

Prüfung des Isolationswiderstands

Anwendungsbericht



Einleitung

Mit einem Isolationsprüfer können Wicklungen oder Kabel in Motoren, Transformatoren, Schalteinrichtungen und Elektroinstallationen auf ihre Unversehrtheit überprüft werden. Das jeweilige Messverfahren hängt dabei von der Art der geprüften Einheit und von dem Grund der Prüfung ab. Wenn zum Beispiel die elektrische Verkabelung oder Schalteinrichtungen geprüft werden (also niederkapazitive Anlagenteile), sind die zeitabhängigen kapazitiven Leckströme und die Absorptionsleckströme sehr klein und fallen praktisch sofort auf Null ab. Fast unmittelbar (innerhalb von einer Minute oder weniger) wird ein stetiger Ableitstrom erreicht, so dass sich perfekte Bedingungen für den kurzzeitigen Widerstandstest ergeben. (Eine ausführlichere Beschreibung von Leckströmen und Widerstandsprüfungen finden Sie in den Abschnitten „Was versteht man unter Isolationswiderstand & Leckströmen“ und „Prüfungen im Rahmen einer vorbeugenden Wartung“).

Handelt es sich andererseits bei der zu testenden Einheit um eine lange Kabelstrecke, einen großen Motor oder einen Generator (hochkapazitive Anlagenteile), können die zeitabhängigen Ströme stundenlang andauern. Diese Ströme werden zu einer ständigen Veränderung der angezeigten Messwerte führen und es unmöglich machen, einen genauen und stabilen Messwert zu erhalten. Dieser Zustand kann überwunden werden, indem man ein Messverfahren anwendet, das den Trend der Messwerte ermittelt, wie dies zum Beispiel bei der Prüfung mit gestufter Spannung oder dem dielektrischen Absorptionstest der Fall ist. Diese Tests beruhen nicht auf einem einzigen Messwert, sondern auf einer ganzen Reihe von relativen Messwerten. Niederkapazitive Einheiten mit diesen Messverfahren zu prüfen, wäre allerdings nicht sehr sinnvoll, weil die zeitabhängigen Ströme schnell abnehmen, so dass alle anschließenden Messwerte identisch werden.

Prüfung der Installation

Der wichtigste Grund für die Prüfung der Isolation liegt in der Gewährleistung der Sicherheit. Durch die Prüfung der hohen Gleichspannung zwischen abgeschalteten, stromführenden, Erdungs- und Potentialausgleichsleitern kann die Möglichkeit eines lebensbedrohlichen Kurzschlusses oder eines Erdschlusses eliminiert werden. Dieser Test wird normalerweise nach der ersten Installation des Systems durchgeführt und stellt sicher, dass keine Fehlverkabelungen oder defekten Elemente vorhanden sind und keine elektrischen Schläge auftreten können oder es womöglich zu einem Brand kommt. Letztlich wird hierdurch nicht nur eine fehlerfreie und hochwertige Installation gewährleistet, sondern auch eine hohe Kundenzufriedenheit erreicht.

Prüfungen im Rahmen einer vorbeugenden Wartung

Der zweitwichtigste Grund für die Isolationsprüfung besteht darin, die elektrischen Systeme und Motoren zu schützen und ihre Lebensdauer zu verlängern. Im Laufe der Jahre sind elektrische Systeme Umgebungsfaktoren wie Schmutz, Fett, Temperatureinflüssen, Belastungen und Vibrationen ausgesetzt. Diese Bedingungen können zu einem Isolationsschaden führen, der Produktionsverluste oder sogar Brände zur Folge haben kann. Regelmäßige Prüfungen im Rahmen einer vorbeugenden Wartung können wertvolle Informationen über den Zustand der Isolation liefern und dazu beitragen, mögliche Systemausfälle rechtzeitig vorherzusehen und zu verhindern. Durch die Behebung der Probleme erhält man nicht nur ein fehlerfreies System, sondern verlängert sich auch die Lebensdauer zahlreicher Geräte.

Vor der Messung

Um sinnvolle Ergebnisse bei der Messung des Isolationswiderstandes zu erhalten, sollte der Elektriker die zu prüfende Einheit sorgfältig untersuchen. Die besten Ergebnisse erreicht man, wenn:

1. das System oder Gerät außer Betrieb gesetzt und von allen anderen Stromkreisen, Schaltern, Kondensatoren, Bürsten, Überspannungsableitern und Leistungsschaltern getrennt wird. Es ist sicherzustellen, dass die Messungen nicht von Leckströmen durch Schalter oder Überstrom-Schutzeinrichtungen beeinträchtigt werden.
2. die Temperatur des Leiters über dem Taupunkt der Umgebungsluft liegt. Ist dies nicht der Fall, wird sich Feuchtigkeit auf der Isolationsoberfläche niederschlagen, die in manchen Fällen durch das Material absorbiert wird.
3. die Oberfläche des Leiters frei von Bürstenabrieb und anderen Fremdkörpern ist, die unter feuchten Bedingungen leitend werden können.
4. die zugeführte Spannung nicht zu hoch ist. Wenn Niederspannungssysteme geprüft werden, kann die Isolation durch eine zu hohe Spannung überbeansprucht oder beschädigt werden.
5. die zu prüfende Einheit vollkommen gegen Erde entladen wurde. Die Entladedauer sollte etwa das Fünffache der Aufladedauer während der Prüfung betragen.
6. der Einfluss der Temperatur berücksichtigt wird. Da sich der Isolationswiderstand umgekehrt proportional zur Isolationstemperatur verhält (der Widerstand nimmt ab, wenn die Temperatur ansteigt), ändern sich die erfassten Messwerte bei einer Änderung der Temperatur im Isoliermaterial. Es empfiehlt sich, die Tests bei einer Standard-Leitertemperatur von 20 °C durchzuführen. Als Faustregel gilt: Bei einem Vergleich von Messwerten unter Zugrundelegung einer Basistemperatur von 20 °C ist der Widerstand für jede 10 °C über 20 °C zu verdoppeln oder für jede 10 °C unter einer Temperatur von 20 °C zu halbieren. Ein Widerstand von 1 MΩ bei 40 °C entspricht zum Beispiel einem Widerstand von 4 MΩ bei 20 °C. Zur Messung der Leitertemperatur sollte ein berührungsloses Infrarot-Thermometer wie das Fluke 65 benutzt werden.

Sichere Arbeitspraxis

Für die Sicherheit ist jeder Einzelne verantwortlich und letzten Endes liegt die Sicherheit in Ihren Händen. Kein Messgerät oder Werkzeug kann Ihnen Ihre Sicherheit garantieren. Nur wenn Sie das Instrument auch sicher handhaben, können Sie mit einem maximalen Schutz rechnen. Hier einige Tipps zum sicheren Umgang mit Messgeräten:

- Arbeiten Sie möglichst an abgeschalteten Stromkreisen. Sichern Sie den Stromkreis ordnungsgemäß gegen Wiedereinschalten. Prüfen Sie auf Spannungsfreiheit. Ein Isolationstester mit vollständigen Funktionen wie der Fluke 1520 kann diese Messung mit durchführen. Wenn keine entsprechenden Prozeduren vorgegeben sind, sollten Sie davon ausgehen, dass die Schaltung stromführend ist.
- Treffen Sie bei stromführenden Schaltungen geeignete Schutzmaßnahmen:
 - Benutzen Sie isolierte Instrumente.
 - Tragen Sie flammhemmende Kleidung, eine Schutzbrille und Isolierhandschuhe.
 - Legen Sie Ihre Armbanduhr und anderen Schmuck ab.
 - Stellen Sie sich auf eine Isoliermatte.
- Bei Spannungsmessungen an stromführenden Schaltungen:
 - Verbinden Sie zuerst die Masseklemme und stellen Sie dann erst den Kontakt zur stromführenden Leitung her. Nehmen Sie nach der Messung zuerst die stromführende Leitung ab und dann erst die Masseleitung.
 - Hängen oder stellen Sie das Messgerät möglichst irgendwo auf. Halten Sie es möglichst nicht in Ihren Händen, damit Sie nicht eventuellen Transienten ausgesetzt sind.
 - Gehen Sie nach dem 3-Punkt-Messverfahren vor, vor allem wenn Sie prüfen, ob eine Schaltung stromführend ist oder nicht. Testen Sie also zuerst eine bekanntermaßen stromführende Schaltung und anschließend die zu prüfende Schaltung. Danach noch einmal die stromführende Schaltung. Auf diese Weise können Sie überprüfen, ob das Messgerät vor und nach der Messung einwandfrei funktioniert.
 - Ein alter Trick der Elektriker: Stecken Sie eine Hand in die Tasche. Dadurch verringert sich die Wahrscheinlichkeit eines geschlossenen Stromkreises durch Ihren Brustkorb und Ihr Herz.
- Denken Sie bei der Durchführung von Isolations- und Widerstandsprüfungen an folgende Punkte:
 - Verbinden Sie den Isolationstester niemals mit stromführenden Leitern oder stromführenden Geräten und befolgen Sie immer die Empfehlungen des Herstellers.
 - Schalten Sie das zu testende Gerät ab, indem Sie Sicherungen, Schalter und Leistungsschalter entsprechend herausnehmen bzw. öffnen.
 - Trennen Sie die Zuführ- und Abzweigleitungen, Erdungsleiter und Potentialausgleichsleiter und alle anderen Geräte von der zu testenden Einheit.
 - Entladen Sie die Leiterkapazität vor und nach dem Test. Manche Instrumente verfügen über eine automatische Entladefunktion.
 - Prüfen Sie, ob Leckströme durch Sicherungen, Schalter und Leistungsschalter der abgeschalteten Stromkreise fließen. Leckströme können zu instabilen und fehlerhaften Messwerten führen.
 - Verwenden Sie keine Isolationsprüfer in einer gefährlichen oder explosiven Umgebung, da das Instrument bei einer beschädigten Isolation Funkenüberschläge erzeugen kann.
 - Tragen Sie beim Anschließen der Messleitungen isolierte Gummihandschuhe.

Was versteht man unter Isolationswiderstand und Leckströmen?

Bei den Testprozeduren wird die hohe Gleichspannung, die durch Drücken der Test-Taste erzeugt wird, dazu führen, dass ein kleiner Strom (in der Größenordnung von Mikroampère) durch den Leiter und die Isolation fließt. Die Höhe des Stroms hängt von der Höhe der zugeführten Spannung, der Kapazität des Systems, dem Gesamtwiderstand und der Temperatur des Materials ab. Bei einer gegebenen Spannung gilt: Je höher der Strom, desto geringer der Widerstand ($U = R \times I$, $R = U / I$). Der Gesamtwiderstand ist die Summe aus dem Innenwiderstand des Leiters (kleiner Wert) und dem Isolationswiderstand in $M\Omega$. Der auf dem Messgerät angezeigte Wert des Isolationswiderstandes ist eine Funktion der folgenden drei unabhängigen Teilströme.

Ableitstrom (I_L)

Der Ableitstrom ist ein kleiner Strom (in der Größenordnung von Mikroampère), der normalerweise durch die Isolation zwischen Leitern oder von einem Leiter zur Erde fließt. Dieser Strom nimmt zu, wenn sich die Isolation verschlechtert, und überwiegt, nachdem der Absorptionsstrom verschwunden ist (siehe Abbildung 1). Da er relativ stetig und zeitunabhängig ist, handelt es sich hierbei um den wichtigsten Strom für die Messung des Isolationswiderstandes.

Leckstrom durch kapazitive Aufladung (I_C)

Wenn zwei oder mehr Leiter in einem Kabelkanal verlegt sind, verhalten sie sich wie ein Kondensator. Aufgrund dieser kapazitiven Wirkung fließt ein Leckstrom durch die Leiterisolation. Dieser Strom dauert nur wenige Sekunden, wenn die Gleichspannung zugeführt wird, und fällt weg, wenn die Isolation auf die volle Prüfspannung aufgeladen ist. Bei niederkapazitiven Vorrichtungen ist der kapazitive Strom höher als der Ableitstrom, aber normalerweise verschwunden, wenn mit der Aufzeichnung der Daten begonnen wird. Aus diesem Grunde ist es wichtig, mit der Messung zu warten, bis sich der Messwert „eingeregelt“ hat. Wenn auf der anderen Seite hochkapazitive Elemente gemessen werden, kann der durch die kapazitive Aufladung verursachte Leckstrom sehr lange anhalten, bis eine „Einregelung“ stattgefunden hat.

Ladungsaufnahme durch Polarisierung (Absorptionsleckstrom) (I_A)

Der Absorptionsstrom wird durch die Polarisierung von Molekülen im dielektrischen Material hervorgerufen. Bei niederkapazitiven Anlagenteilen bzw. Komponenten ist der Strom in den ersten paar Sekunden hoch und nimmt dann langsam auf nahezu Null ab. Bei hochkapazitiven Anlagenteilen bzw. Komponenten oder einer nassen oder verschmutzten Isolation wird der Absorptionsstrom über längere Zeit nicht abnehmen.

