

# Suche nach Stromversorgungsfehlern an der Einspeisung

### Hinweis

Bevor Sie irgendwelche Messungen vornehmen, machen Sie sich immer erst mit den Geräten vertraut, die Sie benutzen werden. Lesen Sie das Bedienungshandbuch des Geräts und beachten Sie dabei besonders die mit **WARNUNG** und **VORSICHT** gekennzeichneten Stellen. Benutzen Sie die Messgeräte nicht für andere als die vorgesehenen Anwendungen. Denken Sie immer daran, dass die Anwendung in einer nicht vom Hersteller vorgesehenen Weise die Betriebssicherheit des Gerätes beeinträchtigen kann.

Spannungseinbrüche, Auslösung von Leistungsschaltern, überhitzte Unterverteilungen und extreme Spannungspegel sind alles Anzeichen für mögliche Fehlfunktionen in einem elektrischen Verteilungssystem. Es ist gut zu wissen, dass diese Anzeichen uns auf Probleme mit dem Stromversorgungssystem hinweisen. Aber wo soll man bloß anfangen bei der Suche nach der konkreten Ursache dieser Stromversorgungsprobleme?

So wie Autos einen einzigen Anschlusspunkt haben, um die wichtigsten Funktionen zu überwachen, hat das elektrische System einen ähnlichen Anschlusspunkt: die Unterverteilung. Als gemeinsamer Punkt für die Verteilung der Abzweigstromkreise ist die Unterverteilung auch ein geeigneter Platz, um Ihr elektrisches System zu überprüfen. Eine Vielzahl von Problemen kann direkt an der Unterverteilung lokalisiert werden. Wenn sich die Probleme anderswo im System befinden, können Ihnen Messungen an dieser Unterverteilung anzeigen, wo Sie suchen müssen. Einige Probleme können durch eine schnelle visuelle Überprüfung entdeckt werden, während für andere Probleme Messungen erforderlich sind.

### Die Ursache des Problems finden

Dieser Artikel beschreibt einen einfachen Schritt-für-Schritt-Prozess zur Lokalisierung und Behebung möglicher Probleme. Beginnen wir zunächst mit sechs Kategorien oder Bereichen, die bei der Suche nach elektrischen Problemen besonders zu beachten sind.

Dabei handelt es sich um:

1. Spannungspegel (Dauerzustand) und Spannungsstabilität (Einbrüche)
2. Stromausgleich und Belastung
3. Oberschwingungen
4. Erdung
5. Hot Spots: lose Anschlüsse / Klemmen
6. Defekte oder fragwürdige Abzweigschalter

### Spannungspegel und -stabilität

Der erste Schritt, um festzustellen, ob Spannungspegel und -stabilität für das Problem verantwortlich sind, besteht darin, die Spannungspegel in den Stromzweigen, die Sternspannungen, auf der Lastseite der Abgänge zu messen. **Hinweis:** Bei Spannungsmessungen sollten Sie aus Sicherheitsgründen immer hinter einem Leistungsschalter oder hinter einer Sicherung messen, gegenüber der Messung an den blanken Stromschienen erhalten Sie so größere Sicherheit.

Wenn die Spannungspegel am Schalter niedrig sind, werden Sie an der Steckdose noch niedriger sein. Das kann durch niedrige Anzapfeinstellungen am Transformator verursacht werden. Andere mögliche Ursachen sind lose Anschlüsse, lange Zuleitungen und überlastete Transformatoren, die extrem hohe Quellenimpedanz (Impedanz von der Last zur Quelle) verursachen. Quellenimpedanz und Spannungsabfall sind zwei Seiten der gleichen Medaille.

Wenn intermittierende Spannungseinbrüche vermutet werden, fangen Sie



an der Unterverteilung an, um die Ursache für die Einbrüche zu lokalisieren.

