

Brandschutz in elektrischen Anlagen (1) – Verbindungsmaterial

A. Hochbaum, H. Birke, H. Schmolke, Köln

Im Zusammenhang mit der Planung und dem Betreiben von elektrischen Anlagen muß immer vom Brandschutz die Rede sein, denn die Elektrizität gehört auch heute noch zu den häufigsten Brandursachen.

Im Beitrag werden die Eigenschaften von Verbindungsmaterialien (Klemmen) beschrieben, auf die der Anwender zu achten hat.

Brandgefahren entstehen durch die falsche Nutzung der elektrischen Energie. Diese können Elektrofachkräfte und Planer im allgemeinen nicht beeinflussen. Es gibt aber auch viele Brandgefahren infolge falscher Planung, Montage oder Errichtung von elektrischen Anlagen. Dafür sind die entsprechenden Fachkräfte verantwortlich. Da Schraub- und schraubenlose Klemmen vor allem in der Installationstechnik besondere Bedeutung erlangt haben, sind sie Gegenstand der Abhandlung. Die Aussagen gelten für Verbindungsmaterial in Niederspannungsanlagen bis 1000 V AC und Frequenzen bis 1000 Hz oder 1500 V DC.

1 Verbindungsmaterial

1.1 Allgemeines

Dieses Material dient dem Verbinden von Kabeln und Leitungen untereinander bzw.

dem Verbinden von Kabeln und Leitungen mit elektrischen Betriebsmitteln.

Verbindungsmaterialien – nachfolgend als Klemmverbindungen oder Klemmen bezeichnet – werden wie kaum ein anderes Betriebsmittel in allen Bereichen der Elektrotechnik eingesetzt.

Bei der Gestaltung von Leitungsanschlüssen und -verbindungen spielen Klemmen eine wichtige Rolle. Sie sind nach dem Lösen ohne besondere Maßnahmen wiederverwendbar. Sie bieten deshalb Flexibilität und oft finanzielle Einsparungen. Den Vorteilen stehen jedoch auch Nachteile gegenüber.

Klemmverbindungen sind in der Regel immer mit einem Übergangswiderstand $R_{\bar{U}}$ behaftet. Er wird vom Klemmenmaterial, der Konstruktion und vor allem von der Kontaktkraft bestimmt. Der Übergangswiderstand bedingt stets eine Verlustleistung, die proportional der Größe dieses Übergangswiderstands ist:

$$P_V \sim R_{\bar{U}}$$

Die Verlustleistung P_V an der Klemmverbindung erzeugt Wärme. Verbindungen, bei denen sich beispielsweise durch umweltbedingte und/oder betriebliche Einflüsse geklemmte Leitungen gelockert haben, werden zu einer Unfall- und Brandgefahr. Fehlerhafte Klemmverbindungen erreichen nämlich Temperaturen von 800°C und mehr.

Elektrische Betriebsmittel nehmen eine Spitzenstellung unter den Brandursachen ein. Klemmen sind hieran maßgeblich beteiligt.

1.2 Bauarten und Normen

Klemmen sind nach DIN-VDE-Bestimmungen lösbare Anschlüsse und Verbindungen, bei welchen der oder die Leiter in erster Linie „unvorbereitet“ anzuschließen sind. Der Ausdruck „unvorbereitet“ bezeichnet einen Leiter, an dessen abgeschnittenem Ende vor dem Einführen in eine Klemme die Isolierung entfernt wurde. Im Gegensatz hierzu gilt ein Leiter als vorbereitet, wenn dessen Ende mit einer

Öse, Hülse oder einem Kabelschuh versehen ist.

DIN 46289 Teil 1 „Klemmen für die Elektrotechnik“ klassifiziert nach der Anwendung und beschreibt die Begriffe.

Schraubklemmen sind nach Verwendung, Konstruktion und Kontaktkraftübertragung definiert.

Zu schraubenlosen Klemmen wird nur die Grundanforderung angegeben.