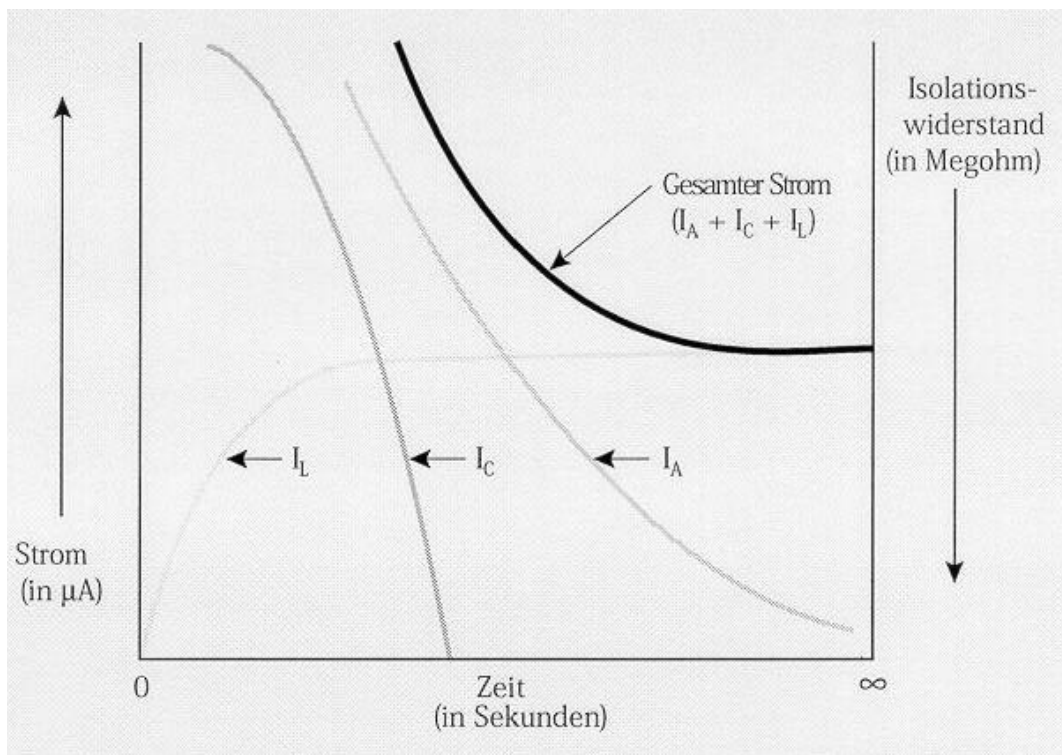


Abbildung 1 Stromkomponenten

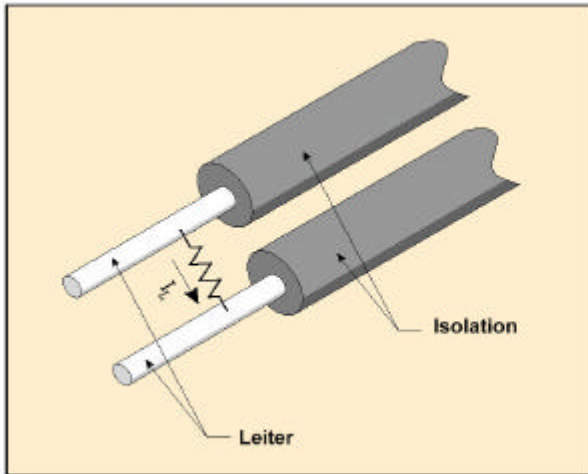


Abb. 2 Ableitstrom (I_L)

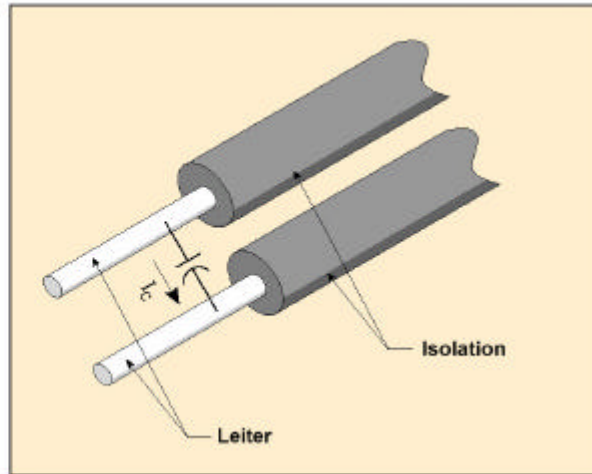


Abb. 3 Leckstrom durch kapazitive Aufladung (I_C)

Anwendungen

Prüfung der Installation

Überlastversuch

Elektriker und Ingenieure führen Überlastversuche durch, um sich zu vergewissern, dass die Leiter ordnungsgemäß installiert wurden und unversehrt sind. Der Überlastversuch ist ein einfacher, schneller Test, mit dem der Momentanzustand der Isolation geprüft wird. Er liefert keine Diagnosedaten, und die Prüfspannungen sind wesentlich höher als die Spannungen, die bei Prüfungen im Rahmen einer vorbeugenden Wartung zugeführt werden. Der Überlastversuch wird manchmal auch als GUT/SCHLECHT-TEST bezeichnet, weil die Kabelsysteme auf Wartungsfehler, fehlerhafte Installation, Schäden oder Verschmutzung geprüft werden. Die Installation gilt als akzeptabel, wenn beim Überlastversuch keine Störung festgestellt wird.

Wählen der Prüfspannung

Ein Überlastversuch kann bei Vorrichtungen von beliebiger Kapazität durchgeführt werden. Etwa eine Minute lang wird eine einzige Spannung zugeführt, die zwischen 500 und 5.000 V liegt. Es ist üblich, die Isolation über die normalen Betriebsspannungen hinaus zu beanspruchen, um eventuelle Schwachpunkte zu erkennen. Bei neuen Vorrichtungen sollte der Versuch mit ca. 60 % bis 80 % der vom Hersteller angegebenen Prüfspannung durchgeführt werden (höher als die Nennspannung und erhältlich vom Kabelhersteller). Wenn Sie die werkseitige Prüfspannung nicht kennen, verwenden Sie für den Versuch eine Spannung, die etwa das Doppelte der für das Kabel angegebenen Nennspannung plus 1.000 V beträgt. Die Nennspannung ist die maximale Spannung, der der Leiter über einen längeren Zeitraum ausgesetzt werden kann; sie ist normalerweise auf den Leiter aufgedruckt. Bei einphasigen, zweiphasigen und dreiphasigen Systemen wird als Nennspannung des Kabels die Spannung zwischen den Phasen angegeben. Das obengenannte Verfahren sollte nur zur Prüfung kleiner und neuer Vorrichtungen angewendet werden, weil diese eher in der Lage sind, höhere Spannungsbeanspruchungen auszuhalten. Für größere und ältere Vorrichtungen oder Leitungen sind die in Tabelle 3 aufgeführten DC-Prüfspannungen zu verwenden. Die üblichen DC-Prüfspannungen (nicht die Prüfspannungen des Herstellers) zur Prüfung von rotierenden Anlagen sind Tabelle 1 zu entnehmen.

DC-Prüfspannungen für rotierende Maschinen	Verwendete Formel
Werkseitige AC-Prüfspannung, VAC (nur zur Referenz)	$2 \times (\text{VAC Typenschildangabe}) + 1.000$
Max. DC-Prüfspannung bei Installation, VDC	$1,28 \times (\text{werkseitige AC-Prüfspannung})$
Max. DC-Prüfspannung bei Wartung, VDC	$0,96 \times (\text{werkseitige AC-Prüfspannung})$

Tabelle 1: Gleichungen für die Prüfspannung beim Überlastversuch an rotierenden Maschinen

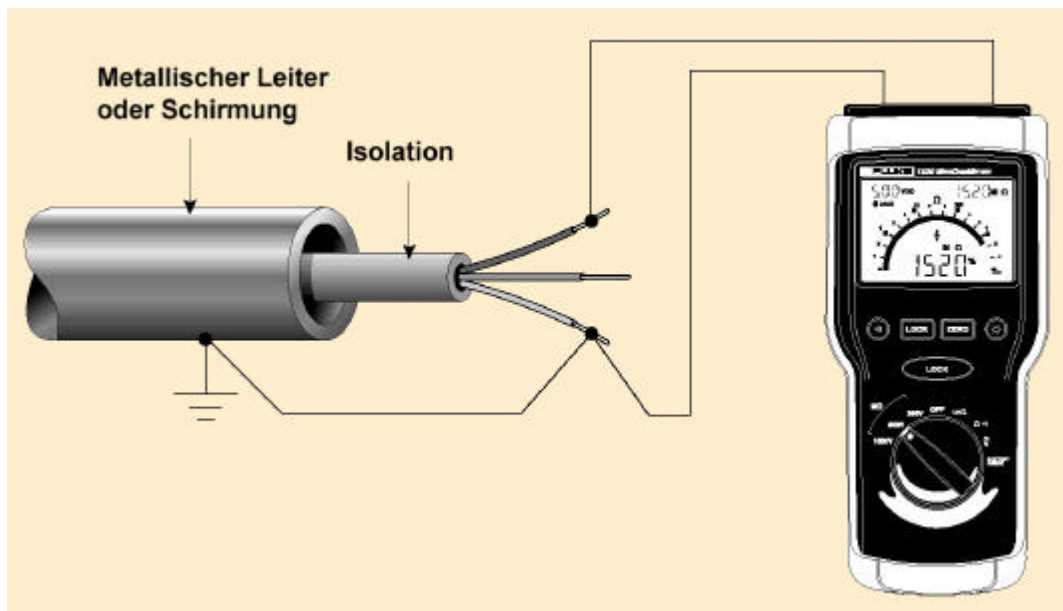


Abbildung 4 Zu testender Leiter

Vorgehensweise beim Überlastversuch

Bei der Durchführung eines Überlastversuchs ist folgendermaßen vorzugehen:

- Benutzen Sie ein Multimeter oder die Spannungsmessfunktion des MegOhmMeters, um sicherzustellen, dass der zu prüfende Stromkreis nicht unter Strom steht.
- Wählen Sie den geeigneten Spannungsmessbereich.
- Verbinden Sie ein Ende der schwarzen Messleitung mit dem Common-Anschluss des Messgerätes und berühren Sie mit der Messspitze eine Masse (Erde) oder einen anderen Leiter. Manchmal ist es hilfreich, alle Leiter, die nicht an der Messung beteiligt sind, mit Masse zu verbinden. Mit Krokodilklemmen kann die Messung schneller und präziser durchgeführt werden.
- Verbinden Sie ein Ende der roten Messleitung mit dem Volt/Ohm-Anschluss des Messgerätes und halten Sie die Messspitze an den zu prüfenden Leiter.
- Drücken Sie die Test-Taste, um die gewünschte Spannung zuzuführen und lesen Sie den angezeigten Widerstand vom Messgerät ab. Es kann einige Sekunden dauern, bis ein stabiler Messwert angezeigt wird. Je höher der Widerstand ist, desto besser.
- Prüfen Sie jeden Leiter gegen Masse und gegen alle anderen Leiter im Kabelkanal. Bewahren Sie ein aktuelles Messprotokoll an einem sicheren Ort auf.
- Wenn einige der Leiter den Test nicht bestehen, lokalisieren Sie das Problem oder ziehen Sie die Leiter heraus. Feuchtigkeit, Wasser oder Verschmutzung können zu niedrigen Widerstandswerten führen.

Prüfungen im Rahmen einer vorbeugenden Wartung

Prüfungen im Rahmen einer vorbeugenden Wartung können wichtige Informationen zum vorliegenden und zukünftigen Zustand der Leiter, Generatoren, Transformatoren und Motoren liefern. Der Schlüssel zu einer effizienten Prüfung liegt in einer geeigneten Datenerfassung. Die Analyse der erfassten Daten hilft bei der Planung von Diagnose- und Reparaturarbeiten, wodurch wiederum die Ausfallzeiten aufgrund unerwarteter Fehler reduziert werden. Die am häufigsten zugeführten DC-Prüfspannungen bei Prüfungen im Rahmen einer vorbeugenden Wartung sind:

Nennwechselspannung der Vorrichtung (Volt)	DC-Prüfspannung (Volt)
0 – 100	100 – 250
100-440	250 - 500
440 – 560	500 – 1.000

Tabelle 2: Prüfspannungen bei Prüfungen im Rahmen einer Wartung im Vergleich zu den Nennwechselspannungen für die betroffene Vorrichtung

Kurzzeitprüfungen

Bei einer Kurzzeitprüfung wird das MegOhmMeter direkt mit der prüfenden Vorrichtung verbunden und die Prüfspannung ca. 60 Sekunden lang zugeführt. Um innerhalb von ca. einer Minute einen stabilen Wert für den Isolationswiderstand zu bekommen, sollte der Test nur bei niederkapazitiven Vorrichtungen durchgeführt werden. Im Prinzip werden die Verbindungen auf die gleiche Weise hergestellt wie bei einem Überlastversuch, und die zuzuführende Spannung wird anhand der Formeln für die DC-Prüfspannung berechnet. Wenn die geprüfte Vorrichtung in Ordnung ist, sollte der Isolationswiderstand infolge der Abnahme des kapazitiven Leckstroms und des Absorptionsleckstroms stetig ansteigen. Da Temperatur und Feuchtigkeit einen gewissen Einfluss auf die Messwerte haben, sollte die Messung vorzugsweise über dem Taupunkt bei einer Standardtemperatur von ca. 20 °C durchgeführt werden.

Bei Vorrichtungen mit einer Nennspannung von 1.000 Volt oder weniger sollte der Isolationswiderstand 1 MΩ oder mehr betragen. Bei Vorrichtungen mit einer Nennspannung von mehr als 1.000 Volt sollte der erwartete Widerstand pro zugeführter 1.000 V um 1 MΩ ansteigen. Normalerweise wird der gemessene Isolationswiderstand etwas geringer sein als die zuvor aufgezeichneten Werte, wodurch man einen allmählichen Abwärtstrend erhält, wie in Abbildung 6 dargestellt. Die abfallende Kurve ist ein normales Zeichen für die Alterung der Isolation. Eine steil abfallende Kurve weist allerdings auf einen Isolationsfehler hin und ist ein Anzeichen für bevorstehende Probleme.

DC-Prüfspannung	Benutzte Formel
Für spezifizierte Spannung zwischen den Phasen	$DCt = 0,8165 \times U_{p-p}$
Für spezifizierte Spannung zwischen Phase und Masse	$DCt = 1,414 \times U_{p-n}$

Tabelle 3 Gleichungen für die DC-Prüfspannung

- DCt - DC-Prüfspannung in Bezug auf die maximale Isolationsbeanspruchung während des normalen AC-Betriebs
- U_{p-p} - Spannung zwischen den Phasen
- U_{p-n} - Spannung zwischen Phase und Masse

