

Prüfung ortsveränderlicher Erdungs- und Kurzschließvorrichtungen (EuK)

Sichten + Messen = Prüfen!

An ortsveränderlichen EuK können Kupferkorrosion und Litzenbrüche bei einer *Kurzschlussbeanspruchung fatale Folgen* haben. Um mehr Sicherheit für die Beschäftigten zu erreichen, gibt es jetzt ein objektives messtechnisches Verfahren.

Eine wichtige Maßnahme beim Arbeiten an elektrischen Anlagen nach den 5 Sicherheitsregeln ist die 4. Regel „Erden und Kurzschließen“. Damit wird der spannungsfreie Zustand der Anlage für die Dauer der Arbeiten gegen Beeinflussungsspannungen, atmosphärische Überspannungen, unvorhergesehene Rückeinspeisungen und irrtümliches Wiedereinschalten gesichert. Doch auch diese Sicherheitsmaßnahme ist nur so gut wie die dazu verwendeten Mittel [1].

An ortsveränderlichen Erdungs- und Kurzschließvorrichtungen (im Weiteren „EuK“ genannt) können Querschnittsveränderungen durch Kupferkorrosion und Litzenbrüche bzw. erhöhte Widerstände in den Verbindungen fatale Folgen bei Kurzschlussstrombeanspruchung haben. Mangelhafte Vorrichtungen stellen aus berufsgenossenschaftlicher Erfahrung ein Sicherheitsrisiko dar. Deshalb müssen EuK vor jeder Benutzung und in regelmäßigen Zeitabständen geprüft werden [2].

Bisher ist das wirtschaftlich vertretbar nur über eine optische Begutachtung durch den Anwender selbst oder Dienstleister möglich. Handlungsanleitung dazu ist der Flyer „Arbeitstäglige Sichtprüfung von Erdungs- und Kurzschließvorrichtungen (EuK)“ der BG ETEM [3], der zusammen mit dem Normungskomitee für die

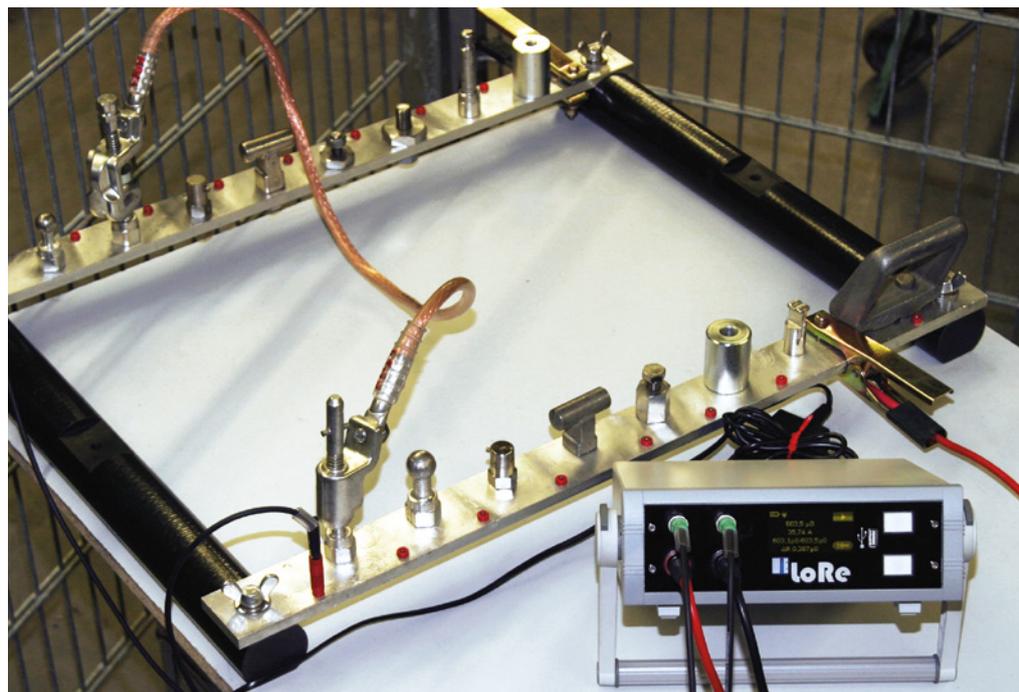


Bild 1: Prüfaufbau des messtechnischen Prüfverfahrens für EuK mit Mikroohmmeter LoRe

