

TRANSFORMER-LIFE-MANAGEMENT
CONFERENCE

Kontaminationsmöglichkeiten und deren Vermeidung bei der Gas-in-Öl-Analyse

Dr. Michael Hahn ECH Elektrochemie Halle/S.



- | | |
|-----------|---|
| 1982-1987 | Studium der Chemie an der Universität Halle |
| 1992 | Promotion zum Thema:
„Probenvorbereitungssysteme für die
analytische Chemie“ |
| 1994 | Gründung und Mitgesellschafter der
Fa. ECH Elektrochemie Halle GmbH |
| Seit 2005 | Geschäftsführer der ECH Elektrochemie Halle GmbH |
| Seit 1998 | Kooperation mit Fa. Energy Support GmbH
mit dem Ziel der Entwicklung und Fertigung von
Meßgeräten für die Ölprüfung |





Kontaminationsmöglichkeiten und deren Vermeidung bei der Gas-in-Öl-Analyse

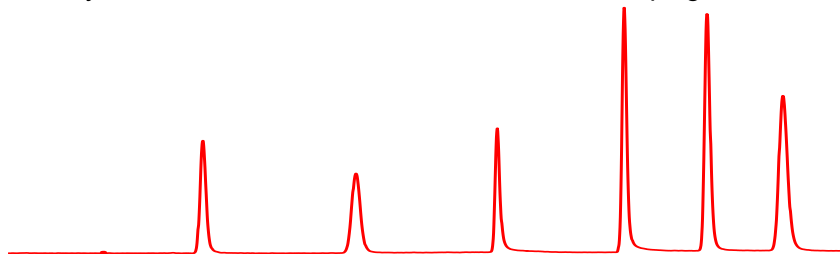


Kontaminationsmöglichkeiten und deren Vermeidung bei der Gas-in-Öl-Analyse

*Dr. Michael Hahn**, *Dirk Philipp***

* ECH Elektrochemie Halle GmbH

**Analysen-Service GmbH, Umwelt- und Öllabor Leipzig



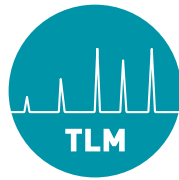
1



Schritte der Gas-in-Öl-Analyse

1. Bereitstellung einer repräsentativen Ölprobe
2. Abtrennung der gelösten Gase
3. Detektion der Gase
4. Interpretation der Messergebnisse mittels Expertensystem

2



Kontaminationsmöglichkeiten und deren Vermeidung bei der Gas-in-Öl-Analyse



Welche Gase sind zur Gas-in-Öl-Analyse zu erfassen?

Fehlgase

- Wasserstoff H_2
- Kohlenmonoxid CO
- Kohlendioxid CO_2
- Methan CH_4
- Ethan C_2H_6
- Ethylen C_2H_4
- Acetylen C_2H_2

- Propan C_3H_8
- Propylen C_3H_6

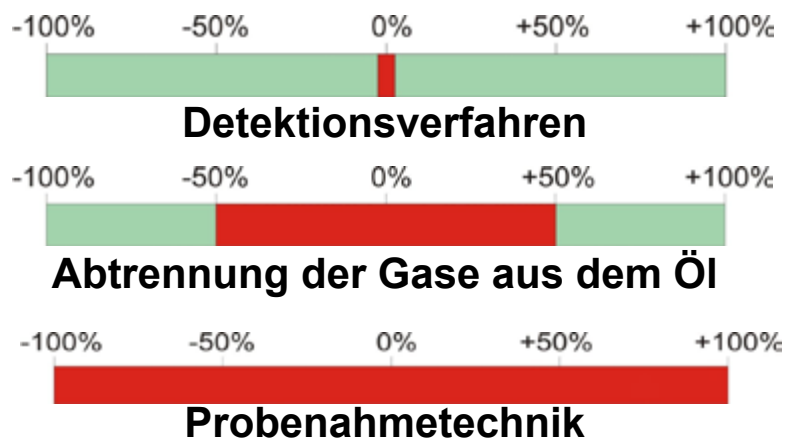
Atmosphärische Gase

- Sauerstoff O_2
- Stickstoff N_2
- (Kohlendioxid CO_2)

3



Fehlermöglichkeiten bei der Analyse



Und die Ergebnisanzeige? **12,873 ppm ???**

4



Kontaminationsmöglichkeiten und deren Vermeidung bei der Gas-in-Öl-Analyse



Fehlermöglichkeiten bei der Analyse

Fehler bei der **Probenahme**, beim **Transport**, bei der **Lagerung** und insbesondere bei der **Vorbereitung der Proben**, können durch eine noch so aufwendige Kalibrierung und Sorgfalt bei der Durchführung der Messung selbst mit den besten Messgeräten nicht mehr behoben werden.

