Die Analyse gelöster Gase (DGA) zur Zustandsbewertung von Leistungstransformatoren

Andreas Hilgers
Vaisala

Dr. Juan Velásquez
Hubert Göbel GmbH

Stuttgarter Hochspannungssymposium
21. – 22. Juni 2022

GÖBEL
VAISALA

Inhalt

1. Einleitung
2. Grundlagen für die Interpretation
3. Anwendungsfälle
4. Zusammenfassung

1. Einleitung

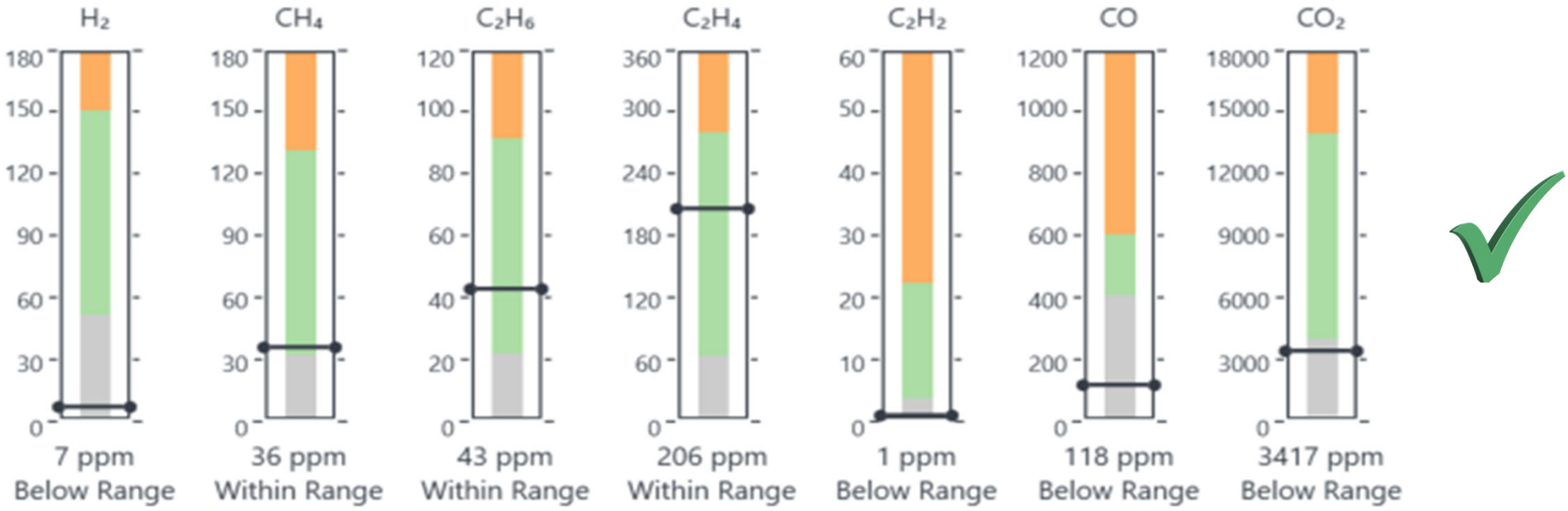
Gas	Konzent. in ppm
Kohlendioxid CO2	3417
Kohlenmonoxid CO	118
Wasserstoff H2	7
Methan CH4	36
Ethin C2H2	1
Ethen C2H4	206
Ethan C2H6	43

Beurteilung vom Labor: Örtliche Überwärmung des Öls durch erhöhte thermische Belastung und/oder natürliche Alterung.

