

Mobile Transformatorölnöregeneration – 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, Obersielach, AT

- 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

- 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



- 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...=>



- 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“ => Zustandsverschlechterung, Überwachung intensivieren
 - „ungenügend“ => sofortiges Handeln erforderlich
 - Maßnahmenempfehlungen zur Aufbereitung des Öles auf Grundlage der Grenzwerte und regionalen Vorschriften
 - » Rekonditionierung
 - » Regenerierung
 - » Ölwechsel
 - » Passivierung

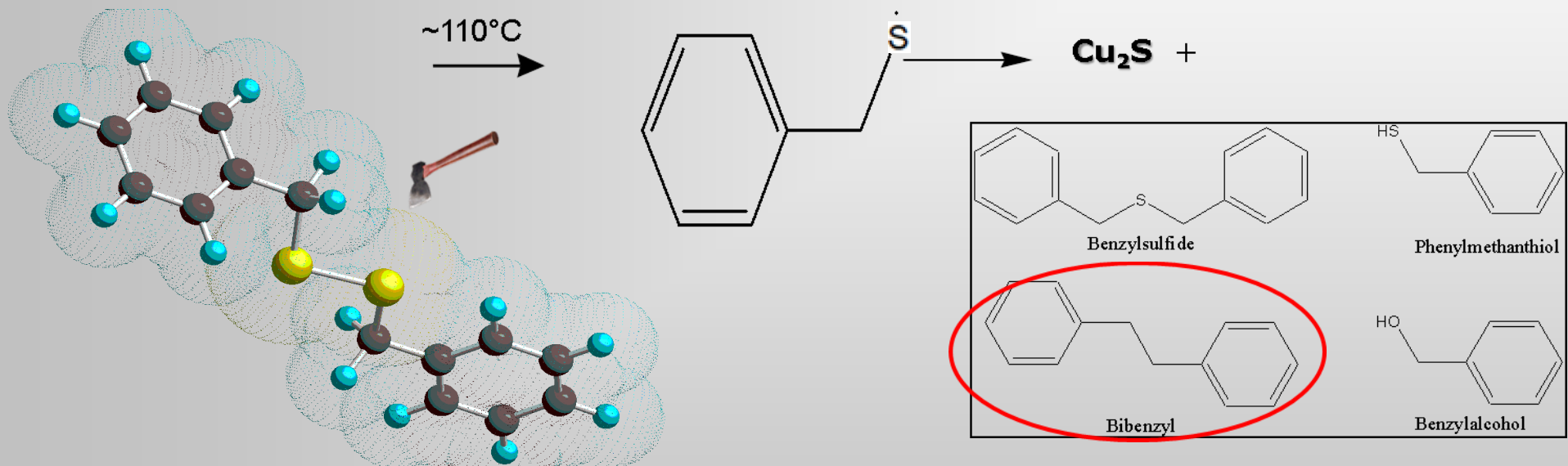
• Leitlinien – ungenügende Grenzwerte für Isolieröle im Betrieb

	Leistungstransformatoren / Drosseln über 170 kV (Gerätekat. A)	Transformatoren von 72,5 – 170 kV (Gerätekat. B)	Transformatoren / Drosseln bis 72,5 kV (Gerätekat. 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 [mN/m]	< 20 / < 22*	< 20 / < 22*	< 20 / < 22*
Wassergehalt [mg/kg]	> 20	> 30	> 40
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

- Spezielle Problematik - DBDS – Dibenzylidisulfid
 - 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 Dibenzylidisulfid (DBDS), zugeschrieben

- Spezielle Problematik – Reaktion der Kupfersulfidbildung



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

- 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 „ungenügend“ => sofortiges Handeln erforderlich !!

- 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 ?