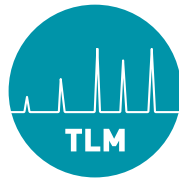
5



Repräsentative Ölprobe für DGA?



6



Kontaminationsmöglichkeiten und deren Vermeidung bei der Gas-in-Öl-Analyse



Repräsentative Ölprobe für DGA?



Luftkontakt ist zu vermeiden.
Inerte Probengefäße sind zu verwenden.

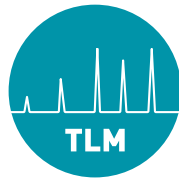
7



Ankopplung an Siemensventil



8

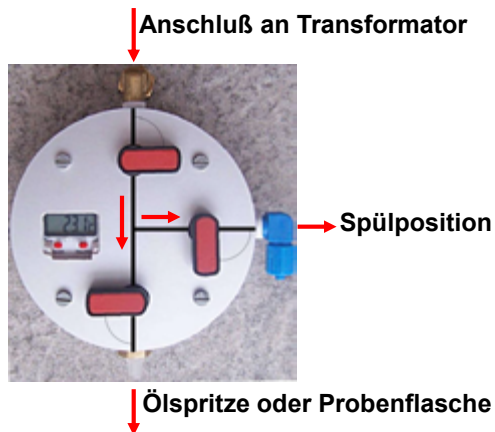


Kontaminationsmöglichkeiten und deren Vermeidung bei der Gas-in-Öl-Analyse



Kontaminationsfreie Probennahme

- Kontaminationsfrei
- Ohne Beeinflussung durch Fremdluft
- Probennahme der aktuellen Ölprobe
- Online Registrierung der Öltemperatur



9

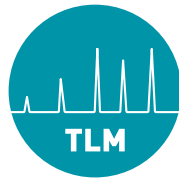


Die Ölprobenentnahme

Kontrolle der Ölprobenentnahme



10



Kontaminationsmöglichkeiten und deren Vermeidung bei der Gas-in-Öl-Analyse



Vorteile der direkten Ölprobenentnahme

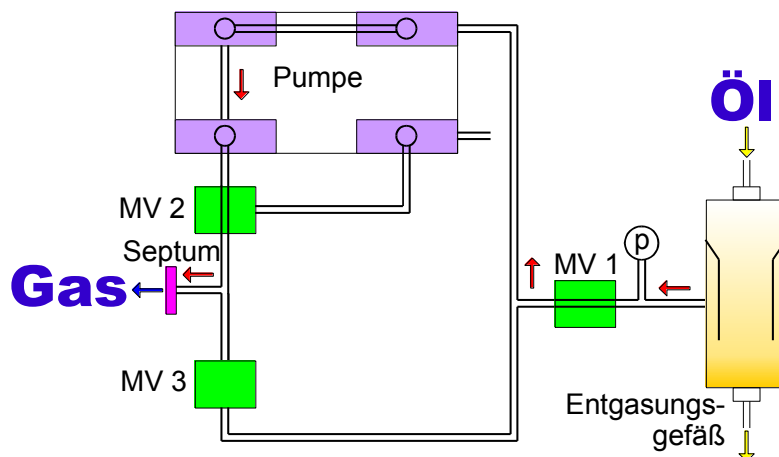


- Kein Kontakt der Ölproben mit der Umgebungsluft
- Möglichkeit der Ölprobenentnahme auch unter ungünstigen Bedingungen
- Sicherer Transport der Ölprobe aufgrund der Vermeidung von Gasverlusten
- Vermeidung von Ölbeeinflussung durch Temperaturschwankung während des Transportes in das Analysenlabor
- Die Ölproben können direkt für die Gas-in-Öl-Analyse eingesetzt werden

