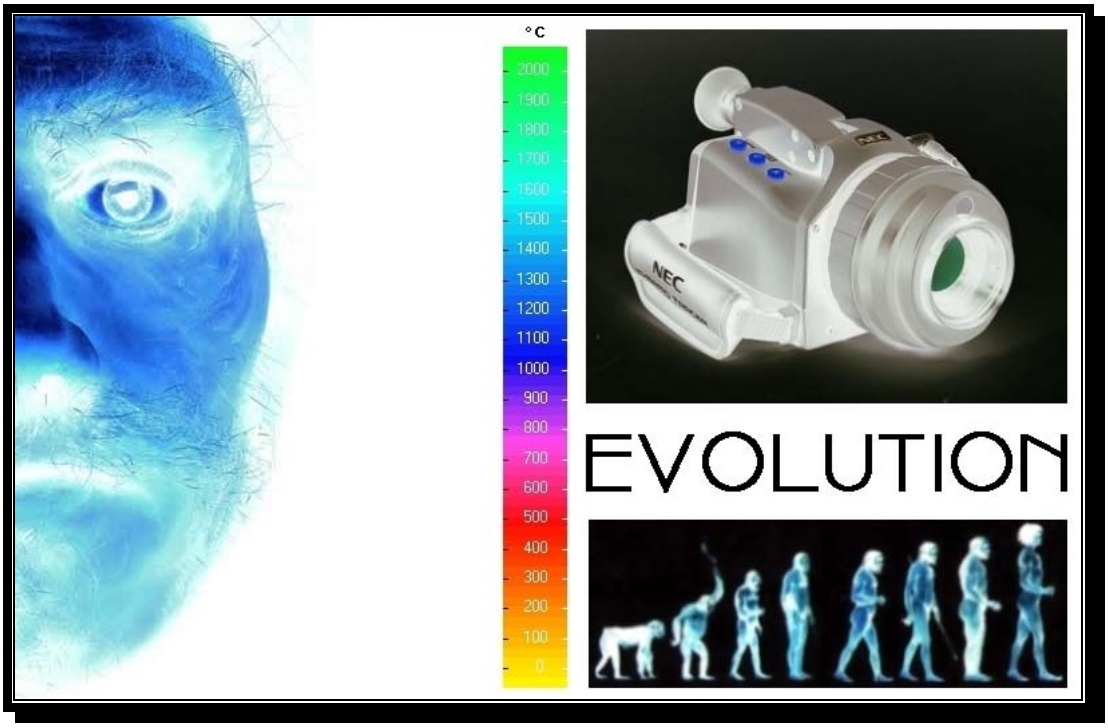
Die Bauthermografie als auch die Bauthermografie zur Erstellung von Energiepass, Energiepaß, Gebäudeenergiepass und die Elektrothermografie, Elektrothermografie, Elektro Thermografie mit FLIR (Foward Looking InfraRed Cameras) Infrarot-thermografie Systemen, Infrarot-Thermografie und thermografischen Infrarotkamera und Infrarotkameras erlauben Infrarotmessung auf dem Bereich der Infrarotthermografie als auch der Infrarotthermografie. Leitungsortung mit Mikrobolometer Technik von NEC San-ei und NEC-Infrarotkameras einer ThermaCAM, VarioCAM, ThermaCam oder andere Thermocameras, Mikrobolometer, Microbolometer uncooled Focal Plane Array IR-Kameras mir 160x120, 320x240 oder 640x480 radiometrische Pixel, Bildpunkte zur Thermografie mittels Thermografiekamera, Thermografiekameras und Thermografie sowie Thermografiekamera und Thermografiekameras ist eine Thermokamera oder Thermokameras eine Thermovision IR-Kameraausstattung, im Rahmen von PPM Anwendungen, der Schimmelbekämpfung mit Zertifizierungsmöglichkeit über SectorCert IT. Näher bringt IT Zertifizierung über VDS, VATh, VET, OGITh und ASNT mit IT Level 1, Stufe 1, Level 2, Stufe 2, Level 3, Stufe 3 IT, (IT Infrarot Thermografie) die Wärmebildtechnik mit seinen Wärmebildern aufgenommen mit einer Wärmebildkamera, Wärmebildkameras, zur Feststellung von Wärmeisolierung wobei sich Wärmekamera oder Wärmekameras dem Thermografen auch anbieten wie electrische inspekties, infrared camera, infrarood camera oder infraroodcamera und infraroodthermografie für lekdetectie und onderhoud sowie preventief onderhoud, warmtebeeld mit thermacam oder thermography variocam zur vorbeugenden Instandhaltung empfiehlt sich NEC Thermo Tracer TH7700, TH7800, TH9100 und TH6280 sowie Industrie Thermokamera und Infrarot Prozesskontrolle TS9200, wie auch in quality management, process control, conditional monitoring, traffic management and surveillance, übersetzt Qualitätswesen, Prozesskontrolle und Fertigungsüberwachung sowie Verkehrsmanagement und Sicherheits- und Überwachungstechnik. Bauthermografie, Bauthermografie, Elektrothermografie, Energiepass, Energiepaß, FLIR, Gebäudeenergiepass, Infrarot-thermografie, Infrarot-thermografie, Infrarotkamera, Infrarotkameras, Infrarotmessung, Infrarotthermografie, Infrarotthermografie, Leitungsortung, Mikrobolometer, NEC San-ei, NEC-Infrarotkamera, PPM, EnEv, Schimmelbekämpfung, SectorCert IT, ThermaCAM, ThermaCam, Thermocamera, Thermografie, Thermografiekamera, Thermografiekameras, Thermografie, Thermografiekamera, Thermografiekameras, Thermokamera, Thermokameras, Thermovision, VATh, VarioCAM, Wärmebild, Wärmebilder, Wärmebildkamera, Wärmebildkameras, Wärmeisolierung, Wärmekamera, Wärmekameras, berührungslose Temperaturmessung, electrische inspekties, elektrothermografie, fluke, gebäudethermografie, impac, industriethermografie, infrared camera, infrared cameras, infrared thermography, infrarood camera, infraroodcamera, infraroodthermografie, infrarot messtechnik, jenoptik, land, lekdetectie, mikron, onderhoud, preventief onderhoud, gsat, thermacam, thermal camera, thermo camera, thermografie grundlagen, thermografie kamera, thermografie messung, thermographic camera, thermografie kamera, thermography, thermography, camera, variocam, vorbeugende Instandhaltung, warmtebeeld, wuhan guide,

Thermografie in der Theorie und Praxis



Ausgabe: Handbuch im WEB (2007)

Inhaltsverzeichnis

- **Strahlungsmessung**
- **Emissionsgrad**
- **Einflüsse**
- **IR-Gläser**
- **IR-Detektoren**
- **Auflösung**
- **Auswahlkriterien**
- **Funktionsprinzip**
- **Einsatzgebiete**
- **Applikationen**
- **Emissionsfaktoren**
- **Rechenbeispiele**
- **Literatur**
- **FAQ** (häufig gestellte Fragen und Antworten darauf)
- **Infrared Glossary** (internationale Begriffe in englischer Sprache)

Strahlungsmessung

- Temperaturmessung
- Strahlungsthermometrie
- Vor- und Nachteile
- Strahlung - Definition
- Infrarotstrahlung
- Der schwarze Strahler
- Strahlungsgesetze
    - Kirchhoffsches Gesetz
    - Stefan-Bolzmannsches Strahlungsgesetz
    - Plancksches Strahlungsgesetz

TEMPERATURMESSUNG

Die Temperaturmessung wird allgemein in die zwei Hauptbereiche "Kontaktthermometrie" und "Strahlungsthermometrie" aufgeteilt. Als dritte Möglichkeit der Temperaturmessung existiert noch die Übertragung durch Konvektion, auf die aber in diesem Handbuch nicht eingegangen wird. Während bei der Kontaktthermometrie mittels eines Thermoelements immer ein Kontakt zum Messobjekt besteht, wird bei der Strahlungsthermometrie die Strahlung des Messobjekts berührungslos über einen infrarotempfindlichen Sensor gemessen. Auf Grund von physikalischen Zusammenhängen lässt sich bei Kenntnis bestimmter Parameter die Strahldichte des Messobjektes in eine Temperatur umwandeln.

STRAHLUNGSTHERMOMETRIE

Hauptaufgabe der Strahlungsthermometrie ist das berührungslose Erfassen einer Oberflächentemperatur unterschiedlicher Körper. Dabei werden Temperaturunterschiede zwischen einem Körper und seiner Umgebung oder zwischen zwei Körpern ausgenutzt.

VOR- UND NACHTEILE

Voraussetzung für genaue Messungen:

Kontaktthermometrie (berührend)	Strahlungsthermometrie (berührungslos)
1. Guter thermischer Kontakt zwischen Messobjekt und Fühler	1. Genaue Bestimmung des Emissionsfaktors vom Messobjekt
2. Bei einem Leitungsbruch zwischen Fühler und Objekt ist keine Temperaturmessung mehr möglich	2. Ausgestrahlte Energiemenge des Messobjektes, die vom Detektor erfasst wird, muss ausreichend sein

Merkmale:

Kontaktthermometrie (berührend)	Strahlungsthermometrie (berührungslos)
Nachteile:	Vorteile:
1. Bei kleinen Messobjekten besteht ein wesentlicher Einfluss auf die Messung, die Temperatur wird verändert. Wenn das Messobjekt zu klein ist, kann der Fühler nicht mehr angebracht werden.	1. Berührungslose Messungen haben keinen Einfluss auf das Messobjekt. Es können auch kleinste Strukturen gemessen werden.
2. Bewegte oder rotierende Teile können nicht oder nur schwer gemessen werden.	2. Bewegte oder rotierende Teile können leicht gemessen werden.
3. Die langsame Ansprechzeit der Fühler erlaubt keine dynamischen Temperaturvorgänge.	3. Dynamische Messungen wegen schneller Ansprechzeit der Detektoren möglich.
4. Viele Fühler zum Erfassen einer Fläche notwendig.	4. Problemlose Messung von Flächen und Linien.
5. Bei mehreren Messpunkten viele Fühler notwendig und sehr zeitaufwendig	5. Mehrere Messpunkte können mit einer Kamera erfasst werden.
6. Temperaturwert wird als Zahlenwert oder Kurve dargestellt.	6. Temperaturen und Temperaturverteilungen werden als Farbbild dargestellt und lassen somit eine schnelle Aussage nach dem Motto "ein Bild sagt mehr als tausend Worte" zu.
Vorteile:	Nachteile:
1. Im eingebetteten Zustand können auch Innentemperaturen erfasst werden.	1. Es werden nur Oberflächen-Temperaturen gemessen.
2. Messgenauigkeit ist relativ einfach zu erreichen.	2. Für eine hohe Genauigkeit der Absoluttemperatur, muss mit besonderer Vorsicht hinsichtlich des Emissionsfaktors gemessen werden.

Bei vielen Prozessen wie z.B. in der Eisen-, Papier-, Kunststoffindustrie, usw. kommt meist erschwerend hinzu, dass die Temperaturen mehr oder minder weit entfernt vom Messobjekt - also ohne thermischen Kontakt mit der Messstelle - erfasst werden müssen. Bewegte oder rotierende Teile, hohe Spannungen, strömende Flüssigkeiten, Gase und plastische Stoffe lassen zumeist am Ort der zu messenden Temperatur gar keinen thermischen Kontakt eines Messfühlers zu. Solche Probleme lassen sich ohne den Einsatz von Infrarotgeräten wie z.B. Pyrometer, Thermografiegeräte nicht lösen.

STRAHLUNG - DEFINITION

Jeder Körper, dessen Temperatur oberhalb des absoluten Nullpunktes liegt, d.h. -273°C oder auch 0°K, strahlt Energie in Form elektromagnetischer Strahlung ab. Diese Tatsache geht bis auf die Quantentheorie zurück, d.h. durch die magnetische Wechselwirkung der inneren Ladungsenergien zwischen Atomkern und Elektronen werden Eigenschwingungen im Raumgitter erzeugt, die als elektromagnetische Strahlung emittiert werden. Bei -273°C tritt keinerlei elektromagnetische Strahlung mehr auf und dieser Punkt wird deshalb als absoluter Nullpunkt definiert. Die Infrarotstrahlung ist ein Teil des gesamten elektromagnetischen Spektrums (Tabelle 1). Da nach Planck die Intensität der Strahlung speziell im IR-Bereich als ein verbindliches Maß für die absolute Temperatur des strahlenden Objektes gilt, wird für die berührungslose Temperaturmessung nur dieser Bereich genutzt. Grundlage für die Definition der strahlungsphysikalischen Größen ist das radiometrische Grundgesetz nach DIN 5031 (Tabelle 2).

INFRAROTSTRAHLUNG

Der Infrarotbereich ist nach DIN 5031 dem Bereich der optischen Strahlung zugeordnet, der auch die sichtbare und ultraviolette Strahlung umfasst. Dabei handelt es sich um elektromagnetische Strahlung im Spektralbereich von 0.8µm bis 1mm. Hierbei wird zwischen dem nahen, dem mittleren und dem fernen IR-Bereich unterschieden.

nahes Infrarot	0.78 µm bis 1.4 µm
mittleres Infrarot	1.40 µm bis 3.0 µm
fernes Infrarot	3.00 µm bis 1.0 mm

In Tabelle 1 ist nochmals das gesamte elektromagnetische Spektrum mit den verschiedenen Wellenlängen und entsprechenden Wellenarten ersichtlich:

Elektromagnetische Wellen		
Wellenlänge	**Wellenart**	
10^6 m = 1000 km	Tonfrequente Wechselströme	
10^5 m = 100 km		
10^4 m = 10 km		
10^3 m = 1 km	Rundfunkwellen	lang
10^2 m		mittel
10 m		kurz
1 m		ultrakurz Fernsehen
10^{-1} m = 10 cm	Mikrowellen	
10^{-2} m = 1 cm		Radar
10^{-3} m = 1 mm		
10^{-4} m = 0.1 mm = 100 µm	Infrarotwellen	
10^{-5} m = 0.01 mm = 10 µm		
10^{-6} m = 1 µm		770 nm
10^{-7} m = 100 nm	sichtbares Licht	390 nm
10^{-8} m = 10 nm	Ultraviolett	
10^{-9} m = 1 nm	Röntgenstrahlen	weich
10^{-10} m = 100 pm		
10^{-11} m = 10 pm		
10^{-12} m = 1 pm		hart
10^{-13} m	γ-Strahlen	
10^{-14} m		

Tabelle 1: Elektromagnetisches Spektrum

Symbol	Bezeichnung	Definition	Einheit
Q	Strahlungsenergie, Strahlungsmenge	Produkt aus Strahlungsfluß und Zeit	J, Ws
P	Strahlungsleistung	In der Zeiteinheit von einem Strahler abgegebene oder durch eine Fläche hindurchtretende Strahlungsenergie	W
L	Strahldichte	Von einem Sender pro Flächeneinheit in die Raumwinkeleinheit emittierter Strahlungsfluß	$W \times cm^{-2} \times sr^{-1}$
I	Strahlungstärke	Von einem Sender in die Raumwinkeleinheit emittierter Strahlungsfluß	$W \times sr^{-1}$
M	Spezifische Ausstrahlung	Von einem Sender pro Flächeneinheit emittierter Strahlungsfluß in den Raumwinkel 2π	$W \times cm^{-2}$
E	Bestrahlungsstärke	Auf eine Fläche pro Flächeneinheit einfallender Strahlungsfluß	$W \times cm^{-2}$
H	Bestrahlung	Auf eine Fläche pro Flächeneinheit einfallende Strahlungsmenge, Strahlungsenergie	$Ws \times cm^{-2}$
Q_λ	Spektrale Strahlungsmenge	wie oben, jedoch auf die Wellenlängeneinheit 1 µm bezogene Größen	$J \times \mu m^{-1}$ $Ws \times \mu m^{-1}$
P_λ	Spektraler Strahlungsfluß		$W \times \mu m^{-1}$
L_λ	Spektrale Strahldichte		$W \times cm^{-2} x r^{-1}$ μm^{-1}
I_λ	Spektrale Strahlungstärke		$W \times sr^{-1} \times \mu m^{-1}$
M_λ	Spektrale spezifische Ausstrahlung		$W \times cm^{-2} \times \mu m^{-1}$
E_λ	Spektrale Bestrahlungsstärke		$W \times cm^{-2} \times \mu m^{-1}$
H_λ	Spektrale Bestrahlung		$Ws \times cm^{-2} \times \mu m^{-1}$

Tabelle 2: Radiometrische Größen nach DIN 5031

Der schwarze Strahler

Bei der thermischen Strahlung geht man immer von dem Idealbild, dem "Schwarzen Strahler" aus. Absorbiert ein Körper für alle Wellenlängen und Temperaturen die gesamte auftreffende Strahlung, also 100%, so spricht man von einem "Schwarzen Körper" oder "Schwarzen Strahler". Das bedeutet, dass keinerlei Verluste durch Transmission und Reflexion vorhanden sind. In der Praxis kommt das Idealbild des Schwarzen Strahlers auf Grund unterschiedlicher Materialien und Strukturen nie oder sehr selten vor, es treten die oben genannten Verluste wegen geringerer Absorption auf. Diese Tatsache ist auch durch das Kirchhoffsche Gesetz beschrieben.