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



- 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

• 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

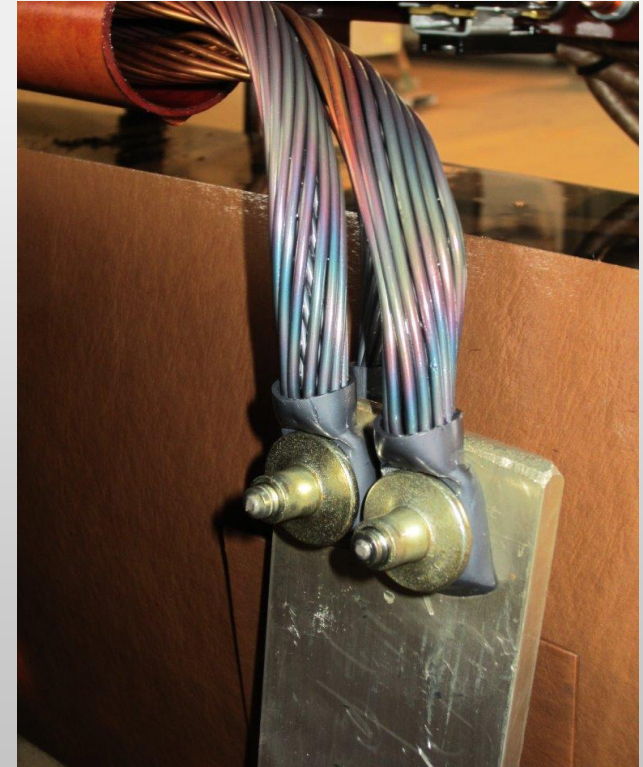
Öltemperatur

- Schleppzeigertemperatur 85°C

- nicht passiviert

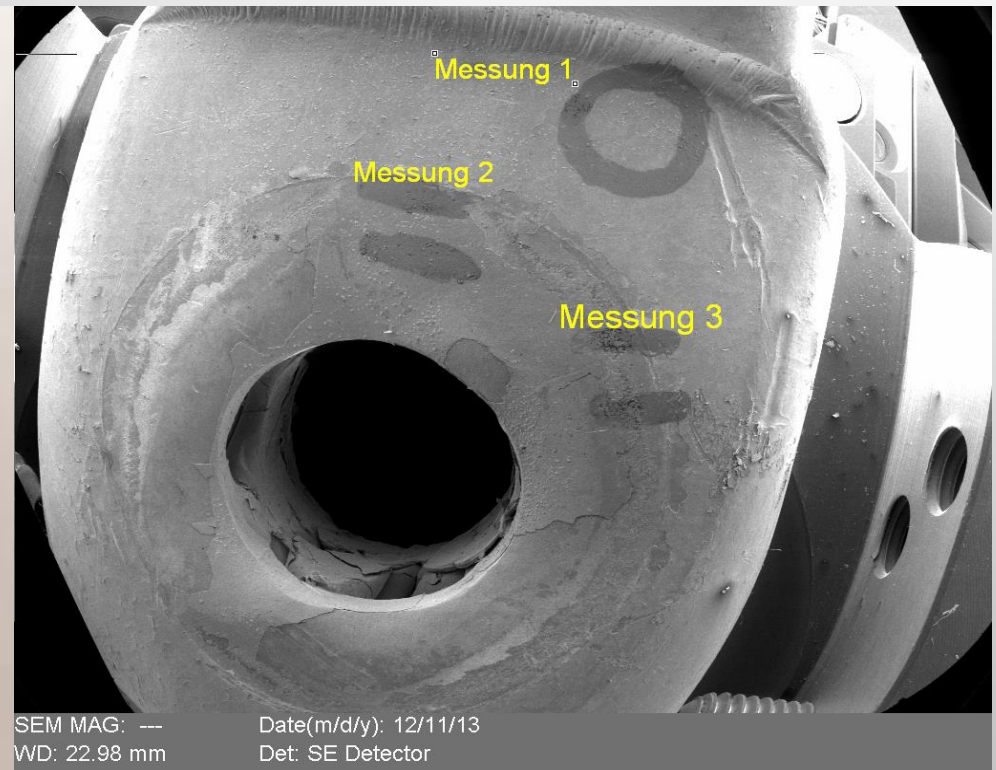


- VERBUND* - Kupfersulfidschicht an mehreren Teilen



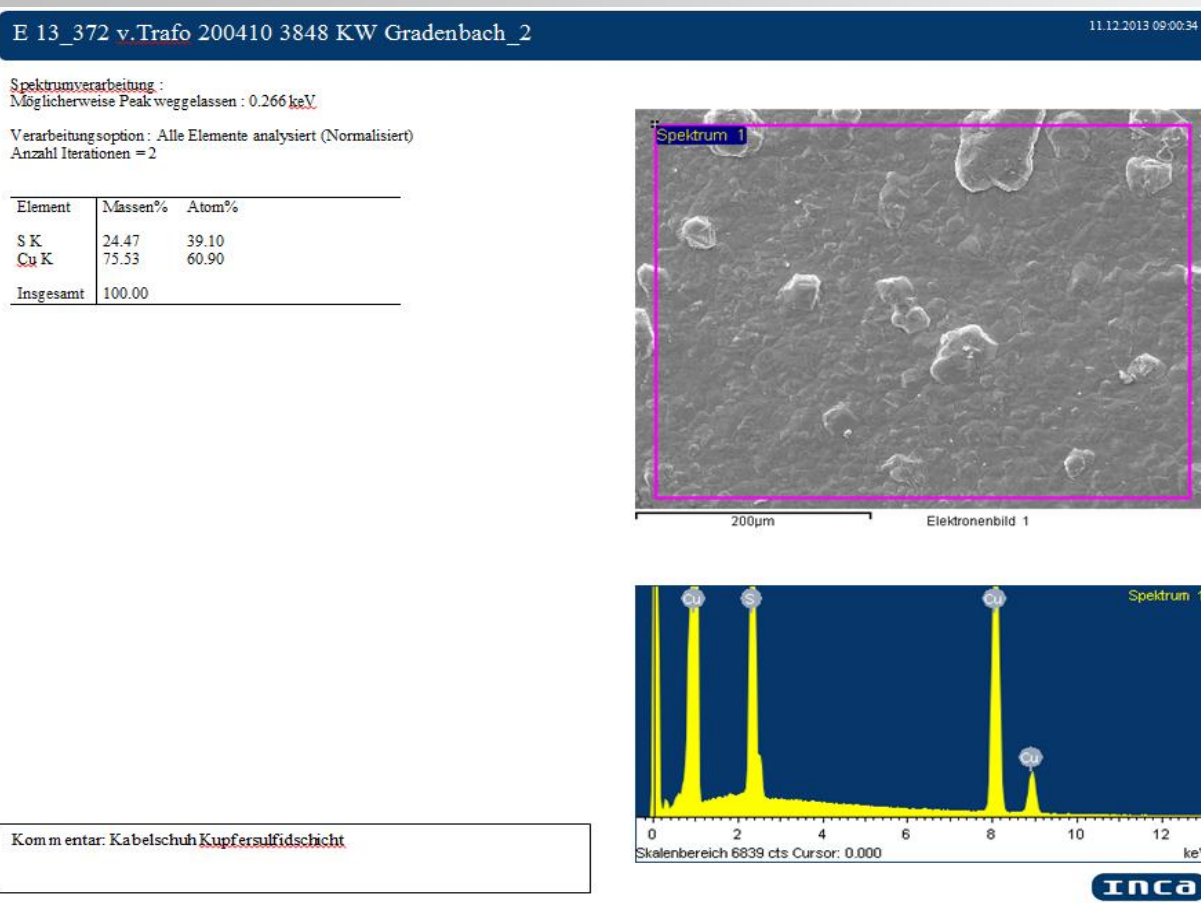
Vollständig mit Kupfersulfid überzogener Kabelschuh und Kupferleiter