GÖBEL VAISALA

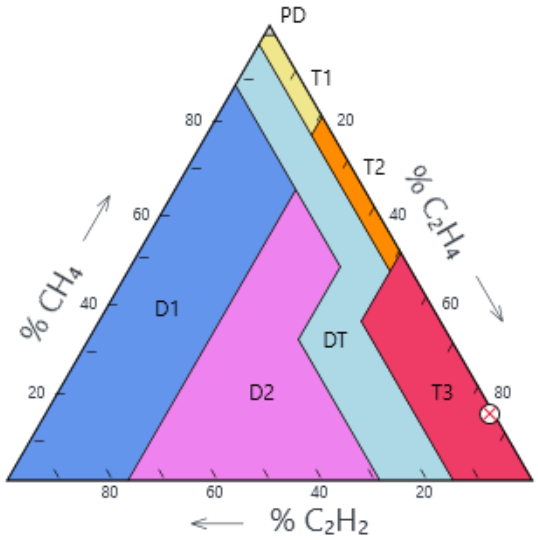
1. Einleitung

Auswertung nach IEC 60599



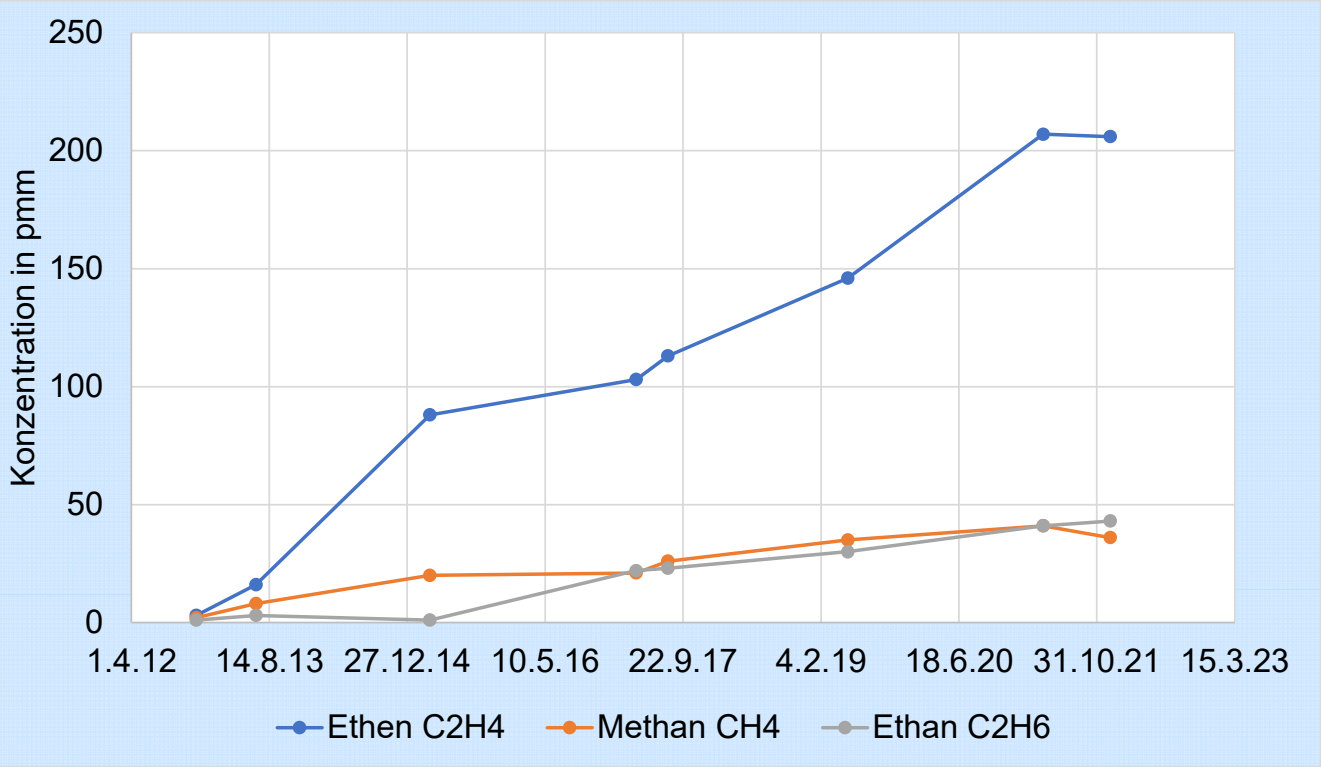
1. Einleitung

Auswertung nach IEC 60599

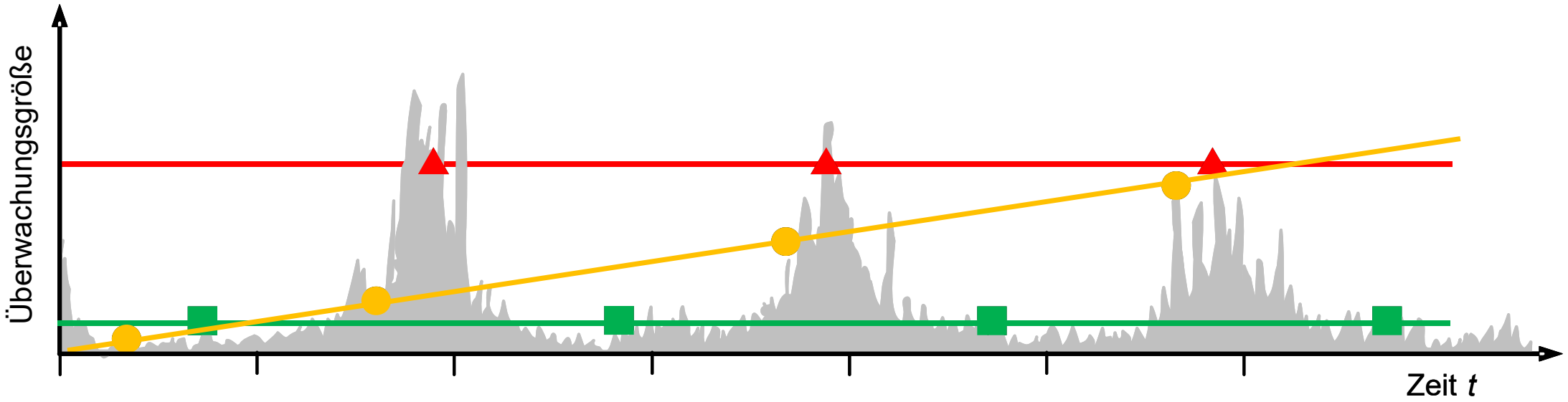


D1 Discharges of low energy
D2 Discharges of high energy
DT Mixed thermal and discharge faults
T1 Thermal faults (T < 300°C)
T2 Thermal faults (300°C < T < 700°C)
T3 Thermal faults (T > 700°C)
PD Partial discharges

1. Einleitung



1. Einleitung



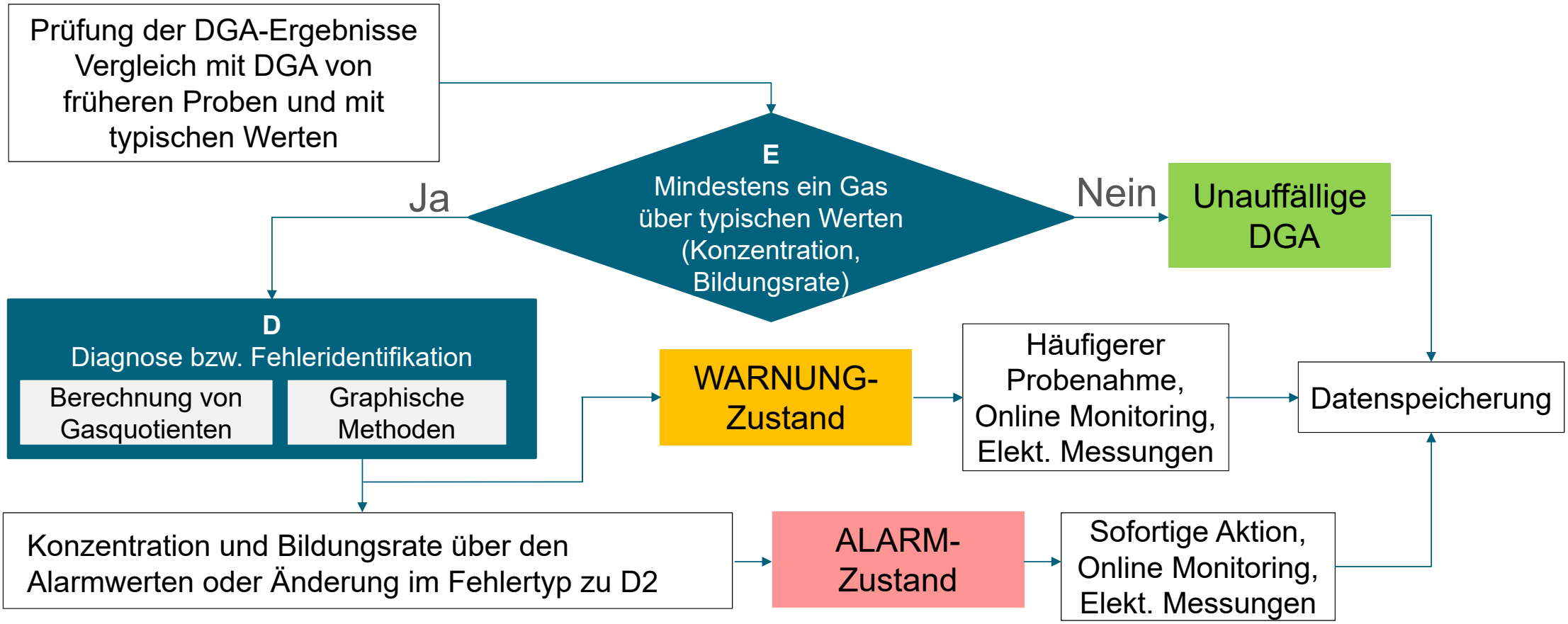
1. Einleitung

- Praxis: Offline DGA Überwachung
- Beurteilung i.d.R. nach den typischen Gaskonzentrationswerten
- Auswertung nicht immer eindeutig
- Erfahrung erforderlich
- Wissen über das Verhalten einer Flotte hilfreich

