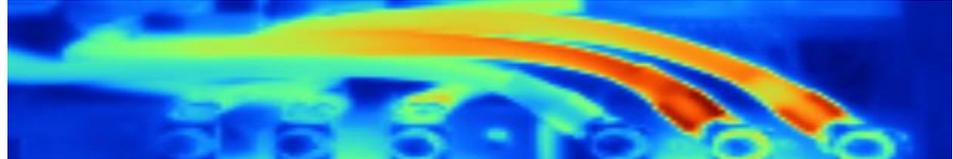


## Infrarotaufnahmen von Elektroanlagen



**Möglichkeiten und Grundlagen zur Interpretation von Wärmebildern in der Elektrothermografie**

## Inhaltsverzeichnis

Vorwort .....	3
Impressum und Copyright © .....	4
Ein Wärmebild alleine macht es nicht aus! .....	4
Reflexion.....	5
Glas ist für Infrarotstrahlung nicht transparent.....	6
Schlechte Kontaktierung, eine häufige Diagnose .....	8
Thermische Effekte unsymmetrisch belasteter Leiter .....	9
Nicht alles was "warm" ist, ist auch ein Fehler .....	9
Motoren, Mechanik .....	10
Thermografie in der Photovoltaik .....	10
Zusammenfassung und Schlusswort .....	11

## Vorwort

Diese Dokumentation bietet einen Überblick bzw. einen Einstieg in die Elektrothermografie und deren Möglichkeiten. Sie ist weder abschliessend noch allumfassend, sondern soll anhand von Beispielen das Thema in Wort und Bild veranschaulichen. Dabei soll sie die wichtigsten Fragen für Interessenten dieser Diagnosemöglichkeit in der vorbeugenden Instandhaltung von Elektroanlagen beantworten.

Die Kosten für gute Wärmebildkameras sind in den letzten Jahren tragbar geworden und es erfordert auch nicht mehr ein allzu grosses *technisches Verständnis*, um eine Infrarotaufnahme erstellen zu können. So kommt es, dass die Technologie auch bei Laien schon weit verbreitet ist. Die Arbeit als Thermograf erscheint auf den ersten Blick simpel, jedoch ist die korrekte Interpretation der thermischen Signaturen (so spricht der Thermograf von auffälligen Mustern auf den Wärmebildern) eine herausfordernde und dem Elektrospezialisten vorbehaltene Tätigkeit. Oft werden auf Wärmebildern von elektrischen Anlagen keine Auffälligkeiten entdeckt bzw. diagnostiziert, doch bei genauerer Betrachtung von weiteren beurteilungsrelevanten Parametern entdeckt man durchaus Indikatoren, welche als thermische Anomalien zu identifizieren sind.

Der richtige Umgang mit der Kamera und die korrekte Beurteilung aller wichtigen Fakten ergeben einen messbaren Erfolg in der vorbeugenden Instandhaltung und in der Prävention von Ausfällen. Von einer 100% Erfolgsrate kann jedoch nicht ausgegangen werden, da auch ein guter und erfahrener Elektrothermograf durch die unterschiedlichen Betriebszeiten der Verbraucher nicht alle Fehler in einem elektrischen System finden kann. Doch jegliche Minimierung von Ausfällen senkt die Reparaturkosten und darüber hinaus die oft unterschätzten Stillstandskosten.

Die Elektrothermografie ist somit eine lohnende Investition, sofern sie fachgerecht durchgeführt wird und die Wärmebilder korrekt beurteilt werden!

März 2013  
Markus Treichler

## Impressum und Copyright ©

Markus Treichler, Autor dieses Dokumentes, ist gelernter Elektromonteur, zertifizierter Thermograf EN 473, Stufe 2, Fachrichtung Elektro und Mitglied im Vorstand des theCH als Beisitzer der 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.

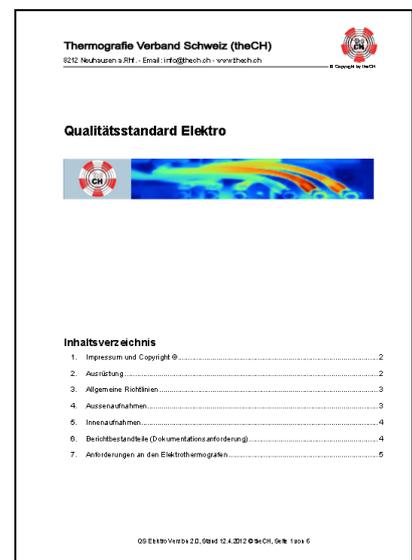
Alle Rechte an diesem Dokument verbleiben beim Thermografie Verband Schweiz (theCH) bzw. beim Autor.