- VERBUND* - Kupfersulfidschicht an mehreren Teilen



Vollständig mit Kupfersulfid überzogener Kabelschuh

• VERBUND* - REM – EDX Untersuchung des Bauteiles



→ Leitendes Kupfersulfid welches sich ablöst



• VERBUND* - Post Mortale Untersuchung 1000 kVA Transformatoren

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



• 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

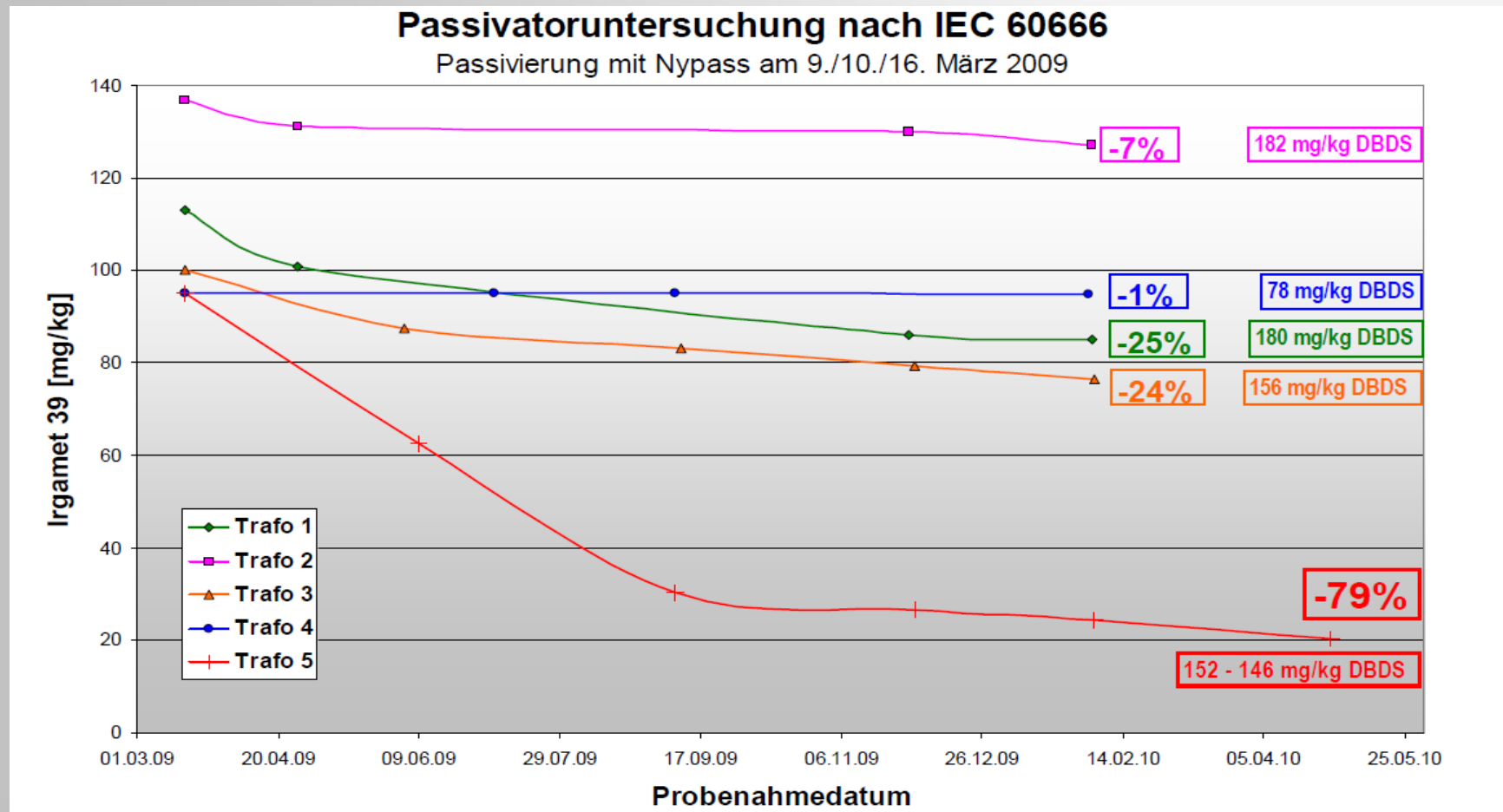
Passivator

- März 2009 Passivatorzugabe auf 104mg/kg
- August 2009 Passivatorabbau auf 31mg/kg
- → **Isolieröl wieder korrosiv nach EN62535**

Spaltprodukte

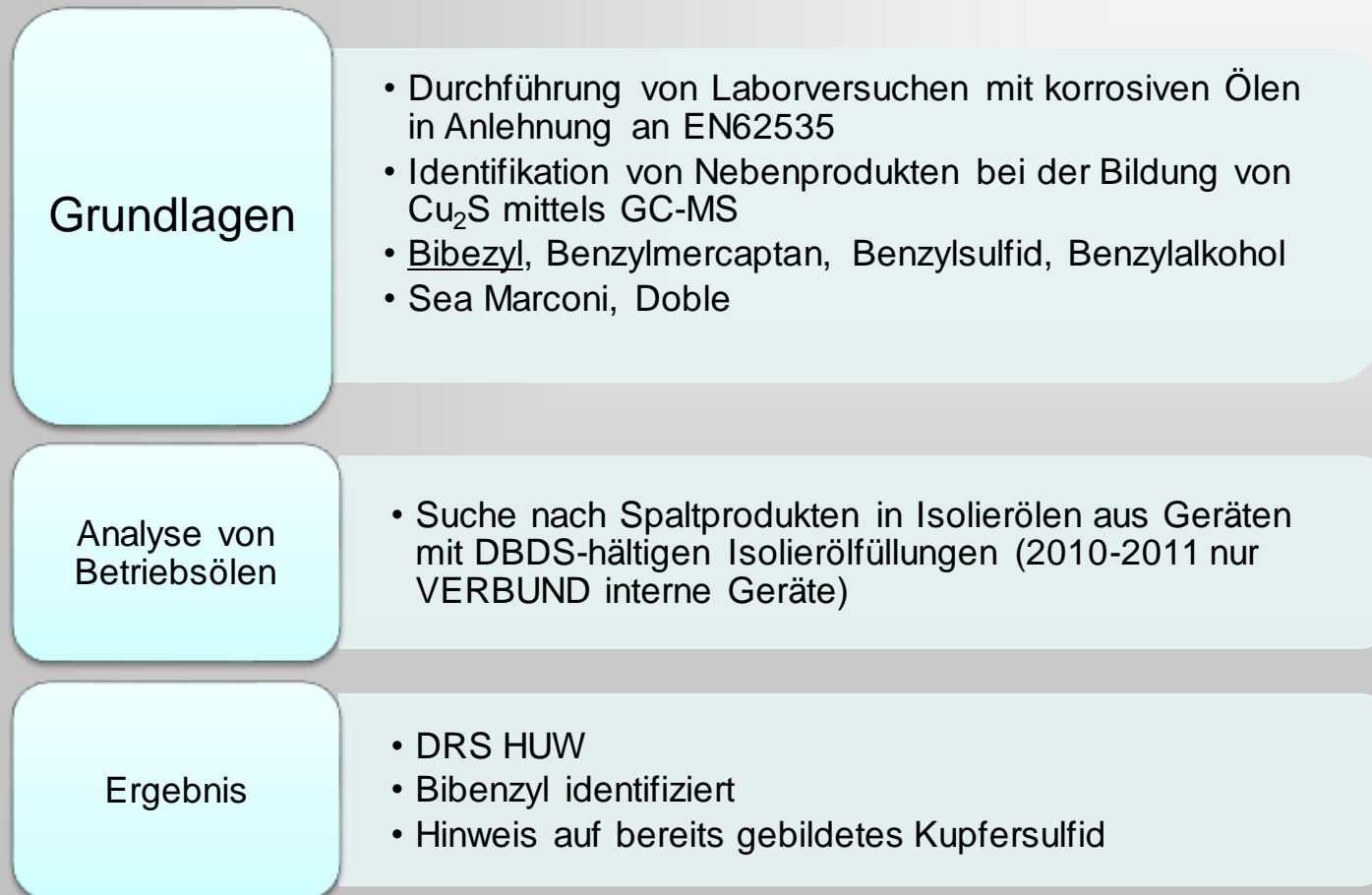
- 2011 Identifikation von Bibenzyl als Abbauprodukt der Kupfersulfidbildung mittels GC/MS