11



Vakuumentgasung ohne Quecksilber



Patent Nr. DE 10252652

12



Kontaminationsmöglichkeiten und deren Vermeidung bei der Gas-in-Öl-Analyse



TOP - TOGA - GC

Merkmale:

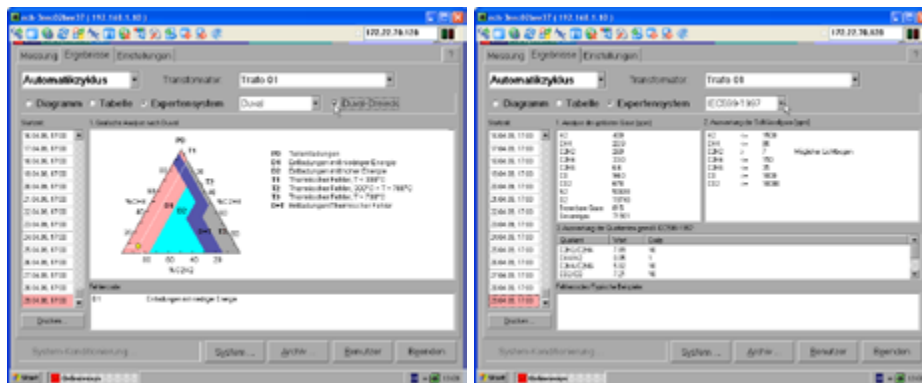
- Automatische Ölprobendosierung
- Vollautomatischer Messablauf
- Multiperiodische Vakuumentgasung
- Schnell und zuverlässig
- Komplette Gas-in-Öl Analyse für alle 11 Gase + Gesamtgasgehalt
- Integriertes Expertensystem zur Auswertung



13



Integriertes Expertensystem



14



Kontaminationsmöglichkeiten und deren Vermeidung bei der Gas-in-Öl-Analyse



Woher kommen die gelösten Gase?

1. Restgasgehalt im Transformator
2. Umgebungsluft
3. Betrieb des Transformators
4. Oxidationsprozesse

15



Ursachen für Oxidationsreaktionen im Isolieröl

- **Sauerstoff**
selbst nach einer Entgasung des Öls verbleiben noch 0,05 – 0,25% Sauerstoff im Öl
- **Temperatur**
Temperaturerhöhung um 8-10°C verdoppelt Reaktionsgeschwindigkeit
- **Katalysator**
Metalle, z.B. Cu, Fe, Al, Zn

16



Kontaminationsmöglichkeiten und deren Vermeidung bei der Gas-in-Öl-Analyse

Installation eines Neutransformators vor Ort

Gasname	CO2	C2H4	C2H2	C2H6	C3H6	C3H8	CH4	CO	H2	O2	N2	GG(%)
20100221_01_aut	23.0	-	-	-	-	-	0.075	6.4	3.6	757	2304	0.29
20100221_08_aut	22.1	-	-	-	-	-	0.049	6.1	4.9	714	1963	0.28
20100224_01_aut	22.0	-	-	-	-	-	0.073	6.0	4.0	747	1934	0.27
20100224_08_aut	23.0	-	-	-	-	-	0.056	6.1	5.2	759	1977	0.28
20100225_08_aut	23.7	-	-	-	-	-	0.056	6.3	5.1	854	2265	0.29
20100226_08_aut	23.7	-	-	-	-	-	0.053	6.4	5.0	827	2197	0.30
20100227_08_aut	24.5	-	-	-	-	-	0.054	6.6	4.8	826	2192	0.21
20100326_08_aut	24.7	-	-	-	-	-	0.057	6.7	5.1	827	2126	0.32
20100301_08_aut	25.4	-	-	-	-	-	0.046	7.0	4.9	820	2167	0.32
20100302_08_aut	25.5	-	-	-	-	-	0.059	7.0	5.6	754	1934	0.22
20100301_08_aut	25.5	-	-	-	-	-	0.046	6.8	5.4	821	2126	0.21
20100304_08_aut	26.8	-	-	-	-	-	0.054	7.1	5.2	842	2198	0.32
20100305_08_aut	26.8	-	-	-	-	-	0.057	7.4	5.5	824	2202	0.33
20100306_08_aut	26.8	-	-	-	-	-	0.049	7.0	6.1	821	2184	0.31
20100307_08_aut	26.8	-	-	-	-	-	0.050	7.0	6.1	850	2238	0.32
20100308_08_aut	26.8	-	-	-	-	-	0.055	7.0	6.0	852	2227	0.31

