



**Megger**®

Einführung in die  
diagnostische  
Isolationsprüfung  
über 1kV

## **Einführung in die diagnostische Isolationsprüfung > 1kV**

### **Inhaltsverzeichnis:**

Einleitung	2
Was ist Isolierung?	3
Was kann die Isolation verschlechtern?	3
Elektrischer Druck	3
Mechanischer Druck	3
Chemischer Angriff	3
Thermischer Druck	3
Umwelteinflüsse	3
Wozu ist vorausschauende Wartung gut?	4
Der Nutzen der neuen Technologie	4
<b>WIE DER ISOLATIONSWIDERSTAND GEMESSEN WIRD</b>	
Wie funktioniert ein Isolationswiderstandsmessgerät?	5
Bestandteile des Test-Stromes	5
Kapazitiver Ladestrom	5
Absorptions- oder Polarisationsstrom	5
Oberflächenkriechstrom	6
Leitstrom	6
Anschließen der Prüfgeräte	7
Typische Anschlüsse	8
Abgeschirmtes Stromkabel	8
Schalter / Buchsen	8
Leistungsransformator	9
Wechselstromgenerator	9
Der Meßbereich des Prüfgerätes	10
Spannungseigenschaften	11
<b>AUSWERTUNG UND DEUTUNG VON RESULTATEN</b>	
Deutung der Unendlich-Messung ( $\infty$ )	12
Diagnostische Hochspannungsisolationsprüfungen	13
Stichproben	13
Zeit-Widerstands -Test	14
Polarisationsindex-Test	15
Treppenspannungs -Test	16
Dielektrischer Entladungstest	17
Unterschiedliche Probleme/ Tests	19
<b>ANHÄNGE</b>	20
Mögliche Fehlerquellen/das Sicherstellen von Qualitätstestergebnissen	20
Prüfleitungen	20
Messungen über 100 GOhm	20
Genauigkeitsaussagen	20
Ausgabe der angegebenen Spannung	20
Interferenzunterdrückung	21
Richtlinien zur Prüfung und zum Vergleich	21
Isolationswiderstandsmessungen an rotierenden Maschinen	22
Der Guardanschluss	24
Auswirkungen der Temperatur	25
Auswirkungen der Feuchtigkeit	27
Zugangsschutz	27
Hohe Potentialmessung	28
Strommessungen (nA) gegen Widerstandsmessungen (MOhm)	28
Durchbrennfähigkeit	28
Gerätschaften trocknen	29
Geräteentladungen	30
Ladezeit für große Gerätschaften	30
Motorbetriebene Isolationsprüfgeräte	30
<b>ISOLATIONSWIDERSTANDSPRÜFGERÄTE VON MEGGER</b>	32

Megger® ist einer der weltführenden Hersteller und Vertrieber von elektrischen und kommunikativen Prüf- und Messgeräten. Mit Forschungs-, Technik- und Herstellungsmöglichkeiten in Großbritannien und den USA, zusammen mit Verkaufs- und technischer Unterstützung in den meisten Ländern ist Megger einmalig gut platziert um den Bedürfnissen seiner Kunden weltweit zu entsprechen.

Mehr Informationen finden Sie auf unserer Homepage: [www.megger.com](http://www.megger.com)

## EINLEITUNG

Der Isolationswiderstand kann sich bei Beanspruchung über eine gewisse Zeit verschlechtern. Die Isolation ist so aufgebaut, dass sie diesen unterschiedlichen Beanspruchungen mehrere Jahre widersteht. Somit kann man hier von einer gewissen Lebensdauer ausgehen.

Anormale Belastungen können die natürliche Lebensdauer beeinflussen und stark verkürzen.

Aus diesem Grund wäre es gut ab und zu Prüfungen durchzuführen um zu erkennen, ob eine Alterung stattfindet und wenn möglich, festzustellen, ob diese rückgängig zu machen ist oder nicht.

Der Zweck der diagnostischen Isolationsprüfung ist:

- Erhöhtes Alter zu erkennen
- Die Ursache dieses Alterns zu bestimmen
- Wenn möglich, die geeigneten Schritte zu unternehmen um die Ursache zu beheben.

In seiner einfachsten Form erfolgt die Diagnoseprüfung als Stichprobe. Die meisten Elektrowartungsunternehmen führen Stichproben durch, wo Spannung an die Isolation angelegt und ein Widerstand gemessen wurde. Die Diagnose ist in diesem Fall:

„Die Isolierung ist gut“ oder „die Isolierung ist schlecht.“

Diese Aussage gibt aber keine Information über den Zustand des Prüflings!

Es ist so, als wenn Sie mit einem Husten zum Arzt gehen und der erklärt, Sie hätten einen Husten ohne weitere Untersuchungen durchzuführen. Mit dieser Aussage würden Sie nicht zufrieden sein. Sie erwarten, dass der Arzt die Ursache ergründet um notwendige Maßnahmen einzuleiten.

Die Stichprobe wäre wie beim Arzt die Feststellung, ob man krank ist oder nicht. Sehr wenig an Information. Diese Tests werden gewöhnlich bei Niederspannungskreisen angewendet, wo ein Fehler nicht teuer wäre und der Ersatz einfach und billig. Bei Niederspannungsgerätschaften werden die Tests mit 500V oder 1000V Prüfspannung durchgeführt und alle Elektriker sind damit vertraut.

Jedoch wenn der Arzt die Untersuchungsergebnisse notiert und mit den vorigen vergleicht, dann würde der Arzt zu einer Arzneiverschreibung tendieren. Das heißt, wenn Messungen mit vorigen verglichen werden, kann man einen Tendenz erkennen und man kann abhelfen, wenn nötig.

Diagnostische Isolationsprüfung über 1kV ist ein Gebiet, mit dem elektrisches Wartungspersonal weniger vertraut ist. Darum soll Ihnen dieses Handbuch

- die Durchführung von diagnostischen Isolationswiderstandsprüfungen näher bringen
- Richtlinien für das Auswerten der Ergebnisse der Prüfungen geben
- die Vorteile der Multispannungsprüfung bei höheren Spannungen vorstellen.

Dieses Handbuch basiert auf den Prinzipien, die schon im Buch „Ein Griff zur rechten Zeit...Das Handbuch zur elektrischen Isolationsprüfung“, zuerst in 1966 von der James G. Biddle Company herausgegeben, dargelegt wurden.

## WAS IST ISOLIERUNG?

Das ist jeder elektrische Draht, ob er in einem Motor, Generator, Kabel, Schalter, Transformator ist, oder was mit irgendeiner Form der elektrischen Isolierung bedeckt ist.

Während der Draht selbst ein guter Leiter (normalerweise aus Kupfer oder aus Aluminium) ist, bzw. sein soll, muss die Isolierung dem fließendem Strom widerstehen und ihn in seiner Bahn entlang des Leiters halten. Das Ohmsche Gesetz, das in der folgenden Gleichung ausgedrückt wird, ist der Schlüssel zur Isolationsprüfung:

$$U = I \times R$$

U = Spannung / Volt

I = Strom / Ampere

R = Widerstand / Ohm

Für einen gegebenen Widerstand, je höher die Spannung, desto größer der Strom. Je niedriger der Widerstand des Drahts, desto mehr Strom fließt für dieselbe Spannung.

Keine Isolierung ist perfekt, es gibt immer Strom, der an der Isolierung vorbeifließt oder durch sie zur Erde. So ein Strom (Leckstrom) mag belanglos scheinen, aber er ist die Basis für Isolationsprüfgeräte.

Was ist eine „gute“ Isolierung? Eine gute Isolierung hat einen hohen Widerstand zum Stromfluss. Um ein Isolationsmaterial zu beschreiben, heißt „gut“ auch „die Fähigkeit, den hohen Widerstand zu halten“. Der Widerstand kann Sie erkennen lassen, wie „gut“ die Isolierung ist.

### Was kann die Isolation verschlechtern?

Es gibt fünf grundlegende Ursachen für die Isolationswiderstandsverschlechterung.

Sie wirken auf einander ein und verursachen eine allmähliche Abnahme der Isolierungslebensdauer.

#### Elektrischer Druck

Isolierung ist für eine bestimmte Anwendung konstruiert worden. Überspannung und Unterspannung. verursachen anormalen Druck innerhalb der Isolierung, die zur Rissbildung oder Schichtabnutzung der Isolierung führen kann.

#### Mechanischer Druck!

Mechanische Beschädigungen eines Kabels wie zum Beispiel bei Aushebung eines Grabens können leicht passieren. Aber mechanischer Druck entsteht auch, wenn eine Maschine unausgewogen betrieben wird. Die resultierenden Erschütterungen können Defekte innerhalb der Isolierung verursachen.

#### Chemischer Angriff!

Normalerweise erwartet man, dass durch ätzende Dämpfe die Isolierung beeinträchtigt wird, aber auch Schmutz und Öl kann die Wirksamkeit der Isolierung verringern.

#### Thermischer Druck

Der Betrieb eines Geräts bei übermäßig kalter oder überhöhter Temperatur verursachen Überdehnung und Kontraktionen der Isolierung, was Rissbildung und Fehler ergibt. Auch das An- und Abschalten von Maschinen, sowie eine unregelmäßige Auslastung kann thermischen Druck verursachen. Außer wenn die Maschine für kurzzeitigen Betrieb konstruiert wurde, kann jedes An- und Ausschalten die Alterung der Isolierung nachteilig fördern.

#### Umwelteinflüsse

Umwelteinflüsse haben viele Faktoren, die von Feuchtigkeit an einem schwülen Tag bis zu Angriffen von Nagetieren, die sich ihren Weg in die Isolierung nagen, reichen.

Isolierung beginnt sich zu verschlechtern, sobald sie das erste Mal in Gebrauch ist. Isolierungen in jedem gegebenen Anwendungsbereich sind so konstruiert, dass sie viele Jahre lang unter normalen Betriebsverhältnissen gute Dienste leisten. Jedoch haben abnormale Arbeitsverhältnisse einen schädigenden Effekt, welcher, wenn unkontrolliert gelassen, die Verschlechterung beschleunigt und schließlich einen Defekt in der Isolierung verursachen. Die Isolierung wird als fehlerhaft erachtet, wenn sie den Stromfluss in ungewünschte Bahnen nicht angemessen verhindert.. Das schließt Stromfluss über die inneren und äußeren Oberflächen der Isolation (Kriechstrom) und viele andere Gründe mit ein.

Nadellöcher und Risse zum Beispiel können sich in der Isolierung entwickeln, oder Feuchtigkeit und andere Sachen können die Oberfläche(n) durchdringen. Diese Schadstoffe ionisieren leicht unter einer angelegten Spannung, die einen Weg für den geringen Widerstand von Kriechstrom schafft, der sich erhöht, verglichen mit trockenen, nicht verunreinigten Oberflächen. Reinigung und Trockenhaltung der Isolierung jedoch kann leicht die Situation verbessern.

Andere Feinde der Isolierung können eine Verschlechterung bewirken, die nicht so schnell zu beheben ist. Aber wenn die Isolationsverschlechterung einmal begonnen hat, helfen sich die zahlreichen Urheber gegenseitig, diese zu beschleunigen.

### **Wozu ist vorausschauende Wartung gut?**

Zwar gibt es Fälle, wo der Isolationswiderstand plötzlich abnehmen kann, wie zum Beispiel wenn die Apparatur überflutet ist, doch gewöhnlich nimmt er allmählich und mit vielen Warnungen ab, wenn regelmäßig geprüft wird. Diese regelmäßigen Überprüfungen erlauben eher eine Wiederherstellung als einen Betriebsausfall und/oder Schockzustand.

Ohne ein regelmäßiges Testprogramm werden alle Defekte überraschend und ungelegen kommen und wahrscheinlich sehr zeitaufwendig und hilfsmittelbedürftig sein.

Wenn eine fortgeschrittene Isolationsverschlechterung unentdeckt bleibt, ist das eine Gefahr des elektrischen Schlages oder sogar Todes für Personal. Es ist eine Quelle für elektrisch induziertes Feuer. Die Lebensdauer der Gerätausrüstung kann verkürzt werden und/oder die Einrichtung kann mit einer nicht geplanten und teuren Ausfallzeit konfrontiert werden. Die regelmäßige Messung der Isolationsqualität ist ein entscheidender Teil jedes Wartungsprogrammes, da es hilft, Zusammenbruch von elektrischen Gerätschaften vorzusagen und zu verhindern.

Das ist genau jetzt angebracht, wenn man bedenkt, dass große Teile des elektrischen Netzwerkes in den USA und Europa in den 50er Jahren erstellt wurden als Nachkriegs-Investitionsstoß. Manche der Anlagen nähern sich dem Ende ihres Baulebens, während andere schon ihres übersteigen, aber trotzdem immer noch zufriedenstellend arbeiten.

Weil diagnostisches Prüfen allgemein für kritischere Punkte reserviert ist, finden wir manchmal, dass diagnostische Prüfgeräte, die Spannungsausgänge von 5kV oder 10kV haben, für Anlagenprüfungen wie Mittelspannungsgeräte, -kabel, -transformatoren, etc. geeigneter wären.

### **Der Nutzen der neuen Technologie**

Isolationsprüfungen gehen auf das frühe 20. Jahrhundert zurück, als Sidney Evershed und Ernest Vignoles ihre erstes Isolationsprüfgerät entwickelten (Im Jahre 1903 wurde das erste MEGGER® Isolationsprüfgerät entwickelt).

Zu dieser Zeit wurden die meisten Instrumente manuell mit Kurbel betrieben. Dieses begrenzte ihre Fähigkeit, langwierige Tests durchzuführen und machte die Spannung vom Kurbeln des Bedieners abhängig. Dieselben Instrumente bekamen einen Außenmotor, der die langen Prüfungen vereinfachte, aber immer noch nicht die Spannungsstabilität verbesserte. Der Messbereich dieser Geräte ging selten über 1000Mø hinaus. Die analogen Bewegungsabläufe waren sehr schwer und dienten eigentlich zur Unterdrückung vorübergehender Ereignisse.

Die Weiterentwicklung von Elektronik und die Entwicklung der Batterietechnologie revolutionierten das Design der Isolationsprüfgeräte. Moderne Instrumente sind Netz- oder batteriebetrieben und liefern beständige Prüfspannungen unter zahlreichen Bedingungen.

Sie sind auch in der Lage, sehr kleine Ströme zu messen, sodass deren Isolationswiderstandsmessbereiche zu Teraohm ( $T\Omega$ ) erweitert wurden. Einige können sogar Bleistift, Papier und Stoppuhr ersetzen, die ehemals dafür benutzt wurden, Testergebnisse für spätere Analysen zu sammeln. Glücklicherweise wurden diese erstaunlichen Verbesserungen gemacht, sodass moderne Isolationsmaterialien jetzt viel höhere Widerstände aufweisen als die aus dem frühen 20. Jahrhundert, ist sehr zu unserem Vorteil.

Neue Technologie bietet verbesserte Leistungsfähigkeit, sodass neue Verfahren tiefere Einblicke geben und neue Methoden erschlossen werden können.

Moderne Geräte liefern stetige Spannung über den ganzen Widerstandsmessbereich, mit Mikro-Prozessorempfindlichkeit im messenden Stromkreis, die Messungen im TeraOhm- Bereich möglich machen. Die Kombination der gleichbleibenden Spannung und der erhöhten Empfindlichkeit ermöglicht dem Prüfgerät, die minimalen Mengen Strom zu messen, die an der Qualitätsisolierung in neuen Gerätschaften vorbeiziehen. Dementsprechend sind ausgereifte Verfahren, die sich auf genaue Messungen verlassen, entwickelt worden und können leicht realisiert werden.

Jetzt wo die Isolationsprüfgeräte nicht auf Werte begrenzt sind, die mit altem oder defektem Equipment verbunden sind, können sie dazu benutzt werden, die Prüfgegenstandsposition überall entlang seiner Alterskurve

genau zu bestimmen. Die „Unendlich“-Anzeige, welche den Techniker freut, stellt eine Lücke für den Diagnostiker dar.

Einige Instrumente führen deshalb Diagnosetests, die in ihre Software vorprogrammiert sind und können sie automatisch laufen lassen und füllen diese Lücke mit wertvollen analytischen Daten.

## WIE DER ISOLATIONSWIDERSTAND GEMESSEN WIRD

### Wie funktioniert ein Isolationswiderstandmessgerät?

Die MEGGER® Isolationsprüfgeräte sind robust und transportabel, und ermöglichen ein Direktablesen des Isolationswiderstand in Ohm, MegaOhm, GigaOhm oder TeraOhm (vom Modell abhängig), egal welche Prüfspannung eingestellt ist. Für eine gute Isolierung wird der Widerstand normalerweise im MegaOhm-Bereich gemessen. Das Megger-Isolationsprüfgerät ist wesentlich ein Widerstandsmesser mit hohem Messbereich und mit eingebautem Gleichstromgenerator.

Der Generator des Instrumentes, der manuell gekurbelt, mit Batterie oder Netz betrieben werden kann, entwickelt eine hohe Gleichspannung, die mehrere kleine Ströme durch und über die Oberflächen der geprüften Isolierung erzeugt. Der Gesamtstrom wird durch das Ohmmeter gemessen, der eine analoge Anzeigenskala, eine Digitalanzeige oder beides hat.

### Bestandteile des Test-Stromes

Wenn wir eine Prüfspannung an eine Isolierung anlegen, dann können wir durch Messung des resultierenden Stroms und Anwendung des Ohm'schen Gesetz den Widerstand der Isolierung errechnen. Leider fließt mehr als ein Strom, was die Sache erschwert.

### Kapazitiver Ladestrom

Wir alle sind mit dem Strom vertraut, der erforderlich ist, um die Kapazität der zu prüfenden Isolation aufzuladen. Der Strom ist zunächst groß, aber relativ kurzlebig und in die Nähe des Nullwertes fallend, jenachdem wie der zu testende Gegenstand geladen ist. Isolationsmaterial wird genauso geladen wie ein Nichtleiter in einem Kondensator.

### Absorptions- oder Polarisations-Strom

Der Absorptionsstrom besteht aus bis zu drei Strömen, die bei abnehmender Geschwindigkeit über einige Minuten nahe dem Nullwert fallen.

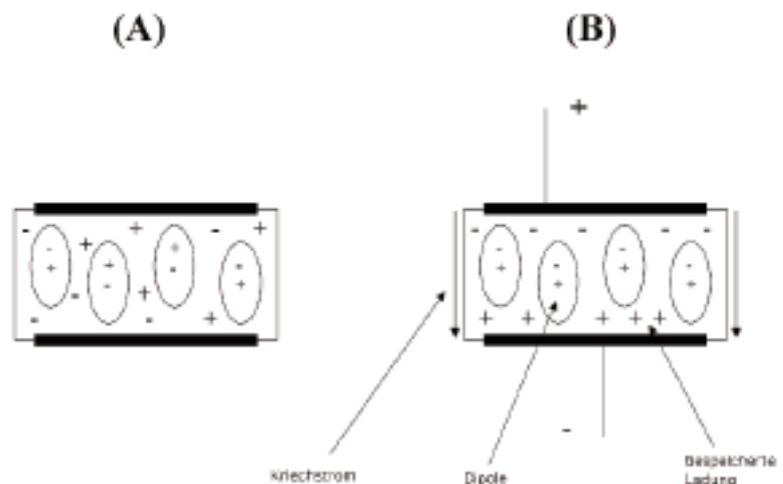
Der erste wird durch natürlichen Antrieb der freien Elektronen durch die Isolierung unter dem Effekt des elektrischen Feldes verursacht.