• VERBUND* - Passivatorabbau DRS HU Wehr



* Ing.Mag. Martin Darmann, Verbund Umwelttechnik GmbH, Obersielach, AT

• VERBUND* - Identifikation von Spaltprodukten bei Cu₂S Bildung



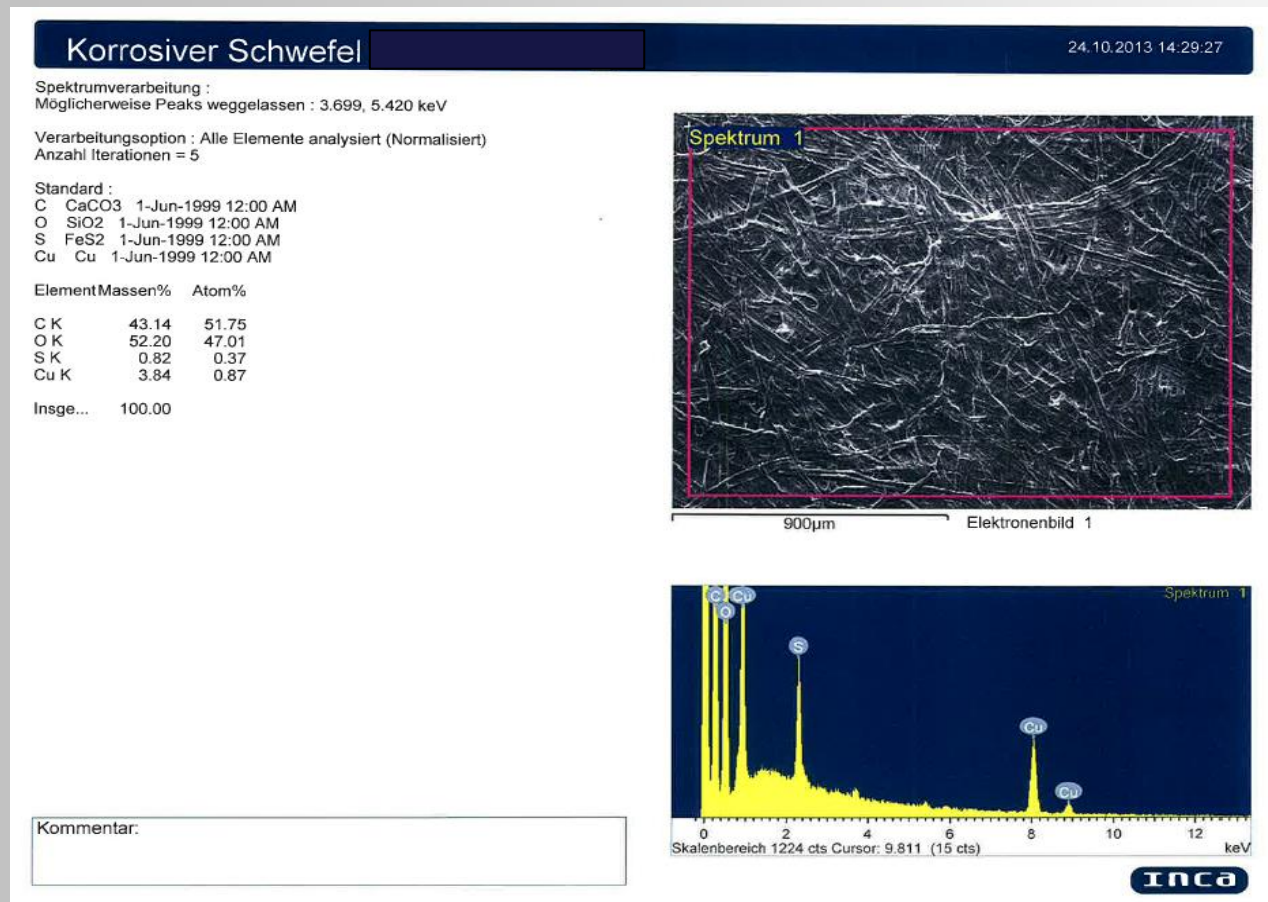
- VERBUND* - Zerlegung im August 2013



**Oberer Bereich der
US Wicklungen**



• VERBUND* - Identifikation von Kupfersulfid



- VERBUND* - Zusammenfassung Post Mortaler Untersuchungen
 - Zwei von zwei untersuchten Geräten zeigten eindeutig Kupfersulfidausbildung
 - Geräte mit hoher Betriebstemperatur, welche aber unter der experimentell ermittelten Starttemperatur ($\sim 110^{\circ}\text{C}$) liegt – Temperaturverteilung, Hot Spots
 - Fachliteratur beschreibt Cu_2S Bildung bei sehr langsamer Reaktion bereits ab 80°C Öltemperatur [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

