

Inspektion von Elektroenergieanlagen durch Infrarot- Thermografie

S. Krüll; Tabarz/Thür.

In fast allen Energieversorgungsunternehmen, aber auch in Industriebetrieben, Bürogebäuden, Kranken- und Kaufhäusern ist die Überprüfung der elektrischen Anlagen mittels Infrarot-Messungen zu einem festen Bestandteil der Jahresinspektion geworden.

In den letzten Jahren hat die Infrarot (IR)- Technik im zivilen Bereich, besonders bei der Inspektion von elektrischen Schaltanlagen sowie in der Produktions- und Qualitätsoptimierung einen Stellenwert in der Messanwendung erhalten, welcher auf Grund seiner Wirtschaftlichkeit, Vielseitigkeit und Aussagefähigkeit, nicht mehr wegzudenken ist.

1. Infrarot-Thermografie

Thermovisionsmessungen an elektrischen Schaltanlagen aller Spannungsebenen werden von den Energieversorgungsunternehmen bereits seit vielen Jahren als klassisches Verfahren der technischen Diagnostik durchgeführt. Durch regelmäßige Kontrollen mit leistungsfähigen IR-Systemen wird erreicht, dass eine hohe Verfügbarkeit der elektrischen Anlagen und damit der Stromversorgung gewährleistet ist. Auch in vielen Industriebetrieben, Bürogebäuden, Krankenhäusern usw. ist diese Maßnahme zu einem festen Bestandteil der zustandsbezogenen Jahresinspektion geworden. Es empfiehlt sich auch, diese Messungen vor Ablauf von Gewährleistungen durchzuführen. Die regelmäßigen IR- Messungen stellen darüber hinaus einen vorbeugenden Brandschutz dar, der von vielen Brandschutzversicherungen, durch Senkung der Versicherungsbeiträge honoriert wird.

2. Zweck und Nutzen

- Dokumentation von Anlagenzuständen und potentiellen Risiken
- Früherkennung von Schwachstellen und Schäden
- Erhöhung der Anlagenverfügbarkeit und -zuverlässigkeit
- Vermeidung von Folgeschäden
- Reduzierung der Brand- und Unfallgefahren (Bild 1)

Durch den VdS (Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e.V., Büro Schadenverhütung) wird die Thermografie in elektrischen Anlagen durch die VdS 2858 näher beschrieben. Danach sind elektrische Anlagen vom Betreiber regelmäßig zu prüfen (wiederkehrende Prüfungen), z.B. gemäß:

Autor

Dipl.-Ing. Sönke Krüll ist Geschäftsführer der Industrie Thermografie Krüll, Tabarz/Thür., www.ITK-MESSTECHNIK.de
Tel.: 03 62 59 / 50 991, Fax: 50 999

- Technischer Prüfverordnung des jeweiligen Bundeslandes,
- BGV A2 (Unfall- Verhütungs- Vorschrift (UVV) der Berufsgenossenschaften),
- DIN VDE 0105, Feststellung des "ordnungsgemäße Zustand der elektrischen Anlage",
- Feuerversicherungs- Klausel (Klausel 3602), die zusätzlich eine Prüfung nach den Sicherheitsvorschriften der Feuerversicherungen verlangt.

Die Thermografie kann die vorgenannten wiederkehrenden Prüfungen nicht ersetzen. Sie ist auch kein Ersatz für die notwendigen Sichtkontrollen, Funktionsprüfungen, Strommessungen usw., die im Rahmen der vorgenannten wiederkehrenden Prüfungen durchgeführt werden müssen. Sie stellt jedoch eine hilfreiche, ergänzende Messmethode dar und ermöglicht insbesondere Untersuchungen und Bewertungen des Anlagenzustandes, die bislang nur schwer oder mit hohem Aufwand möglich waren. Ein großer Vorteil ist, dass die Messungen bei laufendem Betrieb (unter Spannung) durchgeführt werden können. Thermografie gehört heute zum Stand der Sicherheitstechnik.