Strahlungsgesetze - Kirchhoffsches Gesetz

Das Kirchhoffsche Gesetz stellt den Zusammenhang zwischen einem schwarzen Strahler und einem realen Strahler her. Es wird die Strahlleistung eines beliebigen Strahlers mit der eines schwarzen Strahlers, gleicher Fläche, im gleichen Raumwinkel und für den gleichen Wellenlängenbereich verglichen. Der Emissionsgrad ist das Verhältnis vom realen zum schwarzen Strahler. Dabei ist M(sk) die spezifische Ausstrahlung des schwarzen Körpers bei einer absoluten Temperatur T (Formel 1 und 2).

$$\varepsilon = \frac{M(T)}{M_{(SK)}(T)}$$

Formel 1

$$\varepsilon_{(\lambda)} = \frac{M_{\lambda}(T)}{M_{\lambda(SK)}(T)}$$

Formel 2

Der Emissionsgrad entspricht zahlenmäßig dem Absorptionsgrad. Dadurch kann der Absorptions-grad statt des Emissionsgrades eingesetzt werden (Formel 3 und 4).

$$\varepsilon = \alpha \quad \text{und} \quad \varepsilon_{(\lambda)} = \alpha_{(\lambda)}$$

Formel 3

$$M_{\lambda(SK)}(T) = \frac{M_{\lambda}(T)}{\alpha_{(\lambda)}}$$

Formel 4

Wenn Strahlung auf einen Körper trifft, wird ein Teil der Strahlung reflektiert, ein Teil absorbiert und ein Teil hindurch gelassen. Diese Tatsache wird durch Formel 5 beschrieben.

$$\alpha + \rho + \tau = 1$$

Formel 5

Wiensches Verschiebungsgesetz

Das Wiensche Verschiebungsgesetz lässt sich durch Differenzieren des Planckschen Strahlungsgesetzes herleiten. Demnach hat die ausgesandte Strahlungsleistung eines schwarzen Körpers als Funktion der Wellenlänge ein Maximum, dessen Lage von der Temperatur des Strahlers abhängt.
Mit steigender Temperatur erhöht sich die Energie der Ausstrahlung und das Maximum der Ausstrahlung verschiebt sich zu kürzeren Wellenlängen hin. Zwischen der Temperatur und der Wellenlänge des Strahlungsmaximums besteht folgende Beziehung:

$$\lambda_{max} = \frac{2898\ \mu m}{T_K}$$

Formel 6

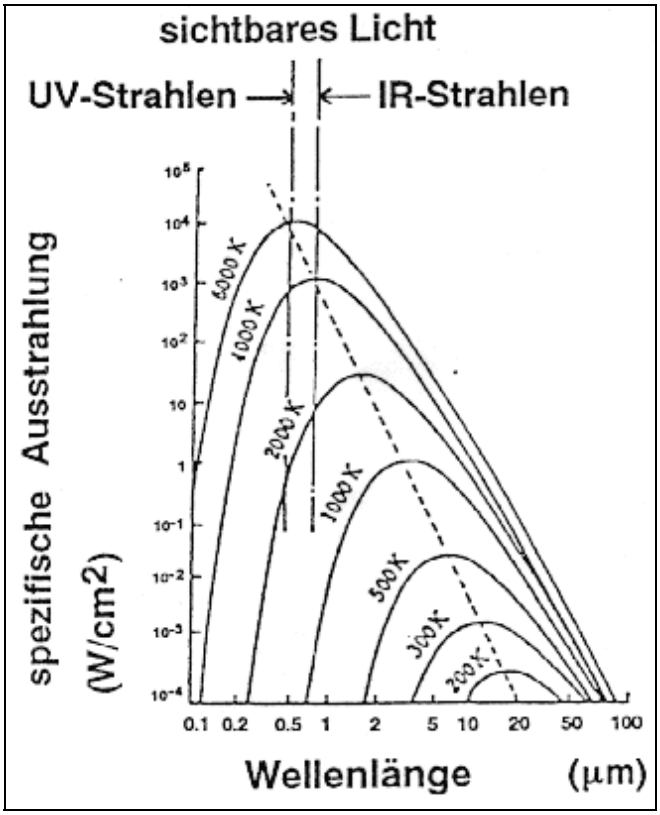


Bild 1

Wie aus Bild 1 ersichtlich, verschiebt sich das Maximum der spezifischen Ausstrahlung M mit steigender Temperatur zu kürzeren Wellenlängen hin (siehe Tabelle 3). Ab ca. 650°C sind bereits Anteile im sichtbaren Bereich vorhanden. Die Energie steigt exponentiell mit der Temperatur an.

Körper	Temperatur (K)	Wellenlänge (µm)
Eisen, hell glühend	1700 K = 1427°C	1.705 µm
Eisen, dunkelrot glühend	873 K = 600°C	3.320 µm
Wasser	373 K = 100°C	7.769 µm
Körpertemperatur	310 K = 37°C	9.348 µm
Gefrierpunkt	273 K = 0°C	10.615 µm
Tiefkühlkost	253 K = -20°C	11.454 µm

Tabelle 3

Die Umrechnung von Kelvin (K) in Grad Celsius (°C)

$$0° = -273°C$$

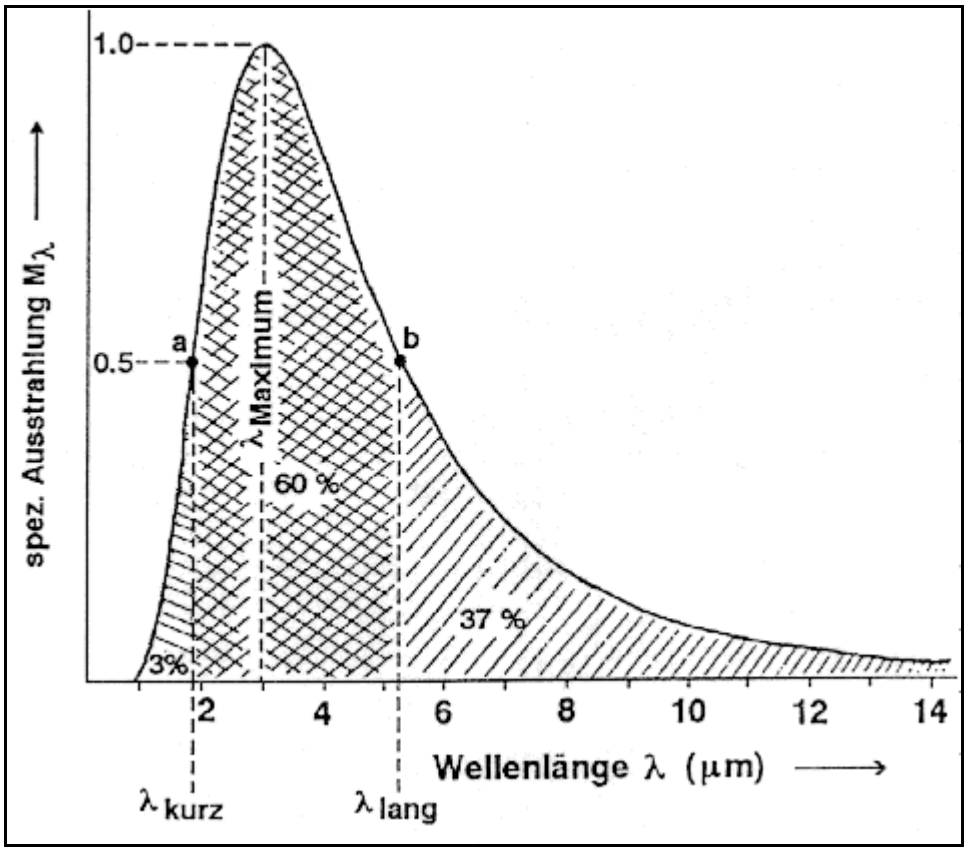


Bild 2 Strahlungsverteilung bei einem schwarzen Strahler

$$\lambda_{kurz} = \frac{1800\mu m}{T_K} \qquad \lambda_{lang} = \frac{5100\ \mu m}{T_K}$$

Formel 7 Berechnung des 3dB-Punktes

In Bild 2 ist nochmals die Strahlungsverteilung bezogen auf einen schwarzen Strahler ersichtlich. Mit der Formel 7 lässt sich bei einer gegebenen Temperatur T der 3 dB-Punkt, also der Punkt, an dem die Strahlung auf 50 % abgesunken ist berechnen. Dies ist durch die beiden Punkte a und b gekennzeichnet. 60 % der gesamten ausgestrahlten Energie unterhalb der Kurve sind zwischen den Punkten a und b. Vom Punkt b zu den längeren Wellenlängen hin liegen 37 % der Gesamtstrahlung und vom Punkt a zu den kürzeren Wellenlängen hin 3 %. Unterhalb der Kurve von Null bis zum Maximum, welches sich mit dem Wienschen Verschiebungsgesetz berechnen lässt, befinden sich 25 % der Gesamtenergie und vom Maximum zum langwelligen Bereich sind es 75 %.

Stefan-Bolzmansches Strahlunggesetz

Durch Integration der spektralen spezifischen Ausstrahlung des Planckschen Gesetzes über den gesamten Wellenlängenbereich, ergibt sich das Stefan-Boltzmannsche Strahlungsgesetz. Es beschreibt den Zusammenhang zwischen der Gesamtstrahlung und der Temperatur und wird deswegen auch Gesamtstrahlungsgesetz genannt. Die von der Fläche A eines schwarzen Körpers in den Halbraum ausgesandte Strahlleistung ist:

$$M(T) = \sigma \cdot T^4 \quad W \cdot cm^{-2}$$

$$\sigma = 5{,}6686 \cdot 10^{-12} \quad W \cdot cm^{-2} \cdot K^{-4}$$

Formel 8

Plancksches Strahlungsgesetz

Das Plancksche Strahlungsgesetz ist auch das Grundgesetz, weil sich alle anderen Gesetze von ihm ableiten lassen. Es beschreibt den Zusammenhang der spezifischen Ausstrahlung M eines idealen schwarzen Strahlers als Funktion der Wellenlänge und der Temperatur.

$$M(\lambda,T) = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5} \left(e^{hc/\lambda kT} - 1\right)^{-1}$$

Formel 9 Plancksches Strahlungsgrundgesetz

$$c_1 = 2\pi hc^2 \qquad c_1 = 3{,}741 \cdot 10^4 \quad W \cdot cm^{-2} \cdot \mu m^4$$

$$c_2 = \frac{ch}{k} \qquad c_2 = 1{,}438 \cdot 10^4 \, \mu mK$$

C1 und C2 sind die 1. bzw. 2. Strahlungskonstante

Emissionsgrad

Inhalt dieser Seite:

- Emissionsgrad
- Bestimmung des Emissionsfaktors
  - Referenztemperatur
  - Referenzfläche
  - Schwärzung der Messfläche
  - Vergleichsmessung
- Emissionswertkorrektur und -Bestimmung über Software
  - Formeln der E-Korrektur
  - pixelweise Emissionswertkorrektur
  - flächenbezogene Emissionswertkorrektur
  - punktuelle Emissionswertkorrektur
  - flächenbezogene Temperaturkorrektur

Emissionsgrad

Das Plancksche Strahlungsgesetz gilt nur für den idealen schwarzen Strahler. Reale Strahler emittieren jedoch nur einen Teil der Strahlung des schwarzen Körpers. Die Abweichung des realen Temperaturstrahlers vom schwarzen Körper wird durch den Emissionskoeffizienten definiert. Er ist abhängig vom Material, der Oberflächenbeschaffenheit, der Temperatur und der Wellenlänge. Der Einfluss der Temperatur auf den Emissionskoeffizienten kann bei Messaufgaben im mittleren Temperaturbereich von z. B. 0°C bis 100°C in den meisten Fällen vernachlässigt werden. Des Weiteren besitzen viele Stoffe im langwelligen IR-Bereich einen von der Wellenlänge nahezu unabhängigen Emissionsgrad. Jedoch gilt - Der Emissinsgrad ist von mehreren Komponenten u. A. wie folgt abhängig:

Wellenlänge – Temperatur – Absorptionsgrad – Materialeigenschaft – Oberflächenbeschaffenheit

---

Ein "Grauer Strahler" ist ein Temperaturstrahler, dessen Emissionsfaktor bei allen Wellenlängen innerhalb eines betrachteten Spektralbereichs konstant ist.

