

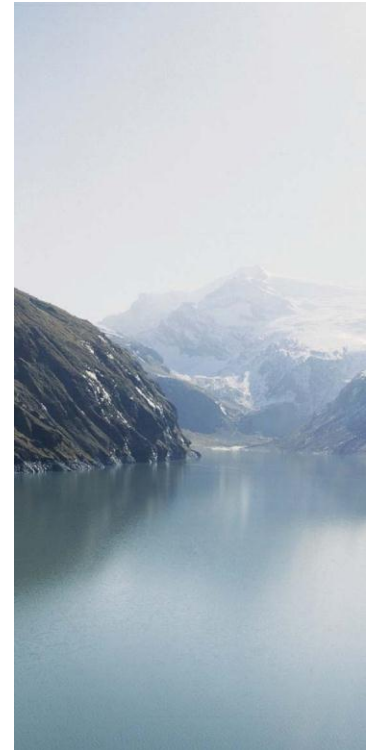
Mobile Regeneration von Trafoölen Klassische Ölregeneration und Entfernung von DBDS (Entschwefelung) bei laufenden Betrieb

Ing. Mag. Martin Darmann VUM

Manuel Mißfeldt STARKE MINERALÖLWERK

DI Dr. Florian Senn VHP

Graz, 21.06.2012



Inhalt

- Normative Randbedingungen – Grenzwerte
- Basis einer Transformatorenölregeneration
- Mobile Transformatorenölregeneration (MRA – Technologie)
 - Dienstleistungsumfang
 - Prozess
 - Sicherheitseinrichtungen
 - Personal
 - Referenzen
- Garantierte Werte
- Erfahrungsberichte von 4 in der VHP durchgeführten klassischen Ölregenerationen
 - Erreichte Werte, Einhaltung der Garantiewerte
- DBDS Entfernung – Reinigung von schwefelkorrosiven Isolierölfüllungen
 - Gegenmaßnahmen für risikobehaftete Betriebsmittel
 - Regenerationserfolg bzw. -verlauf am Beispiel von 3 VHP Geräten
- Nachhaltigkeit der mobilen Ölregeneration
- Zusammenfassung



Grundlagen



Grundlagen – Normative Randbedingungen

- IEC 60422
 - Richtlinie zur Überwachung und Wartung von Isolierölen auf Mineralölbasis in elektrischen Betriebsmitteln
 - Maßnahmenempfehlungen auf Grundlage von Grenzwerten
 - » Reinigung
 - » Regeneration
 - » Entschwefelung
- IEC 60296
 - Flüssigkeiten für elektrotechnische Anwendungen – Neue Isolieröle für Transformatoren und Schaltgeräte

Grenzwerte nach IEC 60422 für Neuölfüllungen

- Grenzwerte für Isolieröle auf Mineralölbasis nach Füllung in Neugeräten gem. IEC 60422:2012 FDIS; Mindestanforderungen

| | Geräteklasse - Nennspannung | | |
|--|-----------------------------|--------------|-------|
| | <72,5 | 72,5 bis 170 | >170 |
| Farbzahl ISO 2049 | <2,0 | <2,0 | <2,0 |
| Durchschlagsspannung [kV] | >55 | >60 | >60 |
| Wassergehalt [mg/kg] | <20 | <10 | <10 |
| Dielektrischer Verlustfaktor [$\cdot 10^{-3}$] | <15 | <15 | <10 |
| Neutralisationszahl [mg KOH/g] | <0,03 | <0,03 | <0,03 |
| Grenzflächenspannung [mN/m] | >35 | >35 | >35 |
| Korrosiver Schwefel | Nicht Korrosiv | | |
| DBDS [mg/kg] | < 5 | | |

Grenzwerte nach IEC 60422 für Betriebsöle

- Grenzwerte für Isolieröle auf Mineralölbasis für Betriebsöle gem. IEC 60422:2012 FDIS; Mindestanforderungen für Einstufung „Ausreichend“

| | Geräteklasse - Nennspannung | | |
|--|--------------------------------|--------------|-------|
| | <72,5 | 72,5 bis 170 | >170 |
| Durchschlagsspannung [kV] | >30 | >40 | >50 |
| Wassergehalt [mg/kg] | <40 | <30 | <20 |
| Dielektrischer Verlustfaktor [$\cdot 10^{-3}$] | <500 | <500 | <200 |
| Neutralisationszahl [mg KOH/g] | <0,30 | <0,20 | <0,15 |
| Grenzflächenspannung [mN/m] | >22 | >22 | >22 |
| Korrosiver Schwefel | Nicht Korrosiv | | |

