



TRANSFORMER-LIFE-MANAGEMENT  
CONFERENCE

Mobile Transformatorenölregeneration -  
DBDS-Eliminierung mittels MRA Technologie

**Dipl.-Ing. Dirk Flor,  
Starke & Sohn GmbH, Niebüll**



**09/2009 - heute**

Geschäftsführer Starke & Sohn GmbH, Niebüll

- Raffination naphthenischer Rohstoffe, Produktion von Prozess- und Basisölen, Herstellung von Spezialitäten und Fertigprodukten, Serviceleistungen für die Energiewirtschaft

**08/2005 - 03/2009**

Verkaufsleiter Metallbearbeitung Kontinentaleuropa  
D.A. Stuart GmbH, Wuppertal

- Leitung und Steuerung der Vertriebsaktivitäten im Bereich technischer Spezialitäten für die Metallbearbeitungsindustrie in Kontinentaleuropa

**01/1996 - 08/2005**

Verschiedene Management- und Führungsaufgaben in Vertrieb und Marketing technischer Spezialitäten / Schmierstoffe  
TOTAL Deutschland GmbH, Düsseldorf, Berlin, Frankfurt

- Leiter Geschäftsentwicklung Schmierstoffe
- Leiter Industrieschmierstoffe
- Key Account Manager Automotive
- Key Account Manager Industrie
- Ingenieur Verkauf Industrieschmierstoffe

**10/1991 - 12/1995**

Assistent der Geschäftsführung  
Oel-Dahmann GmbH (AVIA-Markengesellschaft), Hagen

- Vertriebssteuerung sowie Leitung der Systempflege  
Kühlschmierstoffe, Umwelttechnik und Ölwehrtechnik, Etablierung eines Entsorgungskonzeptes im Sinne des Kreislaufwirtschaftsgesetzes





**TRANSFORMER-LIFE-MANAGEMENT  
CONFERENCE**

## Mobile Transformatorenölregeneration - DBDS-Eliminierung mittels MRA Technologie

**Mobile  
Transformatorenölregeneration –  
DBDS-Eliminierung mittels MRA-Technologie**

**STARKE & SOHN GmbH**  
MINERALÖLWERK  
Aue • Hannover • Niebüll



**Transformer Life Management  
Tagung 08. und 09. September 2014, Neuss**

Dipl.-Ing. Dirk Flor  
Geschäftsführer Starke & Sohn GmbH  
In Kooperation mit Ing. Mag. Martin Darmann, VERBUND Umwelttechnik GmbH, Oberleitach, AT

**STARKE & SOHN GmbH**  
MINERALÖLWERK  
Aue • Hannover • Niebüll



- Inhalt
  - Begrüßung & Vorstellung
  - Leitlinien der Energiewirtschaft (IEC 60422:2013)
    - Überwachung & Wartung von Isolierölen –
    - Grenzwerte- Spezielle Problematik - DBDS-Dibenzylsulfid - Maßnahmen
  - Informationen aus der Praxis zur DBDS-Problematik
    - Korrosiver Schwefel – Review Verbund
    - Post – Mortale Untersuchungen von betroffenen Geräten
  - Praxis der mobilen Transformatorenölregeneration gealterter & DBDS-haltiger Isolieröle
    - MRA-Technologie
    - Regenerations- & Eliminierungserfolge - Fallbeispiele
    - Ölleistungsdaten nach erfolgter DBDS Entfernung

© Starke & Sohn GmbH, 07/2014



## TRANSFORMER-LIFE-MANAGEMENT CONFERENCE

# Mobile Transformatorenölregeneration - DBDS-Eliminierung mittels MRA Technologie

**STARKE & SOHN GmbH**  
MINERALÖLWERK  
Aue • Hannover • Niebüll



▪ Kurzportrait - Serviceleistungen für die Energiewirtschaft

- Mobile Transformatorenölregeneration (MRA-Technologie)
- Stoffliche Verwertung von  
Gebrauchtölen aus  
Transformatoren und Turbinen
- Produktion, Lagerung & Lieferung  
von Transformatorenölen
- Analyse von  
Transformatorenölen



© Starke & Sohn GmbH, 07 2014

**STARKE & SOHN GmbH**  
MINERALÖLWERK  
Aue • Hannover • Niebüll



▪ Serviceleistungen für die Energiewirtschaft

- Anforderungen aus der Energiewirtschaft an Serviceleistungen
  - HSEQ (bspw. QMS, AMS), Sach- & Fachkompetenz,  
Wirtschaftlichkeit, Unterstützung & Gewährleistung von  
Betriebssicherheiten, Flexibilität, Zuverlässigkeit,  
Erfahrung, Innovation, Partnerschaft...
  - Gesetze, Normen, Spezifikationen,  
Richtlinien, Leitlinien...



... eine entscheidene Leitlinie bzgl. TLM... =>


© Starke & Sohn GmbH, 07 2014



**TRANSFORMER-LIFE-MANAGEMENT  
CONFERENCE**

## Mobile Transformatorenölregeneration - DBDS-Eliminierung mittels MRA Technologie

**STARKE & SOHN GmbH**  
MINERALÖLWERK  
Aue • Hannover • Niebüll




---

- Leitlinien der Energiewirtschaft zur Überwachung & Wartung
  - DIN EN 60422 (VDE 0370-2):2013 / IEC 60422:2013
    - Leitlinie zur Überwachung & Wartung von Isolierölen auf Mineralölbasis in elektrischen Betriebsmitteln
      - Grenzwerte für Isolieröle
        - » Empfohlene Mindestwerte für Öle nach Befüllung neuer Betriebsmittel vor Inbetriebnahme
        - » Empfohlene Werte zur Klassifizierung von Ölen im laufenden Betrieb:
          - „gut“ => normaler Zustand, Standardüberwachung
          - „ausreichend“ => Zustandserkennung, Überwachung intensiver
          - „ungenügend“ => sofortiges Handeln erforderlich
      - Maßnahmenempfehlungen zur Aufbereitung des Öles auf Grundlage der Grenzwerte und regionalen Vorschriften
        - » Rehydrierung
        - » Regenerierung
        - » Ölwechsel
        - » Passierung