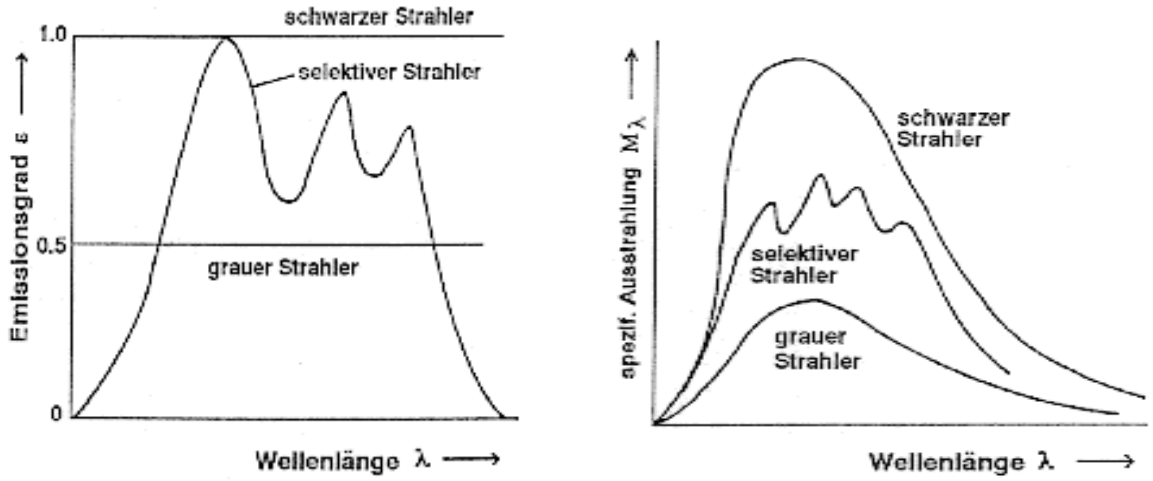


Bild 3 Emissionsgrad und spezifische Ausstrahlung in Abhängigkeit der Wellenlänge

Bestimmung des Emissionsfaktors

Zum Bestimmen der korrekten Temperatur ist eine genaue Kenntnis des Emissionsfaktors notwendig. Unter dem Kapitel "Emissionsfaktoren verschiedener Materialien" finden Sie eine Tabelle für einige bekannte Stoffe. Da jedoch die Oberflächenbeschaffenheit des Materials und die Temperatur einen erheblichen Einfluss auf das Abstrahlverhalten haben, können die Angaben aus der Tabelle nicht immer unbedenklich verwendet werden. Um den Emissionsgrad zu bestimmen, werden im Folgenden einige Messmethoden beschrieben.

---

1. Referenztemperatur

Mit einem zusätzlichen Messgerät z.B. einem Thermoelement wird an einer Stelle des Messobjektes dessen Oberflächentemperatur gemessen. Zugleich wird an dieser Stelle mit dem Strahlungsthermometer das Signal gemessen. Damit lässt sich der Emissionsgrad entsprechend der kontaktierenden Messung einstellen.

---

2. Referenzfläche

Auf dem Messobjekt muss eine Stelle mit einem bekannten Emissionsgrad hergestellt werden, z.B. ein Loch bohren, welches einen schwarzen Strahler simuliert. Die Temperatur des Loches bei einem angenommenen Emissionsgrad e=1 und die Oberflächentemperatur messen und den Emissionsfaktor entsprechend der Formel 1 bestimmen. Um einen schwarzen Strahler zu bauen oder zu simulieren, muss darauf geachtet werden, dass das Verhältnis der Lochtiefe zum Durchmesser >4 ist.

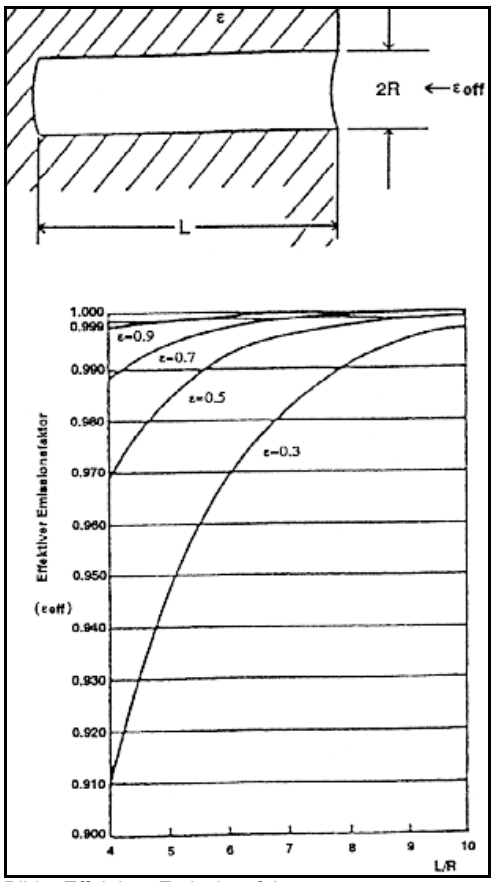


Bild 4 Effektiver Emissionsfaktor

3. Schwärzung der Messfläche

Anstatt ein Loch zu bohren, um einen schwarzen Strahler zu realisieren, kann die Messfläche mit einem Lack oder einer Folie, dessen Emissionsgrad bekannt ist, behandelt werden. Diese Methode kann jedoch zu Rückwirkungen auf das Messobjekt führen, wie z.B. eine Änderung des Abstrahlverhaltens.

---

4. Vergleichsmessung

Eine weitere Methode zur Emissionswertbestimmung kann über eine Vergleichsmessung vorgenommen werden. Dazu werden ein schwarzer Strahler und ein Ofen benötigt. Das Messobjekt muss auf die Temperatur des schwarzen Strahlers aufgeheizt werden. Zur Bestimmung des Emissionsfaktors kann die gemessene Strahlungsenergie des Messobjekts und des schwarzen Strahlers ins Verhältnis gesetzt werden (s. Bild 4). Diese Art der Emissionswertbestimmung eignet sich auf Grund des Messaufbaus nur für kleine Messobjekte.

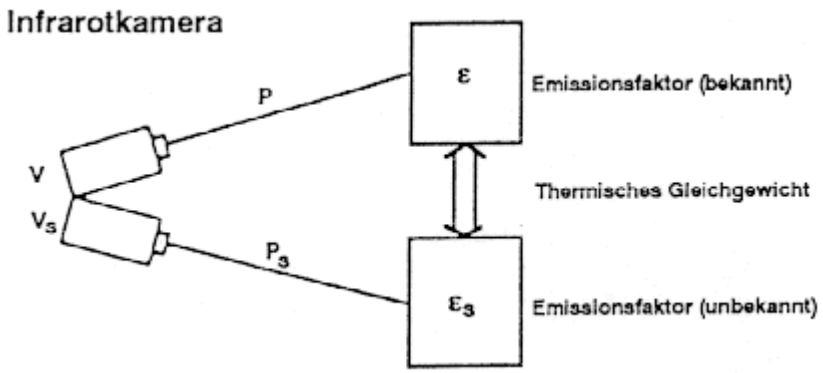


Bild 5 Emissionsfaktor - Vergleichsmessung

$$\varepsilon_S = \varepsilon \frac{P_S}{P} = \varepsilon \frac{V_S}{V}$$

Formel 10 Emissionsfaktor - Vergleichsmessung

EMISSIONSWERTKORREKTUR UND DIE BESTIMMUNG ÜBER SOFTWARE

Eine weitere Methode den Emissionswert zu korrigieren und bestimmen, kann nachträglich über eine entsprechende Software durchgeführt werden. Jedoch gibt es auch bei dieser Methode der Emissionswertkorrektur und -bestimmung wichtige Faktoren zu beachten, die, sofern sie nicht entsprechend berücksichtigt werden, zu stark verfälschten Messergebnissen führen können. Somit kann es passieren, dass der Anwender auf Grund der interpretierten Temperatur falsche Rückschlüsse aus dem Messergebnis zieht und unzureichende Gegenmaßnahmen einleitet, die zu erheblichen Schäden oder zur Zerstörung des Prüflings führen können. Moderne Softwarepakete korrigieren und bestimmen den e-Wert je nach Anwendung und Art des Prüflings mit folgenden Möglichkeiten:

- pixelweise Emissionswertkorrektur für das Gesamtbild
- flächenbezogene Emissionswertkorrektur für mehrere frei definierbar Konturen
- punktuelle Emissionswertkorrektur für mehrere einzelne Messpunkte
- flächenbezogene Temperaturkorrektur für mehrere frei definierbare Konturen

Die 4 aufgeführten Methoden mit den zu beachtenden Faktoren und der entsprechenden Mathematik werden im Folgenden genauer beschrieben.

Formeln der e-Korrektur

Als Basis für die Emissionswertkorrektur der 4 aufgeführten Methoden wird das Plancksche Strahlungsgesetz für die spektrale spezifische Ausstrahlung eines Schwarzen Strahlers bei der Temperatur T angewandt. Für den Bereich ec2/ IT >1, also für IT < 1mm 4000K gilt mit ausreichender Genauigkeit die Wiensche Näherung. Dies ist mit von z.B. irMOTION verarbeiteten Daten in sehr guter Näherung der Fall. Die wahre Temperatur Tw lässt sich dann aus der Temperatur des schwarzen Strahlers Ts mit der Emissivität e ausdrücken als:

$$\varepsilon(\lambda,T) \cdot c_1\lambda^{-5} \cdot e^{-c2/\lambda Tw} = c_1\lambda^{-5} \cdot e^{-c2/\lambda Ts}$$

Durch Logarithmieren folgt dann:

$$\frac{1}{T_W} = \frac{1}{T_S} + \frac{\lambda}{c_2} \ln\varepsilon(\lambda,T_W)$$

Formel 11 Emissionswertkorrektur über Software

Unter Vernachlässigung von Wellenlängen und Temperaturabhängigkeit der Emissivität von e wird diese Formel von IrMOTION verwendet, um aus den gemessenen Temperaturwerten die tatsächliche zu approximieren.

Pixelweise Emissionswertkorrektur

Für eine pixelweise e-Korrektur sind entsprechende Messaufbauten und Messbedingungen notwendig, um eine exakte und genaue Korrektur sinnvoll und zuverlässig durchzuführen. Grundsätzlich sind für diese Variante immer zwei Aufnahmen notwendig. Eine Aufnahme des zu korrigierenden Prüflings muss unter definierten Bedingungen, z.B. Umgebungstemperatur, oder eine homogene Erwärmung auf eine bekannte Temperatur, und eine zweite Aufnahme unter Betriebsbedingungen durchgeführt werden. Jedoch ist diese Methode aus folgenden Gründen nicht ganz unproblematisch:

1. Die geometrischen Verhältnisse zwischen der Referenz- und Betriebsaufnahme dürfen sich nicht mehr verändern. Ist dies nicht gewährleistet, werden anschließend falsche Bildpunkte miteinander korrigiert.
2. Bei großen Objekten ist es nur schwer oder überhaupt nicht möglich, eine homogene Temperatur zu erhalten, die als Referenzaufnahme unbedingt notwendig ist. Deswegen eignet sich die pixelweise Korrektur nur bei sehr kleinen Bauteilen wie z.B. elektronische Baugruppen.
3. Abhängig von dem zu vermessenden Material muss die Referenztemperatur sehr nahe an den Betriebsbedingungen liegen z.B. bei Metallen, weil der Emissionsfaktor u.a. auch eine Funktion der Temperatur ist.

Flächenmäßige Emissionswertkorrektur

Alternativ zu der pixelweisen Methode existiert die flächenmäßige Emissionswertkorrektur über Konturen. Diese findet bei großen Messobjekten, oder wegen nicht gewährleisteter geometrischer Abmessungen zwischen Referenz- und Betriebsaufnahme mehr Einsatzmöglichkeiten. Außerdem kann diese wegen der relativ flexiblen und einfachen Realisierung viel einfacher und schneller durchgeführt werden. In diesem Fall stehen dem Anwender beliebig viele und frei definierbare Konturen zur Verfügung, für die er jeweils einen eigenen e-Wert angeben kann. Der Bildinhalt innerhalb der definierten Kontur wird temperaturmässig und farblich entsprechend dem vorgegebenen e-Faktor korrigiert und angepasst. Aber auch hier können die Einflüsse eines temperaturabhängigen Emissionswertes nicht vernachlässigt werden.

Punktuelle Emissionswertkorrektur

Diese Art der Korrektur ist identisch zu der ersten und zweiten, nur mit dem Unterschied, dass es sich hierbei um einen einzelnen oder mehrere einzelne Messpunkte handelt und wegen der schnellen Korrekturzeit auch Online durchführbar ist.

Flächenmäßige Temperaturkorrektur

Entsprechend der flächenmäßigen Emissionswertkorrektur wird hier eine Temperatur vorgegeben und als Ergebnis berechnet die Software den e-Wert innerhalb der definierten Fläche. Der Vorteil dieser e-Wertbestimmung liegt darin, dass der Anwender die mit einem Thermoelement gemessene Temperatur vorgibt und eine Größenordnung des e-Faktors erhält, ohne umständliche Schwärzungen der Oberfläche vornehmen zu müssen. Des Weiteren kann bei mehreren Messsequenzen über die Zeit sehr einfach eine Kennlinie des Emissionsfaktors in Abhängigkeit der Temperatur erstellt werden. Auf der folgenden Seite ist ein unkorrigiertes und ein emissionswert korrigiertes Thermogramm einer Metallplatte, die bis auf ein Quadrat in der Mitte geschwärzt wurde. Aufgrund der schlechten Emissivität der blanken Fläche wird vor der Korrektur innerhalb einer Kreisfläche eine um 255°C tiefere Temperatur gegenüber der geschwärzten Fläche angezeigt. Welche fatalen Folgen und Auswirkungen dies in der Praxis nach sich ziehen kann, wenn dieses Thermogramm falsch interpretiert wird, braucht nicht weiter erklärt werden. Nach einer Korrektur mit einer Referenzaufnahme bei der Umgebungstemperatur von ca. 23°C haben sich gegenüber der Originalaufnahme keine wesentlichen Verbesserungen ergeben. Dies ist darauf zurückzuführen, dass metallische Oberflächen

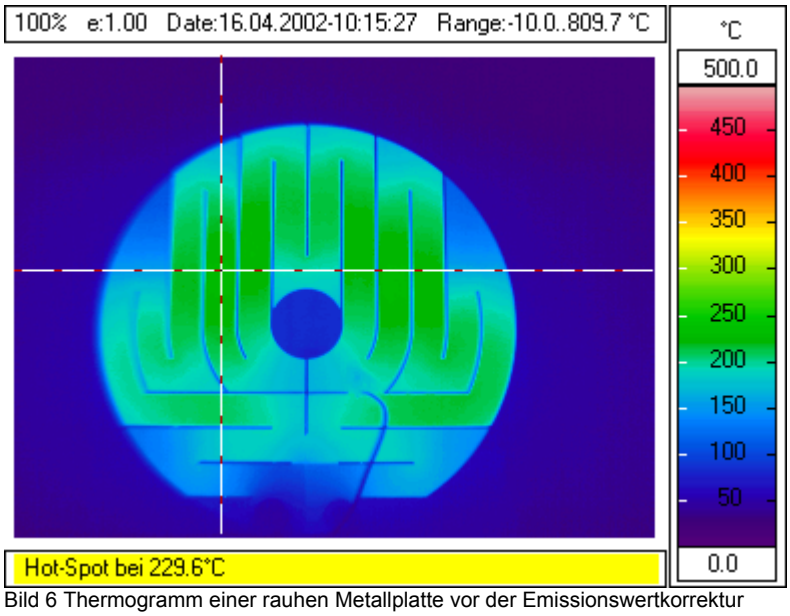


Bild 6 Thermogramm einer rauhen Metallplatte vor der Emissionswertkorrektur

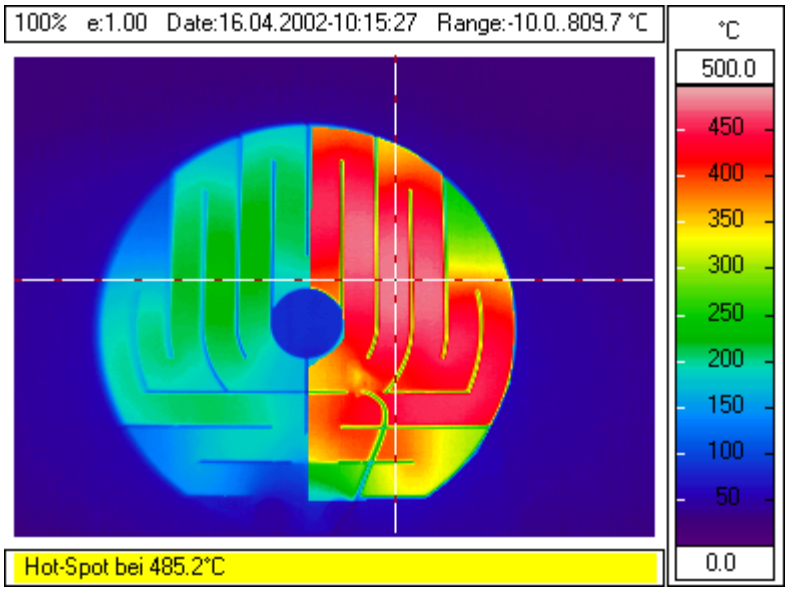


Bild 7 Thermogramm einer rauhen Metallplatte nach der örtlichen Emissionswertkorrektur

eine große Emissionswertänderung in Abhängigkeit der Temperatur aufweisen, d.h. die Emissivität sinkt mit steigender Temperatur (siehe Bild 8). Diese großen Emissionsunterschiede können nachträglich nicht mehr raus korrigiert werden. Nach einer zweiten Korrektur mit einer Referenzaufnahme bei 80°C werden - wie auf dem unteren Thermogramm ersichtlich - diese Einflüsse fast korrigiert, weil die Abweichung des Emissionsfaktors von dem der Aufnahme unter Betriebsbedingungen nicht sehr stark abweicht. Aufgrund dieser Erkenntnisse muss bei metallischen Oberflächen mit großer Sorgfalt gemessen werden. Als Schlussbemerkung sei nochmals darauf hingewiesen, dass die Emissionswertkorrektur als unterstützendes Werkzeug sicherlich sehr hilfreich und nützlich ist, dem Anwender aber nicht die damit verbundene Arbeit abnimmt.