Reinigung – Regeneration Begriffe in der IEC 60422

- Reinigung
 - Physikalische Verfahren (Filtration, Trocknung, Entgasung...) – Reduktion von physikalischen Verunreinigungen durch Filtration, Zentrifugation oder Vakuumtrocknung
 - Empfohlen bei folgenden Parameterüberschreitungen: Wassergehalt, Durchschlagsspannung, Trübung, Partikelgehalt
 - Regenerierung
 - Chemisch- Physikalische Verfahren (Filtration, Trocknung, Entgasung, Adsorption, Physisorption / Chemisorption) – Reduktion von löslichen und unlöslichen physikalischen und chemischen Verunreinigungen
 - Empfohlen bei folgenden Parameterüberschreitungen: Wassergehalt, Durchschlagsspannung, Trübung, Partikelgehalt, Farbzahl, Grenzflächenspannung, Neutralisationszahl, Dielektrischer Verlustfaktor, Schlamm, Korrosiver Schwefel
- Ölzustand auf IEC 60296 und IEC 60422 Niveau wiederherstellbar
- Verlängerung der Restlebensdauer

Ziel der mobilen Ölregeneration

- Isolieröl in Leistungstransformatoren altert unter dem Einfluss von TEMPERATUR, SAUERSTOFF und oberflächenaktiven Katalysatoren (KUPFER)
- Es entstehen polare Alterungsprodukte aus dem Isolieröl sowie aus dem Papier – Alkohole, Aldehyde, Ketone, Hydroperoxide, Säuren, Wasser
- → Negativspirale: je mehr (Säuren, Wasser...) – desto mehr Produktion (Säuren, Wasser...) – desto schnellere Alterung von Papier und Isolieröl

Entfernung der polaren Alterungsbeschleuniger

- Durchbrechen der Negativspirale der beschleunigten Alterung durch Entfernung der polaren Alterungsprodukte aus dem Isolieröl und aus dem Papier
- Nachhaltige Wirkung auf Grund der Prozessdauer und der Temperaturerhöhung während der Regeneration – Kern besser zugänglich

Kostengünstige Methode zur Lebensdauerverlängerung

Voraussetzungen für eine Transformatorenöl - Regeneration

- IEC 60422 und IEC 60296
- Vorhandene Isolierölanalytik
 - TP-DGA, Chem. Phys. Parameter, Furane
 - Bei Entschwefelungen: Test nach EN 62535, DBDS Gehalt, Passivatorgehalt
- PCB Freiheit gefordert
- Analysenauswertung mit objektiver Handlungsempfehlung
- Zugänglichkeit und Infrastruktur



Vorstellung der MRA - Technologie

Manuel Mißfeldt
Serviceleiter

Starke & Sohn GmbH
Mineralölwerk
Aue - Hannover - Niebüll
Schmiedestrasse 14
25899 Niebüll



MRA: Mobile Regenerations Anlagen - Technologie

- langjährige Praxiserfahrung
- kontinuierliche Optimierung
- eigenständige Entwicklung
- stetige Investitionen
- zwei Anlagen unterschiedlicher Kapazität



MRA –Technologie – Anlage MRA 4x4

- Absetztrailer
 - Länge: 14 m, Breite: 2,60 m, Höhe: 4 m
- Schlauchverbindungen
 - 30 m x 1 ¼ Zoll Schläuche auf Trommel
- Benötigter Kraftanschluss
 - 3 x 400 Volt,
250 Ampere / 4 x 95 mm²

Ausgestattet mit 8 Säulen Fahrweise 4/4

Aufreinigungsgeschwindigkeit 4 bis 8 t / Tag (Standard-Regeneration)

Ab 20 t einsetzbar



MRA 4x4 - Mobile Transformatorenölregeneration



MRA 4x4 - Mobile Transformatorenölregeneration



MRA-Technologie – Anlage MRA Pocket

- MRA-Pocket
 - Länge: 6 m, Breite: 2,55 m, Höhe: 3,75 m
- Schlauchverbindungen
 - 30 m x 1 Zoll Schläuche auf Trommel
- Benötigter Kraftanschluss
 - 3 x 400 Volt,
125 Ampere / CEE Stecker
- Ausgestattet mit 12 Säulen
- Fahrweise 6/6 Reduzierung auf 2 Säulen
- Aufreinigungsgeschwindigkeit 2 bis 3 t / Tag (Standard-Regeneration) bis 20 t Ölvolumen



