	Deutsche Richtlinie	Februar 2016
VATH BUNDESVERBAND FÜR ANGEWANDTE THERMOGRAFIE E.V.	**VATh- Richtlinie: Elektrothermografie** **zur Planung, Durchführung und Dokumentation infrarot- thermografischer Messungen an elektrischen Anlagen und Bauteilen ≤ 1kV**	

VATh- Directive: Electrical thermal imaging

Planning, realization and documentation of infrared measurements in electrical systems and components.

Directive du VATh: Thermographie électrique

Pour la planification, réalisation et documentation de mesures infrarouges d'installations et d'équipements électrotechniques

Niederspannung
bis 1kV AC oder 1,5kV DC

Basse tension
(Basse Tension jusqu` à 1 kV ca et 1,5 kV cc)

Erläuterungen zur Richtlinie:

Diese Richtlinie dient als Hilfestellung, Information und Übersicht zur Planung, Durchführung und Dokumentation infrarotthermografischer Messungen an elektrischen Anlagen und Bauteilen der Niederspannung.

Diese Richtlinie stellt in ihrer Fassung den aktuellen Stand der Technik dar.

Explications concernant la directive:

Cette directive sert de support, d'aperçu et de guide pour la planification, la réalisation et la documentation des mesures infrarouges d'installations et d'équipements électrotechniques dans le domaine basse-Tension (BTA).

Cette directive est la version de l'état actuel de la technique.

Diese Richtlinie besteht aus 16 Seiten

© Bundesverband für Angewandte Thermografie e.V.
Am Burgholz 26 - D - 99891 Tabarz - Tel: + 49 36259- 311444; Fax: + 49 36259- 311445

VATh- Richtlinie: „Elektrothermografie“

Fassung: Februar 2016

Herausgeber:

Bundesverband für Angewandte Thermografie e.V.

Am Burgholz 26

D-99891 Tabarz

Tel: + 49 36259 - 311444

Fax: + 49 36259 - 311445

© Alle Rechte beim Bundesverband für Angewandte Thermografie e.V.

Die Angaben in dieser Richtlinie stützen sich auf den derzeitigen Stand unserer Kenntnisse. Der Bundesverband kann jedoch keinerlei Haftung übernehmen. Vorschläge oder Einwände, die ggf. bei einer Neuauflage berücksichtigt werden können, sind an die Geschäftsstelle des Verbandes zu richten.
Bei Streitfällen ist die deutsche Fassung gültig.

1. Ausbildung …… Seite 03
2. Gesundheit …… Seite 03
3. Sicherheitsabstände …… Seite 04
4. Schutzausrüstung …… Seite 04
5. Vorschriften ……... Seite 04
6. Ablauf …… Seite 04
7. Messtechnik …….. Seite 05
8. Auswertungssoftware …….. Seite 06
9. Auswertung ……... Seite 06
10. Basisdokument …….. Seite 06
11. Auswertungsdokument …… Seite 07
12. Klassifikation von thermischen Auffälligkeiten …… Seite 08
13. Thermografie an PV-Generatoren ……..… Seite 09ff
14. Anhang A, Tabelle 1, Elektrothermografie ……..... Seite 12ff
15. Anhang B, Fehlerkatalog PV-Thermografie ……...… Seite 14ff

1. Ausbildung

Folgende Ausbildungsgrundlagen müssen vorhanden sein und stellen die Ausbildungsbasis dar:

a) Abgeschlossene Ausbildung im Bereich der Elektrotechnik mit der Qualifikation als Geselle, Meister oder Ingenieur. Für Ingenieure von Hoch- und Fachschulen ohne Ausbildung als Elektrofachkraft wird ein Nachweis als Elektrofachkraft nach DIN VDE 1000-10 / 4.2 gefordert.

b) Mindestens 2- jährige Berufserfahrung im Bereich der Elektrothermografie und mehrjährige Tätigkeit im Bereich der Elektrotechnik laut VDE1000-10 / 4.2 (Anmerkung: mehrjährige Tätigkeit auf dem betreffenden Arbeitsgebiet)

Grundsätzlich ist mindestens die Stufe 1 nach DIN EN ISO 9712***** nachzuweisen, sowie ein Ausbildungslehrgang im Bereich der elektrischen Bauteilkunde inklusive der thermografischen Bewertung zu absolvieren. Entsprechend den Richtlinien für Personal der zerstörungsfreien Prüfung dürfen Personen die Messungen und Auswertungen nur ohne Aufsicht einer Stufe 2 oder 3 zertifizierten Person durchführen, wenn sie nach DIN EN ISO 9712*, Sektor Elektro, Stufe 2 oder Stufe 3 zertifiziert sind.

