

C.A 1875



Thermographie Didaktikkoffer

Sie haben einen **Thermographie-Didaktikkoffer C.A 1875** erstanden, wir danken Ihnen für Ihr Vertrauen.

Um die optimale Benutzung Ihres Geräts zu gewährleisten, bitten wir Sie:

- diese Bedienungsanleitung sorgfältig zu **lesen**,
- bitte die Anwendungshinweise zu **beachten**.

BEDEUTUNG DER ZEICHEN UND SYMBOLE

	Weist darauf hin, dass dieses Gerät in der EU gemäß der EC-Richtlinie für Elektro- und Elektronikschrott WEEE 2002/96/EC entsorgt und recycelt werden muss. Das Produkt darf nicht als Haushaltsmüll entsorgt werden.
	Gefahr! Bitte lesen Sie die gesamte Betriebsanleitung vor der ersten Verwendung des Geräts sorgfältig durch.
	Das Gerät erfüllt die EMV- und sonstigen Europarichtlinien für die CE-Kennzeichnung.
	Achtung, heiße Fläche.

SICHERHEITSHINWEISE

Materialfehler oder fehlende Teile melden Sie bitte umgehend Ihrem Händler.

Dieses Gerät darf nur anleitungsgemäß verwendet werden, andernfalls könnte der Geräteschutz beeinträchtigt werden.

Lesen Sie bitte jedes Mal in dieser Anleitung nach, wenn Sie auf ein Gefahrensymbol stoßen.

INHALT

1. EINLEITUNG	4
2. EINFÜHRUNG	5
3. EIGENSCHAFTEN	7
3.1 ALLGEMEINE DATEN.....	7
3.2 DATEN DER SICHERUNG	8
4. INBETRIEBNAHME	8
5. EXPERIMENTE	9
5.1 WÄRMEÜBERTRAGUNG	9
5.1.1 <i>Theoretische Grundlagen</i>	9
5.1.2 <i>Experimente: Untersuchung zum Einfluss des Emissionsgrades</i>	15
5.2 UNTERSUCHUNG REALER KÖRPER	16
5.2.1 <i>Theoretische Grundlagen</i>	16
5.2.2 <i>Experimente: Untersuchung zum Einfluss von Reflexion und Transmission</i>	18
5.3 OPTIK UND THERMOGRAPHIEKAMERA.....	18
5.3.1 <i>Theorie: Untersuchung der geometrischen Auflösung</i>	18
5.3.2 <i>Experiment: Untersuchung der geometrischen Auflösung</i>	22
5.4 EXPERIMENTE MIT DER SOFTWARE	23
5.5 PRAKTISCHE ANWENDUNGEN DER THERMOGRAPHIE	25
5.5.1 <i>Fehlerermittlungsarten</i>	25
5.5.2 <i>Anwendungen</i>	26
5.6 Q19-PRÜFBESCHEINIGUNG	28
5.6.1 <i>Vorstellung</i>	28
5.6.2 <i>Durchführung</i>	31
6. WARTUNG UND PFLEGE DES GERÄTS	31
6.1 REPARATUR:	31
6.2 ERSETZEN DER SICHERUNG	32
7. GARANTIE	32
8. BESTELLANGABEN, LIEFERUMFANG	32
ANHANG 1 EMISSIONSGRADBESTIMMUNG	33
ANHANG 2 BESTIMMUNG DER REFLEKTIERTEN TEMPERATUR	34
ANHANG 3 ANWENDUNGSTECHNISCHE ÜBUNGEN	35
ANHANG 4: LÖSUNGEN	41

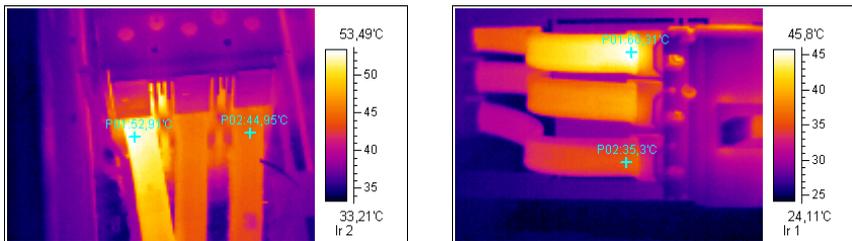
1. EINLEITUNG

Die Infrarot-Thermographie ist heutzutage ein unersetzliches Prüfmittel zur Gewährleistung der Sicherheit in der Industrieproduktion. Ihre Verwendung ist in so unterschiedlichen Industriezweigen wie Eisen & Stahlindustrie, Energiewirtschaft, Ölindustrie, Automatisierung, Erdgasgewinnung, Verkehrswirtschaft und anderen Berufsgruppen wie Brandbekämpfung und Grenzkontrolle üblich. In all diesen Bereichen, die sich durch Just-in-time-Betriebsabläufe, Hochspannungs-Produktionsanlagen, starke Stromstärken oder hohe Betriebsgeschwindigkeiten auszeichnen, bietet die Infrarot-Wärmebildtechnik eine berührungslose und echtzeitfähige Prüfmethode.

Diese Messmethode erfordert weder Stromunterbrechung, noch Maschinenstillstand oder Betriebsunterbrechung. Sie ermöglicht es, latente Störungen im Vorfeld zu diagnostizieren und so das Auftreten von Pannen und Produktionsausfällen zu verhindern. Die Wärmebildtechnik ist eine innovative berührungslose Auswertetechnik, die sicher, zuverlässig und schnell ist.

Eine Wärmebildkamera misst nicht Temperaturen, sondern Strahlungsflüsse. Nach der Einstellung bestimmter Parameter durch den Thermographietechniker berechnet die Kamera dann die Solltemperaturen. Daraufhin stellt sie dem Benutzer eine Temperaturkarte zur Verfügung, die als Thermogramm bezeichnet wird: Jede Temperatur ist mit einer Farbe verknüpft.

Hier sind zwei Beispiele für Thermogramme:



Innenansichten von Drehstrom-Schaltschränken

Zunächst ist zu erkennen, dass diese beiden Thermogramme nahezu identisch sind: Wir stellen fest, dass es jeweils eine wärmere Phase gibt (links für das linke Thermogramm, und oben beim rechten Thermogramm). Sie sind nämlich hellgelb, was gemäß der Farbskala rechts neben dem IR-Bild anzeigt, dass die Temperatur dort höher ist.

Lassen Sie uns einen genaueren Blick auf diese beiden Bilder werfen, indem wir Temperatur-Cursoren einsetzen.

Linkes Thermogramm:

- Cursor 1: 52,9°C

- Cursor 2: 44, 9°C

Nach den klassischen Thermographie-Regeln (siehe unten) liegt kein besonderes Problem vor.

Rechtes Thermogramm:

- Cursor 1: 60,3 °C
- Cursor 2: 35,3 °C

In diesem Fall beträgt die Temperaturdifferenz 25 °C! Wir kommen daher zu dem Schluss, dass ein echtes Problem mit der Anlage vorliegt und Korrekturmaßnahmen ergriffen werden müssen.

Im Endeffekt ist es also ratsam, auf die Farbskalen zu achten und eine echte Analyse durchzuführen. Dunkel bedeutet zwar kälter und hell bedeutet wärmer, aber damit allein ist das Problem nicht notwendigerweise erkannt! Man darf nicht vergessen, dass die Kamera nur ein Messgerät ist und dass bei der Untersuchung weiter gedacht werden muss!

2. EINFÜHRUNG

Die ständig steigende Nachfrage nach Ausbildungsmaterial für die Aufnahmen von Infrarot-Wärmebildern hat CHAUVIN ARNOUX veranlasst, einen speziellen Didaktik-Koffer für diese neue Technologie zu entwickeln.

Die damit möglichen Übungen und Experimente zeigen auf, welche Fehlermöglichkeiten bei der Aufnahme von Wärmebildern mit Infrarot-Kameras existieren.

Die Auszubildenden werden dafür sensibilisiert, dass Infrarot-Kameras hochempfindliche Messinstrumente sind, die mit entsprechender Sorgfalt bedient werden müssen, um aussagefähige Ergebnisse zu erhalten.

Der **Didaktikkoffer C.A 1875** besteht aus einer Wärmeplatte, dazu gibt es mehrere Oberflächen-Platten aus unterschiedlichen Materialien, sowie Abschirmungen, die mit Magneten vor der abstrahlenden Fläche befestigt werden können. (Siehe das folgende Diagramm).

Mit diesem Koffer sollen den Auszubildenden die wichtigsten möglichen Fehlerursachen bei der Durchführung einer Messung mit einer Infrarotkamera aufgezeigt werden.

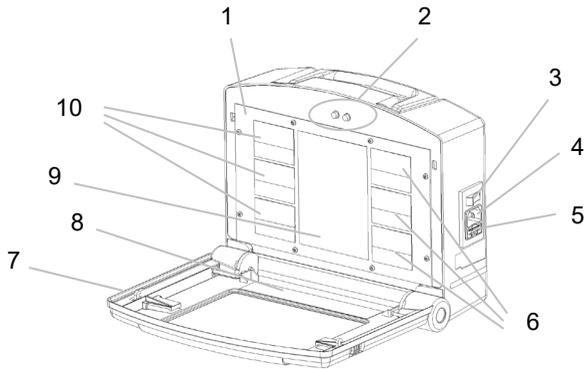
Mit diesem didaktischen Material sind die folgenden Experimente möglich:

- Einfluss des Emissionsgrads der Oberflächen
- Einfluss des Einfallswinkels
- Reflexionsprobleme
- Transmissionsprobleme

C.A 1875

- Probleme mit der räumlichen Auflösung

Präsentation des Thermographie-Didaktikkoffers C.A 1875:



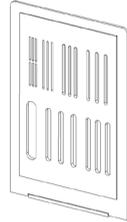
- 1 : Wärmeplatte
- 2: LEDs zur Anzeige von Temperaturanstieg bzw. -abfall
- 3: Ein/Aus-Schalter
- 4: Anschluss des Netzkabels
- 5: Sicherungsfach
- 6: Platten aus unterschiedlichen Materialien
- 7: Schutzhaube
- 8: Montageplatte für die Abschirmungen
- 9: Schwarze Bezugsfläche für die verschiedenen Tests

Präsentation der Abschirmungen

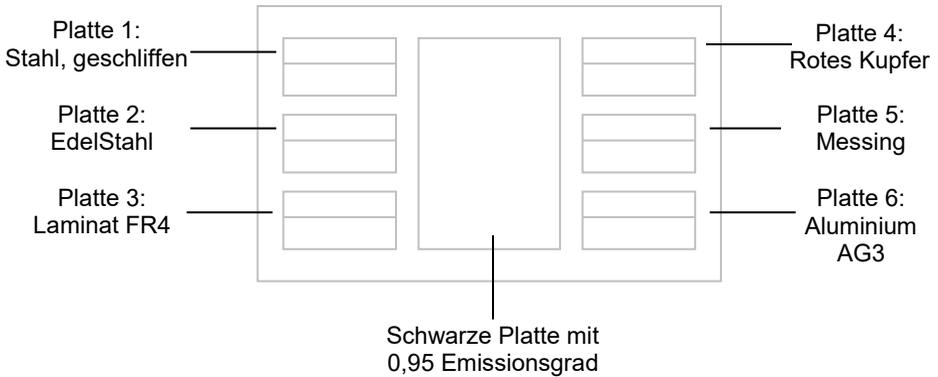
Abschirmung Nr. 1:
Plexiglas-Scheibe



Abschirmung Nr. 2:
Unterschiedlich breite Schlitz



Präsentation der Oberflächen-Platten



3. EIGENSCHAFTEN

3.1 ALLGEMEINE DATEN

Stromversorgung: 230 V
50 / 60 Hz
Verbrauch: 400 mA
Temperatur der Wärmeplatte: 50 bis 55°C ± 3°C
Abmessungen: 280 x 225 x 110 mm
Gewicht: 1,8 kg

Umgebungsbedingungen:

Verwendung nur in Innenräumen:

0 °C bis 40°C, 10 % bis 90% rel. Luftfeuchte

Höhe bis 2000 m

Verschmutzungsgrad 2

Lagerung:

-20 °C bis + 65°C, 10 % bis 90% rel. Luftfeuchte

Höhe bis 12000 m

Hinweis: Die Lagerung bei einer höheren Temperatur ist möglich, erfordert jedoch eine manuelle Rückstellung des Sicherheitsthermostaten, um die Funktionsfähigkeit des Gerätes zu gewährleisten.