Stabile Betriebszustände, niedrige DGA-Werte

17

Elektrische Inbetriebnahme eines Transformators

Gasname	CO2	C2H4	C2H2	C2H6	C3H6	C3H8	CH4	CO	H2	O2	N2	GG(%)
20100306_03_aut	25.0	-	-	-	-	-	0.043	7.0	6.1	921	2104	0.28
20100307_03_aut	25.0	-	-	-	-	-	0.053	7.0	6.1	850	2220	0.32
20100308_03_aut	25.9	-	-	-	-	-	0.055	7.0	6.6	952	2227	0.28
20100511_03_aut	26.5	-	0.087	-	-	-	0.15	13.4	10.2	951	3025	0.44
20100512_03_aut	29.5	-	0.096	-	-	-	0.15	14.4	10.7	1047	3180	0.46
20100512_08_aut	29.4	-	0.11	-	-	-	0.13	14.2	10.6	990	2824	0.43
20100512_02_aut	28.6	-	0.12	-	-	-	0.17	14.7	10.7	1084	3201	0.49
20100513_03_aut	29.0	-	0.12	-	-	-	0.17	14.8	11.6	940	3025	0.39
20100513_08_aut	28.8	-	0.12	-	-	-	0.17	14.1	10.5	880	2829	0.37
20100513_02_aut	29.4	-	0.13	-	-	-	0.17	14.6	10.2	921	2933	0.43
20100514_03_aut	29.1	-	0.12	-	-	-	0.13	14.3	10.5	951	3040	0.39
20100514_08_aut	29.7	-	0.12	-	-	-	0.17	13.3	10.6	927	2866	0.34
20100514_02_aut	29.5	-	0.12	-	-	-	0.14	13.8	9.6	886	2764	0.33
20100528_03_aut	29.9	-	0.13	-	-	-	0.18	14.7	10.9	992	3203	0.43
20100527_03_aut	29.5	-	0.13	-	-	-	0.17	14.7	10.5	981	3211	0.43
20100522_03_aut	31.0	-	0.14	-	-	-	0.23	15.2	10.6	1210	3277	0.42

Elektrische Inbetriebnahme – Beispiel für signifikanten Anstieg von C₂H₂, CH₄, H₂ und CO