Sonstige ebenfalls in der Praxis gebräuchliche Anschluß- und Verbindungsmittel, wie Steck-, Klammer-, Drahtwickel- und Lötanschlüsse, werden nur bildlich dargestellt. Diese und weitere Formen, z. B. Würgeverbindungen, schaltbare Klemmen, Trenn-, Abgleich- und Sicherungsklemmen, bleiben in den Normen bislang unberücksichtigt, obwohl sie ebenfalls dem Stand der Technik entsprechen. Die Vielzahl der unterschiedlichen Bauarten von Klemmen machte es erforderlich, nur den Teil einer Klemme zu normen, der zur Aufrechterhaltung der Kontaktkraft dient. Dieser Teil der Klemme wird gemäß VDE-Bestimmung „Klemmstelle“ genannt und wie folgt definiert:

„Die Klemmstelle bezeichnet den Teil (die Teile) einer Klemme, der (die) für die mechanische Klemmung und den elektrischen Anschluß des Leiters (der Leiter) notwendig ist (sind), einschließlich der Teile, die erforderlich sind, um den ordnungsgemäßen Kontaktdruck sicherzustellen.“ Bei einer Schraubklemme sind dies z. B. der Klemmkörper mit Muttergewinde, das Druckübertragungsteil und die Klemmschraube (Bild 1). Bei einer schraubenlosen Klemme gehören der Kontakteinsatz bestehend aus Klemmkörper und Klemmfeder dazu (Bild 2).

Die Anforderungen und Prüfungen für Klemmstellen sind bzw. werden in zwei Normen festgelegt:

- DIN EN 60999 (deutsche Klassifikation VDE 0609 Teil 1): Verbindungsmaterial, Sicherheitsanforderungen für Schraubklemmstellen und schraubenlose Klemmstellen für elektrische Kupferleiter,
- Entwurf DIN VDE 0609-101 (Entwurf VDE 0609 Teil 101): Verbindungsmaterial, Sicherheitsanforderungen für Schraubklemmstellen und schraubenlose Klemmstellen für elektrische Kupferleiter.

Die VDE 0609 Teil 1 behandelt Klemmen für den Anschluß elektrischer Kupferleiter – starr (ein- oder mehrdrätig) und/oder flexibel. Letztere haben einen Querschnitt von 0,5 bis einschließlich 35 mm². Ihre Bemessungswerte entsprechen den einleitend genannten Angaben.

Im Teil 101 der VDE 0609 werden Klemmen für Kupferleiter – mehrdrätig und/oder flexibel – mit einem Querschnitt von 35 mm² flexibel und mehr als 35 mm² mehrdrätig bis einschließlich 300 mm²

Brandschutz

Artikel-Serie

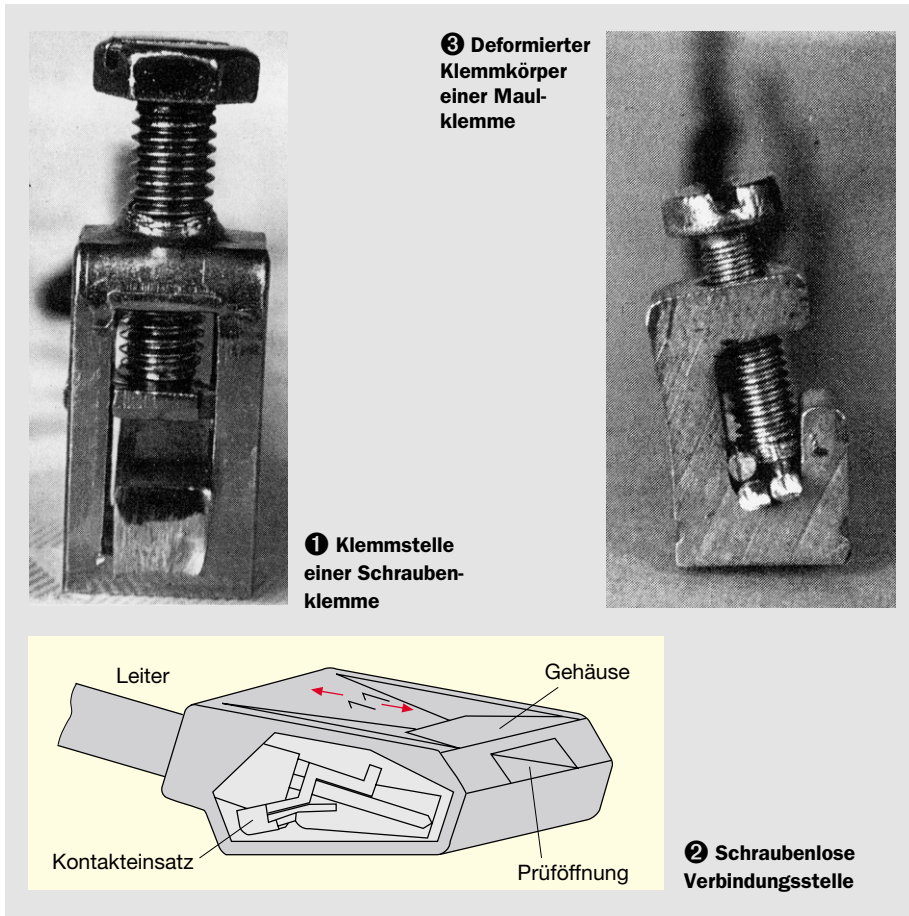
Dieser Beitrag ist der erste Teil einer vierteiligen Serie der Autoren zum Thema Brandschutz in der Elektroinstallation.