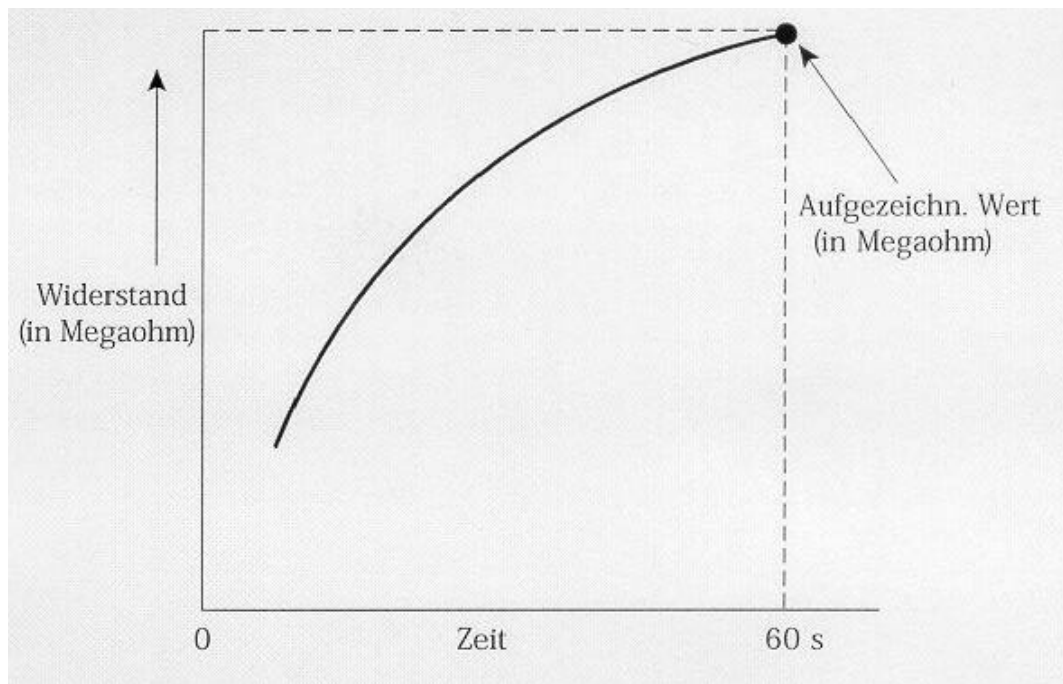


Abbildung 5 Isolationswiderstandstest

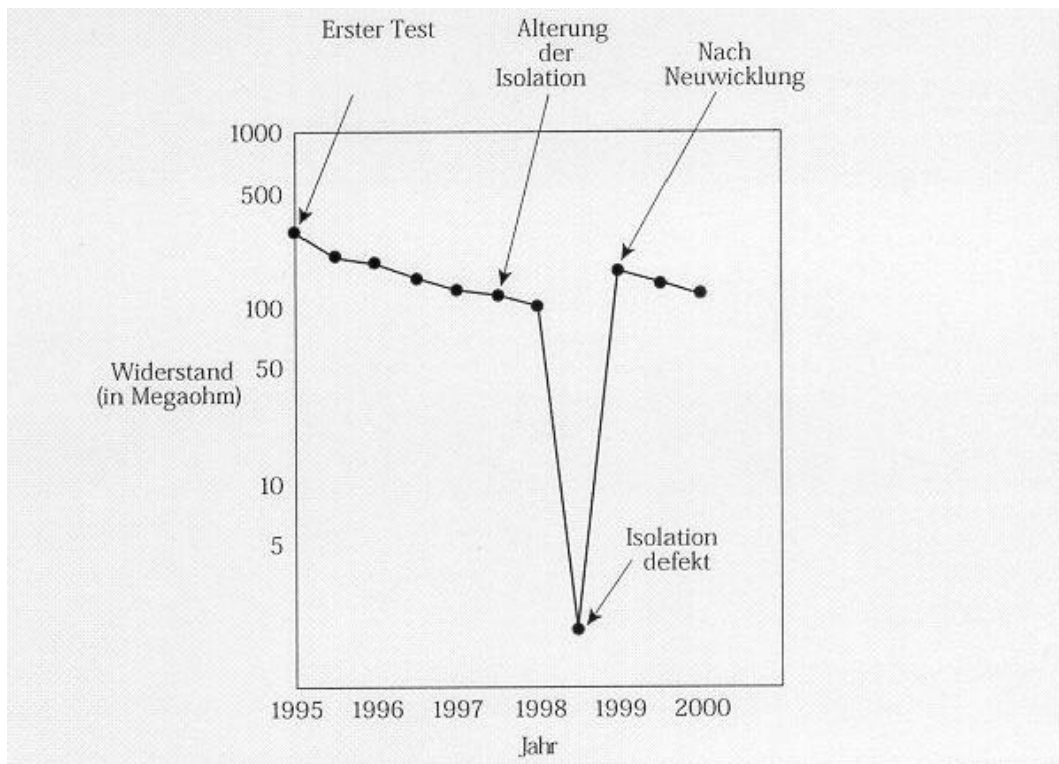


Abbildung 6 Isolationswiderstand über einen längeren Zeitraum

Prüfung mit gestufter Spannung

Bei einer Prüfung mit gestufter Spannung wird der Isolationswiderstand bei verschiedenen Spannungseinstellungen gemessen. Jede Prüfspannung wird über eine bestimmte Zeitdauer (üblicherweise 60 Sekunden) zugeführt und der erfasste Isolationswiderstand wird graphisch aufgezeichnet. Durch das schrittweise Anlegen von immer höheren Spannungen wird die Isolation einer immer höheren elektrischen Beanspruchung ausgesetzt, so dass man Aufschluss über eventuelle Mängel in der Isolation, zum Beispiel Löcher, Beschädigung oder Sprödigkeit, erhält. Eine intakte Isolation sollte einer Erhöhung der Überspannungsbeanspruchung standhalten und ihr Widerstand sollte während des Tests mit verschiedenen Spannungsniveaus in etwa gleich bleiben. Auf der anderen Seite wird vor allem bei höheren Spannungspegeln in einer schadhaften, gerissenen oder verschmutzten Isolation ein höherer Strom fließen und der Isolationswiderstand dadurch abnehmen. Dieser Test ist unabhängig vom Isolationsmaterial, von der Kapazität der Vorrichtung und vom Temperatureffekt. Da seine Durchführung länger dauert, sollte er nur angewendet werden, wenn der Kurzzeittest keine schlüssigen Informationen geliefert hat. Beim Kurzzeittest werden die absoluten Änderungen des Widerstand (einzelner Messwert) in Bezug auf die Zeit betrachtet, während beim gestuften Spannungstest die Veränderung des Widerstands in Bezug auf variierenden Prüfspannungen untersucht wird.

Dielektrischer Absorptionstest / Zeitabhängiger Widerstandstest

Der zeitabhängige Widerstandstest ist unabhängig von den Abmessungen der Vorrichtung und der Temperatur. Hierbei werden die Absorptionseigenschaften der verschmutzten Isolation mit den Absorptionseigenschaften einer einwandfreien Isolation verglichen. Die Prüfspannung wird über einen Zeitraum von 10 Minuten zugeführt, wobei die Daten in der ersten Minute alle 10 Sekunden aufgezeichnet werden und danach jede Minute. Die Steigung der gezeichneten Kurve spiegelt den Zustand der Isolation wider. Ein kontinuierlicher Anstieg des erfassten Widerstands weist auf eine intakte Isolation hin, eine flache oder nach unten gerichtete Kurve auf eine verschmutzte oder schadhafte Isolation.

