

## Bestimmung von Widerständen Qualität elektrischer Verbindungen in der Energieverteilung

Dipl.-Ing. Jürgen Dreier, Produkt Manager, KoCoS Messtechnik AG, Korbach

Auf dem Weg vom Erzeuger bis zum Verbraucher befinden sich in der elektrischen Energieübertragung und -verteilung unzählige elektrische Verbindungen, von der einfachen Klemme bis zu komplexen Schaltgeräten wie Leistungsschaltern, Trennern und Erdern. Der Zustand und damit die Zuverlässigkeit dieser Verbindungen hat einen entscheidenden Einfluss auf die Verfügbarkeit, Sicherheit und Wirtschaftlichkeit elektrischer Versorgungsnetze.

Bei der Übertragung hoher Ströme werden möglichst geringe Übergangswiderstände an den Verbindungsstellen angestrebt. Der Übergangswiderstand wird von mehreren Größen beeinflusst und nimmt im Laufe der Betriebszeit durch Alterung zu. Ein hoher Widerstand hat eine Erhöhung der Wärmeverluste zur Folge, beeinflusst die Lebensdauer und kann zu einer Unterbrechung der Verbindung führen. Durch die Prüfung der Übergangswiderstände am Einbauort kann eine fehlerhafte Verbindung festgestellt und beseitigt werden.



Bild 1: Anlagen der elektrischen Energieübertragung und -verteilung beinhalten unzählige elektrische Verbindungen, deren Zustand direkten Einfluss auf die Anlagensicherheit hat.

Ein Messgerät für solche Prüfungen bietet die KoCoS Messtechnik AG mit dem kompakten, netzunabhängigen Präzisions-Widerstandsmessgerät PROMET SE an. Das Gerät arbeitet mit einem variabel einstellbaren Prüfstrom von bis zu 200 A. Zwei Stromausgänge und zwei Spannungsmesseingänge las-

sen die gleichzeitige Widerstandsbestimmung an zwei Messstellen zu. Das geringe Gewicht von 1,5 kg und das handliche Gehäuse mit Tragegurt ermöglichen den Einsatz auch in Situationen ohne Ablagemöglichkeiten, beispielsweise beim Arbeiten auf Leitern und Hebebühnen. Der leistungsfähige Lithium-Ionen-Akku garantiert einen netzunabhängigen Betrieb über mehrere Stunden hinaus.



Bild 2: Statische Widerstandsmessung an den Unterbrechereinheiten eines Mittelspannungsschalters mit PROMET SE.

### Widerstand und Verlustleistung an der Kontaktstelle

Auch bei einer offenbar idealen Verbindung zweier Kontaktflächen sind die Berührungsflächen der Kontaktstücke nicht identisch mit der Größe und Fläche für den Stromdurchtritt. Mikroskopisch betrachtet sind die Kontaktoberflächen uneben und mit einer isolierenden Fremdschicht bedeckt. Bei einer Kontaktierung werden die Mikroflächen als wahre Berührungsflächen durch die Kontaktkraft zusammengedrückt, der Stromdurchtritt erfolgt durch diese Flächen. Die Querschnittsverengung hat einen höheren Widerstand zur Folge. Aufgrund des höheren Widerstandes wird eine größere Leistung an der Kontaktstelle umgesetzt, was zu einer höheren Temperatur führt. Durch die höhere Temperatur nimmt der spezifische Widerstand an der Kontaktstelle zu. Die Verlustleistung an der Kontaktstelle ist vom Strom und dem Widerstand abhängig:  $P = I^2 \times R$

## WIDERSTANDSMESSUNG

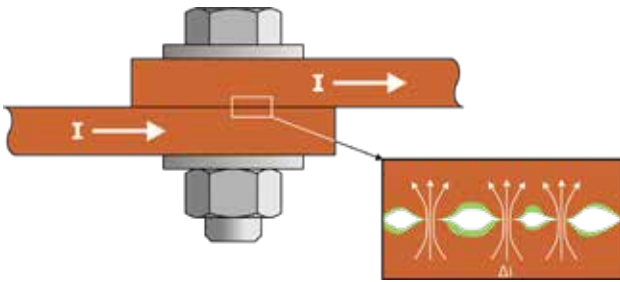


Bild 3: Flächenkontakt an einer Schraubenverbindung von Stromschiene mit Darstellung der wahren Berührungsflächen (grün: Oxydschicht/Fremdschicht).