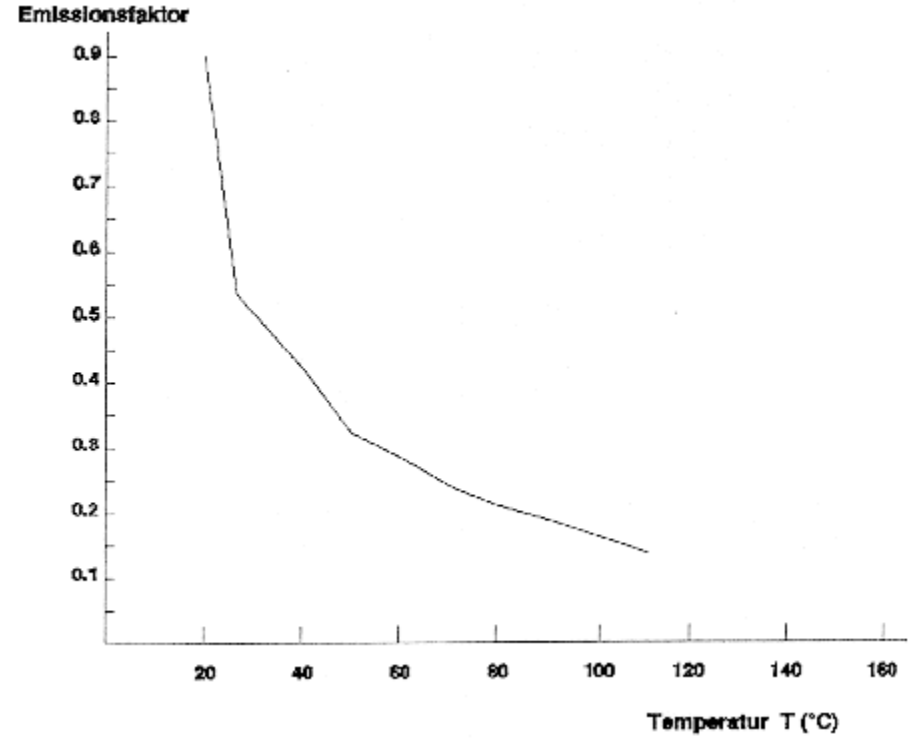


Bild 8 Emissivität einer metallischen Oberfläche in Abhängigkeit der Temperatur

Leider besteht zwischen Emissionsgrad einer Materialoberfläche und der Temperatur kein linearer Zusammenhang. Das Schaubild (Bild 8) zeigt deutlich wie kritisch Korrekturen unterhalb der Marke Emissionsfaktor < 0,6 sein können. Bei niedrigen Emissionsfaktoren ist die Auswirkung der Emissionsgradkorrektur generell kritisch, da geringste Fehler in der Annahme eines pauschalen Emissionsfaktors, bereit dramatische Fehlkorrekturen mit sich zeihen können. Die zu berücksichtigende Ambienttemperatur spielt natürlich hierbei ebenfalls eine überaus wichtige Rolle. Bei der Emissionswertkorrektur von niedrigen Emissionsgrad betroffenen Objekten ist der Einfluss von Ambienttemperatur, besonders im Hinblick auf reflektierenden „Hintergrundtemperaturen“ nicht außer Acht zu lassen. Besonderes Augenmerk liegt in der Homogenisierung der Hintergrundtemperaturen, sofern dies möglich ist.
Eine für die Kamerasensorik sichtbare Hintergrundstruktur unterschiedlicher Temperaturereignisse, welche bei niedrigen Emissionsgraden - sprich Reflektivität und dadurch mangelnde Absorption auftreten, können durch Abschattung oft auf einfache Weise ausgeschlossen werden. Hier gilt das Prinzip des Spiegels - Einfallswinkel ist gleich Ausfallwinkel. Die eingestrahlte Hintergrundtemperatur steht im Wettbewerb zur Ambienttemperatur, welche es stets gilt anzunähern, um die Anwendung weiterer komplizierterer Korrekturmodelle und Berechnungsmethoden zu vermeiden. Selbstverständlich gilt dies im Besonderen für „opake“ (nicht transparente) Objektoberflächen. Falls hierzu Transmissionskomponenten im Vorfeld nicht auszuschließen sind, wird das Korrekturmodell durch eine weitere Komponente ergänzt. Natürlich ergeben sich durch etwaige Transmission an einer Objektoberfläche, weitere Einflüsse, welche bei der Emissionswertkorrektur zu berücksichtigen sind. Hierzu gibt es in gebräuchlichen IR-Kamerasystemen und Infrarotsoftwaren spezifische Korrekturhilfen (ε- Funktionen, Off-sets, etc.), um gerade im „langwelligen Mess-Bereich“, diesen eher seltenen Phänomenen vorzubeugen.

<u>Eine Empfehlung hat jedoch immer Gültigkeit:</u>

Mit niedrigem Emissionsgrad ausgestattete Objektoberflächen, sollten im Sinne des Infraroten „geschwärzt“ werden. Nur so lassen sich emissionsgrad- und ambienttemperatursensible Materialien nahezu unkorrigiertes messen und in Abhängigkeit der Güte des Messsystems in Temperaturen fassen.

Moderne IR-Kamera Funktionen bieten die zusätzliche Berücksichtigung atmosphärischer Einflüsse.

Einflüsse

Inhalt dieser Seite:

- Atmosphäre
  - Einfluss der Atmosphäre

ATMOSPHÄRE

Einfluss der Atmosphäre

Bei Messungen im Infrarotbereich müssen die Einflüsse der Atmosphäre beachtet werden, da diese die Strahlung abschwächen und durch Eigenstrahlung das Ergebnis beeinflussen können. Dabei werden die Infrarotstrahlen auf dem Weg durch die Atmosphäre absorbiert und gestreut. Diese Dämpfung ist wellenlängenabhängig, d.h. in bestimmten Wellenlängenbereichen hat die Atmosphäre einen hohen Transmissionsgrad, in anderen einen niedrigeren. Um diese Einflüsse zu umgehen, werden Infrarotkameras überwiegend für die atmosphärischen Fenster 3µm bis 5µm und 8µm bis 13µm ausgelegt.

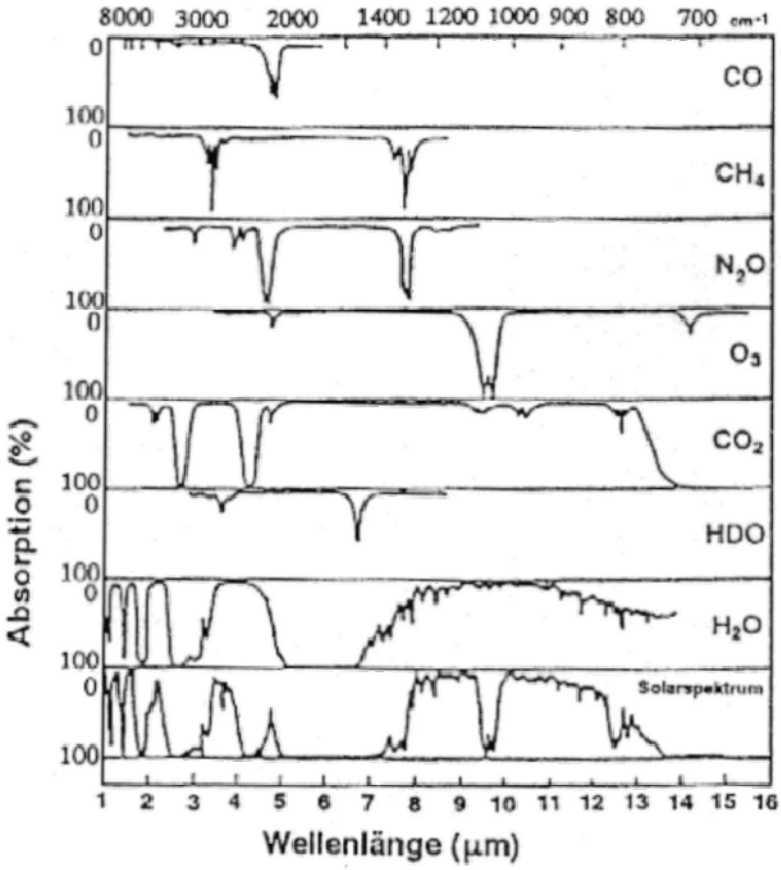


Bild 9 Absorption der Sonnenstrahlung durch Gas-Moleküle

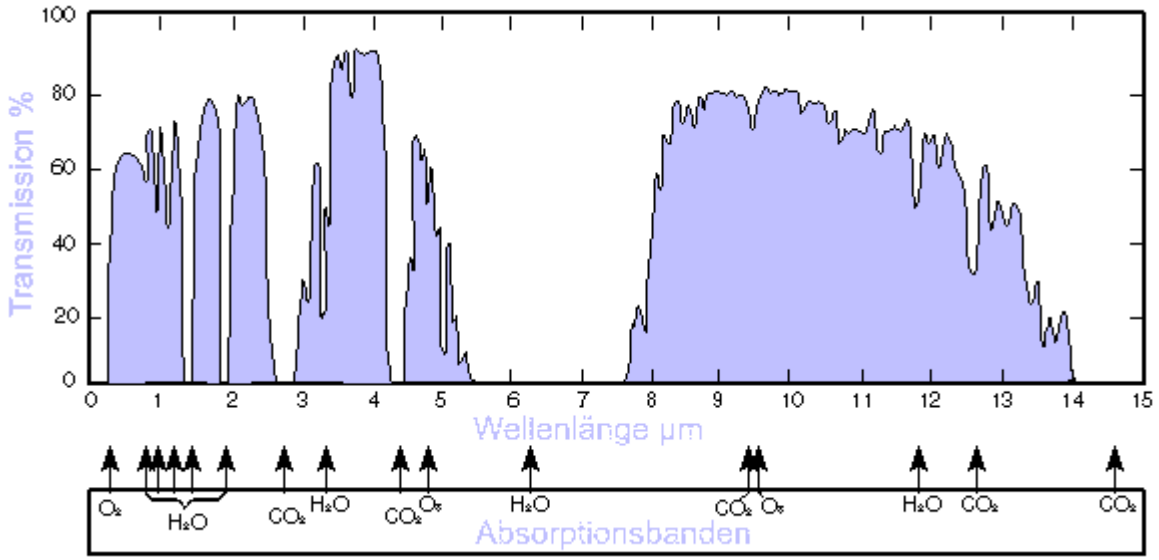


Bild 10 Transmission der Atmosphäre

In Bild 5 und 6 ist ersichtlich, dass in bestimmten Wellenlängenbereichen (z.B. 2.6 bis 2.9µm; 4.3 bis 4.5µm; 5.4 bis 7.0µm) die Strahlung nahezu vollständig gedämpft, absorbiert wird. Den größten Anteil haben Kohlendioxid (CO2) und Wasserdampf (H20), die sich schon bei kürzesten Entfernungen bemerkbar machen. Die Streuungseffekte werden hauptsächlich durch in der Luft schwebende Teilchen wie z.B. Staub und Wassertropfen verursacht. Im langwelligen Bereich 8µm bis 13µm werden die Verhältnisse günstiger. Die wellenlängenabhängige Dämpfung der Strahlung ist durch den spektralen Transmissionsgrad definiert, welcher sich aus dem Produkt einzelner Transmissionsgrade der Moleküle ergibt.

IR-Gläser

Inhalt dieser Seite:

- Optische Komponenten
  - Saphir (Al2O3)
  - Calcium Fluorid (CaF2)
  - Barium Fluorid (BaF2)
  - Germanium (Ge)
  - Zink Selenit (ZnSe)

OPTISCHE KOMPONENTEN

Für den Betrieb von Infrarotsystemen sind optische Komponenten nötig, die für die Infrarotstrahlung transparent sind. Unter anderem sind IR-durchlässige Fenster, Linsen, Spiegel, Filter und Antireflexschichten in derartigen Systemen eingebaut. Weil heute eine Vielzahl unterschiedlicher Materialien zur Verfügung stehen, sollte man bei Verwendung in Abhängigkeit vom Aufbau, den Einsatzbedingungen und der Umweltbelastung, auf eine Reihe von Parametern geachtet werden, wie z.B.:

- Transmissionsverhalten und Temperaturabhängigkeit
- Brechungsindex und Temperaturabhängigkeit
- Oberflächenvergütung und Antireflexschichten
- Resistenz gegen Gase, Wasser und chemische Substanzen
- Schmelzpunkt usw.

Es sollte besonders auf die Durchlässigkeit und den Brechungsindex geachtet werden, die anderen Faktoren sind oftmals von der Anwendung abhängig. Es steht eine Vielzahl von Materialien zur Auswahl, von denen die wichtigsten und meistgebräuchlichsten hier beschrieben sind.

Saphir (Al2O3)

Saphir ist ein farbloses Kristall mit einem hohen Härtegrad. Des Weiteren hat dieses Glas einen kleinen Brechungsindex bei einer gleichmäßigen Durchlässigkeit im Bereich von 0.17µm bis 6.5µm. Auffallend ist die große mechanische Festigkeit von Minimum 2000 kg/cm2 und der hohe Schmelzpunkt von 2040°C. Allerdings löst es sich im Wasser oder chemischen Lösungen langsam auf und hat einen sehr hohen Preis.