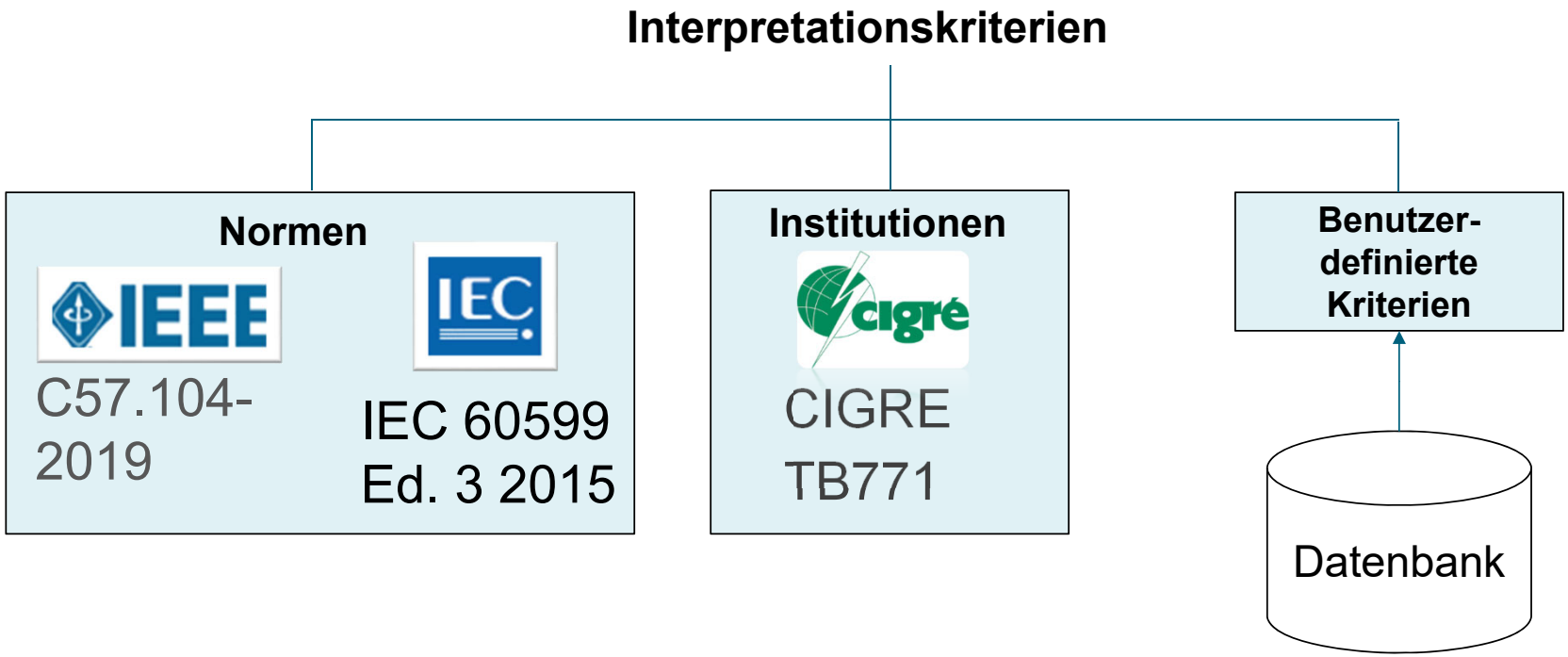
- **Beweggrund:** Nutzung des Online Monitorings zur verbesserten Interpretation

2. Grundlagen für die Interpretation

2. Grundlagen für die Interpretation: Vorgehen



2. Grundlagen für die Interpretation: Interpretationskriterien



2. Grundlagen für die Interpretation: Interpretationskriterien Aufgabe 1: Erkennung von Auffälligkeiten

- Bereiche der typischen 90%-Gaskonzentrationswerte in µl/l bzw. ppm. Quelle: IEC Norm 60599

Typ	C_2H_2	H_2	CH_4	C_2H_4	C_2H_6	CO	CO_2
Alle Transformatoren		50-150	30-130	60-280	20-90	400-600	3800-14000
Ohne Stufenschalter	2-20						
Kommunizierender Stufenschalter	60-280						

- Bereiche der typischen 90%-Gasbildungsrate in µl/l/Jahr bzw. in ppm/Jahr. Quelle: IEC Norm 60599

Typ	C_2H_2	H_2	CH_4	C_2H_4	C_2H_6	CO	CO_2
Alle Transformatoren		35-132	10-120	32-146	5-90	260-1060	1700-10000
Ohne Stufenschalter	0-4						
Kommunizierender Stufenschalter	21-37						

GÖBEL VAISALA

2. Grundlagen für die Interpretation: Interpretationskriterien Aufgabe 2: Feststellung des Grades einer Auffälligkeit

- Definition von Fehlertypen nach IEC 60599 und Ergänzende fehlertypen gemäß Cigré TB 771

Fehler	Abkürzung
Teilentladungen	PD
Entladungen niedriger Energie	D1
Entladungen hoher Energie	D2
Thermische Fehler in Öl und/oder Papier unter 300 °C	T1
Thermische Fehler in Öl und/oder Papier über 300 °C	T2
Thermische Fehler mit Temperaturen über 700 °C	T3
Streugasen in Öl	**S**
Überhitzung <250 °C	O
Mögliche Karbonisierung des Papiers	C
Thermische Fehler in Öl mit Temperaturen über 700 °C	T3-H

2. Grundlagen für die Interpretation: Interpretationskriterien Aufgabe 3: Feststellung der Natur des Fehlers

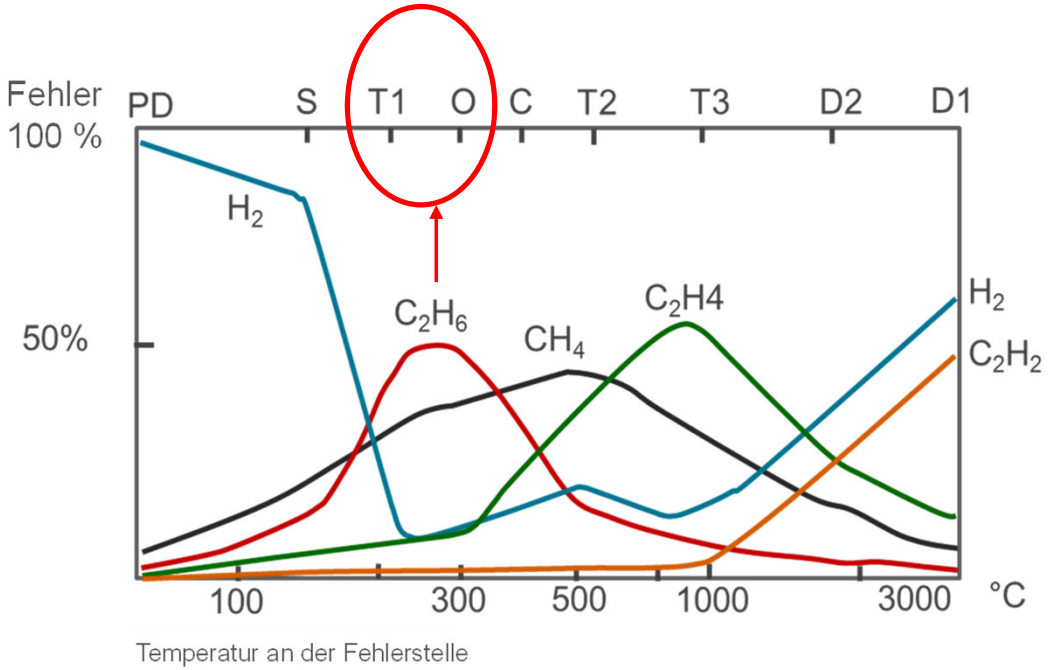
- Methoden zur Auswertung nach IEC 60599 und Cigré TB771