Durch ein generell erhöhtes Brandrisiko in den Unternehmen muss die zu prüfende Person Erwärmungen an Bauteilen und Verbindungen sicher beurteilen können. Daher sollten auch nur die Personen Elektroanlagen untersuchen, welche entsprechend den Forderungen der Versicherungswirtschaft, das Zertifikat "Elektrothermograf, Stufe 2 nach DIN EN ISO 9712* oder "VdS anerkannter Sachverständiger für Elektrothermografie" vorweisen können.

***: hat DIN EN 473 und DIN 54162 ersetzt!**

2. Gesundheit

Vorlage einer Sehfähigkeitsbescheinigung gemäß DIN EN ISO 9712*, welche im Zyklus von einem Jahr erneuert werden muss.

Es wird darauf hingewiesen, dass im Bereich der Elektrothermografie erhöhte gesundheitliche Risiken bestehen. Dies sollte besondere Beachtung finden bei Personen mit Herzschrittmachern und bei Personen die zu Schwindel- oder Epilepsie-Anfällen neigen.

3. Sicherheitsabstände

Eine Thermografie stellt gemäß Definition der Tätigkeitsbegriffe eine elektrotechnische Arbeit dar. Bei der Arbeitsmethode handelt es sich um: „Arbeiten in der Nähe unter Spannung stehender Teile“. Hieraus ergibt sich gemäß VDE 0105, Tabelle 102 nachfolgend aufgeführter Sicherheitsabstand:

Nennspannung in Volt [V]	Schutzabstand in Meter [m]
>50~ bis 1000~ bis 1500=	0,5

4. Schutzausrüstung

Der Thermograf hat die nach den gültigen UVV und sonstiger gültiger Vorschriften vorgeschriebene persönliche Schutzausrüstung zur eigenen Sicherheit zu benutzen, bzw. vorzuhalten.

5. Vorschriften

Grundsätzlich sollte das Thermografie- Personal, welches die elektrischen Anlagen überprüft, unabhängig (kein betriebseigenes Personal) sein. Damit soll gewährleistet werden, dass keine Einflussnahme eines Vorgesetzten oder der Geschäftsleitung auf die Überprüfung stattfindet. Hier sollte die Sicherheit bzw. der Brandschutz Vorrang haben.

6. Ablauf

Die Terminierung der thermografischen Überprüfung ist so zu planen, dass möglichst:

a) eine mindestens 20%ige Auslastung der zu untersuchenden Anlagen hinsichtlich ihres maximal möglichen Betriebsstromes vorliegt.

b) die unter a) genannte Belastung so lange vorliegt, dass von einem thermischen Verharrungszustand der zu untersuchenden Anlagen zum Zeitpunkt der Messung ausgegangen werden kann.

Da oben genannte Forderungen nicht immer vollständig umsetzbar sind und die Thermografie von Elektroanlagen als Momentaufnahme zu sehen ist, empfiehlt sich eine turnusmäßige Überprüfung. Hierdurch wird die statistische Sicherheit, Fehler zu detektieren, erhöht. Eine gesonderte Gefährdungsbeurteilung ist durch den Auftraggeber durchzuführen.
Der Thermograf führt die Überprüfung, wenn möglich, im Beisein einer Elektrofachkraft des zu überprüfenden Unternehmens durch.

7. Messtechnik

Eingesetztes Messsystem:	Das Messsystem muss ein bildgebendes System mit den folgenden Kriterien sein:
Spektralbereich:	sowohl der mittelwellige (3- 5µm) als auch der langwellige (7- 12µm) Spektralbereich ist nutzbar
Temperaturmessbereich:	- 20°C bis + 500°C
Einsatzbereich:	- 10°C bis + 40°C
Bauform:	Ein getrenntes Kamera/Bedienkonzept (Monitor und Fernbedienung bzw. Klappmonitor) ist notwendig, um Messungen auch in schlecht zugänglichen Anlagen durchführen zu können.
Objektive:	Die für die Messaufgabe notwendigen Objektive wie Weit-, Normal- und Teleobjektive sind einzusetzen.
Thermische Auflösung:	≤ 100 mK (Empfehlung: ≤ 60 mK)
Geometrische Auflösung:	≤ 1,5 mrad bezogen auf die Standard-Optik
Detektorauflösung:	≥ 320 x 240 Pixel
Zeitliche Auflösung:	min. 20 Hz
Messgenauigkeit, absolut:	2 K
Bedienfunktionen:	Fokussierungsmöglichkeit, Freeze- Modus, Farb- und Graustufendarstellungen, Messfunktion(en), Editierbarkeit aller zur Temperaturberechnung notwendigen Rahmenparameter während **und** nach der Messung, Visualisierung auf Display oder Monitor, Speicherung von radiometrischen Daten.
Stromversorgung:	Ein netzunabhängiger Betrieb durch Akkus ist unverzichtbar.

