

Elektrothermografie – objektive Fehlererkennung für jedermann?

AUTOR: DIPL.-ING. FRANK ZAHORSZKI

Das Grundprinzip der Elektrothermografie

Mit einer Infrarotkamera wird die Wärmeabstrahlung von Objekten berührungslos und zerstörungsfrei erfasst und in ein Bild der Oberflächentemperaturen umgewandelt. Bei der thermografischen Inspektion beispielsweise von elektrischen Schaltanlagen verschiedener Spannungsebenen ist dies von Vorteil, da während des Betriebes eine Zustandsanalyse ohne Abschaltung der betreffenden Anlagen vorgenommen werden kann.

Die Erkennung von Fehlern beruht dabei auf der Lokalisierung von Übertemperaturen an thermisch auffälligen Bauteilen und Verbindungen im Vergleich zu fehlerfreien Bauteilen. Diese Übertemperaturen resultieren aus einer erhöhten Verlustleistung (freiwerdende Wärme), die proportional dem Übergangswiderstand und dem Quadrat der Strombelastung ist.

Solche erhöhten Widerstände können zum Beispiel durch Alterung von Verbindungen, ermüdete Kontaktfedern, Benutzung falscher Press- und Kerbwerkzeuge, untergeklebte Isolierungen, abgeriebene Beschichtungen, zu geringe Leitungs- und Verbindungsquerschnitte oder auch falsches bzw. altes Kontaktfett auftreten.

Auf Basis der thermografischen Analyse ist eine Einordnung der erkannten Fehler in verschiedene Gefährdungsklassen möglich. Die erfassten und dokumentierten Fehler werden nach der VdS-Richtlinie



Bild 1: Thermografische Inspektion von Niederspannungsschalt-schränken mit einem getrennten System

2860 „Untersuchungsbericht zur Elektrothermografie“ in gefährliche, thermisch auffällige oder Bauteile/Anlagen ohne thermische Auffälligkeit eingestuft. Die Zuordnung in eine dieser Klassen kann eine sofortige Reparatur oder eine Überprüfung während des nächsten Stillstandes bzw. eine Wiederholungsmessung erforderlich machen.

Die Elektrothermografie ist jedoch auch Einschränkungen unterworfen. So ist eine thermografische Inspektion von Anlagen mit sehr geringer Strombelastung nicht sinnvoll. Fehler sind dabei kaum erkennbar, und eine Hochrechnung auf Vollbelastung kann zu falschen Schlussfolgerungen führen. Auch sind gekapselte Anlagen und An-

lagen mit Berührungsschutzabdeckungen nicht erfolgreich inspizierbar. Die richtige Wahl des Inspektionszeitpunktes ist auch bei Teilanlagen notwendig, die nur zeitweise in Betrieb sind, wie z. B. elektrische Begleitheizungen, Beleuchtungen oder redundante Anlagen. Nicht inspizierte Anlagen oder Betriebsmittel sind im Prüfbericht nach VdS 2860 aufzuführen.

Auswahlkriterien für geeignete Infrarotkameras

In den VdS-Richtlinien 2859:2005-01 „Anerkennung von Sachverständigen für Elektrothermografie (Elektrothermografen)“ sind Anforderungen für zugelassene Infrarotkameras formuliert.



Der Autor dieses Beitrags, **Dipl.-Ing. Frank Zahorszki**, ist VdS anerkannter Sachverständiger für Elektrothermografie und Geschäftsführer der ITEMA GmbH – Infrarot-Thermografie, Engineering, Messtechnik & Automatisierung, Geusa.

Kontakt: zahorszki@itema.de

Die wesentlichen Kriterien sind:

- ❑ Robuste, handgehaltene Kamera (kein Stativ)
- ❑ Geometrische Auflösung < 3 mrad
- ❑ Thermische Auflösung 0,1 Kelvin bei 30 °C
- ❑ Messtemperaturbereich – 20 bis +500 °C
- ❑ Bildwiederholrate > 20 Hz
- ❑ Verschiedene Optiken: Normaloptik (Schaltschränke etc.) und Teleoptik (Freiluftschaltanlagen bzw. luftgestützte Untersuchungen)
- ❑ Getrennter Bildschirm von der Kamera muss vorhanden sein, um schlecht einsehbare Anlagenteile inspizieren zu können (siehe Bild 1).
- ❑ Belastbarkeit in elektrischen und magnetischen Feldern
- ❑ Jährliche Kalibrierung bzw. Überprüfung

Bild 2:
Aufnahme einer Klemmverbindung mit einer 1,3-mrad-Infra-rotkamera.