Der zweite wird durch molekulare Verformung verursacht, wodurch das auferlegte elektrische Feld die negative Ladung der Elektronenschalen verzerrt, die um den Kern Richtung positiver Spannung kreisen.

Der dritte ist auf die Anordnung der polarisierten Moleküle innerhalb des elektrischen Feldes zurückzuführen. Diese Anordnung ist ziemlich selten in einem neutralen Zustand, aber wenn ein elektrisches Feld angelegt ist, formieren sich die polarisierten Moleküle mit dem Feld zu einer größeren oder kleineren Ausdehnung.

Die drei Ströme zusammen sind allgemein als ein Strom angesehen und werden hauptsächlich vom Typ und Zustand des bindenden Materials, das in der Isolierung genutzt wird, beeinflusst. Obwohl der Absorptionsstrom sich Null nähert, dauert das Verfahren viel länger als mit kapazitiven Strom.

Die Orientierungspolarisation wird bei aufgenommener Feuchtigkeit erhöht, da verunreinigte Materialien polarisiert sind. Das erhöht den Grad der Polarisation. Depolymerisation der Isolierung führt auch zu erhöhtem Absorptionsstrom.



Nicht alle Materialien besitzen alle drei Ströme und tatsächlich weist Material wie Polyäthylen, nur geringe, wenn überhaupt, Polarisierung auf.

### Oberflächenkriechstrom

Kriechstrom ist vorhanden, wenn die Oberfläche der Isolierung mit Feuchtigkeit oder Salzen verunreinigt ist. Der Strom ist mit der Zeit konstant und hängt von dem Grad der vorhandenen Ionisierung ab, die ihrerseits von der Temperatur abhängt. Er wird oft als ein einzelner Strom einschließlich mit dem Leitungsstrom unter dem gesamten Kriechstrom ignoriert.

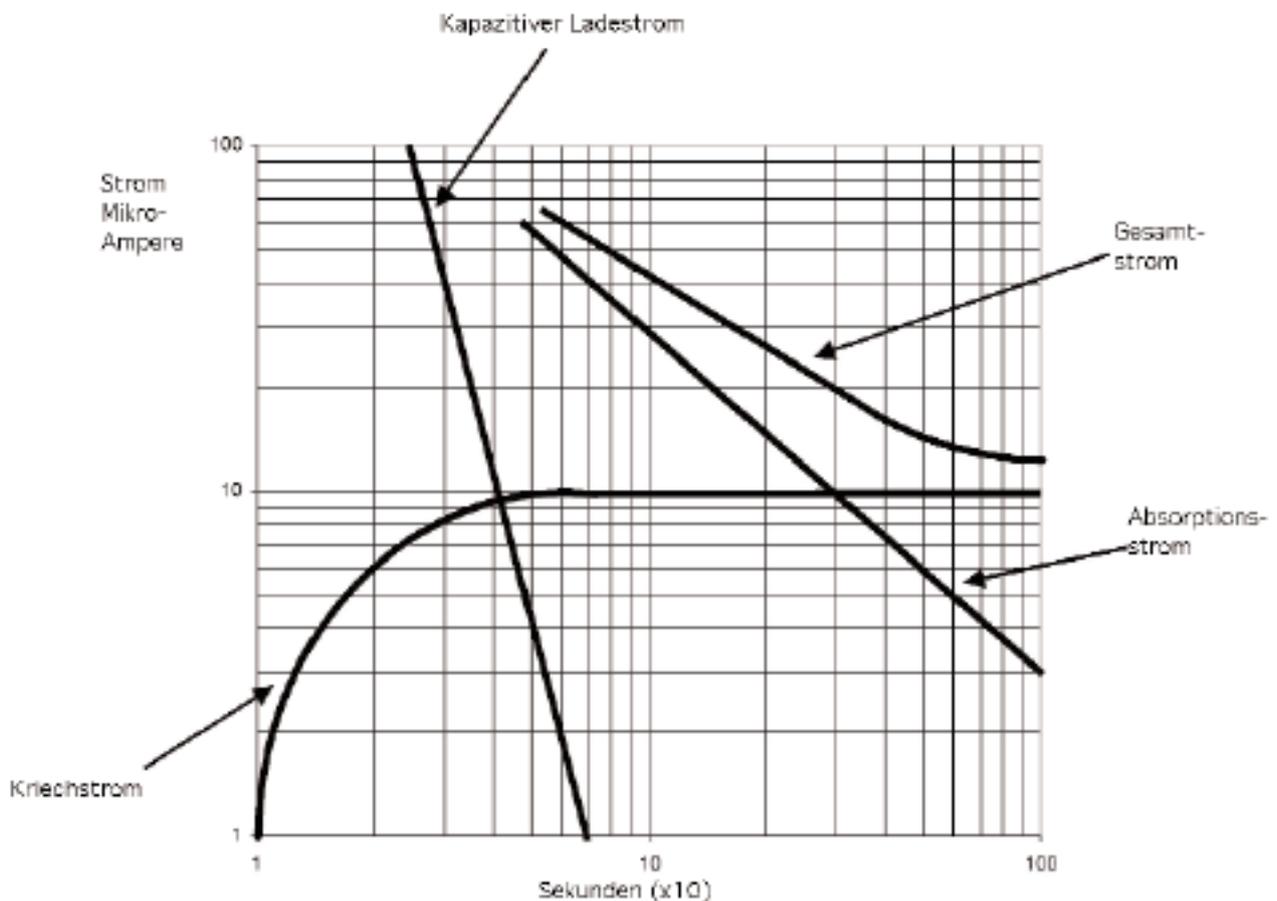
### Leitungsstrom

Der Leitungsstrom ist durch die Isolierung stetig und ist normalerweise durch einem sehr hohen Widerstand parallel zur Isolierungskapazität dargestellt. Er ist Bestandteil des Kriechstroms, welcher der Strom ist, der gemessen wird, wenn die Isolierung ganz aufgeladen ist und vollständige Absorption stattgefunden hat. Man muss beachten, dass es Oberflächenkriechstrom mit einschließt, der durch die Benutzung des Guardanschlusses (dazu später mehr) reduziert oder eliminiert werden kann.

Das folgende Diagramm zeigt die Eigenschaften jedes Stromkomponenten bezüglich der Zeit.

Der Gesamtstrom ist die Summe dieser Komponenten. (Leckstrom wird als ein Strom gezeigt). Es ist der Strom, der direkt von einem Mikroamperemeter gemessen werden kann oder, in Bezug auf  $M\Omega$ , bei einer bestimmten Spannung mittels eines Megger Isolationsprüfgeräts. Einige Geräte bieten auch Messanzeigen in Bezug auf den Strom oder einen Widerstands.

Da der Gesamtstrom von der Zeit abhängt, in der die Spannung angelegt ist, hält das Ohm'sche Gesetz ( $R=E/I$ ) theoretisch nur bei der unendlichen Zeit an (das besagt, dass das Gerät ewig wartet, bevor es eine Messung nimmt). Er ist außerdem von einem Basislevel der Gesamtentladung abhängig. Der erste Schritt in jeder Isolationsprüfung ist deswegen sicherzugehen, dass die Isolierung komplett entladen ist.

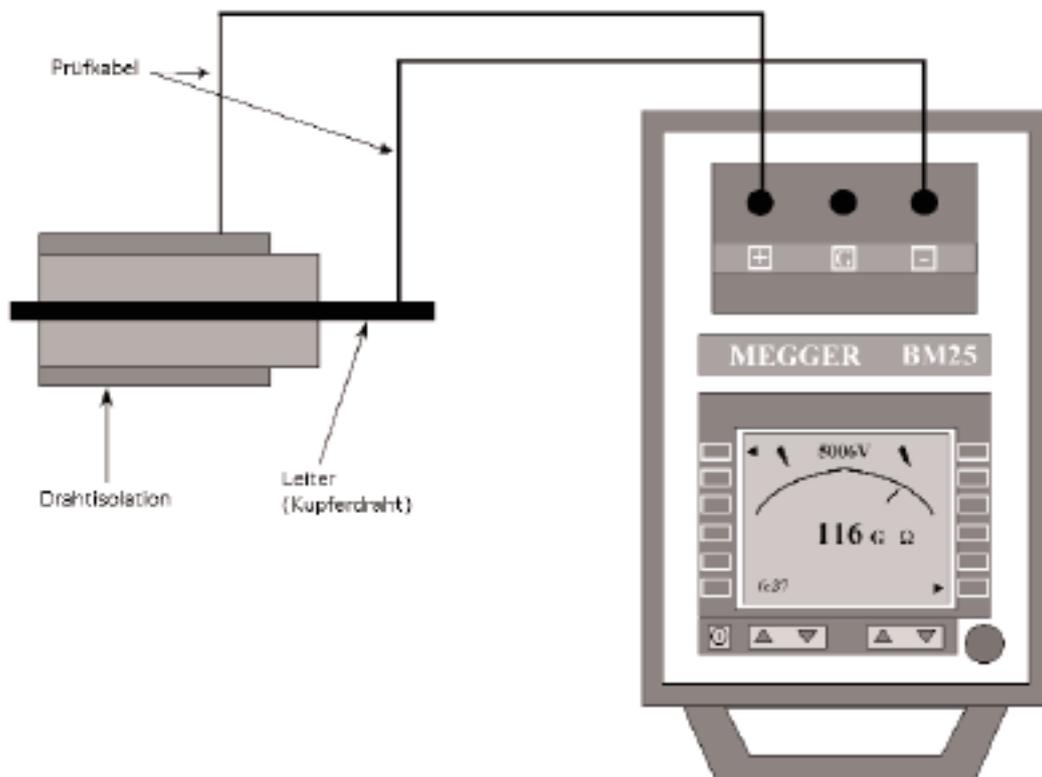


*Bitte Beachten:*

*Der Ladestrom verschwindet relativ schnell, wenn der Prüfling beim Test aufgeladen wird. Größere Einheiten mit größerer Kapazität brauchen länger zum Aufladen. Dieser Strom ist gespeicherte Energie und muss aus Sicherheitsgründen nach der Prüfung entladen werden. Zum Glück geht diese Entladung schnell. Während des Prüfens erhöht sich der Absorptionsstrom relativ langsam, abhängig von der genauen Beschaffenheit der Isolierung. Diese gespeicherte Energie muss auch am Ende der Prüfung freigegeben werden und erfordert eine viel längere Zeit als die Entladung des Kapazitätsladestroms.*

### **Anschließen des Prüfgerätes**

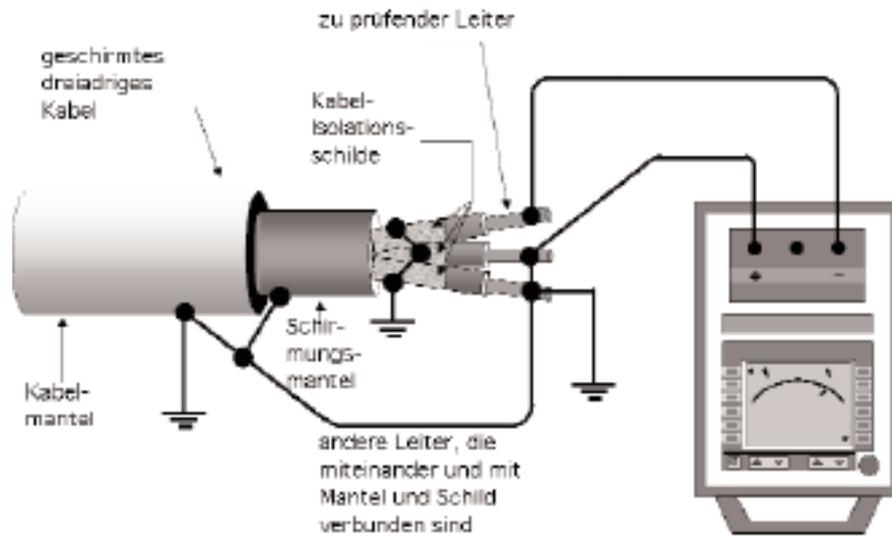
Mit modernem Isolierungsmaterial gibt es, wenn überhaupt nur geringe Unterschiede in den Messungen, unabhängig davon, wie die Prüfkabel angeschlossen sind. Jedoch bewirkt ein kleines, eher unbekanntes Phänomen, genannt Elektroendosmosis, dass eine niedrigere Messung bei älterer Isolierung gemacht wird, wo der positive Anschluss an der geerdeten Seite der Isolierung ist. Beim Prüfen eines verlegten Kabels würde der positive Anschluss normalerweise an der Außenseite des Kabels sein, da dieses durch Bodenkontakt geerdet ist, wie im Bild gezeigt. Beachten Sie bitte, dass Sie das Gerät nicht direkt an die Isolierung anschließen, sondern eher an den Nulleiter oder Erdung.



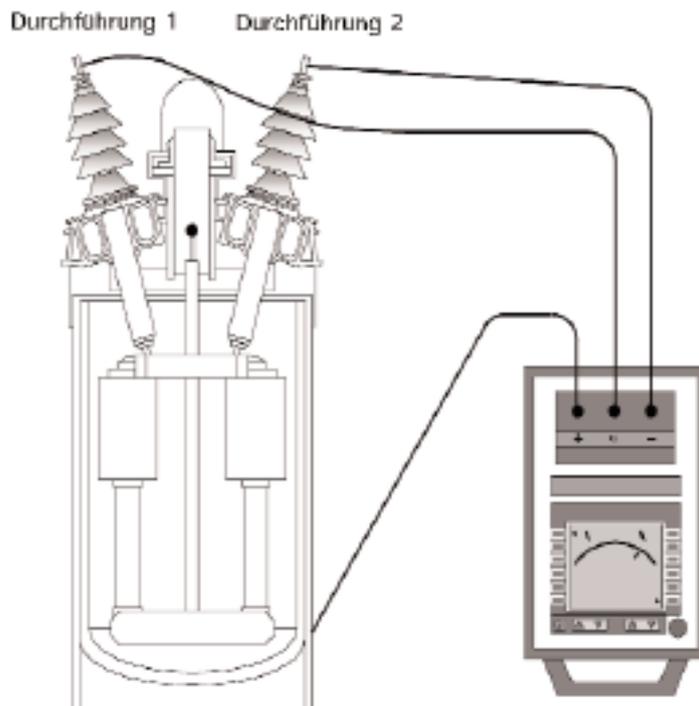
## Typische Anschlüsse

### Abgeschirmtes Starkstromkabel

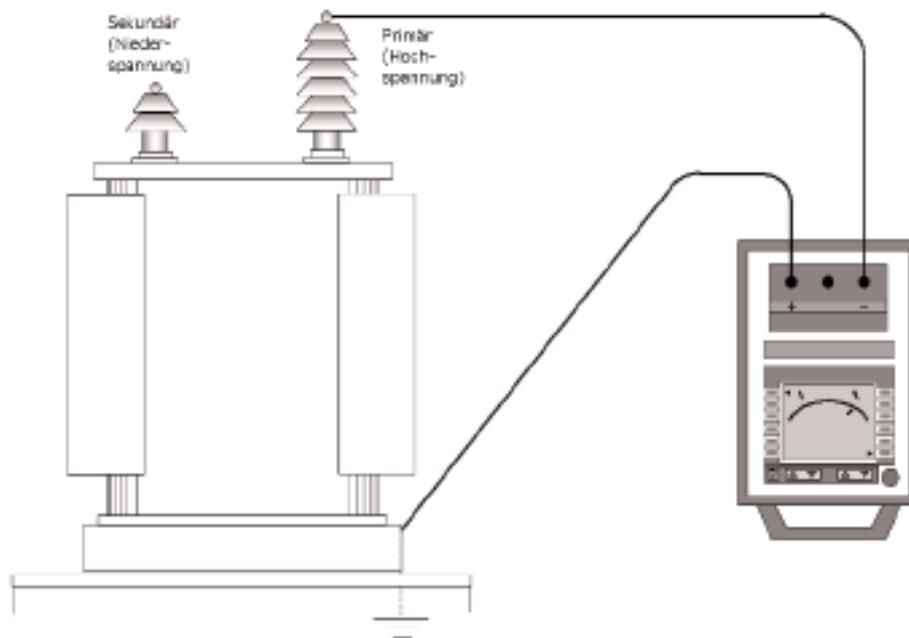
Misst den Isolationswiderstand zwischen einem Leiter und der Erde.



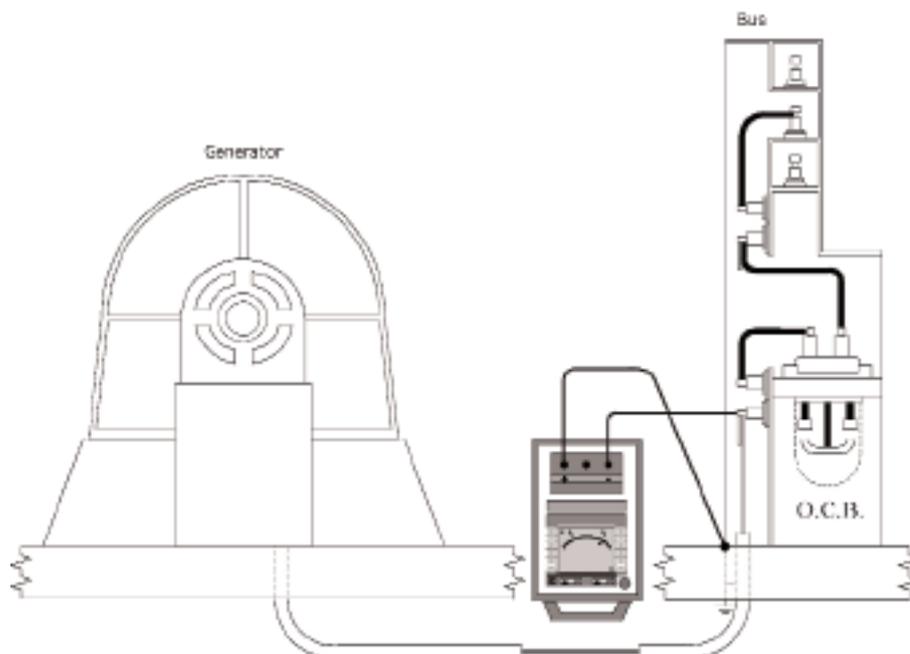
### Schalter/Durchführungen



## Leistungstransformator



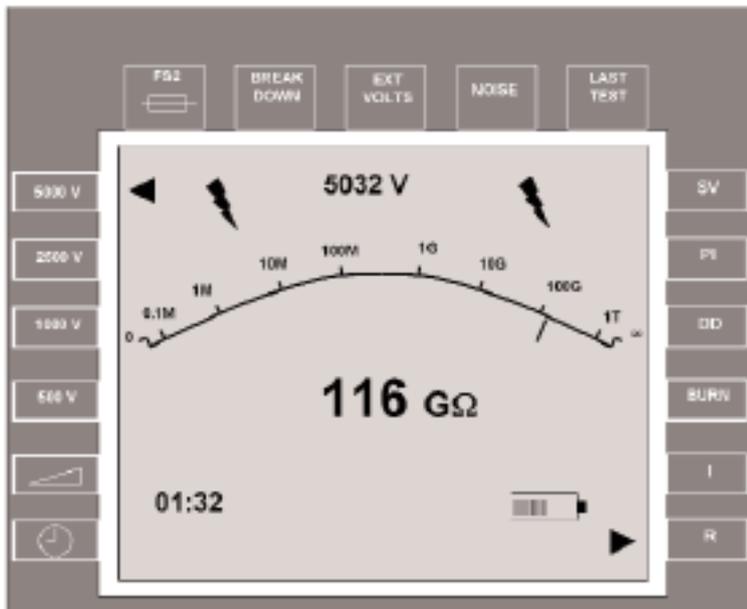
## Wechselstromgenerator



Scharfe Beobachter merken, dass der Anschluss, um eine Schalterdurchführung zu messen, den Anschluss des dritten, des Guard- Anschlusses, mit einschließt. Der Gebrauch dieses Anschlusses wird später genauer beschrieben.