© Starke & Sohn GmbH, 07.2018

**STARKE & SOHN GmbH**  
MINERALÖLWERK  
Aue • Hannover • Niebüll



---

- Leitlinien – ungenügende Grenzwerte für Isolieröle im Betrieb

	Leistungstransformatoren / Drosseln über 170 kV (Gerätekategorie A)	Transformatoren von 72,5 – 170 kV (Gerätekategorie B)	Transformatoren/ Drosseln bis 170 kV (Gerätekategorie C)
Durchschlagsspannung [kV]	< 50	< 40	< 30
Dielektrischer Verlustfaktor tanδ bei 90°C	> 0,2	> 0,5	> 0,5
Neutralisationszahl [mg KOH/g]	> 0,15	> 0,2	> 0,3
Grenzflächenspannung [mNm]	< 20 / < 22*	< 20 / < 22*	< 20 / < 22*
Wassergehalt [mg/kg]	> 10	> 15	> 15
Korrosiver Schwefel	korrosiv	korrosiv	korrosiv
DBDS [mg/kg]**	>= 5	>= 5	>= 5

Quelle: DIN EN 60422 (VDE 0370-2):2013, Auszug Tabelle 5, \*Uninhibierte /Inhibierte Öle, \*\* Auszug Tabelle 3, empfohlen vor Inbetriebnahme: < 5ppm

© Starke & Sohn GmbH, 07.2018



## TRANSFORMER-LIFE-MANAGEMENT CONFERENCE

# Mobile Transformatorenölregeneration - DBDS-Eliminierung mittels MRA Technologie

**STARKE & SOHN GmbH**  
MINERALÖLWERK  
Aue • Hannover • Niebüll



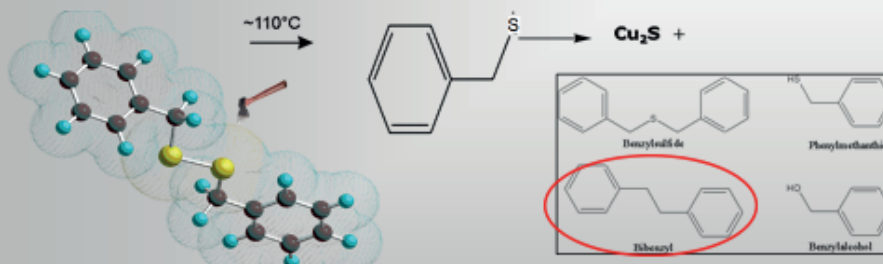
- Spezielle Problematik - DBDS – Dibenzyldisulfid
  - Schwefel in Isolierflüssigkeiten:
    - unterschiedlichste Verbindungen können vorkommen
    - einige haben antioxidierende und metalldeaktivierende Eigenschaften
    - andere können mit Metalloberflächen reagieren und korrosiv auf metallische Komponenten elektrischer Baugruppen wirken
  - korrosiv wirkende Schwefelverbindungen:
    - werden mit dem Ausfall elektrischer Betriebsmittel in Verbindung gebracht
    - insbesondere bei Transformatoren mit hohen Betriebs-/Umgebungstemperaturen und der Anwendung nicht beschichteter Kupferleiter
  - nachteilige Einflüsse von korrosivem Schwefel:
    - werden hierbei insbesondere einer hochspezifisch korrosiven Schwefelverbindung, dem Dibenzyldisulfid (DBDS), zugeschrieben

© Starke & Sohn GmbH, 07.2011

**STARKE & SOHN GmbH**  
MINERALÖLWERK  
Aue • Hannover • Niebüll



- Spezielle Problematik – Reaktion der Kupfersulfidbildung



- Kupfersulfid kann zur Lichtbogenbildung führen
- Sensitive Bestimmung des Reaktionsstarts durch Identifikation von Reaktionsnebenprodukten mittels GC-MS

Ing. Mag. Martin Damann, Verbund Umwelttechnik GmbH, Oberstdorf, AT


© Starke & Sohn GmbH, 07.2011



**TRANSFORMER-LIFE-MANAGEMENT  
CONFERENCE**

## Mobile Transformatorenölregeneration - DBDS-Eliminierung mittels MRA Technologie

**STARKE & SOHN GmbH**  
MINERALÖLWERK  
Aue • Hannover • Niebüll



---

- Spezielle Problematik - DBDS – welche Geräte sind betroffen ?
  - Prinzipiell alle Geräte mit „ungenügenden“ Werten nach IEC 60422:2013


	Leistungstransformatoren / Drosseln über 170 kV (Gerätekat. A)	Transformatoren von 72,5 – 170 kV (Gerätekat. B)	Transformatoren / Drosseln bis 170 kV (Gerätekat. C)
Korrosiver Schwefel	korrosiv	korrosiv	korrosiv
DBDS (mg/kg)	≥ 5	≥ 5	≥ 5

- Wir erinnern uns: Grenzwerte für Isolieröle
  - » Empfohlene Mindestwerte für Öle nach Befüllung neuer Betriebsmittel vor Inbetriebnahme
  - » Empfohlene Werte zur Klassifizierung von Ölen im laufenden Betrieb:

bei „ungelegentlich“ => sofortiges Handeln erforderlich !!

