

# Isolationswiderstandsmessungen und elektrische Messungen bei Kompressormotoren von HLK-Anlagen

## Anwendungsbericht



Bei einer angelegten Spannung von 500 V ergibt diese Isolationswiderstandsmessung  $> 550 \text{ M}\Omega$ . Außerdem wird angezeigt, dass der Widerstand außerhalb des Messbereichs liegt. Eine zweite Isolationswiderstandsmessung wurde mit einer Prüfspannung von 1000 V durchgeführt und ergab  $1,1 \text{ G}\Omega$  ( $1100 \text{ M}\Omega$ ). Wenn kein Leckstrom festgestellt worden wäre, hätte der Messwert  $> 2,2 \text{ G}\Omega$  betragen. Das Isolationsmultimeter Fluke 1587 kombiniert die Funktionen eines Digitalmultimeters (Volt, Ohm, mV, mA, Frequenz, Kapazität, Temperatur) mit einem Isolationsmessgerät für eine umfassende Motorinstandhaltung.



HLK-Techniker verlassen sich bei Gut-/Schlecht-Prüfungen von Funktionen oder Prozessen selten auf eine einzige Messung. Noch bevor Sie beim Kondensator angelangt sind, halten sie Ihre Hand über die Abluftleitung des Kondensators und fassen anschließend die Ansaugleitung, die Flüssigkeitsleitung und die Druckleitung an (und wünschen sich, sie hätten es nicht getan). All dies geschieht, noch bevor sie auch nur ihre Werkzeugkiste öffnen.

Danach schließen sie Messgeräte an und holen Thermometer für eine genauere Diagnose hervor. Je mehr Prüfungen und wiederholte Prüfungen sie durchgeführt haben, desto besser fühlen sie sich und desto näher kommen sie der Wahrheit. Bei Kompressoren stellen Isolationswiderstandsmessungen (Insulation Resistance Testing, IRT) zusammen mit Überprüfungen von Kühlmittel, Feuchtigkeit und Säure eine weitere bewährte Messmethode dar, mit der sie jetzt ihre Trickkiste erweitern.

Ein Isolationsmessgerät gibt hohe, aber nicht schädigende Gleichspannungen auf die Wicklungen und Isolierungspunkte eines Motors, um den Leckstrom zu messen. Es gibt keine perfekten Isolatoren, sie weisen allesamt Lecks auf. Die Frage ist vielmehr: Wie hoch ist der Leckstrom durch die Isolierung und verändert er sich über einen längeren Zeitraum aufgrund von Isolationsdurchschlag oder Kontamination? Dieser letztgenannte Punkt spielt bei der vorausschauenden Instandhaltung eine entscheidende Rolle.

Mit Isolationswiderstandsmessungen können Durchgang, Spulen- oder Wicklungswiderstände, Widerstände von Heizelementen, Thermistorwerte usw. geprüft werden. All diese Messungen finden in isolierten Stromkreisen statt, es sei denn, es wird auf einen Erdschluss geprüft.

Wird ein Erdschluss entdeckt, ist ein Totalausfall des Geräts eingetreten, und es ist zu spät für eine vorbeugende Instandhaltung oder proaktive Abhilfemaßnahmen. Ein Totalausfall des Motors in einem (halb-) hermetischen Kompressor, der Öl und Kühlmittel enthält, erfordert im besten Fall eine umfassende Reinigungsprozedur und im schlimmsten Fall einen Geräteaustausch (statt eines Komponentenaustauschs) und führt außerdem zu Verlusten bei Produktionszeit und Umsatz. Man sollte also besser regelmäßig die Isolationswerte überprüfen und sie für die nächste Inspektion zu Vergleichszwecken aufzeichnen, damit alle Veränderungen auf Anhieb ersichtlich sind.

## Auswertung

Es gibt keine strikte und schnelle Gut/Schlecht-Regel für die Interpretation von Widerstandswerten. Hersteller und Organisationen scheinen sich aber einig zu sein, dass die Trenddarstellung des Isolationswiderstands ein klarer Indikator für den wahrscheinlichen Zustand eines Motors sein kann.