Ergebnis der Auswertung		Grundlegende Gasquotienten	CO_2/CO	O_2/N_2	C_2H_2/H_2	Duval-Dreieck/Pentag.
Teilentladung (PD)		•				•
Entladungen	Low energy (D1)	•				•
	High energy (D2)	•				•
Thermische Fehler	<300°C (T1)	•	Im Papier			•
	>300°C, <700°C (T2)	•				•
	>700°C (T3)	•				•
	>700 °C Öl (T3-H)					•
	Überhitzung <250 °C (O)					•
	Karbonisierung des Papiers (C)					•
Keine Identifikation möglich		•				
Keine eindeutige Identifikation		•				
Öloxidation				•		
Kontaminierung durch Stufenschalter					•	
Streugasen in Öl (S)						•

GÖBEL VAISALA

2. Grundlagen für die Interpretation: Interpretationskriterien Aufgabe 3: Feststellung der Natur des Fehlers

- Graphische Verfahren: Muster der typischen Gaszusammensetzung in Abhängigkeit von der Temperatur



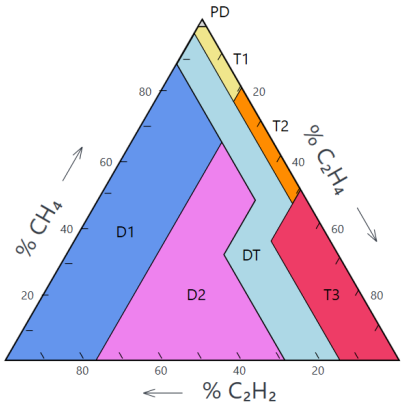
Time	Methane C	Acetylene	Ethylene C	Ethane C_2	Carbon mc	Carbon dio	Hydrogen I
2021-01-21T13:37:21	96.3	1.5	0	161	80.2	5271	1.3
2021-01-21T14:45:44	84.6	2.4	0	155	69	4571	1.3
2021-01-21T16:20:56	89.6	2.1	0	155	75.4	4885	1.3
2021-01-21T17:28:56	89	2	0	155	73.3	4802	0.4
2021-01-21T18:36:44	87.7	2.1	0	157	71.3	4741	1.1
2021-01-21T19:44:32	90.2	1.9	0	155	72.9	4841	1.3
2021-01-21T20:52:08	90.2	2.1	0	159	74.1	4871	1.4
2021-01-21T21:59:44	91.2	2.5	0	162	74.5	4882	1.4
2021-01-21T23:07:20	96.5	1.7	0	167	79	5114	1.4
2021-01-22T00:14:56	94.7	2.1	0	170	77	5007	1.4
2021-01-22T01:22:44	93.1	2.6	0	175	74.1	4878	1.5
2021-01-22T02:30:31	93.6	2.2	0	178	74	4911	1.5
2021-01-22T03:38:31	91.6	2.7	0	178	73.8	4910	1.6
2021-01-22T04:46:32	91.3	2.1	0	174	73	4895	1.7
2021-01-22T05:54:43	92.3	2.3	0	175	73.2	4953	1.7
2021-01-22T07:02:55	88.7	2.2	0	171	73	4858	1.7
2021-01-22T08:11:20	92.7	2.5	0	169	76	5042	1.7
2021-01-22T09:19:43	92.3	2	0	168	77.2	5037	1.7

Quelle: CIGRE TB771

GÖBEL VAISALA

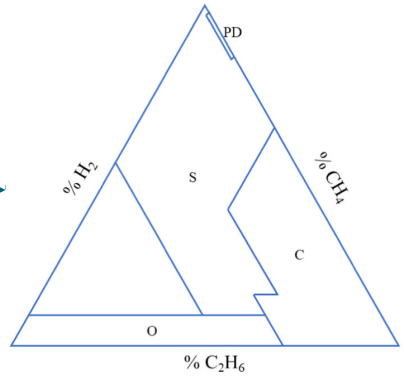
2. Grundlagen für die Interpretation: Interpretationskriterien
Aufgabe 3: Feststellung der Natur des Fehlers