Bild 3:
Aufnahme einer Klemmverbindung mit einer 1,9-mrad-Infra-rotkamera

Die Anforderung der geometrischen Auflösung von < 3 mrad ist nach Ansicht des Autors allerdings zu weit gefasst, wenn man sich verdeutlicht, wofür diese Angabe im Rahmen der Messung steht. Sie beschreibt – bei einer gegebenen Optik und Kamera – das geometrische Auflösungsvermögen eines einzelnen Bildpunktes der Kamera (IFOV). Je kleiner der angegebene IFOV-Wert in mrad, desto kleiner (bzw. weiter entfernt) kann das zu mes-

sende Objekt sein, um die Temperatur korrekt ermitteln zu können. Bei IFOV-Werten nahe 3 mrad kann es eher dazu kommen, dass ein fehlerhaftes Bauteil oder ein Hot Spot in seinen geometrischen Ausmaßen kleiner ist als ein Bildpunkt. Dann wird in der Kamera eine zu niedrige Temperatur angezeigt, da eine Mittelung der Maximal-Temperatur mit der kühleren benachbarten Umgebungstemperatur erfolgt. Dies trifft besonders bei geringen Kabelquerschnitten oder weit entfernten Messobjekten, wie in Freiluftschaltanlagen, zu.

Marktübliche, für die Elektrothermografie gut geeignete Infrarotkameras haben IFOV-Werte von 1 bis 1,7 mrad für die Normaloptik. Beispielfähig zeigen die Bilder 2 und 3 den Vergleich zwischen einer 1,3-mrad- und einer 1,9-mrad-Kamera aus der gleichen Messposition. Während mit der geometrisch hoch auflösenden Kamera eine Maximaltemperatur von 41,6 °C an der Klemme gemessen werden kann, sind dies bei der Kamera mit 1,9 mrad nur noch 35,6 °C. Da die Fehler in der Regel auf Basis einer Differenztemperatur zwischen Fehler und fehlerfreier Phase bewertet werden, ergeben sich dann jeweils 15,5 °C bzw. nur 10,6 °C Temperaturdifferenz. Es kann daher passieren, dass Fehler infolge mangelnder geometrischer Auflösung der Infrarotkamera in eine zu niedrige Fehlerkategorie eingeordnet werden.

Ähnliche Effekte können auftreten, wenn bei der Messung in Freiluftschaltanlagen (Mittel- und Hochspannung) nicht mit einer Teleoptik gearbeitet werden kann, da dann die Bildpunkte zu groß sind, um Temperaturen exakt zu messen.

Anforderungen an den Elektrothermografen

Bei einem Elektrothermografen werden zunächst anwendungsbezogene Kenntnisse der Thermografie vorausgesetzt. Dazu zählen die Gesetzmäßigkeiten der Strahlungsphysik, die richtige Wahl der Messausrüstung, die Kamerabedienung, die Möglichkeiten und Grenzen der Messmethode und Besonderheiten

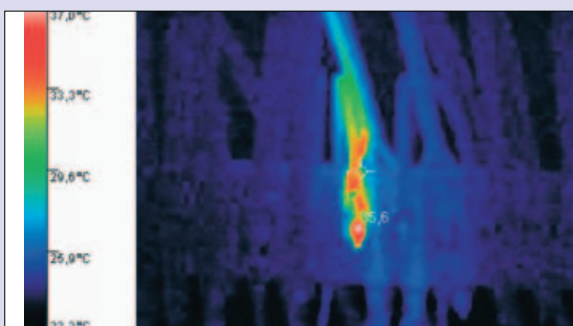
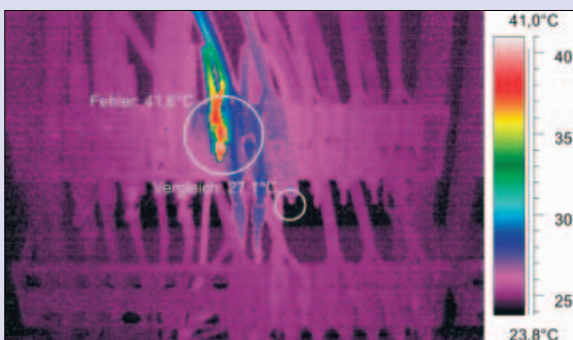
der thermografischen Inspektion in elektrischen Anlagen.