3. Thermografiesysteme

Heutige hochleistungsfähige Thermografiesysteme liefern detailgetreue, temperaturkalibrierte Bilder und sind auf Grund ihres geringen Gewichtes und der guten Handhabbarkeit vielfältig einzusetzen. Anders als bei älteren IR-Kameras sind die Kameras der neuen Generation ungekühlt. Als FPA-Detektor (Focal Plane Array) wird ein ungekühlter Mikrobolometer eingesetzt, der durch eine vorgeschaltete Optik das IR- Bild erzeugt, welches durch die Vielzahl der Messpunkte bald Fotoqualität besitzt. Von -40°C bis +2.000°C und einer Bildwiederholfrequenz von 50Hz können die zu messenden Gegenstände erfasst

werden. Auch Messungen an bewegten Objekten sind mit heutigen IR-Kamerasystemen möglich. Ähnlich wie beim Fotoapparat können durch verschiedene Optiken auch entfernte Anlagenteile untersucht werden. Hier gibt es jedoch keinen veränderlichen Zoom sondern feste Brennweiten, da jedes Objektiv zusammen mit der IR-Kamera temperaturmäßig kalibriert werden muss. Die gespeicherten digitalen Wärmebilder werden mit spezieller Software kundenspezifisch ausgewertet.

Da ein derartiges Thermografiesystem mit verschiedenen Optiken ab 50.000,- EURO kostet, ist es meist günstiger, die Messungen und Auswertungen durch ein qualifiziertes und zertifiziertes Ingenieurbüro durchführen zu lassen. Anhand verschiedener Beispiele soll nachfolgend die hohe Aussagekraft von derartigen Untersuchungen belegt werden.

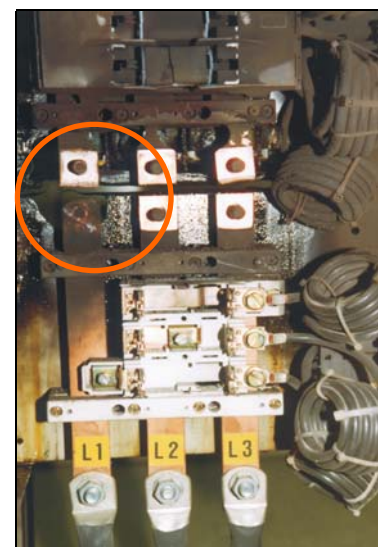
4. Beispiele für IR- Messungen

4.1. Al- Cu- Schienenverbindung

Da diese Fehlerstelle aus betrieblichen Gründen nicht gleich beseitigt werden konnte, wurde ein Jahr später nach erneuter turnusmäßiger Kontrolle der gesamten elektrischen Anlage die Fehlerstelle wieder lokalisiert. Nach einem Jahr ist die Temperatur bei gleichbleibender Belastung auf über das Doppelte angestiegen. (Bild 2)

Bei Hochrechnung auf Nennlast würden sich die in Tabelle 1 angegebene Temperaturen ergeben.

Nach der Reparatur zeigte sich, dass an den Kontaktflächen der beiden Metalle eine Verfärbung sowie eine voranschreitende Oxydation zu verzeichnen waren.



1 Zu solch einem Brand an einer Kompensationsanlage muss es nicht erst kommen

Tabelle 1, Temperaturen, welche sich bei Hochrechnung auf Nennlast ergeben würden

Leiter	:	L1	L2	L3
Nennlast	(A)	1000	1000	1000
Belastung während der Messung	(A)	500	500	500
Belastung in Prozent	(%)	50	50	50
maximale Objekttemperatur	(°C)	136	35	35
gemessene Übertemperatur	(ΔT in K)	101	-	-
Temperatur bei Nennlast	(°C) ca.	300	-	-
Fehlergruppe	(1 - 4)	4	-	-

4.3 Klemmleisten

Oft sind es nur Kleinigkeiten, welche zu einem Ausfall der Anlagen führen. Die im Bild 6 dargestellte heiße Klemmstelle an der Klemmleiste wäre bei einer Sichtkontrolle nicht aufgefallen, da sich die Kunststoffummantelung noch nicht verfärbt hat. Die Ursache war eine lose Schraubverbindung, welche die Temperatur auf fast 94°C ansteigen ließ. Da solche Fehlerstellen nicht mit dem bloßen Auge sichtbar sind, können derartige Erwärmungen nur mit der Thermovision gemessen lokalisiert werden. Dies hat den Vorteil, dass die Fehlerstellen im Anfangsstadium der Erwärmung lokalisiert werden und eine Beseitigung der fehlerhaften Verbindung meist ohne großen Zeitaufwand möglich ist. Wie schnell sich dann die Fehlerstellen erwärmen können, zeigen die beiden bereits gezeigten IR- Bilder (Bild 2).