Die Norm IEEE 43 für die Isolationswiderstandsmessung von elektrischen Motoren gibt einen akzeptablen Mindestwert von 1 MΩ zuzüglich 1 MΩ pro kV der Motorbetriebsspannung vor. Bei einem 460-Volt-Motor läge der Gut/Schlecht-Grenzwert bei 1,46 MΩ oder einem Leckstrom von 500 V DC/1.460.000 Ohm  $\approx$  342  $\mu$ A.

Diese Norm bezieht sich jedoch auf Motoren, die nicht mit Öl und Kühlmittel hermetisch abgeschlossen sind. Ein in Flüssigkeit getauchter Motor muss unter Umständen niedrigere als die vom Hersteller empfohlenen Werte verwenden. Ein in Flüssigkeit getauchter Motor könnte bei 600.000 Ohm mit angelegten 500 V DC oder einem Leckstrom von 500 Volt/600.000 Ohm  $\approx$  833  $\mu$ A akzeptabel sein.

Einige moderne Isolierungen, die seit 1975 verwendet werden, haben verbesserte Isolierungswerte, die kaum Leckstrom zulassen. Sie haben möglicherweise Isolationswiderstandswerte im Bereich von 20.000 MΩ (20 GΩ) und können unter Umständen nicht verwendet werden, wenn die Isolationswiderstandswerte unter 100 MΩ liegen – unabhängig davon, ob sie oberflächliche Verunreinigungen auf den Wicklungen aufweisen oder nicht.

## Motoren in hermetischen Kompressoren und die Folgen

Die Anwendung von Isolationswiderstandsmessungen bei hermetischen Kompressoren ist aufgrund der Beschaffenheit der Betriebsumgebung des Kompressormotors ein zweistufiges Verfahren.

1. Isolationswiderstandsmessungen zur Überprüfung auf Verschlechterung der Motorwicklungsisolierung
2. Überprüfung auf Verunreinigungen, die die Ergebnisse der Isolationswiderstandsmessung beeinträchtigen

Die erste darzustellende Isolationswiderstandsmessung findet bei ausgeschaltetem Kompressor statt, die zweite, nachdem der Kompressor fünf oder zehn Minuten lang betrieben wurde. Die erste Messung bringt wahrscheinlich eher Verunreinigungen im Öl oder Kühlmittel ans Licht.

Die zweite Messung ist, obwohl sie auch noch von Verunreinigungen beeinträchtigt wird, mehr auf die tatsächliche Isolationswiderstandsmessung des Motors ausgerichtet, nachdem abgestandenes Kühlmittel, Öl und Feuchtigkeit aus den Wicklungen herausgeschleust wurden.

Fluorkohlenwasserstoffe als Kältemittel werden aus dem Verkehr gezogen und durch weniger klimaschädigende Kältemittel ersetzt. Da hierbei andere Schmierstoffe erforderlich sind, die stärkere hygroskopische Eigenschaften haben, kann der Feuchtigkeitsgehalt im Schmiermittel ansteigen. Feuchtigkeit kann die Isolation beeinträchtigen, das macht die Isolationswiderstandsmessung noch wichtiger. Zusätzlich zu Schaugläsern, die die Feuchtigkeit anzeigen, sowie Öl- und Feuchtigkeits-Probereagenzien oder -Flüssigkeiten haben wir mit Isolationswiderstandsmessungen eine weitere Methode zur Abschätzung der Feuchtigkeit im Öl. Das ist gut so.

## Verfahren von Isolationswiderstandsmessungen

Führen Sie niemals Isolationswiderstandsmessungen durch, oder betreiben Sie einen Kompressor, wenn das System unter Vakuum gesetzt ist.

1. Entfernen Sie alle Kabel von den Kompressoranschlüssen, um den Kompressor elektrisch zu isolieren.
2. Entfernen Sie die Anschlussleisten, falls der Kompressor damit ausgestattet ist.
3. Reinigen Sie die Anschlüsse mit einem sauberen, trockenen Reinigungstuch.
4. Verschalten Sie Kompressoranschlüsse, wenn möglich.\*
5. Entfernen Sie Oxidation von der Erdungsstelle des Kompressors, und reinigen Sie sie mit einem sauberen, trockenen Reinigungstuch.