- 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

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

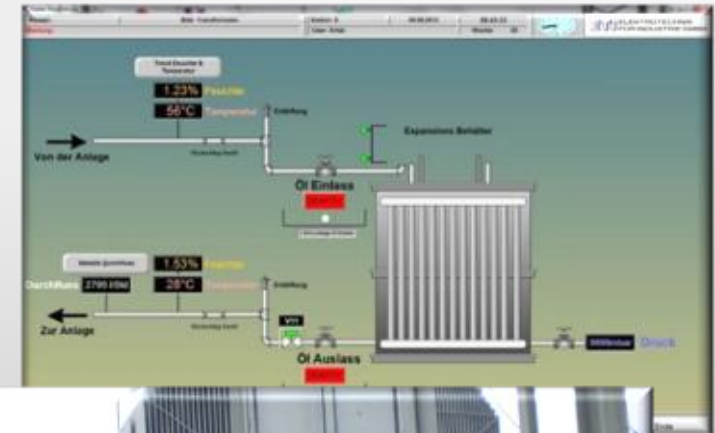


- MRA-Technologie – 2 Anlagen: MRA-Pocket und MRA-4x4



- 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

- 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



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



- 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: Test nach 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

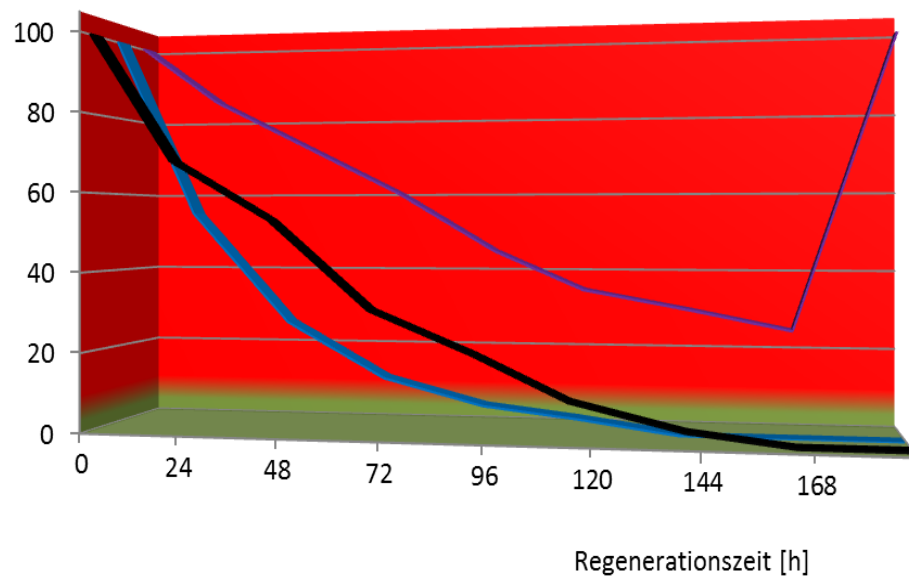
- MRA – Dienstleistung

- 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

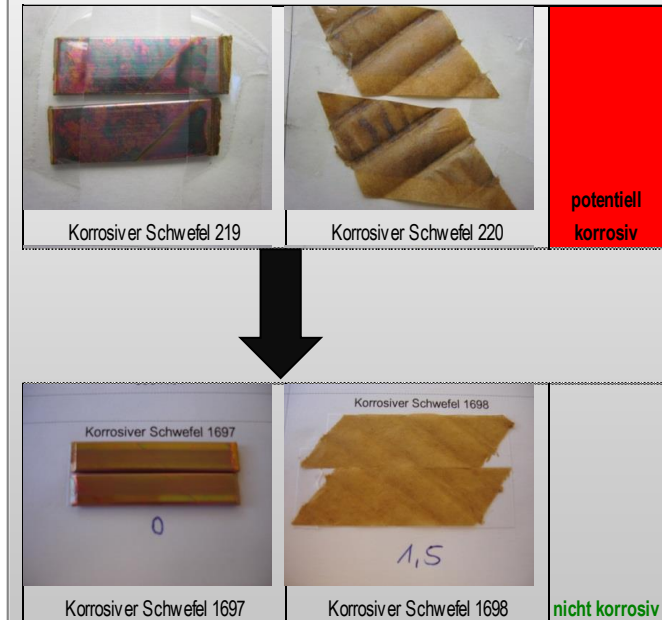
• VERBUND* - Fallbeispiel – DBDS-Eliminierung