## Ein Wärmebild alleine macht es nicht aus!

Der theCH hat in den Qualitätsrichtlinien (QS) für Elektrothermografie festgelegt, welche Parameter bei der Interpretation von Wärmebildern zu berücksichtigen sind. Verbandsmitglieder orientieren sich danach und wenden diese an, denn so kann eine Falschinterpretation bestmöglich vermieden werden. Die QS-Elektro kann unter [www.theCH.ch](http://www.theCH.ch) kostenlos heruntergeladen werden.

Zu jeder Auffälligkeit oder dokumentierten Betriebsmittel muss der zum Zeitpunkt der Aufnahme aktuelle Strom (in Ampère, Einheit = A) gemessen werden. Die durch die heutigen, modernen Verbraucher verursachten Stromsignalformen sind nicht mehr Sinusförmig, sondern erheblich verzerrt - meist in Pulsform. Daher muss das zur Messung verwendete Gerät zwingend echteffektiv messen (RMS bzw. TRMS). Mittelwertbildende Geräte messen bei nicht sinusförmigen Stromsignalen i.d.R. zu tiefe Werte.

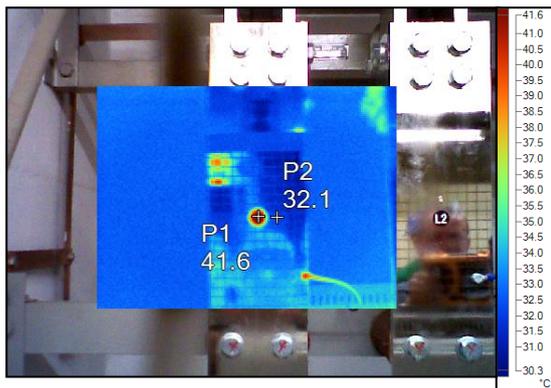
Zudem ermittelt der Thermograf den maximal möglichen Strom, welcher durch die Vorsicherung oder durch fest angeschlossene Verbraucher mit konstantem oder nach oben limitiertem Stromverbrauch begrenzt ist. Für die Bewertung ebenfalls relevant ist die aktuelle Umgebungstemperatur bzw. die Schaltschrank-Innentemperatur. Aus diesen Parametern lässt sich mittels ausgewiesener Fachkenntnis und der Anwendung von Berechnungs- und Interpretationsgrundlagen ein möglicher Fehler erkennen und frühzeitig beheben. Fehlen die genannten Angaben, ist eine abschliessende Bewertung nicht möglich und eine Fehlinterpretation wahrscheinlich.



## Reflexion

Bei der Thermografie wird die von der Oberfläche eines Objektes abgestrahlte und reflektierte Infrarotstrahlung von der Wärmebildkamera erfasst und als Bild dargestellt.

Die meisten Materialien reflektieren einen Anteil der Umgebungs-Infrarotstrahlung, was oft zu Interpretationsfehlern führt. Besonders starke Spiegelungen zeigen sich z.B. bei blanken Metallen wie Aluminium, Kupfer, poliertem Stahl etc. Aber auch Glas reflektiert die IR-Strahlung deutlich mehr, als z.B. Beton oder Farbanstriche.



Im Bild links sind Spiegelungen auf den verchromten Kupferschienen zu erkennen. Eine Interpretation auf solchen Oberflächen ist schwierig, wenn nicht fast unmöglich und bedarf viel Erfahrung im Umgang mit Reflexionen. Wenn man oben auf dem Bild die beiden Messwerte "P1" und "P2" vergleicht, stellt man eine erhebliche Abweichung aufgrund der genannten Reflexionen fest. Der Messwert "P2" ist falsch und unbrauchbar, hingegen der Messwert "P1" nachvollziehbar und bewertbar, sofern die Einstellungen für den Messpunkt korrekt sind.