- Graphische Verfahren: Duval-Dreiecke



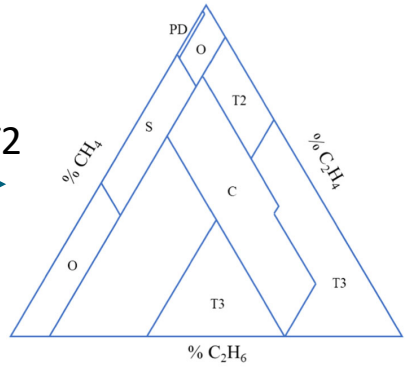
Duval-Dreieck 1

PD, T1 oder T2



Duval-Dreieck 4

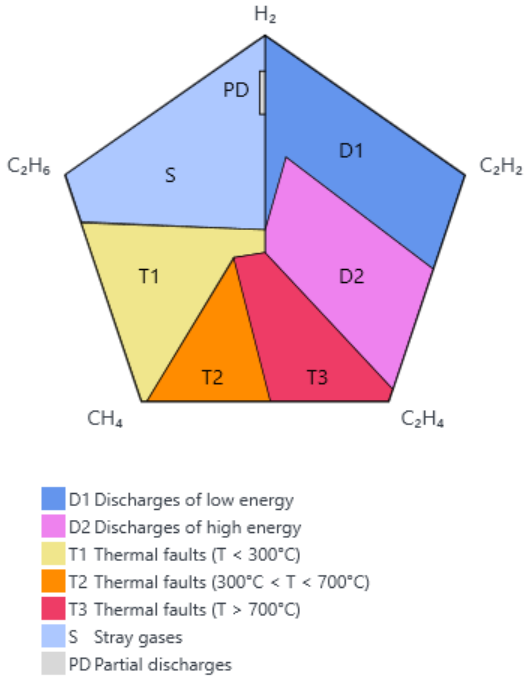
T1 oder T2



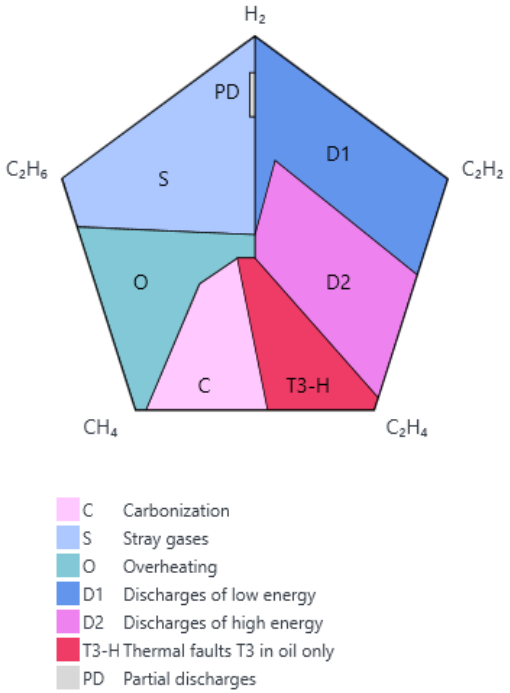
Duval-Dreieck 5

2. Grundlagen für die Interpretation: Interpretationskriterien Aufgabe 3: Feststellung der Natur des Fehlers

- Graphische Verfahren: Duval-Pentagone



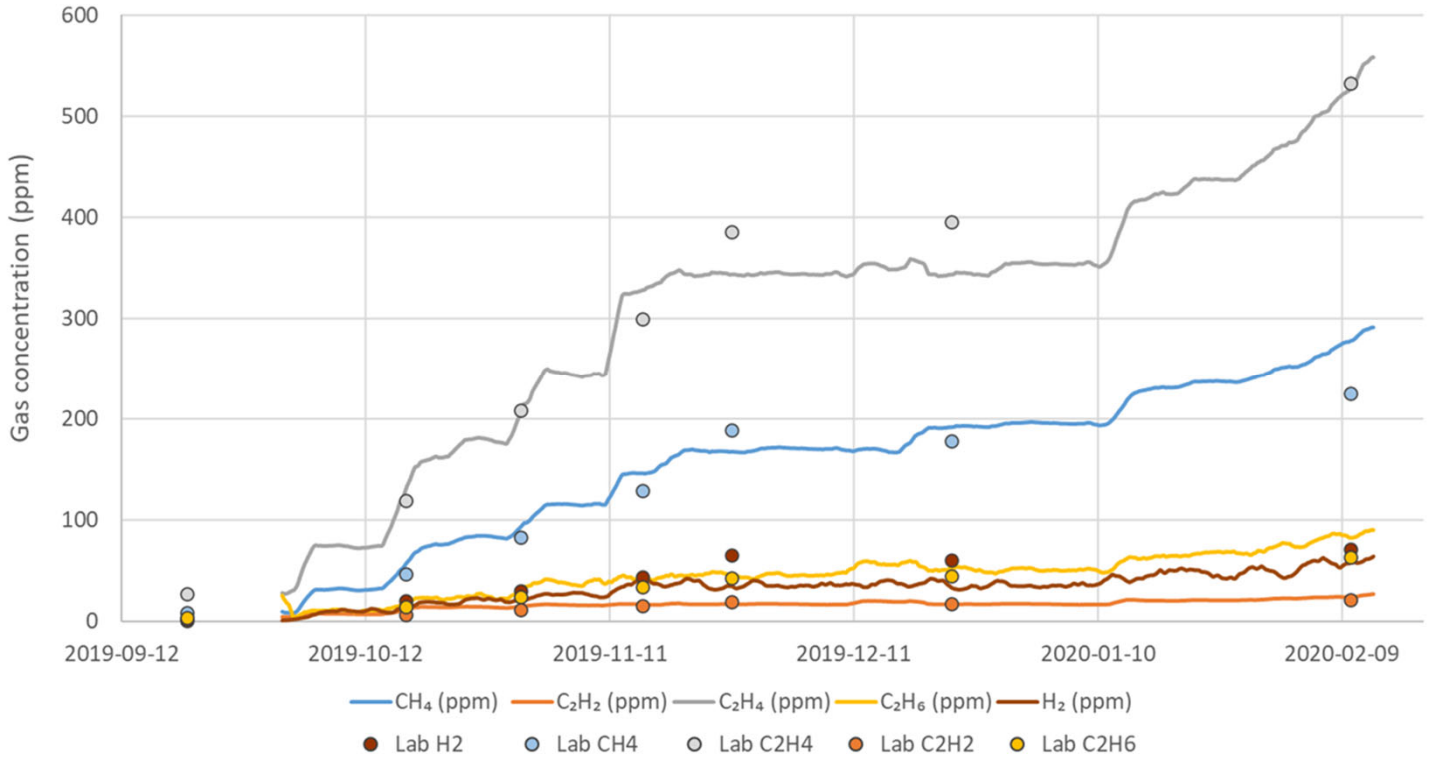
Duval-Pentagon 1



Duval-Pentagon 2

C. Anwendungsfälle

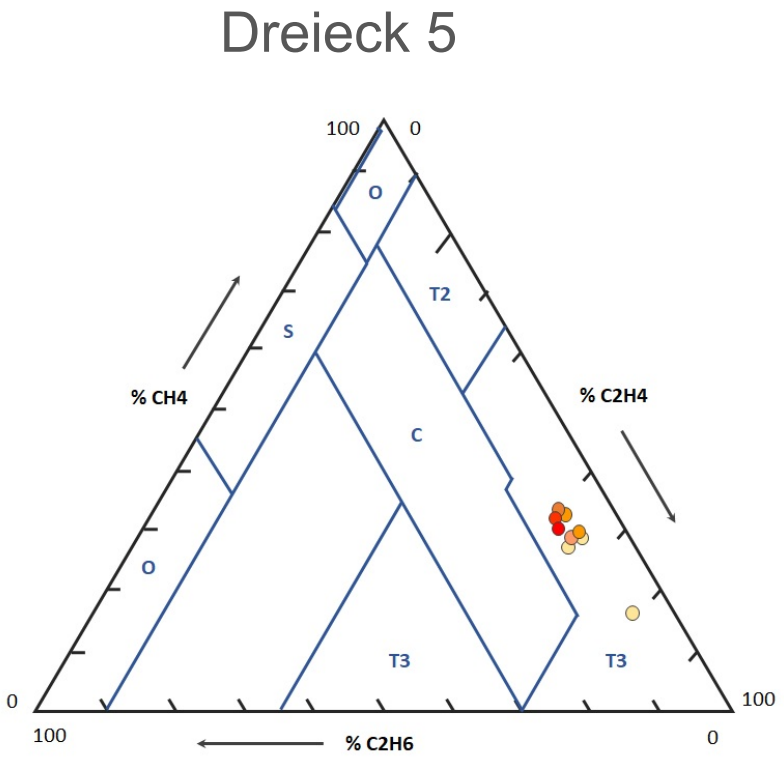
Anwendungsfall 1: Alter Netzkuppler, Ende seiner Lebensdauer