Konformität mit internationalen Normen:

- Sicherheit gemäß IEC 61010

- EMV gemäß IEC 61326-1

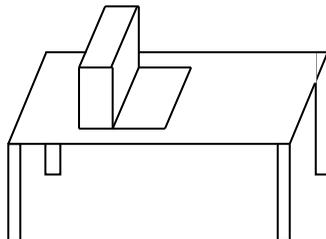
3.2 DATEN DER SICHERUNG

Abmessungen: 5 x 20 mm

Bereich: 0,5 A flink – 250 V

4. INBETRIEBNAHME

Der **Thermographie-Didaktikkoffer C.A 1875** muss auf eine ebene Fläche gestellt werden. Die Wärmeplatte muss rechtwinklig zur Arbeitsfläche sein.



Schließen Sie den Koffer nun eine geerdete Steckdose an und schalten Sie ihn mit der Ein-/Aus-Taste ein.

Warten Sie einige Minuten, bis sich die Platte erwärmt hat, bevor Sie die ersten Tests durchführen.

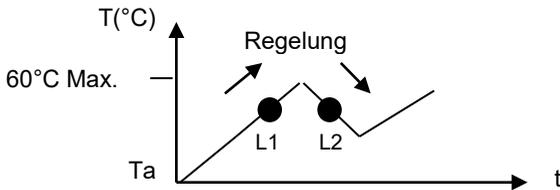


Diagramm der LEDs und der Temperaturschwankungen der Wärmeplatte.

Wenn der Koffer eingeschaltet wird, leuchtet L1, bis die Platte ca. 55°C erreicht. Sobald diese Temperatur erreicht ist, leuchtet L2 auf und die Platte kühlt auf ca. 50°C ab. Die Heizung startet wieder, L1 leuchtet auf und so weiter. Dieser Vorgang wird solange fortgesetzt, wie der Koffer in Betrieb ist.

5. EXPERIMENTE

In der Bedienungsanleitung finden Sie Anweisungen zur Verwendung des RayCAM.

Erstellen Sie vor jedem neuen Experiment einen neuen Thermogramm-Ordner.

Speichern Sie während der Experimente so viele Bilder wie möglich.

5.1 WÄRMEÜBERTRAGUNG

5.1.1 Theoretische Grundlagen

Um die Vorkommnisse richtig einordnen zu können, muss man mit den Grundlagen für die Veränderungen und Temperaturschwankungen vertraut sein.

Es gibt drei Arten von Wärmetransportvorgängen:

- Wärmeleitung
- Konvektion
- Wärmestrahlung

Alle drei Arten können gleichzeitig und unabhängig voneinander vorhanden sein.

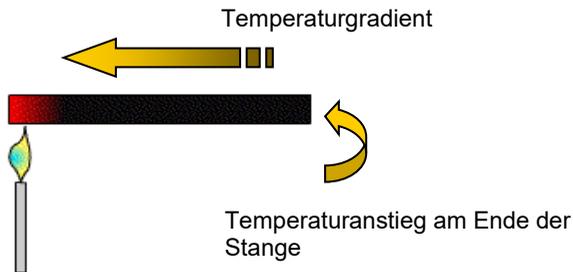
Ein Wärmestrom ist ein Begriff für thermische Energie pro Zeiteinheit. Ein Transferstrom tritt nur dann auf, wenn ein Temperaturunterschied vorliegt. Wärmeenergie wird von einem warmen Körper auf einen kalten Körper übertragen.

Es ist wichtig, die damit verbundenen thermischen Phänomene zu verstehen.

Wärmeleitung

In der Physik ist die Wärmeleitfähigkeit die Größe, mit der die Wärmeleitfähigkeit eines Körpers gemessen wird. Sie stellt die Menge an Wärme dar, die pro Flächeneinheit und pro Zeiteinheit aufgrund einer Temperaturdifferenz, d. h. bei Vorhandensein eines Temperaturgradienten, zwischen den beiden Enden eines Körpers übertragen wird.

Nehmen wir das Beispiel einer Metallstange, die an einem Ende erwärmt wird: Die thermische Bewegung der Atome am erwärmten Ende der Stange nimmt zu und wird in entgegengesetzter Richtung des Temperaturgradienten von einem Ende zum anderen übertragen.

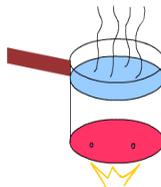


Anwendung: siehe Anhang 3 Übung 1

Konvektion

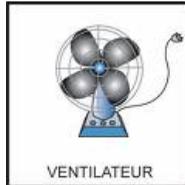
Ein strömendes Fluid (Flüssigkeit oder Gas) kann eine bestimmte Menge an Wärmeenergie mit sich führen. Diese Form der Wärmeübertragung wird als thermische KONVEKTION bezeichnet. Bei der Konvektion nutzt die Wärme das Fluid als „Transportmittel“. Es gibt zwei Arten konvektive Vorgänge:

- Freie oder natürliche Konvektion: Wenn es einen Temperaturunterschied zwischen zwei Bereichen eines Fluids gibt, neigt das wärmere Fluid dazu, durch statischen Auftrieb zu steigen. Es entsteht eine natürliche Fluidströmung unter der Einwirkung der Wärme, die zudem mitgeführt wird: wir sprechen von natürlicher Konvektion.



C.A 1875

- Erzwungene Konvektion, bei der der Flüssigkeitsstrom durch eine mechanische Vorrichtung (Pumpe oder Schwerkraft für eine Flüssigkeit, Ventilator für Luft) erzwungen wird.



Die erzwungene Konvektion ist ein gefährliches Phänomen in der Infrarot-Thermographie. Durch die erzwungene Konvektion wird nämlich die Oberfläche eines Körpers abgekühlt, ohne seine Innentemperatur zu verändern.

Zum Beispiel ist der Wind eine Form der erzwungenen Konvektion. Bei Wind verspürt der Mensch eine Abkühlung und die Hauttemperatur kann sinken. Die Körpertemperatur selbst ändert sich jedoch nicht! Mit oder ohne Wind reguliert der menschliche Körper seine Temperatur sehr gezielt.

Da wir in der Thermographie nur die Oberflächentemperatur von Objekten messen, stimmt in einem solchen Fall das Ergebnis nicht. Die Materialoberfläche hat nämlich aufgrund der erzwungenen Konvektion eine gleichmäßige Temperatur, aber die Innentemperaturen können unterschiedlich sein.

Anwendung: siehe Anhang 3 Übung 2

Wärmestrahlung: idealer schwarzer Körper, Schwarzkörperstrahlung

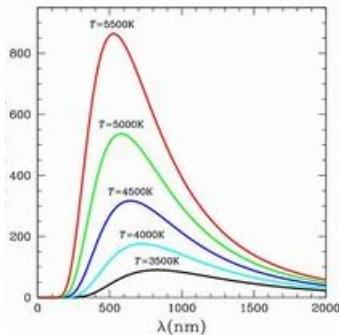
Jeder Körper mit einer Temperatur oberhalb des absoluten Nullpunktes (0 Grad Kelvin bzw. $-273,15^{\circ}\text{C}$) emittiert elektromagnetische Strahlung, die Wärmestrahlung genannt wird. Infrarotstrahlung ist elektromagnetische Strahlung mit einer Wellenlänge zwischen 700 Nanometern und 1 Millimeter.

Damit ein Körper strahlen kann, muss die Energie nach dem Gesetz der Energieerhaltung aus ihm selbst kommen, es ist eine innere Energie.

In der Thermographie wird Strahlung zur Messung der Körpertemperatur verwendet.

Für jede gegebene Temperatur und Wellenlänge gibt es eine maximale Strahlungsenergie, die kein Körper überschreiten kann. Diese Information wird durch die Planck'schen Strahlungskurven gegeben:

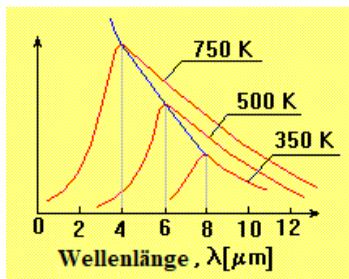
Abgestrahlte
Energie



Das Wiensche Verschiebungsgesetz gibt die Wellenlänge (in Mikrometern) an, die der maximalen Strahlungsenergie eines Schwarzkörpers bei einer bestimmten Temperatur T (in Kelvin) entspricht.

$$\lambda_{\max} = \frac{2898}{T}$$

Die Wellenlänge der maximalen Infrarotstrahlung nimmt mit steigender Schwarzkörpertemperatur ab.



Dieser Austausch wird mit dem Stefan-Boltzmann-Gesetz berechnet. Die von einem Körper abgestrahlte Energie schreibt sich:

$$E = S \cdot \sigma \cdot T^4$$

Wobei:

E: abgestrahlte Energie in W / m².

σ : Stefan-Boltzmann-Konstante = $5,6703 \cdot 10^{-8} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$

S: Oberfläche des abstrahlenden Körpers m²

T: Temperatur des abstrahlenden Körpers in Kelvin

Ein Schwarzkörper ist ein Körper, dessen Oberfläche die auftreffende Strahlung vollständig aufnimmt.

Hinweis: Schwarzkörper sind idealisierte Körper, die nicht existieren. Ihre einzige abgegebene Strahlung wäre nur die von ihrer eigenen Temperatur abhängige Wärmestrahlung.