MRA Pocket - Mobile Transformatorenölregeneration



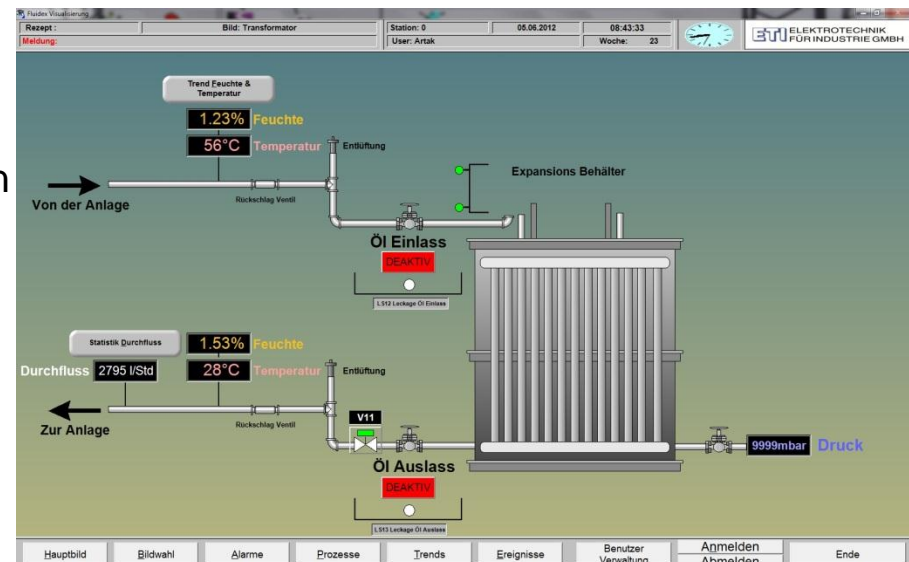
MRA – Dienstleistung

- Regeneration des Transformatorenöles im laufenden Betrieb des Transformators
- Aufstellung und Inbetriebnahme der mobilen Regenerationsanlage
- Betrieb und Betreuung über den Regenerationszeitraum inkl. Material (ggf. Trafoöl, Inhibitoren)
- prozessbegleitende Dokumentation
- sach- und fachgerechte Entsorgung/Verwertung anfallender Reststoffe



MRA – Sicherheitseinrichtungen

- vollautomatische Steuerung
- Luftfallen und Rückschlagklappen am Trafoein- & -ausgang, pneumatisches Ventil am Trafoausgang
- Durchflusskontrolle & Drucküberwachung
- UMTS Fernwartung / Datenübertragung, WLAN Fernwartung für den Nahbereich via Smartphone abrufbar
- kundenspezifische Sicherheitseinrichtungen integrierbar (Min / Max Melder-Buchholz)



MRA – Fachpersonal

- Abschluss IHK in Mechanik oder Elektrotechnik
- EuP (Elektrisch unterwiesene Person) - Verhalten im Umspannwerk
- SCC (Sicherheits- Certifikat Contractoren)
Anforderungen (Arbeits-) Sicherheit- des Gesundheits- und
Umweltschutzes
- gemäß WHG § 19 geschult (Umgang mit wassergefährdenden Stoffen)
- sicherheitsüberprüft für die Zulassung in
kerntechnischen Anlagen



MRA-Technologie – ausgewählte Referenzen

Am Markt ist bekannt, dass Starke & Sohn über viele Jahre in enger Zusammenarbeit mit einem namhaften Transformatorenhersteller exklusiv als ausführender Partner eine Vielzahl von Ölregenerationen an in Betrieb befindlichen Transformatoren in Kraftwerken, kerntechnischen Anlagen, Umspannwerken und Industriebetrieben erfolgreich durchgeführt hat.

