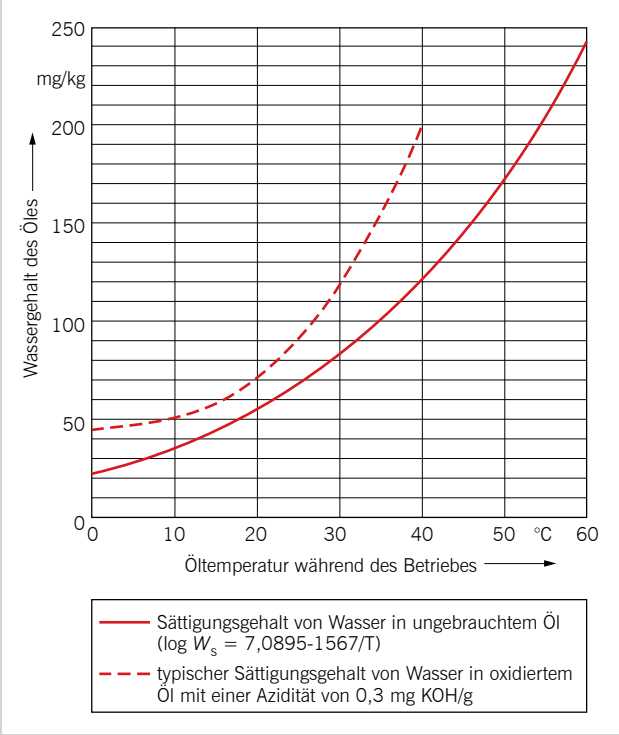
Im Vergleich zu Luft unter Normalbedingungen mit etwa 30 kV/cm beträgt die Durchschlagspannung bei gebrauchtem Öl mit circa 200 kV/cm das annähernd Siebenfache (neues Öl sogar >280 kV/cm [2]).

Niedrige Werte deuten auf Verunreinigungen im Öl hin, sodass die Messung der Durchschlagspannung vorwiegend dem Nachweis von Zersetzungsprodukten, von freiem Wasser oder anderen Fremdpartikeln dient.

Ölproben sind bei Betriebstemperatur zu entnehmen, da sich gezeigt hat, dass unterhalb der Betriebstemperatur entnommene Öle zu zu optimistischen Prüfergebnissen führen.

Das ist auch für Reservebetriebsmittel wichtig, die nicht unter Spannung gehalten werden und bei denen nach ihrer Inbetriebnahme die Messung der Durchschlagspannung in kurzen Abständen von etwa 14 Tagen erfolgen sollte, bis sich ein unveränderter Dauerzustand nachweisen lässt.

Geforderte Werte für gebrauchtes Öl liegen zwischen 30 bis 60 kV/2,5 cm.



1 Beispiel für den absoluten Sättigungsgehalt von Wasser in Isolieröl abhängig von der Temperatur

Quelle: [1]; ep



Quelle: Schmidt

❷ **Bei dieser Drossel mit Ausdehnungsgefäß hat die Außenluft nur über einen Luftentfeuchter Zutritt zum Ölraum**



Quelle: Schmidt

❸ **Bei einem Hermetiktransformator ist das Isolieröl gegenüber der Atmosphäre zuverlässig abgeschlossen**

Wassergehalt

Der Wassergalt einer Isolierflüssigkeit hat Einfluss auf deren Durchschlagsfestigkeit und Alterungsverhalten.
Wasser wird durch die Isolierflüssigkeit in das Betriebsmittel eingetragen. Im Öl kann es bis zur Löslichkeitsgrenze in gelöster Form enthalten sein, aber auch gebunden als absorbiertes Hydrat. Ebenso enthält das feste Isoliersystem, z. B. Papier, gebundenes Wasser. Die gelösten Mengen sind stark temperaturabhängig (Bild ❶).
Die im Isolieröl enthaltene absolute Wassermenge wird ausgedrückt in mg Wasser/kg Öl. Übersteigt der Wassergehalt die Löslichkeitsgrenze, kann freies Wasser in Form von Tröpfchen oder Eintrübungen beobachtet werden. Um den Zutritt von Luftfeuchtigkeit in das Isoliersystem zu verringern, werden bei Betriebsmitteln mit Ausdehnungsgefäß in die Atmungsöffnungen Luftentfeuchter eingebaut (Bild ❷). Wirksamer jedoch ist ein hermetisch abgeschlossenes Kühlsystem, wie es beispielsweise bei Hermetiktransformatoren zur Anwendung kommt (Bild ❸).

Lust auf Software?