\* Die meisten Kompressormotorwicklungen verfügen über einen gemeinsamen Anschluss im Inneren des Kompressors, sodass die Wicklungen nicht isoliert werden können. Wenn Motorwicklungen isoliert werden können, sollten vorzugsweise zwei Sätze von Wicklungen geerdet werden, während der dritte Satz geprüft wird. Dieser Schritt würde drei Mal wiederholt werden, ein Mal für jeden Satz von Wicklungen. Dadurch wird nicht nur der Widerstand gegen Erde, sondern auch auf Widerstand zwischen der geprüften Wicklung und den anderen beiden Wicklungen geprüft. Dadurch werden auch mögliche Kurzschlüsse zwischen den Wicklungen erkannt.

## Faktoren, die den Isolationswiderstand und die Lebensdauer von Kompressoren beeinträchtigen

- Ein System wird nicht ordnungsgemäß dehydriert
  - Die Hydrolyse von Feuchtigkeit mit bestimmten Kühlmitteln kann Fluorwasserstoffsäure zur Folge haben. Fluorwasserstoffsäure kann Glas wegätzen. Was kann sie der Isolierung an den Motorwicklungen anhaben?
  - Säure kann das Kupfer von Rohrleitungen und Gehäusewänden abtragen. Dieses Kupfer ist leitend und verringert die Durchschlagfestigkeit des Öls. Eine Verkupferung kann auch an den Motorlagern auftreten und letztendlich zu Startschwierigkeiten, höheren Strömen im Betrieb oder einem blockierten Rotor führen.
  - Feuchtigkeit wird absorbiert, wenn PoE-Schmiermitteln verwendet werden.
- Rohrleitungen werden vor dem Zusammenbau nicht ausgerieben.
  - Dies kann zu Kupferspänen im Kompressoröl führen. Kupfer ist leitend und verringert die Durchschlagfestigkeit des Öls.
- Sauerstoff wird während des Lötvorgangs nicht mit durch ein Edelgas wie Stickstoff oder Argon ersetzt.
  - Kupferoxid ist leitend und verringert die Durchschlagfestigkeit des Öls.
- Kühlmittellecks
  - Eine geringe Kühlmittelfüllmenge führt zu erhöhten Betriebstemperaturen des Motors und beansprucht die Isolierung der Motorwicklungen.

6. Messen Sie die Temperatur der Kompressoranschlüsse. Da die Temperatur der Wicklungen nicht direkt gemessen werden kann, ist die Messung der Temperatur der Kompressoranschlüsse wegen der direkten Wärmeableitung von den Wicklungen die zweitbeste Methode. Die Temperatur der Kompressoranschlüsse sollte über dem Taupunkt der Umgebungsluft liegen, da ansonsten Feuchtigkeit an den Anschlüssen die Messwerte beeinträchtigen kann.
7. Schließen Sie die Messleitung für Masse mit der bereitgestellten Krokodilklemme an die Erdung des Kompressors an.
8. Stellen Sie das Messgerät auf die Isolationsprüfposition, und wählen Sie 500 V DC Prüfspannung.
9. Berühren Sie die verschalteten Kompressoranschlüsse mit der Messspitze.
10. Drücken Sie den Testknopf an der Messspitze (oder am Messgerät) für die Dauer der Messung (60 Sekunden).
11. Zeichnen Sie Widerstandswert und Anschluss­temperatur auf.
12. Entfernen Sie die Verschaltung der Kompressoranschlüsse, und stellen Sie die elektrischen Verbindungen ordnungsgemäß wieder her.
13. Setzen Sie den Kompressor 5 oder 10 Minuten lang in Betrieb.
14. Wiederholen Sie die Schritte 1-11.

Die aufgezeichneten Messwerte sollten protokolliert und gemäß der ausgewählten Referenztemperatur temperaturkompensiert werden. Für jede Abweichung von 10 °C über der Referenztemperatur verdoppelt sich der Widerstandswert. Für jede Abweichung von 10 °C unter dem Referenzwert halbiert sich der Widerstandswert. Wenn wir 40 °C als Referenztemperatur wählen, müssen alle vergangenen, heutigen und zukünftigen Trendmessungen auf diesen Wert kompensiert werden. Verwenden Sie diese Gleichung für die Temperaturkompensation:

$$K_T = (0,5)^{(T_R - T_A)/10}$$

$K_T$  ist hierbei der Temperaturkorrekturfaktor bei  $T_A$ .