© Starke & Sohn GmbH, 07.2018

**STARKE & SOHN GmbH**  
MINERALÖLWERK  
Aue • Hannover • Niebüll



---

- Leitlinien & Empfehlungen der Energiewirtschaft zur Wartung
  - Regenerierung
    - Kombination: Filtration, Vakuumtrocknung, Adsorption (Physisorption / Chemisorption), Rücksättigungen aus Kern ins Umlauföl, Entfernung löslicher oder unlöslicher polarer Alterungsprodukte
    - es kann ein Öl erzeugt werden, das ursprünglich der IEC 60296 entsprochen hat und auf eine akzeptable Qualität wiederhergestellt wird
    - by-pass-Lösungen im laufenden Betriebszustand sind Stand der Technik
    - Wartungsempfehlung für potentiell korrosive Betriebsmittel gemäß CIGRÉ Brochures 378 und 445 und IEC 60422:2013
    - DBDS-Eliminierung absolut möglich, ggf. die nachhaltigste Methode bei größeren Ölmengen & ohne Betriebsunterbrechung ?


© Starke & Sohn GmbH, 07.2018




## TRANSFORMER-LIFE-MANAGEMENT CONFERENCE

# Mobile Transformatorenölregeneration - DBDS-Eliminierung mittels MRA Technologie

**STARKE & SOHN GmbH**  
MINERALÖLWERK  
Aue • Hannover • Niebüll



- Praxiserfahrungen & Kooperationspartner
  - EKZ & Verbund
    - Kooperationspartner in CH & AT bzgl.
      - Mobiler Transformatorenöl-Regeneration
    - Verbund Umwelttechnik GmbH
      - Spez.: Projekte bzgl. DBDS-Eliminierung



© Starke & Sohn GmbH, 07.2011

**STARKE & SOHN GmbH**  
MINERALÖLWERK  
Aue • Hannover • Niebüll



- VERBUND Labor - Praxiserfahrungen\*
  - ca. 2500 Untersuchungen auf Potentiell Korrosiven Schwefel nach EN 62535 seit 2007
    - Isolieröle aus Transformatoren, Hochspannungsmesswandler, Schalter, Fass-/Lagerware, Ölsorten und Produktionschargen div. Hersteller
    - Ergänzende Messungen an DBDS und Spaltprodukten aus dem Abbau von DBDS



**Ergebnisse**

- Nach EN 62535 wurden 245 Isolierölproben positiv getestet
- Öl mehrerer Hersteller betroffen
- Je nach Ölhersteller sind hauptsächlich Geräte der Baujahre 1995-2007 betroffen
- Durch Öltausch und Ölnachfüllungen wurden auch ältere Geräte kontaminiert
- DBDS Gehalte von 3 - 180mg/kg

\* Ing. Mag. Martin Damann, Verbund Umwelttechnik GmbH, Oberstelsach, AT

© Starke & Sohn GmbH, 07.2011



## TRANSFORMER-LIFE-MANAGEMENT CONFERENCE

# Mobile Transformatorenölregeneration - DBDS-Eliminierung mittels MRA Technologie

STARKE & SOHN GmbH  
MINERALÖLWERK  
Aue • Hannover • Niebüll

Verbund 

- VERBUND\* - Revision eines 3150 kVA Transformators

Trafo-  
daten

- Öl-Leistungstransformator in Hermetikausführung mit Rippenkessel, 3150kVA, BJ: 2004 (2013 Anbau Ausdehngefäß)

- 1,1t Isolierölfüllung **150mg/kg DBDS**

#### Gehalt

- Betriebstemperatur bis 70°C  
Öltemperatur
- Schleppzeigertemperatur 85°C
- nicht passiviert



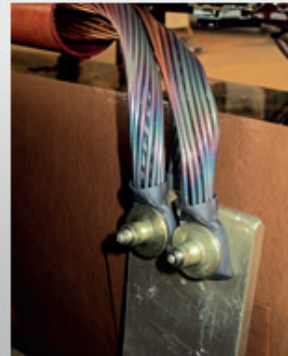
\* Ing. Mag. Martin Damann, Verbund Umwelttechnik GmbH, Oberstlach, AT

© Starke & Sohn GmbH, 07.2018

STARKE & SOHN GmbH  
MINERALÖLWERK  
Aue • Hannover • Niebüll

Verbund 

- VERBUND\* - Kupfersulfidschicht an mehreren Teilen



Vollständig mit Kupfersulfid überzogener Kabelschuh und Kupferleiter

\* Ing. Mag. Martin Damann, Verbund Umwelttechnik GmbH, Oberstlach, AT

© Starke & Sohn GmbH, 07.2018





TRANSFORMER-LIFE-MANAGEMENT  
CONFERENCE

Mobile Transformatorenölregeneration -  
DBDS-Eliminierung mittels MRA Technologie