Werden die Einbrüche durch Lasten am selben Abzweigkreis oder aber durch Lasten anderswo im Verteilersystem verursacht (einschließlich Einbrüchen, die durch das Versorgungsunternehmen verursacht werden)? Um die Ursache der Einbrüche zu finden, kann man ein tragbares Zweikanal-Messgerät mit Aufzeichnungsfunktion wie z.B. den Netz- und Stromversorgungsanalysator Fluke 43B verwenden. Dieses praktische Instrument kann Strom und Spannung gleichzeitig verfolgen und darstellen.

Schließen Sie die Spannungsspitzen und Stromzangen des Geräts auf der Lastseite des Schalters an, wie in Abb. 1 gezeigt. Mit der Funktion Spannungseinbrüche und -erhöhungen des 43B können Spannungsereignisse auf der oberen Hälfte des Bildschirms und Stromereignisse auf der unteren Hälfte des Bildschirms dargestellt werden (Abb. 2). Jeder Punkt der Trendplot-Darstellung (insgesamt 240 Punkte bei Vollbilddarstellung) steht für drei Werte innerhalb des Abtastzeitraums: Die

niedrigste Periode (Min. oder Einbruch), die höchste Periode (Max. oder Erhöhung/Stoß) sowie den Mittelwert aller Perioden innerhalb des Abtastzeitraums.

Der Abtastzeitraum ist die zwischen zwei Punkten vergangene Zeit. Beim 43B können Sie den Abtastzeitraum frei wählen, wobei eine Sekunde der kürzeste mögliche Zeitraum ist (das entspricht einem Aufnahmezeitraum von vier Minuten). Der Cursor kann zu der gewünschten Stelle auf der Darstellung bewegt werden und zusammen mit den Min./Max./Durchschnittswerten wird die Echtzeitmarkierung des Ereignisses angezeigt.

## Ortung von Spannungsschwankungen und Flicker

Trendplot gibt Ihnen Informationen zur Ursachenrichtung, so können Sie die Fehlerquelle finden.

- Wenn ein *Spannungseinbruch* und eine *Stromspitze* gleichzeitig auftreten (gegenläufige Kurven), wurde der Einbruch durch eine Last im Abzweigkreis verursacht (Abb. 2). Mit anderen Worten, die Ursache des Einbruchs war dem Messpunkt *nachgeschaltet* und kann daher als *lastbedingte* Störung betrachtet werden.
- Wenn andererseits der Spannungseinbruch nur mit einer sehr geringen Stromänderung zusammenfällt bzw. der Spannungseinbruch einen *Stromeinbruch* verursacht (gleichläufige Kurven), ist der Einbruch wahrscheinlich auf eine dem Messpunkt vorgeschaltete Ursache zurückzuführen und kann als *quellenbedingte* Störung betrachtet werden. Typische quellenbedingte Störungen sind stark belastete Drehstrommotoren, die direkt eingeschaltet werden, oder Einbrüche, die aus der Einspeisung der Stromversorgungsunternehmen herrühren. Wenn der Einbruch sehr tief ist und einem Spannungsausfall nahe kommt, liegt die Ursache wahrscheinlich beim Stromversorgungsunternehmen. Das Ereignis zeigt wahrscheinlich einen Kurzschluss und die Auslösung eines Leistungsschalters gefolgt von der automatischen Wiedereinschaltung an.

## Stromausgleich und Belastung

Zur Prüfung von Stromausgleich und Belastung messen Sie jede Einspeisephase sowie den Strom in jedem Abzweigkreis. Um diese Messungen vorzunehmen, müssen Sie unbedingt eine Echtheffektiv-Strommesszange oder