VDE 0683-100 [6] erarbeitet wurde. Doch eine Sichtprüfung ist immer eine subjektive Begutachtung. Da insbesondere innere, verdeckte Mängel nicht erkannt werden, führt sie zu unscharfen Interpretationen. Deshalb entschloss sich die BG ETEM zu einem Forschungsauftrag für die Entwicklung eines objektiven mess-

technischen Verfahrens und vergab diesen an die Hochschule für Technik und Wirtschaft (HTW) Dresden. Das daraufhin entwickelte technische Prüfverfahren wurde erstmals während der 16. Vortragsveranstaltung ELEKTROTECHNIK 2012 in Kassel vorgestellt [4].

Im Folgenden soll die Frage beantwortet werden, wie sich das neue Prüfverfahren in der Praxis bewährt hat.

Beschreibung des Prüfverfahrens

Bereits in der amerikanischen Norm ASTM F2249-3 [5] wird ein elektrisches Messverfahren für die Prüfung von EuK beschrieben. Dabei wird ein gemessener absoluter Widerstandswert mit einem berechneten ohmschen Referenzwert verglichen. Es ist ein statisches Verfahren, bei dem die Vorrichtung ruht.

Grundlagenuntersuchungen [7] haben jedoch ergeben, dass lokale Beschädigungen wie zum Beispiel Litzenbrüche im

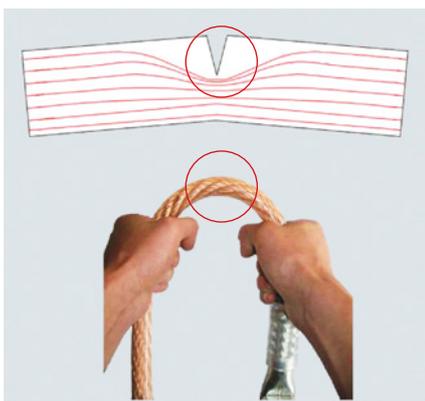
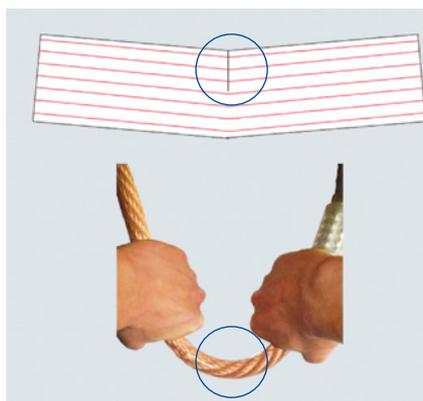


Bild 2: Bewegung eines defekten Leiterseiles



Querschnitt (mm ²)	16	25	35	50	70	95	120	150
Widerstandsänderung neuwertig ΔR_s ($\mu\Omega$)	25	13	9	8	6	5	4	3
Widerstandsänderung gebraucht ΔR_s ($\mu\Omega$)	100	52	36	32	24	20	16	12
Widerstandsänderung ΔR_v ($\mu\Omega$)	267	171	120	86	60	45	36	27
Widerstandbelag $R' = r$ ($\mu\Omega/m$)	1935	1240	885	620	440	325	255	205

Bild 3: Grenzwerte für neuwertige und gebrauchte EuK

Leiteseil nur beim Bewegen der EuK erkannt werden können. Deshalb verfügt das neue Verfahren über eine statische und eine dynamische Prüfungskomponente: neu ist die Messung der relativen Widerstandsänderung.

Im Ergebnis kann jetzt eine EuK in drei Schritten geprüft werden.