Seit dem Jahre 2010 führt Starke & Sohn entsprechende Ölregenerationen als direkter und alleiniger Auftragnehmer in entsprechenden Bereichen durch. In partnerschaftlicher Abstimmung mit den Kunden von Starke & Sohn kann u.a. beispielhaft auf nachfolgende Referenzen verwiesen werden:



Ergebnisse - Ölregenerationen



Grenzwerte – Garantiewerte – Durchschnittswerte

- Garantierte und durchschnittlich erreichte Ölkennwerte nach erfolgter Ölregeneration verglichen mit Grenzwerten für Neugeräte vor Inbetriebnahme nach IEC 60422

| | >170 kV | 72,5-170 kV | Garantierter Wert | Ø erreichter Wert |
|------------------------------------|----------------|----------------|-------------------|-------------------|
| U_D [kV] | >60 | >60 | | 80 |
| H₂O [mg/kg] | <10 | <10 | <10 | 4 |
| DDF [$*10^{-3}$] | <10 | <15 | <10 | 3 |
| NZ [mg KOH/g] | < 0,03 | <0,03 | <0,01 | <0,01 |
| GFS [mN/m] | > 35 | > 35 | >40 | 44 |
| Korr. Schwefel | Nicht korrosiv | Nicht korrosiv | | Nicht korrosiv |
| DBDS [mg/kg] | <5 | <5 | <3 | 1 |

Frischölwerte – Garantiewerte – Durchschnittswerte

- Garantierte Ölkennwerte und durchschnittlich erreichte nach erfolgter Ölregeneration verglichen mit Grenzwerten nach IEC 60422 und IEC 60296

| | Neuölwerte IEC 60296 | Vor Inbetrieb- nahme IEC 60422 | Garantierter Wert | Ø erreichter Wert |
|------------------------------------|-------------------------|--------------------------------------|----------------------|----------------------|
| U_D [kV] | >70 | >60 | >75 | 80 |
| H₂O [mg/kg] | <30 | <10 | <10 | 4 |
| DDF [$*10^{-3}$] | <5 | <10 | <10 | 3 |
| NZ [mg KOH/g] | < 0,01 | <0,03 | <0,01 | <0,01 |
| GFS [mN/m] | > 40 | > 35 | >40 | 44 |
| Korr. Schwefel | | Nicht korrosiv | | Nicht korrosiv |
| DBDS [mg/kg] | | <5 | <3 | 1 |

Typischer Regenerationsverlauf - Beispiel

• Leistung: 155 MVA

Ölmenge: 34 t

Regenerationsdauer: 11 Tage

| | Start | Nach 2 Tagen | Nach 5 Tagen | Nach 7 Tagen | Nach 9 Tagen | Ende |
|------------------------------------|-------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------|
| Farbzahl | 4 | 3 | 2 | 1 | 0,5 | 0,5 |
| U_D [kV] | 54 | >80 | >80 | >80 | >80 | >80 |
| H₂O [mg/kg] | | 9 | 4 | 3 | 2 | 4 |
| DDF [$*10^{-3}$] | 27,8 | 15,3 | 5,5 | 2,9 | 1,1 | 1,2 |
| NZ [mg KOH/g] | 0,23 | 0,06 | <0,01 | <0,01 | <0,01 | <0,01 |
| GFS [mN/m] | 16,3 | 24,0 | 35,0 | 40,3 | 44,0 | 44,4 |
| Inhibitor | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,35 |

Erfahrungsberichte Ölregenerationen der VHP-DE

- 4 Stk. Transformatoren in Gars und Teufelsbruck am Inn
- 16/20 MVA (6,3/110 kV) BJ 1983
- Gefüllt mit je 9 t Isolieröl – Betriebszustand „Ausreichend“ nach IEC 60422
- Regeneration im laufenden Betrieb
- 27.2.2012 bis 12.3.2012



Regenerationsverlauf – MT2 KW Gars am Inn

- Isolieröl: ----- Ölmenge: 9 t Regenerationsdauer: ca. 72 h
- Ölkennwerte aller 4 Geräte vor und nach Regeneration sehr ähnlich

| | Ausgangs- werte | 48 h | Endwerte |
|--------------------------|--------------------|--------|----------|
| Farbzahl | 3,0 | 1,5 | 1,5 |
| U _D [kV] | 72 | 85 | 92 |
| H ₂ O [mg/kg] | 3,8 | 1,9 | 2,2 |
| DDF [$\cdot 10^{-3}$] | 27,2 | 4,69 | 2,72 |
| NZ [mg KOH/g] | 0,033 | <0,005 | <0,005 |
| GFS [mN/m] | 24,2 | 45,0 | 45,9 |
| Inhibitor | 0,20 | 0,08 | 0,36 |
| Inhibitor - Dimer | 0,09 | | 0,06 |