Um korrekte Messungen auf Metall durchführen zu können, sollte der Elektrothermograf wenn möglich auf alternativen Oberflächen messen bzw. die Oberflächenbeschaffenheit verändern (Emissionsfaktor erhöhen). Das kann mittels einem Aufkleber oder mit Farbe geschehen (z.B. bei "P1" im Bild vorher). Es gilt zu erwähnen, dass das Anbringen von Aufklebern oder Farbe unter Spannung nur durch dafür autorisierte Fachkräfte erfolgen darf. Und selbstverständlich nur unter Einhaltung der geltenden Sicherheitsvorschriften und Schutzvorkehrungen! Der theCH empfiehlt Anlagenbesitzern, Planern und Erstellern in Absprache mit einem Elektrothermografen des theCH die Schaltgerätekombinationen vor Inbetriebnahme bereits für thermografische Untersuchungen vorzubereiten. Der hierbei entstehende Mehrpreis (inklusive der Beratung des Thermografen) amortisiert sich bereits bei der ersten Inspektion der Anlage, denn die im Vorfeld definierten und relevanten Objekte und Messorte sind ohne weitere Probleme mess- und interpretierbar.

## Glas ist für Infrarotstrahlung nicht transparent

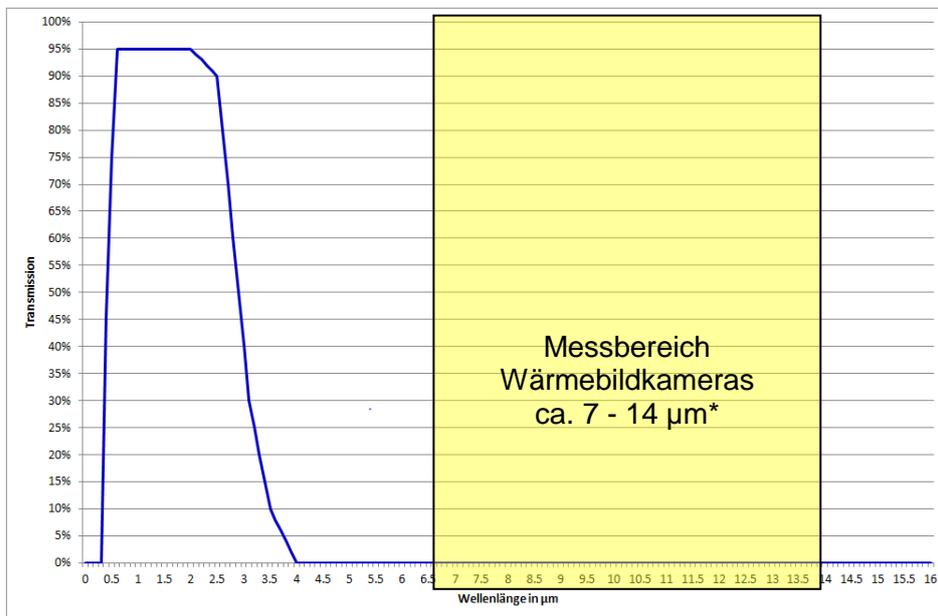
In der Definition von "Glas" sind wir hier etwas grosszügig und beziehen auch Material wie durchsichtiges PVC, Acryl etc. ebenfalls mit ein. Im Wellenlängenbereich des für Menschen sichtbaren Lichtes (ca. 0.4 bis 0.7  $\mu\text{m}$ ) sind die oben genannten Materialien "durchsichtig". Doch im Wellenlängenbereich von ca. 7  $\mu\text{m}$  - 14  $\mu\text{m}$ , welcher für gebräuchliche Wärmebildkameras zur Messung der Infrarotstrahlung verwendet wird, ist "Glas" undurchsichtig! Das Bild unten links zeigt den Blick durch eine Fensterscheibe ins Freie, aufgenommen durch eine normale Digitalkamera. In das Bild rechts wurde die Infrarotaufnahme einer Wärmebildkamera mit gleicher Position eingebettet.



Auf der Infrarotaufnahme rechts ist deutlich die Spiegelung des Thermografen in der Fensterscheibe zu erkennen. Die Wärmebildkamera "sieht" also nicht durch das Glas, sondern nur auf dessen Oberfläche. Zudem weist Glas offensichtlich auch im Infrarotbereich reflektierende Eigenschaften auf, was das Spiegelbild erklärt.

Zum besseren Verständnis wird auf der Folgeseite eine mögliche Transmissionskurve von Fensterglas in Bezug auf die Wellenlänge der Strahlung näher erläutert.

