

Einsatz der Schallemissionsanalyse als Dienstleistung an Groß-Transformatoren

Manuel LÖHR

Mistras Group BV, c/o MISTRAS GMA, Hamburg

Kurzfassung. Fehlerzustände in einem Transformator können auf unterschiedliche Art und Weise gefunden werden. Eine Methode basiert auf Bestimmung der Abbauprodukte des Isolationsöls. Diese Abbauprodukte sind das Ergebnis von unerwünschten Energiefreisetzung im Transformator. Diese freigesetzte Energie ist bedingt durch Fehler wie Überhitzung, Teilentladung (TE) und Lichtbogenbildung, welche oftmals im ersten Schritt zu einer Gasblasenbildung im Transformator führen. Durch untypische Werte einer Gas-in-Öl Analyse wird festgestellt, dass ein Transformator “gast”. Die meisten Betreiber entschließen sich zu kürzeren Intervallen (wöchentlich, sogar täglich) der Gas-in-Öl Analyse, um zu verstehen, welche Ereignisse im Transformator stattfinden. Ziel ist es, einen katastrophalen Ausfall zu vermeiden. Erfahrungsgemäß gestaltet sich die Ursachenforschung auf Grundlage der Gas-in-Öl Analysen als sehr anspruchsvoll.

Die Detektion von Teilentladungen mit der Schallemissionsanalyse ist Stand der Technik. Schallemission wird aber auch detektiert, wenn keine Teilentladungen stattfinden. Es hat sich gezeigt, dass diese Schallemission durch Gasblasenbildung hervorgerufen wird.

Die Prüfung von Groß-Transformatoren wird mit mehreren Sensoren zur Erfassung der Schallemission durchgeführt. Diese Sensoren werden mittels Vakuumpfett und Magnethalter an die Außenwände des Haupttanks des Transformators und, wenn vorhanden, auf dem Tank des Stufenschalters angebracht. Die Installation der Sensoren stört den Betrieb des Transformators nicht. Die Sensorpositionen sind gegeben durch die Art des Transformators (Spannung, Hersteller, Bauart, etc.) und die Position von Anbauten (Radiatoren, Pumpen, Lüfter, etc.). Neben den Sensoren zur Erfassung der Schallemission werden noch weitere Sensoren eingesetzt. Diese Sensoren erfassen die Belastung, Pumpenaktivität und die Schaltoperationen am Stufenschalter,... Weitere Sensoren werden eingesetzt, um die Temperaturen des Haupttanks und des Tanks des Stufenschalters (wenn vorhanden) während der Messung zu erfassen. Nach der Installation beginnt die akustische Überwachung des Transformators. Die Messzeit liegt in der Regel bei 24 Stunden, um einen kompletten Betriebszyklus des Transformators zu verfolgen. Eine kürzere Messzeit ist möglich, wenn keine wesentliche Schallemissionsaktivität gemessen wird oder keine Änderung in der Aktivität auftritt. Naturgemäß ist es nicht möglich, schon im Vorfeld zu wissen, wie hoch die Schallemissionsaktivität an einem Transformator ist. Nichtsdestotrotz kann es in einigen Fällen hilfreich sein, die Messzeit von 24 Stunden zu verlängern, um den auftretenden Fehler besser zu verstehen. Eine mobile Gas-in-Öl Analyse mit Feuchtigkeitsbestimmung und Messungen mittels einer Infrarotkamera sind vor Ort möglich. Standardmäßig werden Schwingungsmessungen vor Ort durchgeführt, um mehr Informationen über den Zustand des Transformators während der Messzeit zu erhalten.

Vortrag MISTRAS Group BV – Schallemissionskolloquium Ort: Augsburg Datum: 13.09.2013

Einsatz der Schallemissionsanalyse als Dienstleistung an Groß-Transformatoren

Manuel Löhr, Mistras Group BV,
MISTRASGMA, Sylvesterallee 2, 22525 Hamburg.