## Der Meßbereich des Prüfgeräts

Die meisten modernen Isolationsprüfgeräte bieten Anzeigen an, die eine Digitalanzeige und eine Form der Analoganzeige besitzen. Unten ist eine MEGGER BM25-Anzeige dargestellt.



Wenn ein Isolationsprüfgerät an das Element angeschlossen ist und die Prüfung beginnt, passieren verschiedene Dinge: Die drei verschiedenen Ströme, kapazitive Ladung, dielektrische Absorption und Leitungs/Leckstrom fließen. Die Summe dieser drei Ströme bringen das digitale Display dazu, die steigenden Messwerte abzuwandeln, anfangs schnell und mit der Zeit langsamer.

Bei einem analogen Display gibt die Bewegung des Zeigers Extrainformationen an den erfahrenen Bediener. Bewegt sich der Zeiger ruhig, oder stotternd? Steigt der Zeiger stetig oder fällt er regelmäßig wieder zurück? Diese wertvolle Zusatzinformation kann wohl kaum bei tanzenden Ziffern einer LCD erkannt werden.

Einige Beispiele sind hier beschrieben:

- Während die Prüfspannung ansteigt und das Prüfobjekt sich dem Zusammenbruch nähert, bringen Koronaentladungen den Zeiger zum „zittern“, was dem Bediener anzeigt, dass die maximale Spannung, die das Prüfobjekt standhalten kann, erreicht ist. Diese Warnung erfolgt rechtzeitig zur Beendigung der Prüfung vor dem eigentlichen Zusammenbruch und bevor etwas zu Schaden kommt.
- Für den erfahrenen Bediener gewährt die Geschwindigkeit, bei der der Zeiger sich bewegt, Informationen über die Kapazität des Prüflings. Das ist eine nützliche Eigenschaft beim Prüfen von Hochspannungskabeln und bezieht sich auf die theoretische Basis der anspruchsvolleren dielektrischen Entladungsprüfung, die in einem anderen Teil des Buches beschrieben ist.
- Falls der Zeiger dauernd steigt und fällt, kann es Lichtbögen im Prüfling anzeigen, die aber zu klein für die automatische Ausschaltungsauslösung sind. Solche Information hilft dem Bediener direkt ein Problem festzustellen.
- Die Beobachtung, wie der Zeiger langsamer wird und sichtbar anhält (er kann sich immer noch bewegen, aber mit der „Geschwindigkeit“ eines Uhrzeigers) kann angenehmer zu lesen sein als entscheiden zu müssen, wann sich das Digitaldisplay ordentlich stabilisiert hat. Keine Digitalanzeige „erstarrt“ bei einer präzisen Zahl ohne wenigstens auf dem niedrigsten Stellenwert zu schwanken.

Diese Art von Detail ist schwierig oder gar unmöglich für das Auge aus den durchlaufenden Ziffern auf dem elektronischen Display auszuwählen. So wünschenswert Zeigerläufe auch sind, wenn er anhält, muss der Bediener die Messung zwischen den Skalenmarkierungen ausmachen können, ein Urteil fällen, was eine Fehlerquelle sein kann.

Die Digitalmodelle stellen kein solches Problem dar, da sie den Bediener genau informieren (innerhalb der Genauigkeitsspezifikation des Geräts), was gemessen wurde. Und die meisten werden Ihnen ein Kapazitätswert am Ende der Prüfung geben.

Die meisten von Megger's Isolationsprüfgeräten über ein 1kV sind mit einem analogen/digitalen Display ausgestattet. Einer der Vorteile dieses Displays ist, dass der analoge Teil des Geräts schwankt und pendelt und dem Bediener anzeigt, dass der Prüfling noch nicht den stetigen Zustand und noch immer unter dem Einfluss

der Absorption und des Ladestroms steht. Eine solche Anzeige weist darauf hin, dass der Prüfling länger getestet werden sollte oder dass ein Problem besteht. Wenn der analoge Teil des Displays ruhig wird, zeigt das Instrument das Ergebnis in eindeutiger digitaler Messform, ohne Multiplikatoren oder Mathematik.

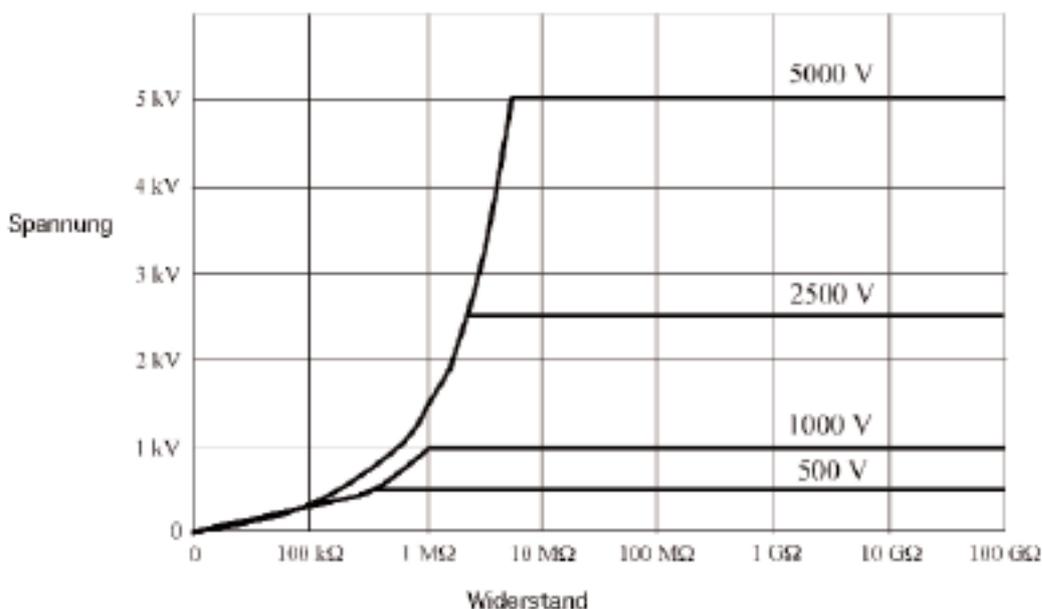
Im Gegensatz zu den analogen/digitalen Displays wie oben beschrieben, bietet eine „Durchschnittsabtastung“-Balkenanzeige keine Echtzeitanzeige des Isolationswiderstandes. Einige Instrumente bieten eine gebogene Balkenanzeige anstatt eines echten logarithmischen Bogens, in welchem das niedrige Ende der Skala relativ zum höheren Ende ausgedehnt ist. Die Balkenanzeige misst über bestimmte Zeit, kalkuliert und zeigt dann die Ergebnisse. Das Problem mit diesem Messtyp ist das Betriebsprinzip. Wenn etwas, während die Balkenanzeige nicht liest, geschieht, wird es ausgelassen und nicht auf der Anzeige gezeigt. Außerdem erscheinen Displaysimulationen der Zeigerbewegung dem Auge nicht wie der vertraute Zeiger und kopieren die mechanische Zeigerbewegung nicht wie erwartet.

Je mehr der Bediener beim Isolationsprüfungen über die Testergebnisse weiß (während oder nach dem Test), desto besser ist seine Entscheidung, wie ein Problem berichtigt werden kann. Wenn etwas während eines Tests fehlt, weil das Gerät eine Balkenanzeige hat, können wichtige Informationen verloren gehen.

### Spannungseigenschaften

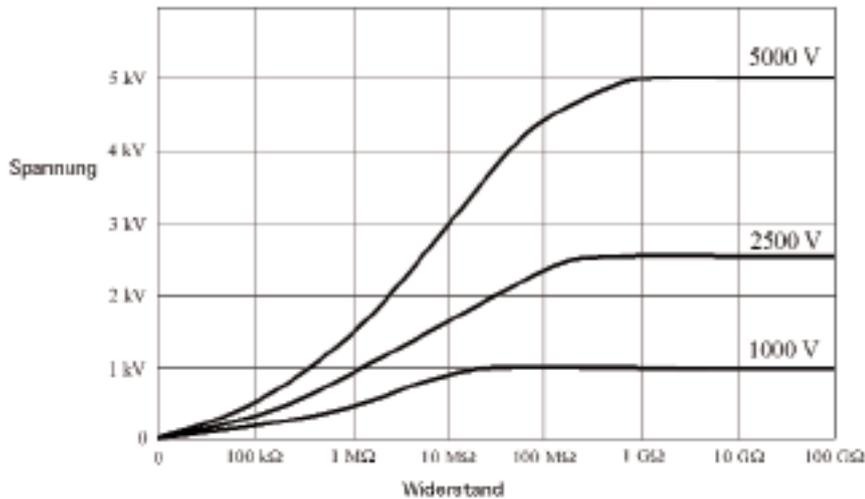
Die Ausgangsspannung eines Isolationsprüfgeräts hängt vom Widerstand, den es misst, ab. Bei geringem Widerstand, zum Beispiel unter  $100\Omega$ , wird die Ausgangsspannung nahe Null sein, vielleicht ein paar Volt betragen. Wenn der Widerstand ansteigt, steigt auch die Prüfspannung, bis sie die gewünschte Spannung erreicht. Wenn der Widerstand weiter steigt, wird die Prüfspannung sich langsamer erhöhen bis ein stetiger Wert erreicht ist. Dieser Wert wird wahrscheinlich ein bisschen höher sein als die gewünschte nominale Spannung (z.B.  $5104V$  wenn  $5000V$  gewünscht war).

Sie sollten immer sicher gehen, dass ein Isolationsprüfgerät mit einem Belastungsdiagramm versehen ist, das die Ausgangsspannungseigenschaften gegen Widerstand zeigt, oder auch ein integriertes Voltmeter, das die Endspannung während eines Tests misst und sie kontinuierlich anzeigt. Auf diese Weise können Sie sicher sein, dass die entsprechende Spannung über den gewünschten Widerstandsbereich produziert wird.



Ein gutes Isolationsprüfgerät hat eine Spannungseigenschaft, die eine Erhöhung der Spannung bis auf ein Level des Widerstands angemessen der guten Isolierung aufweist. Die Spannungseigenschaft im oberen Bild zeigt eine gute Eigenschaft. In diesem Beispiel hat die Ausgangsspannung  $500V$  erreicht bei einem geringen Widerstand von  $500k\Omega$  und  $1000V$  bei  $1M\Omega$ . Diese Werte sind Internationaler Standard für Prüfschaltungen in Haushalten, Geschäften, etc. Obwohl dies kaum ein typischer Gebrauch für typische Diagnoseisoliationsprüfgeräte ist, ist es doch ein guter Vergleichspunkt für seriöse Hersteller. Ähnliche Werte würden auf höhere Spannungen zutreffen. Die Spannung sollte sich bis auf irgendwo zwischen 1 und 5 Megaohm erhöhen, abhängig von der Spannungsauswahl, und sollte diese Spannung bei allen höheren Widerständen halten.

Bei weniger guten Isolationsprüfgeräten ist die Spannungsrampe weitaus langsamer. Die von der schwachen Kurve (sh Bild) gekennzeichneten Instrumente produzieren keine Nennspannung bis nicht viel höhere Widerstände erreicht wurden. Dadurch können Prüflinge Prüfungen bestehen, obwohl sie aber nur der Hälfte der gewünschten Prüfspannung unterzogen worden sind.



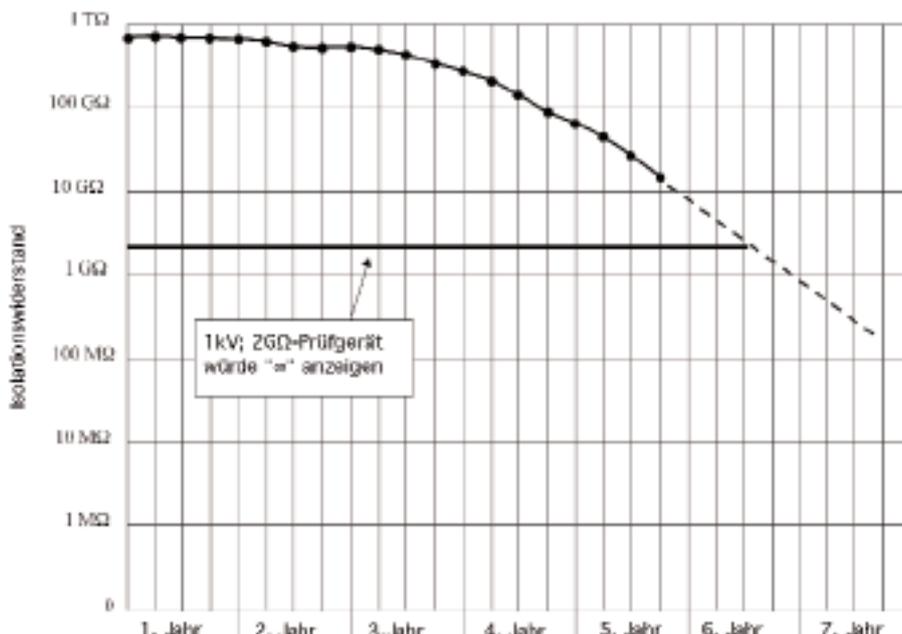
## AUSWERTUNG UND DEUTUNG VON RESULTATEN

### Deutung der Unendlich ( $\infty$ )-Messung

Einer der wichtigsten Eigenschaften des Isolationsprüfgeräts ist der Bereich, den das Instrument messen kann. Prüfziele legen fest, ob die Basisfunktion ausreicht, oder ob ein erweiterter Bereich empfohlen wird. Einfache Abnahmeprüfungen, sowie die abschließende Unterschrift des Elektrikers für einen Auftrag, können mit einem Grundbereich von 1000 MΩ nachgekommen werden. Zugegebenermaßen überschreiten neue Gerätschaften den Messbereich, wenn sie nicht während der Installation beschädigt wurden. Jedoch ist das in Ordnung. In diesem Fall sucht der Elektriker nicht nach einem tatsächlichen Wert, sondern will eher einen hohen Wert sehen und „Unendlich“ ( $\infty$ ) trifft dieses Kriterium gewiss. Jedoch ist „Unendlich“ keine Messung. Es ist ein Hinweis, dass die Isolierung einen Widerstand hat, der die Messfähigkeiten des Instruments übertrifft und sollte stets als „größer als 1000MΩ“ oder was auch immer die höchstmögliche Zahl auf Ihrem Prüfgerät ist, aufgezeichnet werden. Für gewöhnlich ist das ausreichend, da der zulässige Minimumwert des Widerstands eher viel kleiner als die Maximummessung ist.

Für die Wartung der Hauptausrüstung allerdings würde ein Prüfgerät mit begrenztem Messbereich dem Bediener zu wenig ausgeben. Für vorausschauende Wartung sind „unendlich“-Messungen nutzlos. Der Bediener weiß nur, ob der Prüfling „gut“ ist oder nicht. Prüfgeräte mit erweitertem Messbereich bis zu TΩ leisten

wirkliche Messungen vom Zeitpunkt ihrer Installation an, wobei sie eine lange Zeitleiste bestimmen, die dem Wartungsunternehmer eine Menge Atmungsfreiheit verschafft.



Bedeutende Veränderungen der Isolierungsqualität können bei hohen Isolationswiderstandsleveln auftreten, jenseits des Messbereichs von manchen Instrumenten, wie in diesem Diagramm dargestellt.

In diesem Beispiel würde ein Instrument mit beschränktem Messbereich diese wertvollen Daten nicht erfassen. Man

kann deutlich erkennen, dass sich die Isolierung zunehmend schneller verschlechtert, obwohl der letzte gemessene Isolationswert über  $10\text{G}\Omega$  hinausgeht. Etwas stimmt nicht. Ein Instrument mit einem Messbereich bis  $2000\text{M}\Omega$  würde es komplett verfehlen. Bis die Messwerte sich in den Messbereich des Messinstruments abgesetzt haben, hätte die Person, die die Wartung durchführt, vergleichsweise wenig Zeit, die Routine-off-line-Wartung einzuteilen. (Es kann sogar zu spät für die Fehlererkennung sein.)

### Diagnostische Hochspannisolationsprüfungen

Diagnostische Isolationsprüfungen stimulieren die Isolierung elektrisch und messen die Reaktion. Von dieser Reaktion kann man einige Schlussfolgerungen über den Zustand der Isolierung ziehen. Die diagnostische Isolationsprüfung deckt einen großen Bereich von Verfahren ab, einige davon sind mit tragbarer Ausrüstung durchführbar und einige erfordern eine fest eingebaute Prüfausrüstung. Hier sollte man nur solche Prüfungen in Betracht ziehen, die mit leicht tragbaren Gleichspannisolationsprüfgeräten ausgeführt werden können. Diese sind:

- Laufende Stichproben
- Zeitkonstante
- Polarisations-Index (PI)
- Stufenspannung (SV)
- Dielektrische Entladung (DD)

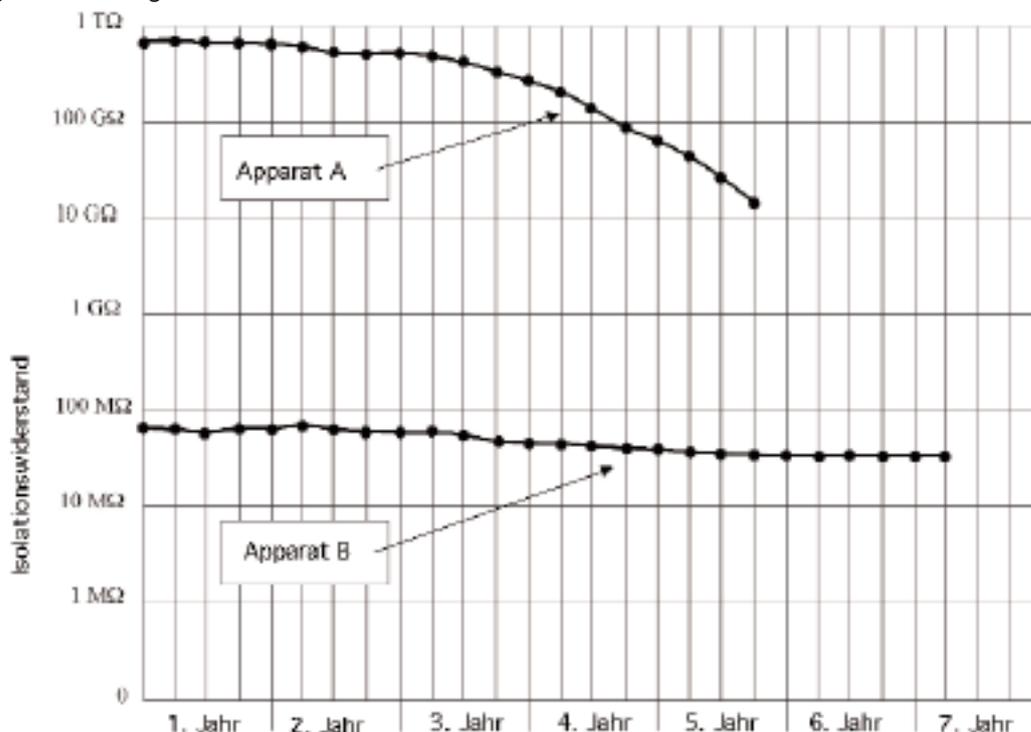
Jeder Test liefert eine andere Sicht in den Zustand der Isolierung; die vollständige Abbildung ist nur vorhanden, wenn alle erforderlichen Tests durchgeführt worden sind.

