

## Vaisala Optimus™ DGA-Monitor OPT100



Leistungstransformatoren gehören zu den teuersten Anlagen einer Schaltanlage und machen 60 % der Gesamtinvestition aus. Sie sind auch für die Gewährleistung einer zuverlässigen Stromversorgung über das gesamte Stromnetz entscheidend - von der Erzeugung bis hin zur Verteilung.

Damit ein langfristiger Betrieb dieser Anlagen sichergestellt werden kann, sind Online-Überwachung und automatische Zustandsbewertung zu einem wichtigen Bestandteil moderner zustandsbasierter Wartungsstrategien für Energieversorger geworden. Zuverlässige DGA-Monitore sind fortan unerlässliche Werkzeuge, um genaue Daten zum Transformatorzustand liefern zu können. Da jedoch eine breite Palette von DGA-Monitoren verfügbar ist, kann es für Benutzer\*innen schwierig sein, zwischen Geräten verschiedener Hersteller zu unterscheiden.

In diesem technischen Hinweis werden die neuesten Entwicklungen bei DGA-Monitoren erläutert. Außerdem wird aufgezeigt, wie sich durch diese Entwicklungen Unsicherheiten, die mit der Messtechnik älterer Monitore verbunden sind, erheblich verringern lassen, insbesondere die Gasextraktion

aus Öl und die Querempfindlichkeit bei der infrarotbasierten Gasdetektion.

### Gasextraktion aus Öl

Mit dem Vaisala Optimus™ DGA-Monitor werden Gase unter einem Teilvakuum aus dem Transformatoröl extrahiert, was einen sehr niedrigen absoluten Druck bei kontrollierter Temperatur bedeutet. Die Vakuumextraktion führt zu einer vollständigeren Gastrennung als bei herkömmlichen Oberer-Bereich- oder Membranmethoden. Sie ist daher wesentlich weniger abhängig von der Gaslöslichkeit in Ölwerten, auch als Ostwald-Koeffizienten bezeichnet, und über einen breiten Bereich von Ölen zuverlässiger.

Im Vergleich dazu sind Ostwald-Koeffizienten bei Verwendung der herkömmlichen Oberer-Bereich-

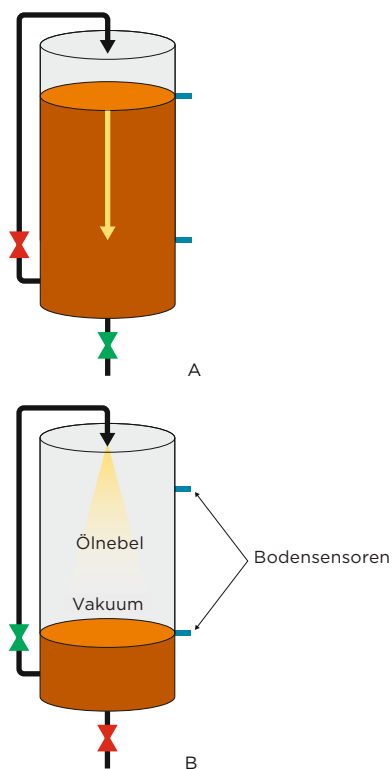


Abbildung 1. Anlegen eines Vakuums über dem Ölstand durch Abpumpen des Öls bei geschlossenem Ventil oben am Zylinder (A). Gas wird extrahiert, indem Öl durch das Vakuum gesprüht wird (B).

Extraktionsmethode erforderlich, um Gaskonzentrationen in Öl aus nur teilweise extrahierten Gasen zu berechnen. Die Koeffizienten variieren je nach Gas und hängen von Temperatur, Ölqualität und Grundöltyp, z. B. Naphthen- oder Paraffinöl, ab. Mit der Teilvakuum-Gasextraktion des Vaisala Optimus™ DGA-Monitors kann die Messunsicherheit in Bezug auf Koeffizientendifferenzen auf ein Drittel jener Messunsicherheit der Oberbereich-Methode reduziert werden.

Um ein Vakuum zu erzeugen, kommt im Optimus™ DGA-Monitor keine Vakuumpumpe, sondern eine patentierte Methode zum Einsatz. Dabei wird das Ölvolumen als Kolben im Zylinder verwendet und das Vakuum über dem Ölvolumen erzeugt, indem das Öl mit einer magnetischen Getriebepumpe bewegt wird. Die Ölprobe wird dann durch das Vakuum gesprüht, um die Gase zu extrahieren (Abbildung 1).