Bei der Alterung elektrischer Verbindungen nimmt der Widerstand der Kontaktstelle mit der Zeit zu. Die Ursachen sind unter anderem die Abnahme der Kontaktkraft der Verbindung, das Wachstum der Fremdschichten, Reibkorrosion und der resultierende weitere Anstieg der Temperatur. Die Kontaktkraft der Kontaktstelle nimmt durch ein Nachlassen des Spannungszustandes ab, demzufolge die Fläche für den Stromdurchtritt kleiner wird. Der Anstieg der Temperatur und äußere Einflüsse beschleunigen das Fremdschichtwachstum, wodurch Oxydschichten anwachsen. Bei der Reibkorrosion, verursacht durch mechanische Verschiebung oder thermische Ausdehnung, verschieben sich die Kontakte gegeneinander, und bestehende Mikrokontakte werden zerstört. Diese Faktoren beeinflussen die Alterung und können im schlimmsten Fall zu einer Unterbrechung der Verbindung führen.

### Gütefaktor einer Verbindung

Die Beurteilung der Qualität einer Verbindung kann durch die Bestimmung der Güte erfolgen. Aufgrund zweier Spannungsmesseingänge ist mit dem Widerstandsmessgerät PROMET SE eine einfache und schnelle Bestimmung der Qualität z.B. von Schraubverbindungen an Stromschiene möglich. Der Gütefaktor wird durch das Verhältnis des Widerstandes der Verbindung über der Überlappungslänge zum Widerstand der Stromschiene gleicher Länge definiert.

Der Gütefaktor  $K$  ergibt sich dabei als das Verhältnis des Widerstandes  $R_{CON}$  der Verbindung über der Überlappungslänge  $l_{CON}$  zum Widerstand  $R_{REF}$  der Stromschiene gleicher Länge  $l_{REF}$ .

### Überprüfung von Schaltgeräten

Besonders Schaltgeräte sind wichtige Komponenten in der elektrischen Energieversorgung und müssen unter einer Vielzahl von Bedingungen korrekt arbeiten. Schaltgeräte stellen in der elektrischen Energieübertragung und -verteilung die Verbindung zu weiteren Anlagenteilen her. Während ihrer be-

trieblichen Lebensdauer müssen Schaltgeräte ständig in der Lage sein, Betriebsteile zu verbinden, zu unterbrechen oder zu trennen. Im geöffneten Zustand bilden sie eine durchschlag-sichere Trennstelle, im geschlossenen Zustand führen und kontrollieren sie Kurzschlussströme. Während des Betriebes auftretende mechanische und thermische Beanspruchungen müssen Schaltgeräte ohne Schaden überstehen. Reibung und Abnutzung haben Einfluss auf die Leistung der mechanischen Teile. Die Kontaktsysteme in den stromführenden Kreisen können sich verschlechtern und erhöhen so die Entwicklung übermäßiger Hitze. Um eine sichere Funktion gewährleisten zu können, ist es unerlässlich, die Leistungsfähigkeit von Schaltgeräten bei der Konstruktion, Herstellung, Wartung und Reparatur zu überprüfen.

Bei Trennung der Kontakte in einem Hochspannungs-Leistungsschalter entsteht ein energiereicher Schaltlichtbogen. Es ist notwendig, dass Leistungsschalter den Kurzschlussstrom-Lichtbogen im Bruchteil einer Sekunde löschen können. Hierzu verfügen Leistungsschalter über Löschkammern. Der Lichtbogenkontakt stellt den ersten Kontakt bei der Ein-Schaltung her und hat die letzte Kontaktberührung bei der Aus-Schaltung. Die Kontakte verschleifen bei normalen Schalthandlungen wie auch bei der Unterbrechung von Kurzschlussströmen. Befinden sich die Kontakte in einem schlechten Zustand, wird der Leistungsschalter unzuverlässig. Ein hoher Kontaktwiderstand innerhalb eines Schaltgerätes

