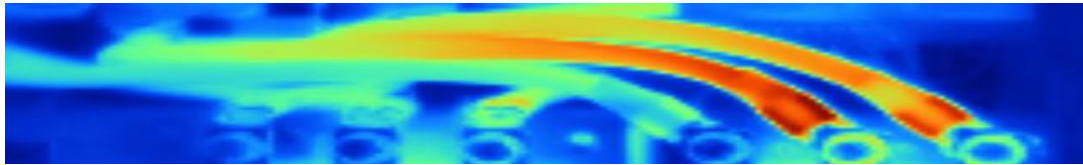


Beurteilung von Infrarotaufnahmen an teilbelasteten Niederspannungsanlagen



Inhaltsverzeichnis

Vorwort	3
Impressum und Copyright ©	3
Problemstellung, Ausgangslage	4
Lösungsansätze	4
Hochrechnung der Temperaturdifferenz auf maximale Systemlast	5
Definition des $I_{100\%}$	6
Grenzwerte	6
Dringlichkeitsklassifizierung	7
QualiPower®	7
Zusammenfassung und Schlusswort	8

Vorwort

Interpretationen und Einschätzungen der Gefahrenstufe an teilbelasteten Niederspannungssystemen ist eine nicht einfach zu lösende Aufgabe. Die Hochrechnung der aktuellen auf die maximal mögliche Systemlast ist eine Möglichkeit thermische Auffälligkeiten unter Berücksichtigung der lastbedingten Änderung in Bezug auf die Dringlichkeit der zu tätigen Instandstellung nachvollziehbar und reproduzierbar zu bewerten.

Dieses Dokument thematisiert die thermografische Inspektion und Bewertung von teilbelasteten Niederspannungsanlagen, es soll Möglichkeiten aber auch Einschränkungen, Einflüsse und Probleme in diesem Zusammenhang aufzeigen.

Für die Durchführung einer Elektrothermografie an Niederspannungsanlagen sind entsprechende Fachkenntnisse und Fähigkeitsnachweise auf der Elektroinstallationsbranche notwendig. Wenn der Thermograf sich in die Gefahrenzone IP2x einer Installation begibt, z.B. bei der Demontage bzw. dem Öffnen von Abdeckungen oder Gehäusedeckeln welche direkten Zugang zu leitenden, berührbaren unter Spannung stehenden Bauteilen darstellt, ist zudem entsprechend passende Schutzausrüstung Pflicht.

Der Qualitätsstandard Elektro des theCH definiert die für die Messung einzuhaltenden Rahmenbedingungen an die Ausrüstung und den Thermografen.

Impressum und Copyright ©

Autor: Markus Treichler, zertifizierter Thermograf DIN ISO 9712, Stufe 2, Fachrichtung Elektro, Mitglied Vorstand theCH, Beisitzer Fachgruppe Elektro

Dieses Dokument ist Urheberrechtlich geschützt. Die kommerzielle Verwendung von Inhalten in jeglicher Form (Text, Bilder, auch nur auszugsweise) sind nur mit ausdrücklicher Zustimmung des theCH bzw. des Autors erlaubt.

Alle Rechte an diesem Dokument verbleiben beim Thermografie Verband Schweiz (theCH) und dem Autor.

Problemstellung, Ausgangslage

Teilbelastete Fehlerstellen sind schwierig zu identifizieren und bewerten, die Temperaturunterschiede zu "gesunden" Bauteilen bzw. Anschlüssen oder der Umgebungstemperatur liegen oft nur bei wenigen °C, thermische Auffälligkeiten können dem ungeübten Auge schnell einmal entgehen und im schlechtesten Fall bei Erhöhung der Last an der betroffenen Stelle zum Systemausfall bzw. Brand führen.

Wir stellen in der Elektrothermografie fest, dass die meisten zu beurteilenden Systeme zum Aufnahmezeitpunkt der Wärmebilder nicht unter Volllast sondern sich in einem Teillastzustand befinden.

Lösungsansätze

Eine Möglichkeit wäre die zu untersuchenden elektrischen Systeme bzw. Anlagen auf Volllast bringen und somit für optimale Beurteilungsbedingungen zu sorgen. Dies ist jedoch in der Praxis nicht oder nur selten möglich.

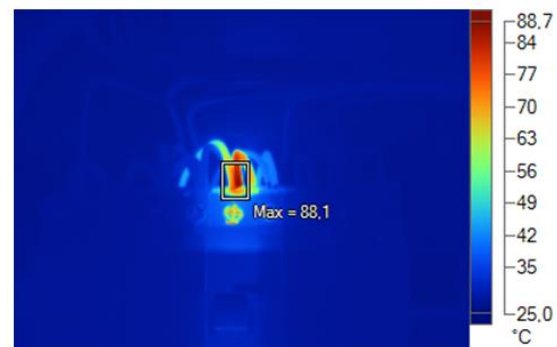
Eine Möglichkeit für nachvollziehbaren und reproduzierbaren Aussagen stellt die Hochrechnung der gemessenen Leitertemperaturen an den auffälligen Stellen bzw. der Leitertemperaturdifferenz zur Umgebungstemperatur auf maximal mögliche Systemlast dar.