Anwendung: siehe Anhang 3 Übungen 3 und 4

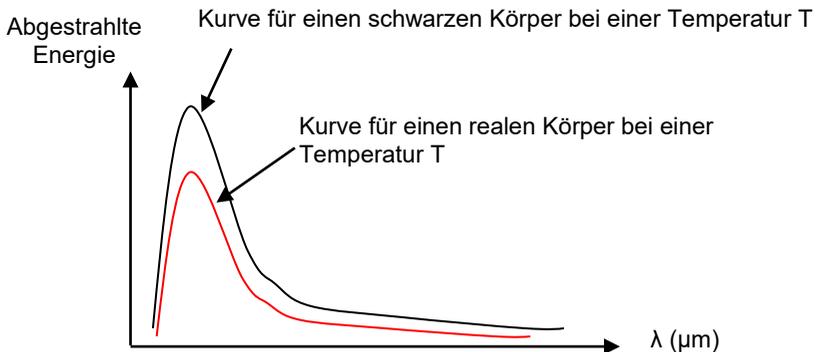
Emissionsgrad

Der Emissionsgrad eines Körpers gibt an, wie viel Strahlung er im Vergleich zu einem schwarzen Körper abgibt. Es ist somit ein Maß für die Fähigkeit eines Körpers, abgestrahlte Energie aufzunehmen und wieder abzugeben.

Der Emissionsgrad ist eine Größe zwischen 0 und 1.

Die bisherigen Gesetze stimmen nicht ganz, wir müssen daher den Parameter Emissionsgrad einführen.

Die vorhergehende Planck'sche Strahlungskurve wird damit:



5.1.2 Experimente: Untersuchung zum Einfluss des Emissionsgrades

Experiment 1: Aufzeigen von Messproblemen an Materialien mit unterschiedlichem Emissionsgrad.

Vergewissern Sie sich, dass der Koffer bereits einige Augenblicke lang die Temperatur regelt.

Richten Sie die Kamera auf die Wärmeplatte und achten Sie darauf, dass Sie frontal vor dem Koffer stehen.

- Achten Sie darauf, dass Sie die Mittelplatte und mindestens eine der 6 äußeren Platten im Sichtfeld der Kamera haben.

Was stellen Sie fest?

Welche Schlussfolgerung können Sie daraus ziehen?

Bestimmen Sie den Emissionsgrad der verschiedenen Platten gemäß der in Anhang 1 beschriebenen Methode.

- Kleben Sie eine der 6 äußeren Platten mit schwarzem Klebeband ab. Richten Sie die Kamera jetzt wieder auf diese Platte.

Was stellen Sie fest?

Welche Schlussfolgerung können Sie daraus ziehen?

Experiment 2: Aufzeigen von Messproblemen durch Platzierung gegenüber dem Messziel

Legen Sie ein neues Verzeichnis an.

Richten Sie die Kamera auf die Wärmeplatte und achten Sie darauf, dass Sie lotrecht vor dem Koffer stehen. Zielen Sie auf den schwarzen Mittelbereich, der einen hohen Emissionsgrad von nahezu 0,95 aufweist.

- Messen Sie die Temperatur in der Mitte der Platte.

- Neigen Sie Ihre Kamera leicht. Messen Sie die Temperatur erneut.

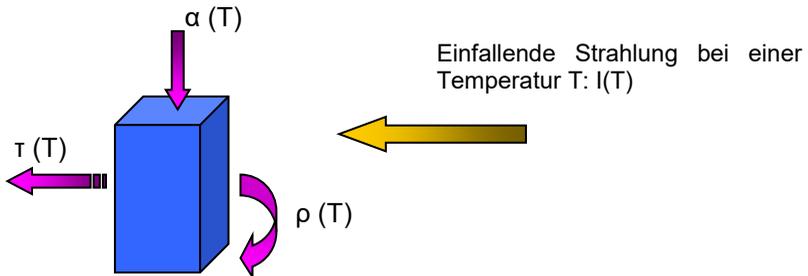
- Wiederholen Sie diesen Vorgang, und neigen Sie dabei Ihre Kamera jedes Mal um etwa 10°. Zeichnen Sie die Temperatur auf.

Welche Schlussfolgerung können Sie daraus ziehen?

5.2 UNTERSUCHUNG REALER KÖRPER

5.2.1 Theoretische Grundlagen

Der Schwarzkörper ist also ein theoretisches, idealisiertes Objekt. Die obigen Formeln lassen sich auf reale, existierende Körper nur dann anwenden, wenn man sie korrigiert: reale Objekte absorbieren nur einen Bruchteil α der einfallenden Strahlung, reflektieren einen Teil ρ und übertragen einen Bruchteil τ .



Nach dem Gesetz der Energieerhaltung ergibt sich folgende Relation:

$$\alpha \cdot I(T) + \rho \cdot I(T) + \tau \cdot I(T) = I(T),$$

$$\text{also } \alpha + \rho + \tau = 1$$

Im Gleichgewicht strahlt der Körper die gleiche Energiemenge $\varepsilon(T)$ ab wie er aufgenommen hat $\alpha(T)$.

Es besteht folgende Relation:

$$\alpha \cdot I(T) = \varepsilon \cdot I(T)$$

$$\text{also } \alpha = \varepsilon$$

Daraus ergibt sich:

$$\varepsilon + \rho + \tau = 1$$

In der Thermographie lassen sich Messungen nur an lichtundurchlässigen Körpern durchführen. Die Transmission von Materialien ist damit gleich null.

Es besteht folgende Relation:

$$\varepsilon + \rho = 1$$

$$\text{Und } \rho = 1 - \varepsilon$$

Bei der thermographischen Messung ist es daher notwendig, die reflektierte „Umgebungsstrahlung“ zu berücksichtigen. Eine realistische Messsituation ist daher:



Die gesamte von der Kamera aufgenommene Strahlung (R_{Messung}) beträgt somit:

$$R_{\text{Messung}} = R_{\text{Körper}} + R_{\text{reflektiert}}$$

$$\begin{array}{ccc} & \swarrow & \searrow \\ \varepsilon \cdot \sigma \cdot (T_{\text{Körper}})^4 & & \rho \cdot \sigma \cdot (T_{\text{reflektiert}})^4 \end{array}$$

Daraus ergibt sich:

$$R_{\text{Messung}} = \varepsilon \cdot \sigma \cdot (T_{\text{Körper}})^4 + \rho \cdot \sigma \cdot (T_{\text{reflektiert}})^4$$

$$= \varepsilon \cdot \sigma \cdot (T_{\text{Körper}})^4 + (1 - \varepsilon) \cdot \sigma \cdot (T_{\text{reflektiert}})^4$$

Zur Ermittlung der Körpertemperatur benötigt die RayCAM also den Emissionsgrad und die reflektierte Temperatur.

Die reflektierte Temperatur entspricht der Umgebungstemperatur in der Nähe des Messziels. Wenn kein Element das Prüfziel stört, entspricht diese Temperatur der Umgebungstemperatur.

Für den Fall, dass eine Wärme- oder Kältequelle in unmittelbarer Nähe des Ziels vorhanden ist, ist in einer Norm festgelegt, wie die reflektierte Temperatur zu bestimmen ist (siehe Anhang 2).

Anwendung: siehe Anhang 3 Übung 5

5.2.2 Experimente: Untersuchung zum Einfluss von Reflexion und Transmission

Experiment 3: Aufzeigen von Messproblemen im Zusammenhang mit der Reflexion

Legen Sie ein neues Verzeichnis an.

- Halten Sie die Kamera vor die Aluminiumplatte: sie glänzt, hat einen niedrigerem Emissionsgrad und ist somit stark reflektierend.
- Nehmen Sie eine Messung vor, indem Sie frontal zur Platte stehen.
- Stellen Sie sich nun etwas schräg zur Platte und wiederholen Sie die die Messung.
- Welche Schlussfolgerung können Sie daraus ziehen?

Experiment 4: Aufzeigen von Messproblemen im Zusammenhang mit der Transmission

Legen Sie ein neues Verzeichnis an.

- Messen Sie die Temperatur der schwarzen Platte mit 0,95 Emissionsgrad.
- Bringen Sie nun die Abschirmung Nr. 1 (Plexiglasfenster) am Didaktikkoffer an. Warten Sie 2-3 Minuten, bis die Temperatur gleichmäßig ist. Zielen Sie durch das Plexiglas auf die schwarze Platte und führen Sie eine Temperaturmessung durch. Nehmen Sie das Glas weg und wiederholen Sie die Messung.
- Welche Schlussfolgerung können Sie daraus ziehen?

5.3 OPTIK UND THERMOGRAPHIEKAMERA

5.3.1 Theorie: Untersuchung der räumlichen Auflösung.

Räumliches Auflösungsvermögen

Das räumliche Auflösungsvermögen wird als Winkel definiert, dem IFOV (Instantaneous Field Of View). Dieser bezeichnet den Winkel, in dem die Matrix eine Fläche (Δs) des angepeilten Bereichs sieht.

Die Schwierigkeit beim Festlegen des IFOV besteht darin, dass die Abmessungen von Matrixsensoren nicht genormt sind. Wir beziehen uns daher nicht auf ein Objektiv mit seiner Brennweite, sondern auf den FOV (Field Of View)-Winkel, in dem die Kamera das Wärmebild sieht. Es gibt eigentlich zwei FOVs:

- HFOV: horizontaler Winkel
- VFOV: vertikaler Winkel

Ausgehend davon kann der IFOV über das Verhältnis definiert werden:

$$\text{IFOV } (^{\circ}) = \frac{\text{HFOV}}{\text{ndH}} = \frac{\text{VFOV}}{\text{ndV}}$$

Wobei:

- ndH = Detektorenanzahl in der Matrizen-Horizontale
- ndV = Detektorenanzahl in der Matrizen-Vertikale

Im Übrigen wird der IFOV-Wert vorzugsweise in Milliradian (mrad) angegeben, was einer Bodenfläche in mm entspricht, die in einem Abstand von 1 m (...mm@1m) betrachtet wird.

Daraus ergibt sich das Verhältnis:

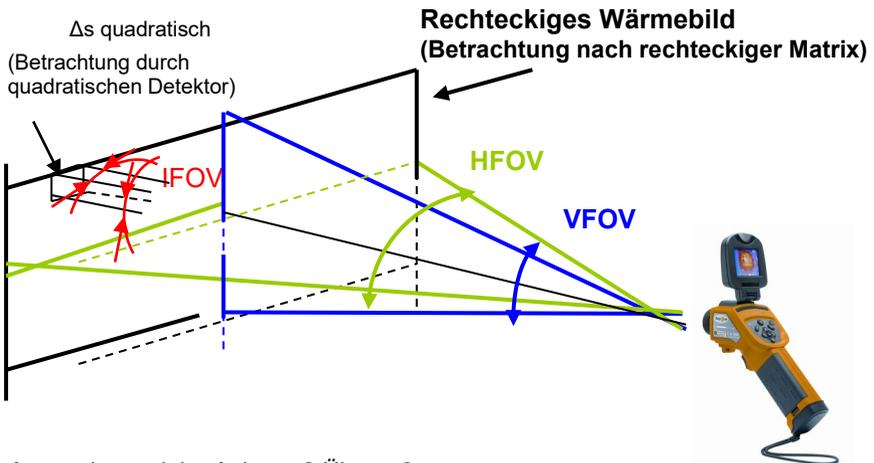
$$\text{IFOV (mrad)} = \frac{\text{HFOV} \times \pi \times 1000}{\text{ndH} \times 180^{\circ}} = \frac{\text{VFOV} \times \pi \times 1000}{\text{ndV} \times 180^{\circ}} =$$

Räumliches Auflösungsvermögen

Der IFOV entspricht der räumlichen Auflösung der Kamera, d.h. der Größe der Fläche, die ein Detektor messen kann. Dieses Maß ist vom Abstand zwischen der Zielfläche und der Kamera abhängig.