Die folgende Grafik zeigt eine Transmissionskurve (Transmission = Durchlässigkeit), wie sie für Fensterglas typisch ist. Es ist zu beachten, dass Abweichungen der Kurve aufgrund der Dicke des Materials und des Herstellungsverfahrens von Glas auftreten können. Die Grafik dient lediglich zur Veranschaulichung.



\* gilt für normale Wärmebildkameras wie sie heute in der Gebäudediagnostik und vorbeugenden Instandhaltung eingesetzt werden. Es gibt jedoch auch Infrarot-Systeme, welche in einer anderen Wellenlänge arbeiten und deshalb Aufnahmen durch Glas ermöglichen.

Die blaue Transmissionskurve oben steigt bei ca.  $0,4 \mu\text{m}$  (Mikrometer) steil an und erreicht bei ca.  $0,5 \mu\text{m}$  bis ca. 95% Transmission. Ab hier ist das Glas sehr gut transparent und absorbiert nur einen kleinen Teil der Strahlung (ca. 5%). Bei ca.  $2,5 \mu\text{m}$  fällt die Kurve wieder ab und bei ca.  $4 \mu\text{m}$  bleibt sie bis weit über  $16 \mu\text{m}$  hinaus auf 0% Transmission. Die Absorption ist dabei 100%, die Infrarotstrahlung dringt somit nicht durch das Glas.

Vollständigkeitshalber ist zu ergänzen, dass dünne Kunststoffe, < 1 - 2 mm Dicke, wie z.B. Haushaltsfolien, Tragtaschen etc. für Infrarotstrahlung teilweise transparent sind. Da jedoch im Elektrobereich die Dicke des Materials meist > 3-4 mm beträgt, muss von einer nicht durchlässigen Eigenschaft ausgegangen werden.

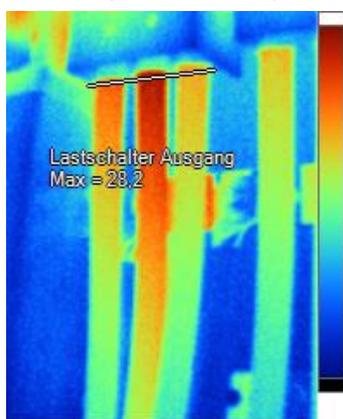
Diese Erkenntnis hat Einfluss auf die Arbeit des Elektrothermografen. Er muss sämtliche Abdeckungen an Elektroanlagen, auch wenn diese für das menschliche Auge durchsichtig sind, vor der Inspektion demontieren, denn eine handelsübliche Wärmebildkamera mit einem Messbereich von ca.  $7 - 14 \mu\text{m}$  "sieht" wie erläutert nicht durch die Abdeckungen!

Der Thermograf begibt sich somit in eine potenzielle Gefahrensituation und hat sich entsprechend zu verhalten und zu schützen! Ein weiterer Grund, die Elektrothermografie durch eine entsprechende Fachperson durchführen zu lassen. Zudem sollte der Aufwand für die Arbeit der Elektrothermografie nicht unterschätzt werden.

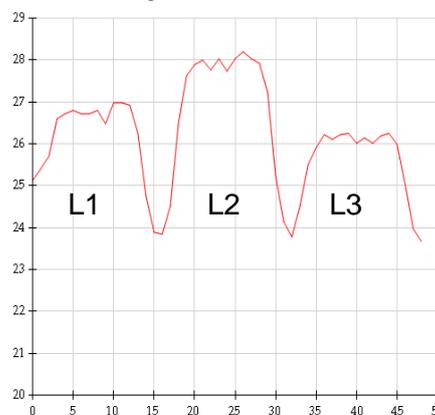
## Schlechte Kontaktierung, eine häufige Diagnose

Die in der Elektrothermografie am häufigsten diagnostizierten Fehler sind schlechte Kontakte. Doch warum werden lose bzw. schlechte Verbindungen in einer Elektroinstallation warm bzw. heiss und können somit zu Bränden führen? Die "Wärme" entsteht durch die Wandlung der elektrischen in thermische Energie. Der vom elektrischen Strom durchflossene Leiter weist einen bestimmten Widerstand auf. Dieser führt je nach Stromstärke bzw. Widerstandsgrösse zu Verlusten, welche sich in thermischer Energie zeigen. Der Elektrothermograf weiss, wie die thermischen Signaturen zu "lesen" sind und kann daraus mit den weiteren Daten einen Fehler diagnostizieren oder auch ausschliessen. Das folgende Bild zeigt einen typischen Fehler bei einer Klemme.