Kalibrierung:	Externe Werkskalibrierung (nach Hersteller-Vorgabe) Interne (automatische) Vergleichsmessung Eine Überprüfung der Kalibrierung muss turnusmäßig jährlich erfolgen und dokumentiert werden. Es empfiehlt sich darüber hinaus, in regelmäßigen Zeitabständen unterhalb des vorgenannten Zeitraums die Kalibrierung der IR-Kamera zu überprüfen.

8. Auswertungssoftware

Der Sachverständige muss über eine geeignete Software verfügen, die eine nachträgliche Bearbeitung der Infrarotbilder ermöglicht. Das Verändern von Parametern zum Zweck der Überführung von Strahlungsdichtewerten auf eine Temperatur und deren Kennzeichnung muss nachträglich möglich sein.

9. Auswertung

Die Auswertung besteht aus einem **Basisdokument** und den eigentlichen **Auswertungsdokumenten**. Die Art und Form der Dokumentationsunterlagen bleiben dem Thermografie-Büro überlassen. Es müssen jedoch die unten aufgeführten Daten bzw. Anmerkungen enthalten sein.
Für den VdS anerkannten Elektrothermografen gilt zusätzlich die Richtlinie 2860.

10. Basisdokument

Es müssen die folgenden Daten auf dem Basisdokument vorhanden sein:

1. Auftraggeber
2. Auftragnehmer
3. Untersuchungs-Objekt(e)
4. Die Zielsetzung des Auftrages
5. Name des ausführenden Thermografen und der beteiligten Personen
6. Der Prüftermin
7. Das eingesetzte IR-Kamerasystem mit den verwendeten Optiken
8. Ergänzend eingesetzte Messgerätetechnik wie z. B. Zangenamperemeter, Thermo-/Hygrometer, Anemometer, Pyranometer, etc.
9. Bei Außenaufnahmen die Witterungsverhältnisse (einschließlich Lufttemperatur in °C und relativer Luftfeuchtigkeit in %, Wind in m/s, Globalstrahlung in W/m^2)

11. Auswertungsdokument

Grundsätzlich besteht das Auswertungsdokument aus einem Bericht, einer Liste aller untersuchten Anlagenteile und den Thermogrammen. Für jedes Thermogramm ist eine gesonderte Seite vorzusehen, auf welcher die Größe des Thermogramms ohne Berücksichtigung der Temperaturskala, mindestens 80 x 60mm betragen muss. Nachfolgende Informationen zum Thermogramm müssen auf dieser Seite ebenfalls vorhanden sein:

1. Ein Sichtfoto mit dem Bildinhalt des Thermogramms aus dem identischen Aufnahmewinkel.
2. Das Aufnahmedatum, die Aufnahme- Uhrzeit und die Dateinummer des Thermogramms.
3. Die genaue Objektbeschreibung (Gebäude, Halle, Schaltschrank, Schaltfeld, Bauteil, etc.).
4. Möglichst der zum Messzeitpunkt vorgelegene Belastungszustand in Ampere und/oder in % zur maximal möglichen Belastung.
5. Die vorhandenen Temperaturen der Fehlerstelle und/oder die Temperaturdifferenz zwischen der Fehlerstelle und eines baugleichen, identisch belasteten, thermisch unauffälligen Bauteils. Es muss dem Kunden möglich sein, Temperaturen nachvollziehen zu können.
6. Die Spannungsebene.
7. Die Fehlerklassifikation.

Alle Anlagenteile, welche in der Auswertungsphase gemäß DIN 54191 mit „thermische Auffälligkeit“ (tA) oder „gefährliche thermische Auffälligkeit“ (gtA) klassifiziert werden, **müssen** in einen Ergebnisbericht aufgenommen und vom ausführenden Thermografen interpretiert, ggf. mit Anmerkungen sowie Empfehlungen versehen werden. Eine Liste aller untersuchten Anlagenteile, aus der auch die festgestellten Fehler und deren Klassifikation hervorgehen, ist dem Bericht anzufügen. Auch Auffälligkeiten nicht thermischer Art sind ggf. mit Foto zu dokumentieren (z.B. starke Staubablagerungen auf elektrischen Einrichtungen).