Das Bild 7 zeigt ein fehlerhaftes BD-System. Solche Stromschiensysteme sind in Betrieben häufig anzutreffen, da sie eine variable Stromzuführung für Maschinen gewährleisten. Da diese jedoch in 3-4m Höhe angebracht und oft über Maschinen verlaufen, sind sie sehr schwer zugänglich. In diesem Fall ist eine turnusmäßige Überprüfung mittels IR- Kamera ebenfalls sehr anzuraten, um die Fehlerstellen nicht erst beim Brand oder dem Ausfall des BD-Systems zu entdecken.

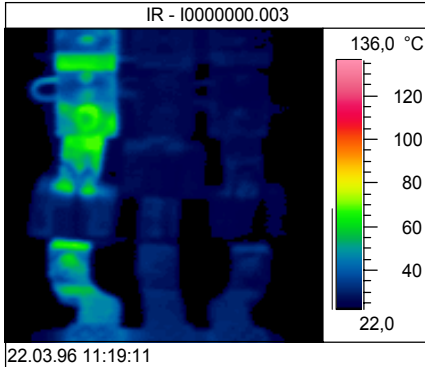
4.3. NH- Sicherungen

Bei der Fehlerstelle im Bild 8 am Federkontakt der NH- Sicherung und am unteren Anschluss des Leistungsschalters (Bild 9) hätte eine Sichtkontrolle den Fehler aufgespürt. Der obere Klemmkontakt der NH- Sicherung hat sich bei einer Temperatur von über 403°C bereits verfärbt und auch die Kunststoffummantelung des Sicherungsanschlusses ist stark in Mitleidenschaft gezogen worden.

Am unteren Anschluss vom Leiter L2 des Leistungsschalters im Bild 9 ist ebenfalls das Kupfer schon verfärbt. Dauerlauf eines Kompressors hat den wahrscheinlich nicht fest angezogenen Schraubanschluss auf eine Temperatur von fast 423°C ansteigen lassen.

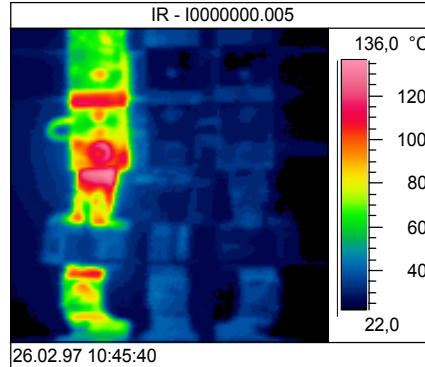
Ist die Temperatur an den Bauteilen so weit angestiegen, wie man es hier sieht, so müssen diese ausgewechselt werden, da eine starke Oxydschicht den Übergangswiderstand z.B. an der NH- Sicherung sehr erhöht. Zur Beurteilung wurde ein Klassifikationssystem entwickelt, welches dem Anlagenbetreiber Hilfestellung bei der Beurteilung der Schäden gibt.

Auch der Leistungsschalter wird durch die hohe äußere Temperatur im Inneren in Mitleidenschaft gezogen worden sein. Ein weiteres Betreiben des Leistungsschalters wäre sehr riskant und der nächste Ausfall programmiert.