18

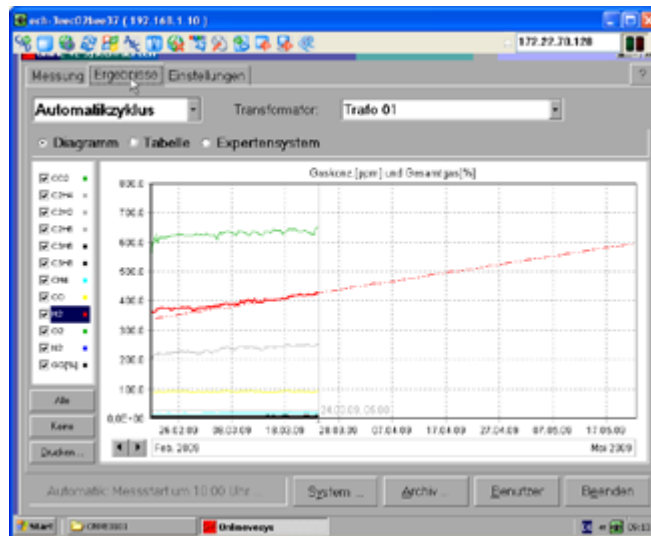


TRANSFORMER-LIFE-MANAGEMENT CONFERENCE

Kontaminationsmöglichkeiten und deren Vermeidung bei der Gas-in-Öl-Analyse



Kontinuierliche Betriebsphase I

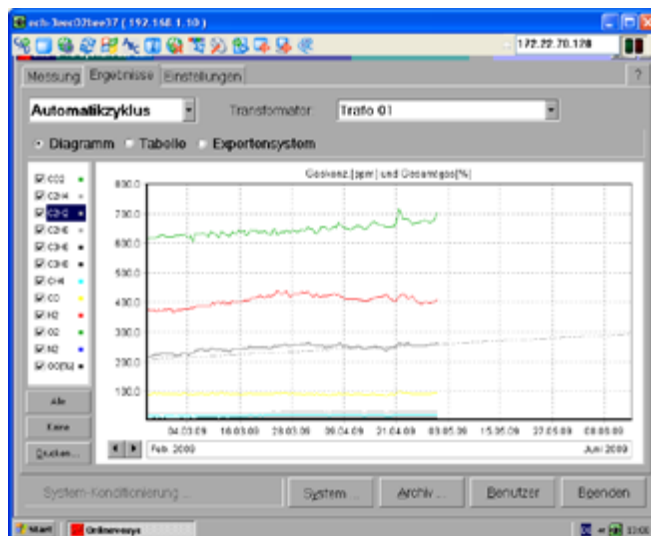


Beispiel: Ansteigende H₂-Konzentrationen

19



Kontinuierliche Betriebsphase II



Stabilisierende H₂-Konzentration, kontinuierlicher Anstieg C₂H₂

20



Kontaminationsmöglichkeiten und deren Vermeidung bei der Gas-in-Öl-Analyse

Problem mit Isolationsmaterial im Transformator



Ansteigende CO und CO₂-Konzentrationen

21

Oxidationsprozesse I



Starke Sauerstoffzehrung durch einsetzende akute Oxidationsprozesse
mit beginnender Bildung von C₂H₄ und C₂H₆

22



TRANSFORMER-LIFE-MANAGEMENT
CONFERENCE

Kontaminationsmöglichkeiten und deren Vermeidung bei der Gas-in-Öl-Analyse



Oxidationsprozesse II

Measuring Result overview

Automatics Transformer: MPZ Thresholds ...

Diagram Table Expert system

Start time	CO ₂	C ₂ H ₄	C ₂ H ₂	C ₂ H ₆	CH ₄	CO	C ₃ H ₆	C ₃ H ₈	H ₂	O ₂	N ₂	T _g (%)	TG ₀
18.09.14, 11.00	686	-	-	-	-	269	-	-	6.1	468	19472	2.2	275
20.09.14, 11.00	661	-	-	-	-	368	-	-	8.3	705	26777	3.0	377
22.09.14, 11.00	601	-	-	-	-	269	-	-	7.3	431	18859	2.1	276
03.09.14, 11.00	676	-	-	-	-	313	-	-	9.0	536	22225	2.5	319
05.09.14, 11.00	791	-	-	-	-	387	-	-	7.7	511	27892	3.1	395
08.09.14, 11.00	597	-	-	-	-	295	-	-	6.3	375	20089	2.1	292
10.09.14, 11.00	815	-	-	-	-	399	-	-	7.5	490	27480	3.1	406
12.09.14, 11.00	576	-	-	-	-	296	-	-	5.1	342	19893	2.1	291
15.09.14, 11.00	846	-	-	-	-	404	-	-	5.6	484	28453	3.0	409
17.09.14, 11.00	641	-	-	-	-	273	-	-	5.9	213	18764	2.0	279
19.09.14, 11.00	713	-	-	-	-	287	-	-	5.8	21	18638	2.0	293
22.09.14, 11.00	845	0.22	-	0.90	4.0	321	-	-	6.8	3	20956	2.2	333
24.09.14, 11.00	771	0.30	-	1.8	3.7	288	-	-	5.9	3	18674	2.0	300
26.09.14, 11.00	753	0.44	-	1.5	3.0	280	-	-	5.7	3	18756	2.0	292
29.09.14, 11.00	934	0.66	-	2.6	5.3	373	-	-	7.6	3	24277	2.6	389
01.10.14, 11.00	1109	0.89	-	2.4	5.1	411	-	-	8.0	3	26424	2.8	428

Buttons: Graphics, Results, Print, Export, Delete, Evaluate, Gradient, Settings, Help, Close

Period: 22.09.2014 - 17.05.2015

Einsetzende akute Oxidationsprozesse mit beginnender Bildung von C₂H₄ und C₂H₆ und mit gleichzeitiger Zunahme von CO₂ und CO