Die Verwendung einer Vakuumextraktion führt zu einer vollständigeren Gastrennung und erhöht die Messzuverlässigkeit, selbst wenn der Druck der gelösten Gase insgesamt im Transformatoröl sehr niedrig ist. Dies kann beispielsweise bei geschlossenen Transformatoren oder nach einem Transformatorentgasungsprozess geschehen, bei dem der Gesamtgasdruck deutlich unter 100 mbar liegen kann.

## Infrarotbasierte Gasetektion

Wenn extrahierte Gasmoleküle nichtdispersivem Infrarotlicht (NDIR) ausgesetzt werden, absorbieren sie Energie, wenn sie in einen angeregten molekularen Zustand übergehen (Abbildung 2). Absorbierte Wellenlängen sind für jedes Gas einzigartig und bilden einen gaspezifischen „Fingerabdruck“, mit dem die Gaskomponenten im extrahierten Gasgemisch identifiziert werden können (Abbildung 3). Die Absorptionsintensität hängt von den Gaskonzentrationen ab, sodass die Menge jedes vorhandenen spezifischen Gases ermittelt werden kann, indem die Lichtintensität gemessen wird.

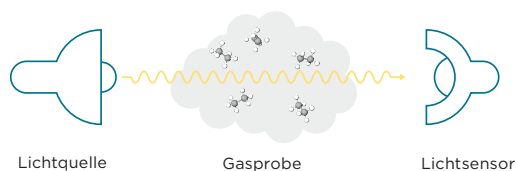


Abbildung 2. Schematische Darstellung der Absorption von IR-Licht durch Übergang von Molekülen in einen angeregten Zustand.

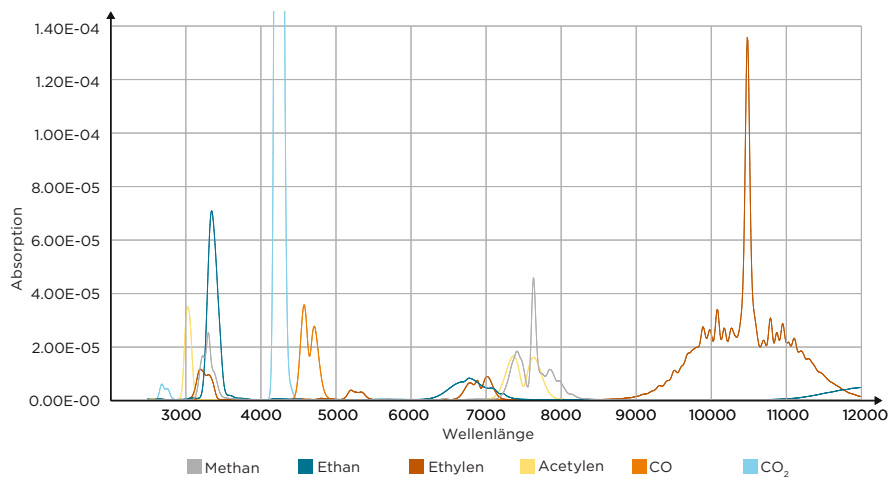


Abbildung 3. IR-Absorptionsbanden von CO<sub>2</sub>, CO, Acetylen, Ethylen, Ethan und Methan.

Einer der Hauptvorteile der IR-Messung ist eine grundlegende Gasanalysemethode, bei der sich die gaspezifischen Absorptionswellenlängen und Absorptionen von Fehlergasen im Laufe der Zeit nicht ändern. Dies ermöglicht einen langfristig kalibrierfreien Betrieb, sofern andere mögliche Abweichungsmechanismen bekannt sind und mit dem DGA-Monitor kompensiert werden.

Das temperaturgesteuerte IR-Modul des Optimus™ DGA-Monitors besteht aus Lichtquellen, Bandpassfiltern, Gaszelle, Spiegel und Sensoren (Abbildung 4). Die gemessenen Wellenlängen werden mit den Bandpassfiltern ausgewählt, die nur ein bestimmtes Wellenlängenband durchlassen. Ein wichtiger Teil dieses Moduls sind die abstimmbaren Filter, die ein Abtasten des IR-Spektrums mit größerer Reichweite ermöglichen und zusätzlich zu den Spitzenwerten die Form der Absorptionsbereiche aufdecken. Da das Modul die IR-

Absorption sowie die Form der Absorptionsspitzen analysiert, kann es eine hervorragende Selektivität für die verschiedenen nachgewiesenen Gase und deren Konzentrationen bieten. Die endgültige Gasanalyse basiert daher auf Signalen, die mit einem großen Wellenlängenbereich erfasst wurden.