- Schritt 1: optische Prüfung auf sichtbaren Zustand und Schäden an der EuK
- Schritt 2: statische Prüfung – Messung des absoluten Widerstandwertes an der ruhenden EuK
- Schritt 3: dynamische Prüfung – Messung der relativen Widerstandsänderung an der bewegten EuK

Beim Schritt 3 wird die EuK während des Messens bewegt und so die relative Widerstandsänderung ΔR ermittelt. Diese relative Widerstandsänderung ΔR entsteht, wenn das Leiteseil an der Defektstelle bewegt wird, sich dabei Einzellitzen trennen und wieder treffen, dabei das elektrische Strömungsfeld beeinflussen und somit den Widerstand in Relation dazu verändern (Bild 2). Für diese relative Widerstandsänderung ΔR wurden Grenzwerte theoretisch berechnet und experimentell bewiesen.

An bereits gebrauchten EuK werden folgende Werte gemessen und mit den zuvor ermittelten Grenzwerten verglichen:

- Gesamtwiderstand an der ruhenden Vorrichtung,
- Widerstandsänderung am Seil durch Bewegung des Seils,
- Widerstandsänderung in der Nähe des Verbinders durch Ziehen.

Es zeigte sich auch, dass für neuwertige EuK andere Grenzwerte gelten müssen als für gebrauchte EuK. Im Rahmen der Praxiserprobung wurden zum Nachweis von Schäden vor allem gebrauchte Leiter unter-

sucht. Bei gebrauchten EuK sind die Einzellitzen stärker oxidiert als bei neuen EuK, was sich in deutlich schlechterer Querleitfähigkeit beim Bewegen zeigt. Dies wird mit unterschiedlichen Grenzwerten in der Tabelle berücksichtigt (Bild 3).

Prüfaufbau

Zum Erfassen des absoluten und relativen Widerstands wird ein speziell angepasster Prüfaufbau verwendet. Dieser besteht aus dem Mikroohmmeter [8], einem Schienenaufbau aus Aluminium mit entsprechenden Festpunkten zum Anschließen der EuK (Bild 1) und einer Software zur automatischen Auswertung der gemessenen Widerstandswerte. Dabei werden die gemessenen Werte mit den zuvor berechneten Grenzwerten gemäß Bild 3 verglichen und ausgewertet.

Praktische Durchführung der Messung

Nach Aufbau des Komplettsystems und dessen Verbindung mit dem Laptop erfolgt eine Referenzmessung zur Funktionskontrolle, zum Beispiel an einer einpoligen EuK mit bekannten Messwerten.

Die zu messende EuK wird als Prüfling vorbereitet: die Seilquerschnitte werden abgelesen, die Seillängen händisch gemessen und diese Werte zusammen mit der Umgebungstemperatur in die Software eingetragen (Bild 4). Aus diesen Werten ermittelt die Software automatisch die Grenzwerte der Vorrichtung und zeigt diese an.

Der so vorbereitete Prüfling wird an die Schienen angeschlossen. Die erforderlichen Messschritte werden von der Software vorgegeben; so kann kein Prüfschritt oder Messwert übersehen werden. Zuerst wird der absolute Widerstandswert eines Messabschnittes gemessen. Anschließend wird durch das Bewegen des Leiteseiles der relative Widerstandswert des Leiteseiles sowie der Pressverbindungen gemessen.

Automatisch vergleicht die Software alle Mess- und Grenzwerte. Sobald ein Messwert den Grenzwert überschreitet, wird das Wertefeld „rot“ gekennzeichnet und die EuK als defekt bewertet (Bild 4).

Nun fordert die Software zur optischen Prüfung auf und verlangt deren Ergeb-



Bild 4: Benutzeroberfläche der Software

niseintrag. Abschließend steht das Gesamtergebnis der Prüfung bereit und wird von der Software dokumentiert. In der praktischen Bewertung der Messergebnisse zeigte sich, dass die üblichen Messwerte deutlich günstiger liegen als die Grenzwerte. Bei Prüflingen, deren Messwerte nahe am Grenzwert liegen, soll der Grund für die Abweichung vom üblicherweise erwarteten Wert festgestellt werden.