$T_R$  ist die Referenztemperatur (°C), auf die alle Messungen korrigiert werden.

$T_A$  ist die tatsächlich gemessene Temperatur (°C).

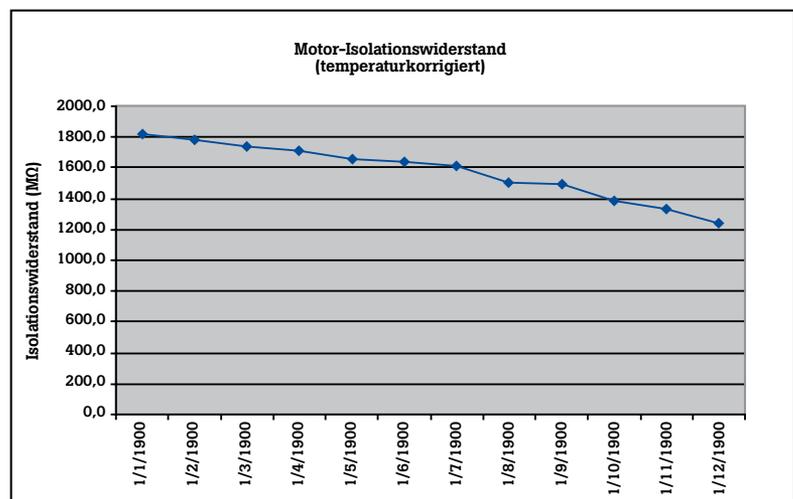
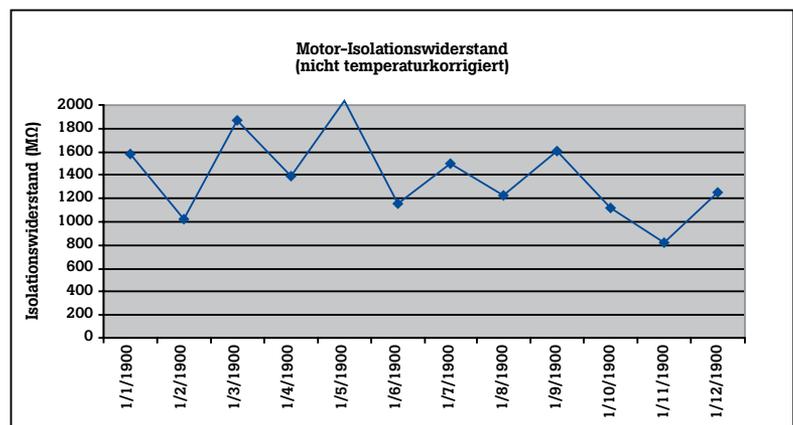
$$T_R = 40 \text{ °C}$$

Wenn der Messwert außerhalb des Messbereichs des Isolationsmessgeräts liegt, wird ein „größer als“ (>)-Symbol angezeigt, um deutlich zu machen, dass der Messwert zwar aufgezeichnet und zur Nachverfolgung zukünftiger Veränderungen protokolliert werden sollte, aber für die Trenddarstellung nicht von Nutzen ist. Bei einigen modernen Isolierungen ist durchaus zu erwarten, dass die Messwerte die meiste Zeit der Lebensdauer eines Motors außerhalb des Messbereichs liegen (> 2000 MΩ), und eine Trenddarstellung wird nur gegen Ende der Nutzungsdauer des Motors möglich sein. Ab dem Punkt, an dem das Isolationsmessgerät Widerstandswerte anzeigt, sollten Reinigungsmaßnahmen in Betracht gezogen werden.

Das folgende Beispiel zeigt nicht kompensierte Werte

bei der Widerstandsprüfung und die für die geschätzte Wicklungstemperatur auf einen Basiswert von 40 °C kompensierten Widerstandswerte. Die beiden nachfolgenden Grafiken zeigen die nicht kompensierten Trenddaten im Vergleich zu kompensierten Daten.