12. Klassifikation von thermischen Auffälligkeiten

Nach DIN 54191 werden Auffälligkeiten wie folgt klassifiziert:

- keine Auffälligkeit (ok);
- thermische Auffälligkeit (tA);
- gefährliche thermische Auffälligkeit (gtA);
- kein Befund möglich (kB);
- sonstige Auffälligkeit nichtthermischer Art (ntA).

Für die Einteilung in **Fehlergruppen** sind die gemessenen Temperaturen mit den Grenz- bzw. Grenzübertemperaturen des Anhangs A, Tabelle 1, zu vergleichen. Zudem sind die gemessenen Temperaturverteilungen und Temperaturgradienten auf die Begrifflichkeit „thermische Auffälligkeit“ hin zu überprüfen. Gemäß DIN 54191, Begriffe, Punkt 3.5, stellt eine thermische Auffälligkeit einen Zustand dar, der nicht mit betriebs- und bauartbedingtem Verhalten zu erklären ist. Zur endgültigen Einordnung der festgestellten Auffälligkeiten in eine Fehlergruppe sollten nachfolgende Umstände mit einfließen:

a) - ist die aktuelle Belastung nachweisbar und liegt diese kontinuierlich vor
b) - liegen abweichende Umgebungsbedingungen vor
c) - wie hoch ist die Packungsdichte im Schaltschrank
d) - Berücksichtigung des Gleichzeitigkeitsfaktors
e) - liegt Redundanz des untersuchten Anlagenteils vor

Fehlergruppe:	**1 (ok)**	**2 (tA)***	**3 (tA)***	**4 (gtA)**
Handlungsempfehlungen:	**keine akuten Maßnahmen**	**Überprüfung der Ursachen einschließlich Beseitigung bei der nächsten geplanten Wartung, spätestens nach sechs Monaten**	**Überprüfung der Ursachen einschließlich Beseitigung innerhalb von zwei Monaten**	**kurzfristige Außerbetriebnahme, Überprüfung der Ursache einschließlich Beseitigung, Belastungen ggf. verringern**

***:** Thermische Auffälligkeiten beispielsweise auf Elektronik- Boards können zu zeitaufwendigen Fehlersuchen und zu ungeplanten Stillstandszeiten von Maschinen führen. Daraus ergibt sich die Notwendigkeit, in einer solchen Situation eine zügige, also zeitnahe, Instandsetzung zu empfehlen. Aus diesem Grund ergeben sich innerhalb der Fehlergruppe „thermische Auffälligkeit“, abweichend von der DIN EN 54191, zwei Abstufungen, die sich hinsichtlich des anzustrebenden Zeitfensters für die Überprüfung / Instandsetzung unterscheiden.

13. Thermografie an PV-Generatoren

Die große Verbreitung von Photovoltaik- Anlagen im gewerblichen wie auch im privaten Bereich erfordert zur Sicherstellung von Erträgen und der Anlagensicherheit den Einsatz entsprechender Prüftechnik. Die Thermografie eignet sich hierzu in besonderem Maße als eine Messtechnik zur Überprüfung des PV- Generators, welche über die Inbetriebnahmeprüfungen (Erstmessung) gemäß DIN EN 62446 hinausgeht. Grundsätzlich handelt es sich bei der Thermografie von PV- Generatoren (PV- Module) um eine elektrotechnische Thermografie für deren fachgerechte Durchführung sowohl das Wissen über die grundlegende Funktion des PV- Generators (PV- Module) als auch der Thermografie als optischem Messverfahren absolut notwendig ist.
Nachfolgend sind zu den vorangegangenen Punkten 1 – 12 Ergänzungen / Bemerkungen -falls notwendig- angefügt, die den speziellen Anforderungen der Thermografie an PV-Generatoren Rechnung tragen.