23

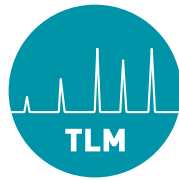


Langsame Oxidationsprozesse



Einsetzende langsame Oxidationsreaktionen über mehrere Wochen unter Verbrauch des O₂

24



Kontaminationsmöglichkeiten und deren Vermeidung bei der Gas-in-Öl-Analyse



Oxidationsprozesse mit H₂-Bildung

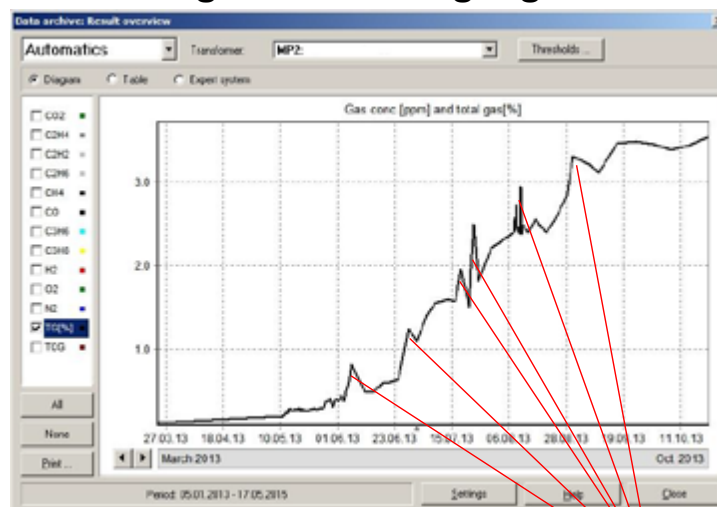


Einsetzende Oxidationsreaktionen unter Verbrauch von O₂ und zunehmender H₂-Bildung

25

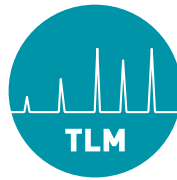


Anstieg des Gesamtgasgehaltes



Ein allmählich ansteigender Gesamtgasgehalt kann z.B. durch einen undichten Kühlkreislauf mit eindringender Umgebungsluft verursacht werden. Zwischenzeitliche Spitzen deuten auf stärker eindringende Luftblasen hin, die anschließend im Öl verteilt werden.

26



Kontaminationsmöglichkeiten und deren Vermeidung bei der Gas-in-Öl-Analyse



Factory Test (heat run)

entsprechend IEC 61181

Tabellarische Messwerteicht DeWGA Seite 1/1
Datei: WEGGA

Messzeit: MST: Takt: ABB	CO2	CO	C2H4	C2H2	C2H6	C6H6	CH4	CO	H2	O2	H2	CO2
21.09.09 16:00	96.9	-	-	-	-	-	0.561	1.5	0.74	9879	1360	0.55
21.09.09 17:00	96.4	-	-	-	-	-	0.580	1.7	0.82	1724	3683	0.79
21.09.09 18:00	96.7	-	-	-	-	-	0.587	1.9	0.82	1837	4244	0.82
21.09.09 19:00	96.4	-	-	-	-	-	0.572	1.5	0.83	1639	4195	0.89
21.09.09 20:00	94.9	-	-	-	-	-	0.562	1.8	0.83	1736	4298	0.74
21.09.09 21:00	94.7	-	-	-	-	-	0.536	1.7	0.79	1796	4298	0.72
22.09.09 22:00	94.4	-	-	-	-	-	0.517	1.7	0.79	1637	4227	0.69
22.09.09 23:00	94.1	-	-	-	-	-	0.504	1.8	0.84	1627	4223	0.68
22.09.09 00:00	94.9	-	-	-	-	-	0.539	1.9	0.82	1737	4504	0.69
22.09.09 01:00	95.3	-	-	-	-	-	0.565	1.8	0.85	1823	4711	0.83
22.09.09 02:00	93.1	-	-	-	-	-	0.539	1.5	0.84	1643	4193	0.82
22.09.09 03:00	92.8	-	-	-	-	-	0.563	1.7	0.79	1729	4239	0.84
22.09.09 04:00	93.9	-	-	-	-	-	0.585	1.5	0.84	1671	4142	0.80
22.09.09 05:00	93.8	-	-	-	-	-	0.588	1.8	0.82	1734	4291	0.80
22.09.09 06:00	93.9	-	-	-	-	-	0.582	1.6	0.73	1636	4236	0.88
22.09.09 07:00	94.4	-	-	-	-	-	0.570	1.5	0.85	1854	4483	0.85
22.09.09 08:00	94.6	-	-	-	-	-	0.571	1.7	0.8	1769	4329	0.87
22.09.09 09:00	96.3	-	-	-	-	-	0.59	2.1	1.2	2012	5369	0.96
22.09.09 10:00	96.9	-	-	-	-	-	0.51	2.1	1.6	1951	5029	0.74
22.09.09 11:00	21.6	-	-	-	-	-	0.54	2.9	1.8	2212	5172	0.75
22.09.09 12:00	29.6	-	-	-	-	-	0.54	3.6	2.8	2224	5177	0.79
22.09.09 13:00	29.9	-	-	-	-	-	0.51	4.3	2.1	2335	5396	0.74
22.09.09 14:00	31.6	-	-	-	-	-	0.52	4.9	3.3	2487	5370	0.81