Alle IR-Sensorelemente, einschließlich Microglow-Lichtquellen, Filter und Sensoren, sind mikroelektromechanische Systeme

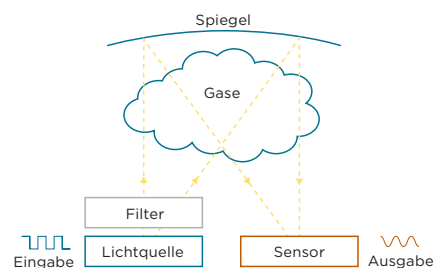


Abbildung 4. Schematische Darstellung des Optimus™ DGA-Monitor-IR-Moduls.

(MEMS), die auf Einkristallsiliziumwafern hergestellt werden. Diese Elemente wurden für den Optimus™ DGA-Monitor entwickelt und optimiert und werden in unseren eigenen Reinräumen gefertigt. Um die Zuverlässigkeit weiter zu erhöhen, befinden sich im optischen Messmodul keine beweglichen Teile.

## Abweichungen eliminieren

Obwohl sich die Absorptionseigenschaften von Fehlergasen bei Verwendung der IR-basierten Analyse im Laufe der Zeit nicht ändern, können Messsignale dennoch durch andere Faktoren beeinflusst werden. Deswegen sollte ein DGA-Monitor solche abweichende Effekte ausgleichen oder eliminieren.

Typische Abweichungsmechanismen in der IR-Technologie sind Verunreinigung oder Alterung von Sensorkomponenten wie Lichtquellen und Sensoren. DGA-Systeme sollten Möglichkeiten bieten, diese Mechanismen zu kompensieren, um langfristig stabile Messungen zu erreichen. Dies ist von entscheidender Bedeutung, da Gastrends zu den wichtigsten Informationsquellen über den Zustand eines Transformators zählen.

Vaisala hat mehrere einzigartige Methoden entwickelt und patentiert, um Abweichungen zu bewältigen und stabile Messungen zu gewährleisten, ohne dass eine Neukalibrierung erforderlich ist. Mit dem Optimus™ DGA-Monitor werden interne Gasextraktions- und Ölbehandlungsmechanismen integriert und kontrolliert, damit sich keine kontaminierenden Verbindungen aus dem Öl auf den optischen Oberflächen ansammeln und langfristige Abweichungen verursachen. Darüber hinaus wird durch die Verwendung eines vollständig hermetischen mechanischen Aufbaus jegliche äußere Verunreinigung vermieden, was bedeutet, dass Verbindungen aus der Umgebungsluft nicht in die Optik gelangen und die Messung beeinflussen können.

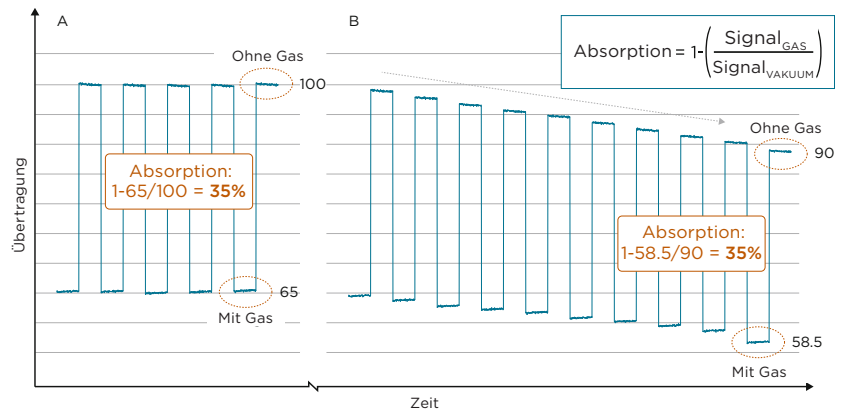


Abbildung 5. Funktionsprinzip des IR-Referenzsignals während der Vakuumphase in der Optik. A) Stabile Messung, B) 10 % Abweichung der Lichtquellenintensität.