Die weiteren Artikel in folgenden ep-Ausgaben behandeln die Themen:

- Brandschutz bei Kabeln und Leitungen,
- Brandschutz bei Leuchten und Beleuchtungsanlagen,
- Brandschutz in besonderen Anlagen.

Autoren

Dipl.-Ing. A. Hochbaum, Dipl.-Ing. H. Birke, beide vom Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft (GDV); Dipl.-Ing. H. Schmolke, VdS Schadenverhütung GmbH, ein Tochterunternehmen des GDV.



erläutert. Diese beiden Normen gelten als Basis für alle Betriebsmittelbestimmungen.

1.3 Sicherheitstechnische Anforderungen

Gemäß VDE 0609 Teil 1 und Teil 101 müssen Klemmstellen so konstruiert und gebaut sein, daß sie im bestimmungsgemäßen Gebrauch betriebssicher und ohne Gefahr für den Anwender oder die Umgebung sind.

Von diesem allgemein formulierten Schutzziel für Klemmstellen leiten sich folgende spezielle Anforderungen ab:

1. Klemmstellen müssen so beschaffen sein, daß sie den bei bestimmungsgemäßem Gebrauch zu erwartenden mechanischen, elektrischen, thermischen und korrosiven Beanspruchungen standhalten.
2. Klemmstellen müssen so beschaffen sein, daß Leiter nicht fehlerhaft einzuführen sind, nicht unzulässig beschädigt werden und nicht ausweichen können.
3. Klemmstellen müssen so konstruiert und gebaut sein, daß sie den Leiter zuverlässig und zwischen Metallflächen klemmen.

Diese Anforderungen sind mit den in den Bestimmungen enthaltenen mechanischen und elektrischen Prüfungen nachzuweisen bzw. zu erfüllen.

1.4 Werkstoffe und Anwendungen

Die verwendeten Metalle für Klemmstellen sind Messing, Stahl und Kupfer.

Bei Messing ist zu beachten, daß in ammoniakhaltiger Atmosphäre eine Spannungsrißkorrosion auftreten kann. Durch entsprechende thermische Behandlung sowie durch Erhöhung des Kupferanteils wird Messing den gestellten Anforderungen gerecht.

Kupfer und Kupferlegierungen sind für Klemmstellen vorzusehen, an denen ein guter elektrischer Leitwert erforderlich ist (Strombrücken). Kupferlegierungen werden eingesetzt, wenn chemische Verunreinigungen am Einbauort auftreten. Bei Verwendung von Kupfer muß die geringe mechanische Festigkeit berücksichtigt werden.

Stahl mit entsprechender Oberflächenbehandlung oder Stahllegierungen sind für hohe mechanische Beanspruchungen, z. B. Klemmschrauben und Klemmfedern, oder bei korrosiver Atmosphäre einzuplanen. Neben Stahl werden auch Kupfer und Messing oberflächenbehandelt, um die unterschiedlichen Umwelteinflüsse zu beherrschen und einer schnellen Korrosion der Klemmstelle vorzubeugen. Der Oberflächenbehandlung von Kupfer- und Messingteilen dienen Zinn und Zinn-Blei-Kombinationen, sofern sie als stromführende Teile einer

Klemmen

Werkstoffe

Die Bestimmungen fordern, daß Teile von Klemmen, die vorwiegend zur Stromführung bestimmt sind, aus Metall bestehen müssen. Gemäß VDE 0609 Teil 1 können dies folgende Metalle sein:

- Kupfer,
- eine Legierung mit einem Kupferanteil von mindestens 58 % bei kaltverarbeiteten Teilen oder von mindestens 50 % bei anderen Teilen,
- ein anderes Metall mit Oberflächenschutz, dessen Korrosionsbeständigkeit nicht geringer ist als die von Kupfer, und mit mindestens gleichwertigen mechanischen Eigenschaften.