IR-Bild (Lastschalter)



Liniendiagramm L1/L2/L3



Belastung:

L1 = 80 A

L2 = 73 A

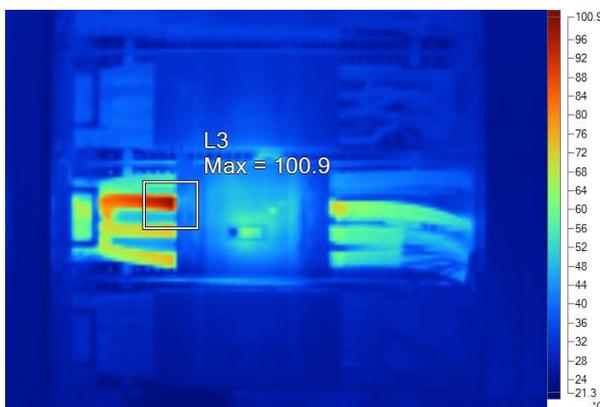
L3 = 72 A

Umgebungstemperatur:

Ca. 23°C

Das Liniendiagramm oben rechts zeigt einen auffälligen Unterschied von L2 zu L3 obwohl die Leiter fast identisch belastet sind. Gemäss der Strommessung ist der höchstbelastete Leiter L1 mit 80 A, danach folgt L2 mit 73 A und L3 mit 72 A. Bei der um 2°C höheren Temperatur von L2 gegenüber L3 handelt es sich höchstwahrscheinlich um ein Kontaktproblem am Anschluss von L2. Die Ursache könnte eine lose Klemme oder eine ungenügende Pressung der Aderendhülse oder des Kabelschuhs sein. Da an dieser Leitung die zu erwartende maximale Last bereits erreicht ist, zeigt sich in diesem Fall noch kein unmittelbarer Handlungsbedarf. Dennoch sollte hier weiter beobachtet werden.

Das Risiko von Ausfällen und Elektrobränden könnte durch den Einsatz von Elektrothermografen deutlich reduziert werden!

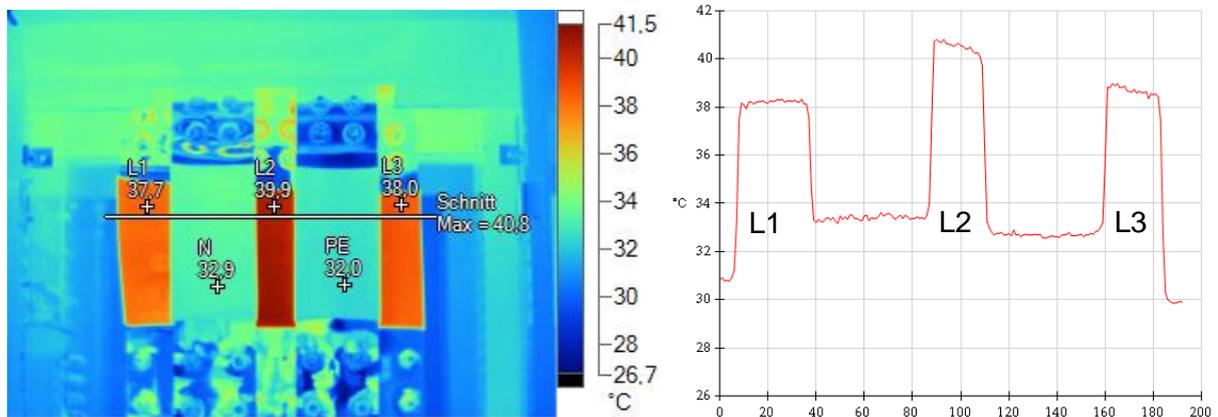


Das Bild links zeigt ein Lastschalter mit einer Temperatur von ca. 100°C bei L3.

Gemäss den Temperaturgrenzwerten der NIN (Niederspannungsinstallationsnorm) dürfte dieser Anschluss maximal 70°C auf dem isolierten Leiter aufweisen. Ein klarer Fall eines Normverstosses und zudem ein erhebliches Gefahrenpotenzial für einen Anlagenstillstand oder gar einen Brand!