Merkmale:

- Direkt an Transformator im Prüffeld ankoppelbar
- Frei einstellbare Ölzirkulation
- Kontaminationsfreie Dosierung
- Komplette Gas-in-Öl Analyse für alle 11 Gase
- Sehr hohe Nachweisempfindlichkeit aller Gase

Versuchsablauf:

- 16.00 – 05.00 Uhr Konditionierung des Transformators
- 06.00 – 09.00 Uhr Aufheizprozess des Transformators auf Betriebstemperatur 70°C
- 09.00 – 14:00 Uhr Temperatur 70°C halten während des Tests

27



Folgen der Fehler bei der Probenahme und Lagerung

- Leckage-Verdacht, insbesondere bei Neutransformatoren
- Verfälschung der Expertenauswertung (Quotienten):
 - Wasserstoffverlust
 - Acetylenverlust
 - Sauerstoffeintrag (Verdeckung der Oxidationsprozesse)
 - Anreicherung von Gasen, z.B. CO₂
- Unreproduzierbarkeit im Lebenslauf (bei einer einzigen Analyse pro Transformator jedes Jahr)

28



Kontaminationsmöglichkeiten und deren Vermeidung bei der Gas-in-Öl-Analyse



Online DGA zur Überwachung mehrerer Transformatoren



Online DGA zur Überwachung von 1, 2 oder 3 Öltransformatoren

29



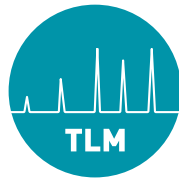
Vorteile des online DGA-Monitoring

Merkmale:

- Kontaminationsfreie Probenahme
- Komplette Gas-in-Öl-Analyse aller 11 Gase
- Automatische Kalibrierung
- Messung des Gesamtgasgehaltes als unabhängige Messgröße
- Geeignet für Factory Tests (heat run test)
- Sehr hohe Nachweisempfindlichkeit aller Gase
- Fehler im Transformator können frühzeitig erkannt werden
- Meßregime wird dem Transformatorbetrieb angepasst
- Automatischer Alarmzyklus bei Überschreitung von Grenzwert oder Gradient (MODBUS, Email, SMS)



30



Kontaminationsmöglichkeiten und deren Vermeidung bei der Gas-in-Öl-Analyse



Zusammenfassung

Kontaminationsfreie Ölprobenahme

Vollvakuumentgasung entsprechend der Norm

Gaschromatographische Analyse

Bestimmung aller 11 Fehlergase + Gesamtgasgehalt

Auswertung mittels Expertensystem

Automatischer Alarmzyklus

Alarmausgänge konfigurierbar

Automatischer Datenexport

**ECH Elektrochemie
Halle GmbH**
Weinbergweg 23
D-06120 Halle/S.

Analysen-Service GmbH
Umwelt- und Öllabor
Arno-Nitzsche-Straße 35
D-04277 Leipzig

Energy Support GmbH
Sperberweg 47
D-41468 Neuss

31