### Stichproben

Die Stichprobe ist die einfachste von allen Isolationsprüfungen und diejenige, die meist mit Niederspannisolationsprüfgeräten verbunden ist. Die Prüfspannung ist kurz für eine bestimmte Zeit angelegt (typisch sind 60 Sekunden, da jeder kapazitive Ladestrom für gewöhnlich bis dahin verfallen ist) und dann wird eine Messung vorgenommen. Die Messung kann mit den minimalen Installationspezifikationen verglichen werden. Außer wenn das Testergebnis katastrophal niedrig ist, vergleicht man es besser mit vorher erlangten Ergebnissen.

Jedoch ist der Isolationswiderstand sehr temperaturabhängig und demnach sollte das Ergebnis auf Standardtemperaturen hin korrigiert werden, für gewöhnlich  $40^\circ\text{C}$ . Eine gute Faustregel dafür wäre: für alle  $10^\circ\text{C}$  Temperaturerhöhung verdoppelt sich der Strom (der Widerstand halbiert sich). Der Schlüssel, um die Stichprobenprüfung wertvoll zu machen, ist beständige Zeitmessung, effektive Aufnahmen und Ergebnistendenzen.

Wie schon bemerkt, ermöglicht die erhöhte Sensibilität der digitalen diagnostischen Isolationsprüfgeräte dem Bediener, Isolierungsprobleme in ihren frühen Stadien zu erkennen. In vielen Fällen ist die Tendenz weitaus wichtiger als der eigentliche Wert.



Vergleicht man die beiden Graphen im unteren Bild, zeigt Gerät „A“ einen hohen Isolierungswiderstand während „B“ einen kleineren Wert zeigt. Wenn man aber die Tendenz näher untersucht, zeigt Gerät „B“ kaum Grund zur Beunruhigung. Es hat über mehrere Jahre ungefähr die gleichen Werte angegeben und zeigt die Tendenz, dass es auch die nächsten Jahre so weitergeht. Dagegen sinkt die Kurve von Gerät „A“ dramatisch und das Gerät wird, wenn nicht verhindert, in ein paar Jahren versagen.

Während Gerät „A“ einen viel höheren Widerstandswert hat, ist die Tendenz Besorgnis erregend. Gerät „B“ hat eine ziemlich beständige flache Tendenz und zeigt somit an, dass die Isolationsqualität wahrscheinlich annehmbar ist.

Isolationswiderstandsmessungen sollten eher relativ als absolut gesehen werden. Sie können stark bei einem Motor oder einer Maschine, die drei Tage hintereinander getestet worden sind, variieren, was aber noch keine schlechte Isolierung bedeutet. Wie schon gesagt, sind die Tendenzen in den Messungen über eine bestimmte Zeit die wichtige Information, da sie verringernden Widerstand zeigen und vor auftretenden Problemen warnen. Regelmäßiges Prüfen ist deshalb wichtig zur präventiven Wartung von elektrischen Geräten. Das Zeitintervall (monatlich, zweimal pro Jahr, etc.) hängt vom Typ, Ort und von der Wichtigkeit der Gerätschaften ab. Die Beurteilung von Messungsserien, die über Monate oder Jahre gemacht wurden, macht den Bediener zu einem Diagnostiker.

Regelmäßige Prüfungen sollten jedes Mal auf die gleiche Weise gemacht werden. Benutzen Sie dieselben Prüfverbindungen und legen Sie dieselbe Prüfspannung für die gleiche Zeit an. Auch sollten sie zur ungefähr gleichen Temperatur gemacht werden, oder der Bediener muss sie hinterher auf die richtige Temperatur korrigieren. Eine Aufnahme der relativen Feuchtigkeit in der Prüfumgebung ist für die Einschätzung der Messung und Tendenz hilfreich, da bei niedrigen Temperaturen und hoher Feuchtigkeit Kondensation an der Oberfläche der Isolierung naheliegt. Darum ist es wichtig sicherzugehen, dass die Prüflinge eine Temperatur über dem Taupunkt haben, sonst führt es zur Kondensation, welche die Messungen verzerrt, wenn sie nicht gut geschützt werden. Dazu später mehr.

Die folgende Tabelle beinhaltet einige allgemeine Beobachtungen darüber, wie man regelmäßige Isolationswiderstandsprüfungen interpretiert und was bei Prüfergebnissen wie den folgenden gemacht werden soll:

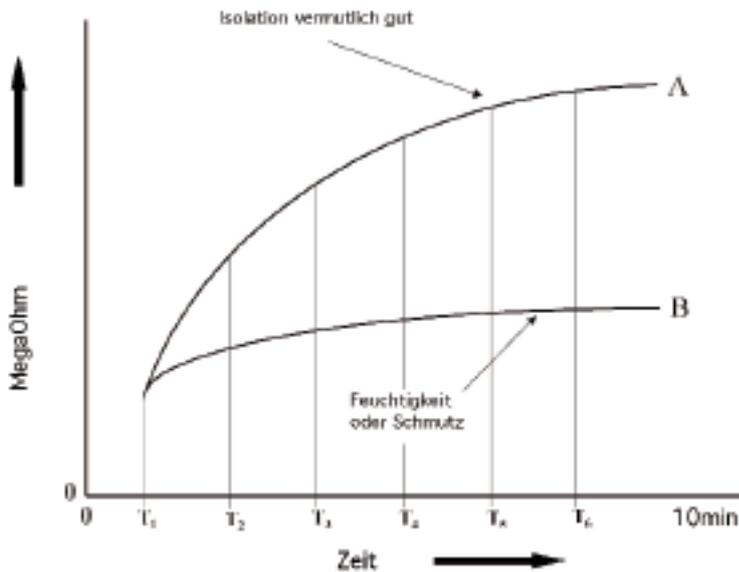
Situation		Was getan werden sollte
(a)	Ziemlich hohe Werte, bei guter Wartung	• Kein Grund zur Sorge
(b)	Ziemlich hohe Werte, aber zeigt die Tendenz zu niedrigeren Werten	• Problem finden und abhelfen und die sinkende Tendenz beobachten
(c)	Niedrige Werte, bei guter Wartung	• Der Zustand ist wahrscheinlich gut, aber der Grund für niedrige Werte sollte gefunden werden. Es kann auch einfach nur der Isolierungstyp sein.
(d)	So niedrig, dass es schon gefährlich scheint	• Reinigen und trocknen Sie die Isolierung, oder erhöhen Sie die Werte, bevor Sie die Ausrüstung in Betrieb setzen (Prüfen Sie sie, während sie trocknet)
(e)	Gute oder hohe Werte bei guter vorheriger Wartung, mit plötzlichen Sinken	• Machen Sie Tests in kurzen Abständen, bis das Problem gefunden und behoben ist, oder • Bis die Werte auf kleinem Level stabil sind, aber für den Betrieb ungefährlich, oder • Bis die Werte so niedrig sind, dass die Ausrüstung für den Betrieb zu gefährlich ist

### Zeit-Widerstandstest

Vertraute und standardisierte Prüfverfahren, die über Jahre eingesetzt wurden, kommen den verbesserten Fähigkeiten des erweiterten diagnostischen Prüfens zugute. Die grundlegendste ist die Zeit-Widerstand-Methode. Eine wertvolle Eigenschaft der Isolierung, eine, die verstanden werden muss, ist, dass sie sich während des Testverlaufs „auflädt“, aufgrund der Elektronbewegungen, wie vorhergehend erklärt. Diese Bewegung erzeugt einen Strom.

Sein Wert als diagnostischer Anzeiger basiert auf zwei gegensätzlichen Faktoren: der Strom verhallt, wenn der Aufbau seine letzte Ausrichtung erreicht, während „Leckstrom“, gefördert durch Feuchtigkeit oder

Verschlechterung, an einem vergleichsweise großen konstanten Strom vorbeizieht. Die Bilanz ist, dass der Leckstrom mit „guter“ Isolierung relativ klein ist und der Widerstand sich kontinuierlich erhöht, wenn sich der Strom durch den Ladeeffekt und dielektrischer Absorption verkleinert. Schlechte Isolierung wird bei konstanter angelegter Spannung relativ großen Leckstrom vorbeilassen, was die Lade- und Absorptionseffekte verschwinden lässt.



Wenn man die Widerstandsmessungen in Zeitintervallen von Beginn des Tests an aufzeichnet, ergibt sich eine leicht ansteigende Kurve für „gute“ Isolierung, aber ein „flacher“ Graph für die schlechte Isolierung. Das Konzept des Zeit-Widerstandstests ist es, aufeinander folgende Messungen zu speziellen Zeiten zu machen. Es basiert auf relative Größen der Leck- und Absorptionsströme in sauberen, trockenen Isolierungen verglichen mit solchen von feuchten und verunreinigten Isolierungen. Eine gute Isolierung zeigt eine kontinuierliche Steigerung des Widerstands über eine bestimmte Zeit. Bei einer verunreinigten Isolierung ist der Leckstrom viel größer und die Effekte des Absorptionsstromes sind deshalb weniger offensichtlich.

Die Vorteile des Widerstandstests sind, dass er unabhängig von der Temperatur ist und abschließende Informationen ohne Aufnahme von vorigen Tests geben kann.

### Polatisationsindex-Test

Die einfachste Durchführung des Widerstandstests für zuverlässige Isolierungen wird durch den beliebten Polarisationsindex-Test präsentiert (PI), der nur zwei Messungen braucht, gefolgt von einer einfachen Teilung. Die ein-minütige Messung wird in eine zehn-minütige Messung geteilt um ein Verhältnis zu liefern. Das Ergebnis ist eine reine Zahl und kann normalerweise als temperaturunabhängig gesehen werden, da die thermale Masse der geprüften Gerätschaft so groß ist, dass die Gesamtabkühlung, welche in den zehn Minuten des Tests stattfindet, unwesentlich ist.

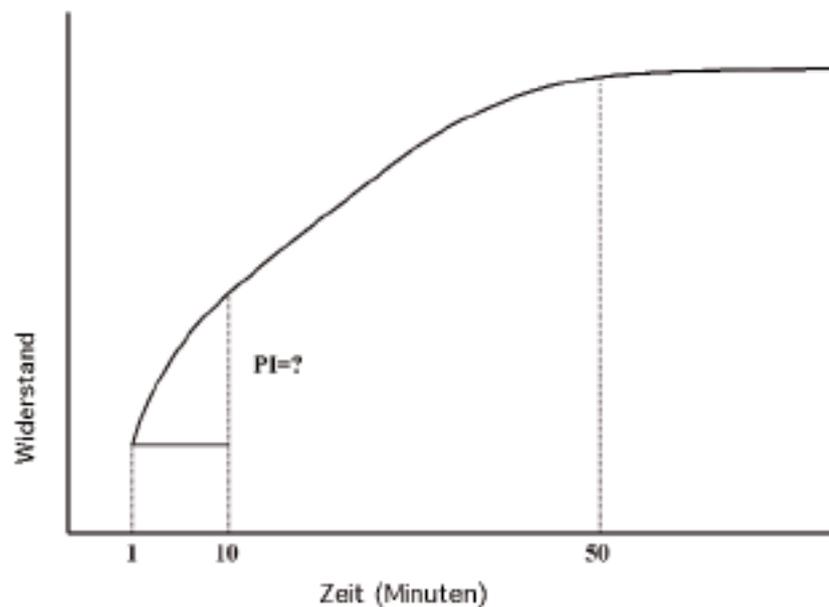
Im allgemeinen zeigt ein niedriges Verhältnis kaum Änderungen, folglich ist es eine schlechte Isolierung, während ein hohes Verhältnis das Gegenteil aufweist. Im Info-Material sind immer Referenzen zu typischen PI-Werten enthalten, was die Prüfung einfach und ohne weiteres einsetzbar macht. Jedoch sagen wir „im allgemeinen“, da, wie schon vorher erwähnt, manche Materialien kaum oder sehr wenig dielektrische Absorption aufweisen. Eine Prüfung mit diesen Materialien würde ein Ergebnis nahe 1 ergeben.

Es sollte beachtet werden, dass Widerstandsmessungen allein schwierig zu handhaben sind, da sie von enormen Werten in neuen Gerätschaften bis zu ein paar MΩ in kurz vor Betriebsausatz stehenden Geräten reichen.

Eine Prüfung wie der PI-Test ist besonders nützlich, weil sie am größten Gerät durchgeführt werden kann und gibt eine selbstständige Bewertung, die auf relativen Messungen basiert, nicht auf absoluten Werten. Aber kein PI kann von einem Prüfgerät mit begrenzten Messbereich berechnet werden, da „unendlich“ keine Zahl ist! Erweiterte Prüfgeräte erreichen den Teraohm-Bereich und bleiben deshalb auf dem Graphen. Die größte und neueste Ausstattung kann leicht geprüft werden um wiederholbare Daten für Aufnahmen und anschließende Tendenzbewertungen zu liefern. Die folgende Tabelle hebt ausgewählte PI-Werte und deren Bedeutung hervor.

Polarisations-Index	Isolierungszustand
<1	Schlecht
1-2	Fraglich
2-4	O.K.
>4	Gut

Werte über 4 zeigen eine ausgezeichnete Isolierung an, für die momentan keine Wartung notwendig ist. Der Bediener müsste aber trotzdem eine kritische Bewertung machen. Einige hohe Werte (über 5) können spröde oder kaputte Isolierungen sein. Dies müsste ziemlich offensichtlich sein. Eine plötzliche Steigerung des PI, mehr als 20% ohne jede Wartung, sollte als Warnung verstanden werden. Die Isolierung kann ihren Wert für lange Zeit halten, aber kann sich selbst nicht schlagartig verbessern.



Der Vorteil des PI-Tests ist, dass man einen Hinweis auf die Qualität der Isolierung an großen Teilen der Ausstattung, die eine Stunde oder mehr zur völligen Aufladung brauchen, nach zehn Minuten bekommt. Bei Stichproben müsste der Bediener warten, bis die Messung sich stabilisiert hat. Aus diesem Grund ist es normal, einen PI-Test bei relativ niedriger Spannung zu führen, bevor Hochspannungen angelegt werden, wie sie typisch für einen Standhaltetest angelegt werden.

Obwohl die PI-Werte-Tabelle über viele Jahre benutzt wurde und sie akzeptiert ist, können gelegentlich PI-Messungen auftauchen, die Ausnahmen sind. Vor vielen Jahren wurde ein frisch aus der Produktion kommender Ständer eines 3750kVA-Generators geprüft und ein PI von 13,4 wurde erlangt. Der Ständer kühlte ab und ohne Zweifel war er noch in seiner Aushärtungsphase. Nachträgliche Tests ergaben sinkende PI-Werte bis es sich bei 4,7 stabilisierte. Während der Routinewartung erreichen die PI-Werte nicht diese Höhen.

Viele Leute haben versucht, den PI-Test bei ölgefüllten Transformatoren zu benutzen und können nicht verstehen, warum ein bekannter guter Transformator Ergebnisse nahe 1 liefert. Die Antwort ist einfach. PI-Prüfungen sind nicht für ölgefüllte Transformatoren geeignet. Das Konzept hängt von den relativ steifen Strukturen des soliden Isolationsmaterials ab, wo Absorptionsenergie zur Rekonfiguration der elektronischen Struktur der vergleichsweise festen Moleküle gegen das angelegte Spannungsfeld erforderlich ist. Da dieser Prozess zu einem theoretischen Status der Vervollständigung führen kann (bei „unendlich“, was natürlich nicht praktisch erreicht, sondern nur vernünftig geschätzt werden kann), ist das Ergebnis eine stetige Verminderung des Stroms, da Moleküle ihre endgültige Ausrichtung erreichen. Weil der PI-Test von diesem Phänomen definiert ist, kann es nicht erfolgreich an flüssigen Materialien angewendet werden, da der Prüfstromdurchlauf durch ein ölgefülltes Gerät Konvektionsstrom entstehen lässt, der kontinuierlich das Öl aufreibt, was in einer chaotischen Struktur endet, die sich der grundlegenden Voraussetzung entgegengesetzt, auf welche sich der PI-Test stützt.

### Stufenspannungs-Test

Da gute Isolation widerstandsfähig ist, wird eine Steigerung der Prüfspannung zu einer Erhöhung des Stromes führen mit dem Ergebnis, dass der Widerstand konstant bleibt. Jede Abweichung davon könnte eine defekte Isolierung signalisieren. Bei niedrigeren Prüfspannungen, z.B. bei 500V oder 1000V, ist es gut möglich, dass diese Defekte unbemerkt bleiben, aber mit erhöhter Spannung wird ein Punkt erreicht, an dem in Aushöhlungen und Rissen Ionisierung auftritt und es somit zu einer Isolationswiderstandsminderung kommt. Beachten Sie, dass es nicht nötig ist, die Konstruktionsspannung für die Isolation erreichen zu müssen um diese Defekte sichtbar zu machen, da wir einfach nur nach Ionisierung im Fehler suchen.

Der Stufenspannungs-Test folgt genau diesem Prinzip und kann bei Spannungen wie 2500V und mehr eingesetzt werden. Der Stufenspannungs-Test kann als Unter- oder Überspannungstest verwendet werden. Jedoch muss man sich erinnern, dass ein Überspannungstest zu katastrophalen Fehlern führen kann, falls die Isolierung zusammenbricht, da Hochspannungsprüfsätze enorme Energie bereithalten. Ein durch ein Isolationsprüfgerät ausgeführter Unterspannungstest hat relativ wenig verfügbare Energie und es ist somit unwahrscheinlicher einen Zerstörungstest zu ergeben.