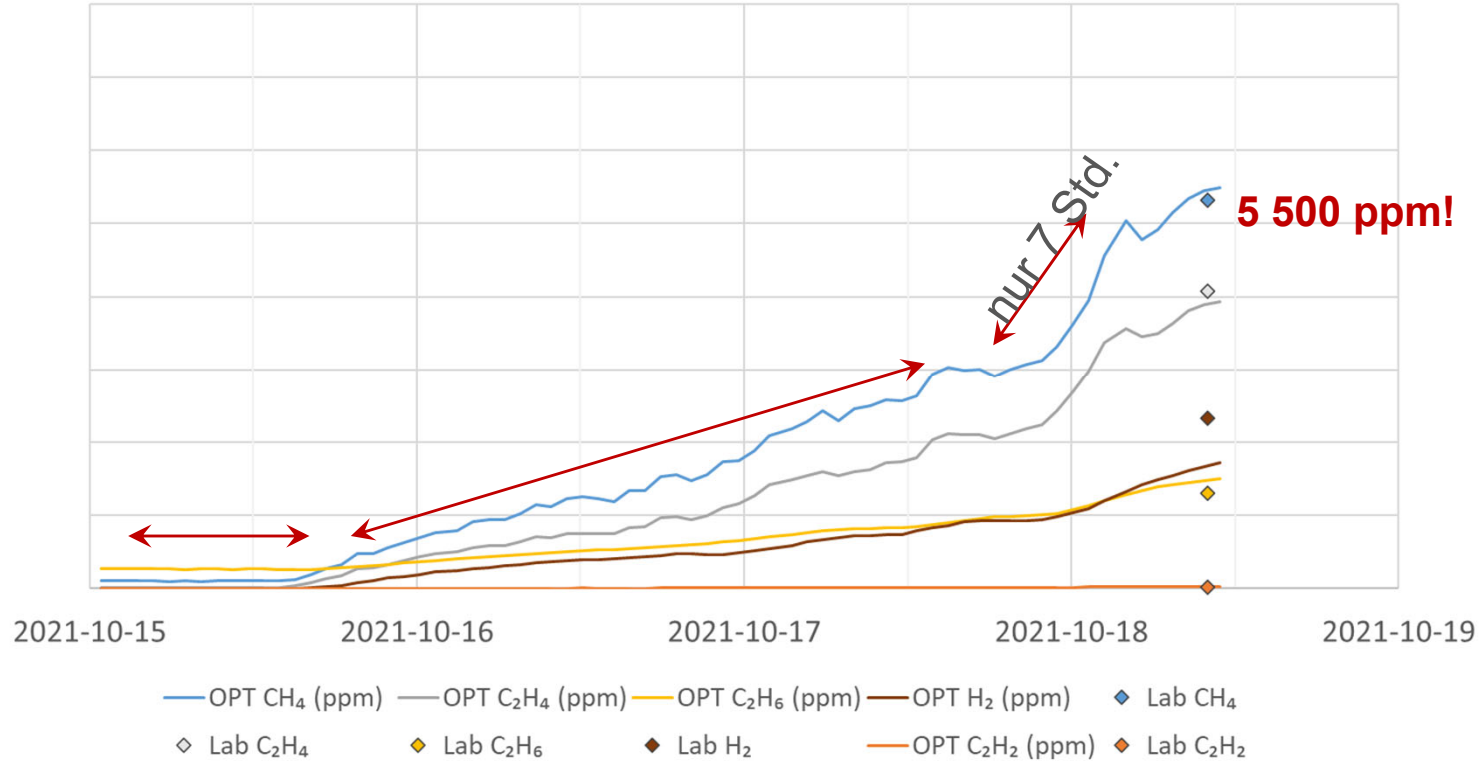
Historie:

- 1958,100MVA
- 2013, 1. Ereignis?, Ethin ↗, thermischer Fehler ohne Papier
- 2017, 2. Ereignis?
- 2018, Umsetzung, Entgasung
- Mai 2019, Gasanstieg, Endoskopie?
- Zuschaltung mit Mulitgas DGA Online Monitoring Gerät, Trafotausch
- Stufenförmiger Anstieg
- 2020 kontinuierlicher Gasanstieg >> Außerbetriebnahme
- Interpretation DGA Daten – online/offline

Anwendungsfall 1: Alter Maschinen-Transformator, Ende seiner Lebensdauer



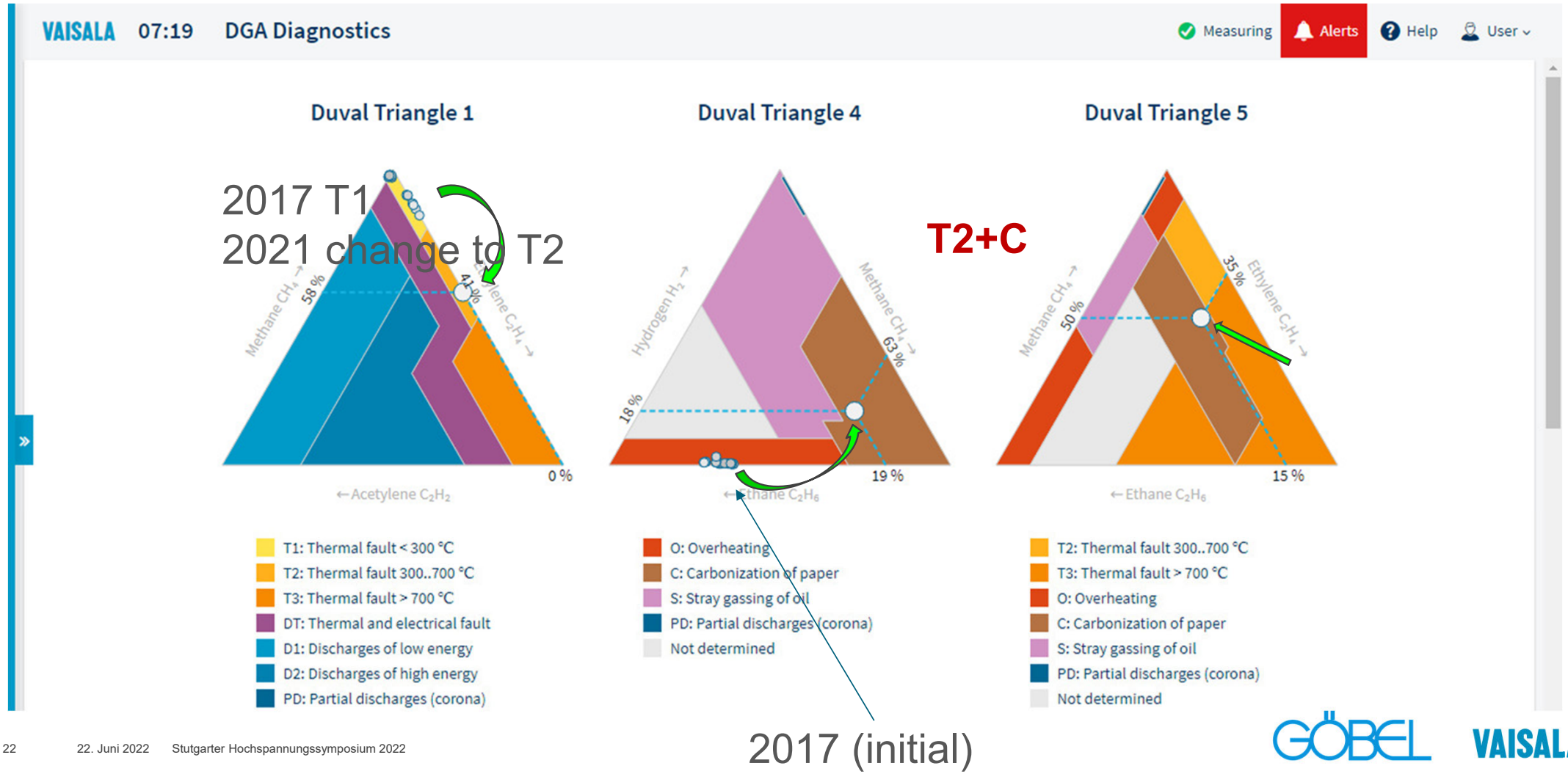
Anwendungsfall 2: Sich schnell entwickelnder Fehler, 20 Jahre alter Maschinen-Transformator