## Referenzmessung bereitstellen

Der Optimus™ DGA-Monitor erstellt während jedes Ölprobenahmezyklus eine Referenzmessung für die interne Kalibrierung mithilfe eines patentierten Systems. Die Abtastung und Messung vordefinierter Wellenlängenbereiche erfolgt sowohl mit den vorhandenen extrahierten Gasen als auch unter Vakuum, nachdem die Gase aus dem optischen Modul entfernt wurden. Letztere Messung dient dann als Referenz. Das Verhältnis dieser beiden Abtastsignale definiert die tatsächlichen Absorptionen und damit die Gaskonzentrationen.

Dadurch kann das System mögliche Abweichungen der optischen Komponenten, sei es aufgrund von Alterung oder Verunreinigung, kompensieren. Abbildung 5 zeigt ein Beispiel von IR-Sendesignalen, wenn Gas vorhanden ist und unter Vakuum (kein Gas), sowohl während der stabilen Messung als auch wenn eine Abweichung von 10 % in der Lichtquellenintensität auftritt.

## Autokalibrierung auf Öl – langfristige Leistung und Eliminierung von Abweichungen

In Betrieb befindliche Transformatoröle haben eine sehr komplexe chemische Zusammensetzung, einschließlich der

Hauptfehlergase für die Transformator diagnose sowie der schwereren Kohlenwasserstoffgase und anderer flüchtiger organischer Verbindungen (VOCs). IR-Absorptionsbanden der Kohlenwasserstoffgase und der VOCs – die Störgase – können sich mit den Fehlergasen überschneiden und das Absorptionssignal und damit die Gasanalyse stören, sofern sie nicht erkannt und kompensiert werden.

Diese Verbindungen haben jedoch andere physikalische Eigenschaften als die Hauptfehlergase. Der Optimus™ DGA-Monitor nutzt diesen physischen Unterschied zwischen den VOCs und den Hauptfehlergasen, um die VOCs zu kompensieren. Wenn Gase unter verschiedenen Bedingungen extrahiert werden, wird eine wesentlich geringere Menge der schwereren Kohlenwasserstoffgase extrahiert. Die Reduzierung der Störgase wird bei jedem Extraktionsschritt der IR-Absorptionsmessung erfasst (Abbildung 6). Mit dieser Methode kann der relative Anteil der Störgase berechnet und von den tatsächlichen Messsignalen subtrahiert werden.

Diese Funktionalität wird als Autokalibrierung auf Öl bezeichnet. Der Optimus™ DGA führt diese in den ersten Messzyklen nach der Installation durch, damit er das im Öl vorhandene Gemisch aus Kohlenwasserstoffgasen und VOCs identifizieren und „verstehen“ kann. Im Normalbetrieb wird die

Autokalibrierung auf Öl regelmäßig, etwa monatlich, durchgeführt. Der Monitor führt die Berechnungen erneut aus, um zu gewährleisten, dass er Änderungen in der Ölzusammensetzung effektiv kompensieren und so eine langfristige Leistung sicherstellen kann.

## Gesamtgasdruck

Da der Online-DGA-Monitor OPT100 Teilvakuum verwendet, um Gase aus Transformatoröl zu extrahieren, kann er mit seinem integrierten Drucksensor den Gesamtdruck aller gelösten Gase messen. Der Gesamtgasdruck ist die Summe der Partialdrücke aller im Öl gelösten Gase.

Steigender Druck ist ein früher Hinweis auf ein Luftleck in einem abgedichteten Transformator tank. Im Falle einer Luftleckage im Transformator tank wäre der größte Teil der gemessenen Gase Stickstoff und Sauerstoff. Beide können aufgrund ihrer schlechten Löslichkeit vollständig aus Öl extrahiert werden. Darüber hinaus ist der Anteil der Fehlgase am Gesamtgasdruckwert vernachlässigbar.

Selbst wenn der gesamte Sauerstoff verbraucht worden wäre, würde der Druckwert einen zuverlässigen Hinweis auf eine Leckage geben. Ein Luftleck kann identifiziert werden, da der Stickstoffwert im Laufe der Zeit sowohl dominiert als auch zunimmt, weil er im Transformator weder gebildet noch verbraucht wird.