POWERPAC™ - TRANSFORMATOREN

Alterungsmanagement mit Zustandsüberwachung an bestehenden
und neu zu errichteten Transformatoren (herstellerunabhängig)



Schallemissions- und Schwingungsmessung:

Bewertung und Ortung von Teilentladungen,
Heißstellen, losen Anschlüssen und
Verbindungen, Auffälligkeiten in den
Windungen

- **Thermografiemessung**
- **Gas-in-Öl Analyse vor Ort**

- Keine Nullmessung zur Beurteilung notwendig
- Messung erfolgt während des Betriebs (ohne freischalten)
- Echtzeitanalyse und Bewertung von auffälligen Bereichen
- Werkzeug für die optimierte Instandhaltung



POWERPAC™ - DURCHFÜHRUNG

2 Testingenieure mit Prüfanhänger etwa 2-3 Tage vor Ort

- **1. Arbeitstag: Installation der Schallemissionsmesstechnik und Start der Schallemissionsmessung:**

16 bzw. mehr Sensoren (150 kHz) werden am Tank angebracht.

Weitere Sensoren zur Erfassung der Last, Pumpenaktivität und Erdleiteraktivität.

- **2. Arbeitstag: weitere Messungen, Ende der Schallemissionsmessung, Abbau:**

Schwingungsmessung am Transformator, Gas-in-Öl Analyse vor Ort am Haupttank und Stufenschaltergefäß

Die Messung der Schallemission wird nach 24 Stunden beendet. In dieser Zeit treten alle typischen Lastzustände des Transformators auf.

Abbau der Messtechnik



SCHALLEMISSION- TRANSFORMATOR

IEEE Std. C57.127TM-2007: TE ab 250 pC im Feld

IEEE Guide for the Detection and Location of Acoustic Emission from Partial Discharges in Oil-Immersed Power Transformers and Reactors

(The Institute of Electrical and Electronics Engineers, New York, USA)

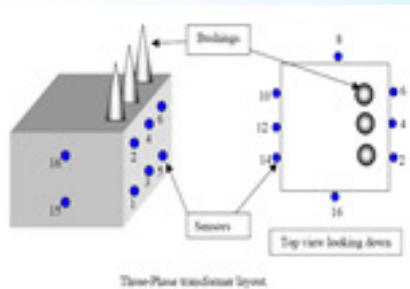
Weitere Quellen der Schallemission:

Lichtbögen, lokale Überhitzungen (hot spots), statische Aufladung, Funkenüberschlag, mechanische Geräusche durch "lose Anschlüsse und Teile", weitere



SCHALLEMISSIONSPRÜFUNG I

- 150 kHz- Resonanzsensoren werden mit Magnethaltern am Kessel des Transformators “im Betrieb” angekoppelt.
- Position und Anzahl ist abhängig vom Design (Größe, Pumpen, Stufenschalter, ...), meist 16-32 Sensoren
- kontinuierliche Messung über 24 Stunden oder länger (Dauerüberwachung)
- parallele Messung von Last, Aktivität der Pumpen und des Stufenschalters, Öltemperatur, Erdleiteraktivität (Rogowski- Spule)



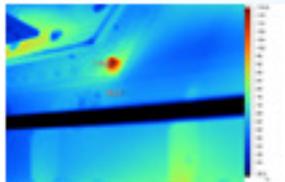
SCHALLEMISSIONSPRÜFUNG II

- Wann sind Pumpen aktiv?
→ ext. Parameter, zusätzlicher Sensor
- In welcher Belastungsstufe befindet sich der Transformator?
→ Betreiber
- Wann wird der Stufenschalter betätigt?
→ externer Parameter, zusätzlicher Sensor
- Wann ist der Belüfter am Trafokessel an?
→ externer Parameter, zusätzlicher Sensor
- Ventilaktivitäten (z.B. durch Gas-in-Öl Überwachungssystem)?
→ externer Parameter, zusätzlicher Sensor
- Wie verhält sich die Temperatur im Transformator während der Messung?
→ externer Parameter, zusätzlicher Sensor
- Welche Messbedingungen? Regen, Hagel, Partikeleinschlag (z.B. Sand), Wind
→ externer Parameter , zusätzlicher Sensor auf Metallplatte in Nähe des Transformators
- Rogowsky- Spule um Erdleiter