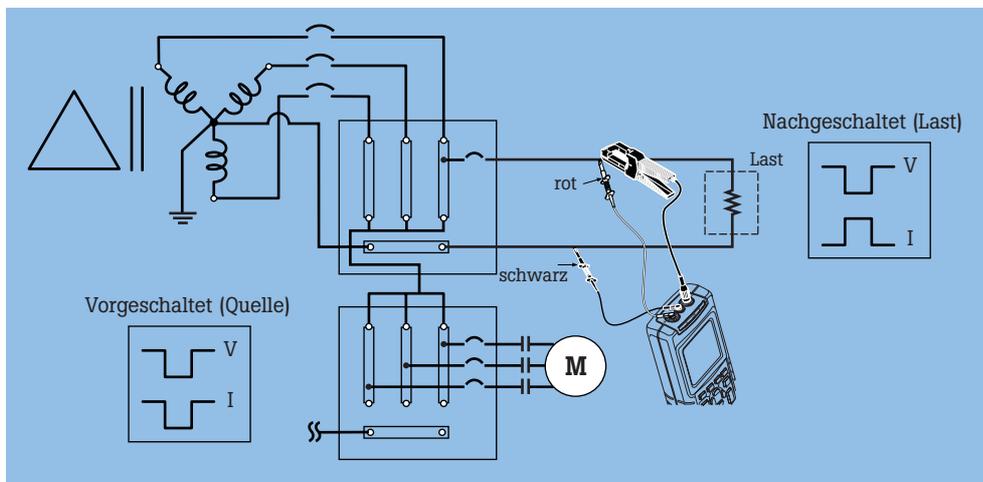


Abb. 1. Lokalisierung der Störungsquelle.

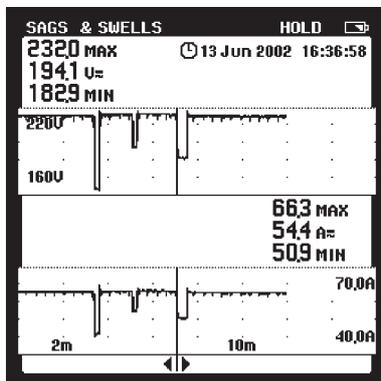


Abb. 2. Spannung oben, Strom unten. Echtzeitmarkierung oben.

ein Echtheffektiv-Digitalmultimeter (DMM) mit Klemmzubehör verwenden. Eine mittelwerterfassende Messzange liefert keine genauen Messungen, da die Kombination aus Grundschwingungsstrom und Oberschwingungsstrom zu einer verzerrten Signalform führt. Ein preisgünstigeres mittelwerterfassendes Messgerät zeigt tendenziell niedrigere Werte an, wodurch Sie annehmen würden, dass die Stromkreise weniger stark belastet sind, als tatsächlich der Fall ist. Hierauf müssen Sie achten, wenn Sie diese Messungen vornehmen:

- Die Last sollte so gleichmäßig wie möglich auf die drei Phasen verteilt sein. Unsymmetrischer Strom kehrt auf dem Neutralleiter zurück, der, wie wir sehen werden, schon stark genug belastet ist.
- Weder der Einspeisekreis noch die Abzweigkreise sollten bis zum maximal zulässigen Grenzwert belastet sein. Sie sollten etwas unterbelastet sein, um Oberschwingungen zuzulassen.

Als eine sichere und konservative Faustregel kann eine kurze Formel, die zur Leistungsminderung von Trans-

formatoren für Gleichstrom-Netzgeräte dient, auf Leiter angewandt werden.

$$\text{Oberschwingungs-Reduktionsfaktor} = \frac{1,4}{\text{Crestfaktor Ampere}} = \frac{(1,4) \text{ (Effektivwert)}}{\text{Spitze}}$$

Dies ist ein relativ einfaches Konzept. Der Crestfaktor ist das Verhältnis des Spitzenwerts zum Effektivwert. Bei einer sinusförmigen Schwingung beträgt dieser Wert 1,41. Daher gilt bei einer sinusförmigen Schwingung, die per Definition keine Oberschwingungen und keine Verzerrung beinhaltet, ein Oberschwingungs-Reduktionsfaktor von 1, so dass keine Leistungsminderung erforderlich ist. Von da an geht es nur noch bergab. Wenn der Crestfaktor 2 ist, was ein wahrscheinlicherer Wert für Abzweigkreise in Büros ist, dann ist der Oberschwingungs-Reduktionsfaktor  $1,41 / 2 = 0,70$ .

Daher sollte ein Leiter mit einem Nennstrom von 20 A nur bis zu 70% der Kapazität, d.h. max. 14 A, belastet werden.