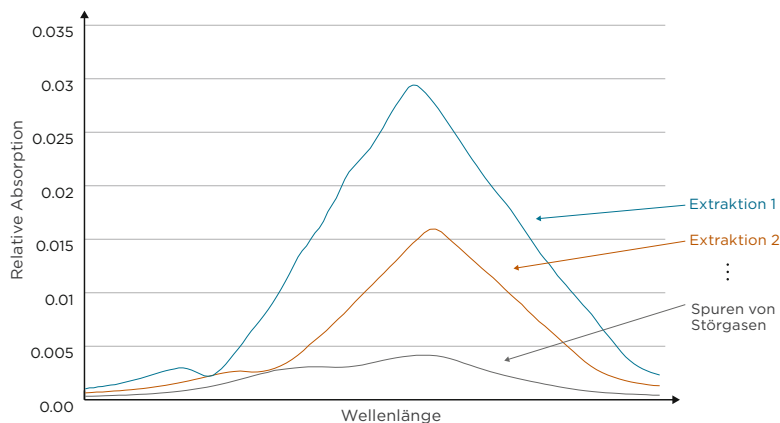


Abbildung 6. Durch die Gasextraktion unter verschiedenen Bedingungen wird der Anteil von Störgasen in der Absorptionsabtastung verringert.

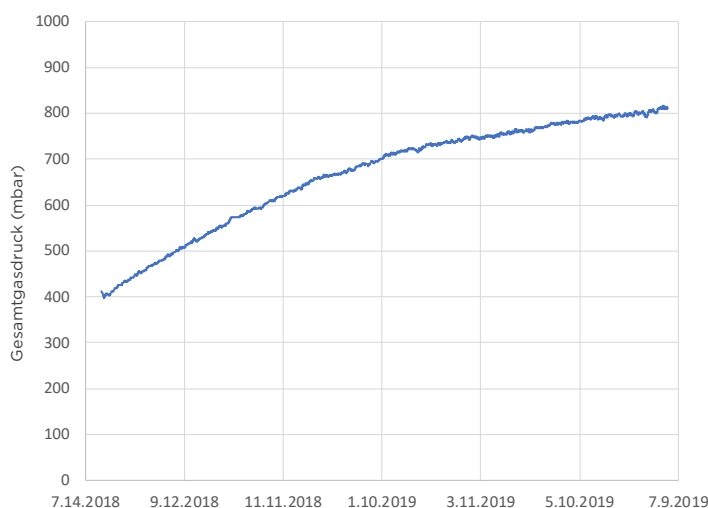


Abbildung 7. Gesamtgasdruck der Fehlgase im Isolieröl eines Leistungstransformators, gemessen mit dem Vaisala Online-DGA-Monitor OPT100.

Der Vaisala Optimus™ DGA-Monitor ist auf dem Markt einzigartig, weil er mit nur einer Ölpumpe und Magnetventilen auf einfache Weise Vakuumbedingungen erzeugen kann. Dies bedeutet zwei wesentliche Vorteile für die Messgenauigkeit und -stabilität:

- Die Gasextraktionseffizienz ist typischen Monitoren, die auf Oberer-Bereich- oder Membranproben basieren, weit überlegen. Die leistungsstarke Vakuumreferenzmessmethode dient dazu, alle wichtigen Abweichungsmechanismen zu kompensieren, die bei IR-Messtechnologien auftreten.
- Die Öl- und Gasaufbereitungsmechanismen sind vollständig geschlossen, sodass das Risiko eines Öllecks vernachlässigbar ist und jegliche Ölverunreinigung durch Umgebungsfeuchte und Sauerstoff verhindert wird.

Diese Vorteile werden mit der Autokalibrierfunktion auf Öl des Optimus™ DGA-Monitors kombiniert, um einen langfristig genauen, zuverlässigen und wartungsfreien Betrieb zu gewährleisten.

**VAISALA**

Kontaktieren Sie uns unter  
[www.vaisala.com/de/contactus](http://www.vaisala.com/de/contactus)



Scannen Sie den Code, um weitere Informationen zu erhalten.

Ref. B211813DE-B ©Vaisala 2022

Das vorliegende Material ist urheberrechtlich geschützt. Alle Rechte hierfür liegen bei Vaisala und ihren jeweiligen Partnern. Alle Rechte vorbehalten. Alle Logos und/oder Produktnamen sind Markenzeichen von Vaisala oder ihrer jeweiligen Partner. Die Reproduktion, Übertragung, Weitergabe oder Speicherung von Informationen aus dieser Broschüre in jeglicher Form ist ohne schriftliche Zustimmung von Vaisala nicht gestattet. Alle Spezifikationen, einschließlich der technischen Daten, können ohne vorherige Ankündigung geändert werden.

[www.vaisala.de](http://www.vaisala.de)