Der ep ELEKTROPRAKTIKER sucht einen dynamischen Elektrotechniker als

Produktmanager Softwareprojekte (m/w)

Aufgabengebiet:

- inhaltliche und strategische Weiterentwicklung der Softwareprojekte in Abstimmung mit dem Teamleiter
- Schnittstellenmanagement zwischen Marketing- und Vertriebsaktivitäten
- produktbezogene Innen- und Außenkommunikation
- User-Support per E-Mail und Telefon
- Aufbau und Pflege von Partnerschaften und Kooperationen
- Mitentwicklung neuer Produkte.

Ihr Profil:

- sicheres und überzeugendes Auftreten, Kommunikationsstärke, Verhandlungsgeschick und eine ausgeprägte Überzeugungskraft
- Teamfähigkeit und Flexibilität
- analytische und planerische Fähigkeiten
- Verkaufstalent und Freude am Erfolg
- Affinität zu Technologien der IT und Elektrotechnik
- Berufserfahrung in der Elektrotechnik, sicherer Umgang mit Normen und Vorschriften
- hohe Eigenmotivation, selbstständiges und eigenverantwortliches Arbeiten.

Es erwartet Sie eine ebenso spannende wie anspruchsvolle Aufgabe, die einer/m engagierte/n Produktmanager/in die Chance für die weitere berufliche Entwicklung bietet.
Sie erhalten ein attraktives Gehalt mit einer Erfolgsbeteiligung an einem modern ausgestatteten Arbeitsplatz mitten im kreativen Zentrum Berlins.

Interesse? Schicken Sie uns Ihre vollständigen Bewerbungsunterlagen unter Angabe Ihres Gehaltswunsches und Ihres frühestmöglichen Eintrittstermins per Post oder per Mail an:

HUSS-MEDIEN GmbH
Personalabteilung · Frau Charlotte Kluger
Am Friedrichshain 22 · 10407 Berlin
Tel.: 030/42151-342
E-Mail: bewerbung@hussberlin.de

Weitere Infos
über unser Unternehmen finden Sie auf unserer Homepage unter www.huss.de.

ep ELEKTRO PRAKTIKER
E-Mail: bewerbung@hussberlin.de
www.elektropraktiker.de

Tabelle 1 Kategorien ölgefüllter Betriebsmittel

Kategorie	Gerätetyp
O	Leistungstransformatoren/Drosseln ≥ 400 kV
A	Leistungstransformatoren/Drosseln > 170 kV bis < 400 kV; Leistungstransformatoren mit beliebiger Spannung, für die ein unterbrechungsfreier Betrieb vorgesehen ist
B	Leistungstransformatoren/Drosseln > 72,5 kV bis ≤ 170 kV
C	Leistungstransformatoren/Drosseln für Mittel-/Niederspannung ≤ 72,5 kV ölgefüllte Leistungsschalter > 72,5 kV ölgefüllte Schalter ≥ 16 kV
D	Wandler > 170 kV
E	Wandler ≤ 170 kV
F	Überspannungsableiterkessel von Lastumschaltern
G	ölgefüllte Leistungsschalter ≤ 72,5 kV ölgefüllte Schalter < 16 kV

Für gebrauchtes Öl wird ein Grenzwert des Wassergehalts von 15 bis 40 mg/kg bei Betriebstemperatur angegeben.

Neutralisationszahl

Genauer gesagt geht es um den Säuregehalt (Azidität) im Isolieröl.
Im Laufe der Zeit können sich im Isolieröl saure Oxidationsprodukte bilden. Sie führen zur Zersetzung von Isolierstoffen und greifen auch Leiterwerkstoffe an. Der Anstieg des Säuregehaltes ist ein verlässlicher Indikator für die Alterungsgeschwindigkeit und spielt daher für die Wahl der Zeitabstände von Ölprüfungen oder den Zeitpunkt eines Ölwechsels eine große Rolle.
Der Säuregehalt (oft auch Neutralisationszahl oder Säurezahl genannt) wird nach DIN EN 62021-1 (VDE 0370-31) [3] ermittelt und angegeben in mg Kalilauge mit einer Konzentration von 0,05 mol/l, die nötig ist, um einen Ölprobenteil von 1 g bis zu einem pH-Wert von 11,5 zu titrieren.
Für neue Öle in Betriebsmitteln mit einer Nennspannung bis 72,5 kV wird ein Wert von 0,03 mg KOH/g Öl verlangt. Gebrauchtes Öl für diese Betriebsmittel muss einen Wert ≤ 0,1 bis 0,3 mg/g aufweisen.