Wie messen Sie jetzt den Crestfaktor? Sie benötigen ein Echtheffektiv-Digitalmultimeter oder eine Messzange, und darüber hinaus muss das Messgerät in der Lage sein, den Spitzenwert der Signalform zu messen. Oberschwingungsanalytoren oder ScopeMeter®-Messgeräte zeigen Ihnen auch diese Werte an.

## Oberschwingungen

Um das Vorhandensein und die Höhe von Oberschwingungen zu überprüfen, messen Sie den Strom im *Neutralleiter des Einspeisekreises*. Dieser bewegt sich normalerweise in einem Bereich von 80 bis 130 % des Stroms im Einspeisekreis, da sich die dritte Oberschwingung zum Neutralleiterstrom addiert.

Abb. 3 zeigt einige Messungen, die in unserem Büro an einer schwach belasteten Unterverteilung gemacht wurden.

Diese Signalformen wurden mit einem Netz- und Stromversorgungsanalysator Fluke 43B aufgenommen. Beachten Sie, dass der Neutralleiterstrom (Abb. 3b) weit über das hinausgeht, was man bei unsymmetrischen Strömen allein erwarten würde.

Obwohl sich die meisten von uns der Tatsache bewusst sind, dass sich dritte Oberschwingungsströme, die durch nicht-lineare Einphasenlasten verursacht werden, im Neutralleiter addieren, fragen wir uns oft, warum das so ist. 4 versucht, dieses Phänomen anhand einer idealisierten Grafik zu erklären. Während es eine 120-Grad-Phasenverschiebung zwischen den drei Phasen der Grundschwingung gibt, sind die dritten Oberschwingungen *in allen drei Leitern in Phase* miteinander. D.h. sie alle haben Ihre Spitzen und Nulldurchgänge ungefähr zur gleichen Zeit (in Wirklichkeit gibt es eine gewisse Phasenverschiebung, die aber im Gegensatz zu den Oberschwingungen höherer Ordnung sehr gering ausfällt, so dass auch die Unterdrückung gering ist). Das bedeutet zunächst einmal, dass die dritten Oberwellen nur in den Neutralleiter gehen können, und zweitens, dass sich im Neutralleiter alle Spitzen- und anderen Werte addieren.

Die Größe des *Neutralleiters des Einspeisekreises* wird daher sehr wichtig. Über den Neutralleiter muss jetzt nicht nur der unsymmetrische Grundschwingungsstrom sondern auch die Summe aller dritten Oberschwingungsströme zurückkehren.

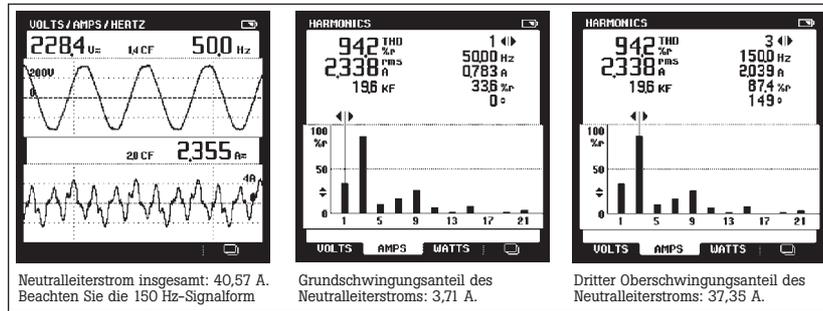


Abb. 3b. Neutralleiterstrom

In NEC 310.15(8)(4)(c) 2002 steht: "In einer Vierleiter-Dreiphasen-Sternschaltung, in der der größte Teil der Belastung unsymmetrisch ist, fließen im Neutralleiter Oberschwingungsströme; der Neutralleiter ist daher besonders zu beachten." In der Praxis bedeutet das, dass der Neutralleiter mindestens die Größe des Phasenleiters haben muss. Dies kann aber leicht unzureichend sein: Bei einer Studie in 146 Standorten landesweit wurde 1990 z.B. herausgefunden, dass der Strom im Neutralleiter bei 22,6 % mehr als 100 % des Phasenstroms betrug! Die Stromversorgungsbetriebe empfehlen daher dringend, dass der Neutralleiter doppelt so groß wie der Phasenleiter sein soll.