STARKE & SOHN GmbH  
MINERALÖLWERK  
Aue • Hannover • Niebüll

Verbund STARKE  
MINERALÖLWERK

- VERBUND\* - Kupfersulfidschicht an mehreren Teilen

Vollständig mit Kupfersulfid überzogener Kabelschuh

\* Ing. Mag. Martin Damann, Verbund Umwelttechnik GmbH, Oberstdorf, AT

© Starke & Sohn GmbH, 07.2014

STARKE & SOHN GmbH  
MINERALÖLWERK  
Aue • Hannover • Niebüll

Verbund STARKE  
MINERALÖLWERK

- VERBUND\* - REM – EDX Untersuchung des Bauteiles

Element	Massen%	Atom%
Cu	24,47	80,00
S	75,53	20,00

→ Leitendes Kupfersulfid welches sich ablöst

\* Ing. Mag. Martin Damann, Verbund Umwelttechnik GmbH, Oberstdorf, AT

© Starke & Sohn GmbH, 07.2014



TRANSFORMER-LIFE-MANAGEMENT  
CONFERENCE

## Mobile Transformatorenölregeneration - DBDS-Eliminierung mittels MRA Technologie


**STARKE & SOHN GmbH**  
MINERALÖLWERK  
Aue • Hannover • Niebüll

**Verbund** **STARKE**  
MINERALÖLWERK

- VERBUND\* - Post Mortale Untersuchung 1000 kVA Transformators

Trafo-  
daten

- Öl-Leistungstransformator ohne Luftabschluss mit Rippenkessel, 1000kVA, BJ: 2004
- ca. 700kg Isolierölfüllung **150mg/kg DBDS Gehalt**
- Betriebstemperatur bis 60°C, ca. 80% Last
- 2009 **passiviert**
- 2013 ausgeschieden und zerlegt



\* Ing. Mag. Martin Damann, Verbund Umwelttechnik GmbH, Oberstlach, AT

© Starke & Sohn GmbH, 07.2014

**STARKE & SOHN GmbH**  
MINERALÖLWERK  
Aue • Hannover • Niebüll

**Verbund** **STARKE**  
MINERALÖLWERK

- VERBUND\* - Ölkennwerte DRS HU Wehr

DGA	• Kohlenoxidgase erhöht, Heißstellengase unauffällig
CHEM/PHYS	• Starke Ölalterung (Grenzflächenspannung von 43 auf 35mN/m bis 2012, Säurezahl gestiegen auf 0,03 mgKOH/g, Inhibitorabbau von 0,38% auf 0,29%)
Schwefel	• Potentiell Korrosiv nach EN62535 • DBDS Gehalt: 150mg/kg
Passivator	• März 2009 Passivatorzugabe auf 104mg/kg • August 2009 Passivatorabbau auf 31mg/kg • → Isolieröl wieder korrosiv nach EN62535
Spaltprodukte	• 2011 Identifikation von Bibenzyl als Abbauprodukt der Kupfersulfidbildung mittels GC/MS

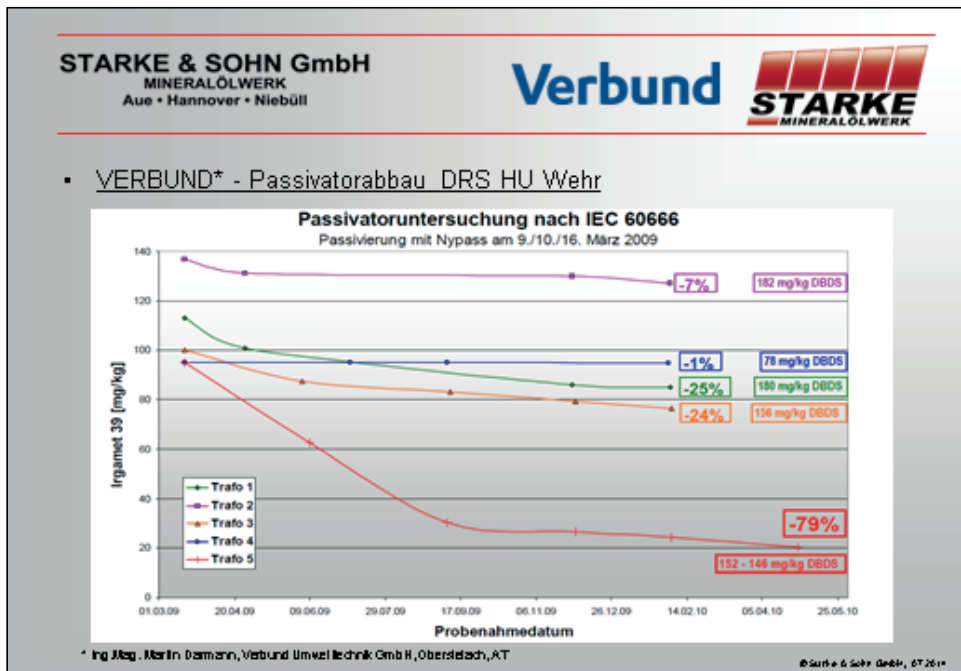
\* Ing. Mag. Martin Damann, Verbund Umwelttechnik GmbH, Oberstlach, AT

© Starke & Sohn GmbH, 07.2014



TRANSFORMER-LIFE-MANAGEMENT  
CONFERENCE

# Mobile Transformatorenölregeneration - DBDS-Eliminierung mittels MRA Technologie



**STARKE & SOHN GmbH**  
MINERALÖLWERK  
Aue • Hannover • Niebüll

**Verbund** **STARKE**  
MINERALÖLWERK

- VERBUND\* - Identifikation von Spaltprodukten bei Cu<sub>2</sub>S Bildung

**Grundlagen**

- Durchführung von Laborversuchen mit korrosiven Ölen in Anlehnung an EN62535
- Identifikation von Nebenprodukten bei der Bildung von Cu<sub>2</sub>S mittels GC-MS
- Bibenzyl, Benzylmercaptan, Benzylsulfid, Benzylalkohol
- Sea Marconi, Doble

**Analyse von Betriebsölen**

- Suche nach Spaltprodukten in Isolierölen aus Geräten mit DBDS-haltigen Isolierölfüllungen (2010-2011 nur VERBUND interne Geräte)

**Ergebnis**

- DRS HUW
- Bibenzyl identifiziert
- Hinweis auf bereits gebildetes Kupfersulfid

\* Ing. Mag. Martin Damann, Verbund Umwelttechnik GmbH, Oberstlach, AT  
© Starke & Sohn GmbH, 07.2010