Dielektrischer Verlustwinkel und spezifischer Widerstand

Der dielektrische Verlustwinkel wird auch Permittivitätsverlustfaktor (DDF; Dielectric Dissipation Factor) genannt und stellt bei der Prüfung mit Wechselspannung nach DIN EN 61620 (VDE 0370-16) [4] das Verhältnis von aufgenommener Wirkleistung zur Blindleistung dar, ist also der Tangens des eingeschlossenen Winkels δ.
Dieser Parameter reagiert sehr empfindlich auf Verunreinigungen im Öl, und wird deshalb oft zur Bewertung der Ölalterung herangezogen.
Mit zunehmender Temperatur wird sein Wert größer. Bei der Bewertung des Öls vergleicht man die Werte von tan δ bei unterschiedlichen Temperaturen. Liegen beide Werte nicht im zulässigen Bereich, sind eine Ölaufbereitung oder gar ein Ölwechsel angeraten.
Zwischen dem spezifischen Widerstand ρ und dem Verlustwinkel tan δ des Öls besteht ein indirekt proportionales Verhältnis; mit zunehmendem Widerstand nimmt der Verlustwinkel also ab.
Für gebrauchtes Öl sind bei 90 °C Werte von tan δ zwischen 0,01 bis 0,5 und spezifische Widerstände von 0,2 bis 50 GΩm verlangt (bei 20 °C ist ρ etwa zwanzig Mal größer).

Inhibitorgehalt

Zur Verbesserung der Oxidationsstabilität werden Inhibitoren (lat. inhibere hemmen) eingesetzt, falls sie nicht ausreichend bereits im Öl enthalten sind. Aus der Chemie sind sie auch als Passivatoren oder Antikatalysatoren bekannt.
Der Inhibitorgehalt sollte in festgelegten Zeitabständen abhängig von der Belastung und Betriebstemperatur des Betriebsmittels kontrolliert werden.
40 bis 60 % des Ausgangswertes gelten als ausreichend.

Viskosität (Zähigkeit)

Die Viskosität ist ein Maß für die innere Reibung in einer Flüssigkeit und stark temperaturabhängig.

Tabelle 2 Empfohlene Prüftermine in Jahren abhängig von der Gerätekategorie

Gerätekategorie							
O	A	B	C	D	E	F	G
1 bis 2	1 bis 3	1 bis 4	2 bis 6	1 bis 2	2 bis 6	2 bis 6	2 bis 6

Unterschieden wird zwischen der dynamischen Viskosität η mit der Maßeinheit [Pa · s = kg/ms]; (bis 1979 auch in Poise (P) mit 1 P = 0,1 Pa · s) und der kinematischen Viskosität *v* als das Verhältnis zwischen dynamischer Viskosität und Flüssigkeitsdichte mit der Maßeinheit [m^2 · s] (bis 1979 auch in Stoke (St) mit 1 St = 10^4 m^2/s).
Im Vergleich hat Wasser bei 20 °C eine dynamische Viskosität von etwa 1 mPa · s, Transformatorenöl zirka 50 mPa · s.
Je niedriger die Viskosität ist, desto besser zirkuliert das Öl. Somit beeinflusst sie die Wirksamkeit der Kühlung in Betriebsmitteln und der Lichtbogenlöschung in Ölschaltern. Bekannt ist das problematische Kaltstartverhalten ölgefüllter Betriebsmittel bei niedrigen Temperaturen, das sich durch schwergängige Antriebe z. B. von Spannungsumstellern und Ölpumpen äußert.
Auf die Erläuterung weiterer Parameter und ihrer Prüfung bei speziellen Anlässen soll an dieser Stelle verzichtet werden. Dazu gehören u. a. die Grenzflächenspannung, die Mischbarkeit, der Flammpunkt, der Pourpoint (Stockpunkt), die Dichte, der PCB-Gehalt und der Anteil an korrosivem Schwefel.

Kategorisierung der Betriebsmittel

Für die Festlegung von Prüfterminen ist es hilfreich, die ölgefüllten Betriebsmittel in Kategorien einzuteilen. Einen Auszug aus [1] enthält Tabelle 1.

Empfohlene Prüftermine

Der Zeitpunkt für die wiederkehrende Ölanalyse ist eine Betreiberentscheidung. Er ist abhängig vom Typ des Betriebsmittels, seiner Funktion, der Spannung, Leistung, Beanspruchung und den Ergebnissen vorangegangener Untersuchungen.
Eine große Rolle spielt auch, welche Auswirkungen ein Betriebsmittelausfall für das Unternehmen hat. Wenn Reservebetriebsmittel vorhanden sind, die durch einfaches Umschalten den Weiterbetrieb ermöglichen, wird man bei der Wahl der Prüftermine großzügiger verfahren können. Die Relation zwischen den geringen Kosten für eine Ölprüfung und dem möglichen großen Schaden durch unerkannte Mängel wird in der Regel zur Vernunft führen, Prüfabstände nicht endlos zu terminieren. Wenn kennzeichnende Eigenschaften sich deutlich ändern, wird die Ölprüfung häufiger durchzuführen sein.
Tabelle 2 als ein Auszug aus [1] macht erprobte Vorschläge für Routineprüfungen.