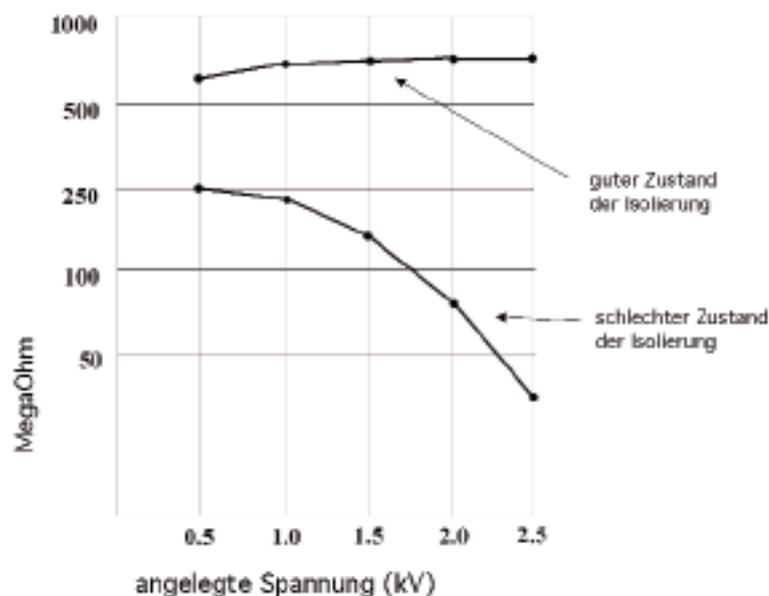
Es ist ein anerkanntes Standardverfahren, Spannung in fünf Schritten mit ein-minütigen Zunahmen zu erhöhen und den End-Isolationswiderstand jedes Levels aufzuzeichnen. Jede gekennzeichnete oder ungewöhnliche Widerstandsabnahme ist ein Zeichen für erste Schwäche. Moderne Elektronik speichert diese Messungen automatisch.

Die folgenden sind einige mögliche Ergebnisse von einem Treppenspannungs-Test an einem Motor von 500V bis 2500V und deren Bedeutung.

Kein nennenswerter Unterschied in den Werten – Isolierung ist in zuverlässigem Zustand

Merkliche Unterschiede in den Werten – Isolierung erfordert eine gründlichere Sanierung

Isolierung scheitert bei 2500V – Motor ist in fraglichem Zustand; wird höchstwahrscheinlich im Einsatz scheitern, auch wenn Versuche gemacht wurden, sie auf der Basis von Niederspannungstests wieder herzustellen.



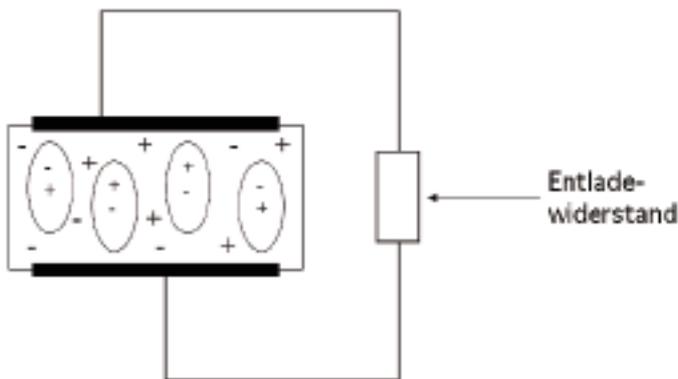
Die Graphen im oberen Bild stellen einen feuchten und dreckigen Motor (unterer Graph) dar und denselben nach der Reinigung und Trocknung (oberer Graph).

Wenn allgemein eine Abweichung von 25% in den Widerstandsmessungen über den Bereich der aufeinanderfolgenden Spannungen beobachtet wird, ist das ein Zeichen dafür, dass Feuchtigkeit oder andere Verunreinigungen vorhanden sind. Ausfälle oder Lichtbögen offenbaren physische Schäden. Eine stotternde oder nervöse Zeigerbewegung weist auf baldige Durchschlagspannung hin. Es ist besser, den Test an diesem Punkt zu beenden, bevor ein Isolationsausfall den Prüflingszustand weiter verschlechtert.

Wie der PI-Test ist auch der Stufenspannungs-Test wiederholbar und selbst-einschätzend, da er wegen seiner kurzen Dauer frei von fremden Einflüssen wie z.B. der Temperatur ist.

### Dielektrischer Entladungstest

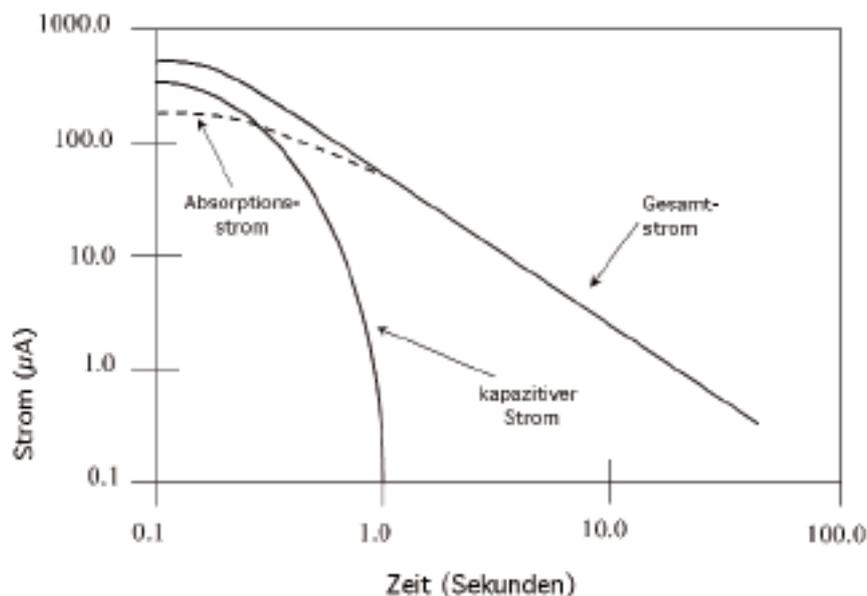
Der dielektrische Entladungstest (DD) ist eine relativ neue Prüfmethode, die von EdF, Frankreichs nationalem Energieversorgungsunternehmen, entwickelt wurde und die auf viele Jahre der Forschung basiert. Während die anderen erwähnten Methoden den Strom messen, der während des Ladeprozesses fließt, misst der DD-Test den Strom, der während der Entladung des Prüflings fließt. Als solcher ist er kein reiner Isolationswiderstands-Test, sondern eher ein Gehilfe der üblichen Isolationsprüfung.



Die Ladung, die während der Isolationsprüfung gespeichert wird, wird automatisch am Ende der Prüfung entladen, wenn die Entladewiderstände des Isolationsprüfgerätes über die Anschlüsse geschaltet sind.

Die Entladungsgeschwindigkeit hängt nur von den Entladewiderständen und von der Menge der gelagerten Ladung der Isolierung ab. Jedoch ist die kapazitive Ladung, bis die Spannung über die Isolierung bis fast auf null reduziert wurde, schnell entladen worden. Jetzt ist der Effekt der Leckströme unbedeutend. Also

ist nur noch die Umkehr der dielektrischen Absorption übrig. Diese ist als eine dielektrische Reabsorption bekannt und ist das Spiegelbild der dielektrischen Absorption.



Ein kapazitiver Strom fällt schnell von einem hohen Wert mit einer relativ kurzen Zeitkonstante (ein paar Sekunden). Der Absorptionsstrom (oder Reabsorptionsstrom während der Entladung) beginnt immer bei einem hohen Level, hat aber eine viel größere Zeitkonstante (bis zu mehreren Minuten). Dies wird durch die Dipole, die ihre Anordnung in der Isolierung umrechnen und durch die Elektronenschale, die zu einer verzerrten Form zurückkehrt, verursacht. Das hat den Effekt eines Stroms, der fließt, wenn der Entladungskreis noch angeschlossen ist oder einer wieder auftretenden Spannung auf dem Gerät, wenn der Schaltkreis offen gelassen wurde. Wenn man die Auswirkungen der Leck- und kapazitiven Ströme schnell aufhebt, kann man den Polarisationsgrad der Isolierung interpretieren und ihn mit Feuchtigkeit und anderen Polarisierungseffekten in Zusammenhang bringen.

Der Prüfling wird zuerst bei Hochspannung zwischen 10 und 30 Minuten aufgeladen, bis vollständige Absorption stattgefunden hat (Die MEGGER-Prüfgeräte, die diesen Test beinhalten, laden den Prüfling für 30min). Jetzt ist die Kapazität komplett geladen und die dielektrische Absorption ist komplett. Nur der Leckstrom fließt weiter. An diesem Punkt wird die Prüfspannung entfernt und die Isolierung wird durch die internen Entladewiderstände des Instruments entladen, um die kapazitive Ladung abzuführen. Nach 60 Sekunden der Entladung wird jeder verbleibende Stromfluss gemessen. Zu diesem Zeitpunkt ist die Kapazität entladen und die Spannung zusammengebrochen, sodass die in den Dipolen gespeicherte Ladung unabhängig von den verschleiernenden Strömen, die während der Ladephase einer Isolationsprüfung dominant sind, gesehen werden kann.

Die gemessenen Ergebnisse werden dann in die folgende Formel eingesetzt und ein Index wird errechnet.

$$\frac{\text{fließender Strom nach 1Minute (nA)}}{\text{Prüfspannung (V) x Kapazität (µF)}}$$

Die Messung ist temperaturabhängig, es ist also wichtig, bei einer Bezugstemperatur oder aufgenommenen Temperatur zu prüfen.

Isolierungen in Hochspannungsgeräten enthalten des öfteren Schichten und jede Schicht hat ihre eigene Kapazität und damit verbundenen Ableitungswiderstand. Wenn die Isolierung so aufgebaut ist, sollten die Schichten den Spannungsdruck zwischen sich gleichmäßig aufteilen. Wenn der Isolierkörper entladen ist, werden die Ladungen jeder Schicht gleichmäßig sinken bis keine Spannung mehr übrig ist.

Wenn eine Schicht fehlerhaft ist, wird ihr Ableitungswiderstand abnehmen, während die Kapazität wahrscheinlich dieselbe bleibt. Eine Standardisoliationsprüfung wird von den tauglichen Schichten bestimmt und wird voraussichtlich den Zustand nicht offenbaren. Aber bei der dielektrischen Entladung wird die Zeitkonstante der defekten Schicht die anderen fehl anpassen um einen höheren DD-Wert zu liefern. Ein niedriger DD-Wert zeigt, dass der Reabsorptionsstrom schnell abnimmt und sich die Zeitkonstanten aller Schichten ähneln. Ein hoher Wert signalisiert, dass die Reabsorption eine lange Relaxationszeit aufweist, die auf ein Problem deuten kann.

Typische Zustände aus praktischer Forschung, die hauptsächlich von EdF an Generatoren durchgeführt wurden, gingen bei den Gütefaktoren in der folgenden Tabelle ein. Diese Technik wurde für Hochspannungsgeneratoren entwickelt, findet aber Anwendungen an allen vielschichtigen Isolierungen.

DD-Wert (in mA/VF)	Isoliationszustand
> 7	Schlecht
4-7	Dürftig
2-4	Fraglich
< 2	OK

#### Unterschiedliche Probleme/ Tests

Wie man gerade gesehen hat, kann der dielektrische Entladungstest eingesetzt werden, um Probleme in einer einzelnen Schicht einer vielschichtigen Isolierung zu identifizieren. Es kann sein, dass andere Prüfmethode Probleme dieses speziellen Typs von Isoliationsstruktur nicht deuten können. Ähnlich ist der Polarizationsindex besonders wertvoll für die Enthüllung von Feuchtigkeitseintritt, Öldurchdringung und ähnliche durchdringende Verunreinigungen. Diese verunreinigenden Substanzen schaffen günstige Wege für Leckstrom, der die umliegende Isolierung beschädigt und eventuell als ein Kurzschluss durchbrennt. Diese Art von Problem wird bei fast jeder Prüfspannung aufgedeckt und wird als ein charakteristisch „flacher“ PI erscheinen. Feuchtigkeit und verunreinigende Substanzen werden ebenfalls die Messungen senken, aber dies erfordert einen vorigen Wert zum Vergleich. Der PI-Index hat den Vorteil, dass ein interner Vergleich gemacht werden kann.

Jedoch scheinen andere Probleme am PI oder einer einfachen Stichprobe vorbeizukommen, indem hohe Widerstandswerte zur gegebenen Spannung erzielt werden. Solche Probleme beinhalten physische Beschädigungen wie Löcher oder trockene, spröde Isolierungen in alten Geräten. Stufenspannungs-Test decken solche Probleme auf. Zunehmende Mängel werden am Strom vorbeiziehen, wenn immer höhere Spannung angelegt wird und zeichnen sich im abnehmenden Widerstand ab. Höhere Spannung wird Bögen über kleine Luftlöcher ziehen und dadurch eine Frühwarnung für ein kommendes Problem geben. Wenn Geräte altern, können solche Löcher von Schmutzansammlungen und Feuchtigkeit verdichtet werden bis sich ein Erdschluss entwickelt.

## ANHÄNGE

### **Mögliche Fehlerquellen/das Sicherstellen von Qualitätstestergebnissen**

Der folgende Abschnitt führt sämtliche Fehler bei Isolationsprüfungen über 1kV auf. Diese Faktoren mögen bei 1kV-Prüfungen nicht von Bedeutung sein, aber erhöhte Spannungen und Empfindlichkeiten machen sie kritischer für höhere Spannungsprüfungen.

#### **Prüfleitungen**

Hüten Sie sich vor Instrumenten, die Leitungen mit schlechter Qualität mitbringen und dessen Spannungsnennwert niedriger als dessen einsetzbare Prüfspannung ist. Es ist äußerst wichtig, dass die einzigen Leckströme während einer Prüfung die sind, die bei der Isolationsprüfung von der Isolierung entwickelt werden. Falls die Leitungen selbst Leckströme produzieren, würden Sie eher den Leitungsisolationswiderstand messen als der Prüfling an sich.

Alle mitgelieferten Leitungen bei MEGGER-Isolationsprüfgeräten sind von hoher Qualität, die alle auf Widerstandsfähigkeit gegen Spannungen, die viel höher sind als die höchste Prüfspannung, die vom jeweiligen Instrument erzeugt werden konnte, geprüft wurden. Aber sogar dann ist es wichtig, irregehenden Leckstrom zu vermindern, indem man gegenseitigen Kontakt der Leitungen, Kontakt zur Erde und besonders zu Wasser verhindert.

#### **Messungen über 100GΩ**

Messungen bis 100GΩ können ohne besondere Vorsichtsmaßnahmen gemacht werden, wenn die Leitungen sauber und trocken sind. Der Guard (später noch erklärt) kann dazu benutzt werden, die Auswirkungen von Kriechstrom, wenn nötig, zu entfernen. Vorsicht ist geboten, wenn Widerstände über 100GΩ gemessen werden, da Kriechstrom die Qualität der Messungen ruinieren kann. Auf folgendes sollten Sie achten:

- Prüfleitungen dürfen sich nicht berühren oder von anderen Objekten berührt werden, da dies Kriechwege herbeiführt.
- Es sollten scharfe Spitzen und Kanten an den Prüfleitungsanschlüssen vermieden werden, da dies die Koronaentladung unterstützt.
- Geräteanschlussbuchsen sollten tief sein, sodass ungewollter Leckstrom nicht zwischen den Anschlüssen auftritt.

#### **Genauigkeitsaussagen**

Schenken Sie einer Genauigkeitsaussage eines Isolationsprüfgeräts besondere Beachtung. Akzeptieren Sie kein bloßen plus/minus-Prozentsatz für digitale Instrumente. Die Aussage muss auch plus/minus eine Anzahl von Stellen beinhalten, da kein Digitaldisplay die letzte Stelle auf eine einzelne Zahl festsetzen kann (kleinstbedeutende Stelle, oder l.s.d.). Genauigkeiten, die als „Prozent der Messung“ angegeben sind, signalisieren denselben Fehler auf allen Punkten der Skala.

Analoge Aussagen, die als „Prozent der Skala“ oder „voller Skalenausschlag“ (f.s.d.) aufgelistet sind, können täuschen. Da der Genauigkeitsbereich auf der vollen Skalenlänge basiert, rechnet es in einen steigenden Prozentfehler um, da die Messungen gegen eine logarithmische Skala steigen. Mit anderen Worten, dieselbe Anzahl von Zeigerbreiten auf dem erweiterten unteren Ende der Skala wird nur ein paar MΩ ausmachen, während es auf dem zusammengezogenen oberen Ende hunderte von MΩ sein werden. Darum bleiben Sie nicht bei der Prozentaussage, wenn Sie auf eine gewünschte oder erforderliche Genauigkeitsspekulation treffen, sondern untersuchen Sie auch die Bedingungen.

#### **Ausgabe der angegebenen Spannung**

Die Spannungsregelung wird bei Isolationsprüfgeräten durch einen Belastungsgraphen in der Bedienungsanleitung aufgezeigt, der die Ausgangsspannung gegen die Widerstandslast zeigt. Die Belastungskurve stellt sicher, dass bei typischen Isolationswiderstandswerten das Isolationsprüfgerät die voll ausgelegte Prüfspannung an den Prüfling liefert. Obwohl dies als offensichtlich erscheinen mag, ist es nicht immer unbedingt der Fall, außer wenn vom Hersteller so festgelegt. Ein schlecht reguliertes Prüfgerät kann unter einer hochohmigen Last abfallen, sodass die Isolierung des Prüflings eigentlich nur einen Bruchteil der Nennprüfspannung erfährt, welche der Transformator nur unter maximalen Voraussetzungen ausgeben kann. Solch ein Messgerät ist wahrscheinlich nicht mit einer Belastungskurve ausgestattet.

Diesen Zustand entdeckten die Prüfer von spezifizierenden Agenturen, wie UL®, unter Prüfgeräten, die von verfügbaren Transformatoren und Teilen einer Baustelle "zusammengeschraubt" wurden um hochpotenzielle Prüfungen durchzuführen. Die Mangelhaftigkeit dieser Systeme führt zu der hoch spezifischen Sprache, betreffend der Ausgangsspannung, die nun häufig in Standardlesematerial zu finden ist. MEGGER-Isolationsprüfgeräte liefern und halten die Nennprüfspannung, wenn einmal eine minimale Last entsprechend der typischen Isolierungswerte (allgemein 1 bis 10MΩ, abhängig von Modell und Spannungseinstellung) angelegt ist. Die Prüfspannung ist normalerweise ein paar Volt über der Nennspannung, sollte aber nicht darunterfallen, und erhält die Integrität der Prüfung und Wiederholbarkeit aufrecht, wenn eine planmäßige, vorsorgliche Wartung durchgeführt wird. Wenn ausnahmsweise präzise Berichtsdaten benötigt werden, zeigen einige Modelle die tatsächliche Prüfspannung zusätzlich zur ausgewählten Spannung und diese Information ist in den am Ende bereitgestellten Daten enthalten.

### **Störunterdrückung**

Interferenz ist das elektrische Rauschen, das bei einer Vielzahl von Frequenzen ausgelöst wird und das im Prüfling erscheinen kann. Es sind normalerweise induzierte Ströme oder Spannungen von angrenzenden Gerätschaften und ist in Verteilerstationen üblich, besonders in Hochspannungsverteilerstationen, wo Energiefrequenzen vorherrschen. Dieses elektrische Rauschen überlagert ein Wechselstromsignal über den DC-Prüfstrom und kann erhebliche Veränderungen in den Messungen verursachen und kann den Bediener daran hindern, überhaupt eine Messung zu bekommen, falls es jenseits der Fähigkeiten des Instruments liegt. Zum Beispiel ist 4mA von 50/60Hz Rauschen ziemlich normal für Interferenz, der in großen Verteilerstationen (400+ kV) begegnet werden kann.

Beachten Sie bei den Fähigkeiten des Isolationsprüfgerätes, ob es den Effekt dieses AC-Rauschens effektiv aufheben kann, was ermöglicht, Messungen bei zunehmend schwierigeren Gegebenheiten vorzunehmen. Jedoch ist nicht jedes Geräusch auf Energiefrequenzen begrenzt. Um andere Frequenzen aufzunehmen, umfassen einige Instrumente aus der oberen Liga weitere Software-Filter, die die Auswirkungen dieses Rauschens eliminieren können. Es ist wichtig, dass das Gerät, mit dem Sie arbeiten, an das erwartete Interferenzlevel angepasst ist.