Calcium Fluorid (CaF2)

Dieses Material ist ebenfalls farblos und hat eine kubische Form. In Ammoniak - Salz - Lösungen löst es sich sehr leicht auf. Der empfohlene Temperaturbereich liegt bei ca. 150°C unter Berücksichtigung der Sicherheit, da Calcium Fluorid in höheren Temperaturen sehr leicht bricht und ab ca. 500°C oxidiert (CaO). Preislich in etwa identisch mit Saphir.

Barium Fluorid (BaF2)

Obgleich dieses Material relativ billig ist und sich ähnlich wie Calcium Fluorid verhält, ist die mechanische Festigkeit viel schlechter als bei Calcium Fluorid. Deshalb kann es nicht bei großen Druckunterschieden verwendet werden. Im Hinblick auf die Temperatur kann es in Umgebungen bis ungefähr 600°C eingesetzt werden.

Germanium (Ge)

Germanium hat einen hohen Brechungsindex, d.h. dass es ohne Antireflexschichten nur ca. 50% der Strahlung im 2µm bis 15µm- Bereich durchlässt. Deswegen werden meistens für den verwendeten Bereich Antireflexschichten aufgetragen. Es lässt sich für Temperaturen bis zu 300°C verwenden. In Verbindung mit Antireflexschichten kann die verwendete Schicht dem Temperaturbereich angepasst werden.

Zink Selenit (ZnSe)

Zink Selenit ist ein schwach gelbliches Kristall, welches auch noch in geringem Maße sichtbares Licht durchlässt und für viele Bereiche eingesetzt wird, z.B. Linsen, Fenster für Laser, usw..Auch bei Zink Selenit müssen wie bei Germanium Antireflexschichten aufgetragen werden. Seine mechanische Festigkeit ist etwas niedriger als die von Germanium. Nachteilig ist der relativ hohe Preis.

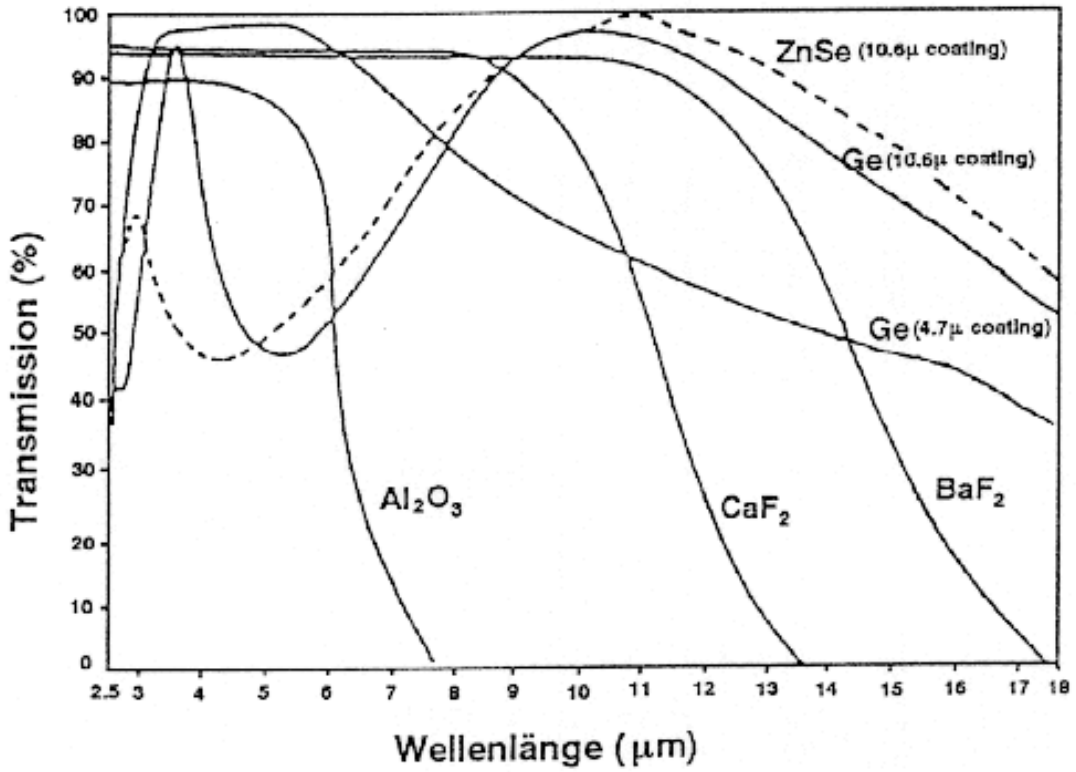


Bild 11 Transmissionsverhalten verschiedener optischer Materialien

Optisches oder Quarzglas kann nicht für mittel- und langwellige Infrarotapplikationen verwendet werden, da es für die Strahlungsanteile im Wellenlängenbereich über ca. 2.5µm nicht mehr oder nur noch begrenzt transparent ist.

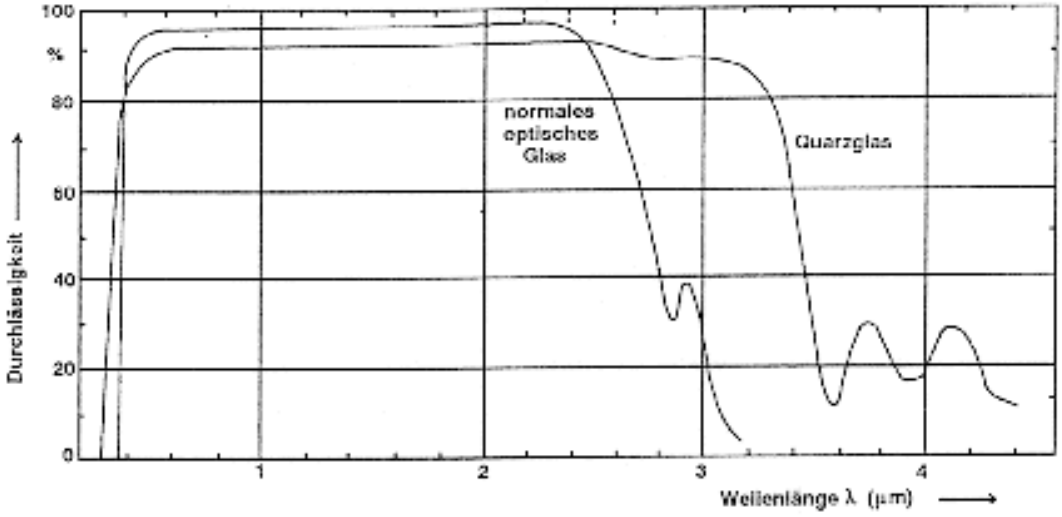


Bild 12 Spektrale Durchlässigkeit von optischem Glas und Quarzglas (Dicke 2 mm)

	Saphir	CaF_2	BaF_2	Ge	ZnSe
Wellenlänge	0.17 - 6.5 µm	0.13 - 13 µm	0.15 - 15 µm	1.80 - 23.0 µm	0.58 - 22.0 µm
Brechungsindex	1.77 (1.0 µm)	1.40 (4.6 µm)	1.42 (9.7 µm)	4.1 (10.0 µm)	2.40 (10.0 µm)
Schmelzpunkt	2040°C	1360°C	1280°C	942°C	1700°C
therm. Ausdehnung	$5.0 - 6.7*10^{-6}$	$2.4*10^{-5}$	----------	$5.5*10^{-6}$	$9.06*10^{-6}$
Knoop Härte	1400 kp/mm	158 kp/mm	82 kp/mm	692 kp/mm	100 kp/mm

Tabelle 4 Optische Gläser

BRECHUNGSINDEX

Bei den meisten Materialien liegt der Brechungsindex zwischen 1.5 und 2. Diese können problemlos eingesetzt werden. Bei einigen Materialien wie z. B. Germanium, Silizium und Zink Selenit liegen die Brechungsindizes weit höher, was bedeutet, dass an der Oberfläche hohe Reflexionsverluste auftreten. Diese haben zur Folge, dass die Durchlässigkeit bis zu 40% gedämpft wird. Durch Auftragen von Antireflexschichten kann in begrenzten Spektralbereichen der Brechungsindex auf den Faktor 1.5 und die Transmission bis auf 90% verbessert werden. Dabei muss aber auch der Einfallwinkel der Strahlung beachtet werden, der wegen der optischen Dicke der Schicht nicht größer als 35° sein sollte. Bei manchen Materialien steht der Brechungsindex in Abhängigkeit zur Wellenlänge. Diese Erscheinung - auch Dispersion genannt - bedeutet, dass mit zunehmender Wellenlänge der Brechungsindex kleiner wird (Bild 13).

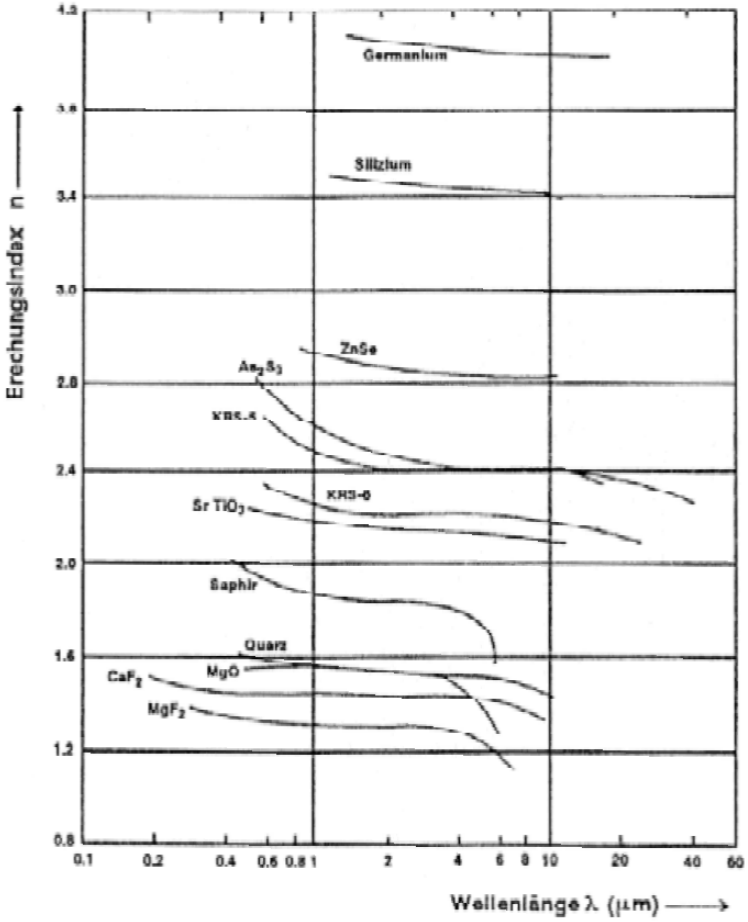


Bild 13 Abhängigkeit des Brechungsindex optischer Materialien v. d. Wellenlänge

IR-Detektoren

Inhalt dieser Seite:

- DETEKTOREN
  - Infrarot-Detektoren
  - Thermische Detektoren
  - Quantendetektoren
  - Ansprechempfindlichkeit
  - Noise Äquivalent Power (NEP)
  - Detektivität
  - Zeitkonstante
  - Übersicht über verschiedene Detektoren

DETEKTOREN

Infrarot-Detektoren

Das wichtigste Element der Infrarotkameras sind die Strahlungsempfänger (Detektoren), welche die IR-Strahlung in ein elektrisches Signal umwandeln. Hier gibt es zwei grundsätzliche Arten von Detektoren:

- Thermische Detektoren
- Quantendetektoren

Thermische Detektoren

Die thermischen Detektoren reagieren nicht auf Photonen sondern auf eine Strahlleistung. Deshalb sind sie von der Wellenlänge unabhängig. Der Nachteil dieser Detektoren besteht in der langsamen Ansprechempfindlichkeit und dem geringen Nachweisvermögen der Strahlung, die selbst durch Kühlung nicht wesentlich verbessert werden können. Der Vorteil ist, dass diese Detektoren sehr preiswert sind. Eingesetzt werden diese u.a. als pyroelektrische Detektoren, Strahlungsthermoelemente.

Quantendetektoren

Die Quantendetektoren nutzen zwei Effekte aus:

- innerer Photoeffekt, innerer lichtelektrischer Effekt
- äußerer Photoeffekt, äußerer lichtelektrischer Effekt

Der eine ändert seine Leitfähigkeit bei einer Befreiung von freien Elektronen (äußerer Photoeffekt), bei dem anderen (inneren Photoeffekt) werden durch Absorption von Quanten Elektronen befreit. Bei den scannenden NEC Thermografie-Systemen werden für MCT- Detektoren Quantendetektoren mit dem inneren Photoeffekt, bei InSb- Detektoren mit dem äußeren Photoeffekt, verwendet. Im Gegensatz zu den thermischen Detektoren haben die Quantendetektoren ein sehr hohes Nachweisvermögen bei einer schnellen Ansprechzeit. Diese Detektoren sind wellenlängenabhängig und mehr oder weniger aufwendig gekühlt. Wegen der Rauscherzeugung von den Ladungsträgern, die das Signal-Rausch-Verhältnis verschlechtern, müssen diese Detektoren im Betrieb gekühlt werden. Je langwelliger der Empfind-lichkeitsbereich desto tiefer die Kühltemperatur.

Detektorcharakteristiken

Die heute verwendeten Detektoren unterscheiden sich in ihren Parametern, wobei sich je nach Anwendung eine Auswahl des optimal geeigneten Detektors ergibt. Die folgende Beschreibung liefert eine Aussage über die Detektorparameter.

Ansprechempfindlichkeit

Die Ansprechempfindlichkeit R des Detektors ist definiert als das Verhältnis zwischen der Ausgangs-spannung U und der auftretenden Strahlung W.

$$R = \frac{U}{W} \; (V \cdot W^{-1})$$

Formel 12

Noise Äquivalent Power (NEP)

NEP, auch Rauschleistung sagt aus, welche minimale Energie oder Leistung durch den Detektor noch nachweisbar ist, d.h. ein Verhältnis von Signal zu Rauschen noch 1 ergibt (Formel 10 bis 12).

$$NEP = \frac{V_{Signal}}{V_{Rauschen}} = 1$$

Formel 13

$$NEP = \frac{W}{\sqrt{Hz}}$$

Formel 14

$$NEP = \frac{E_{eff} \cdot A \cdot U_r}{U_s \cdot \sqrt{f}} \; (W \cdot (IIz/S) - 1/2)$$

Formel 15

Detektivität

Das Nachweisvermögen ist der reziproke Wert von NEP. Es gibt Auskunft über das Photosignal, welches man je Einheit der auftreffenden Strahlleistung erhält. Es ist auf eine Empfängerfläche von 1cm² normiert.

- Eeff = Strahlungsenergie der Detektoroberfläche (W x cm²)
- A = effektive Detektorfläche (cm²)
- S = Effektivwert der Signalspannung (V)
- Ur = Effektivwert der Rauschspannung (V)
- f = Bandbreite des Rauschens (Hz/Us)

$$D = \frac{1}{NEP} \cdot \sqrt{A}\,(cm \cdot (Hz/S) \cdot 1/2W^{-1})$$

Formel 16

Zeitkonstante

Die Zeitkonstante ist die Ansprechgeschwindigkeit des Detektors. Sie sagt aus, nach welcher Zeit der Detektor 0.707 = 3dB der Strahlung erreicht hat.