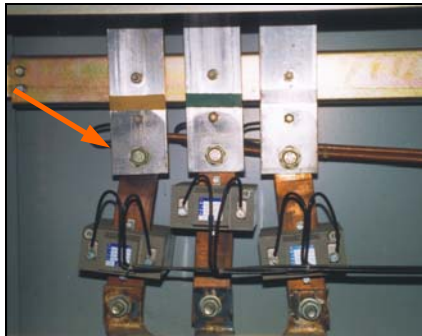


2 Temperaturanstieg einer Schienenverbindung innerhalb eines Jahres

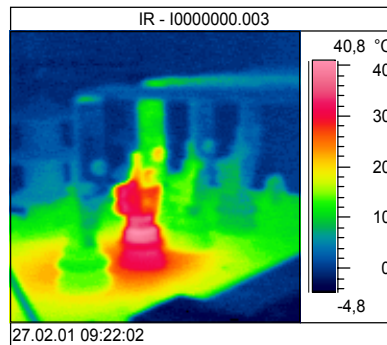
a) maximale Temperatur 68°C im März 1996



b) maximale Temperatur 136°C im Februar 1997



3 Originalfoto der im Infrarotbild dargestellten Schwachstelle aus dem Jahre 1997. An dem Aluminium, dem Kupfer oder auch den Schrauben ist keine Erwärmung zu erkennen.



4 Thermische Schwachstelle im Öl an einem 20/0,4kV Transformator

Hier bestand auf Grund des IR- Bildes die Vermutung, dass es sich um eine Fehlerstelle im Inneren des Transformators handelt. Die heiße Stelle war also an der Verbindung der Trafodurchführung im Ölbad zu vermuten. Eine Öl- Gasanalyse hat die thermografische Messung dann bestätigt und der Transformator musste zur Behebung des Schadens außer Betrieb genommen und geöffnet werden.

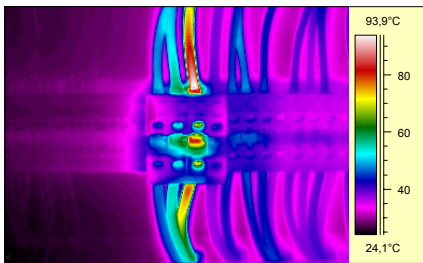
Das Foto 5 zeigt eine derartige Verbindung im geöffneten Zustand des Transformators, allerdings an einem 110/10kV Trafo. Die Schraubverbindung hat sich im Laufe der Jahre gelöst und ist sehr stark in Mitleidenschaft gezogen worden. Ein Kupferband der Dehnungslasche ist schon weggebrannt und ein Ausfall oder die Zerstörung des Transformators wäre ohne Vorwarnung die Folge gewesen. Die rechtzeitige Instandsetzung nach Befund konnte nach Angaben des Betreibers einen Schaden von 0,5- 0,7 Mio. EURO am Großtrafo verhindern.



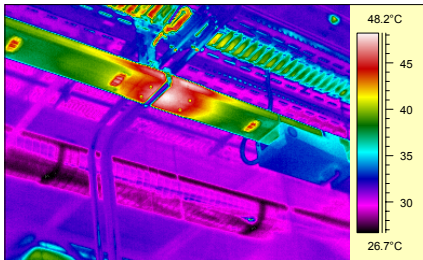
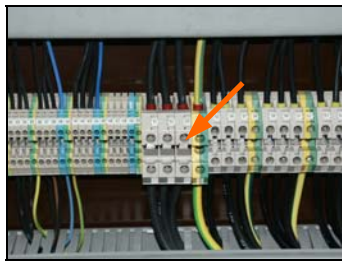
5 Schaden an einem 110/10 kV Transformators durch Überhitzung

4.2. Transformatoren

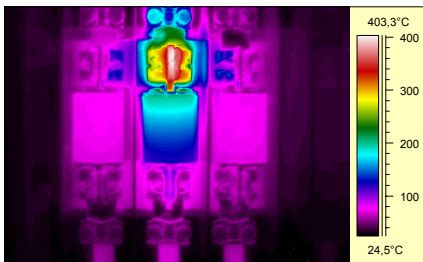
Im IR- Bild 4 ist eine thermische Schwachstelle eines 20/0,4kV Trafo's zu erkennen. Eine Trafodurchführung weist eine ca. 30°C höhere Temperatur als die anderen 0,4kV Trafokerzen auf.