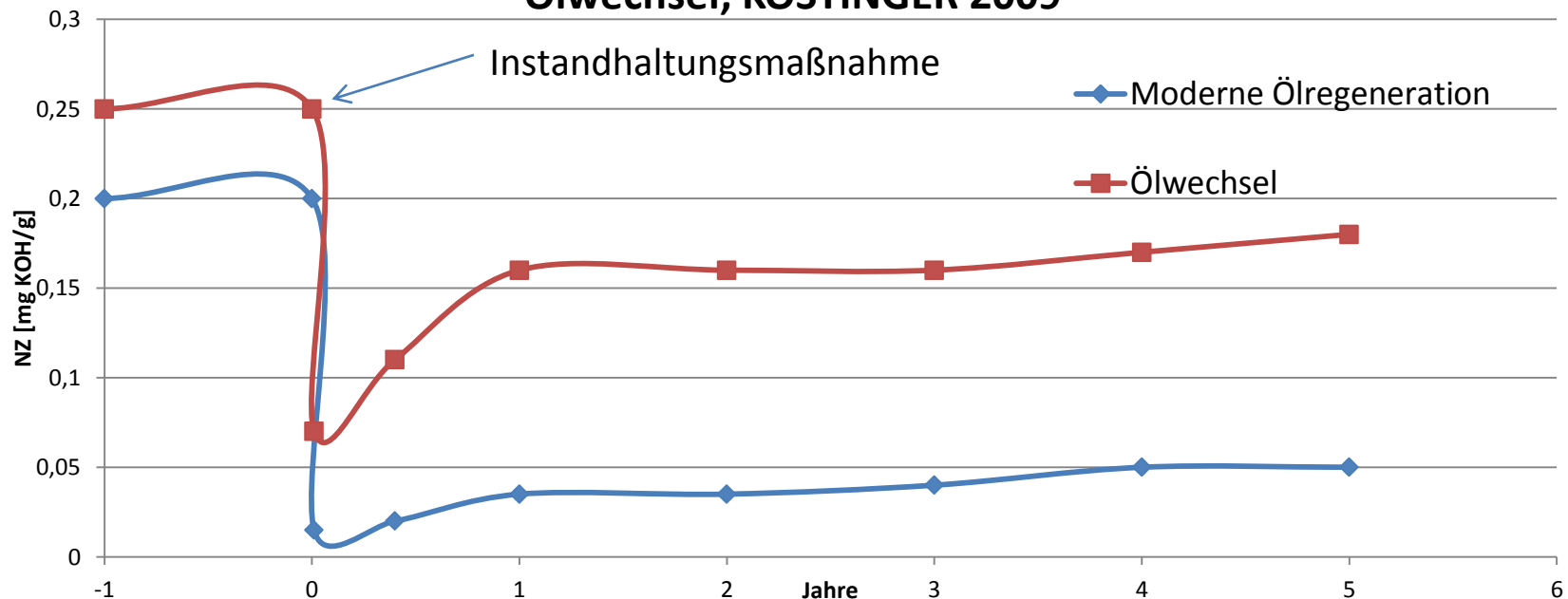


Nachinhibierung!

Langzeitstabilität regenerierter Öle

- Abhängig von Belastung, Kühlung, Bauart, Standort...
- Seit 2000 wurden in Deutschland und Skandinavien über 1000 Transformatoren regeneriert und anschließend z.T. weiter beobachtet

Alterung von Transformatorenöl nach Öregeneration und Ölwechsel; KÖSTINGER 2009



Vergleich Mobile Ölregeneration – Öltausch Nachhaltigkeit

Mobile Ölregeneration

- Entfernung von Alterungsprodukten durch Prozessdauer und Prozesstemperatur auch aus dem KERN
- „Waschen des Kerns“
- Geringer Anstieg von Säuren und Wasser im Öl nach erfolgter Instandhaltungsmaßnahme
- Geringere KOSTEN / Tonne Isolieröl
- Bessere Ökobilanz
- Trafo kann in Betrieb bleiben