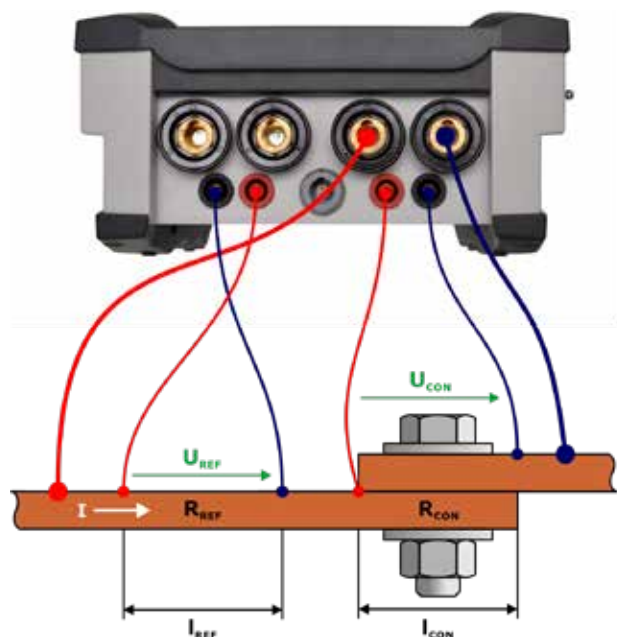


Bild 4: Anschluss des Widerstandsmessgerätes PROMET SE zur Gütefaktormessung an einer Schraubenverbindung.

führt zu einer hohen Verlustleistung verbunden mit einer thermischen Beanspruchung und einer möglichen Zerstörung des Schaltgerätes. Fehler wie hohe Übergangswiderstände durch mangelhafte Verbindungen können anhand der Messung des Kontaktwiderstandes festgestellt werden.

### Statische und dynamische Kontaktwiderstandsmessung

Bei der statischen Widerstandsmessung wird der Kontaktwiderstand im geschlossenen Zustand der Unterbrechereinheit ermittelt. Diese Messung lässt jedoch keine Rückschlüsse auf den inneren Zustand, insbesondere der Lichtbogenkontakte, zu. Eine Möglichkeit der Beurteilung ist eine innere Revision des Kontaktes, was jedoch sehr arbeitsaufwändig und zeitintensiv ist. Um die Analysen am Leistungsschalter zu vereinfachen, wurde die dynamische Widerstandsmessung eingeführt. Der Kontaktwiderstand wird dynamisch über eine EIN-AUS-Schaltung gemessen. Über die Messergebnisse können der Kontaktverlauf und der Lichtbogenkontakt zuverlässig ermittelt werden. Während dieser Schalthandlung wird ein hoher Prüfstrom angelegt und der Spannungsfall zurückgemessen. Die Messung über die komplette Schalthandlung zeigt den Widerstandsverlauf über den kompletten Kontaktweg.

Der Übergang zum Lichtbogenkontakt kann hier genau eingesehen werden. Wird der Weg mitgemessen, kann auch die Länge des Lichtbogenkontaktes bestimmt werden. Die Darstellungen des Widerstandsverlaufes und der Länge des Lichtbogenkontaktes geben somit einen Einblick in den inneren Zustand der Unterbrechereinheiten, ohne die Schaltkammer öffnen zu müssen. Messungen des dynamischen Kontaktwi-

derstandes können mit dem Widerstandsmessgerät PROMET SE in Kombination mit einem Schaltgeräteprüfsystem ACTAS dreipolig und an mehreren Unterbrechereinheiten pro Pol gleichzeitig ausgeführt werden. Die Messung an allen Kontakten eines Schaltgerätes kann so in einem Durchgang erfolgen. Zeitaufwendiges An- und Abklemmen entfällt und die Messung geschieht unter exakt gleichen Bedingungen, was einen direkten Vergleich der Kontaktwiderstände zulässt.



Bild 6: PROMET SE an einem Hochspannungsschalter mit zwei Unterbrechereinheiten.

Die flexible Handhabung des PROMET SE durch Akkubetrieb als Stand-Alone-Messgerät und in Kombination mit einem Schaltgeräteprüfsystem ACTAS zur statischen und dynamischen Widerstandsmessung machen das universelle Messgerät besonders geeignet für den mobilen Einsatz in Schaltanlagen und Industrieumgebungen, wo eine hochpräzise Bestimmung von Widerständen im Mikroohmbereich gefordert ist.