Übersicht verschiedener Detektoren bzw. Sensoren

Für die Detektion von Infrarotstrahlung greift man auf unterschiedlichste Materialbasen zu. Welches Detektor-/ Sensormaterial letztlich verwendet wird, macht man von mehreren Faktoren abhängig. Hier spielen Preis, Einsatzwellenlänge, Empfindlichkeit, Dynamik, Langzeitstabilität und Lebensdauer eine besondere Rolle. Ob der Detektor-/ Sensor mitunter gekühlt werden muss, entscheidet meist die Grenze zulässigem Signal-Rausch-Verhaltens bzw. der grundsätzlichen Bedürftigkeit des Material im benutzten Wellenlängen-Fensters selbst.

Die gängigsten Detektor- bzw. Sensor- Materialien im Einzelnen:

- Microbolometer uFPA Matrix Sensor (ferroelektrische, und pyroelektrische Technologien)
  Häufig verwendete Materialanordnungen für Thermosensoren sind:
  - ASi amorphes Silizium (mäßige Sensitivität und Haltbarkeit)
  - VOx Vanadium Oxid (hohe Temperaturempfindlichkeit und Langlebigkeit)
- AlGa/GaAs- ferroelektrische-/ keramische Elemente
- Bariumstrontiumtitan (BST) uFPA Sensoren
- MCT (HgCdTe) single-/ multi- Detektoren
- InSb Detektoren
- PtSi FPA Detektoren
- QWIP Detektor basierend auf einer GaAs Verbindung

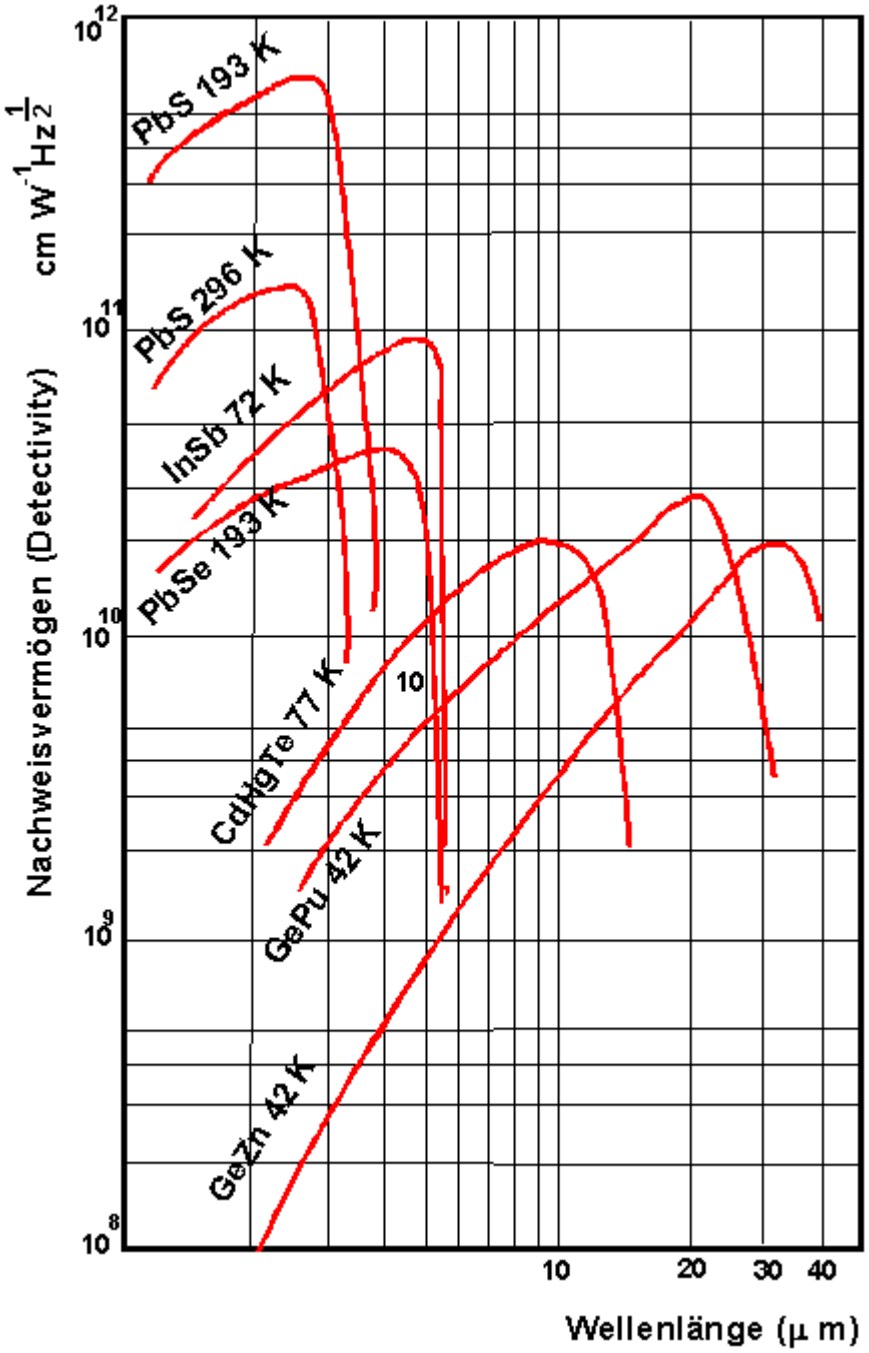


Bild 14 Detektivität von IR-Detektoren

Auflösung

Inhalt dieser Seite:

- Geometrische Auflösung
  - Messabstand, Blickfeld und Ortsauflösung speziell bei scannenden Infrarotkameras

---

GEOMETRISCHE AUFLÖSUNG

Messabstand, Blickfeld und Ortsauflösung.

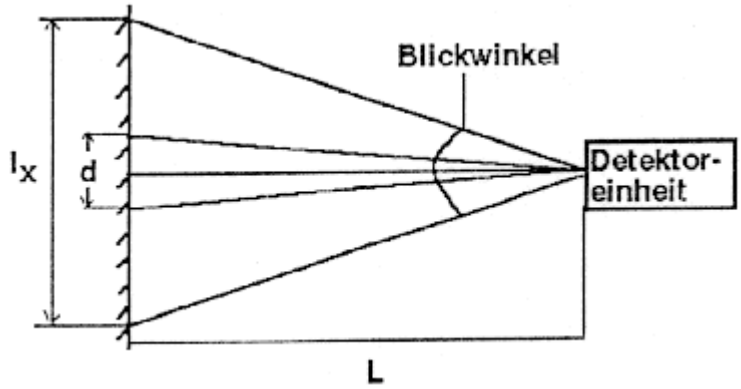


Bild 15 Übersicht über Messabstand, Blickfeld und geometrische Auflösung

L = Abstand zwischen Messobjekt und Detektoreinheit
d = kleinstmögliche Auflösung
lx = Gesamtblickfeld in horizontaler Richtung

$$l_X = 2 \cdot L\tan\frac{Bw}{2}$$

Formel 17 Berechnung des Blickfeldes

Formel 18 und 19 Berechnung der geometrischen Auflösung:

$$d = \frac{2 \cdot \pi \cdot Bw}{360 \cdot BP}$$

Formel 18

$$d = \frac{l_X}{BP}$$

Formel 19

Bw = Blickwinkel des Thermografie-Systems
BP = Anzahl der Bildpunkte/Zeile

Auswahlkriterien

Inhalt dieser Seite:

- Thermografie-Systeme
  - Thermografie-Systeme: Definition
- Auswahlkriterien
  - Spektrale Empfindlichkeit
  - Temperaturbereich und thermische Auflösung
  - Anzahl Bildpunkte und Bildfolgefrequenz
  - Blickfeld, Messabstand und geometrische Auflösung
  - Kühlung
  - Datentransfer-Schnittstellen
  - Bildverarbeitung und -auswertung
  - Schlussbemerkung

Thermografie-Systeme: Definition

Thermografiegeräte, auch Wärmebildkameras genannt, sind Systeme, welche die Strahlung eines Objektes im Infrarotbereich visuell zugänglich machen. Dabei wird ein Bild aus vielen einzelnen Bildpunkten zu einem Gesamtbild zusammengesetzt. Die Geräte bestehen grundsätzlich aus den folgenden Komponenten:

- Sensorik (Single- od. Multidetektor bzw. Focal Plane Array (CCD- od. Bolometer Matrix)
- Optische Abtasteinheit (Prismen- oder Spiegel- Scanningsystem)
- Optik bzw. Objektive
- Bildaufbereitung und -verarbeitung

AUSWAHLKRITERIEN

Auf Grund des Einsatzgebietes sollten vor der Anschaffung eines Thermografiegerätes Überlegungen hinsichtlich der Gerätespezifikationen getroffen werden, um eine Fehlinvestition auszuschließen. Heute verfügbare Systeme unterscheiden sich ganz wesentlich in ihren Leistungsmerkmalen. Deshalb ist es wichtig, vor einer Entscheidung den Anwendungsbereich und die gewünschten oder geforderten Spezifikationen genau zu definieren.

Die Leistungsfähigkeit der Systeme wird u.a. durch folgende Merkmale beschrieben:

- spektrale Empfindlichkeit und Messgenauigkeit
- Temperaturmessbereich und thermische Auflösung
- Pixelzahl und Bildwiederholfrequenz
- Bildwinkel, Blickfeld und geometrische Auflösung
- Kühlmechanismen und Langlebigkeit
- Einsatzfähigkeit und Schutznormen
- vorhandene Schnittstellen und Datenspeichersysteme
- Bildauswertung, -dokumentation und -sicherung

Spektrale Empfindlichkeit und Messgenauigkeit

Bei Messungen im Infrarotbereich muss, wie bereits im Kapitel unter atmosphärische Einflüsse erwähnt, die Strahlungsdämpfung beachtet werden. Um diese Einflüsse zu umgehen, werden für Thermografie-Systeme ausschließlich die beiden atmosphärischen Fenster 3 bis 5 mm und 8 bis 13 mm genutzt. Wie im Bild 9 und 10 ersichtlich, sind die Verhältnisse im langwelligen Bereich 8 bis 13 mm gegenüber dem kurzwelligen Bereich sogar etwas günstiger.

Die Wahl des richtigen Detektors und damit des Spektralbereiches wird durch die zu messende Temperatur und Material des Messobjektes bestimmt. Mit dem Wienschen Verschiebungsgesetzes (Formel 6) lässt sich bei einer gegebenen Temperatur T das Maximum der ausgesandten Strahlleistung als Funktion der Wellenlänge l berechnen. Außerdem lässt sich, wie bereits auf Seite 8, 9 beschrieben und im Bild 2 dargestellt, für eine gegebene Temperatur T die Strahlungsverteilung berechnen. Anhand dieser Berechnungen kann problemlos der entsprechende Spektralbereich ausgewählt werden.

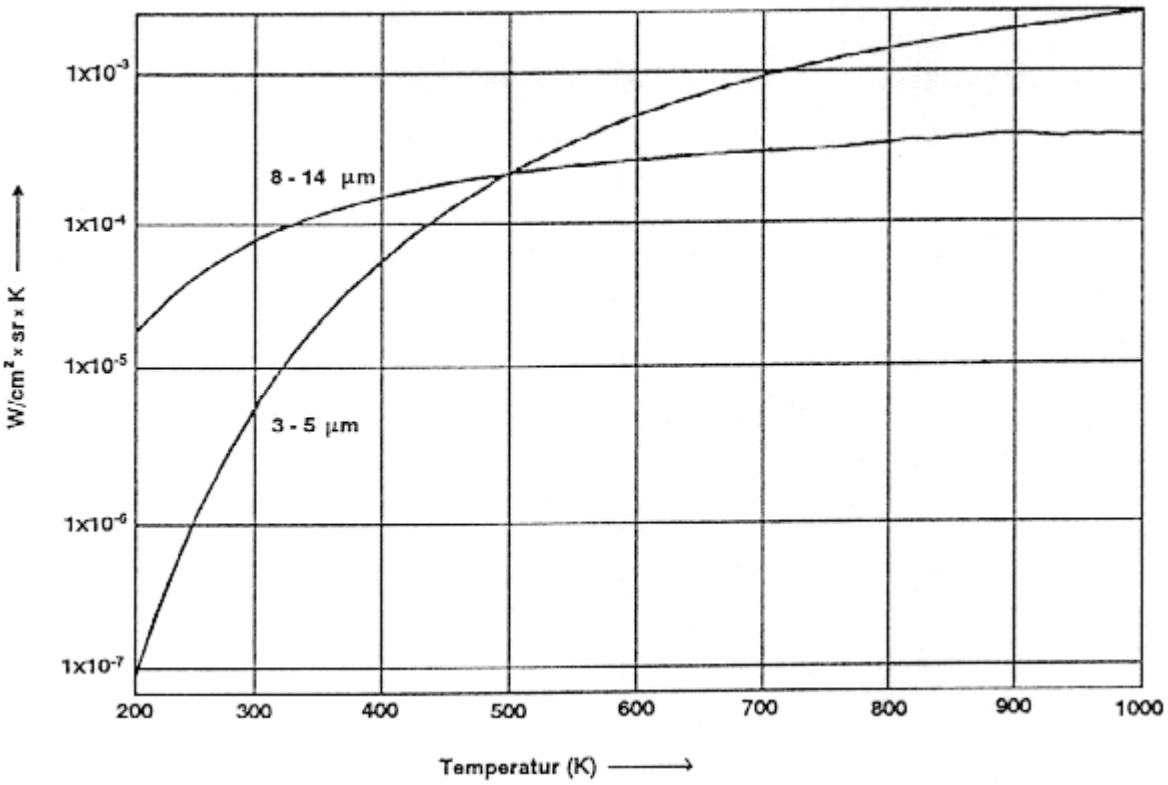


Bild 16 Strahldichte als Funktion der Temperatur für die beiden Spektralbereiche 3-5 µm und 8-14 µm

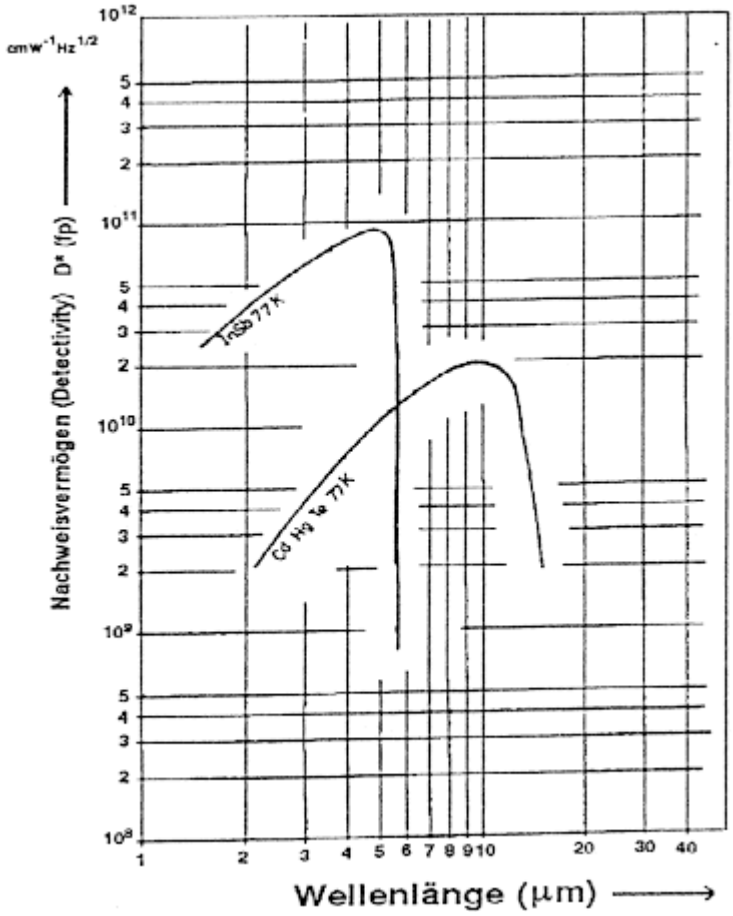


Bild 17 Nachweisvermögen vom InSb (3-5 µm) und MCT-Detektor (8-13 µm)