Für eine vorbeugende Instandhaltung wird das Gesamtergebnis als Ampel-Funktion angezeigt, d. h. das Ergebnis ist am PC farbig hinterlegt und zudem im Protollausdruck beschrieben.

- „Grün“: Grenzwerte hervorragend eingehalten
- „Gelb“: Grenzwerte gerade noch eingehalten = für Instandhaltung einplanen
- „Rot“: Grenzwerte nicht eingehalten = EuK reparieren lassen oder aussondern

Das Prüfergebnis steht als PDF-Protokoll zur Verfügung und es kann in einer Excel-Datei verwaltet werden. Die geprüfte EuK wird noch gekennzeichnet, um sie eindeutig identifizieren zu können (Bild 5).

Ergebnisse der Verfahrenserprobung

Insgesamt wurden 261 EuK, die von Energieversorgern und Industrieanwendern im In- und Ausland bereitgestellt wurden, untersucht. Es wurden EuK namhafter Hersteller überprüft, davon 41 % dreipolige und 59 % einpolige. Da für die Untersuchungen vor allem ältere gebrauchte EuK bereitgestellt wurden, liegt das Gesamtschadensergebnis mit 68 % relativ hoch. Unter normalen Betriebsbedingungen wird der Anteil der defekten EuK geringer ausfallen.

41 % der beschädigten EuK weisen einen globalen Leiterschaden (absoluter Gesamtwiderstandswert der Vorrichtung ist zu hoch) auf. Der Anteil lokaler Seilschäden (erhöhter Widerstandswert beim Bewegen des Leiterseiles) liegt bei 22 %, der der lokalen Verbinderschäden (erhöhter Widerstandswert beim Ziehen des Verbinders) beträgt 31 %. Ca. 40 % der EuK hätten bereits nach der Sichtprüfung ausgesondert werden müssen, wurden aber für die Praxiserprobung des Verfahrens dennoch messtechnisch geprüft.

In der Praxis werden bei der Sichtprüfung die Vorgaben der BG ETEM [3] sehr unterschiedlich und subjektiv interpretiert. Die Erfahrungen zeigen, dass viele

EuK-Vorrichtungen noch im Einsatz sind, die nach gewissenhafter Sichtprüfung hätten ausgesondert werden müssen.

Eine Blindstudie mit 17 EuK, bei der zwei Messingenieure unabhängig voneinander und ohne gegenseitige Kenntnis die optische und die elektrische Prüfung ausführten, hat dies bestätigt. Nur 76 %

der Ergebnisse bei den optischen Begutachtungen stimmten überein, während bei den elektrischen Messungen 94 % der Ergebnisse übereinstimmend waren.

Praxisbeispiel A

Bei der Prüfung einer einpoligen EuK (Bild 6) stieg der Widerstandswert ΔR

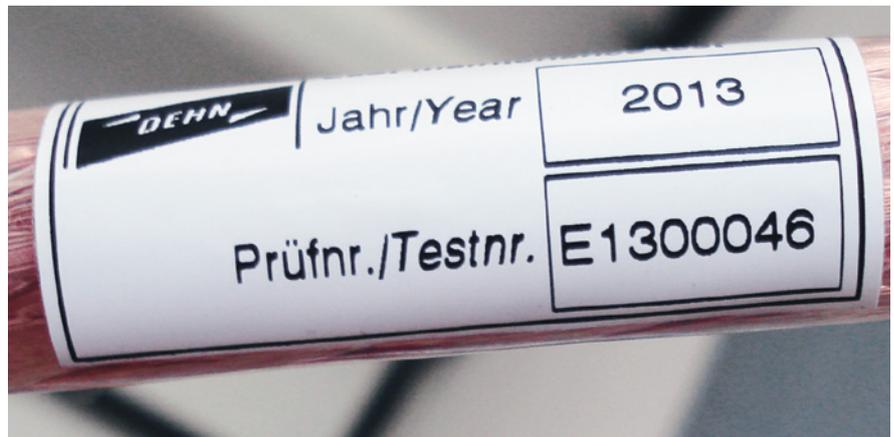


Bild 5: Kennzeichnung der geprüften EuK



Bild 6 (links): Mit dem Verfahren erkannter Fehler im Leiterseil



Bild 7 (unten): 3-D-Computertomografie Messaufbau, mit Kennzeichnung: Rot für Messbereich, Blau für Drehachse (rechts unten).