13.1 Ausbildung

Für eine Inbetriebnahmeprüfung, also einer Messung nach Erstinstallation, muss der ausführende Messtechniker über das Wissen der grundlegenden Funktionsweise des PV-Generators verfügen. Darüber hinaus müssen ausreichende Kenntnisse der thermografischen Messtechnik vorliegen. Vorgenannte Anforderungen sind durch eine mindestens über zwei Tage reichende Schulung mit Schwerpunkt PV- Anlagentechnik und PV-Thermografie nachzuweisen. Es sei in diesem Zusammenhang darauf hingewiesen, dass die bessere Lösung eine Stufe 1 – Zertifizierung nach DIN EN ISO 9712 darstellt. Die im Anhang B, Tabelle 2, befindliche Zusammenstellung der gängigsten thermischen Fehler an PV- Generatoren hilft bei der Einordnung etwaig festgestellter Auffälligkeiten.
Bei allen davon abweichenden thermischen Signaturen sind mindestens Stufe 2 – zertifizierte Thermografen im Sektor Elektro nach DIN EN ISO 9712 hinzuzuziehen! Bei wiederkehrenden Prüfungen, gezielter Fehlersuche und Anlagenoptimierung kann es darüber hinaus auch sinnvoll sein, Sachverständige im Bereich der PV-Anlagentechnik einzubinden.

13.4 Schutzausrüstung

Bei Tätigkeiten in absturzgefährdeten Bereichen sind entsprechende Absturzsicherungen (z.B. Gurtzeug) vorzuhalten und anzuwenden.

13.5 weitere Vorschriften

Bei dachintegrierten Anlagen oder Anlagen ohne eine brandhemmende Trennung zwischen Generator und brennbarer Dachhaut (auch Folienflachdächer) stehen Brand-

schutzthemen mit im Vordergrund, weswegen das Thermografie- Personal unabhängig von Betreiber und Errichter sein sollte.

13.6 Ablauf

Zunächst sollte sichergestellt werden, dass der PV- Generator sich auch tatsächlich in Betrieb befindet. Zu dieser Überprüfung eignen sich folgende Methoden:

a) Informations- Display(s) am (an den) Wechselrichter (n) kontrollieren.
b) Mittels Stromzange String- Ströme messen.
c) Verschattung am Modul herbeiführen und Reaktion darauf mit IR- Kamera prüfen.

Die thermografische Messung muss bei stabilen Einstrahlungsstärken von mindestens 600 W/m², bei einem Bewölkungsgrad von maximal 2/8 Cumulus und bei Windstärken von höchstens 4 Beaufort erfolgen. Nach schnellen Einstrahlungs- und Lastwechseln (> 10% pro Minute) sollten Einschwingzeiten von mindestens 10 Minuten abgewartet werden. Die Einstrahlungsleistung ist planparallel zum PV- Generator zu messen und aufzuzeichnen, damit zu einem späteren Zeitpunkt z. B. auf Nennlast hochgerechnet werden kann.

13.7 Messtechnik

Bauform: Ein getrenntes Kamera-/Bedienkonzept ist notwendig, um speziell bei kleinen Objektabständen gleichzeitig das Messobjekt und den Kamera- Monitor im Blickfeld des Benutzers zu haben.
Die Messsituation kann einen integrierten Sucher oder ein Abdunkeln des Monitors erfordern.

Objektive: Aufgrund regelmäßig hoher Schwankungen hinsichtlich der auftretenden Messentfernungen ist die Fähigkeit der IR- Kamera zur Aufnahme von Wechseloptiken empfehlenswert. Eine Alternative können fliegende Aufnahmeplattformen darstellen, die eine beliebige Positionierung der Kamera erlauben.

Temperaturmessbereich: -20°C bis +120°C

Geometrische Auflösung: Grundsätzlich ist sicherzustellen, dass für eine sichere Temperaturermittlung wenigstens 5 x 5 Pixel (Einzeldetektoren) auf einer Einzelzelle zu liegen kommen.

Sichtfoto: Bei den momentan im Einsatz befindlichen IR- Kamerasystemen weist die integrierte Digitalkamera hinsichtlich Gesichtsfeld und Auflösung keine ausreichende Qualität auf. Daher ist ein separater Fotoapparat mitzuführen, welcher die Fähigkeit besitzt, ein identisches Gesichtsfeld zu den IR-

Bildern (**f**ield **o**f **v**iew) einzustellen. Weiterhin muss die Auflösung auch Leiterbändchen im Bild gut darstellen. Darüber hinaus muss bei großen PV- Anlagen eine sichere Inetifikation der auffälligen PV- Module möglich sein. Das Auflösungsvermögen der Sichtbildkamera sollte danach mindestens das 30- fache der IR- Kamera bei gleichem FOV betragen.

13.8 Auswertungssoftware

Die Auswertesoftware sollte u.a. die Fähigkeit besitzen, polygone Messfelder mit Ausgabe von Min.- , Max.-, Durchschnittstemperatur zu setzten und Ortsangaben vorzunehmen.