### **Richtlinien zur Prüfung und zum Vergleich**

Ein Vergleich der Ergebnisse ist der Schlüssel zum ganzen Vorsorge-/Vorhersage-Wartungskonzept, um den Verschlechterungsgrad festzustellen. Jedoch muss betont werden, dass dieses Konzept für Messungen gilt, die in separaten Wartungsabständen gemacht wurden, daher ist eine strikte Standardisierung der Prüfverfahren und –voraussetzungen unerlässlich. Der Vergleich von Messungen, die an Ort und Stelle gemacht wurden, ist ein ganz anderes Szenario und voll von potenziellen Fehlern.

Es ist verlockend Prüfungen mit zusätzlichen Messungen zu sichern. Sie wollen einige Korrekturen am Prüfgerät oder in den Einstellungen vornehmen weil die Ergebnisse für Sie nicht akzeptabel sind. Aber ein Isolationsprüfgerät ist kein Multimeter! Hochspannungsprüfen geht viel mehr nach dem Heisenbergschen Unbestimmtheits-Prinzip (man kann nicht beides, die Geschwindigkeit und den Ort eines Elektron wissen), wenn es auf die Isolation angewendet wird. Die Messung an sich beeinflusst nämlich den Prüfling, sodass nachträgliche Messungen nicht exakt am selben Prüfling genommen werden.

Wie beschrieben wurde, polarisiert die Isolationsprüfung das Isolationsmaterial. Das ändert die elektrische Konfiguration und dielektrischen Eigenschaften erheblich. Da Isolierungsstoffe von der Konstruktion her schlechte Leiter sind, brauchen sie beträchtliche Zeit zur „Relaxation“ oder dazu, dass die Zufallskonfiguration wieder eintritt. Direkt nach Beendigung einer Prüfung ist der Prüfling nicht genau derselbe wie vor der Prüfung. Ein unmittelbarer Folgetest wird manchmal erheblich durch die von der ersten Prüfung zurückgebliebenen Ladung beeinträchtigt. Welche Messung ist nun die richtige? Beide sind richtig! Von beiden ist zu erwarten, dass sie eine richtige Messung des Zustandes der Isolierung zur Prüfzeit geben können. Außerdem sind Industrie-Standard-Entladungsverfahren nicht ausreichend um eine Wiederholungsprüfung zu machen. Solche Verfahren sind zur persönlichen Sicherheit gedacht und nicht für die Qualifikation des Prüflings. Restliche Ladungen können noch für Stunden oder sogar Tage bestehen, was außerhalb der menschlichen Wahrnehmungskraft liegt, aber immernoch eine enorme Bewältigung für ein empfindliches Messinstrument darstellt. Geprüfte Gerätschaften sollten für mehrere Stunden oder besser bis zum nächsten Tag geerdet bleiben, bevor zusätzliche Prüfungen gemacht werden. Und dann dürfen äußere Faktoren, besonders die Temperatur, nicht übersehen werden.

Das bedeutet nicht, dass wiederholende Prüfungen an Ort und Stelle nie gemacht werden sollen. Für *relative* Information mag es wertvoll sein. Aber es muss im Blickwinkel gehalten werden. Erwarten Sie nicht von den

Messungen, dass sie *übereinstimmen*.

Zwei verschiedene Bediener mögen auch nicht denselben Grad von Detail bezüglich des Verfahrens beobachten. Die Temperatur ist ein Faktor. Falls das Equipment angeschaltet wird, vielleicht um die Durchführung zu kontrollieren, und wieder getestet wird, ist die zweite Prüfung nicht unbedingt mit der ersten vergleichbar. Die Prüfungszeit wird auch leicht übersehen. Ein Bediener mag konsequent die Prüfung messen, während ein anderer lediglich auf die Stabilisierung der Messwerte wartet. Dies kann Messungen ergeben, die an verschiedenen Punkten auf der Zeit-Widerstandskurve gemacht wurden (wie unter „Punktmessungstests“ illustriert wurde), und wieder sind die beiden Ergebnisse nicht vergleichbar.

Wenn es wie nach überhöhter Aufmerksamkeit für Details aussieht, berücksichtigen Sie die Norm-Agenturen. Organisationen wie UL® und ASTM® schreiben keine Verfahren, die etwas wie „Stellen Sie ein Messgerät auf und machen Sie eine Messung“ sagen. Sie spezifizieren eher jedes veränderliche Verfahren, die Einstellungen mit inbegriffen, und Charakteristiken des Prüfgerätes, bevor Ergebnisse in Übereinstimmung berücksichtigt werden können. Standard-Wartungsverfahren verdienen die gleiche Sorgfalt.

### **Isolationswiderstandsmessungen an rotierenden Maschinen**

Im März 2000 genehmigte IEEE-SA Standard Board eine Überarbeitung der IEEE Std 43-1974 durch das Electric Machinery Committee der IEEE Power Engineering Society. Diese Überarbeitung ist IEEE Std 43-2000, die „IEEE-empfohlene Übung für Isolationswiderstandsprüfungen an rotierenden Maschinen“. Die Änderungen der Isolierungstypen in elektrischen rotierenden Maschinen ergaben verschiedene Isolationswiderstandseigenschaften und deshalb war eine ausgiebige Überarbeitung des IEEE Standard erforderlich. Entsprechend des IEEE ist der Standard bestimmt für:

- Eigenständige/Organisationen, die rotierende Maschinen herstellen
- Eigenständige/Organisationen, die für die Akzeptanz von neuen rotierenden Maschinen verantwortlich sind
- Eigenständige/Organisationen, die rotierende Maschinen prüfen und warten
- Eigenständige/Organisationen, die rotierende Maschinen bedienen

Megger empfiehlt, dass jeder, der am Prüfen und/oder Warten von rotierender Maschinerie beteiligt ist, diesen Standard detailliert durchsieht. Wir informieren über einige der Hauptpunkte.

IEEE Std 43-2000 empfiehlt ein Verfahren zur Messung des Isolationswiderstandes von Ankerwicklungen und Feldwicklungen in rotierenden Maschinen, mit 1PS, 750W oder mehr Leistung und kann auf Synchronmaschinen, Induktionsmaschinen, Gleichstrommaschinen und Synchronkondensatoren angewendet werden. Es ist nicht auf Kleinmaschinen anwendbar. Es empfiehlt außerdem die Isolationsprüfspannung (auf Wicklungsnennwert basierend) und akzeptable Mindestwerte des Isolationswiderstandes für AC und DC-rotierende Maschinenwicklung.

Die folgende Tabelle stellt Richtlinien für die Gleichspannung dar, die während einer Isolationswiderstandsprüfung angelegt wird. Beachten Sie, dass Spannungen bis 10kV für Windungen über 12kV empfohlen werden.

<b>Windungsspannung* (V)</b>	<b>Direktspannung der Isolationswiderstandsprüfung (V)</b>
<1000	500
1000-2500	500-1000
2501-5000	1000-2500
5001-12000	2500-5000
>12000	5000-10000

\*Phase-an-Phase-Nennspannung für dreiphasige AC-Maschinen, Phase-an-Erde-Spannung für einphasige Maschinen und Direkt-nennspannung für DC-Maschinen oder Feldwicklungen.

Der Standard empfiehlt, dass jede Phase getrennt isoliert und geprüft wird (wenn möglich), da diese Vorgehensweise Vergleiche zwischen den Phasen ermöglicht. Die beiden ungeprüften Phasen sollten zum gleichen Boden geerdet werden wie der Stator und der Rotorkörper. Wenn alle Phasen gleichzeitig geprüft wurden, ist nur die Isolierung gegen Erde geprüft worden. Isolationswiderstandsmessungen sollten mit allem äußeren Equipment (Kabel, Kondensatoren, Überspannungsableiter, etc.) gemacht werden, und zwar getrennt und geerdet, da diese Komponenten die Widerstandsmessungen beeinflussen können. Ein allgemeiner Boden sollte dazu benutzt werden, um Streuverluste im Erdungsschaltkreis zu vermeiden, da das die Prüfergebnisse beeinflussen könnte.

Der Standard ruft beide, den Isolationswiderstandstest und den Polarisationsindex-Test aus und empfiehlt, dass möglichst beide Prüfungen gemacht werden. Er zeigt, dass die Prüfprotokolle zur Rückverfolgung von Änderungen genutzt werden sollten. Falls ein Protokoll nicht vorhanden ist, bietet der Standard Minimumwerte für beide Prüfungen, die dazu da sind, die Eignung der Wicklungen einzuschätzen. Diese sind die niedrigsten Werte, bei welchen eine Wicklung für einen Überspannungstest oder für den Betrieb empfohlen wird. Die empfohlenen Minimumwerte für den PI basieren auf der thermischen Klasse des Isolationsmaterials und sind auf alle Isolationsmaterialien anwendbar, ungeachtet der Anwendung per IEC 60085-01: 1984. Der PI-Test ist nicht an unisolierten Feldwicklungen anwendbar. Beachten Sie, dass sehr hohe PI (über 8) für Excelsiorband, Schellack- Mikafolium und Asphalt-Statorwicklungen bedeuten können, dass die Isolierung thermisch gealtert ist und dies ein Risiko für Fehler sein kann. Durch eine zusätzliche Überprüfung kann man herausfinden, ob die Isolierung trocken und spröde ist.

Thermische Klasse	Mindest-PI-Wert
Klasse A	1,5
Klasse B	2,0
Klasse F	2,0
Klasse H	2,0

Der empfohlene Mindestisolationswiderstand nach einer Minute bei 40°C kann mit der folgenden Tabelle bestimmt werden. Der Mindestwiderstand einer Phase einer drei-phasigen Ankerwicklung, die mit den beiden anderen geerdet getestet wurden, sollte ungefähr das doppelte der gesamten Wicklung sein. Wenn jede Phase getrennt geprüft wurde (mit Guard-Schaltkreisen, die auf den nicht zu prüfenden Phasen genutzt werden), ist der beobachtete Mindestwiderstand der dreifache der gesamten Wicklung.

Mindestisolationswiderstand (MΩ)	Prüfling
kV* +1	für die meisten Wicklungen gebaut vor etwa 1970, und andere, die unten nicht beschrieben sind
100	für die meisten DC-Ankerwicklungen und AC-Windungen gebaut nach etwa 1970 (formgewickelte Spulen)
5	für die meisten Maschinen mit ungeordnet gewickelten Statorspulen und formgewickelte Spulen unter 1kV

\*kV ist der Nennwert der Anschluss-zu-Anschluss-Spannung der Maschine in kV (effektiv)

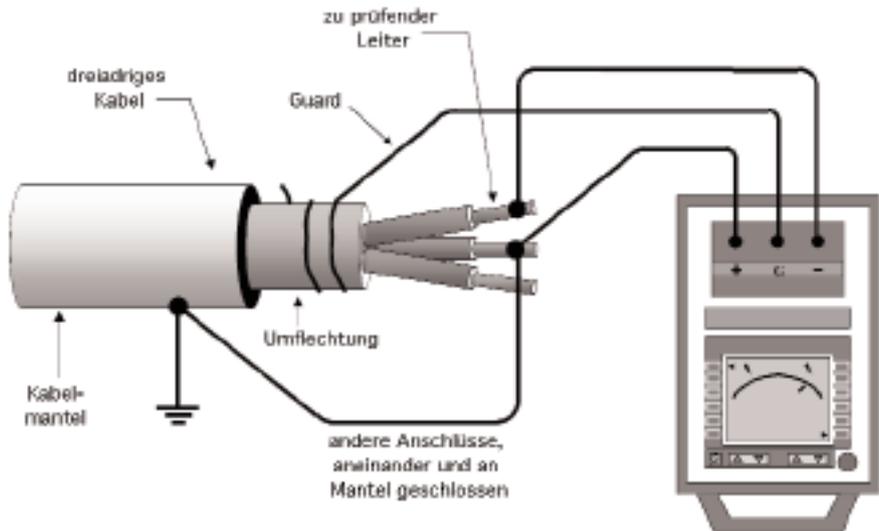
Die Leistungsfähigkeit der Maschine legt fest, ob die Motorwicklungen den Mindestwert entweder für die Isolationswiderstandsprüfung oder den PI-Test, oder das Minimum für beide Prüfungen erreichen muss.

Leistung	Auswertung
10000kVA oder weniger	Es sollte ENTWEDER einen Wert des PI-Tests haben oder einen Wert des Isolationswiderstand-Tests (bei 40°C) über dem Minimum empfohlender Werte.
Über 10000kVA	Es sollte BEIDES, also einen Wert des PI-Tests <u>und</u> einen Wert des Isolationswiderstand-Tests (bei 40°C) über dem Minimum empfohlender Werte haben.

## Der Guard-Anschluss

Einige Isolationsprüfgeräte haben zwei Anschlüsse, manche haben auch drei. Da diese Gleichstromprüfgeräte sind, sind zwei dieser Anschlüsse + und -. Der dritte (wenn vorhanden) ist ein Guard. Er muss nicht benutzt werden und manche Benutzer betreiben die Isolationsprüfgeräte ohne den Schutz jemals gebraucht zu haben. Jedoch braucht der Benutzer eine extra Funktion für die Diagnose von Gerätefehlern. Der Guard ist ein Nebenschlusskreis, der Kriechstrom rund um die Messfunktion ablenkt. Falls parallele Kriechpfade bestehen, wird die Guard-Verbindung diese von der Messung entfernen und es ergibt sich ein viel präziseres Messen zwischen den zurückbleibenden Elementen.

Zum Beispiel würde Dreck und Feuchtigkeit auf der Durchführung eines Transformators den Kriechstrom zwischen + und - Verbindungen begünstigen und dabei die Messungen herabdrücken und möglicherweise den Eindruck erwecken, die Durchführung wäre defekt. Durch den Anschluss des Guards an einen blanken Draht, der um die Kabeldurchführung gewickelt ist, wird dieser Strom unterbrochen und eine Messung liefern, die vorwiegend auf Leckstrom durch Defekte in der Keramik basieren.

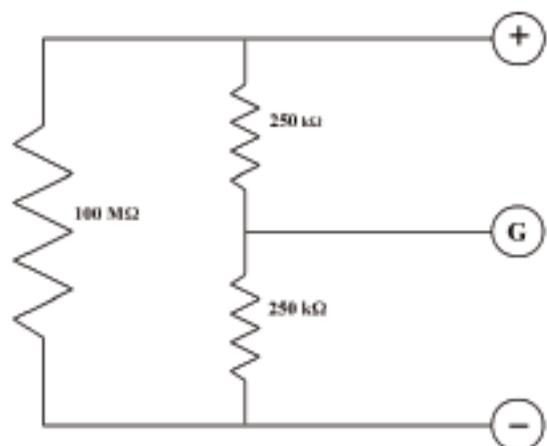


Es ist äußerst wichtig, den Guard nicht mit einer Erdung zu verwechseln. Das Anschließen des Guards und das Rückführen des Kabels an dasselbe Element des Prüfgerätes würde nur den Strom beiseite schieben, den man messen will und dabei die Messungsfunktion kurzschließen. Wenn Sie einen Prüfer auswählen, berücksichtigen Sie:

- Die Ziele des Messens (grundlegende Installationschecks erfordern nicht unbedingt einen Guard).
- Die elektrische Zusammensetzung des zu prüfenden Geräts (Motoren und Transformatoren können auf Kriechstrom zwischen Wicklungen geprüft werden, wenn der Erdkriechstrom eliminiert worden ist).
- Die möglichen Effekte des Kriechstroms (Draht und Kabel können Strom über die Oberfläche tragen, durch Schmutz und Feuchtigkeit und auch durch das Isolationsmaterial hindurch).
- Der Grad, bis zu welchem die Ergebnisse analysiert werden müssen (sind „schlechte“ Geräte lediglich zum ausschalten und ersetzen da, oder wird es notwendig sein, die Fehler zu lokalisieren für eine mögliche Reparatur).

Prüfgeräte mit Guards kosten im allgemeinen mehr als Modelle mit nur zwei Anschlüssen, aber in vielen Anwendungen würden letztere das volle Spektrum an Information, das durch Isolationsprüfungen anfällt, nicht gewährleisten.

Etwas, das oft vergessen wird, sind die unterschiedlichen Fähigkeiten der Guardschaltung. Die schützende Fähigkeit des Isolationsprüfgerätes ist viel wichtiger, wenn undichte Isolierungen geprüft werden als die gewöhnlich notierte Messungsgenauigkeit, die 5% betragen mag. Berücksichtigen Sie folgendes Beispiel, ein Extremfall, bei welchem der Kriechstrompfad 200 mal kleiner ist als der Widerstand der Isolierung:



Hier zeigen wir einen Isolierkörper mit einem Wert von 100MΩ, den wir messen wollen. Er ist schmutzig und kontaminiert und so hat es einen Kriechstrom von 500kΩ. Wenn wir unsere Prüfspannung von den positiven und negativen Anschlüssen anwenden ohne den Stromkreis zu schützen, wird, verglichen mit dem Strom, der durch die Isolierung fließt, die wir messen wollen, 20 mal mehr Strom durch den Kriechstrom fließen und wir lesen einen Widerstand von nur 497kΩ ab.

Wenn wir das Gerät schützen, hier gezeigt als geschützt, sodass wir den Leckwiderstand auf beide Seiten der Guardverbindung verteilen konnten, werden wir den Effekt zu einem bestimmten Grad eliminieren können. Wieviel wir eliminieren, basiert auf den Guardkreislauf des Isolationsprüfgeräts. Abhängig vom jeweiligen Gerät kann dieses Fehlerniveau von weniger als 1,0% bis mehr als 80% variieren. Wenn Sie vorhaben, den Guardanschluss zu benutzen, erforschen Sie das Fehlerniveau, bevor Sie ein Gerät erwerben.

Dies ist ein klassisches Beispiel für den Bedarf, Messungen auf einer einheitlichen Basis zu vergleichen. Eine ungeschützte Messung und eine geschützte Messung liefern sehr unterschiedliche Ergebnisse. Wie weiß der Benutzer, ob der Guardanschluss vorher benutzt wurde, es sei denn, in einem Prüfbericht ist dieses scheinbar unwichtige Detail aufgezeichnet?

### Temperatureffekte

Temperaturschwankungen können eine bedeutende Auswirkung auf die Isolationswiderstandsmessungen haben. Der Widerstand nimmt bei einer Erhöhung der Temperatur bei dem gleichen Apparat deutlich ab. Jedes Isolierungsmaterial verändert sich zu unterschiedlichem Grad mit der Temperatur. Es wurden Temperaturkorrekturfaktortabellen erstellt, für verschiedene elektrische Apparate und können vom Hersteller angefordert werden. Andernfalls wird empfohlen, dass eine eigene Korrekturtabelle angelegt wird, indem man zwei Widerstandswerte für dasselbe Gerät zu zwei unterschiedlichen Temperaturen aufzeichnet. Dann kann ein Graph mit Widerstand (auf einer logarithmischen Skala) und Temperatur (auf einer linearen Skala) entworfen werden. Der Graph gleicht einer geraden Linie und kann auf jede Temperatur hochgerechnet werden, sodass Korrekturfaktoren direkt abzulesen sind.