beim Bewegen des Seiles in einem bestimmten Seilabschnitt sprunghaft an und ging weit über den Grenzwert hinaus. Dieser sprunghafte Anstieg zeigte an, dass eine Fehlerstelle vorliegen könnte.

Äußerlich waren keine Auffälligkeiten erkennbar. Nach dem Entfernen des PVC-Mantels und Aufdrehen der Kupferseele zeigte das innenliegende Kupferseil eine starke Schwarzverfärbung. Die Verfärbung ist eine Folge fortgeschrittener Kupferkorrosion und bedeutet eine Minderung des effektiv verfügbaren Querschnitts. Einer Beanspruchung im Fehlerfall mit Nenndaten (Bemessungskurzschlussstrom und -zeit) würde diese EuK nicht standhalten, und dies würde zu einer Gefährdung des Monteurs an der Anlage führen.

Praxisbeispiel B

Mit der Computertomografie (CT) können Schnittbilder von EuK aufgenommen und rechnerbasiert ausgewertet werden. Ausgewählte EuK, die das neue Prüfverfahren als schadhaft erkannt hatte, wurden mit dem CT-Gerät METROTOM® 1500 bei der Firma Carl Zeiss untersucht. Der geometrische Messbereich dieses CT-Geräts beträgt jedoch nur ca. 3,5 cm (Bild 7).

Ein Ergebnis der Tomografieuntersuchung zeigt Bild 8. Der Prüfling zeigt starke Einschnürungen einzelner Kupferstränge, größere Hohlräume im Seil sowie mehrere Unterbrechungen von Einzelleitern. Dieselbe Beschädigung des Leiterseiles wurde durch das EuK-Prüfverfahren erkannt und detektiert. Das beweist, dass bisher nur mit der aufwendigen und teuren Computertomografie erkannte Fehler auch mit dem neuen und relativ einfachen EuK-Prüfverfahren nachweisbar sind.

Zusammenfassung

Sichtprüfungen allein genügen nicht, um alle Schäden an EuK zu erkennen. Verdeckte Schäden sind dabei nicht feststellbar. Es ist davon auszugehen, dass in der Praxis EuK-Vorrichtungen mit inneren Schäden im Einsatz sind oder vorgehalten werden. Für objektive und reproduzierbare Prüfergebnisse ist ein Messverfahren mit einem Mikroohmmeter und entsprechendem Prüfaufbau erforderlich.

Die Ergebnisse zeigen, dass eine Kombination aus optischer Sichtprüfung und messtechnischem Prüfverfahren die Sicherheit der EuK erhöht.

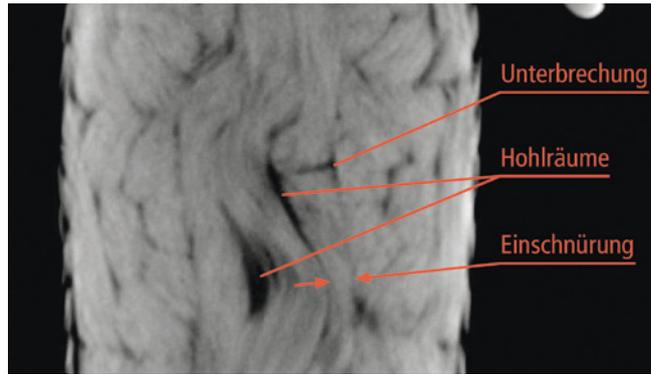


Bild 8: Ergebnis Computertomografie

Während der Praxiserprobung wurden der Messablauf, das Mikroohmmeter und die verwendete Software stets weiterentwickelt, um einen praktikablen und effektiven Einsatz sicherzustellen. Gegenüber den bekannten zerstörungsfreien Prüfverfahren (Thermografie, 3-D-Röntgenuntersuchung, Ultraschalluntersuchung) bietet das neue EuK-Prüfverfahren praktische Vorteile. Es kann nicht nur im Labor, sondern auch beim Anwender direkt vor Ort von einer Elektrofachkraft durchgeführt werden.