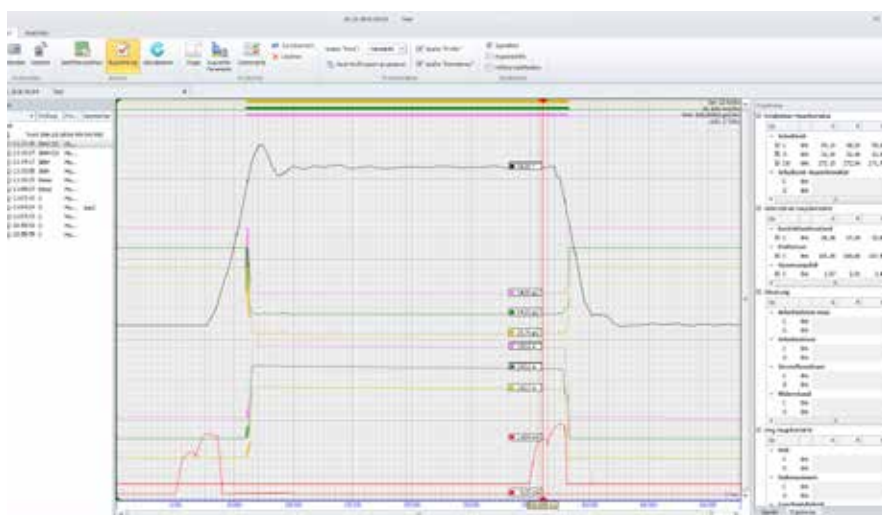


Bild 5: Auswertung einer dynamischen Widerstandsmessung mit PROMET SE in Kombination mit dem Schaltgeräteprüfsystem ACTAS P360

## WIDERSTANDSMESSUNG

### Fazit

Beim Verteilen der elektrischen Energie ist zu bedenken, dass durch schlechte Verbindungen Verluste entstehen, für deren Ausgleich zusätzliche Leistung vom Energieerzeuger bereitgestellt werden muss. Beim Herstellen einer elektrischen Verbindung ist daher darauf zu achten, dass eine Alterung eingeschränkt wird und eine wartungsarme und zuverlässige Verbindung entsteht.

Durch eine Bestimmung des Übergangswiderstandes beziehungsweise der Güte einer Verbindung, kann im Rahmen der Montage und Wartung von Hochstromverbindungen und Schaltgeräten eine korrekte Verbindung nachgewiesen und eine Verringerung der elektrischen Verluste, eine Verlängerung der Lebensdauer und eine Erhöhung der Anlagensicherheit erzielt werden.

### Quellen

- [1] Burkhard, G.: Schaltgeräte der Elektrotechnik, VEB Verlag Technik, 1. Aufl., Berlin 1985.
- [2] Gremmel, H.; Kopatsch, H. (Hrsg.): Schaltanlagen Handbuch ABB, Cornelsen Verlag Scriptor GmbH & Co. KG, 11. Aufl., Berlin 2011.
- [3] Böhme, H.: Mittelspannungstechnik, Verlag Technik GmbH, Berlin/München 1992.
- [4] Richter, F.: Verfahren zur Durchführung und Bewertung von Schaltgeräteprüfungen, etz 124. Jg. (2003), H. 15, S. 2 - 4.
- [5] Studen, Ch.: Actas P260+ P360+ Schaltgeräte zeit- und kostensparend prüfen, Anforderungen an professionelle Prüfsysteme, netzpraxis 56. Jg. (2017), H. 9, S. 10 - 13.
- [6] IEC 62271-100:2008 High-voltage switchgear and controlgear - Part 100: Alternating current circuit-breakers (IEC 62271-100:2008), VDE Verlag GmbH, Berlin.
- [7] KoCoS MESSTECHNIK AG, Korbach: [www.kocos.com](http://www.kocos.com)



**KoCoS Messtechnik AG**  
Südring 42  
34497 Korbach, Germany  
Phone +49 5631 9596-40  
[info@kocos.com](mailto:info@kocos.com)  
[www.kocos.com](http://www.kocos.com)



## PROMET R300 | R600



### Hochgenaue Mikroohmmeter

**PROMET R300 und R600** liefern einen von der Netzspannung unabhängigen, variabel einstellbaren Prüfstrom von bis zu 600 A.

- Beurteilung von Kontaktsystemen
- Konstante Prüfströme bis 600 A
- Widerstandsbestimmung an drei Messstellen
- Kontaktwiderstandsbestimmung bei beidseitiger Erdung
- Messung mit Temperaturkompensation
- Beurteilung der Güte von Verbindungen
- Externe Steuerung für den Einsatz in Prüfständen
- Ergebnisverwaltung und Ausgabe von Prüfberichten per PC

### PROMET - TEST THE BEST!

Klicken Sie bei uns vorbei, wir informieren Sie gerne weiter.