Je mehr man sich der betrachteten Fläche nähert, desto kleiner wird der IFOV und die Kamera nimmt auch kleine Objekte wahr.

Diagramm mit den verschiedenen Konzepten:



Anwendung: siehe Anhang 3 Übung 6

Räumliches Messauflösungsvermögen

Wenn es darum geht, Temperaturen zu messen und kein Wärmebild mehr zu machen, muss man sich mit dem messtechnischen Aspekt der Kamera befassen.

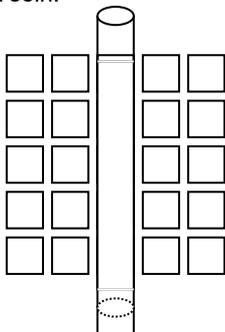
Die einzelnen Detektoren sind nämlich autonom und messen die empfangene Strahlung über ihre gesamte Fläche. Der Detektor mittelt dann die gesamte empfangene Strahlung und liefert dem Benutzer die entsprechende Temperatur.

Nehmen wir den Fall der Temperaturbestimmung an einem Draht.

Fall 1:

Der Draht wird in 1 IFOV erfasst.

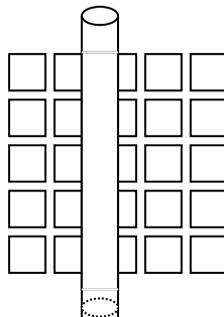
Um eine korrekte Messung zu gewährleisten, müsste der Draht folgendermaßen platziert sein:



In dieser Konfiguration erhalten wir einen korrekten Temperaturwert.

Diese Konfiguration ist aber nicht realistisch!

Die Wirklichkeit sieht wahrscheinlich eher so aus:

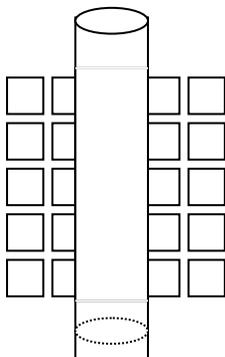


Nachdem kein Detektor vollständig abgedeckt ist, haben wir auch bei keinem der Detektoren eine korrekte Antwort!!

Fall 2:

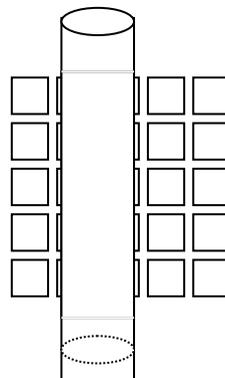
Der Draht erstreckt sich über 2 IFOV.

Um eine korrekte Messung zu gewährleisten, müsste der Draht folgendermaßen platziert sein:



In dieser Konfiguration erhalten wir einen korrekten Temperaturwert.

Die Wirklichkeit sieht wahrscheinlich eher so aus:



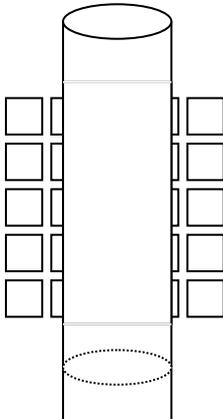
Wiederum ist kein Detektor vollständig abgedeckt, darum haben wir auch bei keinem der Detektoren eine korrekte Antwort!!

Wir sind uns auch hier nicht sicher, ob wir eine korrekte Temperaturmessung durchführen.

Diese Konfiguration ist auch nicht realistisch!

Fall 3:

Der Draht erstreckt sich über 3 IFOV.



Wo auch immer der Draht verläuft, es gibt zwangsläufig einen Detektor!
Die Messung ist daher zuverlässig.

Daraus schließen wir:

Um sicherzustellen, dass eine korrekte Messung durchgeführt wird, muss der Zielbereich mindestens drei Detektoren umfassen.

Die kleinste mit der Kamera messbare Fläche ist daher 3 IFOV.

Das heißt:

Messauflösung = 3 Auflösungen

Anwendung: siehe Anhang 3 Übungen 7 bis 9

5.3.2 Experiment: Untersuchung der räumlichen Auflösung.

Bringen Sie nun die Abschirmung Nr. 2 (Schlitze) am Didaktikkoffer an.
Warten Sie 2-3 Minuten, bis die Temperatur gleichmäßig ist.

- Halten Sie die RayCAM in 10 cm Abstand zur Abschirmung Nr. 2.
- Nehmen Sie von jeder Schlitz-Gruppe ein Thermogramm auf.
- Bestimmen Sie mit Hilfe der Cursor die Temperatur der einzelnen Schlitze.
- Was lässt sich daraus schließen?

- Halten Sie die RayCAm in 30 cm Abstand zur Abschirmung Nr. 2.
Nehmen Sie von jeder Schlitz-Gruppe ein Thermogramm auf.
Bestimmen Sie mit Hilfe der Cursor die Temperatur der einzelnen Schlitze.
Was lässt sich daraus schließen?

- Halten Sie die RayCAm in 80 cm Abstand zur Abschirmung Nr. 2.
Nehmen Sie von jeder Schlitz-Gruppe ein Thermogramm auf.
Bestimmen Sie mit Hilfe der Cursor die Temperatur der einzelnen Schlitze.
Was lässt sich daraus schließen?

- Was kann man aus diesem Experiment lernen?

5.4 EXPERIMENTE MIT DER SOFTWARE

Siehe auch: Betriebsanleitung vor der ersten Verwendung der Software RayCAm report.

Ziel ist es, die verschiedenen oben beschriebenen Messungen mit der Berichtssoftware RayCAM und den in der Kamera gespeicherten Bildern zu bearbeiten.

Vorgang 1: Übertragung und Archivierung von Thermogrammen

Schließen Sie die Kamera mit dem mitgelieferten USB-Anschlusskabel an Ihren PC an.

Der PC erkennt die RayCAM als externe Festplatte.

Öffnen Sie das Verzeichnis der Kamera, wählen Sie die gewünschten Ordner aus und kopieren Sie diese auf die Festplatte des PCs.

Benennen Sie die Ordner nach den verschiedenen Experimenten um:

- Emissionsgrad der Materialien
- Platzierung
- Reflexion
- Transmission
- Räumlichen Auflösung

Experiment 2: Untersuchung zum Einfluss des Emissionsgrades

- Öffnen Sie die Software und erstellen Sie so viele Infrarotzonen, wie Sie Bilder im Ordner „Emissionsgrad der Materialien“ haben.

Ein Thermogramm pro Zone einfügen.

- Setzen Sie Punkte für jedes Material und jeden Oberflächentyp der einzelnen Thermogramme.

- Erstellen Sie einen Tabellenbereich pro Thermogramm.
Vervollständigen Sie die Tabelle mit folgenden Elementen: IR-Bildnummer und Emissionsgrad, Punkt-Temperatur und Emissionsgrad.
- Ändern Sie den Emissionsgrad der Punkte, bis die Temperatur der Schwarzscheibe erreicht ist.
- Vergleichen Sie Ihre Ergebnisse mit denen der Kamera.

Experiment 3: Untersuchung der räumlichen Auflösung.

- Öffnen Sie eine neue Berichtseite und erstellen Sie so viele Infrarotzonen, wie Sie Bilder im Ordner „Räumlichen Auflösung“ haben.
Ein Thermogramm pro Zone einfügen.
- Setzen Sie Punkte für jeden Schlitz der einzelnen Thermogramme.
- Fügen Sie für jede Schlitz-Gruppe eine Linie ein.
- Erstellen Sie einen Bereich für das Analysetool „Linie“ per Thermogramm. Sollten Sie mehrere Linien im Thermogramm markiert haben, verbinden Sie diese eventuell miteinander.
Bestimmen Sie die Temperatur der einzelnen Schlitze.
- Erstellen Sie einen Tabellenbereich pro Thermogramm.
Vervollständigen Sie die Tabelle mit folgenden Elementen: IR-Bildnummer und Emissionsgrad, Punkt-Temperatur.
- Ziehen Sie die Schlussfolgerungen aus den in der Tabelle angezeigten Werten und schreiben Sie diese in ein Textfeld.
- Vergleichen Sie Ihre Ergebnisse mit denen der Kamera.

5.5 PRAKTISCHE ANWENDUNGEN DER THERMOGRAPHIE

5.5.1 Fehlerermittlungsarten.

Absolute Thermographie

Dieser Modus gibt Aufschluss über den Zustand einer Komponente bzw. eines Materials unter Berücksichtigung der aktuellen Betriebsbedingungen.

Es stellt sich die folgende Frage: Liegt sie unter oder über dem vom Hersteller angegebenen Maximum?

Wenn die IR-Thermografie in prädiktive Instandhaltung eingebunden ist, kann die Entwicklung der absoluten Temperatur aufgezeichnet und daraus abgelesen werden, wann eine Komponente aufgrund ihrer Alterung ausgetauscht werden muss.

Qualitative vergleichende Thermographie

Da es nicht immer möglich ist, die Temperaturen einwandfrei zu bestimmen, kann es unter Umständen ausreichen, qualitativ bzw. vergleichend vorzugehen. Dazu wird die Kamera für die jeweiligen Aufnahmen genau gleich eingestellt und man orientiert sich nur an den sichtbaren Unterschieden zwischen den Bildern.

Quantitative vergleichende Thermographie

Die quantitative Thermographie besteht darin, ein vermutlich fehlerhaftes Material oder Bauteil mit einem Äquivalent zu vergleichen, das als fehlerfreies Vergleichsobjekt unter ähnlichen Bedingungen herangezogen wird.

Hier finden Sie eine Orientierungshilfe zur Bestimmung der Dringlichkeitsstufen, wie sie in der elektrischen und mechanischen Instandhaltung verwendet werden.

Abweichung (ΔT) im Vergleich zu identischen Komponenten, die unter gleichen Lastbedingungen arbeiten.	Dringlichkeitskriterium
< 10 °C	Passabel. Bis zur nächsten bereits geplanten Wartung überwachen
10 bis 20 °C	Mittel. Korrekturmaßnahmen innerhalb der kommenden 3 Monate planen
20 °C bis 40 °C	Ernsthaft. Dringende Korrekturmaßnahmen innerhalb eines Monats durchführen
> 40 °C	Kritisch. Sofortmaßnahmen innerhalb einer Woche durchführen

Anwendung: siehe Anhang 3 Übung 10

5.5.2 Anwendungen

Elektrische Wartung

Ziel einer solchen Prüfung ist es, in lastführenden elektrischen Anlagen Erwärmungen aufzuzeigen, die verschiedenste Ursachen haben können:

- falsche Anschlüsse,
- Überlasten,
- Unsymmetrie der Phasen,
- fehlerhafte Kontakte usw.