Abbauraten während der Regeneration
 eines 55MVA Trafos mit 21t Ölfüllung

Gehalte in
 [%] d. Ausgangswertes



- DBDS (Start: 150mg/kg)
- Passivator (Start: 75mg/kg)
- Inhibitor (Start: 0,40%)



• VERBUND – Fallbeispiele – DBDS-Eliminierung

	garantierter Wert	Eschen Tr. 11	Leoben HU2*	Kaprun RHU5	Ø erreichter Wert
U _D [kV]		93	92	92	87
H ₂ O [mg/kg]	<10	2,9	1,5	2,0	1,7
DDF [*10 ⁻³]	<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

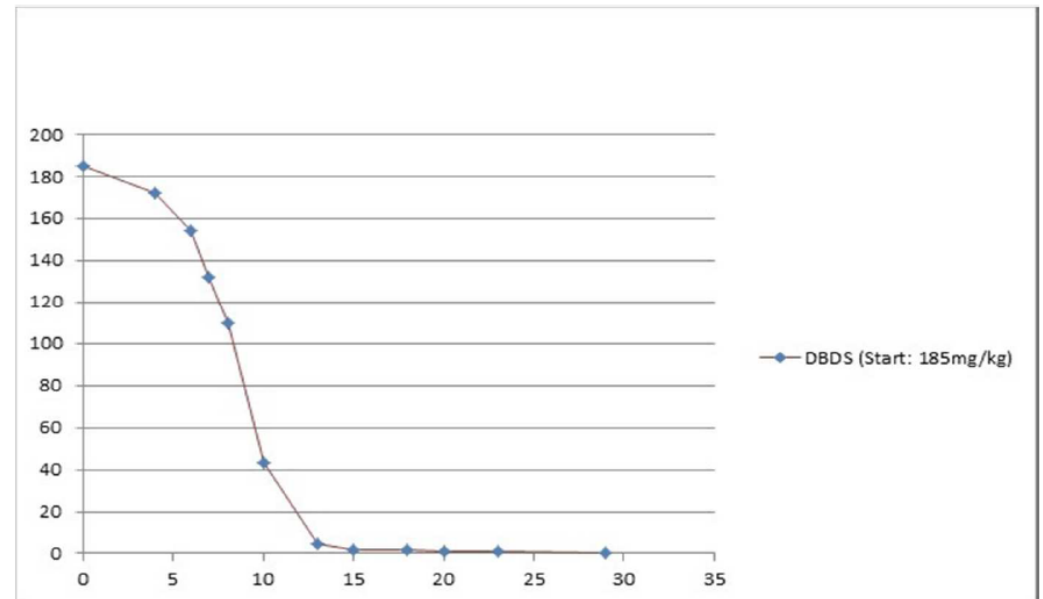
Quelle: Ing.Mag. Martin Darmann, *Oxidationsstabilitätstest nach IEC 61125C vor und nach Ölregeneration durchgeführt