Anstelle von genauen Daten ist diese Daumenregel anwendbar: für alle erhöhten 10°C gilt nur der halbe Widerstand; für alle sinkenden 10°C gilt der doppelte Widerstand. Zum Beispiel wird ein 100GΩ -Widerstand bei 20°C zu einem 25GΩ-Widerstand bei 40°C.

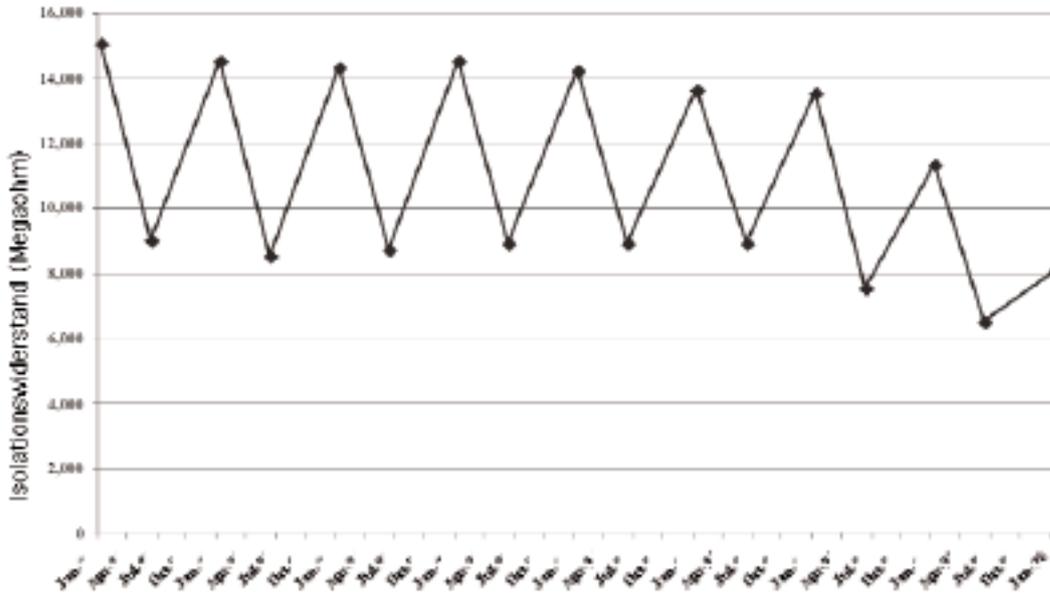
Warum ist die Temperaturkorrektur so wichtig? Beachten Sie das folgende Beispiel eines geprüften Motors zu verschiedenen Zeiten im Jahr bei unterschiedlichen Temperaturen (alle innerhalb eines Bereichs von 15°). Die Temperaturangleichungen wurden per Daumenregel gemacht.

Datum	Isolationswiderstand (MΩ)	Temperatur (°F)	Angeglichene Temp.: Isolationswiderstand (MΩ)
01.01.90	15000	68	14990
01.06.90	9000	80	14276
01.01.91	14500	68	14490
01.06.91	8500	82	14562
01.01.92	14300	68	14290
01.06.92	8700	81	14341
01.01.93	14500	68	14490
01.06.93	8900	81	14671
01.01.94	14200	69	14748
01.06.94	8900	80	14117
01.01.95	13600	68	13591
01.06.95	8900	78	13071
01.01.96	13500	66	12491
01.06.96	7500	80	11896
01.01.97	11300	68	11292
01.06.97	6500	80	10310
01.01.98	8000	67	7693

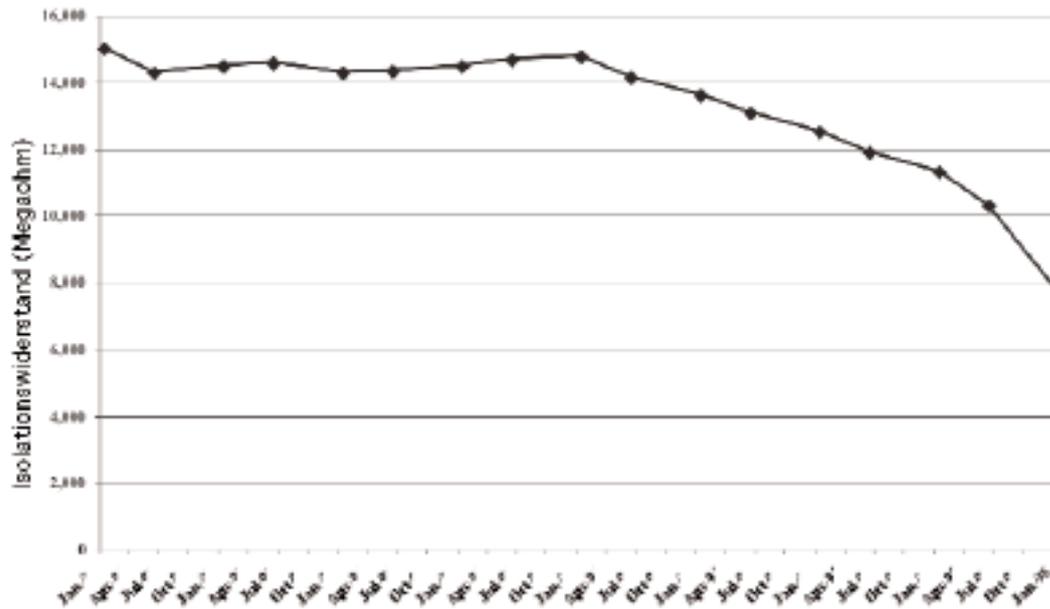
Die Messungen verwirren, wenn die Temperatur nicht korrigiert wird. Wenn sie grafisch dargestellt werden, kommt ein Schaubild heraus, welches nur begrenzt eine Tendenz anzeigt.

Wenn die gleichen Daten Temperatur-korrigiert sind und dargestellt werden, zeigt der Graph ein verwertbares Bild der Verschlechterung der Isolation.

Temperaturkorrektur ist besonders wichtig, wenn mit höheren Spannungen und auf höheren Empfindlichkeitsniveaus geprüft wird.



Isolationswiderstandsgraph - XYZ-Motor (nicht Temperatur-korrigiert)



Isolationswiderstandsgraph - XYZ-Motor (Temperatur-korrigiert)

### Feuchtigkeitseffekte

Der Feuchtigkeitsgehalt hat Auswirkungen auf den Isolationswiderstand, aber er kann nicht wie der Temperatureffekt quantitativ bestimmt werden, weil verschiedene Isolierungsarten Feuchtigkeit zu unterschiedlichem Grade aufnehmen, was auch auf Alter und Zustand des Geräts beruht. Es kann nur gesagt werden, dass man die Feuchtigkeit als Faktor nicht übersehen sollte, wenn man die Ergebnisse auswertet. Anders als die Temperatur ist die Feuchtigkeit kein konstanter Gradient und solange die Temperatur über dem Taupunkt bleibt, wird die Feuchtigkeit die Isolationsmessungen nicht sehr beeinträchtigen.

Ansteigende Feuchtigkeit in der Luft kann den Isolationswiderstand in unterschiedlichem Maße beeinträchtigen. Falls das Gerät regelmäßig über dem Taupunkt arbeitet, wird die Feuchte die Messungen nicht stark beeinflussen. Sogar wenn das zu prüfende Gerät außer Betrieb ist.

Bei elektrischen Geräten kommt es darauf an, wie die Oberflächenzustände sind, wo Feuchtigkeit kondensiert und den gesamten Widerstand der Isolierung beeinflusst. Studien zeigen jedoch, dass sich Tau in Spalten und Rissen bildet, bevor es auf der Oberfläche sichtbar ist. Taupunktmessungen geben den Hinweis darauf, ob solche unsichtbaren Bedingungen existieren und die Messergebnisse ändern.

Feuchtigkeitseffekte erfordern mehr Aufmerksamkeit, wenn sich die Prüfspannungen erhöhen, weil die höheren Spannungen viel leichter Ionisierung fördern als niedrigere Spannungen. Feuchtigkeit, die keine sichtbaren Auswirkungen bei 1 kV hat, kann verwirrenderweise niedrigere Messungen bei 5kV produzieren. Dies ist nicht unbedingt ein Problem. Der Unterschied in der Reaktion bei zwei Spannungen kann dazu benutzt werden, Feuchtigkeit aufzudecken und Tests, geschützt oder ungeschützt ausgeführt, können Oberflächen- und interne Feuchtigkeit aufdecken.

### Schutz gegen Umwelteinflüsse

Irgendwo in den Zeugnissen der meisten Geräte findet man eine IP-Bewertung, eine Nummer, die dem Benutzer grundlegende Informationen gibt. Tatsächlich lässt diese Bewertung den Bediener wissen, ob ein Gerät für seine Anwendung und die Umgebung geeignet ist .

„IP“ steht für „ingress protection“ – Eintrittsschutz. Das ist der Grad, bis zu welchem das Gerät dem Einfall von fremden Material widerstehen kann. Das IP-Bewertungssystem wurde von der IEC (International Electrotechnical Commission) gegründet, im Standard 529 und wird als Führer genutzt, um dem Bediener zu helfen, das Gerät zu erhalten. Es kann ihm auch helfen, eine bessere Kaufentscheidung zu treffen, damit das Gerät in der gewünschten Umgebung funktioniert.

Die IP-Bewertung umfasst zwei Ziffern, jede bezeichnet eine eigene Eigenschaft. Die Bezeichnung zeigt, wie gut das Gerät gegen Fremdkörpereintritt gesichert ist (je höher die Zahl(en), desto höher der Schutz). Was würde IP54 über die Anwendungsfähigkeiten aussagen? Die erste Ziffer verweist auf den Fremdkörpereintritt, den Grad widerspiegelnd, bis zu welchem feste Objekte die Schalung durchdringen können.

„5“ zum Beispiel bedeutet „Staubgeschützt“ als auch „Draht bis 1.0mm Durchmesser“ geschützt. Es gibt nur eine höhere Kategorie „staubdicht“.

Die zweite Ziffer berichtet über den Feuchtigkeitsschutz. „4“ bedeutet Resistenz gegen Spritzwasser, aus jeder Richtung kommend. Die Zahlen 5 bis 8 stehen jeweils für „Wasserschwall“ und „kurzzeitiges“ oder „andauerndes“ Eintauchen.

Wenn also ein Gerät mit IP43 eingestuft wurde, kann es kaum in einem Steinbruch oder einer Zementanlage benutzt werden, da „4“ für „Objekte größer als 1mm“ steht - ein Felsbrocken im Vergleich zu dem, was bei Industrieprozessen entsteht. Wirbelnder Staub kann das Gerät ausser Betrieb setzen.

Wenn es mit IP42 eingestuft wurde, so deutet die 2 auf „Wassertropfengeschützt“ hin, was aber nicht gegen Wasserstaub resistent wäre.

Hier sind einige Tabellen, die Aufschlüsselung zu den jeweiligen Stufen geben:

Schutz gegen gefährliche Teile (erste Ziffer)	
0	Ungeschützt
1	Gegen einen Handrücken geschützt (50mm)
2	Gegen einen Finger geschützt (12x80mm)
3	Gegen Zugang mit Werkzeug geschützt (2,5mm)
4,5,6	Gegen Zugang mit Draht geschützt (1,0mm)

Schutz gegen Eintritt von festen Fremdkörpern (erste Ziffer)	
0	Ungeschützt
1	Objekte größer als 50mm
2	Objekte größer als 12,5mm
3	Objekte größer als 2,5mm
4	Objekte größer als 1mm
5	Staubgeschützt
6	Staubdicht

Schutz gegen Eintritt von Flüssigkeiten (zweite Ziffer)	
0	Ungeschützt
1	Gegen senkrecht kommende Wassertropfen geschützt
2	Gegen senkrecht kommende Wassertropfen geschützt, die Schalung zu 15° aufgerichtet
3	Gegen Wasserstaub, bis zu 60° zur Senkrechte
4	Gegen Wasserstaub, aus jeder Richtung
5	Gegen einen Wasserschwall, aus jeder Richtung
6	Gegen einen großen Wasserschwall, aus jeder Richtung
7	Kurzzeitiges Eintauchen in Wasser
8	Andauerndes Eintauchen in Wasser

### Hohe Potenzialmessung

Es gibt keine klare Definition der hohen Potenzialmessung. Sie wird allgemein genutzt, aber ihre Definition ist situationsabhängig. Im Grunde ist sie eine elektrische Stressmessung, geführt an einer Spannung, die zwei bis vier mal höher ist als die Nennspannung und ist auch bekannt als Widerstandsmessung oder Abnahmeprüfung.

Da die Spannung höher als die Nennspannung ist, ist es ein Überspannungstest, anders als die Hochspannungsisolationsmessung, welche im allgemeinen an einer Spannung unter der Nennspannung des Prüfgerätes angewendet wird. Überspannungsmessungen verursachen Druck im Prüfling und können zur Altersbeschleunigung der Isolierung beitragen. Tatsächlich erfordern manche Normen, die Spannung zu erhöhen, bis der Prüfling zusammenbricht.

Falls eine Überspannungsmessung angewendet werden muss, ist es üblich, vorweg ein Unterspannungs- PI-Test durchzuführen um die Isolierung zu qualifizieren.

Hohe Potentialmessungen können mit Gleich- oder Wechselspannung ausgeführt werden. Geräte mit bedeutender Kapazität erscheinen bei einer Wechselstrommessung als Kurzschluss, was eine Prüfausrüstung mit sehr großen Energieeigenschaften erfordert, um den kapazitiven Ladestrom zu überstehen. In solchen Situationen ist es ziemlich normal eine Gleichstrommessung mit einem äquivalenten Höchstwert anzuwenden.

### Strommessungen (nA) gegen Widerstandsmessungen (MΩ)

Isolationsprüfgeräte messen den Strom und wandeln die Messung in Widerstandsmessungen um. Warum tun sie das? Es ist wohl eher Tradition. Gute Isolierungen geben hohe Messungen, schlechte Isolierungen geben niedrige Messungen. Und gute Isolierungen sind widerstandsfähig. Wenn man die Prüfspannung verdoppelt, verdoppelt man den fließenden Strom aber der Widerstand bleibt konstant.

Jedoch ist es manchmal leichter, Fehler zu diagnostizieren, wenn man den eigentlichen fließenden Strom beachtet.

Die Wahl ist die Ihre, denn viele moderne Isolationsprüfgeräte sind in der Lage, ihre Messwerte in beiden Einheiten zu zeigen.

### Durchbrennfähigkeit (burn)

Vollfunktions-Isolationsprüfgeräte über 1kV besitzen oft einen „burn“- Brenn-Modus. Eine Funktion, die vielleicht niemals gebraucht wird. Dennoch findet es manchmal Anwendung.

Prüfgeräte können Hochspannungen in bedeutende Widerstände einspeisen. Jedoch wenn ein Zusammenbruch der Isolierung auftritt, sinkt der Widerstand, der Strom steigt und die Spannung sinkt. Sich selbst überlassen würde dies den Abbruchbogen abschalten, den Widerstand erhöhen, und die Spannung

erhöhen, was wiederum Zusammenbrüche zur Folge hat usw. Dieser Kreis erlaubt keine Widerstandsmessung und tatsächlich könnte es winzige Löcher öffnen oder Durchbrennspuren vergrößern. Vielmehr werden die meisten Isolationsprüfgeräte abschalten als dass noch mehr Schaden angerichtet wird.

Es ist allerdings sehr ungünstig, wenn Sie den Fehlerort des Abbruchs suchen. Darum haben manche Geräte einen Brenn-Wahlmodus. Der Abschaltmodus ist aufgehoben und ein bisschen Strom wird erhalten. Aber es muss beachtet werden, dass die Kurzschlussbegrenzung des Geräts immernoch gilt. Das Gerät wird keinen „toten“ Kurzschluss liefern. Die Funktion befähigt den Benutzer, den Fehler zu lokalisieren, indem er nach Funken oder Rauchspuren sucht, oder vielleicht einen Ionisationsdetektor benutzt. Es können Löcher in Wicklungen gefunden werden, diese mit Isolationslack bedeckt werden und das Gerät funktioniert wieder. Bei der Kabelwartung wird ein Hochpotential-Prüfgerät, mit viel stärkerem Strom als der von Isolationsprüfgeräten, zum „Abbrechen“ eines hohen Widerstandsfehlers benutzt, indem man ihn in einen „offenen“ verwandelt, der viel leichter von Lichtbogenreflexionstechniken erkannt wird.

### Gerätschaften trocknen

Elektrizität und Wasser führen keine glückliche Beziehung, also ist es oft nötig, die Isolierung austrocknen zu lassen, z.B. um Oberflächenfeuchtigkeit oder Feuchtigkeit vom Inneren der Isolierung zu eliminieren. Manche Geräte haben dafür ein eingebautes Heizgewinde. Es gibt aber auch andere Methoden des Trocknens.

Die am meisten zufriedenstellende Lösung ist, die Wicklungen in einen Ofen mit passender Temperatur und guter Luftzirkulation zu legen. Infrarotlampen haben die selbe Wirkung.

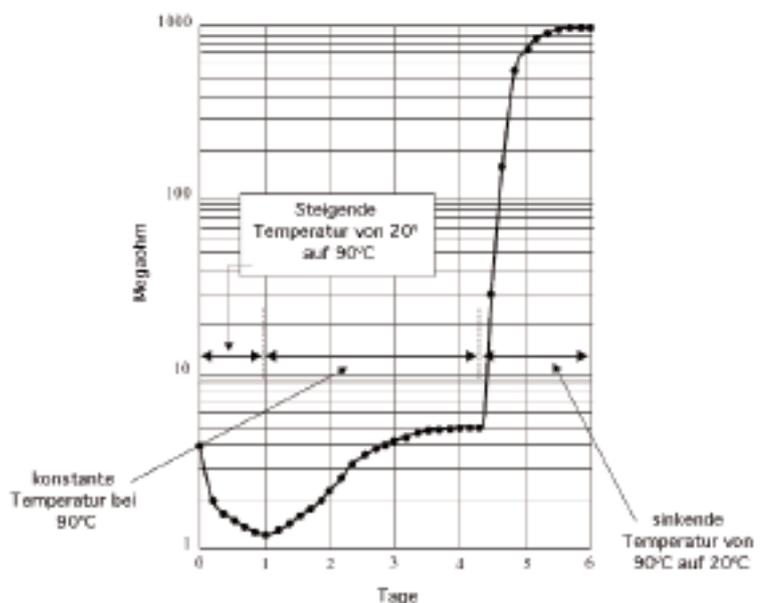
Eine andere oft angewandte Methode ist, Strom mit niedriger Spannung durch die Wicklungen laufen zu lassen. Diese Methode sollte aber nicht angewandt werden, solange der Isolationswiderstand nicht mindestens einen Wert von  $100M\Omega$  erreicht hat. Der Strom sollte nur auf einen Teil der auf dem Typenschild stehenden Amperes begrenzt werden und es sollte eine sorgfältige Kontrolle der maximalen Temperatur der isolierten Teile gemacht werden. Maximale Trockentemperaturen auf den Wicklungen sollten  $90^{\circ}C$  nicht überschreiten. Dies wird nicht nur eine schnelle thermale Verschlechterung der Isolierung verhindern, sondern auch den Schaden durch den hohen Dampfdruck vermeiden, der bei Dampf entsteht.