Die VDE 0609 Teil 101 benennt die „anderen Metalle“ wie folgt:

- rostfreier Stahl, bestehend aus mindestens 13 % Chrom und nicht mehr als 0,09 % Kohlenstoff,
- Stahl, versehen mit einem galvanischen

Überzug aus Zink, nach ISO-Norm 2081. Der Überzug muß mindestens eine Dicke von 5 µm haben.

- Stahl, versehen mit einem galvanischen Überzug aus Nickel und Chrom, nach ISO-Norm 1456. Der Überzug muß eine Dicke von mindestens 20 µm haben.
- Stahl, versehen mit einem galvanischen Überzug aus Zinn, nach ISO-Norm 2093. Der Überzug muß eine Dicke von mindestens 12 µm haben.

Darüber hinaus schränkt die VDE 0609 Teil 101 die Tauglichkeit der aufgeführten Metalle folgendermaßen ein:

- Stromführende Teile, die einem mechanischen Verschleiß ausgesetzt sind, dürfen nicht aus Stahl mit einem galvanischen Überzug sein.
- Unter feuchten Bedingungen dürfen Metalle, die eine große elektrochemische Potentialdifferenz aufweisen, nicht miteinander in Kontakt gebracht werden.

Klemmstelle Verwendung finden. Nicht stromführende Teile bestehen aus Messing mit einer Nickelschicht. Stahlkomponenten werden mit Zink, Nickel, Chrom und Zinn oberflächenbehandelt.

Eine Verletzung der aufgetragenen Zinkschicht bei Stahlteilen führt nicht zur Korrosion. Die Schutzwirkung wird selbsttätig durch Elektrolyse auf lange Zeit aufrechterhalten. Ein Chromüberzug bildet einen zusätzlichen Schutz gegen eine Verletzung der Zinkschicht.

Abschließend bleibt zu den Werkstoffen folgendes anzumerken:

Gemäß Bestimmungstext müssen Klemmstellen so konstruiert sein, daß der Kontaktdruck nicht über den Isolierstoff, ausgenommen Keramik und reiner Glimmer, übertragen wird. Ausnahme: Es ist hinreichende Federung in den Metallteilen vorhanden, die eine mögliche Schrumpfung oder Dehnung der Isolierstoffe ausgleicht. Isolierstoffe aus Kunststoff besitzen die Eigenschaft zu „fließen“, wenn sie Druck und Temperaturen ausgesetzt werden. Dies führt bei einer Klemmstelle dazu, daß sich der Kontaktdruck verringert und der Leiter ausweicht. Die Folge ist ein ansteigender Übergangswiderstand bzw. Spannungsfall und eine unzulässige Temperaturerhöhung.

1.5 Konstruktion

Um den sicherheitstechnischen Aspekten des Brandschutzes zu genügen, sollten die Klemmstellen einer Schraubklemme so beschaffen sein, daß nur ein Leiter angeschlossen bzw. verbunden werden kann.

Damit wird dem Ausweichen der Leiter und dem Entstehen lockerer Klemmverbindungen wirksam vorgebeugt.

Jedoch dürfen für einige Typen von Schraubklemmstellen zwei oder mehr Leiter desselben oder eines unterschiedlichen Nennquerschnitts kombiniert verwendet werden. Dazu muß der Hersteller Vorschriften über Anzahl und Nennquerschnitt der Leiter machen. Fehlende Angaben oder Unkenntnis des Anwenders können die nachfolgend beschriebene Situation herbeiführen:

Bei dem Versuch, mehrere Leiter mittels einer Maulklemme zu verbinden, war ein Leiter ausgewichen und zwischen Klemmschraube und Klemmkörper-Innenwand geraten (Bild 3). Eine sichere Verbindung der Leiter ist nicht gewährleistet, da die Lage der Leiter die ausreichende Kontaktkraft verhindert. Die Selbstlockerung und somit die Personen- und Brandgefahr ist vorprogrammiert.

Eine weitere Anforderung an Klemmstellen lautet: sie muß neben ihrem Bemessungs-Anschlußvermögen die zwei nächstkleineren Querschnitte aufnehmen können.

Eine Klemme besitzt beispielsweise ein Bemessungs-Anschlußvermögen von 10 mm², was entweder auf der Klemme selbst oder auf der kleinsten Verpackungseinheit mit dem Bildzeichen □ oder in mm² angegeben wird. Diese Klemme kann einen starren Leiter sowohl mit einem Leiterquerschnitt von 10 mm² als auch Leiterquerschnitte von 6 mm² oder 4 mm² aufnehmen.