Dies gilt es zu antizipieren und zu vermeiden:

- Schäden an teuren Geräten,
- Produktionsausfälle,
- Betriebsverluste,
- Brände usw.

Ziel ist es, Entscheidungshilfen für Korrekturmaßnahmen bereitzustellen, etwaigen Arbeiten vorzugreifen bzw. diese gezielt planen zu können, und somit die Wartung von elektrischen Anlagen zu erleichtern (Zeitersparnis und Sicherheitsgewinn).

Vorgehensweise für eine elektrische Wartungsprüfung:

Es wird eine systematische Abtastung der gesamten Elektroanlage durchgeführt (falls erforderlich und soweit möglich, wird eine Rückansicht durchgeführt).

Da die geprüften Systeme in Betrieb sind, stehen die Komponenten der elektrischen Anlage unter Normallast. Im Infrarotbild strahlen die verschiedenen Komponenten mehr oder weniger stark, je nach Rolle, Aufbau, Last und Material.

Aufgabe des Technikers ist es, zwischen normalen Betriebstemperaturen und Anomalien zu unterscheiden. Da die Anomalien räumlich begrenzt sind, ist durch eine entsprechende Einstellung der Objektparameter (Emissionsgrad, Umgebung...) eine direkte Berechnung der beobachteten Höchsttemperatur und eventuell der Überhitzung möglich.

Eine zusätzliche Berechnung ermöglicht für den Fall, dass das System nicht unter normalen Last steht, eine Schätzung der im Normalbetrieb auftretenden Überhitzung.

Ausgegangen wird von einem resistiven Fehler. Die Bruttotemperaturdifferenz muss lastabhängig kompensiert werden:

$$\Delta T_{\text{eff}} = \Delta T_{\text{brutto}} \times (I_{\text{Nenn}}/I_{\text{Mess}})^2$$

Für die Einstufung des Fehlers wird die effektive Temperaturdifferenz herangezogen.

Es bleibt abzuklären, wie dringlich ein Eingreifen ist. Diese Einstufung ist insofern sehr wichtig, als sie uns ein Zeitfenster vorgibt und damit die Behebung der Störungen leichter zu organisieren ist.

Eine IR-Aufnahme und ein Foto belegen den Fehler.

Anwendung: siehe Anhang 3 Übung 11

Mechanische Wartung

Bewegliche mechanische Teile erwärmen sich durch Reibung. Die Infrarot-Thermografie ermöglicht es, ungewöhnliche Erwärmungen zu erkennen, die durch:

- Abnutzung,
- Fehlausrichtung, oder
- ein Schmierproblem verursacht werden könnten.

Diese Untersuchungsmethode wird hauptsächlich an Motorspritzen und Abluftventilatoren eingesetzt. Sie wird zusätzlich zu einer Schwingungsanalyse eingesetzt, die wesentlich umständlicher einzurichten ist.

Ein einziges Bild gibt Auskunft über den Zustand des Elektromotors, seiner Stromversorgung (Kabel), der Lager und eventuell der Ausrichtung. Es bleibt abzuklären, wie dringlich ein Eingreifen ist.

Wärmetechnische Eigenschaften von Gebäuden

Diese Anwendungen der Infrarot-Thermografie sind für Architekten, Heizungs- und Sanitärinstallateure, Heizungsbauer, Elektriker, Baufirmen, Baufachleute, Hausbesitzer und Versicherer relevant.

Mit Hilfe der Infrarottechnik ist es einfach, die Wärmeverteilung an der Gebäudefassade darzustellen und Wärmeverluste durch mangelnde Dämmung genau zu lokalisieren. Auf diese Weise lässt sich problemlos die Wärmebilanz für das Gebäude erstellen.

Auch erdverlegte Rohre können begutachtet werden:

- Fußbodenheizung:
 - Leckortung: Rohrleitungen, die direkt unter der Erdoberfläche heiße Flüssigkeiten führen, lassen sich leicht darstellen. Somit ist es möglich, Lecks im Netzwerk punktgenau zu lokalisieren.
 - Ortung von Heizelementen: Vor dem Aufbrechen des Bodens muss genau festgestellt werden, wo die Schläuche verlaufen.
- Wärmeverteilungsnetze (Fernwärme): Überwachung von unterirdischen Rohrleitungen, Ortung von Lecks in unterirdischen Versorgungs- bzw. Abwasserleitungen.

5.6 Q19-PRÜFBESCHEINIGUNG

5.6.1 Vorstellung

In Frankreich gibt es die technische Vorschrift APSAD D19, die die Bedingungen für eine Thermographie-Überwachung von elektrischen Anlagen regelt, und nach der eine Q19-Prüfbescheinigung ausgestellt wird. Diese vom französischen Verband der Versicherungen empfohlene Überwachung dient lediglich der Risikominderung und erlaubt eine Anpassung der Versicherungsprämien Ihres Unternehmens.

Die Auflagen einer solchen Prüfung lauten wie folgt:

- Vorbereitung mit dem Thermografen:
 - Übergabe einer vollständigen und ausführlichen Auflistung aller Prüflinge.
 - Angaben zu relevanten technischen Gegebenheiten (Vorhandensein von Blenden, besondere Betriebsbedingungen usw.).

- Angaben über etwaige Standorte, Bereiche oder Räumlichkeiten, die eine besondere Brand- oder Explosionsgefahr darstellen.
- Verpflichtungen bei und nach der Prüfung:
 - Lassen Sie den Thermografen an den Anlagen von einem Servicetechniker begleiten.
 - Nehmen Sie den Prüfbericht zur Kenntnis, um die gemeldeten Mängel innerhalb der angegebenen Fristen zu beheben, insbesondere bei Brandgefahr.
 - Übermitteln Sie der Versicherungsgesellschaft innerhalb von zwei Wochen nach Erhalt des Berichts eine Kopie der Q19-Prüfbescheinigung

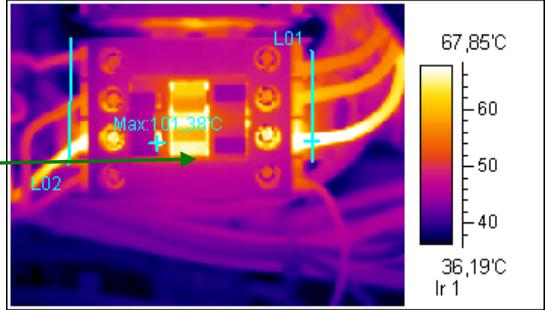
Verpflichtungen des Thermografen:

- Der Auflistung der Prüflinge sind die verschiedenen wichtigen Hinweise für Problemerkennung und -lösung zu entnehmen (Intensität, Bemerkungen, Art und Dringlichkeit von Störungen).
- Sicherstellen der Qualifikation des Bedieners: Das gesamte Einsatzteam ist BR H1V-zertifiziert und besitzt das vom CNPP ausgestellte Zertifikat „Zulassung zur IR-Thermographie-Prüfung von elektrischen Anlagen“.
- Nach Abschluss der Prüfung ist ein erster mündlicher bzw. schriftlicher Bericht über den Ablauf vorzulegen und Störungen von großer Dringlichkeit sind zu melden.
- Schreiben und senden Sie innerhalb von zwei Wochen nach der Prüfung einen Bericht mit folgenden Anlagen:
 - Eine Präsentation der Prüfung
 - Die detaillierte Liste der kontrollierten Ausrüstungen
 - Eine Übersichtstabelle der erhobenen Fehler
 - Eine allgemeine Bewertung der elektrischen Anlagen
 - Die Fehlermeldungen mit:
 - Infrarotaufnahme der Anomalie,
 - Foto,
 - Standort und Bezeichnung der Ausrüstung,
 - Festgestellte Höchsttemperatur bei der Anomalie (+- 5%),
 - Temperaturprofil,
 - Dringlichkeitsstufe.
 - Fachzulassung Elektrik und APSAD-Zertifizierung des Anwenders
 - Das Kalibrierzertifikat der Infrarotkamera
 - Prüfbescheinigung Q19 einer elektrischen Anlage durch Infrarot-Thermographie gemäß Klausel 27c der APSAD-Brandschutzverträge

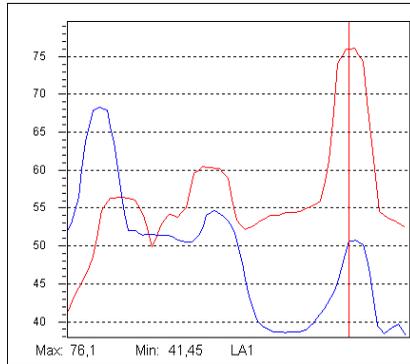
Unten sehen Sie ein Beispiel für eine Fehlermeldung nach einer Infrarot-Thermographieprüfung.

THERMOGRAPHISCHE PRÜFUNG

Fehlermeldung Nr.: 1
 Posten:
 Gerät:
 Last: 100 %



IR-Daten	Wert
IrNe	1
ems	0,9
dist	1
envtmp	25
Datum	2003-9-3
Time	12:52:39
Etikett	Wert
Max:Temp	101,38
Max:ems	0,9
Max:dist	1



Diagnose:

Empfehlung:

ZUSAMMENFASSUNG:

Prüfung durch:

Reparatur am: .. / .. / 2... durch

Reparatur überprüft am ... / .. / 2... durch

Dringlichkeitsstufe:
Sofortige Reparatur
 Reparatur in 1 Monat
 Zu überwachen



5.6.2 Durchführung

Fertigen Sie mit Hilfe eines Schaltschranks im Raum Thermogramme der Anlage an und erstellen Sie einen Bericht nach der Vorlage Q19.

6. WARTUNG UND PFLEGE DES GERÄTS

Der Hersteller haftet keinesfalls für Schäden, die durch Reparaturen außerhalb seines Kundendienstnetzes oder durch nicht von ihm zugelassene Reparaturdienste verursacht wurden.

Instandhaltung:

Reinigung:

- Trennen Sie das Gerät vom Stromnetz.
- Reinigung des Geräts nur mit einem weichen Lappen und einer Seifenlösung, danach mit klarem Wasser.
- Bevor Sie das Gerät wieder in Betrieb nehmen, muss es vollkommen trocken sein.

Rückstellung des Sicherheitsthermostaten:

- Trennen Sie das Gerät vom Stromnetz oder drücken Sie die Taste auf der Unterseite des Gehäuses.
- Entfernen Sie den Deckel mit Hilfe der beiden Riegel;
- Öffnen Sie das Gehäuse, indem Sie die fünf Schrauben an der Unterseite lösen;
- Drücken, bis der Thermostat-Zapfen einrastet.
- Alles wieder zusammenbauen.