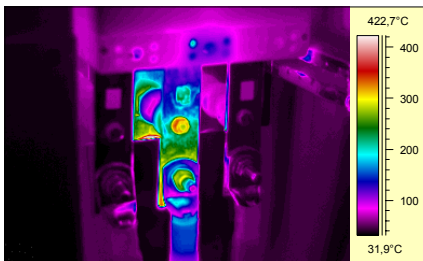
6 Kabel auf Klemmleiste



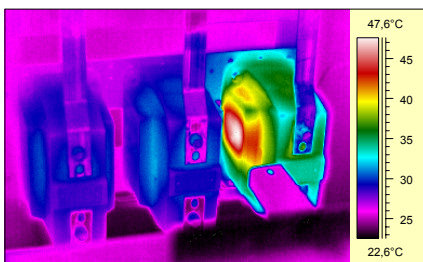
7 Defektes BD- System



8 Klemmkontakt einer NH- Sicherung



9 Leistungsschalteranschluss



10 defekter 20 kV Wandler



Am Bild 10 des Stromwandler sind die Anschlüsse in Ordnung. Hier liegt der Fehler im Inneren des 20kV Stromwandlers. Diese Fehlerstelle ist weder durch eine Sichtkontrolle, noch durch ein Nachziehen der Schraubverbindung zu finden. Durch die in Gießharz ausgeführte Stromwandlerart, besteht hier die große Gefahr, dass der Stromwandler irgendwann explodieren wird.

Sollten generell die Schraubverbindungen nach thermischen Kontrollen überarbeitet werden müssen, so bringt es in den meisten Fällen nichts, die Schraubverbindung nur nachziehen zu wollen. Ein vollständiges Lösen der Verbindung mit anschließender Säuberung, wieder Einfetten und dem erneuten festen Anziehen der Schraubverbindung (möglichst mit Drehmomentenschlüssel) bringt eine dauerhafte Funktionsfähigkeit.

5. Fazit

Unter dem Gesichtspunkt der notwendigen Inspektion von Elektroenergieanlagen und des Brandschutzes sowie der Sicherheit und der Versorgungszuverlässigkeit sind thermografische Messungen von unbestreitbarem Nutzen. Es werden dadurch Zustände sichtbar gemacht, die für das menschliche Auge unsichtbar bleiben würden. Durch die Lokalisierung von Fehlerstellen können rechtzeitig punktgenaue Instandsetzungsmaßnahmen eingeleitet und somit Folgeschäden vermieden werden. Bereits nach der zweiten thermografischen Untersuchung sinkt die Ausfallquote um 80%. Darüber hinaus ergeben sich wirtschaftliche Nutzeffekte, die von den Brandschutzversicherungen auch noch honoriert werden. Ob in der Energieerzeugung, -weiterleitung oder -verteilung führen turnusmäßige IR- Messungen zu nachweisbar höherer Sicherheit und nahezu uneingeschränkter Verfügbarkeit beim Betreiben von elektrischen Anlagen.

4.5. Mittelspannungsanlagen

Auch in Mittelspannungsanlagen treten immer wieder Fehler auf, die auf unzulässige Erwärmung zurückzuführen sind. Bei den Mittelspannungsanlagen ist im laufenden Betrieb außer einer Sichtkontrolle keine weitere Inspektion möglich. Inspektion und Wartung erfordern in der Regel die Freischaltung. Fallen infolge einer Havarie Schaltanlagenteile aus, so sind meist ganze Betriebsteile oder sogar das gesamte Werk von dem Ausfall betroffen.

Unter diesen Gesichtspunkten sollte auch in den Mittelspannungsschaltanlagen eine turnusmäßige thermografische Überprüfung der gesamten Anlagen erfolgen. Blechgekapselte Anlagen lassen sich jedoch nur untersuchen, wenn diese geöffnet werden können. Es gibt auch Schaltzellen, welche in eingeschaltetem Zustand nicht zu öffnen sind, die jedoch ein IR- Schauglas besitzen. Durch dieses Schauglas kann man dann mit der IR- Kamera durchmessen. Eine Nachrüstung dieser Schaltschränke mit IR- Schaugläser ist ebenfalls möglich (ca. 150,- EURO je Stück).