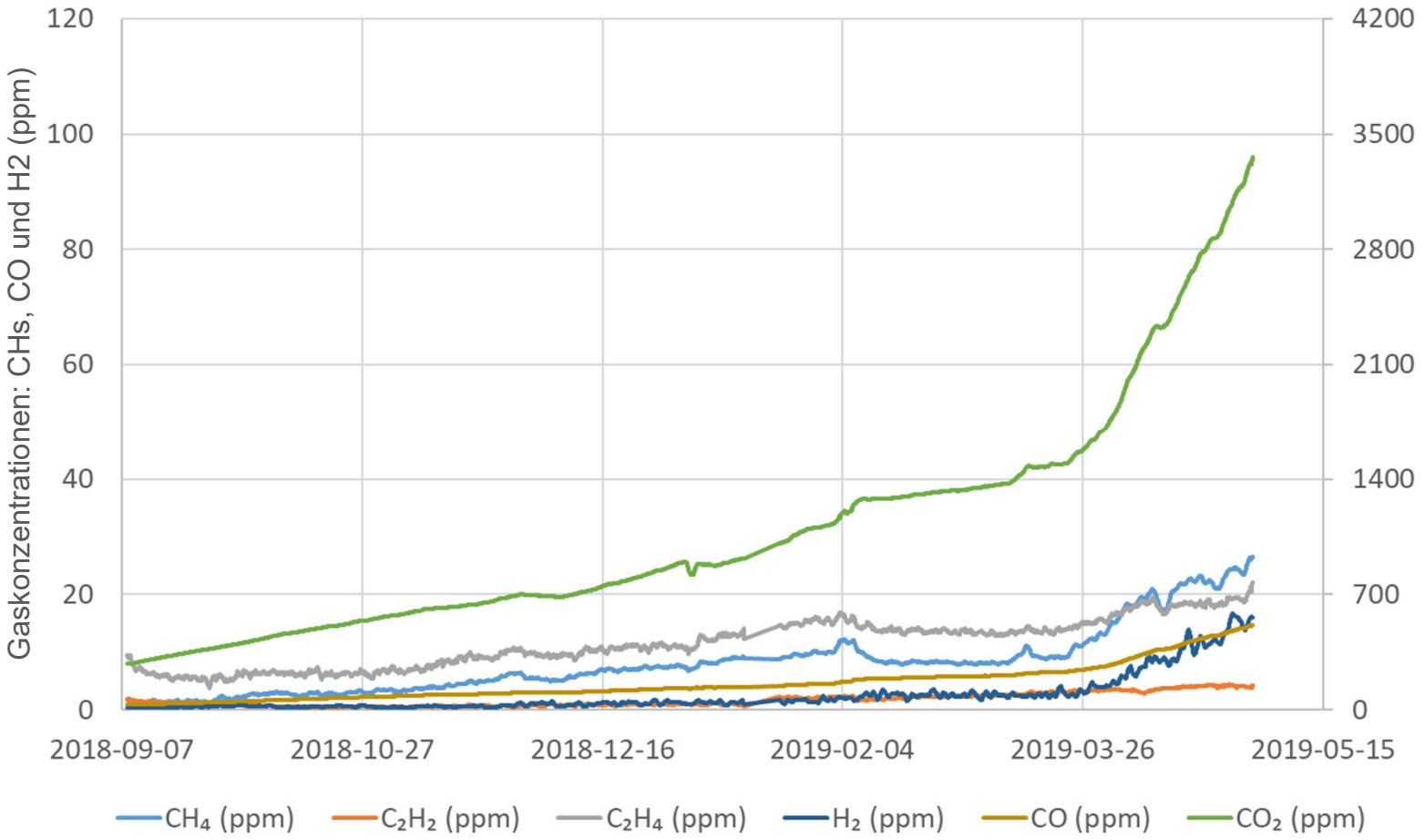
Historie:

- 20 Jahre alt, unauffällig
- Übertemperaturen
- Anpassung der Kühlung
- 2017 Installation DGA Online Monitoring Gerät
- Freitag 15. Oktober 2021, Alarm, Ethin ↗ 34ppm
- Wasserstoff H2, Ethan C2H6, Ethen C2H4, Methan CH4
- Außerbetriebnahme
- Duval