## TRANSFORMER-LIFE-MANAGEMENT CONFERENCE

# Mobile Transformatorenölregeneration - DBDS-Eliminierung mittels MRA Technologie

**STARKE & SOHN GmbH**  
MINERALÖLWERK  
Aue • Hannover • Niebüll

**Verbund** **STARKE**  
MINERALÖLWERK

- VERBUND\* - Identifikation von Kupfersulfid

**Korrosiver Schwefel** 24.10.2013 14:28:07

Spektrometrieart: Wavelength Dispersive Spectrometry  
Wavelength Dispersive Spectrometry  
Analyse Parameter: S

Verfahrenskategorie: Alle Elemente analysiert (Normalwert)  
Analyse Parameter: S

Standard:  
C: CuCO<sub>3</sub> 1. Juni 1999 12:00 AM  
O: Sulfid 1. Juni 1999 12:00 AM  
S: FeS<sub>2</sub> 1. Juni 1999 12:00 AM  
Cu: Cu 1. Juni 1999 12:00 AM

Element/Masse% Atom%

O K	43.14	81.76
S K	52.20	47.01
S K	0.62	0.57
Cu K	3.84	3.57

Werte: 100.00

Skizzenbild 1

\* Ing. Mag. Martin Damann, Verbund Umwelttechnik GmbH, Oberstlach, AT

© Starke & Sohn GmbH, 07.2011

**STARKE & SOHN GmbH**  
MINERALÖLWERK  
Aue • Hannover • Niebüll

**Verbund** **STARKE**  
MINERALÖLWERK

- VERBUND\* - Zusammenfassung Post Mortaler Untersuchungen
  - Zwei von zwei untersuchten Geräten zeigten eindeutig Kupfersulfidausbildung
  - Geräte mit hoher Betriebstemperatur, welche aber unter der experimentell ermittelten Starttemperatur (~110°C) liegt – Temperaturverteilung, Hot Spots
  - Fachliteratur beschreibt Cu<sub>2</sub>S Bildung bei sehr langsamer Reaktion bereits ab 80°C Ötemperatur [DOBLE, 2013]
  - Bibenzyl möglicher Marker für Reaktionsstart
  - Passivierung keine dauerhafte Lösung für das Problem der Schwefelkorrosion
  - Notwendigkeit der Kontrolle des Passivatorabbaues - anfangs mind. halbjährlich
  - Weitere Post Mortale Untersuchungen von DBDS-haltigen Trafos folgen

\* Ing. Mag. Martin Damann, Verbund Umwelttechnik GmbH, Oberstlach, AT

© Starke & Sohn GmbH, 07.2011



## TRANSFORMER-LIFE-MANAGEMENT CONFERENCE

# Mobile Transformatorenölregeneration - DBDS-Eliminierung mittels MRA Technologie

**STARKE & SOHN GmbH**  
MINERALÖLWERK  
Aue • Hannover • Niebüll



- VERBUND\* - Schlußfolgerungen & Entscheidungen
  - VERBUND & APG bevorzugen die DBDS-Eliminierung aus dem Isolieröl gegenüber einer Passivierung
  - VERBUND & APG beurteilen die mobile Transformatorenöl-Regeneration als bestmögliche & nachhaltigste Maßnahme zur DBDS-Eliminierung aus Isolierölen

\* Ing. Mag. Martin Damann, Verbund Umwelttechnik GmbH, Oberstlach, AT

© Starke & Sohn GmbH, 07.2018

**STARKE & SOHN GmbH**  
MINERALÖLWERK  
Aue • Hannover • Niebüll



- MRA-Technologie: Mobile Regenerations Anlagen - Technologie
  - langjährige Praxiserfahrung
  - kontinuierliche Optimierung
  - eigenständige Entwicklung
  - stetige Investitionen
  - zwei Anlagen



© Starke & Sohn GmbH, 07.2018



## TRANSFORMER-LIFE-MANAGEMENT CONFERENCE

# Mobile Transformatorenölregeneration - DBDS-Eliminierung mittels MRA Technologie

**STARKE & SOHN GmbH**  
MINERALÖLWERK  
Aue • Hannover • Niebüll




- MRA-Technologie – 2 Anlagen: MRA-Pocket und MRA-4x4



© Starke & Sohn GmbH, 07.2018

**STARKE & SOHN GmbH**  
MINERALÖLWERK  
Aue • Hannover • Niebüll



- MRA – Verfahrenstechnik – Prozesskopplung
  - konventionelle Ölaufbereitungsanlage (Temperatur – Vakuum) in Reihe mit hochadsorptivem Filterbett
  - Aktiviertes Adsorptionsmittel („Fullererde“) als Medium mit sehr großer Oberfläche
  - Chemisorption/Physisorption: Entfernung von Alterungsprodukten aus dem Isolieröl
  - Adsorptionsmittel nach Sättigung mit herausgefilterten Verunreinigungen **reaktivierbar**
  - Prozessdauer (abhängig vom Grad der Verschmutzung) etwa 5 – 21 Tage
  - nach erfolgter Ölregeneration wird eine Inhibierung des Isolieröls empfohlen

© Starke & Sohn GmbH, 07.2018



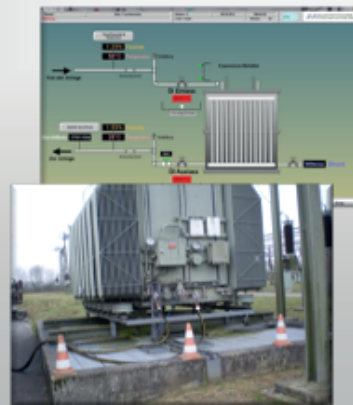
## TRANSFORMER-LIFE-MANAGEMENT CONFERENCE