Die Routineprüfung – Umfang und Bewertung

Tabelle 3 enthält den Umfang der Routineprüfung für ausgewählte Gerätekategorien und die verlangten Mindestwerte der Ölparameter als Auszug aus einer ausführlichen Tabelle in [1], in der weiterführend die Maßnahmen beschrieben werden, die bei Abweichungen von den Sollwerten empfohlen werden.

Tabelle 3 Routineprüfung ausgewählter Gerätekategorien und Sollwerte

Eigenschaften	empfohlene Sollwerte Kategorie		
	A	C	G
Farbe, Aussehen	klar und ohne sichtbare Trübungen		
Durchschlagspannung in kV/2,5 cm	50 bis 60	30 bis 40	≥ 30
Wassergehalt in mg Wasser/kg Öl	15 bis 20	30 bis 40	Routineprüfung nicht verlangt
Neutralisationszahl in mg KOH/kg Öl	0,10 bis 0,15	0,15 bis 0,3	
Verlustfaktor tan δ	0,10 bis 0,2	0,10 bis 0,5	
Inhibitorgehalt in %	40 bis 60 der Ausgangswerte		

Die Probennahme

Dass es hierfür mit der DIN EN 60475 (VDE 0370-3) [5]) sogar eine Norm gibt, unterstreicht die Notwendigkeit absoluter Sorgfalt bei der Probennahme. Nachlässig entnommene Proben führen oft zu ungerechtfertigten Beanstandungen.

Am Beispiel eines Leistungstransformators soll nachstehend die korrekte Entnahme von Öl beschrieben werden:

1. Reinigung der Stelle der Probennahme mit einem fusselfreien Tuch oder einem ölbeständigen synthetischen Schwamm.
2. Ölentnahme nur an trockenen Tagen vornehmen, um ein Verfälschen des Wassergehaltes zu verhindern.
3. Etwa 1 bis 2 l Öl in ein Gefäß für Altöl abfließen lassen.
4. Temperatur des abgelassenen Öls im Gefäß messen.
5. Geeignete Probenbehälter verwenden, vorzugsweise vom Prüflabor bereitgestellte (sie sind lichtundurchlässig und haben ein Fassungsvermögen von etwa 1 l).
6. Probenbehälter mit dem zu entnehmendem Öl spülen. Dabei wird das Probengefäß bereits aufgewärmt. Darauf ist insbesondere zu achten, wenn kalte Probenbehälter verwendet werden. Nötigenfalls sind sie vorzuwärmen, um Wasserkondensat zu vermeiden.
7. Beim Einfüllen in den Probenbehälter ist das Öl langsam an seiner Innenwand herablaufen zu lassen, um Lufteinschlüsse zu vermeiden.
8. Der Probenbehälter ist zu 95 bis 98 % zu füllen
9. Beschriftung vornehmen: Datum, Betriebsmittel, Öltemperatur, Probennehmer.

Fazit

Im Gegensatz zu Niederspannungsanlagen sind die Elektroanlagen > 1 kV dem Zugang der Allgemeinheit aus guten Gründen entzogen. Leider führt das auch dazu, dass ihnen weniger Aufmerksamkeit geschenkt wird.

Dabei treffen Ausfälle in dieser Spannungsebene besonders empfindlich. Öldiagnosen sind daher ein wichtiger Teil vorbeugender Schadenverhinderung.

Das sollten die Anlagenverantwortlichen nicht leichtfertig aus den Augen verlieren. Nur sie haben den nötigen Weitblick, und den sollten sie auch beweisen.

Literatur

[1] DIN EN 60422 (VDE 0370-2):2013-11 Isolieröle auf Mineralölbasis in elektrischen Betriebsmitteln – Leitlinie zur Überwachung und Wartung.

[2] DIN EN 60296 (VDE 0370-1):2012-12 Flüssigkeiten für elektrotechnische Anwendungen Neue Isolieröle auf Mineralölbasis für Transformatoren und Schaltgeräte.

[3] DIN EN 62021-1 (VDE 0370-31):2004-06 Isolierflüssigkeiten – Bestimmung des Säuregehaltes – Teil 1: Automatische potentiometrische Titration.

[4] DIN EN 61620 (VDE 0370-16):1999-09 Isolierflüssigkeiten – Bestimmung des Permittivitäts-Verlustfaktors durch Messung der Konduktanz und Kapazität – Prüfverfahren.

[5] DIN EN 60475 (VDE 0370-3):2012-07 Verfahren zur Probennahme von Isolierflüssigkeiten.