Ein neuerliches Auslösen ohne ersichtlichen Grund weist auf eine Störung hin.

6.1 REPARATUR:

Senden Sie das Gerät bei Reparaturen innerhalb und außerhalb der Garantie an die Chauvin Arnoux Niederlassung oder Ihren Händler zurück.

Die Anschriften finden Sie auf <http://www.chauvin-arnoux.com>.

Für alle Reparaturarbeiten außerhalb Frankreichs (mit oder ohne Garantie) schicken Sie das Gerät Ihrem Händler oder Ihrer Chauvin-Arnoux-Niederlassung.

6.2 ERSETZEN DER SICHERUNG

Trennen Sie das Gerät vom Stromnetz.

Drücken Sie zwischen dem Stecker und der Ein-/Aus-Taste beide Laschen, um den Sicherungshalter herauszuziehen.

Um fortwährende Sicherheit zu gewährleisten darf die fehlerhafte Sicherung nur durch ein exakt identisches Modell ersetzt werden:

Eine Ersatzsicherung finden Sie nach dem Öffnen im Sicherungshalter.

7. GARANTIE

Außer ausdrücklich anders lautenden Angaben beträgt die Garantiefrist für unsere Geräte **24 Monate** nach Bereitstellung des Geräts beim Kunden (Auszug aus unseren allgemeinen Verkaufsbedingungen, die wir Ihnen auf Anfrage gerne zusenden).

Eine Garantieleistung ist in folgenden Fällen ausgeschlossen:

- unsachgemäße Benutzung des Gerätes oder Verwendung mit inkompatiblen anderen Geräten;
- Veränderung des Geräts ohne die ausdrückliche Genehmigung der technischen Abteilung des Herstellers;
- Eingriffe in das Gerät durch eine nicht vom Hersteller dazu befugte Person;
- Anpassung des Geräts an nicht vorgesehene und nicht in der Anleitung aufgeführte Verwendungszwecke;
- Schäden durch Stöße, Herunterfallen, Überschwemmung.

8. BESTELLANGABEN, LIEFERUMFANG

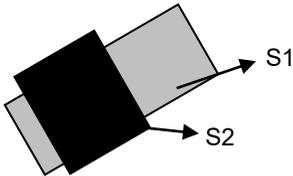
C.A 1875

Lieferumfang: Netzkabel, zwei Abschirmungen, eine Bedienungsanleitung mit Übungsbuch in einer Tasche.

ANHANG 1 EMISSIONSGRADBESTIMMUNG

Gemäß der ASTM-Norm E1933-99A:

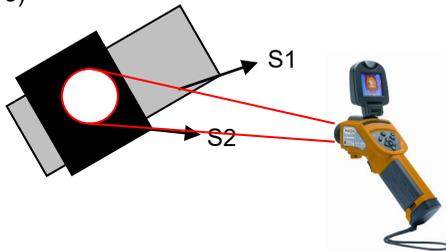
1.



S1 ist die Oberfläche des Materials, dessen Emissionsgrad bestimmt werden soll. Wir tragen auf S1 eine Schicht schwarzer Farbe S2 auf, deren Emissionsgrad bekannt ist.

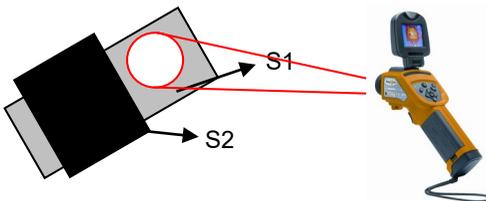
2) Da für S1 und S2 dieselben Umgebungsbedingungen gelten, haben beide Oberflächen dieselbe Temperatur.

3)



Mit der RayCAM wird die Temperatur von S2 gemessen, wobei der auf der Kamera eingestellte Emissionsgrad 0,95 beträgt.

4)



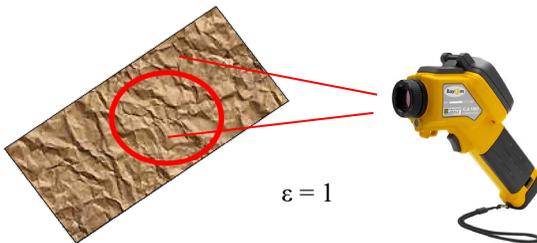
Nach der Temperaturbestimmung wird die Kamera auf das Ziel gerichtet, dessen Emissionsgrad unbekannt ist. Nun ändert man einfach den Parameter an der RayCAM, bis auf dem unbekanntem Ziel der gleiche Wert wie auf S2 erreicht ist. Damit ist der Emissionsgrad des Körpers bestimmt.

ANHANG 2 BESTIMMUNG DER REFLEKTIERTEN TEMPERATUR

Gemäß der ASTM-Norm E1933-99A:

1) Man platziert möglichst nahe bei der angepeilten Fläche und mit der gleichen Ausrichtung zur Kamera eine zerknitterte und dann wieder geglättete Haushaltsaluminiumfolie.

2)



Es wird angenommen, dass die Aluminiumfolie ein perfekter Reflektor ist, auf dem ein Schwarzkörper umgebungsäquivalent reflektiert wird.

Die Einstellung des Emissionsgrades an der Kamera lautet daher: $\epsilon = 1$

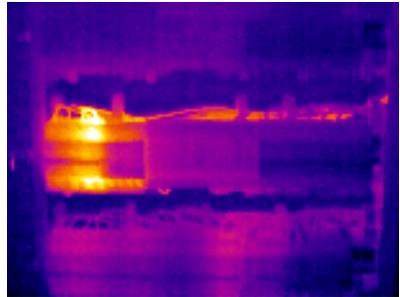
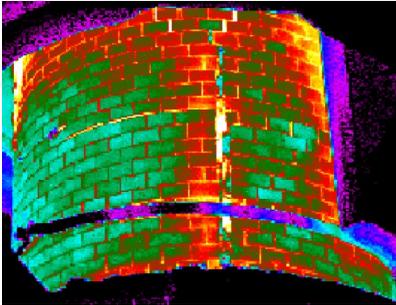
3) Die umgebungsäquivalente Schwarzkörpertemperatur wird auf der Aluminiumfolie mit einem geeigneten Messgerät gemessen - Spot mit Mittelwertbildung an mehreren Stellen oder, noch besser, dem großflächig berechneten Durchschnitt.

4) Diese reflektierte Temperatur wird händisch in den Rechner eingegeben. Sie wird aktiviert, sobald der Emissionsgrad eines realen Objekts niedriger als 1 ist.

ANHANG 3 ANWENDUNGSTECHNISCHE ÜBUNGEN

Übung 1

Einfluss der Wärmeleitung auf die Infrarot-Thermographie:

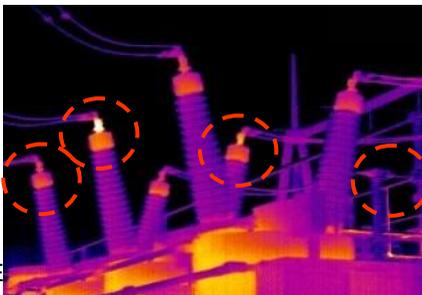


Erläutern Sie diese beiden Bilder.

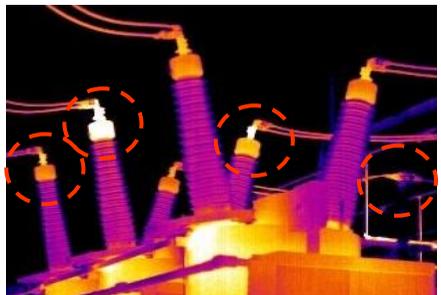
Übung 2

Einfluss der erzwungenen Konvektion auf die Infrarot-Thermographie:

Thermogramm bei windigem Wetter



Thermogramm bei Windstille



Übung 3

Ein kugelförmiger Schwarzkörper mit 5 cm Radius emittiert eine Strahlung von 230 W.

- a) Wie hoch ist die Temperatur dieses Körpers?
- b) Welcher Wellenlänge entspricht die maximal abgestrahlte Energie?

Übung 4

Nach Schätzungen auf der Erde beträgt die Sonnenfläche $6,1 \cdot 10^{18} \text{ m}^2$ und die Strahlungsleistung $3,9 \cdot 10^{26} \text{ W}$.

Angenommen, die Sonne wird einem Schwarzkörper gleichgestellt:

- a) Wie hoch ist die Oberflächentemperatur?
- b) Welcher Wellenlänge entspricht die maximal abgestrahlte Energie?

Übung 5

Einfluss der Transmission auf die Infrarot-Thermographie:



Erläutern Sie dieses Thermogramm.

Übung 6

Gemäß den Eigenschaften der RayCAM bestimmen Sie den IFOV der Kamera in mrad und in ...mm@1m:

- anhand der vertikalen Elemente der Matrix
- anhand der horizontalen Elemente der Matrix
- Wie groß ist die kleinste Oberfläche, die von der Kamera erfasst werden kann?

Übung 7

- Wie breit ist die kleinste mit der RayCAM messbare Fläche d_1 ?
- Wie breit ist die kleinste mit der RayCAM in 50 cm Abstand messbare Fläche d_2 ?

Übung 8

Aus welchem Abstand messen wir die Temperatur von:

- einem Kabel mit 2 mm Durchmesser (d_1)?
- einem Kabel mit 5 mm Durchmesser (d_2)?
- einem Kabel mit 10 mm Durchmesser (d_3)?

Übung 9

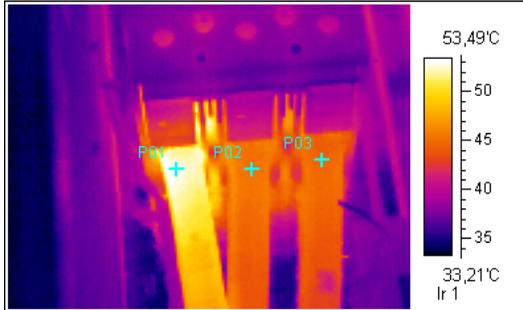
Die Temperatur eines $1,5 \text{ mm}^2$ -Kabels soll bestimmt werden.

- In welchem Abstand d_1 muss ich ein Standardobjektiv halten, um eine korrekte Messung durchzuführen?
- Kann ich ein IFOV-Weitwinkelobjektiv $4,1 \text{ mrad}$ verwenden? Wenn ja, mit welchem Abstand?

Übung 10

Bestimmen Sie die Dringlichkeitsstufen der folgenden Thermogramme.