# Mobile Transformatorenölregeneration - DBDS-Eliminierung mittels MRA Technologie

**STARKE & SOHN GmbH**  
MINERALÖLWERK  
Aue • Hannover • Niebüll



- MRA – Sicherheitseinrichtungen
  - vollautomatische Steuerung
  - Luftfallen und Rückschlagklappen am Trafoein- & -ausgang, pneumatisches Ventil am Trafoausgang
  - Durchflusskontrolle & Drucküberwachung
  - UMTS Fernwartung / Datenübertragung, WLAN Fernwartung für den Nahbereich
  - kundenspezifische Sicherheitseinrichtungen integrierbar



© Starke & Sohn GmbH, 07.2018

**STARKE & SOHN GmbH**  
MINERALÖLWERK  
Aue • Hannover • Niebüll



- MRA – Fachpersonal
  - Abschluß IHK in Mechanik / Elektrotechnik
  - sicherheitsüberprüft für die Zulassung in kerntechnischen Anlagen
  - SCC geschult
  - gemäß WHG § 19 geschult
  - EuP - Verhalten im Umspannwerk



© Starke & Sohn GmbH, 07.2018



## TRANSFORMER-LIFE-MANAGEMENT CONFERENCE

# Mobile Transformatorenölregeneration - DBDS-Eliminierung mittels MRA Technologie

**STARKE & SOHN GmbH**  
MINERALÖLWERK  
Aue • Hannover • Niebüll



- Basis für eine Transformatorenöl - Regeneration
  - Anwendung der DIN EN 60422 (VDE 0370-2) / IEC 60422:2013
  - Vorhandene Isolierölanalytik (TP-DGA, Chem. Phys. Parameter, Furane, PCB, bei Entschwefelungen: Testnach EN 62535, DBDS Gehalt, Passivatorgehalt)  
**PCB-Freiheit gefordert, unterhalb der Nachweisgrenze**
  - Analyseauswertung mit objektiver Handlungsempfehlung; optimal in Kombination mit einer Gas-in-Öl-Analyse & Furananalyse
  - Verfügbarkeit von Ressourcen (timing, budget), Begehung vor Ort
  - Vorteile & Nutzen für den Transformatorenbetreiber

© Starke & Sohn GmbH, 07.2018

**STARKE & SOHN GmbH**  
MINERALÖLWERK  
Aue • Hannover • Niebüll



- MRA – Dienstleistung
  - Regeneration des Transformatorenöles im laufenden Betriebes des Transformators (laufender Produktionsbetrieb)
  - Aufstellung und Inbetriebnahme der mobilen Regenerationsanlage, Betrieb und Betreuung über den Regenerationszeitraum inkl. Material (ggf. Trafoöl, Inhibitoren)
  - prozessbegleitende Dokumentation sowie Analytik, insbesondere Nachweis der garantierten Grenzwerte nach der Regeneration
  - sach- und fachgerechte Entsorgung/Verwertung anfallender Reststoffe
  - Projektbezogene Angebotsgestaltung:  
Zustand A vorher => Zustand B nacher = fixes Invest X

© Starke & Sohn GmbH, 07.2018





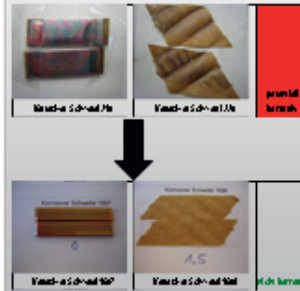
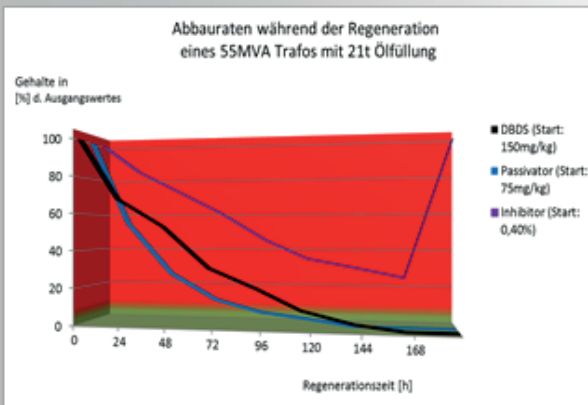
TRANSFORMER-LIFE-MANAGEMENT  
CONFERENCE

# Mobile Transformatorenölregeneration - DBDS-Eliminierung mittels MRA Technologie

STARKE & SOHN GmbH  
MINERALÖLWERK  
Aue • Hannover • Niebüll



• VERBUND\* - Fallbeispiel – DBDS-Eliminierung



\* Ing. Mag. Martin Demann, Verbund Umwelttechnik GmbH, Oberstdorf, AT

© Starke & Sohn GmbH, 07/2011

STARKE & SOHN GmbH  
MINERALÖLWERK  
Aue • Hannover • Niebüll



• VERBUND – Fallbeispiele – DBDS-Eliminierung

	garantierter Wert	Eschen Tr. 11	Leoben HU2*	Kaprun RHU5	erreichter Wert
U <sub>D</sub> [kV]		93	92	92	87
H <sub>2</sub> O [mg/kg]	<10	2,9	1,5	2,0	1,7
DDF [ <sup>*</sup> 10 <sup>-2</sup> ]	<10	0,5	0,7	0,3	0,9
NZ [mg KOH/g]	<0,01	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
GFS [mN/m]	>40	48,9	49,1	49,9	49,0
Korr. Schwefel		Nicht korrosiv	Nicht korrosiv	Nicht korrosiv	Nicht korrosiv
DBDS [mg/kg]	<3	<0,5	1,1 (3)**	1,1	1
Passivator [mg/kg]			0		0