Zählen Sie die Phasenleiter und die gemeinsamen Leiter; wenn es mehr Phasenleiter als gemeinsame Leiter gibt, werden die Neutralleiter wahrscheinlich geteilt. An dieser Stelle ist es definitiv ratsam, die Neutralleiterströme in den Abzweigkreisen zu messen. In Grunde genommen passiert im Abzweigkreis wahrscheinlich das gleiche wie im Einspeisekreis, d.h. dritte Oberschwingungs-

ströme addieren sich und können den gemeinsamen Neutralleiter überlasten. Dadurch entsteht erhöhte Brandgefahr. Der Neutralleiter hat schließlich keinen Leistungsschalter zum Schutz.

Eine Messung der Sternpunkt-Erde-Spannung zeigt Ihnen auch, ob der Neutralleiter zu stark belastet ist oder ob seine Quellenimpedanz zu hoch ist. Die Sternpunkt-Erde-Spannung liegt an der Unterverteilung normalerweise im Bereich von 0,25 V, wobei der tatsächliche Wert von der Entfernung vom Transformator abhängt. Jeder Wert über 0,5 V sollte beachtet werden, und es sollte festgestellt werden, ob bei von dieser Unterverteilung gespeisten Lasten Probleme aufgetreten sind.

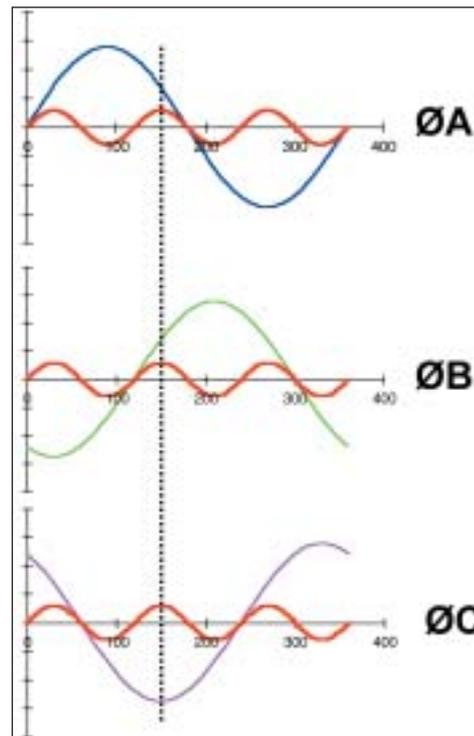


Abb. 4. Warum sich dritte Oberschwingungen im Neutralleiter addieren. Die Oberschwingung in jedem Einspeiseleiter ist in Phase. Es gibt keine Unterdrückung wie bei den Grundschwingungsströmen, die um 120° phasenverschoben sind.

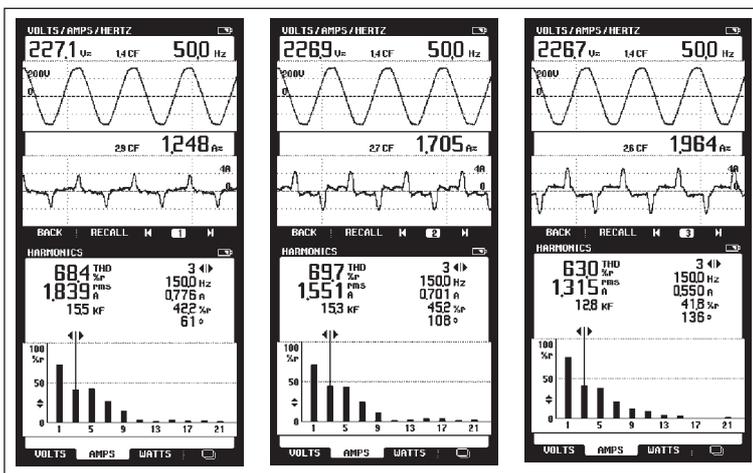


Abbildung 3a. Der obere Bildschirm zeigt die Signalform und die Amplitude des Effektivwertes des Abzweigphasenstroms, der untere Bildschirm zeigt die Amplitude der dritten Oberschwingung.