Die Beurteilung der jeweiligen Auffälligkeiten in Bezug auf die maximal mögliche, hochgerechnete Leitertemperaturdifferenz zur Umgebungstemperatur durch die Vorgaben des VDS (Verband Deutscher Sachversicherer) liefert eine nachvollziehbare und für die Praxis umsetzbare Methode. Dabei werden verschiedene Fehlergruppen definiert welche in ihrer Dringlichkeit Bezug auf die hochgerechneten Temperaturdifferenzen nehmen und dem Thermografen den Zeithorizont für die Empfehlung der Instandstellung betroffener Anlagenteile vorschlagen.

Das folgende Beispiel zeigt einen Wohnungsverteiler, die Schraube des betroffenen Leitungsschutzschalters war um 1 Umdrehung gelockert:



T Umgebung	27 °C
T Objekt	30.1 °C
I akt zum Aufnahmezeitpunkt	2.5 A
I max System (Vorsicherung)	13 A



T Umgebung	27 °C
T Objekt	88.1 °C
I akt zum Aufnahmezeitpunkt	12.9 A
I max System (Vorsicherung)	13 A

Links im Bild die thermische Auffälligkeit am betroffenen Leiter bei einer Teillast von 2.5A mit ca. 30°C, rechts bei Volllast von ca. 13A mit ca. 88°C. Dieses reale Beispiel zeigt die ungefähre Grössenordnung eines möglichen Temperaturanstiegs am Leiter bei einer schlechten Verbindung.

Hochrechnung der Temperaturdifferenz auf maximale Systemlast

Die Leitertemperatur ändert nicht linear zur Last, die Änderung der Temperaturdifferenz des Leiters gegenüber der Umgebungstemperatur findet im Quadrat zur Laständerung statt. Selbst kleine an den Leitern festgestellte Temperaturdifferenzen bei teilbelasteten Systemen können bei steigender Last zu entsprechend hohen Temperaturen führen.

Die zur Hochrechnung an Leitern verwendete vereinfachte Formel lautet:

$$\Delta T_{100\%} = I_{100\%}^2 : I_A^2 \times \Delta T_A$$

Das folgende Beispiel erläutert einerseits die in der Formel verwendeten Variablen und dient dem Nachvollziehen der Berechnung. Mit "T_O" bzw. "Objekt-Temperatur" ist die Leitertemperatur und nicht diejenige von Wärmepaket-, Schalter-, Schützen-, Relais oder anderen Gehäusen und Komponenten gemeint. Die in grün markierten Werte müssen durch Messung bzw. Abklärung (max. Last) vor Ort zum Aufnahmezeitpunkt ermittelt und dokumentiert werden:

Beispiel:	T _O	= 33 °C	(Aktuelle Objekt-Temperatur)
	T _U	= 25 °C	(Aktuelle Umgebungs-Temperatur)
	ΔT _A	= 8 °C	(Aktuelle Temperaturdifferenz = T _O -T _U)
	I _A	= 20A	(Aktueller Strom)
	I _{100%}	= 63A	(max. anzunehmende Last, z.B. Vorsicherung)
	ΔT _{100%}	= ?	(zu erwartende Temperaturdifferenz)
	T _{O @ I_{100%}}	= ?	(zu erwartende Leitertemperatur)

Die Berechnung der hochgerechneten Leitertemperatur für die maximale Last erfolgt in diesem Beispiel in zwei Schritten, im ersten wird der Wert für die Temperaturdifferenz zwischen Leiter und Umgebungstemperatur "ΔT_{100%}" berechnet:

$$\Delta T_{100\%} = 63A^2 : 20A^2 \times 8K = 79.38°C$$

Im zweiten Schritt addieren wir die oben errechnete Temperaturdifferenz von ca. 79°C zur Umgebungstemperatur zum Zeitpunkt der Aufnahme von 27°C um die Leitertemperatur T_{O @ I_{100%}} bei maximal möglicher Last (I_{100%}) zu berechnen:

$$T_{O@I_{100\%}} = T_U + \Delta T_{100\%} = 25°C + 79°C = \underline{104°C}$$

Werden mit der Hochrechnung mit der vereinfachten Formel (Exponentialfaktor 2) an den Bauteilen atypische Temperaturen ermittelt, soll nach VDS zusätzlich die Berechnung mit dem genaueren (Exponentialfaktor 1.6 bis 1.8) durchgeführt werden.

$$\Delta T_{100\%} = I_{100\%}^{1.6} : I_A^{1.6} \times \Delta T_A + T_U = 63A^{1.6} : 20A^{1.6} \times 8K + 25°C = \underline{75.2°C}$$

Definition des I_{100%}

Als I_{100%} gilt die Vorsicherung oder maximal mögliche Systemlast aufgrund fest angeschlossener Verbraucher, handelt es sich um eine Gruppe mit Steckdosen gilt die Vorsicherung.