Quelle: Ing. Mag. Martin Demann, Oxidationsstabilitätsindex nach IEC 61125 vor und nach Ölregeneration durchgeführt  
\*\* nach 2 Jahren Rückfälligung

© Starke & Sohn GmbH, 07/2011



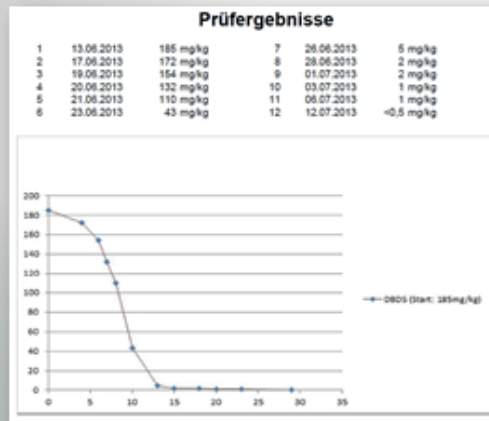
TRANSFORMER-LIFE-MANAGEMENT  
CONFERENCE

# Mobile Transformatorenölregeneration - DBDS-Eliminierung mittels MRA Technologie

**STARKE & SOHN GmbH**  
MINERALÖLWERK  
Aue • Hannover • Niebüll



- Übertragungsnetzbetreiber Deutschland – DBDS-Eliminierung
  - 350 MVA/400KV Trafo
  - Ölvolumen von 82 t
  - Start: 182 ppm DBDS
  - Ende: < 0,5 ppm DBDS



© Starke & Sohn GmbH, 07/2013

**STARKE & SOHN GmbH**  
MINERALÖLWERK  
Aue • Hannover • Niebüll



- Übertragungsnetzbetreiber Deutschland – DBDS-Eliminierung

**Prüfergebnisse**

Eigenschaft	Prüfmethode	Start Probe 1 25821	Ende Probe 12 25822	Grenzwert* Einheit
Datum		13.06.2013	12.07.2013	
Farbzahl	ISO 2049	1,0,5	1,0,5	
Reinheit	VDE 0370	blank	blank	Bodensatz
Neutralisationszahl	IEC 62021-1	<0,01	<0,01	<=0,15 mg KOH/g Öl
Durchschlagsspannung	IEC 60156	65,3	87,3	>=50 kV
Verlustfaktor bei 50 Hz	IEC 60247	0,0007	0,0008	<0,20
Wassergehalt (20°C)	IEC 60814	3	3	<=5 mg H <sub>2</sub> O/kg Öl
Dichte bei 20°C	DIN 51757	868		- g/ml
Brechungszahl	DIN 51423	1,478		-
Grenzflächenspannung	ASTM D971	45,4	48,9	>=22 mN/m
Inhibitorgehalt	IEC 60696	0,02	0,35	- %
Ag-Silberstreifenfest	DIN 51353	nicht korrosiv	nicht korrosiv	-
pot. Korrosiver Schwefel	IEC 62535	korrosiv	nicht korrosiv	-
PCB - Gehalt	DIN 12766 -1,2	n.n.	n.n.	- mg/kg
Dibenzylsulfide	DIN EN 62697-1	185	<0,5	- mg/kg

\* Grenzwerte nach IEC 60422:2005 (DIN VDE 037502:2007-2)

**Bewertung** Das Öl entspricht nach der Regeneration den Anforderungen der IEC 60422. Das DBDS konnte vollständig eliminiert werden.


© Starke & Sohn GmbH, 07/2013



## TRANSFORMER-LIFE-MANAGEMENT CONFERENCE

# Mobile Transformatorenölregeneration - DBDS-Eliminierung mittels MRA Technologie

**STARKE & SOHN GmbH**  
MINERALÖLWERK  
Aue • Hannover • Niebüll




- Übertragungsnetzbetreiber Deutschland – DBDS-Eliminierung

**Prüfergebnisse**



Datum	Ergebnis (mg/kg)
1. 13.06.2013	185
2. 17.06.2013	172
3. 19.06.2013	154
4. 20.06.2013	132
5. 21.06.2013	110
6. 23.06.2013	43
7. 26.06.2013	5
8. 28.06.2013	2
9. 01.07.2013	2
10. 03.07.2013	1
11. 06.07.2013	1
12. 12.07.2013	<0,5

© Starke & Sohn GmbH, 07.2013

**STARKE & SOHN GmbH**  
MINERALÖLWERK  
Aue • Hannover • Niebüll



- Fallbeispiele – DBDS-Eliminierung:
  - 10 Projekte bisher in Österreich
    - 1 MVA – 250 MVA
    - 1t – 56t Ölinhalt
    - 50 – 180 mg/kg DBDS / teilweise passiviert
  - 5 Großprojekte in Deutschland
    - 200 MVA – 350 MVA
    - 44 – 92 t Ölinhalt




© Starke & Sohn GmbH, 07.2013



**TRANSFORMER-LIFE-MANAGEMENT  
CONFERENCE**

## Mobile Transformatorenölregeneration - DBDS-Eliminierung mittels MRA Technologie

**STARKE & SOHN GmbH**  
MINERALÖLWERK  
Aue • Hannover • Niebüll




• Grenzwerte / Garantiewerte / Durchschnittswerte

	170 – 400 kV (Kategorie A)*	72,5 – 170 kV (Kategorie B)†	garantierte Werte nach MRA- Regeneration	durchschnittliche Werte nach MRA- Regeneration
DSP [kV]	< 50	< 40	> 75	80
DDF (tanδ bei 90°C)	> 0,2	> 0,5	<= 0,005** (0,01)	0,003
NZ [mg KOH/g]	> 0,15	> 0,2	< 0,01	< 0,01
GSP [mN/m]	< 22	< 22	> 40	44
H2O [mg/kg]	> 10	> 15	< 5** (10)	4
Korrosiver Schwefel	korrosiv	korrosiv	Nicht korrosiv	Nicht korrosiv
DBDS (mg/kg)**	>= 5	>= 5	< 3** (5)	<= 1