Was passiert, wenn unter normalen Belastung die Sternpunkt-Erde-Spannung nahe 0 liegt? Das führt uns zu dem Problem illegaler Sternpunkt-Erde-Verbindungen.

## Erdung

Sternpunkt-Erde-Verbindungen in Unterverteilungen sind ein Verstoß gegen die NEC- und VDE-Bestimmungen und die leistungsgerechte Stromversorgungsverdrahtung, aber sie sind auch sehr verbreitet. Sternpunkt-Erde-Verbindungen sollten ausschließlich in der Haupteinspeisung (dort wo die Transformatorsternpunktleiter ankommen) gemacht werden. Sie sollten auch nicht am Trafo direkt angebracht sein, da dies bei mehr als einem Trafo schon zur Doppelerdung führt. In der Haupteinspeisung muss und darf es genau einen zentralen Erdungspunkt (ZEP) geben, der N- und PE-Schiene verbindet. Auf keinen Fall sollten sie der Hauptverteilung nachgeschaltet sein, ob nun an einer Unterverteilung oder an einer Steckdose. Wenn eine Sternpunkt-Erde-Verbindung an einer Unterverteilung oder einer Steckdose vorgenommen wird, wird die Erdungsleitung ein paralleler Rückleiter für den normalen Laststrom, was zu messbaren Strömen an der Erde führt.

Was ist ein normaler Erdungsstrom, und was ist anormal? Ein logischer Ansatz besteht darin, den Neutralleiterstrom und dann den Strom im Erdleiter zu messen. Wenn der Neutralleiterstrom z.B. 70 A beträgt und der Erdleiterstrom 2 A, wird der Erdleiterstrom wahrscheinlich durch normale Streuung verursacht (und ist daher unvermeidbar). Wenn der Neutralleiterstrom 40 A und der Erdleiterstrom 20 A beträgt, gibt es wahrscheinlich fest verdrahtete Sternpunkt-Erde-Verbindungen. Je kleiner das Verhältnis von Neutralleiter- zu Erdstrom ist, desto wahrscheinlicher ist es, dass eine illegale Sternpunkt-Erde-Verbindung besteht. Sternpunkt-Erde-Verbindungen kann es auch in Steckdosen und sogar in einigen Verbrauchern geben, so dass wir evtl. die gleiche Technik anwenden müssen, um Erdströme in einzelnen Abzweigen zu messen.

Wenn eine illegale Sternpunkt-Erde-Verbindung an einem Standort in einer Unterverteilung gefunden wird, ist es sehr wahrscheinlich, dass noch weitere gefunden werden. Der Installateur hat vielleicht gedacht, dass alle Unterverteilungen wie in Wohngebäuden verkabelt werden oder dass der einfachste Weg, um Sternpunkt-Erde-Spannungen zu vermeiden, die

Installation eines Jumpers ist. Oder vielleicht hat er einfach gedacht, je mehr Erdungen, desto besser. Jedenfalls sollten Sie alle illegalen Sternpunkt-Erde-Verbindungen entfernen - ohne Ausnahme.

Dies ist auch eine gute Gelegenheit, die Festigkeit der Leitungsrohrverbindungen zu prüfen, besonders wenn ausschließlich das Leitungsrohr als Erdleiter verwendet wird. Die empfohlene Vorgehensweise besteht darin, einen Gelb-Grünen PE-Leiter zu installieren.

## Hot spots

Schlechte Verbindungen und die resultierenden Wärmeverluste sind die allerwichtigste Ursache für ineffiziente Systeme (laut einer Studie des damaligen Washington State Energy Office aus dem Jahre 1995). Aus Sicht der Stromversorgungsqualität tragen lose Verbindungen wesentlich zu extremer Quellenimpedanz bei. Glücklicherweise können Sie mit einem einfachen Infrarot-Thermometer leicht lokalisiert werden.