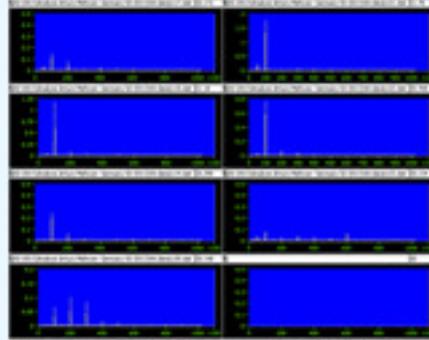


WEITERE INFORMATION

- Gas-in-Öl Analyse vor Ort (wichtig sind auch die Werte der vorherigen Analysen)
- Schwingungsmessung zur Detektion von Auffälligkeiten in Windungen und weitere (Papier auf EPRI- Konferenz)
- Thermografie



Heißstelle an der mittleren Hochspannungsausführung



Schwingungsmessungen in Nähe der Windungen



PRÜFEINSTUFUNG

A. KEINE SCHALLEMISSIONSAKTIVITÄT.

B. GERINGE SCHALLEMISSIONSAKTIVITÄT,
keine unmittelbaren nachfolgenden Untersuchungen notwendig.

C. MITTLERE SCHALLEMISSIONSAKTIVITÄT,
Weitere μ P- Maßnahmen und Gas-in-Öl Analysen in kürzeren Intervallen.

D. SIGNIFIKANTE SCHALLEMISSIONSAKTIVITÄT,
Weitere Maßnahmen zwingend erforderlich zur Klärung der Ursache.

Weitere Maßnahmen:

SWEEP FREQUENCY RESPONSE ANALYSIS, SFRA (Frequenzanalyse), zur Erkennung von Deformationen im Kern-/Wicklung Aufbau, Stauchungen, Wicklungsschlüssen oder -unterbrechungen, sowie losen Halterungen.

CORE INSULATION RESISTANCE TEST (Isolationswiderstandstest).

EXCITATION CURRENT (Erregerstrom).



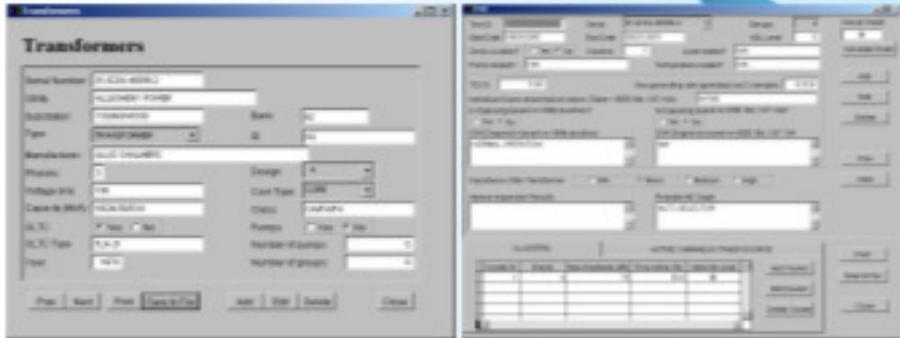
PRÜFBEWERTUNG

Herstellerunabhängig

Datenbasis mit mehr als 1.000 Transformatoren (weltweit)

Bewertung der Schallemission (geortet, Cluster): A bis D

Kombinierte Bewertung aus Schallemission und Gas-in-Öl Analyse: A bis D mit Zusatzinformation der Thermografie und Schwingungsmessung



PRÜFBEISPIEL I

Nennleistung: 90 MVA
3-phasig, 10,5/ 107kV (Kraftwerk)
Baujahr: 1970

Bewertung: D (Cluster 1,2)
Keine Korrelation mit externen Parametern (Last, Öltemperatur, ...)

Der Transformator wird kurz nach der Messung außer Betrieb genommen und verschrottet.