13.11 Auswertungsdokument

Jede Art einer thermischen Auffälligkeit, muss durch mindestens ein Thermogramm dargestellt werden. Die radiometrischen Daten dieser Thermogramme müssen gesichert und ggf. vollumfänglich zur Verfügung gestellt werden können. Die Rahmenparameter wie z.B. Einstrahlungsleistung, Bewölkungsgrad, Windgeschwindigkeit, etc. sind zur Sicherstellung der Reproduzierbarkeit der gewonnenen Ergebnisse zu dokumentieren.

<u>Bei Anlagen, bestehend aus mehr als 100 Modulen gilt erweiternd:</u>

Zu jeder einzelnen Auffälligkeit ist der Dateiname der Rohdaten mit der benannten Auffälligkeit zu nennen und die Datei für Nachfragen z.B. seitens des Modulherstellers vorzuhalten. Eine Darstellung jeder Auffälligkeit als Sichtbild ist in der Dokumentation nicht erforderlich, da bei zum Teil 100 und mehr gleichartigen Auffälligkeiten hierunter die Dokumentenübersicht leiden könnte.

Die genaue Position jeder Auffälligkeit ist über mindestens 2 der folgenden Varianten anzugeben:

- Thermogramm aus dessen Kontext die Position erkennbar ist
- Angabe der Position über eine Liste z.B. mit x, y- Koordinaten (z.B. eines Moduls)
- Markierung des betroffenen Bereichs (Moduls) in einem Stringplan
- Seriennummer des Moduls
- Markierung des Moduls mit wasserfestem Stift auf Rahmen oder Modulrückseite im Feld

Die doppelte Positionsangabe erleichtert das Wiederauffinden und verringert die Gefahr von Fehlgriffen bei der Korrektur.

Anhang A, Tabelle 1

Bauteil oder Werkstoff:	**Grenztemperatur [°C]:**	**Grenzübertemperatur [K]:**
-Anschlüsse / Klemmen		
Kupfer, blank	100	60[a]
Kupfer-Zink-Legierung, blank	105	65[a]
Kupfer oder Kupfer-Zink-Legierung, verzinnt	105	65[a]
Kupfer oder Kupfer-Zink-Legierung, versilbert oder vernickelt	110	70[a]
-berührbare Teile		
handbetätigt aus Metall	55	15[a]
handbetätigt nicht aus Metall	65	25[a]
berührbar aus Metall	70	30[a]
berührbar nicht aus Metall	80	40[a]
Metallgehäuse in der Nähe von Kabel- & Leitungseinführungen	80	40[a]
Nichtmetallgehäuse in der Nähe von Kabel- & Leitungseinführungen	90	50[a]
Gehäuseaußenseiten welche Widerstände enthalten	240	200[a]
-Kabel und Leitungen		
PVC isolierte Verdrahtungs-, Ader-, Installationsleitung	70	40[b]
Wärmebeständige PVC isolierte Verdrahtungs-, Ader-, Installationsleitung (Kennzeichnung: V2)	90	60[b]
Wärmebeständige Gummi-Verdrahtungsleitung (z. B.: H07G-U/R/K)	110	80[b]
ETFE-Aderleitung	135	105[b]

Fortsetzung Anhang A, Tabelle 1

Bauteil oder Werkstoff:	**Grenztemperatur [°C]:**	**Grenzübertemperatur [K]:**
Wärmebeständige Silikonleitung (z.B.: N2GFA, H05S-U/K, H05SS-F)	180	150[b]
Gummi-Zwillings-, Schlauch-, Flachleitung (z. B.: H03VH-Y, H03VV-F)	60	30[b]
-Isolierstoffe (mit Buchstabenkennzeichnung)		
Y (z. B.: Baumwolle, Papier, Polyethylen)	90	
A (z. B.: Papier, Seide, jeweils in flüssiges Isoliermittel getränkt)	105	
E (z. B.: Phenol-, Melamin-, Epoxidharz, Triacetatfolie)	120	
B (z. B.: Mikanite, Glasfaserstoffe, Keramik, Porzellan)	130	
F (z. B.: Glimmer, Glasfaser)	155	
H (z. B.: aromatische Polyamide, Polyimide, Silikone)	180	
N (z. B.: Glas*, Polytetrafluorethylen, Epoxyd EW90)	200	
Öltransformatoren		
Wicklung, thermische Klasse A, Kühlungsart OF oder ON	105	65[a]
Wicklung bei Kühlungsart OD	110	70[a]
Öl im oberen Teil des Trafo`s	100	60[a]
Trockentransformatoren	gemäß Isolierstoffklasse	