Die heutigen Lastströme sind kaum mehr Sinus sondern verzerrt und beinhalten Oberschwingungen, deshalb sind für die Messung ausschliesslich TRMS (Echtheffektiv) Stromzangen zu verwenden. Messwerte von mittelwertbildenden Stromzangen liegen bis zu 50% unter denjenigen von TRMS Modellen. Ein zu tief gemessener Strom hat entsprechende Fehler in der Hochrechnung zur Folge was zu einer Fehleinschätzung der Auffälligkeit und Dringlichkeit führen kann.

Grenzwerte

Generell gelten für thermografische Beurteilungen die Grenzwerte der NIN (Niederspannungs-Installationsnorm), die Herstellerangaben und relevante Bauteilnormen. Hier eine Auflistung aus der NIN betreffend Temperaturgrenzwerten von Niederspannungsanlagen:

Isolier- und Werkstoffe (5.2.3.1.1.4 / 5.3.9.7.3), z.B.	
Thermoplast oder Mineral im Handbereich, am Leiter gemessen	≤ 70°C
Vernetztes Polyethylen (VPE), am Leiter gemessen	≤ 90°C
Mineral, am Mantel gemessen (nicht im Handbereich)	≤ 105°C
Weichlot (4.3.4.3§1)	≤ 160°C
Schutz gegen Verbrennung. Maximal Temperatur für im Handbereich zugänglichen Teile von elektrischen Einrichtungen bei normalem Betrieb (4.2.3), für Teile welche im Betrieb	
normalerweise nicht berührt werden müssen, metallisch	≤ 80°C
normalerweise nicht berührt werden müssen, nicht metallisch	≤ 90°C
berührt werden müssen, metallisch	≤ 70°C
berührt werden müssen, nicht metallisch	≤ 80°C
in der Hand gehalten werden, metallisch	≤ 55°C
in der Hand gehalten werden, nicht metallisch	≤ 65°C
Zulässige Erwärmung der Umgebungstemperatur von SK* Gehäuse (5.3.9.7.3)	
mittlere Temperatur	≤ 35°C
Steuerkomponenten in SK* müssen zugelassen sein für	≥ 55°C
SK* interne Lufttemperaturerhöhung	≤ 20°C

(SK* = Schaltgerätekombination)

Dringlichkeitsklassifizierung

Die Bewertung der Dringlichkeitsklassifizierung lässt viel Spielraum, zurzeit sind in der Schweiz keine gesetzliche oder reglementarische Vorgaben dazu definiert.

Der VDS (Verband Deutscher Sachversicherer) definiert eine Bewertungsgrundlage für Fehlergruppen an Niederspannungs-Elektroanlagen mit einer Einteilung von 1 bis 4, wobei als 1 = keine bzw. geringe und 4 = grosse Auffälligkeit bewertet wird. Da lokale Vorgaben fehlen empfiehlt der theCH sich der Bewertungsmatrix des VDS anzuschliessen.

Die folgend definierten Temperaturwerte entsprechen den hochgerechneten Leitertemperaturen ΔT in °C bezogen auf die Umgebungstemperatur:

Fehlergruppe 1: $0\text{ °C} < 10\text{ °C}$

keine Massnahmen erforderlich, weiter beobachten

Fehlergruppe 2: $10\text{ °C} < 35\text{ °C}$

bei nächster Abschaltung bzw. bei nächster Gelegenheit beheben

Fehlergruppe 3: $35\text{ °C} < 70\text{ °C}$

bei nächster geplanter Abschaltung beheben, jedoch innerhalb 6 Monaten

Fehlergruppe 4: $>70\text{ °C}$

bei nächstmöglicher Abschaltung bzw. sofort beheben, Lasten reduzieren, nicht erhöhen!

QualiPower®

Um die Arbeit zur Hochrechnung und Fehlergruppeneinteilung zu vereinfachen stellt der theCH seinen Mitgliedern das automatisierte Excel-Tool "QualiPower®" zur Verfügung, dieses kalkuliert aufgrund der getätigten Eingaben die hochgerechnete Leitertemperaturdifferenz und die daraus resultierende Leitertemperatur (T_{obj}) bezogen auf die maximal mögliche Systemlast. Zudem teilt es die Werte direkt den Fehlergruppendefinitionen des VDS (Verband Deutscher Sachversicherer) zu und hebt die jeweiligen hochgerechneten ΔT 100% farblich differenziert im Bezug zur Fehlergruppe hervor.