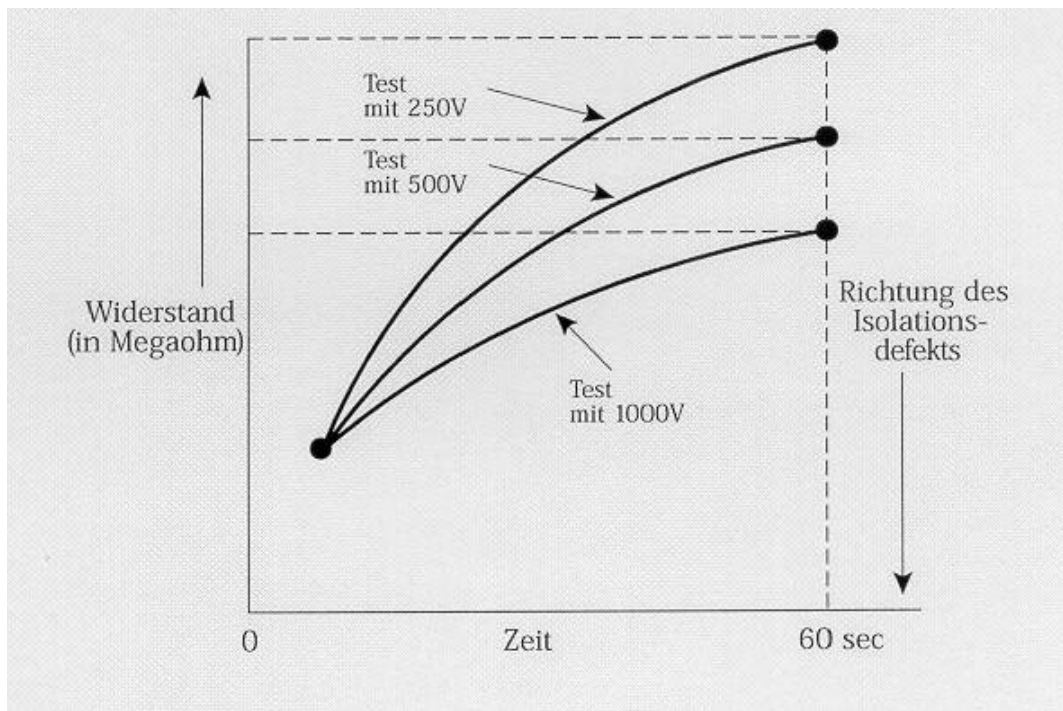


Abbildung 7 Prüfung mit gestufter Spannung

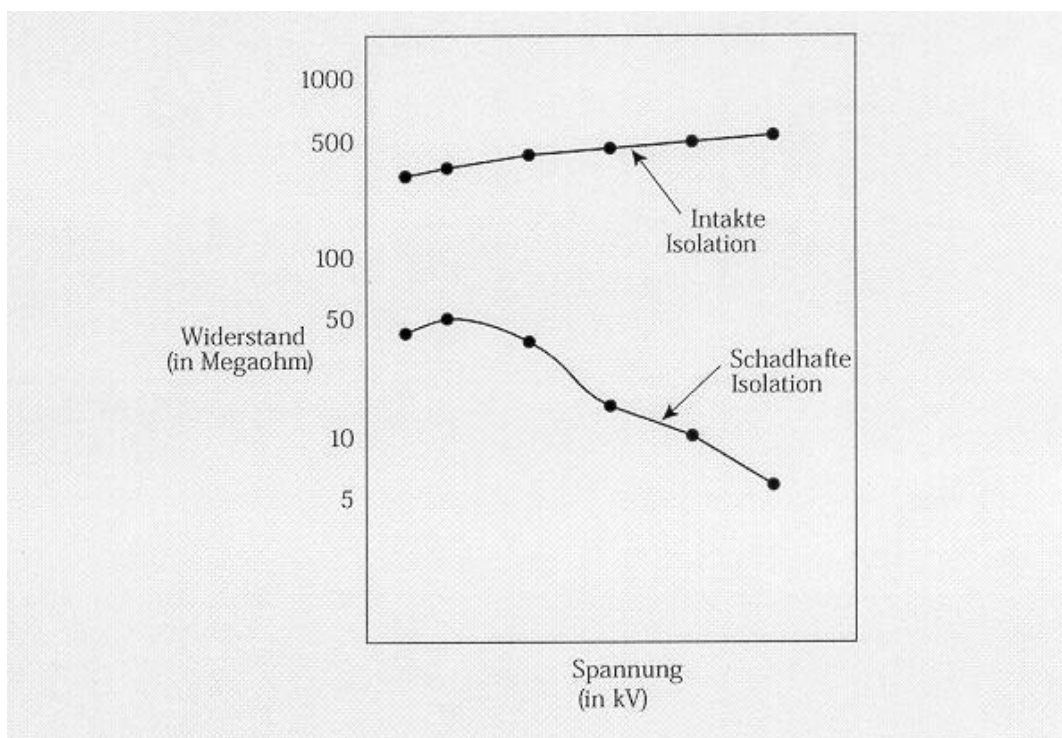


Abbildung 8 Kurven für intakte und schadhafte/verschmutzte Isolation

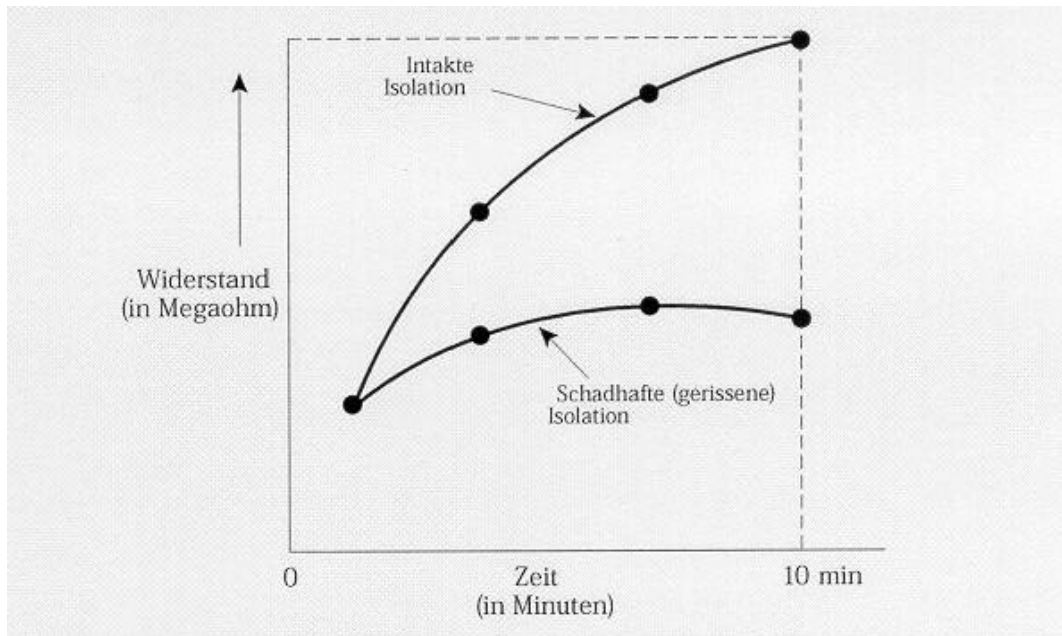


Abbildung 9 Dielektrischer Absorptionstest für intakte und schadhafte/verschmutzte Isolation

Ein weiteres Verfahren zur Prüfung der Qualität einer Isolation ist der Polarisationsindex-Test (PI-Test). Er ist besonders nützlich zur Aufdeckung des Eindringens von Feuchtigkeit oder Öl – hierdurch flacht die PI-Kurve ab und es wird ein Leckstrom und schließlich ein Kurzschluss in den Wicklungen verursacht. Der Polarisationsindex ist das Verhältnis von zwei Messwerten des zeitabhängigen Widerstandstests: ein Messwert wird nach 1 Minute erfasst und der andere nach 10 Minuten. Bei intakter Isolation beginnt der Isolationswiderstand niedrig und steigt dann an, wenn der kapazitive Leckstrom und der Absorptionsstrom kleiner werden. Den Polarisationsindex erhält man, indem man den 10-Minuten-Messwert durch den 1-Minuten-Messwert teilt. Ein niedriger Polarisationsindex weist normalerweise auf Probleme mit der Isolation hin. Wenn wenig Zeit für die Prüfung zur Verfügung steht, stellt der dielektrische Absorptionsverhältnis (60/30) Sekundentest eine Alternative zum Polarisationsindex-Test dar.

Prüfung von Verbindungen in Generatoren, Transformatoren, Motoren und Kabelinstallationen

Für die Prüfung des Isolationswiderstands von Generatoren, Transformatoren, Motoren und Kabelinstallationen im Rahmen einer vorbeugenden Wartung kann jedes der obengenannten Verfahren angewendet werden. Ob ein Kurzzeittest, eine Prüfung mit gestufter Spannung oder ein zeitabhängiger Widerstandstest durchgeführt wird, hängt von dem Grund der Messung und dem Verwendungszweck der erhaltenen Daten ab. Bei der Prüfung von Generatoren, Motoren oder Transformatoren ist jede Wicklung/Phase nacheinander und einzeln zu prüfen, während alle anderen Wicklungen mit Masse verbunden sind. Auf diese Weise wird auch die Isolation zwischen den Phasen getestet.