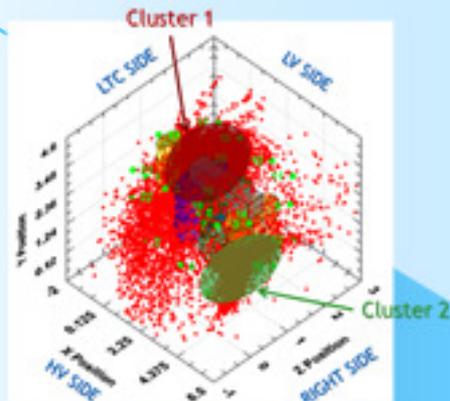


TABELLE 1: MESSZEIT UND EREIGNISSE

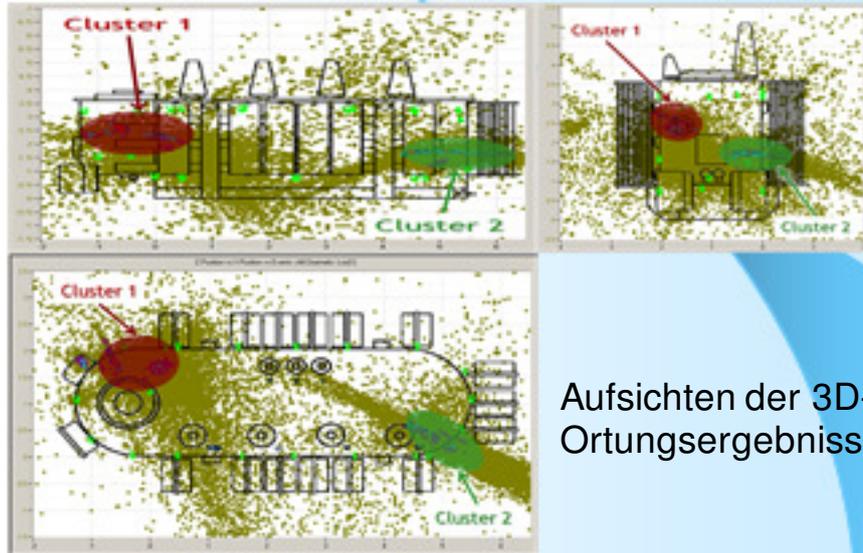
ORIGINAL	DATEI	BEGINN	ENDE	MESSZEIT	EVENTS
	GEFILTERT	DATUM	ZEIT	DATUM	
TEST2 to6	GKM_TRAFO 16_45	17.05.2010	14:43	18.05.2010	1Tag(24 h) 564 865* 6 8258 **

* Ereignisse ohne Filterung (Rohdaten)

** Ereignisse nach Filterung

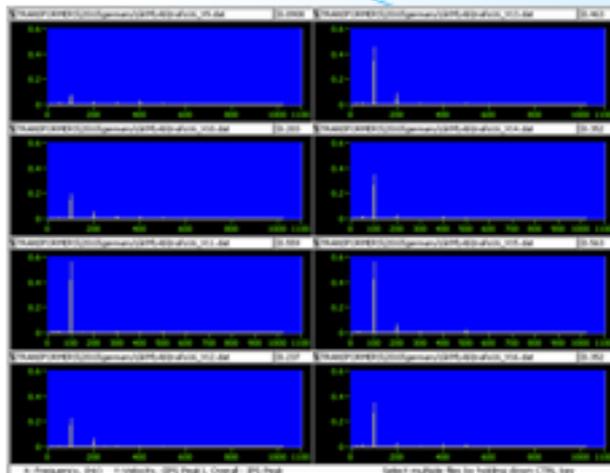


ORTUNG- BEISPIEL I



Aufsichten der 3D-
Ortungsergebnisse

SCHWINGUNGSMESSUNG- BEISPIEL I



Nähe Cluster 1
und
Nähe Cluster 2:

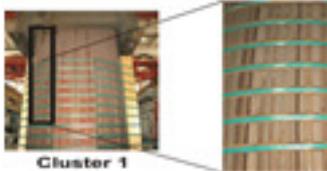
**Werte > 0,3 inch/
sec. auffällig**

mit Analyse AE- Signale und DGA:
mechanische Ursache sehr wahrscheinlich

BEFUNDUNG- BEISPIEL I

Kern und Wicklung des mittleren Schenkels konnten vor der Verschrottung noch untersucht werden. Im Bereich der Ortungshäufungen wurden Verschleißspuren festgestellt.