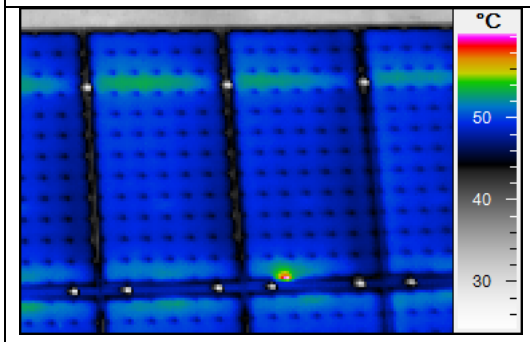
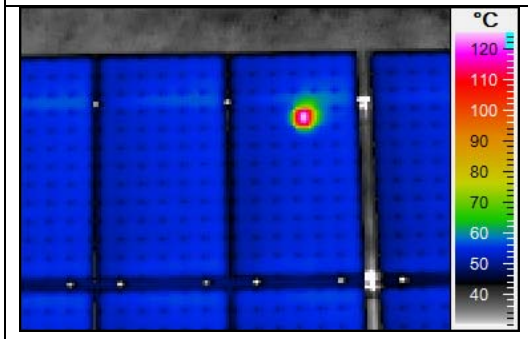
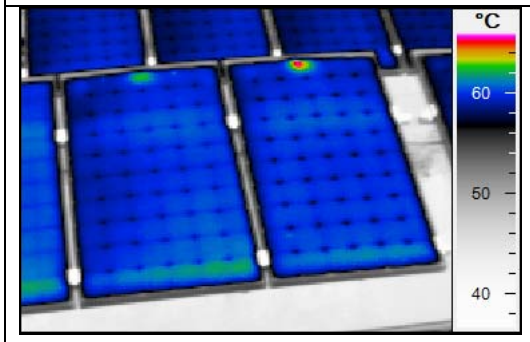
a: Umgebungstemperatur: 40°C, Mittelwert über 24h maximal 35°C

b: Umgebungstemperatur: 30°C

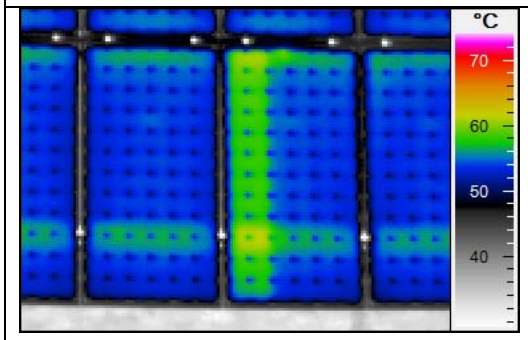
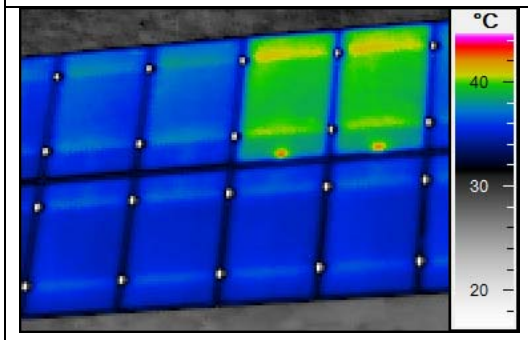
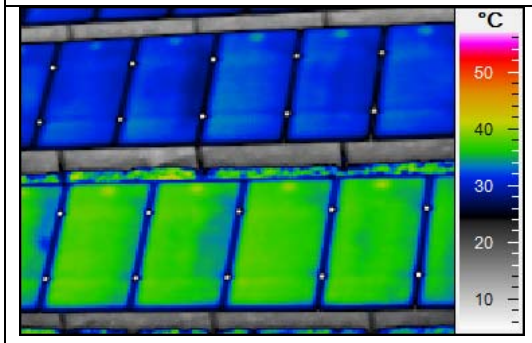
* nur bis 300°C guter Isolator; bei ca. 600°C wird Glas zum Leiter!

Die Tabelle erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Erweiterungen und Einschränkungen der zulässigen Grenztemperatur müssen u. U. den einschlägigen Normen entnommen werden.