## Thermische Effekte unsymmetrisch belasteter Leiter

Thermische Auffälligkeiten wie auf dem folgenden Bild zeigen Energieverluste auf den Leitungen durch entsprechende Asymmetrien der Ströme:



Das Diagramm rechts oben zeigt den Temperaturverlauf auf der im Wärmebild platzierten Linie (Bezeichnung "Schnitt"). Es verdeutlicht die unterschiedlichen Temperaturen auf den Leitern.

Das hier gezeigte Beispiel ist weniger im Sinne der Sicherheit bzw. der Anlagenverfügbarkeit zu verstehen, sondern soll aufzeigen, dass unsymmetrisch belastete Leiter unterschiedliche Temperaturen aufweisen. Kupfer gehört zu den sogenannten Kaltleitermaterialien (PTC), deshalb wird der Widerstand der Leitung mit zunehmender Temperatur steigen und dies wiederum erhöht die Leitungsverluste. Bei grösseren Anlagen bzw. Betriebsströmen, kann dies durchaus erhebliche Auswirkungen auf die Energierechnung haben. Hierbei können die Kosten der Verluste durch unsymmetrische Strombelastung der einzelnen Leiter einige tausend Schweizer Franken jährlich ausmachen.

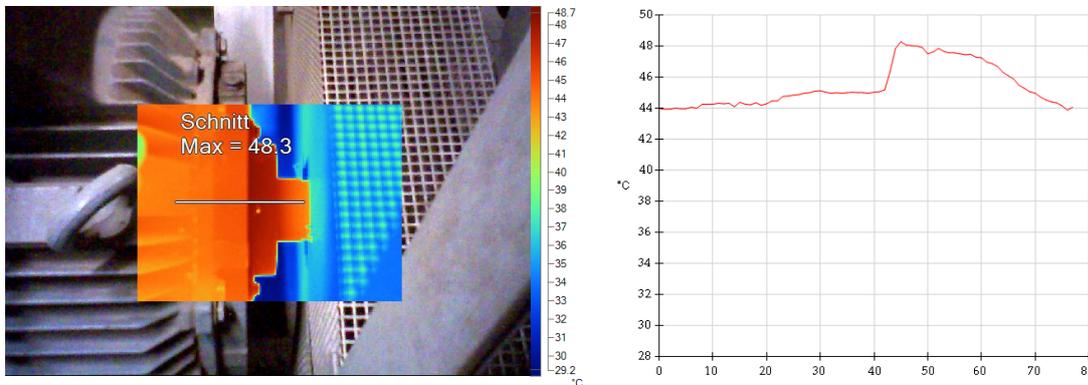
## Nicht alles was "warm" ist, ist auch ein Fehler



Dieses Beispiel zeigt, dass die Beurteilung von elektromechanischen bzw. elektrischen Komponenten nicht immer ganz einfach ist. Die auf dem Bild angebrachte Markierung zeigt eine Maximaltemperatur von ca. 56°C. Solche Betriebsmittel können durchaus, bedingt durch den Dauerbetrieb, 60 - 70°C an der Seitenwand im Bereich der Spule aufweisen. Die für die entsprechenden Betriebsmittel geltende Herstellernorm und das Datenblatt geben hier Aufschluss über eine Grenzwertverletzung. Im vorliegenden Fall ist diese jedoch nicht gegeben,

da es sich um keinen Fehler handelt, sondern um eine betriebsbedingte Erwärmung im üblichen Rahmen. Bei einer wiederkehrenden Inspektion sollten jedoch auch solche als "normal" eingestuft Objekte erneut untersucht werden. So kann man mögliche Veränderungen der Temperaturen frühzeitig erkennen und wenn notwendig intervenieren.

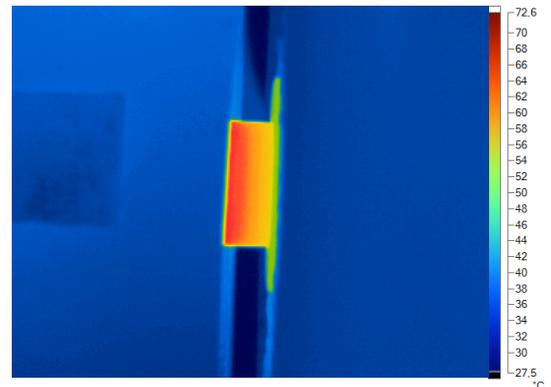
## Motoren, Mechanik



Im Bild oben ist ein Antrieb (Motor mit Welle nach rechts) zu sehen. Das Wärmebild und das Diagramm zeigen jedoch keine Auffälligkeiten im Temperaturverlauf.