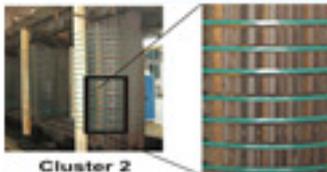
Fazit: Insgesamt erfolgte die Außerbetriebnahme des Transformators rechtzeitig, ein Weiterbetrieb hätte ein zunehmendes Risiko für einen plötzlichen Schaden bedeutet.



Cluster 1



Das Isolationspapier ließ nur eine geringe Restlebensdauer erwarten.



Cluster 2

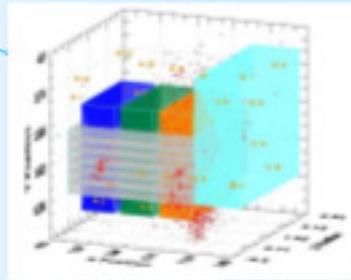


Die Wicklungen zeigten einen untypischen Verfärbungsverlauf.



PRÜFBEISPIEL II

TYP: AUTOTRANSFORMER
PHASEN: 3- PHASIG
KERN: MANTELTYP
VOLTAGE: 400/245.5/35.77 kV
KLASSE: ODAF
LEISTUNG: 600 MVA



Dear Mr. Löhr,

The customer decided to keep the transformer in service at its "normal load" as this transformer is essential for the grid. There is a very close follow-up the DGA.

We did not open the transformer. Based on the outcome of the acoustics measurements, we have a good idea of the causes of the gassing and their criticality.

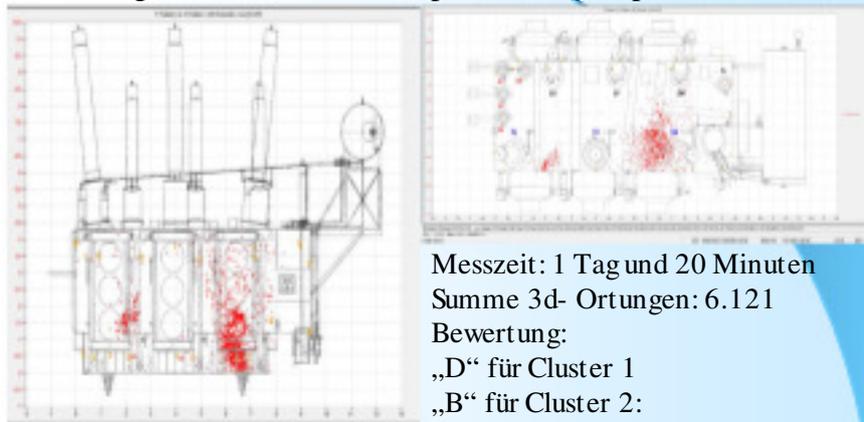


SENSORPOSITIONEN- BEISPIEL II



PRÜFBEWERTUNG- BEISPIEL II

Keine Korrelation der Schallemissionsaktivität und der Belastungswerte, Stufenschalterposition, Öltemperatur.



Messzeit: 1 Tag und 20 Minuten

Summe 3d- Ortungen: 6.121

Bewertung:

„D“ für Cluster 1

„B“ für Cluster 2:

→ ist erst nach dem Buchholalarm aktiv



PRÜFBEWERTUNG- BEISPIEL II

Date	H2	CO	CO2	CH4	C2H6	C2H4	C2H2	TDCG
6/27/2012*	4,420	634	3,661	2,820	706	4,207	27	12,814
6/26/2012+	1,090	565	3,785	2,477	694	4,042	22	8,890
6/1/2012	1,022	561	3,522	2,134	531	3,458	25	7,731

COMBINED GRADE (AE & DGA): "D"

FOLLOW UP IS HIGHLY RECOMMENDED.