Gegenüber Vorgängernormen wurde der

Anwendungsbereich für Klemmstellen in Bezug auf das Klemmvermögen von starren (ein-/mehrdrähtigen) und/oder flexiblen (feindrähtigen) Leitern neu definiert. Danach muß gemäß VDE 0609 Teil 1 die Klemmstelle sowohl starre als auch flexible Kupferleiter sicher verbinden. Klemmstellen, die die vorgenannten Anforderungen nicht erfüllen, sind gemäß ihrem eingeschränkten Anwendungszweck wie folgt zu kennzeichnen:

- Schraubklemmstellen, die nur für starre Leiter geeignet sind, mit dem Buchstaben „r“ (rigid (englisch) = starr; ein-/mehrdrähtig)
- Schraubklemmstellen, die nur für flexible Leiter geeignet sind, mit dem Buchstaben „f“ (flexible (englisch) = flexibel; feindrähtig)
- Schraubenlose Klemmstellen, die nur für eindrähtige Leiter geeignet sind, mit dem Buchstaben „s“ oder „sol“ (solid (englisch) = eindrähtig)
- Schraubenlose Klemmstellen, die nur für starre Leiter geeignet sind, mit dem Buchstaben „r“ (rigid (englisch) = starr; ein-/mehrdrähtig).

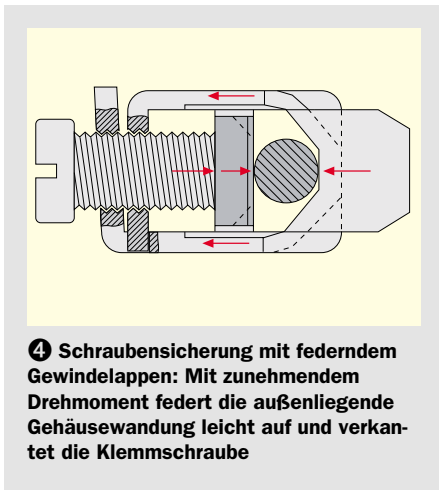
Die Kennzeichnung muß deutlich entweder auf dem Endprodukt, auf der kleinsten Verpackungseinheit oder in der technischen Information und/oder im Katalog angegeben werden.

Auch VDE 0609 Teil 101 schreibt eine entsprechende Kennzeichnung mit den Buchstaben „r“ und „f“ für den eingeschränkten Anwendungszweck der Klemmstelle vor. Mit der neuen Kennzeichnungspflicht für Klemmstellen erhält der Anwender eine weitere Verantwortung.

Um der Anforderung an universell anwendbare Klemmstellen (ohne Kennzeichnung) nachzukommen, wäre es für Klemmstellen mit Schraubklemmen erforderlich, Drückübertragungsteile (zur indirekten Kontaktkraftübertragung mittels eines Druckstücks) vorzusehen, die eine Beschädigung oder das Herausrutschen des Leiters bzw. von einzelnen Drähten des Leiters verhindern. Die Gefahr der Beschädigung besteht besonders bei Klemmstellen für kleine Leiternennquerschnitte, weil in der Praxis Druckübertragungsteile in erster Linie für größere Leiternennquerschnitte Anwendung finden.

Sein Augenmerk muß der Nutzer ebenfalls auf die verschiedenen Konstruktionen der Fußflächen von Klemmschrauben richten. Sowohl kegel- als auch halbkreisförmige Ausführungen verursachen zwangsläufig eine Beschädigung des Leiters.

Eine konstruktiv bessere Lösung bieten Klemmstellen mit Querriefen im Klemmenboden oder Längsriefen im Druckübertragungsteil. Diese Gestaltung erzielt zwischen Leiter und Klemmkörper einen erhöhten Reibungswiderstand sowie eine gasdichte Kontaktierung ohne



4 Schraubensicherung mit federndem Gewindelappen: Mit zunehmendem Drehmoment federt die außenliegende Gehäusewand leicht auf und verankert die Klemmschraube

Beschädigung des Leiters. Die sogenannte Schraubenblockierung oder eine Federwirkung der Klemmschraube verbessert weiter die Klemmwirkung (Bild 4).