Ist an der Welle am Motor, bzw. in Lagernähe ein markanter Temperaturgradient (Veränderung der Temperatur auf kurze Distanz) erkennbar, könnte ein mögliches Problem am Lager vorhanden sein.

Lagerschäden, welche bereits eine thermische Signatur aufweisen (vgl. Bild rechts), sind meist schon sehr weit fortgeschritten. Die Thermografie zeigt erst spät entsprechende Symptome und fordert somit oft rasches Handeln.



## Thermografie in der Photovoltaik

Nicht zuletzt dank den politischen Diskussionen über die Atomkraftwerke und die alternativen Energiequellen ergibt sich für die Stromgewinnung mittels Photovoltaik (kurz "PV") ein markanter Aufschwung.

Die Qualität der PV-Module entscheidet mit, wie effizient eine Anlage arbeitet. Somit kann es für einen Betreiber bzw. Besitzer eines Systems interessant sein, entsprechend fehlerhafte Module zu erkennen und diese zu ersetzen.

Die Thermografie bietet die Möglichkeit, defekte Waver (einzelnes Element bzw. Zelle), Strings oder Module über die thermischen Muster auf der Oberfläche zu erkennen. Ein Defekt zeigt sich mit einer gegenüber den restlichen Zellen erhöhten Temperatur (vgl. folgendes Bild).



Auch in diesem Anwendungsgebiet sollten entsprechend erfahrene Thermografen die Aufnahmen und deren Beurteilung vornehmen. Fehlinterpretationen aufgrund von Spiegelungen auf der Glasoberfläche oder thermische Muster von Teilabschattungen des Moduls (z.B. durch aufgelockerte Bewölkung) sind hier möglich. Diese gilt es zu erkennen und nach Möglichkeit zu vermeiden bzw. bei der Interpretation zu berücksichtigen.

## Zusammenfassung und Schlusswort

"Schuster, bleib bei deinem Leisten!" ...

Bei der Interpretation von Wärmebildern aus der Elektrotechnik ergibt sich viel Spielraum für Fehlinterpretationen.

Der Grundsatz "Wer misst, misst Mist!" gilt auch für diese Sparte der Messtechnik!

Ohne fundierte Ausbildung im Bereich Elektrotechnik und ohne Weiterbildung bzw. Schulung in der Infrarot-Strahlungsphysik und Thermodynamik sind falsche Interpretationen bei der Elektrothermografie nicht ausgeschlossen. Zudem muss Know-how und Erfahrung zur Beurteilung von Wärmebildern an elektrischen Betriebsmitteln vorhanden sein. Fehlt diese Basis, dient der Wärmebildbericht nicht zur Sicherheitsoptimierung und Erhöhung der Anlagenverfügbarkeit, sondern nur zur Archivierung im Papierkorb. Angehende Elektrothermografen sollten neben dem Kauf einer geeigneten Wärmebildkamera auch eine entsprechende Weiterbildung planen. Namhafte Geräteanbieter liefern nicht nur Hard- und Software für die Infrarotaufnahmen, sondern bieten auch Schulungen an.

Ein Elektrothermograf der Mitglied des theCH ist, muss sich nach den Qualitätsstandards für Elektrothermografie richten! Eine aktuelle Fassung des Dokuments kann kostenlos unter <http://www.thech.ch/de/publikationen-literatur/normen-und-richtlinien> heruntergeladen werden.

Dienstleistungsnehmer bzw. Kunden von Elektrothermografen sollten prüfen, ob der Dienstleistungserbringer (Thermograf) über die fachliche Kompetenz in der Elektrotechnik verfügt, denn nur der Fachmann ist in der Lage, eine korrekte Interpretation der Aufnahmen abzugeben. Die theCH-Mitglieder setzen sich für die bestmögliche Qualität in der Elektrothermografie ein, wodurch der Kunde vom gemeinsamen Engagement profitiert!