Temperaturkorrektur bei der Prüfung von rotierenden Maschinen

Für die Prüfung des Isolationswiderstands von Rotor- und Feldwicklungen bei verschiedenen Temperaturen empfiehlt die IEEE die folgende Formel zur Ermittlung des Isolationswiderstands.

$$R_m = K_t \times (kV + 1)$$

Tabelle 6

Formel zur Berechnung des Isolationswiderstands für rotierende AC- und DC-Maschinen

R_m - Mindestisolationswiderstand auf 40 °C korrigiert (104 °F), in $M\Omega$
 K_t - Isolationswiderstands-Temperaturkoeffizient bei Wicklungstemperatur, erhalten aus Abbildung 10

kV - Spezifizierte Anschlussspannung in Kilovolt

Wenn bei der Prüfung eines Dreiphasensystems die beiden anderen Phasen mit Masse verbunden sind, muss der für jede Phase ermittelte Widerstand durch zwei geteilt werden. Anschließend kann der resultierende Wert mit dem empfohlenen Mindestisolationswiderstand (Rm) verglichen werden.

Zustand der Isolation	Verhältnis 60 Sekunden / 30 Sekunden	Verhältnis 10 Minuten / 1 Minute (Polarisierungsindex)
Gefährlich	0 – 1,0	0 - 1
Schlecht	1,0 – 1,3	1 - 2
Gut	1,3 – 1,6	2 - 4
Hervorragend	1,6 und mehr	4 und mehr

Tabelle 4 Ungefähre dielektrische Absorptionsverhältnisse

	Überlasttest	Kurzzeittest	Prüfung bei gestufter Spannung	Dielektrischer Absorptions-Test	Polarisationsindex-Test
Einzelner Wert	•	•			
Hohe Prüfspannung	•				
Periodisch durchgeführt		•	•	•	•
Verschiedene Prüfspannungen			•		
Zeitgesteuerte Testintervalle				•	•
Diagnoseinformationen		•	•	•	•

Tabelle 5 Verschiedene Isolationstests

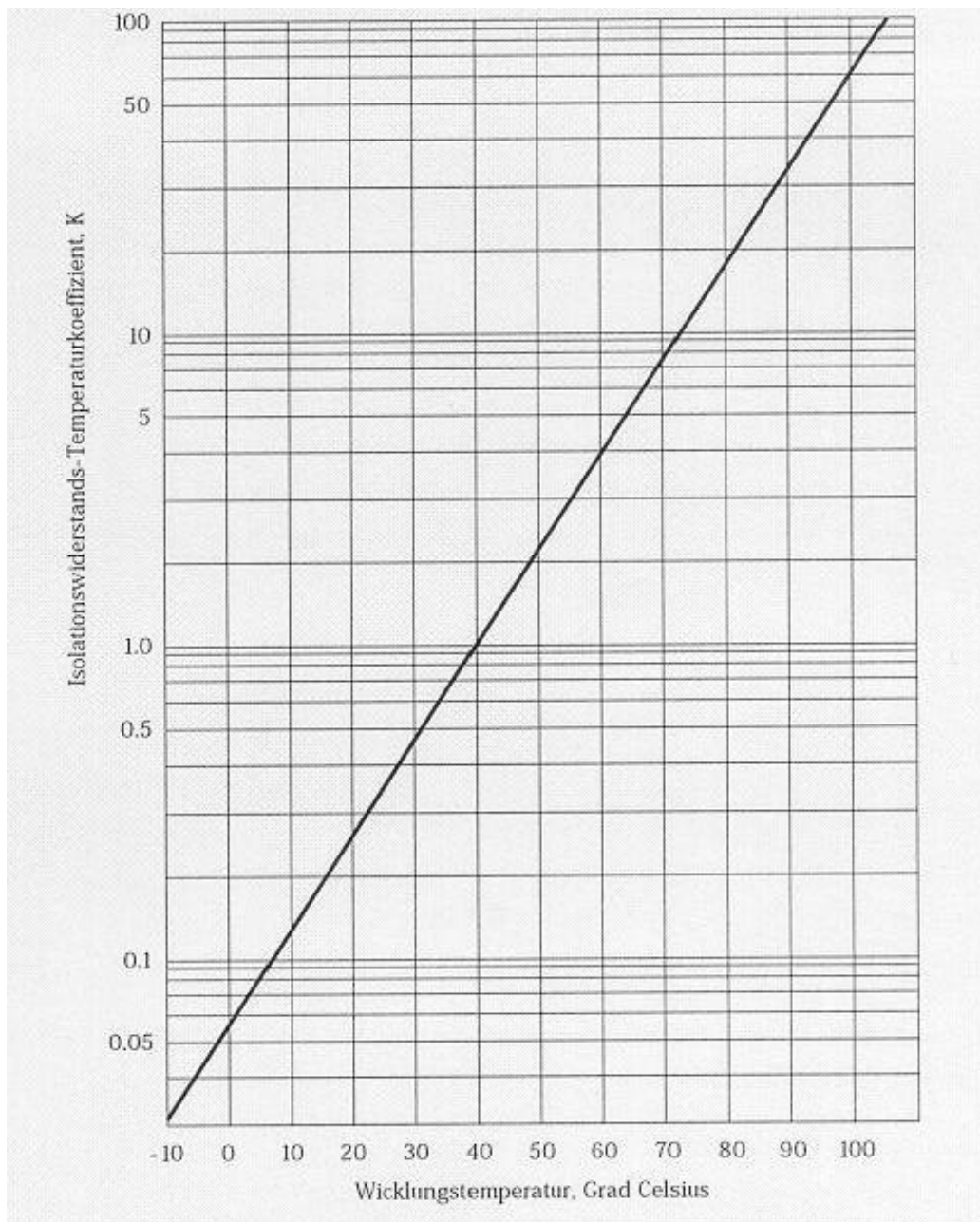


Abbildung 10 Ungefährer Temperaturkoeffizient für rotierende Maschinen

Prüfung von Generatoren und Motoren

Bei der Prüfung des Widerstands der Statorwicklungen ist sicherzustellen, dass die Statorwicklung und die Phasen von der Stromversorgung getrennt sind. Der Isolationswiderstand ist zwischen den Wicklungen und zwischen den Wicklungen und Masse zu messen. Wenn Gleichstromgeneratoren oder -motoren geprüft werden, sollten die Bürsten angehoben sein, damit die Windungen getrennt vom Rotor getestet werden können. In der nachstehenden Tabelle sind die empfohlenen Mindestwiderstandswerte für verschiedene Motornennspannungen aufgeführt.

Spannungsangabe auf dem Motor-Typenschild	Zulässiger Mindestwiderstand
0 – 208	100.000 Ω
208 – 240	200.000 Ω
240 – 600	300.000 Ω
600 – 1.000	1 M Ω
1.000 – 2.400	2 M Ω
2.400 – 5.000	3 M Ω

Tabelle 7 Empfohlener Mindestwiderstand bei 40 °C (104 °F)

Prüfung von Transformatoren

Bei der Prüfung von einphasigen Transformatoren ist zwischen den Wicklungen oder zwischen Wicklung und Masse zu messen oder immer nur eine Wicklung zu messen, wobei alle anderen mit Masse verbunden sind. Bei Dreiphasen-Transformatoren ist U durch U_{p-p} (bei Transformatoren in Dreieckschaltung) oder U_{p-n} (bei Transformatoren in Sternschaltung) zu ersetzen und kVA durch die $kVA_{3\phi}$ -Nennspannung der getesteten Wicklung.