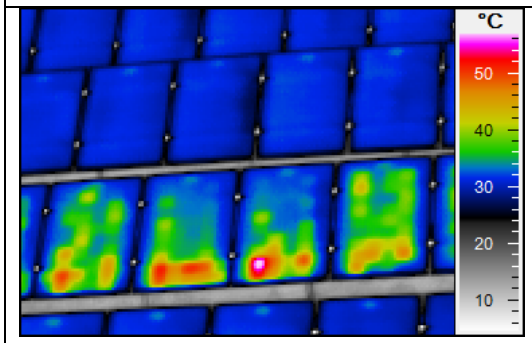
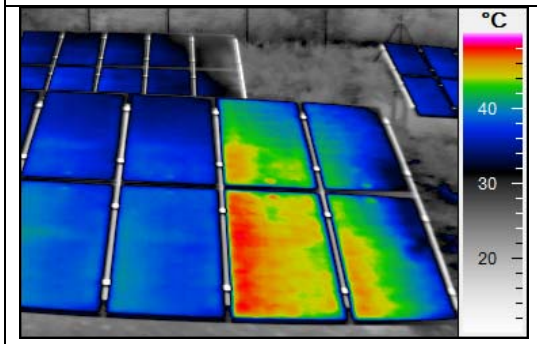
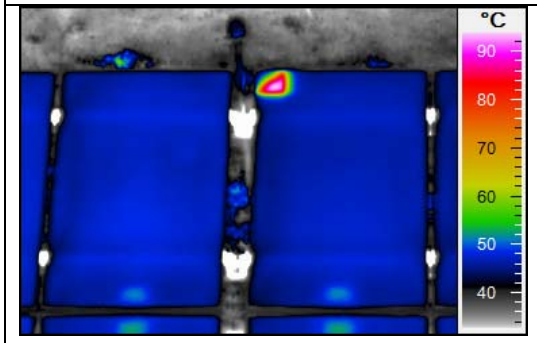
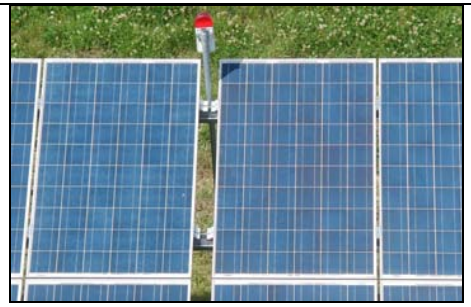
Anhang B, Tabelle 2: Fehler-Katalog zur PV-Thermografie

Thermogramm mit Auffälligkeit (tA)	**Fehler:**	**ΔT in Kelvin zwischen tA und gleichem Bauteil ohne Beanstandung:**	**Handlungsempfehlung:**
	**Erwärmter Zellverbinder**	> 3	intensive Sichtprüfung, **Beurteilung** durch einen Thermograf Stufe 2 auf Basis hoch aufgelöster Rückseitenaufnahme
	**Zelle mit Übertemperatur**	> 20	Modulaustausch vornehmen / veranlassen
	**Erwärmte Anschlussdose**	> 3	intensive Sichtprüfung, Beurteilung durch einen Thermograf Stufe 2 auf Basis hoch aufgelöster Aufnahme des Inneren der Anschlussdose

Fortsetzung Anhang B, Tabelle 2: Fehlerkatalog zur PV-Thermografie

Thermogramm mit Auffälligkeit (tA)	**Fehler:**	**ΔT in Kelvin zwischen tA und gleichem Bauteil ohne Beanstandung:**	**Handlungsempfehlung:**
	**Ein Substring im Leerlauf**	2 - 7	Modulaustausch vornehmen, bei möglicher Relevanz für Brandschutz (brennbares Material unter dem Modul) Modul umgehend außer Betrieb nehmen
	**Mehrere Substrings im Leerlauf**	2 - 7	Modulaustausch vornehmen
	**Modul(e) im Leerlauf**	2 - 7	Anschluss der Module bzw. des Strings und Betriebszustand des Wechselrichters prüfen

Fortsetzung Anhang B, Tabelle 2: Fehlerkatalog zur PV-Thermografie

Thermogramm mit Auffälligkeit (tA)	**Fehler:**	**ΔT in Kelvin zwischen tA und gleichem Bauteil ohne Beanstandung:**	**Handlungsempfehlung:**
	**Modul(e) im Kurzschluss**	2 - 7	Anschluss der Module bzw. des Strings und Betriebszustand des Wechselrichters prüfen. Thermograf Stufe 2 oder PV - Sachverständigen hinzu ziehen.
	**Modul(e) verpolt**	3 - 12	Polarität bzw. Stromflussrichtung durch die Module bzw. durch den Teilstring prüfen.
	**Verschattung am (der) Modul(e)**	20 - 70	 Kein Fehler aber Verschattung beseitigen

- alle Thermogramme mit freundlicher Unterstützung der Solarschmiede, München -