Anwendungsfall 2: Sich entwickelnder Fehler über OPT100 Nutzungsoberfläche



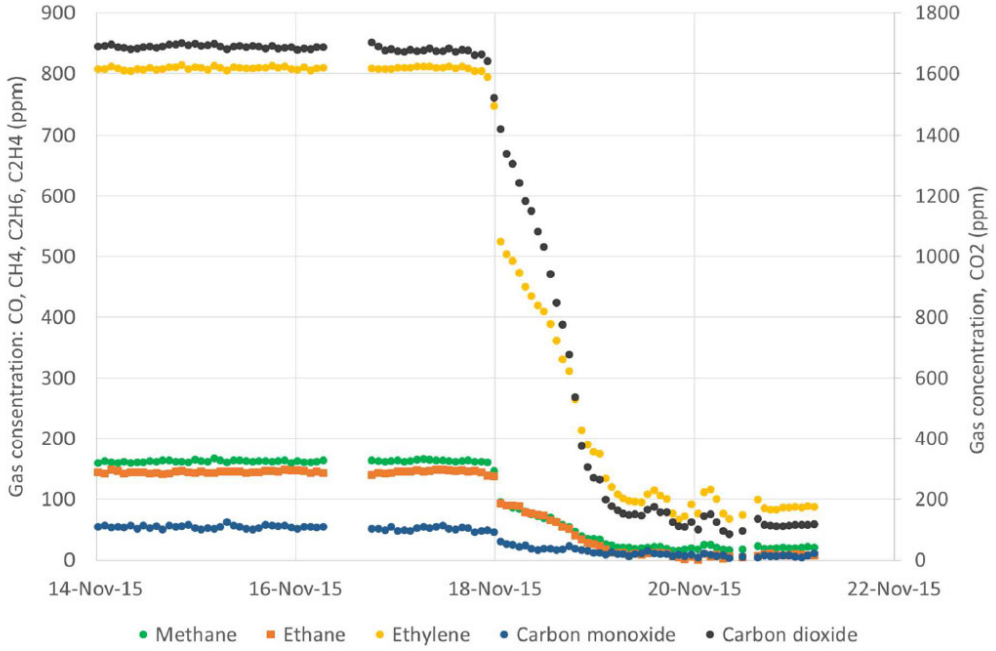
Anwendungsfall 3: Beschleunigende Gasbildung detektiert, ein neuer Maschinen-Transformator



Historie:

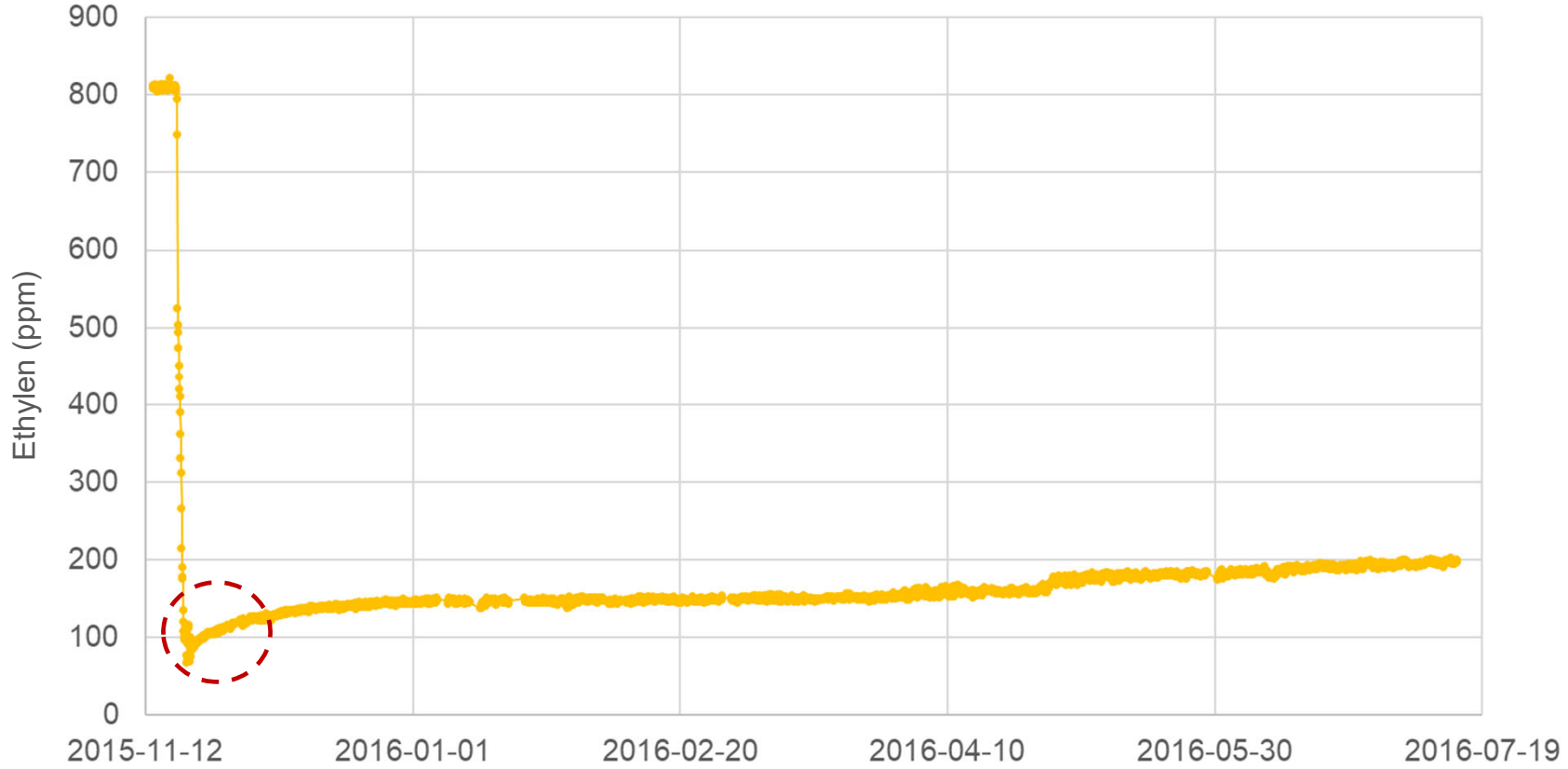
- 2018 Inbetriebnahme mit DGA Online Monitoring
- IEC Gaskonzentrationswerte / Gasbildungsraten
- ≠Alter
- Erfahrung > Problem
- Senja Leivo

Anwendungsfall 4: 400-MVA-400-kV-Transformator



Anwendungsfall 4: 400-MVA-400-kV-Transformator

- Gase nach Transformatorreparatur und Ölentgasung



C. Zusammenfassung

Einige allgemeine Anmerkungen zur DGA-Interpretation

- **Ein stabiler,** selbst hoher Gasgehalt ist in der Regel kein erhebliches Problem.
- Ein relativ **niedriger, aber steigender** Gasgehalt könnte ein Problem werden.
- **Hochtemperaturfehlergase** (Ethin C2H2, Ethen C2H4) sind ernst zu nehmen.
- **T3-H** Hochtemperaturfehler (nur in Öl) ist weniger besorgniserregend als **C** (Karbonisierung von Papier).
- **DGA Online Monitoring** unterstützt bei der **Verlängerung** der **Lebensdauer Ihrer Transformatoren**, Erkennung von sich schnell entwickelnden Fehlern bei **neuen** & **alten Transformatoren**, Überwachung von **Entgasungsprozessen**, **Verifikation** von **Reparaturmaßnahmen**.

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit
Besuchen Sie uns am Stand

- Fachliche Beratung
- Unterstützung bei der Erstellung von Spezifikationen
- Installation und Inbetriebnahme
- Analyse und Bewertung von Messdaten
- Vor Ort Verifikation
- Beratung, Verkauf, Wartung und Störungsanalyse im Zusammenarbeit mit unserem Partner VAISALA
- Diagnose anhand von ergänzenden elektrischen Messungen

GÖBEL VAISALA

VAISALA