Datum	Gemessener Isolationswiderstand (MΩ)	Temperatur (°C)	Temperaturkompensierter Isolationswiderstand (MΩ)	Temperaturkompensationsfaktor $K_T$
5. Feb. 90	1584,3	42	1821,9	1,15
8. Jul. 90	1025,3	48	1784,0	1,74
14. Feb. 91	1867,2	39	1736,5	0,93
2. Jul. 91	1388,4	43	1707,7	1,23
10. Feb. 92	2035,3	37	1648,6	0,81
3. Jul. 92	1156,4	45	1630,5	1,41
4. Feb. 93	1503,2	41	1608,4	1,07
8. Jul. 93	1224,3	43	1505,9	1,23
12. Feb. 94	1604,9	39	1492,6	0,93
1. Jul. 94	1123,6	43	1382,0	1,23
14. Feb. 95	821	47	1330,0	1,62
10. Jul. 95	1245,7	40	1245,7	1,00



## Fazit

HLK-Techniker begrüßen „geht/geht nicht“-Regeln, die sie einfach auf ihre alltägliche Diagnosearbeit anwenden können. Durch physikalisch-chemische Effekte werden sich Maschinen aber ab dem Zeitpunkt ihrer Inbetriebnahme verändern, bis der Endzustand des Ausfalls erreicht wird. Es ist die Aufgabe von Technikern, diese Veränderungen zu erkennen und rechtzeitig einzugreifen, bevor größere Schäden auftreten.

Je intensiver Sie die Instandhaltung betreiben und Details aufmerksamer beachten, desto wahrscheinlicher wird die längere Lebensdauer eines Produkts. Da die Kosten für Ausfälle steigen, kommen die Vorteile regelmäßiger Prüfungen und der Nachverfolgung dieser Messungen über einen längeren Zeitraum umso stärker zum Tragen.

## Was bedeutet ein „unendlicher“ Messwert?

Unendlich ist kein Messwert. Unendlich bedeutet, dass die Messergebnisse außerhalb des Messbereichs des Messgeräts liegen. Wenn ein normales Multimeter mit einer Ausgangsspannung von weniger als 9 V DC verwendet wird, kann ein Messwert zwischen Kompressoranlasser und Erde als „unendlich“ angezeigt werden. Mit einem Isolationswiderstandsmessgerät mit 500 V-DC-Ausgang kann der Messwert zwischen Kompressoranschluss und Erde 20 MΩ betragen. Denken Sie an die besten natürlichen Isolatoren ... die Atmosphäre. Wenn ein ausreichend hohes Potenzial mit einem Polaritätsunterschied vorhanden ist, findet ein Funkenüberschlag statt. Denken Sie an Zündkerzen. Denken Sie an Blitze.

**Fluke.** *Damit Ihre Welt intakt bleibt.*

In den Engematten 14  
79286 Glottertal  
Telefon: +49 (0) 7684 800 90  
Telefax: +49 (0) 7684 800 94 10  
E-Mail: [info@de.fluke.nl](mailto:info@de.fluke.nl)  
Web: [www.fluke.de](http://www.fluke.de)

**Beratung zu Produkteigenschaften, Spezifikationen  
Messgeräte und Anwendungsfragen:**

Tel: +49 (0)7684 800 95 45  
E-Mail: [techsupport.dach@fluke.com](mailto:techsupport.dach@fluke.com)  
Web: [www.fluke.de](http://www.fluke.de)

**Fluke Vertriebsgesellschaft m.b.H.**

Liebermannstraße F01  
A-2345 Brunn am Gebirge  
Telefon: +43 (0) 1 928 95 00  
Telefax: (+43 (0) 1 928 95 01  
E-Mail: [info@as.fluke.nl](mailto:info@as.fluke.nl)  
Web: [www.fluke.at](http://www.fluke.at)

**Fluke (Switzerland) GmbH**

Industrial Division  
Hardstrasse 20  
CH-8303 Bassersdorf  
Telefon: +41 (0) 44 580 75 05  
Telefax: +41 (0) 44 580 75 01  
E-Mail: [info@ch.fluke.nl](mailto:info@ch.fluke.nl)  
Web: [www.fluke.ch](http://www.fluke.ch)

© Copyright 2015 Fluke Corporation. Alle Rechte vorbehalten.  
Gedruckt in den Niederlanden 02/2015.  
Änderungen vorbehalten.

Pub\_ID: 13370-ger  
2824494 A-EN-N Rev A