Öltausch

- Größerer Anteil an Restöl und Alterungsprodukte verbleiben im KERN
- Gleichgewichtseinstellung zwischen Kern und Öl (Säuren, Wasser...)
- Kosten
- Betriebsunterbrechung notwendig
- Ökologische Nachteile

Zusammenfassung Ölregeneration – Entfernung von Ölalterungsprodukten

Erfahrung Regenerationen VHP

- Das Öl aller 4 regenerierten Transformatoren konnte wieder in „GUTEN“ Zustand gebracht werden
- Alle Garantiewerte wurden eingehalten
- Keinerlei Probleme und Unregelmäßigkeiten während des Prozesses vor Ort

Verfahrens- vorteile

- Neuölqualität erreichbar
- Verbesserung der Isolationswirkung
- Kostengünstig – Kosten unabhängig vom Neuölpreis
- Ökologisch
- Lebensdauerverlängerung durch Entfernung von Alterungsbeschleuniger
- Geeignet für alle Typen von mineralölgefüllten Leistungstransformatoren
- Keine Betriebsunterbrechung
- Guter Langzeiteffekt

Empfehlung

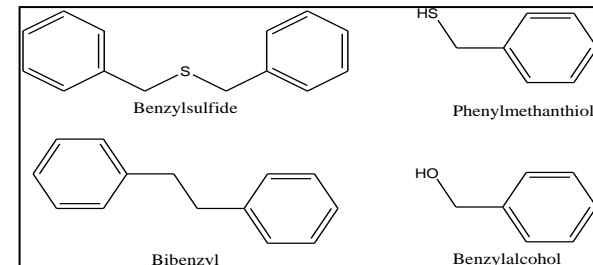
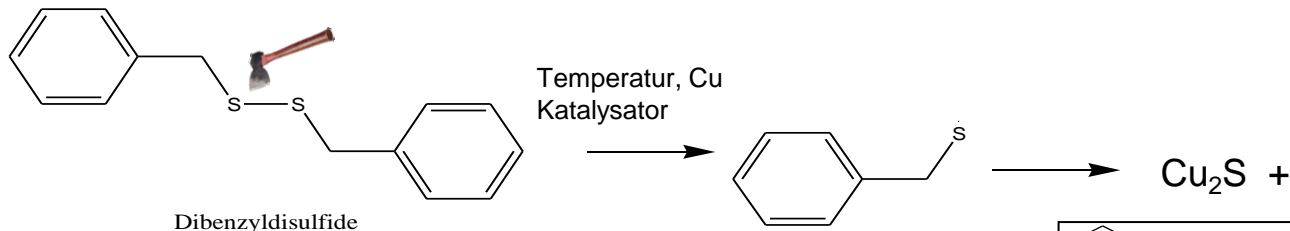
- Empfohlener Zeitpunkt: bei Erreichen des Trafozustandes „Ausreichend“ nach IEC 60422 – GFS: 28 mN/m NZ: 0,1 mgKOH/g

Ergebnisse - Entschwefelung



Entschwefelung – DBDS Entfernung

- Dibenzyldisulfid ist verantwortlich für schwefelkorrosive Eigenschaften
- Kupfersulfidbildung ist stark temperaturabhängig → Start bei ca. 110 ° C



- Betroffen sind vor allem Trafos der BJ 2003-2007, weitere durch Öltauschmaßnahmen und Ölergänzungen
- Über alle Baujahre mehr als 120 betroffene Geräte

Gegenmaßnahmen für risikobehaftete Betriebsmittel

Empfehlungen für potentiell korrosive Betriebsmittel: CIGRÉ Brochures 378 und 445

Gegenmaßnahmen

- Beigabe eines Metallpassivators auf Basis von Benzotriazolderivaten (typ. 100 mg/kg Öl)
 - Passivierung nicht immer zielführend – Thermisch belastete Geräte neigen zum starken Abbau des Passivators
 - Großer Kontrollaufwand (DBDS, Spaltprodukt- und Passivatormessungen) und Instandhaltungsaufwand (Nachpassivierungen)
 - Nicht gewünschte Nebeneffekte wie z. B. „stray gassing“ möglich
- Entfernung korrosiver Schwefelbestandteile („Entschwefelung“)
 - Entfernung entweder durch konventionelle Ölregeneration mit geeignetem Sorptionsmittel oder durch Umwandlung korrosiver in unschädliche Ölverbindungen mittels geeigneter Reagenzien und anschließender Entfernung
- Ölwechsel
 - Bei großen Ölmengen erheblicher Kostenfaktor
 - 5-10 % Restöl verbleiben in den Wicklungen ⇒ Kontamination des Neuöles