** nach 2 Jahren Rücksättigung

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

Prüfergebnisse

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



- Übertragungsnetzbetreiber Deutschland – DBDS-Eliminierung

Prüfergebnisse

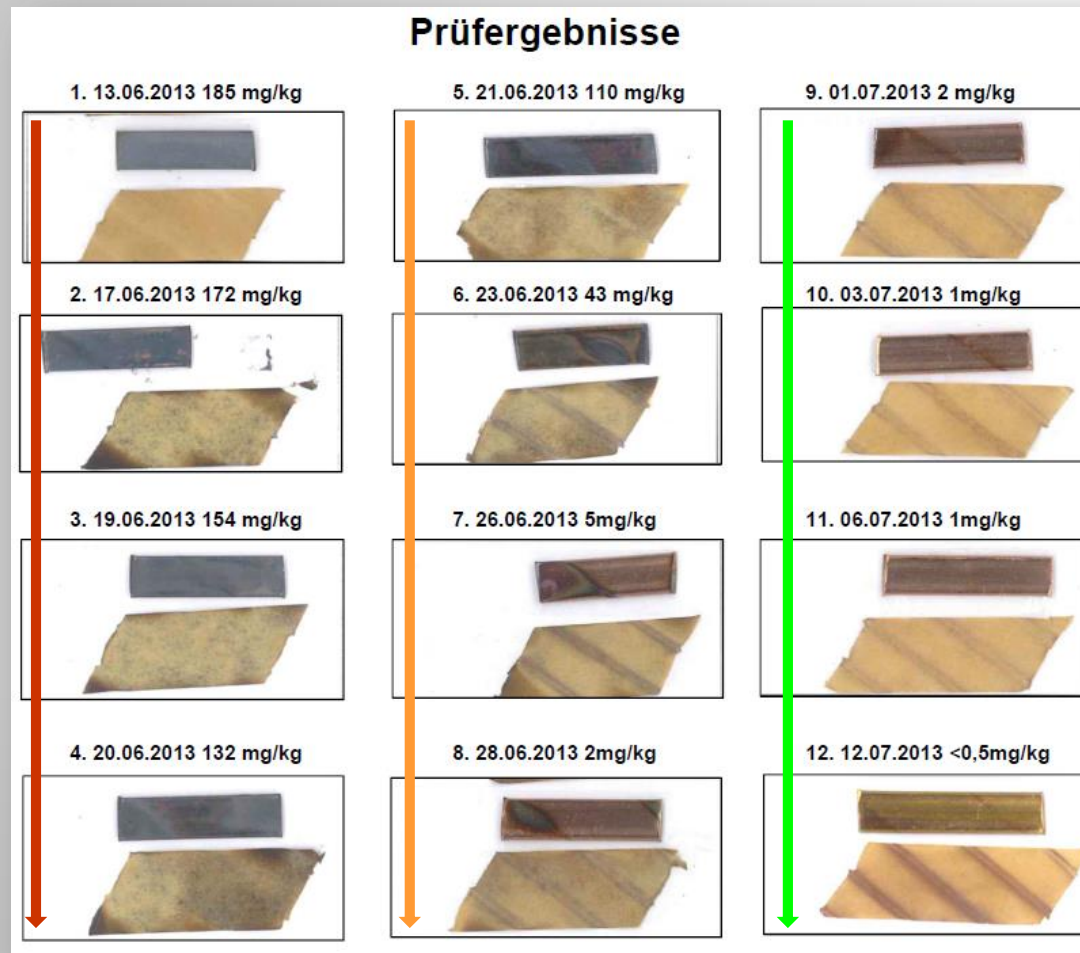
Eigenschaft	Prüfmethode	Start Probe 1	Ende Probe 12	Grenzwert*	Einheit
		25821	25822		
Datum		13.06.2013	12.07.2013		
Farbzahl	ISO 2049	L0,5	L0,5		
Reinheit	VDE 0370	blank	blank		Bodensatz
Neutralisationszahl	IEC 62021-1	<0,01	<0,01	<=0,15	mg KOH/g Öl
Durchschlagsspannung	IEC 60156	65,3	87,3	>=50	kV
Verlustfaktor bei 50 Hz	IEC 60247	0,0007	0,0008	<0,20	
Wassergehalt (20°C)	IEC 60814	3	3	<=5	mg H ₂ 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 60666	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
Dinbenzylendisulfide	DIN EN 62697-1	185	<0,5	-	mg/kg

* Grenzwerte nach IEC 60422:2005 (DIN VDE 0370/2:2007-2)

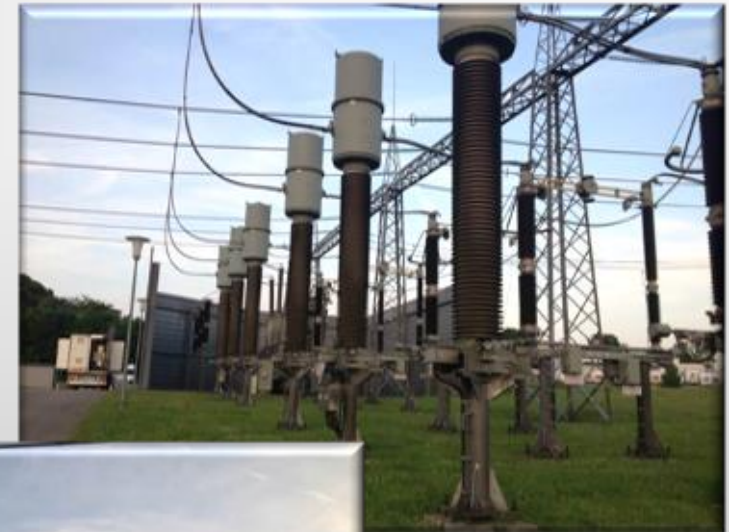
Bewertung

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

- Übertragungsnetzbetreiber Deutschland – DBDS-Eliminierung



- 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



• 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]	> 20	> 30	< 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 0370-2), Auszug Tabelle 5, ***Auszug Tabelle3, vor Inbetriebnahme: <5ppm

**sofern Öltemperatur >= 45°C während 70% der Regenerationszeit garantiert ist

• 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

*: für < kV 72,5: > 55 **: für < kV 170: max. 0,015 ***: sofern Öltemperatur >= 45°C während 70% der Regenerationszeit garantiert ist

- Fazit:

Die MRA-Technologie kann mit Blick auf die korrosiven Eigenschaften von Betriebsölen, analytisch bestimmt anhand der Methoden Ag-Silberstreifentest: 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...

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



• Mobile Transformatorenölregeneration - Referenzen



Herzlichen Dank

für Ihre

Aufmerksamkeit