Der Mindestisolationswiderstand wird mit der folgenden Formel ermittelt.

Transformortyp	Benutzte Formel
Einzelne Phase	$R = KC \times U + \sqrt{kVA}$
Dreiphasig, Sternschaltung	$R = KC \times U_{p-n} + \sqrt{kVA}$
Dreiphasig, Dreieckschaltung	$R = KC \times U_{p-p} + \sqrt{kVA}$

Tabelle 8 Gleichungen zur Ermittlung des Isolationswiderstands von Transformatoren

- R - Mindestisolationswiderstand in $M\Omega$ bei einer Gleichspannung von 500 V während einer Minute
- KC - Konstante für Messungen bei 20 °C (68 °F) Messungen (siehe weiter unten)
- U - Nennspannung der Wicklung
- kVA - Nennkapazität der getesteten Wicklung. Bei Dreiphasen-Transformatoren gilt: $kVA_{3\phi} = 3 \times kVA_{1\phi}$

Transformortyp 50 Hertz	KC
Geschlossener ölgefüllter Transformator	1,5
Ölgetränkter Transformator	30,0
Trockentransformator	30,0

Tabelle 9 Werte der Konstante KC bei 20 °C (68 °F)

Prüfung von Kabeln und Leitungen

Zur Messung des Isolationswiderstands von Kabeln und Leitungen sind diese von den Schalttafeln und Maschinen zu trennen. Die Kabel und Leitungen werden gegeneinander und gegen Masse geprüft (siehe Abbildung 4 auf Seite 4). Die IPCEA (Insulated Power Cable Engineers Association) gibt die folgende Formel zur Ermittlung des Mindestisolationswiderstands an:

$$R = K \times \log_{10} (D/d)$$

Tabelle 10 Isolationswiderstand eines Kabels

- R - $M\Omega$ pro 305 Meter (1000 ft) Kabel. Basierend auf einer DC-Prüfspannung von 500 Volt, die bei einer Temperatur von 15,6 °C (60 °F) eine Minute lang zugeführt wird.
- K - Isoliermaterial-Konstante (Zum Beispiel: Imprägniertes Papier – 2640; Lackgewebe – 2460, thermoplastisches Polyethylen – 50.000, Verbund-Polyethylen – 30.000)
- D - Außendurchmesser der Leiterisolation für Kabel und Leitungen mit Einzelleiter; für Kabel gilt $D = d + 2c + 2b$ Durchmesser von Einzelleiterkabeln
- d - Durchmesser des Leiters
- c - Dicke der Leiterisolation
- b - Dicke der Mantelisolation

Ein Beispiel: Bei einem Kabel von 305 Meter Länge, AWG 6 und Litze mit 0,125 dicker wärmebeständiger Naturkautschukisolation beträgt $K = 10.560$ und $\log_{10}(D/d) = 0,373$ Zoll (9,474 mm). Laut der Formel [$R = K \times \log_{10}(D/d)$ also $R = 10.560 \times 0,373 = 3,939 \text{ M}\Omega$ pro 305 Meter] beträgt der erwartete Mindestisulationswiderstand für Einzelleiter pro 305 Meter bei einer Temperatur von 15,6 °C 3,939 M Ω .

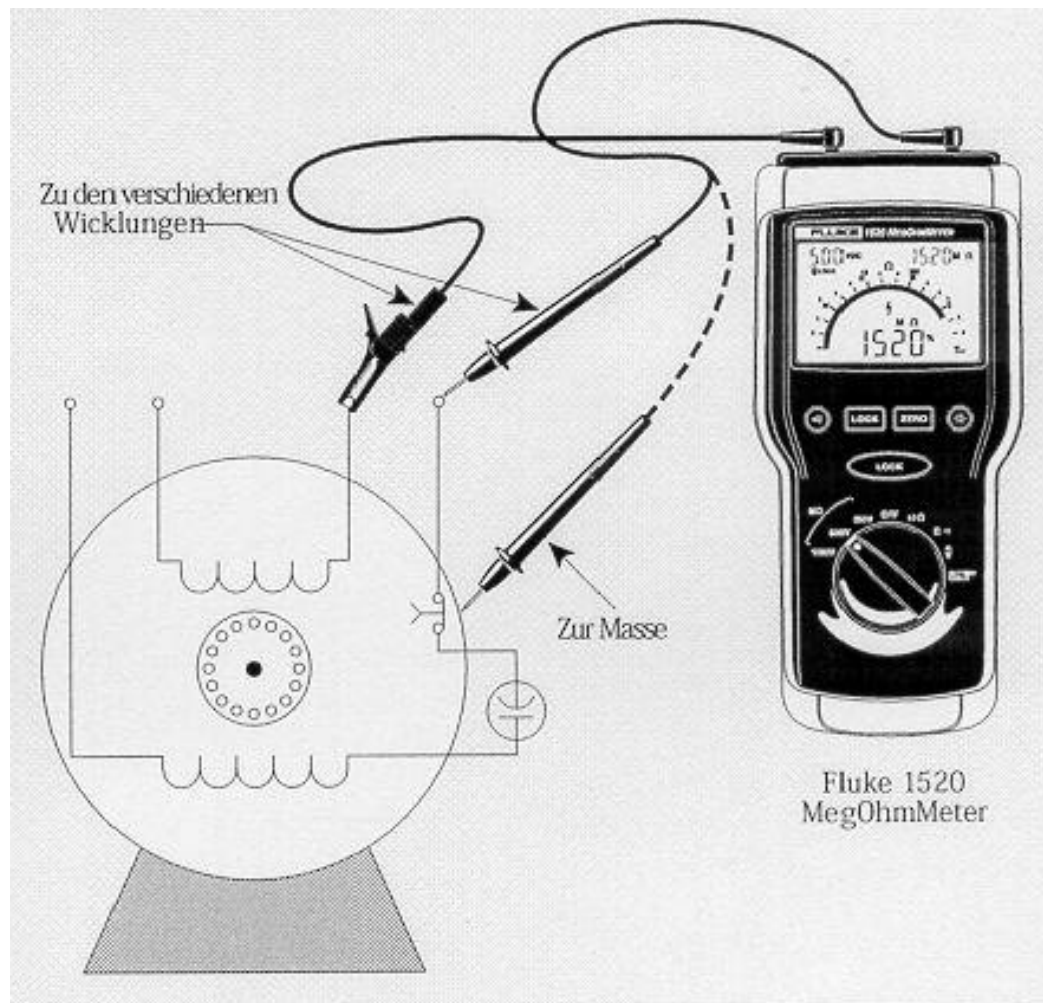


Abbildung 11 – Messung des Isolationswiderstands eines Motors

<p>Austria Fluke Vertriebsgesellschaft G.m.b.H. Mariahilfer Straße 123 A-1060 Wien Tel.: (01) 61410-0 Fax: (01) 61410-10 E-mail: info@as.fluke.nl Internet: www.fluke.at</p>	<p>Germany Fluke Deutschland G.m.b.H Heinrich-Hertz-Straße 11 D-34123 Kassel Tel.: +49 69 2222 20200 Fax: +49 69 2222 20201 E-mail: info@de.fluke.nl Internet: www.fluke.de</p>
<p>Switzerland Fluke Switzerland AG World Trade Center Leutschenbachstrasse 95/2 CH-8050 Zürich Tel.: +41 1 580 7500 Fax: +41 1 580 7501 E-mail: info@ch.fluke.nl Internet: www.fluke.ch</p>	<p>Pub-ID 10307-ger Rev. 01</p>