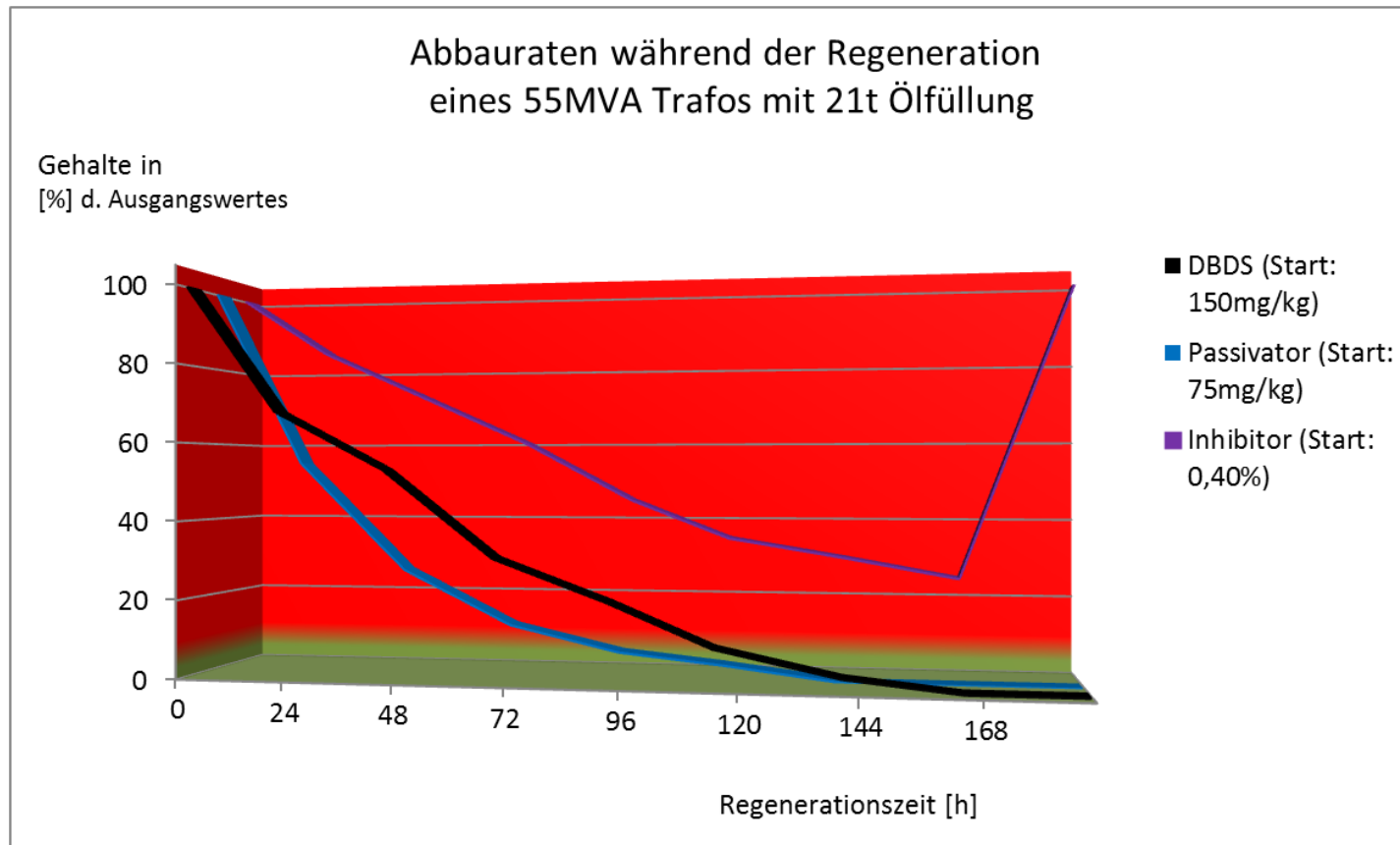
VHP-Entscheidung: nachhaltige Lösung durch Entfernung von DBDS („Entschwefelung“)