\*Quelle: DIN EN IEC 60422:2013(VDE E0370-2), Auszug Tabelle 5, \*\*Auszug Tabelle 3, vor Inbetriebnahme: < 5ppm  
\*\*sofern Öltemperatur >= 45°C während 70% der Regenerationszeit garantiert ist

© Starke & Sohn GmbH, 07.2014

**STARKE & SOHN GmbH**  
MINERALÖLWERK  
Aue • Hannover • Niebüll



• Frischöl-/ Inbetriebnahme-/ Garantie-/ und Durchschnittswerte

	Frischölwerte ex Lieferant nach IEC 60296	Ölwerte vor Inbetriebnahme nach IEC 60422	garantierte Werte nach MRA- Regeneration	durchschnittliche Werte nach MRA- Regeneration
DSP [kV]	min. 70	> 60*	> 75	80
DDF (tanδ bei 90°C)	max. 0,005	max. 0,010**	<= 0,005*** (0,01)	0,003
NZ [mg KOH/g]	max. 0,01	max. 0,03	< 0,01	< 0,01
GSP [mN/m]	min. 40	min. 35	> 40	44
H2O [mg/kg]	max. 30	< 10	< 5*** (10)	4
Korrosiver Schwefel		nicht korrosiv	Nicht korrosiv	Nicht korrosiv
DBDS (mg/kg)		< 5 (NWG)	< 3*** (5)	<= 1

\*: Öl < 170 kV: >= 55    \*\*: Öl < 170 kV: max. 0,015    \*\*\*: sofern Öltemperatur >= 45°C während 70% der Regenerationszeit garantiert ist

© Starke & Sohn GmbH, 07.2014



## TRANSFORMER-LIFE-MANAGEMENT CONFERENCE

# Mobile Transformatorenölregeneration - DBDS-Eliminierung mittels MRA Technologie

**STARKE & SOHN GmbH**  
MINERALÖLWERK  
Aue • Hannover • Niebüll



- Fazit:

Die MRA-Technologie kann mit Blick auf die korrosiven Eigenschaften von Betriebsölen, analytisch bestimmt anhand der Methoden Ag-Silberstreifenfest: DIN 51353, pot. korrosiver Schwefel: IEC 62535 und DBDS: DIN EN 62697-1, als effiziente Methode zur Verbesserung des Ölzustandes eingesetzt werden.

Die MRA-Technologie bietet mit Blick auf die DBDS-Thematik eine effektive Möglichkeit zur Erhöhung der Betriebssicherheit von Transformatoren jeglicher Leistungsklassen und Größen.

...und darüber hinaus..

© Starke & Sohn GmbH, 07.2018

**STARKE & SOHN GmbH**  
MINERALÖLWERK  
Aue • Hannover • Niebüll



- MRA - Mobile Transformatorenölregeneration

- Ressourcenschonend
  - Neuölqualität ohne Ölwechsel
- Bypass-Fahrweise
  - keine Betriebsunterbrechung erforderlich
- Effektivste Systemreinigung
  - erhöht die Lebensdauer & Betriebssicherheit




© Starke & Sohn GmbH, 07.2018




TRANSFORMER-LIFE-MANAGEMENT  
CONFERENCE

## Mobile Transformatorenölregeneration - DBDS-Eliminierung mittels MRA Technologie

**STARKE & SOHN GmbH**  
MINERALÖLWERK  
Aue • Hannover • Niebüll



- Mobile Transformatorenölregeneration - Referenzen



© Starke & Sohn GmbH, 07.2014

**STARKE & SOHN GmbH**  
MINERALÖLWERK  
Aue • Hannover • Niebüll



Herzlichen Dank  
für Ihre  
Aufmerksamkeit

© Starke & Sohn GmbH, 07.2014



## Mobile Transformatorenölregeneration - DBDS-Eliminierung mittels MRA Technologie

### **Zusammenfassung:**

Bei Anwesenheit von Diebenzylsulfid (DBDS) in Isolierölen kann es im Betrieb von Tztransformatoren zur Bildung von Kupfersulfid-Ablagerungen in oder auf der Zelluloseisolierung und damit verbunden zur Lichtbogenbildung zwischen benachbarten Scheibenwicklungen oder Leitern einer Wicklung kommen.

Eine zunehmend an Bedeutung gewinnende Alternative zur Passivierung oder zum Ölaustausch ist die direkte Entfernung von DBDS mit Hilfe einer gezielten Adsorptionstechnologie im laufenden Betrieb des Transformators.

Erfolgreich durchgeführte Projekte werden vorgestellt und verdeutlichen, dass die MRA-Technologie aus dem Hause Starke & Sohn eine effektive & nachhaltige Möglichkeit zur Eliminierung von DBDS und damit zur Erhöhung der Betriebssicherheit von Transformatoren jeglicher Leistungsklassen und Größen bietet.

### **Autor:**

Dirk Flor

Starke & Sohn GmbH

Schmiedestraße 14

25899 Niebüll

Mail: [flor@nf-oel.de](mailto:flor@nf-oel.de)

Tel: 0049 – 178 50 90 999