USE OTHER NON-DESTRUCTIVE TECHNIQUES TO CONFIRM

INCREASE GAS IN OIL SAMPLING PERIODS (DAILY)

REVIEW INTERNAL DRAWINGS/PHOTOGRAPHS TO IDENTIFY

COMPONENTS NEAR THE IDENTIFIED AREAS

PLAN OUTAGE AND CONSIDER SERVICING OR INTERNAL INSPECTION.

IF THE UNIT WILL NOT BE REMOVED FROM SERVICE:

- CONSIDER INSTALLING AN ACOUSTIC EMISSION MONITORING SYSTEM (TO ENSURE SAFE OPERATION WHILE IN SERVICE).
- PERFORM A NEW ACOUSTIC EMISSION TEST IN 6 MONTHS OR EARLIER IF A SUDDEN INCREASE IN COMBUSTIBLE GASES ARE DETECTED.



PRÜFBEISPIEL III

Nennleistung: 780 MVA

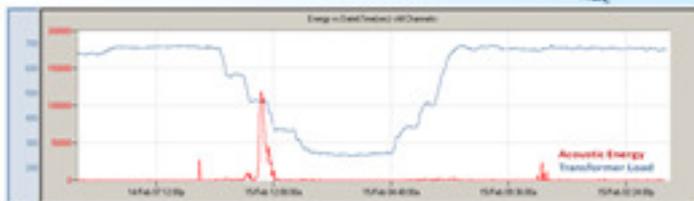
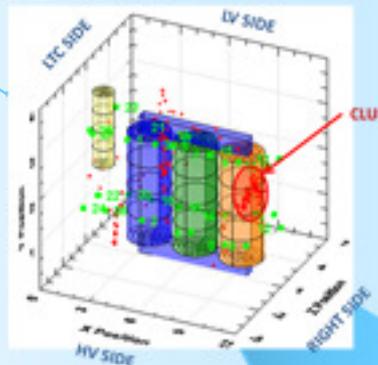
3- phasig, 230/ 21 kV (Kraftwerk)

Baujahr: 1978

TABELLE I: MESSZEIT UND EREIGNISSE (EVENTS)

NAME/DATE	START	ENDE	MESSDAUER	EVENTS NACH FILTERING	
GEFILTERT	DATUM	ZEIT	DATE		
KWM_3AT-01	14.02.2011	1600	15.02.2011	24 STUNDEN	292

QUELLE NUR KURZ AKTIV.
KEINE KORRELATION MIT
BELASTUNG, ETC.



PRÜFBEWERTUNG- BEISPIEL III

Bewertung: B (Cluster 1): Geringe Schallemissionsaktivität.

Bewertung mit DGA: B

Keine weiteren Maßnahmen notwendig. Referenz für Folgemessungen.

DATUM	H ₂	CO	CO ₂	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₂ H ₄	C ₂ H ₂	TDCG	H ₂ O
15-Feb-11 ^a	51	366	2271	41	15	53	0	526	12
11-Oct-10 ^b	39	604	2574	39	13	51	0	746	-
27-Oct-09 ^b	19	328	1381	7	8	22	0	384	-

H₂: Hydrogen
CO: Carbon Monoxide
CO₂: Carbon Dioxide
* TDCG= Total Dissolved Combustible Gases (Gesamtmenge an gelösten, brennbaren Gasen)
TDCG= H₂ + CO + CH₄ + C₂H₆ + C₂H₄ + C₂H₂