Nachfolgen die Hochrechnung durch QualiPower® am Beispiels des Wohnungsverteilers auf Seite 4 dieses Dokumentes:

T umg [°C]		QualiPower® Thermografie Verband Schweiz, www.theCH.ch				
I akt [A]	I max [A]	T obj [°C]	T obj 100% [°C]	ΔT 100% [°C]	Bemerkung	
2.5	13	30.1	110.8	83.8	Fehlergruppe 4	

Vergleicht man den hochgerechneten Wert mit dem gemessenen ergibt sich eine Abweichung von ca. + 22°C der Hochrechnung gegenüber der realen Situation (siehe Bild unten rechts auf Seite 4). Der berechnete Wert wird hier "schlimmer" dargestellt als der tatsächlich gemessene, die Hochrechnung ist "pessimistischer" als es im Beispiel in der Realität war. Man sollte sich jedoch nicht pauschal darauf verlassen, dass dies in allen Fällen so ist, denn es führen einige schlecht einschätzbare Variablen zum realen Resultat. Die Methode der Hochrechnung und Fehlergruppeneinteilung gemäss VDS ist jedoch besser als die Teilbelastung zu ignorieren, auch wenn eine nicht vermeidbare Ungenauigkeit zur Kenntnis genommen werden muss.

Zusammenfassung und Schlusswort

Der Leiterquerschnitt wird bei der hier verwendeten Methode zur Hochrechnung und Bewertung nicht berücksichtigt, er hat nach aktueller Einschätzung einen geringen Einfluss auf die Resultate und Aussagen.

Um thermische Auffälligkeiten bei Teilbelastung besser aufspüren zu können empfiehlt sich die manuelle Einstellung des Farbkeils (farblich visualisierter Messbereich), das untere Farbkeil-Bereichsende wird auf Umgebungstemperatur, das obere auf etwa 5 bis 10°C über der Umgebungstemperatur eingestellt, dies sind keine festen Werte sondern eine Empfehlung, je nach Situation sind die Einstellungen entsprechend anzupassen.

Die reale Temperatur des betroffenen Leiters hängt nicht nur von der Belastung, sondern u.a. auch von der vorliegenden Kontakteigenschaft (Übergangswiderstand) ab, die in diesem Dokument behandelte Hochrechnung und Beurteilung der Dringlichkeit wird aufgrund von schlecht einschätzbaren Einflüssen und Variablen eine Streuung der berechneten Resultate und Dringlichkeitsaussagen zur Folge haben.

Falls der zu beurteilende Leiter an eine "aktive" Komponente wie z.B. Schütz, Relais, Wärmepakete, Transformatoren etc. angeschlossen ist wird die Hochrechnung der Leitertemperatur möglicherweise zu hohe Werte liefern. Aufgrund der betriebsbedingten Erwärmung von aktiven Komponenten wird der Leiter ebenfalls erwärmt, die in diesem Fall im Wärmebild sichtbare thermische Energie am Leiter kann somit nicht mehr eindeutig einem erhöhten Übergangswiderstand an der Verbindungsstelle bzw. schlechtem Kontakt zugeordnet werden. Die Hochrechnung und Fehlergruppeneinteilung an Anschlüssen von Leitern an aktiven Komponenten liefert daher in den meisten Fällen eine zu schlechte Bewertung welche es vorsichtig zu relativieren gilt.

Bei Analysen mit < 10% - 15% Systemlast steigt das Risiko eine Auffälligkeit nicht korrekt erkennen und bewerten zu können. Es wird empfohlen Infrarotaufnahmen und Bewertungen an Leitern von teilbelasteten Niederspannungssystemen bei min. 20% Systemlast, besser > 30%, durchzuführen.

Die lose bzw. schlechte Verbindung wird über die Zeit betrachtet schlechter, das Ausfallrisiko steigt erfahrungsgemäss mit zunehmender Betriebszeit.

Es ist empfehlenswert Inspektionen mittels Wärmebildkamera periodisch zu wiederholen um die Anlagen in unterschiedlichen Belastungssituationen über die gesamte Betriebszeit zu beobachten und bei Veränderungen der Leitertemperaturen an den Anschlüssen rechtzeitig reagieren zu können. Je nach Anforderung an die Anlageverfügbarkeit und möglichen Stillstandrisiken (Stillstandskosten, Produktionsausfälle, Lieferengpässe etc.) sind Kontrollen mittels Infrarotinspektion mit kürzeren (z.B. jährlich) oder längeren Intervallen (z.B. 2-3 Jahre) an betriebs- und sicherheitsrelevanten Anlageteilen sinnvoll.