Thermogramm 1



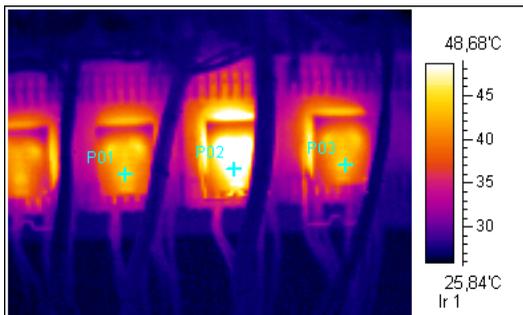
P01	52,8°C
P02	45,5°C
P03	45°C

Thermogramm 2



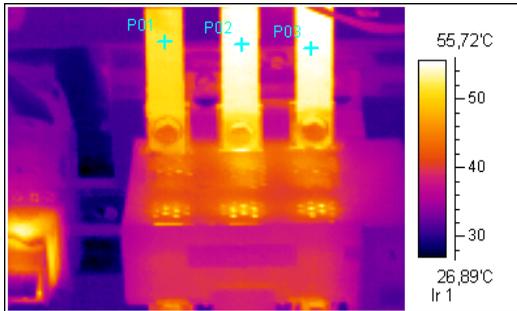
P01	57,9°C
P02	68°C
P03	67,4°C

Thermogramm 3



P01	45,5°C
P02	51,6°C
P03	44,7°C

Thermogramm 4



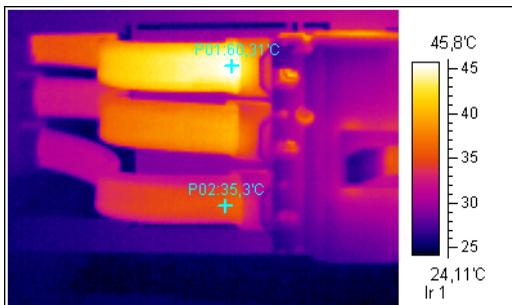
P01	51,3°C
P02	55,3°C
P03	55,4°C

Thermogramm 5



P02	43,2°C
P04	24,9°C

Thermogramm 6



P01	60,3°C
P04	35,3°C

Übung 11

Bestimmen Sie die Dringlichkeitsstufen der vorherigen Thermogramme unter folgenden Bedingungen:

- Thermogramm 1 - Aufnahme erfolgte bei 60 % Nennlast
- Thermogramm 2 - Aufnahme erfolgte bei 90 % Nennlast
- Thermogramm 3 - Aufnahme erfolgte bei 85 % Nennlast
- Thermogramm 4 - Aufnahme erfolgte bei 40 % Nennlast
- Thermogramm 5 - Aufnahme erfolgte bei 90 % Nennlast
- Thermogramm 6 - Aufnahme erfolgte bei 100 % Nennlast

ANHANG 4: LÖSUNGEN

Lösung 1

Thermogramm 1

Hierbei handelt es sich um die Beobachtung von feuerfestem Material mit einer Infrarotkamera. Mit bloßem Auge kann man nichts sehen. Bei einer optimalen Dämmung des Schornsteins hätten wir normalerweise eine gleichmäßige Temperatur auf der Oberfläche des feuerfesten Materials, also eine gleichmäßige Farbe. Wir beobachten allerdings eine senkrechte hellere Linie, also eine Linie mit wärmeren Temperaturen. Daraus lässt sich schließen, dass ein Mangel vorliegt und das feuerfeste Material Risse bekommt.

Thermogramm 2

Durch die Wärmeleitung wandert die Wärme entlang des Kabels. Man sieht, dass der Draht heiß ist, aber es handelt sich nicht um einen Mangel, das Problem liegt woanders!

Daher muss man Vorsicht walten lassen, wenn man bei der Prüfung auf ein wärmeres Kabel stößt. Man muss in einem solchen Fall beide Seiten des Hot Spots überprüfen, um den Ursprung des Mangels zu ermitteln (die Ursache für das Problem liegt beim heißesten Punkt).

Lösung 2

Thermogramm 1

Da das Bild bei starkem Wind aufgenommen wurde, hat die Luft die Oberflächentemperatur aller umliegenden Objekte vereinheitlicht. Die Infrarot-Thermographie ist eine Oberflächenmesstechnik. Das bedeutet, dass hier mit einer Kamera nichts zu erkennen ist und mögliche Probleme nicht festgestellt werden können. Durch den Wind entsteht eine gleichmäßige Temperatur auf der Objekt Oberfläche und eine einheitliche Farbe am Thermogramm.

Falschinterpretation des Bildes, Übersehen von Problemen.

Thermogramm 2

Das Bild wurde bei windstillem Wetter aufgenommen, ohne Einfluss der Umgebungsluft. Die Oberflächentemperatur der beobachteten Objekte entspricht daher weitgehend der Innentemperatur der Objekte. Dies führt dazu, dass Hot Spots sichtbar werden, die als hellere Farben auf bestimmten Bereichen des Thermogramms erscheinen.

Richtige Interpretation des Bildes und des Systems, wodurch Probleme aufgezeigt werden.

Lösung 3

Frage a

Stefan-Boltzmann-Gesetz:

$$P = S \varepsilon \sigma T^4$$

Wobei $\varepsilon = 1$ weil ein Schwarzkörper

$\sigma = 5,68 \cdot 10^{-8}$ Boltzmann-Konstante

$S = \pi R^2$ Kugeloberfläche

Daraus ergibt sich:

$$T^4 = P / S \varepsilon \sigma \quad \Rightarrow \quad T = 847 \text{ °K} = 574 \text{ °C}$$

Frage b

Wiensches Verschiebungsgesetz:

$$\lambda_{\max} T = \text{Cste} \\ = 2\,898 \text{ }\mu\text{m.K}$$

Daraus ergibt sich:

$$\lambda_{\max} = 2\,898 / T \quad \Rightarrow \quad \lambda_{\max} = 3,42 \text{ }\mu\text{m}$$

Lösung 4

Frage a

Stefan-Boltzmann-Gesetz:

$$P = S \varepsilon \sigma T^4$$

Wobei $\varepsilon = 1$ weil ein Schwarzkörper

$\sigma = 5,68 \cdot 10^{-8}$ Boltzmann-Konstante

Daraus ergibt sich:

$$T^4 = P / S \varepsilon \sigma \quad \Rightarrow \quad T = 5\,792 \text{ °K}$$

Frage b

Wiensches Verschiebungsgesetz:

$$\lambda_{\max} T = \text{Cste} \\ = 2\,898 \text{ }\mu\text{m.K}$$

Daraus ergibt sich:

$$\lambda_{\max} = 2\,898 / T \quad \Rightarrow \quad \lambda_{\max} = 0,5 \text{ }\mu\text{m}$$

Wir sind im sichtbaren Bereich, deshalb erscheint uns die Sonne gelb...

Lösung 5

Dies ist ein Wärmebild eines Gesichts mit Brille.

Wir beobachten, dass die Temperatur der Brille kälter ist als die Temperatur des Gesichts der Person.

Die naheliegende Schlussfolgerung wäre, dass die Augen der Person kälter sind als der Rest ihres Gesichts.

Diese Analyse ist natürlich falsch: Es ist einfach ein Transmissionsproblem! Es ist nämlich nicht möglich, Temperaturen durch ein Glas zu beobachten und zu messen!

Deshalb ist diese Messung falsch!

Lösung 6

Frage a

Nach der IFOV-Definition haben wir:

$$\text{IFOV } (^\circ) = \frac{\text{VFOV} \times \pi \times 1000}{\text{ndV} \times 180^\circ}$$

Wobei VFOV = 15° (vertikaler Betrachtungswinkel)

ndV = 120 (Detektorenanzahl in der Matrizen-Vertikale)

Daraus ergibt sich:

$$\text{IFOV} = 2,18 \text{ mrad}$$

Ein Detektor erfasst eine Bodenfläche von 2,18 mm in einem Abstand von 1 m.

Frage b

Nach der IFOV-Definition haben wir:

$$\text{IFOV } (^\circ) = \frac{\text{HFOV} \times \pi \times 1000}{\text{ndH} \times 180^\circ}$$

Wobei HFOV = 20° (vertikaler Betrachtungswinkel)

ndH = 160 (Detektorenanzahl in der Matrizen-Vertikale)

Daraus ergibt sich:

$$\text{IFOV} = 2,18 \text{ mrad}$$

Ein Detektor erfasst eine Bodenfläche von 2,18 mm in einem Abstand von 1 m.

Wir erhalten also den gleichen IFOV, egal ob wir mit vertikalen oder horizontalen Elementen arbeiten.

Frage c

Der minimale Fokussierabstand der RayCAM beträgt 10 cm.

Basierend auf den oben genannten Ergebnissen erfasst die RayCAM eine Fläche von 2,18 mm x 2,18 mm in einem Abstand von 1m.

Somit haben wir:

$$\text{bei 1 m} \quad \Delta s_1 = 2,18 \text{ mm}$$

$$\text{bei 10 cm} \quad \Delta s_2 = x \text{ mm}$$

Daraus ergibt sich:

$$\Delta s_2 = 0,218 \text{ mm}$$

Lösung 7

Frage a

Der IFOV von RayCAM ist 2,2 mrad.

Der minimale Fokussierabstand beträgt 10 cm.

Die kleinste messbare Fläche entspricht dem Wert von 3 IFOVs.

Somit haben wir:

$$d_1 = 3 \times \text{IFOV}_{10 \text{ cm}}$$

Daraus ergibt sich:

$$d_1 = 0,66 \text{ mm}$$

Frage b

Der IFOV von RayCAM ist 2,2 mrad.

Somit haben wir:

$$\text{bei } 1 \text{ m} \quad \Delta s_1 = 2,2 \text{ mm}$$

$$\text{bei } 50 \text{ cm} \quad \Delta s_2 = x \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{Außerdem } d_2 &= 3 \times \text{IFOV}_{50 \text{ cm}} \\ &= 3 \times \Delta s_2 \end{aligned}$$

Daraus ergibt sich:

$$d_2 = 3,3 \text{ mm}$$

Lösung 8

Frage a

Um eine korrekte Messung zu gewährleisten beträgt der Höchstabstand:

$$d_{\text{Kabel}} = 3 \times \Delta s_2$$

Darüber hinaus, nach dem IFOV der Kamera:

$$\text{bei } 1 \text{ m} \quad \Delta s_1 = 2,2 \text{ mm}$$

$$\text{bei } d_1 \text{ m} \quad \Delta s_2 = d_{\text{Kabel}} / 3$$

Somit haben wir:

$$\begin{aligned} d_1 &= \Delta s_2 / 2,2 \\ &= (d_{\text{Kabel}} / 3) / 2,2 \end{aligned}$$

Daraus ergibt sich:

$$d_1 = 0,30 \text{ m} = 30 \text{ cm}$$

Für eine korrekte Messung darf die Kamera nicht weiter als 30 cm entfernt sein.

Frage b

Um eine korrekte Messung zu gewährleisten beträgt der Höchstabstand:

$$d_{\text{Kabel}} = 3 \times \Delta s_2$$

Darüber hinaus, nach dem IFOV der Kamera:

$$\text{bei } 1 \text{ m} \quad \Delta s_1 = 2,2 \text{ mm}$$

$$\text{bei } d_2 \text{ m} \quad \Delta s_2 = d_{\text{Kabel}} / 3$$

Somit haben wir:

$$d_2 = \Delta s_2 / 2,2 \\ = (d_{\text{Kabel}} / 3) / 2,2$$

Daraus ergibt sich:

$$d_2 = 0,76 \text{ m} = 76 \text{ cm}$$

Für eine korrekte Messung darf die Kamera nicht weiter als 76 cm entfernt sein.