Wenn Trocknen erforderlich ist, helfen Aufzeichnungen herauszufinden, ob die Isolierung feuchtigkeitsfrei ist. Ein Beispiel für die Wichtigkeit der vergangenen Messungen wäre ein Motor, der geflutet wurde. Nach dem Säubern würde eine Punktmessung mit einem MEGGER-Prüfgerät  $15M\Omega$  ergeben. Wenn nun vergangene Messungen zeigen, dass der Isolationswiderstand bei  $10M\Omega$  bis  $20M\Omega$  liegt, wäre der Motor in einwandfreiem Zustand. Wenn aber vergangene Messungen  $100M\Omega$  bis  $150M\Omega$  ergeben, wüsste der Benutzer, dass immer noch Feuchtigkeit in den Motorwicklungen vorhanden ist.

Wenn während des Trocknens Isolationswiderstandswerte als Indikator für die Eignung der Wicklungen, ob für den Betrieb oder Anwendung bei Prüfpotential, genutzt werden, muss das Trocknen für eine weitere Zeit andauern, um sicherzugehen, dass die Werte verlässlich sind. Die Widerstandskurve wird oft ein oder mehrere Tiefs zeigen, bevor sie sich angleicht oder in eine positive Richtung steigt. Dies passiert aufgrund der Feuchtigkeit, die sich aus den Wicklungen löst. Wenn die Maschine vollständig ausgetrocknet ist, muss dann noch zurückgebliebener Staub entfernt werden. Das kann mit trockener Druckluft, die nicht 40 psi übersteigt, gemacht werden.

Folgende ist die typische Austrocknungskurve einer Gleichstrommotorarmatur, die zeigt, wie sich der Isolationswiderstand ändert. Im ersten Teil sinkt der Widerstand wegen der hohen Temperatur. Dann steigt er bei einer konstanten Temperatur während des Trocknens. Schließlich steigt er auf einen hohen Wert, wenn die Raumtemperatur ( $20^{\circ}C$ ) erreicht ist.

Es gibt eine bedeutende Vorsichtsmaßnahme beim Prüfen feuchter Isolierungen. Feuchte Gerätschaft ist empfänglich für Spannungszusammenbrüche. Wenn Wicklungen viel Feuchtigkeit aufgenommen haben, können selbst



niedrige Spannungen Isolierungen durchstoßen. Deshalb sollte der Bediener, bevor er Hochspannungen anschließt, sehr vorsichtig sein. Erweiterte MEGGER-Prüfgeräte erlauben der Prüfspannung, an alles ange-setzt zu werden, von mind. 25V bis 5000V in jeweils 25V-Schritten.

### **Gerätentladung**

Vielleicht haben Sie in der Schule gelernt, dass, wenn man einen Kondensator entlädt, man ihn dann durch Kurzschließen der beiden Anschlüsse lagern sollte. Haben Sie sich jemals gefragt, wenn man den Kondensator entladen und kontrolliert hat, sodass keine Spannung mehr präsent ist, warum man die Anschlüsse kurzschließen muss?

Der Grund ist der dielektrische Absorptionsstrom. Wenn die Anschlüsse nicht kurzgeschlossen sind, wandert die von der dielektrischen Absorption gespeicherte Energie langsam mit negativer Ladung gen negativen Anschluss und positive Ladung gen positiven Anschluss. Über eine bestimmte Zeit kann sich diese Ladung zu einer gefährlichen Größe aufbauen, so hoch wie die ursprüngliche Prüfspannung und dieser beachtliche Betrag an Energie ist tödlich.

Am Ende einer Isolationsprüfung gleicht das Prüfgerät fast einem geladenen Kondensator. Es bleibt ein wesentlicher Betrag an Energie im Isolationsdielektrikum zurück.

Es gibt eine wichtige Daumenregel beim Laden und Entladen von zu prüfenden Geräten. Demnach sollte der Bediener den Prüfling fünf mal solange entladen, wie er geprüft wurde. Wenn er eine 10-minütige PI-Messung gemacht hat, sollte er das Gerät 50 Minuten lang entladen lassen.

Ein Gerät von guter Qualität wird den Prüfling automatisch entladen, sobald der Prüfvorgang abgeschlossen oder abgebrochen ist. Andere Geräte haben einen separaten Schalter, welcher der Messung einen Extraschritt verleiht. Wenn dieser Arbeitsschritt aber vergessen wird, kann das Gerät tödlich für denjenigen sein, der es als nächster bedient.

MEGGER-Isolationsprüfgeräte erkennen Spannung während der Entladungsphase über den gesamten Apparat und zeigen diese, bis sie unter ein sicheres Niveau fällt. Ab diesem Punkt ist das Gerät sicher zu bedienen.

Jedoch ist bis zu diesem Zeitpunkt nur die gespeicherte kapazitive Ladung entladen. Wie am Anfang des Heftes erklärt, wird jede kapazitive Ladung am Anfang der Prüfung relativ schnell entladen. So auch am Ende einer Prüfung. Nur dass der dielektrische Absorptionsstrom viel länger braucht um einzutreten und auch viel länger braucht, um wieder hinauszugelangen.

Folglich, wenn das Gerät sofort sicher zu bedienen ist, aber die Anschlüsse nicht kurzgeschlossen sind, werden sie allmählich Ladung entwickeln und wieder gefährlich werden. Also gehen Sie sicher, dass die Anschlüsse kurzgeschlossen sind, bevor das Gerät wieder in Betrieb genommen wird.

### **Ladezeit für große Gerätschaften**

Eine Frage, die wir oft hören, ist: Wie lange dauert es, ein bestimmtes Gerät zu laden?

Die Antwort wissen wir nicht.

Warum nicht? Die Antwort hängt von der Konfiguration des Gerätes, das geladen werden soll, ab. Zum Beispiel schreibt das MEGGER-S1-5010 eine Ladezeit von „weniger als 5 Sekunden pro Mikrofarad mit 2mA Kurzschlussstrom“ und „2,5 Sekunden pro Mikrofarad mit 5mA Kurzschlussstrom“ vor. Demnach kann man, wenn man die Kapazität des Gerätes weiß, die Ladezeit berechnen. Egal, ob es ein Motor, ein Kabel oder nur eine Platte Isolationsmaterial ist.

### **Motorbetriebene Isolationsprüfgeräte**

Eine andere Frage, die oft gestellt wird, ist: Was wurde aus den alten, in Holzkästen gelieferten Isolationsprüfgeräten? Manche Leute denken wohl, dass sie den Standard für die Isolationsprüfung gesetzt haben und noch immer sind.

Diese motorbetriebenen Geräte mit einem Außenmotor wurden zwischen 1910 und 1972 hergestellt und benutzten das original Evershed-patentierete „Kreuzspulenhmmeter“. Dies war eine schwere Umsetzung, bei der, wie der Name schon sagt, zwei Spulen in einen Winkel zueinander gesetzt wurden. Dies war das erste wahre Ohmmeter. Die Konstruktion dieser Umsetzung hatte Vor- und Nachteile.

Der größte Vorteil war, dass es wegen der schweren Bewegung eine beträchtliche Trägheit besaß und deswegen sehr gut bei Interferenzen und Transienten anzuwenden war. Dies resultierte in einer weichen Bewegung. Leider machte das pure Gewicht der Bewegung es ziemlich empfindlich und so mussten die Geräte mit Sorgfalt behandelt werden. Darüber hinaus mussten sie nivelliert werden, bevor man sie benutzte und sind mit einer Wasserwaage auf der Skala und verstellbaren Füßen versehen. Die Bewegungen waren auch bei maximalem Widerstand unempfindlich, welcher in Megaohm und Gigaohm gemessen werden konnte.

Alternative Energiequellen wurden entwickelt. Der alte Generator war groß und schwer und jeder, der versuchte, sie mit der Hand zu kurbeln, kann es beschwören. Sie wollen sicherlich keine PI-Prüfung machen und kurbeln, es sei denn, Ihnen fehlt die Hauptversorgung.

Technologiefortschritt bedeutet, dass „elektronische Bewegungen“ genutzt werden konnten, die stabiler und genauer waren. Es wurden neue Niederspannungsgeneratoren entwickelt, die das Handkurbeln erleichterten und schließlich Batterietechnologie pure Batterieenergie anwendbar machte. Das Resultat sind die langanhaltenden, sehr beständigen Energieversorgungen von heute.

Die große Nutzung von Elektronik ergab leichtere, robustere, genauere Geräte, die schnell reagieren. Sie können mehr Informationen liefern, was uns Transienten sehen lässt, die vorher durch die relative Instabilität der Energieversorgung und die Trägheit verhüllt waren.

Was ist nun besser? Sie entscheiden.

Autoren  
David O. Jones  
Jeffrey R. Jowett  
S. Graeme Thomson  
David S. Danner

Übersetzung  
Antje Sellhusen

## Megger-Auswahl an Isolationsprüfgeräten

Wählen Sie von den folgenden neuen Modellen:

- Megger MIT510 5kV Isolationsprüfgerät
- Megger MIT520 5kV Isolationsprüfgerät
- Megger MIT1020 10kV Isolationsprüfgerät

Im 5kV-Bereich wählen Sie ein preiswertes Messgerät, das einfache automatisierte Isolationswiderstandsmessungen vornimmt (Modell 510). Oder ein Gerät mit einer größeren Auswahl an Prüfoptionen einschließlich automatischen Polarisations-Index (PI), dielektrischen Absorptionsverhältnis (DAR), Treppenspannung (SV) und dielektrischer Entladung (DD)...Modell 520

Das MIT1020 ist speziell konstruiert, um bestimmten Normen zu entsprechen, die die Benutzung von 10kV zum Prüfen zum Beispiel von Motorwicklungen über 12kV erfordern. Es führt auch alle diagnostischen Prüfungen automatisch durch, einschließlich IR, PI, DAR, SV und DD.

### Andere führende Eigenschaften

- Gleichzeitige Anzeige von Spannung, Leckstrom, Kapazität, Batteriezustand und Zeitkonstante
- verstrichene Prüfungszeit wird ständig auf dem Display angezeigt
- extragroßes, hintergrundbeleuchtetes digital/analoges Display
- Erhöht die Prüfspannung in 50V-Schritten bis zur maximalen Ausgangsspannung
- Automatische Durchführung dieser Prüfungen:
  - Isolationswiderstand
  - Polarisations-Index
  - Dielektrisches Absorptionsverhältnis
  - Stufenspannung
  - Dielektrische Entladung (MIT520/1020)

### Viele eingebaute Sicherheitsfunktionen

Entspricht den strengsten Sicherheitsanforderungen, einschließlich EN61010. Beinhaltet Spannungswarnung, Sicherheitsperre über 50V, automatische Energieentladung und vieles mehr.

### Erhöhte Leistung

Diese Geräte besitzen die höchste Genauigkeit und den höchsten Messbereich. Die Modelle 510 und 520 messen bis zu  $15T\Omega$  und das Modell 1020 bis zu  $35T\Omega$ , um vorhersagende Tendenzen an Isolationen zu höchster Qualität zu erreichen.

### Leichtere Bedienung

Benutzen Sie den "Quickstart"-Guide, der günstigerweise im Deckel angebracht und dadurch stets zur Hand ist.

### Verbessertes Gehäuse

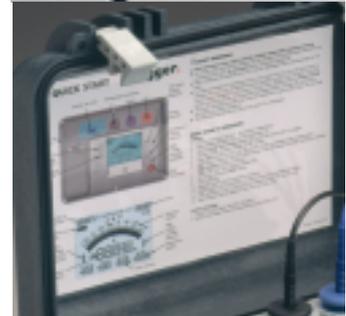
Es ist praktisch unzerstörbar, dennoch ergonomisch und leicht. Es besitzt außerdem ein übergroßes gummiertes Handgriff und einen entfernbaren Deckel zur effektiven Nutzung an engen Stellen.

### Extra Datenspeicher und Downloadfähigkeit

Machen Sie mehr Messungen und speichern die mehr Prüfdaten! Laden Sie Ergebnisse mit RS232 oder USB-Verbindung herunter (Modelle 520 und 1020)

### Netz- oder Batteriebetrieb

Die Betriebsflexibilität schlechthin, wenn Ortsbedingungen unbekannt oder langandauernde Prüfungen erforderlich sind.



### Modelle MJ15 und BM15

Das BM15 und MJ15 sind kompakte 5kV-Isolationsprüfgeräte, die einfach zu bedienen sind und ein schnelles, genaues Messen des Isolationswiderstandes gewährleisten. Beide Geräte bieten vier Prüfspannungen (500V, 1kV, 2,5kV, 5kV), analoge Skalen und eine Messempfindlichkeit bis zu 20GΩ. Beide schließen „erfolgreich/nicht erfolgreich“-Displayüberlagerungen für schnelles Messen und Tendenzanalysen ein.



Das BM15 wird von acht „AA“-Batterien oder Akkus betrieben, der MJ15 hat neben dem Batteriebetrieb auch noch einen Handkurbelgenerator.

### Vorschläge für 10kV-Prüfungen an Motorwicklungen über 12kV

IEEE-SA-Standards Best genehmigte im März 2000 eine Revision des IEEE Std43-1974 durch das Electrical Machinery Committee der IEEE Power Engineering Society. Diese Revision ist IEEE Std43-2000, die "IEEE-empfohlene Praxis zur Isolationswiderstandsprüfung rotierender Maschinerie". Die Änderungen der Isolationstypen in elektrischen rotierenden Maschinen führten zu unterschiedlichen Isolationswiderstandseigenschaften und erforderten deshalb eine größere Revision des IEEE-Standards. Gemäß dem IEEE ist die Norm für Organisationen und Einzelpersonen vorgesehen, die

- rotierende Maschinerie herstellen,
- Verantwortung für die Annahme neuer rotierender Maschinerie übernehmen,
- rotierende Maschinerie prüfen und warten,
- rotierende Maschinerie bedienen.

### Produktvergleich

		MIT510	MIT520	MIT1020
<b>Display</b>	Analog/Digital	■	■	■
<b>Versorgung</b>	Netzversorgung	■	■	■
	Akku	■	■	■
<b>Prüfspannung</b>	10,0 kV			■
	5,0 kV	■	■	■
	2,5 kV	■	■	■
	1,0 kV	■	■	■
	500V	■	■	■
	250V	■	■	■
	50V bis 1kV in 10V-Schritten			
	1kV bis max. Prüfsp. in 25V-Schritten		■	■
<b>Messungen</b>	Höchstmessung	15TΩ	15TΩ	35TΩ
	Mindestmessung	10kΩ	10kΩ	10kΩ
	Spannung	■	■	■
	Kapazität	■	■	■
	Prüfstrom	■	■	■
<b>Prüfungen</b>	Polarisations-Index		■	■
	Stufenspannung		■	■
	Dielektrische Entladung		■	■
<b>Andere Funktionen</b>	Timersteuerung		■	■
	Timer-Display	■	■	■
	3mA-Prüfströme	■	■	■
	USB-Anschluss		■	■
	RS232-Anschluss		■	■

## Über ein Jahrhundert lang führend in Isolationsprüfungen...

Megger und seine Vorgänger waren mit der Isolationsprüfung bis in das späte 19. Jahrhundert auf gleicher Höhe. Die praktische Anwendung von Elektrizität in unserem täglichen Leben ging keinen Schritt vorwärts, bis Morse 1844 den elektrischen Telegraf entwickelte. Bell folgte 1875 mit dem Telefon und 1879 wurde die elektrische Glühlampe von Edison entwickelt. Die Akzeptanz für elektrisches Licht wuchs nach 1882, als Edison das Pearl Street- Kraftwerk in Betrieb setzte und Benjamin Harrison der erste Präsident war, der 1889 elektrisches Licht im Weißen Haus nutzte.

Während dieser Zeit war die Isolation die vernachlässigte „Stieftochter“ der elektrischen Industrie, da niemand wußte, wie sie richtig zu lehren war. Die Prozesse in der Elektrizität verlangsamten sich aufgrund dessen, dass so wenig darüber bekannt war. Am 12. Januar 1895 beschreibt das *Electrical World* – Magazin die damalige Erfindung der Isolierung als eine „Beschichtung vulkanisierten Gummis, mit einer Paste, die Magnesium, Talk, Asbest, Klebe, Glycerin und Pottaschenbikarbonat enthält, ummantelt, mit Zugabe von Wasser, Natron- und Alaunsilikat, alles bedeckt mit einer Kohle- und Asphaltsschicht.“ Wir haben einen weiten Weg zurückgelegt in 100 Jahren!

Evershed&Vignoles Ltd., ein Londoner Unternehmen, das letztendlich einen bedeutenden Teil von Megger mitentwickelte, erkannte, dass Isolierung und isolierende Strukturen sich über die Zeit verschlechtern können und dass es notwendig ist, die Isolierungen auf ihre Qualität zu prüfen. 1888 erfand es das Kreuzspulenhohmeter und folgte dann 1889 mit der Entwicklung und des Patents für das erste tragbare Isolationsprüfgerät. Bis 1904 hatte es seine Messtechnologie dahin entwickelt, dass sie das erste Isolationsprüfgerät vorstellen konnten, welches über die Betriebsspannung hinaus maß. In dem Jahr wurde die Isolationsprüfung, wie wir sie heute kennen, geboren. So wie die Isolationstechnologie sich bedeutend über die Jahre verbessert hat, fuhr Megger mit der Verbesserung fort, die weit über die Vorstellungen der Evershed&Vignoles- Ingenieure hinausgeht.

Einige der ersten führenden Unternehmen der elektrischen Industrie waren Teil der Megger-Familie, einschließlich James G. Biddle, Gründer der James G. Biddle Company in Philadelphia, Pennsylvania. Biddles Geschäftsphilosophie ist immernoch eine der tragenden Säulen von Megger und kann nicht besser ausgesagt werden als das folgende Prinzip, auf welches er sein Geschäft aufbaute:



*„Ein fester Glaube an persönliche Beziehung und an das intensive Verlangen einen besonderen Service zu bieten, der anderswo nicht zu finden ist.“*

**Megger Limited**  
Archcliffe Road, Dover  
Kent CT17 9EN England  
T +44 (0)1 304 502101  
F +44 (0)1 304 207342  
E [uksales@megger.com](mailto:uksales@megger.com)

**Megger**  
4271 Bronze Way, Dallas,  
Texas 75237-1019 USA  
T +1 800 723 2861 (USA  
ONLY)  
T +1 214 333 3201  
F +1 214 331 7399  
E [ussales@megger.com](mailto:ussales@megger.com)

**Megger**  
Z.A. Du Buisson de la  
Coudre  
23 rue Eugène Henaff  
78190 TRAPPES France  
T +33 (0)1 30.16.08.90  
F +33 (0)1 34.61.23.77  
E [infos@megger.com](mailto:infos@megger.com)

**Megger Pty Limited**  
Unit 26 9 Hudson  
Avenue  
Castle Hill  
Sydney NSW 2125  
Australia  
T +61 (0)2 9659 2005  
F +61 (0)2 9659 2201  
E [ausales@megger.com](mailto:ausales@megger.com)

**Megger Limited**  
110 Milner Avenue  
Unit1  
Scarborough Ontario  
M1S 3R2  
Canada  
T +1 416 298 9688  
(Canada only)  
T +1 416 298 6770  
F +1 416 298 0848  
E [casales@megger.com](mailto:casales@megger.com)