Infrarot-Messungen mit Geräten wie dem Fluke 61 oder 65 sind ein sicherer und effektiver Weg zur kontaktlosen Entdeckung von Hot Spots in der Unterverteilung. Es gibt jedoch einige Grundkonzepte, die Sie unbedingt verstehen müssen, wenn Sie diese Messungen vornehmen:

- Wie groß oder klein ist der Bereich, den Sie messen?  
Optische Auflösung ist das Verhältnis des Abstandes vom gemessenen Objekt zum Messfleckdurchmesser. Wenn das Verhältnis 4:1 ist, bedeutet das, wenn Sie 4 Zoll von der gemessenen Oberfläche entfernt sind, messen Sie auf einem Fleck mit einem Durchmesser von 1 Zoll.
- Tragbare Infrarot-Messfühler wie Fluke 80PK-IR können am besten für vergleichende Temperaturmessungen eingesetzt werden, nicht für absolute Messungen. Wenn wir z.B. eine Reihe von Leistungsschaltern oder Klemmen mit diesem Instrument überprüfen, können wir leicht feststellen, ob eine davon wesentlich heißer ist als die anderen.
- Wenn wir wirklich präzise Messungen der absoluten Temperatur mit preisgünstigen Infrarotmessgeräten (unter 500 €) vornehmen müssen, wird es komplizierter. Kurz gesagt sollten *alle hochglanzpolierten metallischen Oberflächen mit Isolierband abgedeckt werden*. Dabei geht es um den Emissionsfaktor. Der Emissionsfaktor gibt die Fähigkeit eines Gegenstandes an, Infrarot-Energie abzustrahlen. Der Emissionsfaktor ist das Gegenteil der Reflektion,

*da dunklere, nicht polierte Oberflächen einen höheren Emissionsfaktor haben.* Die meisten billigen Infrarotmessgeräte sind auf einen Emissionsfaktor von 0,95 eingestellt, und je näher die zu messende Oberfläche diesem Wert kommt, desto genauer wird die Messung. Darum führt schwarzes Isolierband als Oberfläche zu genaueren Messungen als poliertes Metall.

## Leistungsschalter

Viele Leute denken nicht daran, dass Leistungsschalter eine begrenzte Lebensdauer haben. Tatsächlich nutzen sich Kontakte und Federn ab. Messungen des Spannungsabfalls am Leistungsschalter können uns helfen, den Zustand des Schalters festzustellen. Messen Sie über die Netz-zu-Last-Seite des Abzweigschalters. Wenn der Spannungsabfall mehr als 100 mV beträgt, sollte der Schalter ausgetauscht werden. Bei einem Wert zwischen 35 und 100 mV sollten die Messergebnisse aufgezeichnet und verfolgt werden. Insgesamt ist die Einspeisung der zentrale Punkt des elektrischen Systems eines Gebäudes und der Punkt, an dem ein erfahrener Techniker mit der Suche anfängt, um Probleme zu lokalisieren und beheben.

*Fluke dankt Herrn Steve Uhrich von Valley Electric, Mt. Vernon, WA, dafür, dass er seine Fachkenntnisse und Erfahrungen für das Schreiben dieses Artikels zur Verfügung gestellt hat.*

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

**Fluke Corporation**  
**Fluke Deutschland GmbH**  
Heinrich-Hertz-Straße 11  
34123 Kassel  
Tel.: (069) 2 22 22 02 00  
Fax: (069) 2 22 22 02 01  
Internet: www.fluke.de

**Fluke Vertriebsgesellschaft m.b.H.**  
Mariahilfer Straße 123  
1060 Wien  
Tel.: (01) 928 95 00  
Fax: (01) 928 95 01  
Internet: www.fluke.at

**Fluke Switzerland AG**  
Industrial Division  
Leutschenbachstraße 95  
8050 Zürich  
Tel.: (01) 580 75 00  
Fax: (01) 580 75 01  
Internet: www.fluke.ch

©2002 Fluke Corporation. All rights reserved.  
5/2002 Pub-ID 10562-ger Rev-01