Eine andere sicherheitstechnische Anforderung ist gemäß den Bestimmungen das ausschließliche Klemmen von Leitern. Klemmschrauben oder Klemmmuttern dürfen nicht zum Klemmen anderer Teile dienen. Damit wird der Gefahr vorgebeugt, daß die Klemmstelle durch eine ungewollte Handlung gelöst wird.

Aus Sicht der allgemeinen Schadenverhütung ist es positiv zu bewerten, daß an Klemmstellen für Schutzleiter ergänzende bzw. weitergehende Anforderungen gestellt werden. Unter anderen müssen Schrauben oder Muttern von solchen Klemmstellen wirksam gegen zufälliges Lockern gesichert sein. Es darf nicht möglich sein, sie ohne Verwendung eines Werkzeugs zu lösen. Damit wird das versehentliche Aufheben der Schutzmaßnahmen gegen indirektes Berühren wirksam verhindert.

In den Bestimmungstexten sind für Klemmstellen von schraubenlosen Klemmen folgende weitergehende Anforderungen formuliert:

1. Schraubenlose Klemmstellen sind so zu konstruieren und zu bauen, daß ein unsachgemäßes Einführen des Leiters verhindert wird.

Damit diese Anforderung erfüllt wird, muß eine entsprechende Kennzeichnung erfolgen, auf welche Länge der Leiter vor dem Einführen in die Klemmstelle abzuisolieren ist.

2. Bei schraubenlosen Klemmstellen ist das Einführen und Lösen der Leiter nach Anleitung des Herstellers durchzuführen.

Beim Lösen darf kein Zug auf den Leiter ausgeübt werden. Der Vorgang kann bei bestimmungsgemäßem Gebrauch manuell mit oder ohne Hilfe eines Werkzeuges erfolgen.

3. Schraubenlose Klemmstellen zum Verbinden von zwei oder mehr Leitern müssen so konstruiert und gebaut sein, daß

- jeder Leiter einzeln geklemmt ist,
- die Leiter gleichzeitig oder getrennt angeschlossen oder gelöst werden können.

Es muß möglich sein, jede Anzahl von Leitern bis zu dem vorgeschriebenen Maximum sicher zu klemmen.

Durch entsprechende konstruktive Gestaltung des Gehäuses (Isolierung) einer schraubenlosen Klemme wird die Begrenzung der Leitereinführung (Anschlag) von abisolierten Leiterenden gemäß Herstellerangaben garantiert.

1.6 Zusammenfassung

Wie in jeder DIN-VDE-Bestimmung sind auch in diesen europäischen Normen nur die Mindestanforderungen an Klemmstellen aufgeführt und näher beschrieben. So ist es jedem Planer, Errichter und Betreiber freigestellt, darüber hinausgehende Bedingungen an die Sicherheit zu stellen und entsprechende Maßnahmen zu ergreifen. In den VDE-Bestimmungen wird darauf hingewiesen, daß Zusatzforderungen an Klemmstellen in den einschlägigen Bestimmungen für Betriebsmittel und zur Errichtung elektrischer Anlagen mit Bemessungsspannungen bis 1000 V festgelegt sind. So enthält z. B. DIN VDE 0100 Teil 520 (Kapitel 52: Kabel- und Leitungssysteme/-anlagen) spezielle Anforderungen in Bezug auf die Umgebungseinflüsse am Einbauort.

Aus Sicht der Schadenverhütung ist es zu begrüßen, wenn jeder Klemmstelle nur ein Leiter zugeordnet wird.

Nur das Zusammenspiel aller geforderten Einsatzbedingungen und Maßnahmen reduziert die Unfall- und Brandgefahren auf ein vertretbares Mindestmaß.

Bedauerlicherweise zeigt die Praxis zum Teil ein widersprüchliches Bild. Deshalb decken Wiederholungsprüfungen immer wieder gelockerte und gelöste Leiterverbindungen auf. Sie sind ein Indiz für die nicht sachgerechte Auswahl von Verbindungsmaterialien und/oder den falschen Einsatz der Klemmstellen durch den Anwender.

Bei wiederkehrenden Prüfungen hat sich die Infrarot-Temperaturmessung bzw. Thermographie bewährt. Die Farben des Infrarotbildes geben Auskunft über die jeweilige Betriebstemperatur vom Prüfling mit seinen Betriebsmitteln und Klemmen. Dadurch können schnell die Teile einer Anlage ermittelt werden, die durch eine erhöhte Temperatur auffallen. Eine anschließende genaue Untersuchung führt zu den Ursachen der Überhitzung. ■