Der Elektrothermograf muss darüber hinaus umfangreiche Kenntnisse zum richtigen Verhalten in elektrischen Anlagen und zu den verschiedenen elektrischen Bauteilen aufweisen. Dazu zählen Art und Alter von Bauteilen, Nutzungscharakteristiken und typische Betriebstemperaturen. Hier gilt es zu wissen: Welche Bauteile erwärmen sich infolge des normalen Stromflusses in welcher Weise, wie bauen sich erhöhte Temperaturen in Abhängigkeit von der Distanz und der zeitlichen Belastung ab, oder wo sind spezielle Bauteile enthalten, welche sich auf Grund ihrer Funktion wesentlich stärker erwärmen, wie z. B. Spulen in Schützen? Als bauteilbedingte Hot Spots zählen auch Wirbelstromerwärmungen an Befestigungsschellen und Stützern, wenn sie ein kritisches Temperaturniveau (insbesondere Gefährdung benachbarter Isolationsmaterialien) nicht überschreiten (Bild 4).

Fehler bei der Messung oder der Interpretation von Elektrothermogrammen

Aufgrund strahlungsphysikalischer Gegebenheiten kommt es bei unerfahrenen Thermografen häufig zur Fehlinterpretation von erkannten Erwärmungen und Temperaturunterschieden.

Die korrekte Darstellung der realen Oberflächentemperaturen ist z. B. bei blanken Metallen problematisch. Hier wird je nach Emissionsgrad des Materials und der Oberfläche auch die Wärmeabstrahlung umliegender Objekte und Anlagen auf der Objekt Oberfläche reflektiert. Im aufgenommenen Infrarotbild wird dann die Eigentemperatur des Objektes durch die Reflexionen der umliegenden Objekte überlagert. Solche Effekte können dazu führen, dass wirkliche Fehler übersehen werden oder Erwärmungen als Fehler interpretiert werden, welche keine sind. Bild 5 und 6 zeigen, wie an einer Kupfersammelschiene hauptsächlich die Temperatur der Umgebung reflektiert wird und sich der



eigentliche Fehler nur an den Schrauben – wegen der besseren Wärmeabstrahlung – erkennen lässt. Auch führen Staubablagerungen auf blanken Bauteilen zu einem höheren Emissionsgrad mit verbesserter Wärmeabstrahlung, die richtig erkannt und bewertet werden müssen.

Bauteilbedingte Erwärmungen können ebenfalls leicht zu falschen Bewertungen führen, wenn Aufbau, Belastung, Einbausituation oder typische Betriebstemperaturen nicht ausreichend bekannt sind oder berücksichtigt werden.

Die **komplette Dokumentation** von (fehlerfreien) Schaltschränken führt oft zu Missverständnissen und ist daher nur in Ausnahmefällen sinnvoll. Im Infrarotbild erkennbare Erwärmungen können sowohl bauteilbedingt als auch fehlerbedingt sein. Sie lassen sich in Übersichtsaufnahmen nicht mehr eindeutig unterscheiden, da die Bauteile selbst nicht deutlich erkennbar sind. Viele (überflüssige) Infrarotaufnahmen zeugen eher von der Unerfahrenheit des Thermografen.

Gleichermaßen sind Ansätze wie in DIN EN 54162 abzulehnen. Hier wird empfohlen, die Messung vor Ort durch einen niedriger qualifizierten Thermografen (Stufe 1) ausführen zu lassen. Ein Spezialist (Stufe 2) soll dann „quasi offline im Büro“ die Fehler bewerten und in Fehlerkategorien einteilen. Diese Vorgehensweise ist fragwürdig, da die Elektrothermografie Entscheidungen vor Ort „am Schaltschrank“ nötig macht, weil nur hier alle relevanten Informationen (beispielsweise Einbau- und Belastungssituation) vorliegen.