In dem folgendem Beispiel werden ausschließlich die beiden Detektortypen InSb (Indium-Antimon) und MCT oder HgCdTe (Mercury-Cadmium-Tellurite (eng.) / Quecksilber-Cadmium-Tellur (dt.)) erklärt, da diese in industriellen Thermokameras zum Einsatz kommen. Deswegen wurde auf einen Vergleich mit anderen Detektoren bewusst verzichtet. Bild 16 und 17 zeigen die Kennlinien der Strahldichte und Detektivität der beiden Detektoren. Wie aus beiden Bildern ersichtlich, ist für den Temperaturbereich < 500 K = 227 °C der langwellige Spektralbereich besser geeignet, d.h. die Detektivität des MCT-Detektors ist höher. Erst >500 K treten umgekehrte Verhältnisse ein. Ein weiteres Kriterium für die Wahl des entsprechenden Spektralbereichs ist, das zu vermessende Objekt, das je nach Oberflächen- und Materialbeschaffenheit einen mehr oder weniger großen Emissionsfaktor hat. Wie schon erwähnt, besitzen viele Stoffe wie u.a. Kunststoffe, Nichtmetalle im Gegensatz zu den metallischen Stoffen im langwelligen IR-Bereich, einen von der Wellenlänge nahezu unabhängigen Emissionsgrad. So kann es durchaus sein, dass trotz hoher Temperaturen der langwellige Bereich besser geeignet ist, wenn die Emissivität des Materials im langwelligen Spektrum bessere Eigenschaften als im kurzwelligen Spektrum aufweist. Die effektiv ausgesandte Leistung eines Objektes ist wie unter Formel 2 beschrieben das Produkt aus Msk x e.

Temperaturmessbereich und thermische Auflösung

Mit den konventionellen Thermografie-Systemen können Temperaturen, abhängig vom verwendeten Detektor und Kühlung, von -50°C bis 2000° erfasst werden. Die tieferen Temperaturen von -50°C bis ca. -20°C werden vorzugsweise mit den langwelligen MCT-Detektoren gemessen. Die obere Temperaturgrenze von 2000°C kann mit beiden Detektoren erfasst werden. Ebenso ist auch die erreichbare thermische Auflösung mit den MCT-Detektoren etwas besser. So sind heute Auflösungen von 30mK (MCT-Detektor), 80mK (InSb-Detektor) und 100mK (thermoelektrisch gekühlter MCT-Detektor) Standard. Über eine entsprechende Mittelung der Messwerte lässt sich die thermische Auflösung durchaus auf Werte bis zu <20mK verbessern. Dies geschieht im Allgemeinen zu Lasten der Bildfolgefrequenz.

Pixelzahl und Bildwiederholfrequenz am Beispiel einer scannenden IR-Kamera

Einer der wichtigsten Auswahlkriterien für ein Thermografiesystem ist die Anzahl der Bildpunkte und Bildfolgefrequenz. Kommerziell angebotene Systeme bieten je nach Aufbau und Ausführung zwischen 0,2 bis 60 Bilder/sek. bei ca. 40.000 bis 410.000 Bildpunkten. Grundsätzlich kann festgestellt werden, dass eine Erhöhung der Bildfolgefrequenz einen Einfluss auf die Anzahl der Bildpunkte oder nach sich zieht, d.h. durch die vorgegebene Ansprechzeit der Detektoren im Bereich von 2µs bis 15µs ergibt sich eine Gesamtzeit resultierend aus Anzahl der Bildpunkte und Bildfolgefrequenz. Dies bezieht sich besonders auf scannende Infrarot Kamerasysteme. Wird die Anzahl der Bildpunkte größer, so muss die Bildfolgefrequenz automatisch kleiner werden und umgekehrt.

Anzahl der Bildpunkte	Bildfolgefrequenz in Bilder /sek.
100.000	1
10.000	10
1.000	100
100	1.000
10	10.000
1	100.000

Tabelle 5

Aus Tabelle 5 ist ersichtlich, dass bei einer Gesamtbildpunktanzahl von 100.000 und einer angenommenen Ansprechzeit von 10ms des Detektors eine Bildfolge von 1 Bild/sek. erreicht wird. Bei schnelleren Abtastungen drehen sich die Verhältnisse um. Deshalb setzen die meisten Hersteller von schnellen Thermografie-Systemen Mehrelement- statt Einelement-Detektoren ein, damit weiterhin eine ausreichend hohe Anzahl an Bildpunkten gewährleistet ist. Wichtig ist auch, ob die angegebene Bildfolgefrequenz mit oder ohne Zeilensprung realisiert wird. So entsprechen z.B. 20 Bilder/sek. bei einem 1:5 Zeilensprung nur 4 Vollbildern/sek., oder die Anzahl der Zeilen/Bild teilen sich durch den Zeilensprung z.B. bei 300 Zeilen/Bild und 1:5 Zeilensprung ergibt dies nur noch 60 Zeilen/Bild.

<u>Grundsätzlich gilt:</u>

mehr Messpunkte	=	mehr Information
weniger Messpunkte	=	weniger Information

Deshalb ist es wichtig, sich vorher eingehend Gedanken über die Messaufgaben zu machen, da z.B. für die Messung von stationären Temperaturzuständen ein langsam-abtastendes System mit dem Vorteil der hohen Bildpunktanzahl ausreicht. Außerdem wird durch mehr Bildpunkte eine fast "fotographische" Darstellung erreicht, die u.a. das Detektieren selbst kleinster Strukturen wesentlich erleichtert.

Bildwinkel, Blickfeld und geometrische Auflösung am Beispiel einer scannenden IR-Kamera

Die räumliche oder geometrische Auflösung angegeben in mrad ist mit eine der wichtigsten Angaben, weil sie ein Maß für den kleinsten mess- und auflösbaren Punkt darstellt. Entsprechend dem Bild und den Formeln auf Seite 30 "Geometrische Auflösung" (Bild 15, Formeln 17 - 19) ergibt sie sich aus dem Bildwinkel und der Anzahl der Bildpunkte (Formel 18). Die Abhängigkeit der geometrischen Auflösung vom Messabstand kann bei bekanntem Blickfeld, welches sich über die Tangensfunktion (Formel 17) bestimmen lässt, problemlos berechnet werden (Formel 19). Eine Vergrößerung des Blickfeldes kann zwar über einen größeren Messabstand erreicht werden, doch dieser bewirkt Einbußen in der geometrischen Auflösung. Hier unterscheiden sich die auf den ersten Blick identischen Angaben für die auf dem Markt befindlichen Systeme doch ganz wesentlich, wenn die Angaben alle auf eine Bezugsgröße gebracht werden. Eine exakte Aussage ergibt sich, wenn bei gleicher geometrischer Auflösung das damit verbundene Blickfeld und der Messabstand, oder umgekehrt die geometrische Auflösung für das gleiche Blickfeld verglichen wird. In diesem Zusammenhang erscheint auch die Angabe des Fokussierbereiches und eventuell notwendiger und teurer Wechselobjektive von Interesse.

Kühlmechanismen und Langlebigkeit am Beispiel einer Scanner- oder Matrix- IR-Kamera

Die heute angebotenen Geräte verfügen über unterschiedliche Kühlsysteme.
Welche Art der Kühlung verwendet werden soll, steht in einem engen Zusammenhang mit dem Temperaturbereich, der thermischen und geometrischen Auflösung. Dabei bietet die konventionelle Kühlmethode mit Flüssigstickstoff, wegen der tiefen Kühltemperatur von -196°C, immer noch die Vorteile einer hohen thermischen und geometrischen Auflösung. Temperaturmessungen ab -50°C und hohe Lebensdauer bei einem geringen Kostenaufwand für das Kühlmedium sind die Eigenschaften der LN2 Kühlung. Mit der thermoelektrischen Kühlung über ein mehrstufiges Peltierelement werden Kühltemperaturen von ca. - 63 °C gegen ca. 27°C Umgebungstemperatur erreicht - ca. 30°C pro Element. Da die Kühlleistung und -temperatur relativ niedrig ist, werden diese Kühler ausschließlich im kurzwelligen Bereich 3 µm bis 5 µm eingesetzt. Ein Nachteil der thermoelektrischen Kühlung im Gegensatz zu der Flüssigstickstoffkühlung ist die Abhängigkeit von der Umgebungstemperatur, d.h. ein elektronischer Regelkreis muss Schwankungen der Umgebungstemperatur permanent ausgleichen. Des Weiteren werden bei Systemen mit dieser Kühlungsmethode die Leistungen für den niedrigen Temperaturbereich, die thermische und geometrische Auflösung gegenüber den stickstoffgekühlten Systemen, nicht erreicht. Ein Vorteil der thermoelektrischen Kühlung stellt sicherlich die einfache Handhabung, die hohe Lebensdauer, die geringen Wartungskosten und die Möglichkeit des Dauerbetriebes dar. Nahezu die gleiche Leistungsmerkmale wie es die flüssigstickstoffgekühlten Systeme verleiht den Infrarotkameras eine sog. Stirlingkühlung. Ein miniaturisierte Pumpe nach dem Stirlingprinzip sorgt hierbei durch das komprimieren und expandieren von flüssigem Helium für die Erzeugung von Kälte. Dieser mechanische Vorgang unterliegt daher einem natürlichen Verschleiß. Eine Stirlingkühlung verfügt je nach Hersteller über eine individuelle sog. MTBF (mittlere Ausfallzeit). Diese kann je nach Bauart und Dynastie zwischen 4000h bis 10.000h liegen. Die Zusagen von Infrarotkamera-Herstellern liegen oftmals sehr weit auseinander, obwohl sie sich fast alle als OEM beim gleichen Stirlingkühler-Hersteller bedienen und diese nicht selbst produzieren. Stirlingkühler werden in scannenden gleichwohl wie in FPAs eingesetzt. Stirlinggekühlte Infrarotkameras werden durch eine sanfte Mikrophonie begleitet und bieten ausgezeichnetes Handling bei guten Leistungen. Kurze Abkühlzeiten und erhöhte Wartungskosten werden hierfür gerne in Kauf genommen. Die Stirlingkühlung eignet sich eher für sporadische Anwendungen mit höchsten Ansprüchen, weniger für einen permanenten Überwachungsbetrieb. Hierfür gibt es neuartige uFPAs im Industriedesign.

Einsatzfähigkeit und Schutznormen

Das Einsatzgebiet, die applikationsbedingten Betriebsbedingungen und die Einflüsse durch die Umgebung, sind bestimmende Faktoren für den Einsatz und die Ausrichtung einer Thermografieanlage. Besonders von den Betriebsbedingungen muss die erforderliche Schutzklasse abhängig gemacht werden. Man denke besonders an Schutzgehäuse bspw. in Feuerungsräumen (wassergekühlt mit Freiblaseinrichtung etc.). Für die tragbaren Varianten bietet sich, speziell für den Outdoor-Bereich, die Schutznorm IP54 an.

Vorhandene Schnittstellen und Datenspeichersysteme

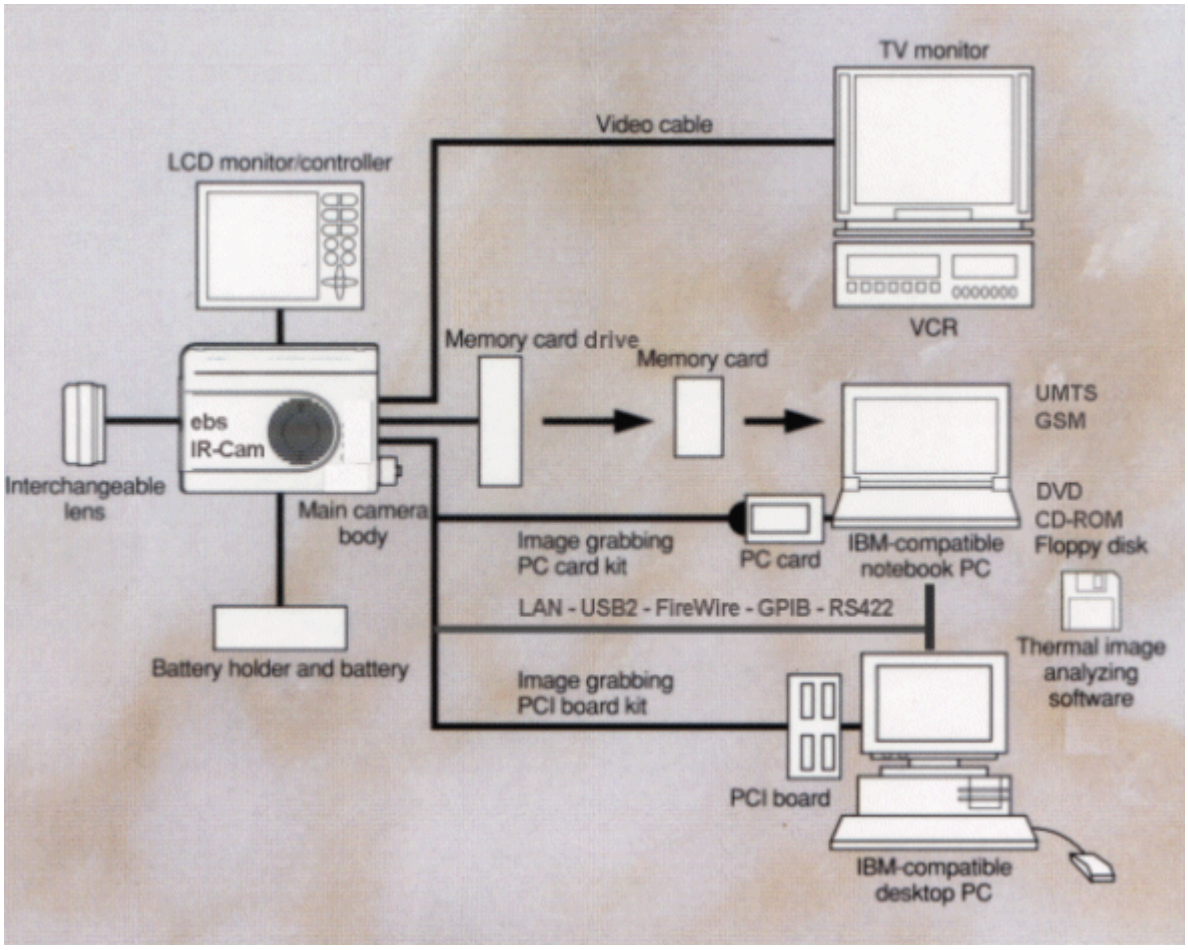


Bild 18 Schnittstellen für den Datentransfer Thermografie-System / Rechner

Ein großes Interesse dürfte der Anwender sicherlich an den verfügbaren Schnittstellen haben, da die aufgenommenen Thermogramme und Thermogrammsequenzen in irgend einer Form gespeichert und archiviert werden müssen, um sie bei Bedarf wieder zu sichten, bearbeiten oder zu reportieren. Auch in diesem Bereich macht die Digitaltechnik große Fortschritte. So kann im Gegensatz zu früheren Zeiten heute auf unterschiedliche Schnittstellen mit extrem hoher Datensicherheit bei großer Signaldynamik zurückgegriffen werden. Wie schon in der Vergangenheit können die Informationen auch heute noch über den herkömmlichen analogen Videoausgang dokumentiert werden. Mit dem Nachteil, dass durch die A/D-Wandlung Verluste in der Signaldynamik entstehen. Dies kann bei 6- oder 8 Bit digitalisierten Signalen, wenn der A/D-Wandler eine Genauigkeit von +/- 1/2 LSB und durch eine schlechte Bandqualität zu Signalverfälschungen führen. Um die große Datenflut schnell digital aufzuzeichnen, stehen heute mit u.a. GPIB-IEEE488, LAN, RS-232, USB2, RS-488 insbesondere aber FireWire IEEE1394 Schnittstellen zur Verfügung, die die Vorteile der schnellen Videoaufzeichnung, aber ohne die erwähnten Einbußen an Signaldynamik vereinen. Weitere Aufzeichnungsmöglichkeiten mit reduziertem Datendurchsatz existieren über den serienmäßigen FlashCard Drive. Außerdem sind zu den modernen schnell-abtastenden Systemen optionale interne Bildspeicher verfügbar. Desweiteren bieten LAN-gestützte Infrarotkamerasysteme völlig neue Perspektiven rund um das Intra- und Internet.