CH₄: Methane
C₂H₆: Ethane
C₂H₄: Ethylene

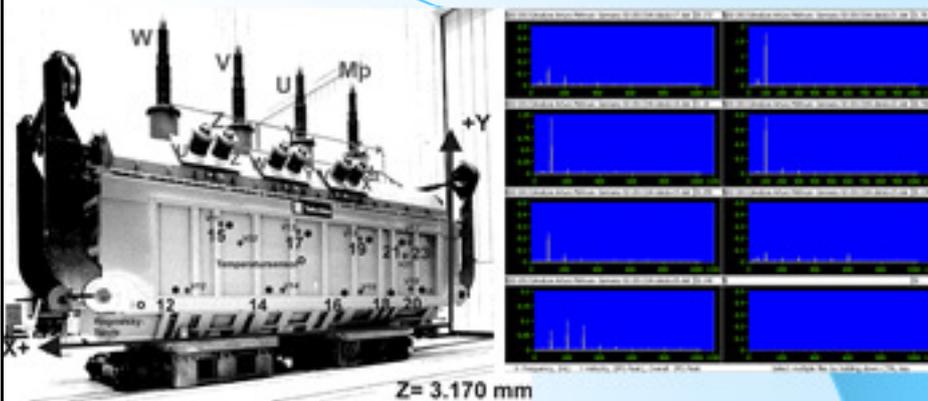
C₂H₂: Acetylene
TDCG: Total Dissolved Combustible Gases
H₂O: Moisture

- a. Werte aus der Analyse vor Ort durch das MISTRAS-Personal
b. Werte, die durch das KWM Personal bereitgestellt werden

Die Werte der Gas-in-Öl Analyse zeigen eine leichte Überhitzung der Zellulose. Es wird nach dem Standard IEEE Std. C57.104 empfohlen, alle drei Monate eine Gas-in-Öl Analyse durchzuführen.



SCHWINGUNGSMESSUNG- BEISPIEL III



Es werden drei auffällige Messpositionen (alle auf der Niederspannungsseite gefunden): V21 (= 1,78 inch/sec), V18 (= 1,18 inch/sec) und V22 (= 0,765 inch/sec).



PRÜFBEISPIEL IV

Nennleistung: 60 MVA
 3-phasig, 110/6 kV
 (Umspanner-Chemiepark)
 Baujahr: 1969

Bewertung: B (Bereich 1):
 Keine Ortungshäufungen mit 3d-
 Ortungen.
 Geringe Schallemissionsaktivität.
 Keine weiteren Maßnahmen
 notwendig.
 Referenz für Folgemessungen.

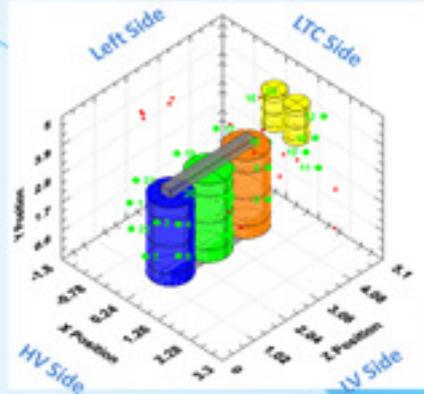
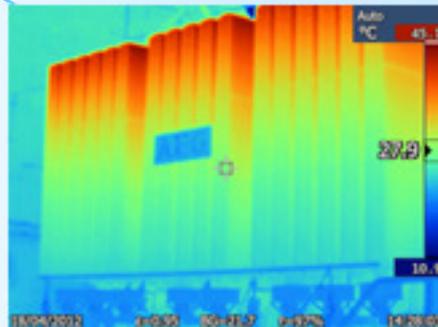


TABELLE 1: MESSZEIT UND EREIGNISSE (EVENTS)

DATEINAME		START		ENDE		MESSDAUER	EREIGNISSE
ORIGINAL	GEFILTERT	DATUM	ZEIT	DATUM	DATUM		
Test0.DTA						1 Tag und 17 Stunden und 25 Minuten	111*
	U221.DTA	18.04.2012	14:50	2004.2012			



ZONALE ORTUNG- BEISPIEL IV



Gas-in-Öl Analyse: elektrischer Fehler ohne Zellulose
 Keine Korrelation mit Belastungswerten, Öltemperatur etc.