Frage c

Um eine korrekte Messung zu gewährleisten beträgt der Höchstabstand:

$$d_{\text{Kabel}} = 3 \times \Delta s_2$$

Darüber hinaus, nach dem IFOV der Kamera:

$$\text{bei } 1 \text{ m} \quad \Delta s_1 = 2,2 \text{ mm}$$

$$\text{bei } d_3 \text{ m} \quad \Delta s_2 = d_{\text{Kabel}} / 3$$

Somit haben wir:

$$d_3 = \Delta s_2 / 2,2 \\ = (d_{\text{Kabel}} / 3) / 2,2$$

Daraus ergibt sich:

$$d_3 = 1,5 \text{ m}$$

Für eine korrekte Messung darf die Kamera nicht weiter als 1,5 m entfernt sein.

Lösung 9

Frage a

Der Durchmesser d des entsprechenden Kabels ist:

$$P = \pi \times (d/2)^2$$

Daher:

$$d = ((4 \times P) / \pi)^{1/2}$$

Um eine korrekte Messung zu gewährleisten beträgt der Höchstabstand:

$$d_{\text{Kabel}} = 3 \times \Delta s_2$$

Darüber hinaus, nach dem IFOV der Kamera:

$$\text{bei } 1 \text{ m} \quad \Delta s_1 = 2,2 \text{ mm}$$

$$\text{bei } d_1 \text{ m} \quad \Delta s_2 = d_{\text{Kabel}} / 3$$

Somit haben wir:

$$d_1 = \Delta s_2 / 2,2 \\ = (d_{\text{Kabel}} / 3) / 2,2 \\ = (((4 \times P) / \pi)^{1/2} / 3) / 2,2$$

Daraus ergibt sich:

$$d_1 = 0,21 \text{ m} = 21 \text{ cm}$$

Um eine korrekte Messung durchzuführen, muss die Kamera zwischen 10 cm und 21 cm vom Ziel entfernt sein.

Frage b

Um eine korrekte Messung zu gewährleisten beträgt der Höchstabstand:

$$d_{\text{Kabel}} = 3 \times \Delta s_2$$

Darüber hinaus, nach dem IFOV der Kamera:

$$\text{bei } 1 \text{ m} \quad \Delta s_1 = 4,1 \text{ mm}$$

$$\text{bei } d_1 \text{ m} \quad \Delta s_2 = d_{\text{Kabel}} / 3$$

Somit haben wir:

$$d_1 = \Delta s_2 / 2,2$$

$$= (d_{\text{Kabel}} / 3) / 2,2$$

$$= ((4 \times P) / \pi)^{1/2} / 3 / 4,1$$

Daraus ergibt sich:

$$d_1 = 0,11 \text{ m} = 11 \text{ cm}$$

Es ist möglich, einen Weitwinkel zu verwenden.

Um eine korrekte Messung durchzuführen, muss die Kamera zwischen 1 cm und 11 cm vom Ziel entfernt sein.

Lösung 10

Thermogramm 1

Anhand der Temperatur-Cursoren bestimmen wir die Temperaturdifferenz zwischen P01 und P02:

$$\begin{aligned} \Delta T &= T_{P01} - T_{P02} \\ &= 52,8 - 45,5 \end{aligned}$$

$$\Delta T = 7,3 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Das ergibt eine Dringlichkeitsstufe 0 - unter Beobachtung halten.

Thermogramm 2

Anhand der Temperatur-Cursoren bestimmen wir die Temperaturdifferenz zwischen P01 und P02:

$$\begin{aligned} \Delta T &= T_{P02} - T_{P01} \\ &= 68 - 57,9 \end{aligned}$$

$$\Delta T = 10,1 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Das ergibt eine Dringlichkeitsstufe 1 - innerhalb von 3 bis 6 Monaten eine Korrekturmaßnahme planen.

Thermogramm 3

Anhand der Temperatur-Cursoren bestimmen wir die Temperaturdifferenz zwischen P01 und P02:

$$\begin{aligned} \Delta T &= T_{P02} - T_{P01} \\ &= 51,6 - 45,5 \end{aligned}$$

$$\Delta T = 6,1 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Das ergibt eine Dringlichkeitsstufe 0 - unter Beobachtung halten.

Thermogramm 4

Anhand der Temperatur-Cursoren bestimmen wir die Temperaturdifferenz zwischen P01 und P02:

$$\begin{aligned}\Delta T &= T_{P02} - T_{P01} \\ &= 55,3 - 51,3\end{aligned}$$

$$\Delta T = 4 \text{ }^\circ\text{C}$$

Das ergibt eine Dringlichkeitsstufe 0 - unter Beobachtung halten.

Thermogramm 5

Anhand der Temperatur-Cursoren bestimmen wir die Temperaturdifferenz zwischen P02 und P04:

$$\begin{aligned}\Delta T &= T_{P02} - T_{P04} \\ &= 43,2 - 24,9\end{aligned}$$

$$\Delta T = 18,3 \text{ }^\circ\text{C}$$

Das ergibt eine Dringlichkeitsstufe 1 - innerhalb von 3 bis 6 Monaten eine Korrekturmaßnahme planen.

Thermogramm 6

Anhand der Temperatur-Cursoren bestimmen wir die Temperaturdifferenz zwischen P02 und P01:

$$\begin{aligned}\Delta T &= T_{P01} - T_{P02} \\ &= 60,3 - 35,3\end{aligned}$$

$$\Delta T = 25 \text{ }^\circ\text{C}$$

Das ergibt eine Dringlichkeitsstufe 2 - innerhalb von 1 bis 3 Monaten eine Korrekturmaßnahme planen.

Lösung 11

Thermogramm 1

Es besteht folgende Relation:

$$\Delta T_{\text{eff}} = \Delta T_{\text{brutto}} \times (I_{\text{Nenn}}/I_{\text{Mess}})^2$$

Die Anlage wurde mit 60 % Last thermographisch erfasst, daher:

$$I_{\text{Nenn}}/I_{\text{Mess}} = 100/60$$

Als Temperaturunterschied wurden 7,3°C gemessen.

Somit:

$$\begin{aligned}\Delta T_{\text{eff}} &= \Delta T_{\text{brutto}} \times (100/60)^2 \\ &= 7,3 \times (100/60)^2 \\ &= 20,3 \text{ }^\circ\text{C}\end{aligned}$$

Das ergibt eine tatsächliche Dringlichkeitsstufe 2 - innerhalb von 1 bis 3 Monaten eine Korrekturmaßnahme planen.

Thermogramm 2

Es besteht folgende Relation:

$$\Delta T_{\text{eff}} = \Delta T_{\text{brutto}} \times (I_{\text{Nenn}}/I_{\text{Mess}})^2$$

Die Anlage wurde mit 90 % Last thermographisch erfasst, daher:

$$I_{\text{Nenn}}/I_{\text{Mess}} = 100/90$$

Als Temperaturunterschied wurden 10,1°C gemessen.

Somit:

$$\begin{aligned} \Delta T_{\text{eff}} &= \Delta T_{\text{brutto}} \times (100/90)^2 \\ &= 10,1 \times (100/90)^2 \\ &= 12,5 \text{ °C} \end{aligned}$$

Das ergibt eine Dringlichkeitsstufe 1 - innerhalb von 3 bis 6 Monaten eine Korrekturmaßnahme planen.

Es besteht kein nennenswerter Einfluss der Last.

Thermogramm 3

Es besteht folgende Relation:

$$\Delta T_{\text{eff}} = \Delta T_{\text{brutto}} \times (I_{\text{Nenn}}/I_{\text{Mess}})^2$$

Die Anlage wurde mit 85 % Last thermographisch erfasst, daher:

$$I_{\text{Nenn}}/I_{\text{Mess}} = 100/85$$

Als Temperaturunterschied wurden 6,1°C gemessen.

Somit:

$$\begin{aligned} \Delta T_{\text{eff}} &= \Delta T_{\text{brutto}} \times (100/85)^2 \\ &= 6,1 \times (100/85)^2 \\ &= 8,5 \text{ °C} \end{aligned}$$

Das ergibt eine Dringlichkeitsstufe 0 - die weitere Entwicklung der Anlage überwachen.

Es besteht kein nennenswerter Einfluss der Last.

Thermogramm 4

Es besteht folgende Relation:

$$\Delta T_{\text{eff}} = \Delta T_{\text{brutto}} \times (I_{\text{Nenn}}/I_{\text{Mess}})^2$$

Die Anlage wurde mit 40 % Last thermographisch erfasst, daher:

$$I_{\text{Nenn}}/I_{\text{Mess}} = 100/40$$

Als Temperaturunterschied wurden 4°C gemessen.

Somit:

$$\begin{aligned} \Delta T_{\text{eff}} &= \Delta T_{\text{brutto}} \times (100/40)^2 \\ &= 4 \times (100/40)^2 \\ &= 25 \text{ °C} \end{aligned}$$

Dem ersten Anschein nach waren keine Mängel zu sehen, und nun stellen wir fest, dass es sich in Wirklichkeit um eine Dringlichkeitsstufe 2 handelt! Also ist innerhalb von 1 bis 3 Monaten eine Korrekturmaßnahme zu planen.

Thermogramm 5

Es besteht folgende Relation:

$$\Delta T_{\text{eff}} = \Delta T_{\text{brutto}} \times (I_{\text{Nenn}}/I_{\text{Mess}})^2$$

Die Anlage wurde mit 90 % Last thermographisch erfasst, daher:

$$I_{\text{Nenn}}/I_{\text{Mess}} = 100/90$$

Als Temperaturunterschied wurden 18,3°C gemessen.

Somit:

$$\begin{aligned} \Delta T_{\text{eff}} &= \Delta T_{\text{brutto}} \times (100/90)^2 \\ &= 4 \times (100/90)^2 \\ &= 22,6 \text{ °C} \end{aligned}$$

Als Ergebnis dieser Änderung in der Last wechseln wir demnach von Dringlichkeitsstufe 1 auf Dringlichkeitsstufe 2! Also ist innerhalb von 1 bis 3 Monaten eine Korrekturmaßnahme zu planen.

Thermogramm 6

Die Anlage steht bei 100 % Last, so dass keine Korrektur erforderlich ist!

FRANCE

Chauvin Arnoux Group

190, rue Championnet

75876 PARIS Cedex 18

Tél : +33 1 44 85 44 85

Fax : +33 1 46 27 73 89

info@chauvin-arnoux.com

www.chauvin-arnoux.com

INTERNATIONAL

Chauvin Arnoux Group

Tél : +33 1 44 85 44 38

Fax : +33 1 46 27 95 69

Our international contacts

www.chauvin-arnoux.com/contacts