Das von der Software automatisch erzeugte Protokoll dient als Nachweis für die erfolgte technische Überprüfung, die in angemessenen Abständen erfolgen soll. Je nach den Einsatzbedingungen vor Ort wie Beanspruchung, Häufigkeit der Benutzung und Umgebungsbedingungen sind angemessene Prüffristen erforderlich.

In Anlehnung an Prüffristen für kapazitive Hochspannungsprüfer empfiehlt sich eine Frist von sechs Jahren. Das neue Prüfverfahren für die Wiederholungsprüfung von EuK kann von befähigten Anwendern selbst durchgeführt oder von Herstellern als Dienstleistung erbracht werden.

Dipl.-Ing. (FH) Wolfgang Meier,
Produktmanagement Arbeitsschutz, DEHN + SÖHNE,
Neumarkt

Prof. Dr. Ing. Ralf-Dieter Rogler,
Hochschule für Technik und Wirtschaft (HTW),
Dresden

Dipl.-Ing. (TH) Heida Maria Leonhardi,
Fachgebiet Elektrische Gefährdungen, BG ETEM, Köln

info

Die BG ETEM wird eine Berufsgenossenschaftliche Information (BGI) zum Thema „Sicherheit von Erdungs- und KurzschlieÙvorrichtungen“ erstellen.

Quellenverzeichnis

- [1] „Arbeitsschutzgesetz verpflichtet! – Gebrauch und Instandhaltung von ortsveränderlichen Erdungs- und KurzschlieÙvorrichtungen“, DEHN + SÖHNE - Druckschrift 153 / 07.13
- [2] Dipl.-Ing. Leonhardi, Heida Maria: „Wiederholungsprüfungen von Erdungs- und KurzschlieÙvorrichtungen“, BG ETE (jetzt BG ETEM), Brücke Ausgabe 4/2009, S. 10-12
- [3] BG ETEM Flyer „Arbeitstäglliche Sichtprüfung von Erdungs- und KurzschlieÙvorrichtungen (EuK)“, Stand: August 2013, BG ETEM, S 034
- [4] Prof. Dr. Ing. Rogler, Ralf-Dieter; Dipl.-Ing. Leonhardi, Heida Maria: „Verfahren zur Prüfung von Erdungs- und KurzschlieÙvorrichtungen“, 16. Vortragsveranstaltung ELEKTROTECHNIK, Kassel 2012, S. 79-83, BG ETEM, M 026
- [5] ASTM F2249 -03: „Standard Specification for In-Service Test Methods for Temporary Grounding Jumper Assemblies Used on De-Energized Electric Power Lines and Equipment“, ASTM International, West Conshohocken, PA, USA (American Society for Testing and Materials (ASTM))
- [6] DIN EN 61230 (VDE 0683-100): 2009-07, „Arbeiten unter Spannung: Ortsveränderliche Geräte zum Erden oder Erden und Kurzschließen“ (IEC 61230: 2008); Deutsche Fassung EN 61230: 2008, VDE-Verlag GmbH, Offenbach und Berlin
- [7] Dr. Ing. Brocke, Ralph: „Bewertung von Verfahren zur Wiederholungsprüfung an Erdungs- und KurzschlieÙvorrichtungen“, Np. Jg. 48(2009), Heft 12, S. 20-24
- [8] Bedienungsanleitung „Mikroohmmeter LoRe EuK“, April 2014, Werner-Industrielle-Elektronik GmbH, Kreischa