Ausbildung und Zertifizierung von Elektrothermografen

Momentan kann der Einsteiger leicht verwirrt werden, angesichts der Vielfalt zur Ausbildung und Zertifizierung. Auszugsweise sollen hier genannt werden:

- ❑ Schulungen der Infrarotkamerahersteller und -vertreiber

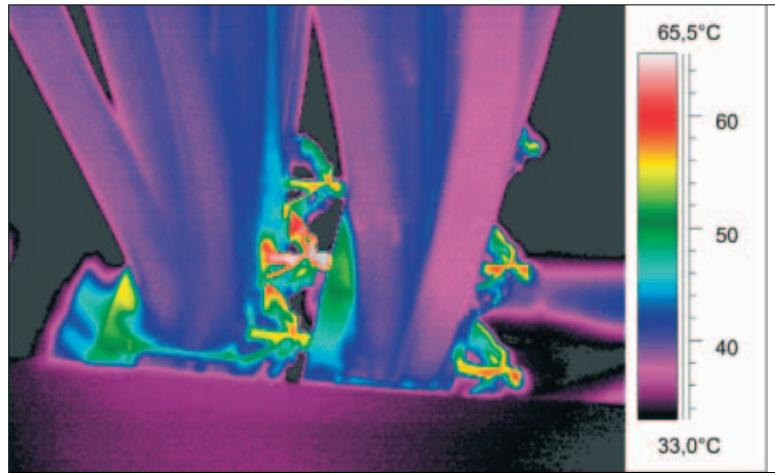


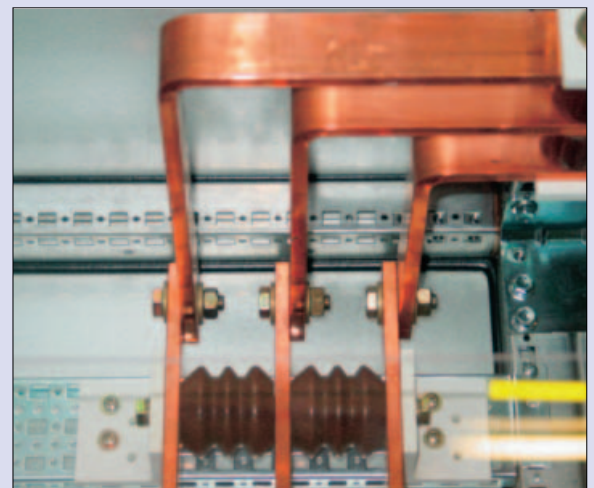
Bild 4: Wirbelstromerwärmungen an Kabelschellen

- ❑ Schulungen von Vereinen und Verbänden
- ❑ Ausbildung und Zertifizierung nach EN-473-IT (Infrarot-Thermografie)
- ❑ Ausbildung und Zertifizierung nach CFPA
- ❑ Ausbildung und Zertifizierung nach DIN 54162-ET
- ❑ Ausbildung und Zertifizierung durch VdS Schadenverhütung nach VdS 2859

Der **VdS-Lehrgang** ist so intensiv angelegt, dass er über die Anforderungen nach CFPA hinausgeht. Er stellt die sinnvolle Verknüpfung zwischen thermografischem und elektrotechnischem Wissen und praktischen Fertigkeiten dar. Der Thermograf führt den Titel VdS-anerkannter Elektrothermograf und erfüllt damit die hohen Anforderungen von VdS Schadenverhütung. Die Ausbildung und erfolgreiche Zertifizierung durch VdS Schadenverhütung bewirkt in der Praxis eine hohe Akzeptanz, und es ist daher nicht verwunderlich, dass die Versicherer für

Elektrothermografiemessungen häufig auf VdS-geprüfte Thermografen zurück greifen.

Die **Elektrothermografie** durch einen qualifizierten, erfahrenen (und zertifizierten) Thermografen mit geeigneter Messtechnik hat sich in der Praxis erfolgreich durchgesetzt, um Ausfälle und Brandgefahren in elektrischen Anlagen der Nieder-, Mittel- und Hochspannung zu minimieren.



Bilder 5 und 6: Fehler an Schraubverbindung mit Reflexionen der Umgebung auf der Sammelschiene