Erfahrungsbericht Entschwefelungen der VHP

- 2 Stk. Transformatoren 6 MVA (6/33,5 kV) BJ 2005 am Standort Leoben mit 2,45 t Isolieröl mit 180 mg/kg DBDS, Passiviert
- 1 Stk. Transformator 38,5/55 MVA (10,5/220 kV) BJ 2004 am Standort Edling mit 21 t Isolieröl mit 150 mg/kg DBDS, Passiviert
- Gefüllt mit -----
- Regeneration im laufenden Betrieb



Verlauf - DBDS Entfernung



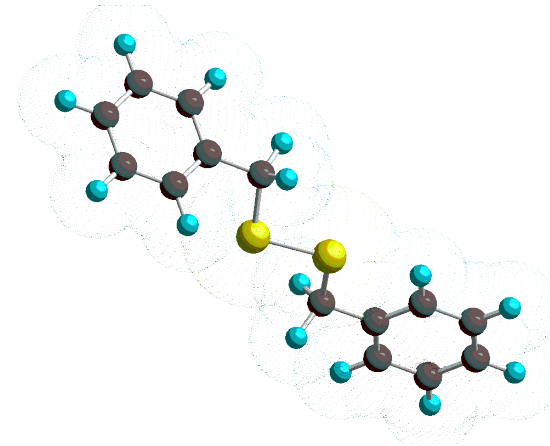
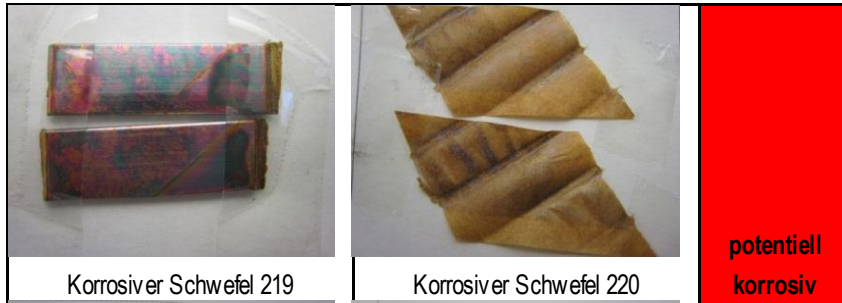
Endwerte – DBDS Entfernungen

- Garantierte Ölkennwerte und durchschnittlich erreichte nach erfolgter Ölregeneration

| | garantierter Wert | Leoben HU1 | Leoben HU2* | Edling HU1 | Ø erreichter Wert |
|--------------------------|-------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| U _D [kV] | | 94 | 92 | 80 | 91 |
| H ₂ O [mg/kg] | <10 | 0,8 | 1,5 | 1,2 | 1,2 |
| DDF [$*10^{-3}$] | <10 | 0,7 | 0,7 | 0,4 | 0,6 |
| NZ [mg KOH/g] | <0,01 | <0,005 | <0,005 | <0,005 | <0,005 |
| GFS [mN/m] | >40 | 48,7 | 50,1 | 48,6 | 49,1 |
| Korr. Schwefel | | Nicht korrosiv | Nicht korrosiv | Nicht korrosiv | Nicht korrosiv |
| DBDS [mg/kg] | <3 | 0,4 | 1,1 | 1,5 | 1 |
| Passivator [mg/kg] | | 0 | 0 | 0 | 0 |

*Oxidationsstabilitätstest nach IEC 61125C vor und nach Ölregeneration durchgeführt

DBDS Entfernung – „Entschwefelung“



Unsere Leistungen zum Thema

Labor St. Andrä der VERBUND Umwelttechnik GmbH und STARKE MINERALÖLWERK GmbH bieten folgende Leistungen zum Thema an

- Erheben des Istzustandes des Isolieröles und Beurteilung nach IEC 60422 bzw. IEC 60599
 - DGA
 - Chem. Phys. Parameter
 - Furananalytik
 - Korrosiver Schwefel, Dibenzylsulfidbestimmung, Passivator
- Handlungsempfehlung
- Mobile Ölregeneration und DBDS Entfernung (“Entschwefelung”) bei laufendem Transformatorbetrieb
- Prozesstechnische und Analytische Überwachung des Regenerationsverlaufes
- Freigabe und Abschlussanalytik
- Beurteilung des Regenerationserfolges durch nachfolgende Analysen

Herzlichen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!