Bildauswertung, -dokumentation und -sicherung

Für eine rechnerunterstützte Erfassung und problembezogene Auswertung der Thermogramme auf einem PC sind die Möglichkeiten der Bildverarbeitung und die erforderliche Hardware ausschlaggebend und von grossem Interesse. Für eine quantitative sowie visuelle Thermogrammbeurteilung sollten "anwendernahe" und vielfältige Auswertefunktionen zur Verfügung stehen wie u.a.:

- Emissionswertkorrektur (pixelweise, temperaturabhängig u.v.m.)
- Temperaturprofil über beliebige Linien
- Histogramm-Darstellung für das Gesamtbild oder Teilbereiche
- Isothermen-Darstellung und Outline-Kennung
- Addition und Subtraktion von Thermogrammen
- Taupunktanalyse und medizinische Entscheidungsfilter
- Hot-/ Coldspot-Verfolgung mit Trace über n-Thermogramme
- Bildüberlappung und Konturbereichsmessungen
- statistische Berechnungen und Datenbank-Management
- örtliche Online-Auswertung mit X/T-Diagramm für mehrere Messpunkte
- örtliche Offline-Auswertung mit X/T-Diagramm
- Softwareschnittstellen z.B. ASCII, CSV, TIF, BMP, JPG, AVI, MPEG etc.
- Datenminimierung und Kompressionsverfahren
- Bildbeschriftung und Editierungsmöglichkeiten
- Konvertierung-, Transfer- und Reportingfunktionen

Moderne Notebooks erlauben bereits heute den uneingeschränkten digitalen Aufzeichnungskomfort mit allen erforderlichen Schnittstellen zum Thermografiesystem. Es lassen sich hierdurch sogar von unterwegs bereits Daten und Bildinformationen über das hauseigene Netz oder Internet zur Weiterverarbeitung versenden.

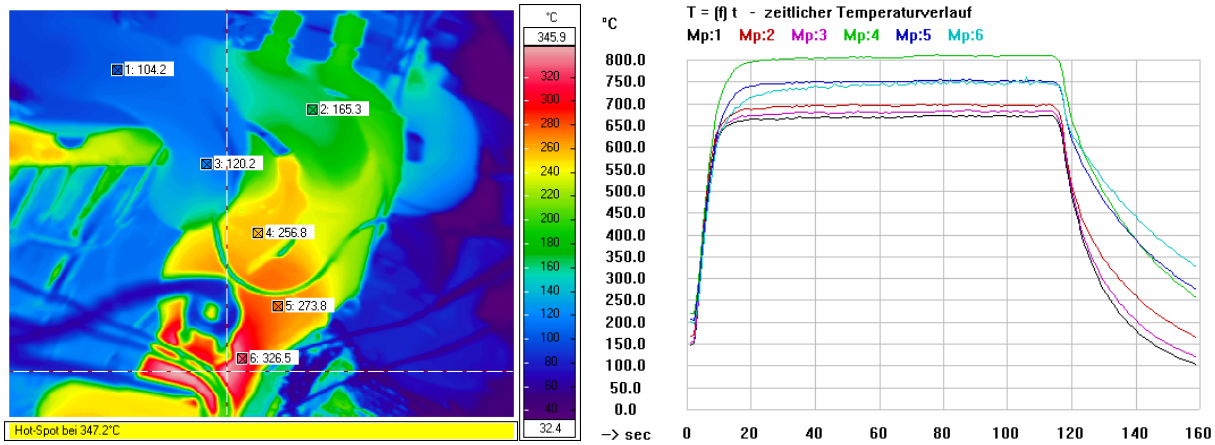


Bild 19 Thermogramm zu dem oben angegebenen Listing mit der Temperaturanzeige in Abhängigkeit der Zeit (bspw. 60 Bilder/sec)

Funktionsprinzip

Inhalt dieser Seite:

- Gerätecharakteristik zweier unterschiedlicher Thermografiesysteme
  - Geräte Kurzbeschreibung über typische Infrarot Scannerkamera TH 51'Serie
    - Thermo Tracer TH 5102
    - Thermo Tracer TH 5104R
  - Geräte Kurzbeschreibung über Infrarot uFPA Bolometer-Kamera TH/TS91/92‘Serie
    - Thermo Tracer TH9100 und TH9260
    - Thermo Tracer TS9100 und 9200
- Funktionsprinzip Infrarot Scannerkamera TH 51'series
- Funktionsprinzip Infrarot uFPA Bolometer-Kamera TH/TS71/73' und TH9100’ Serie
- PC-Software irMOTION
- Spezifikationen
  - Spezifikationen Thermo Tracer Serie TH51'series
  - Spezifikationen Thermo Tracer Serie TH71 und TH9100'Serie

Gerätecharakteristik

ebs ATuS GmbH vertreibt und wartet in Zentraleuropa die gesamte Produktpalette an Thermografie-systemen von NEC San-ei, Japan. Diese Produktpalette umfasst neben Standardgeräten auch Sondersysteme mit angepassten Temperaturbereichen, Wellenlängenempfindlichkeit, Schnittstellen-technologien und Integrationszubehör sowie Infrarotsoftware einschließlich SDKs.

Die Geräte folgen genau den Anforderungen, wie Sie aus der Industrie und den vielen anderen zivilen Anwendungsbereichen für Infrarotmesstechnik, wie sie täglich an uns herangetragen werden. Die Einsatzfähigkeit wird von der Applikation bestimmt und reicht von höchst präzisen, langsam abtastenden, echtzeitscannenden mobilen, bis hin zu chipgestützten Präzisionsinstrumenten mit unterschiedlichsten Bildspeicher- und Aufzeichnungsmethodiken.

Die gebotenen Infrarot- Kamerasysteme lassen dem Anwender die Wahl zwischen Bildfolgefrequenz, verschiedenen Wellenlängen, Kühlungsarten, Temperaturbereichen, geometrischer und thermischer Auflösung. Durch die unterschiedlichen Systemeigenschaften kann für spezielle Anwendungen und Probleme für die berührungslose Temperaturmessung, das jeweils geeignete System ausgewählt werden. Damit ist die optimale Problemlösung der Messaufgaben gewährleistet. Diverse Optionen wie externe PC-Software, digitaler Bildspeicher, Tele-, Weitwinkel- und Mikroobjektiv, Klimagehäuse, Freiblaseinrichtungen, Schnittstellen und Netzwerk- und Internetanbindungen usw., erweitern den Applikationsbereich der Thermografie beträchtlich.

Für die Steuerung, Messung, Aufzeichnung, Auswertung, Analytik, Dokumentation und Archivierung der Daten auf PCs oder Computersteuerungen bietet ebs ATuS GmbH die Bildverarbeitungssoftware irMOTION collection an. Für den Datentransfer zwischen Thermografiesystem und Computer steht eine Auswahl analoger und digitaler Schnittstellen zur Disposition.

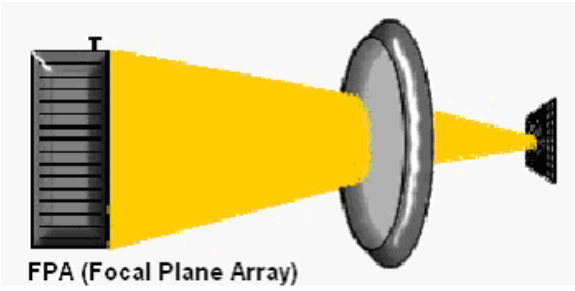
Geräte Kurzbeschreibung

Thermo Tracer Infrarot Scannerkamera TH 51'Serie

Herausragende Merkmale sind die hohe geometrische und thermische Auflösung des "scannenden" Infrarot Kamerasystems. Das große Blickfeld garantiert die hervorragende geometrische Auflösung von 1.5 mrad und eine maximale Pixelauflösung bei einem minimalen Fokussierabstand von 20cm. In Verbindung mit der hohen thermischen Auflösung von 0.03°C (-0.1°C) entsteht eine sehr kontrastreiche Bilddarstellung. Die unterschiedlichsten Farbkeile und umschaltbare Farbenanzahl (von 16 bis 256 und s/w neg/pos), trägt zu einem entsprechend kontraststarken Farbbild bei. Der Temperaturmessbereich erstreckt sich von -40°C (-20°C/ -10°C) bis 800°C bzw. 1500°C (Option). Durch die spektrale Empfindlichkeit von wahlweise 3µm - 5µm bzw. 8µm bis 13µm eignen sich beide Systeme besonders für Messungen von tieferen Temperaturen, aber genauso für den höheren Temperaturbereich. Das System verfügt standardmäßig über eine integrierte Bildverarbeitung wie z.B. Darstellung von Temperaturen in Abhängigkeit von einem individuellen Emissionsgrades der jeweiligen Objektoberfläche sowie Isothermen-, delta-Temperaturdarstellung, Mittelwertbildung und Histogramme etc.

Thermo Tracer Infrarot uFPA Bolometerkamera TH/TS'Serie

Durch die spektrale Empfindlichkeit von 8µm bis 13µm eignet sich dieses System für den gleichen Temperaturmessbereiche wie die der TH 51'series, mit dem Unterschied, dass das Einsatzgebiet dieser Systeme aufgrund der schnellen Bildfolge von 60 Bildern/sek. im Bereich dynamischer Temperaturvorgänge liegt. Hierzu gehören nicht nur die Applikationen aus Forschung und Entwicklung wie auch Prozesskontroll- Anwendungen sondern besonders auch Anwendungen auf dem Gebiet der vorbeugenden Instandhaltung, wo stets ohne Stativ und im "handgehaltenen" Zustand thermografiert wird. Die Bilddarstellung mit einem Öffnungswinkel von 29° x 22° garantiert eine geometrische Auflösung von 1.58mrad bei knapp 80.000 Bildpunkten. Diese wird durch 320 Bildpunkte/Zeile und 240 Zeilen realisiert. Die geometrische Auflösung in Verbindung mit der thermischen Auflösung von 0.08°C, bei unterschiedlichsten Farbkeildarstellung und umschaltbare Farbenanzahl (von 16 bis 256 und s/w neg/pos), sorgt für eine ebenfalls sehr kontrastreiche Bilddarstellung. Wie alle anderen Modelle verfügt auch der TH/TS 71/72 standardmäßig über ein integriertes Farb-LCD Okular, FlashCard drive und eine umfangreiche Bildverarbeitung. Die große Speichertiefe von 14/16Bit Bildern und diverse Schnittstellen wie u.a. FireWire (IEEE1394), HDCP, USB2, LAN, GPIB, IEEE488 Bildübertragungs-, Remote- und Triggerinterface für automatisierte Anwendungen komplettiert dieses Infrarot Kamerasystem.



Funktionsprinzip Thermo Tracer TH 51'Serie

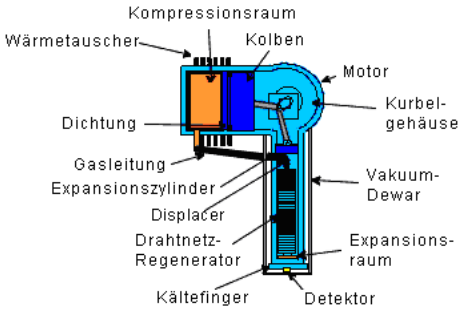
Die Thermografiegeräte bestehen aus den folgenden Komponenten:

1. scannende Infrarot Kameraeinheit (Standardausführung)
2. lösbarer LCD-Farbmonitor (Standardausführung)
3. Farbmonitor (Standardausführung)
4. Langzeit Akku Paket mit Netz- und Ladeteil (Standardausführung)
5. PC-Bildverarbeitungssoftware mit on-line Kabel und Interface (Option)

Scannende Kameraeinheit

Die Kameraeinheit misst eine im infraroten Bereich ausgestrahlte Energie eines Messobjekts über eine Optik in horizontaler und vertikaler Richtung. Durch ein Germaniumfenster, welches aufgrund seines Transmissionsverhaltens Einflüsse von sichtbarem Licht, Wasserdampf, Gasbanden usw. weitestgehend eliminiert, trifft die infrarote Strahlung auf zwei Schwingspiegel. Über diese Spiegel wird eine zweidimensionale Abtastung erreicht, wobei einer horizontal und der andere vertikal abtastet. Ein eingebautes Galvanometer sorgt für die variable optische Zoomfunktion in horizontaler und vertikaler Richtung. Über eine Fokussierlinse, einem optischen Chopper und einer weiteren Linse wird die Strahlung auf das Herzstück, einer infrarotempfindlichen MCT Detektorleiste (8 detector-element), geführt. Die Fokussierlinse in Verbindung mit der entsprechenden Elektronik garantiert eine "Autofocus"-Funktion, welche das Messobjekt in Abhängigkeit der Entfernung scharf und präzise sichtbar macht. Im offenen Zustand lässt der optische Chopper die Strahlung durch, während im geschlossenen Zustand eine Referenztemperatur von einer generierten Temperatur - über einen Halbleiter - und die Umgebungstemperatur gemessen wird, um diese entsprechend zu kompensieren. Bei dem Detektor handelt es sich um einen photoempfindlichen Quantendetektor, dessen Empfindlichkeitsmaximum abhängig vom System zwischen 3µm bis 5µm oder 8µm bis 13µm liegt. Zur Erhöhung der Detektivität werden die Detektoren entweder mit einem thermoelektrisch über ein mehrstufiges Peltierelement (ca. 224°K = ca. -66°C bei 27°C Umgebungstemperatur) bzw. einem "long-live" Stirling-cooler (-196°C) abgekühlt. Der Schärfebereich kann bei allen Systemen ohne separate Optik von 20cm bis unendlich eingestellt werden. Durch die gegebene Optik wird ein Weitwinkel erzielt, was je nach System eine unterschiedliche, jedoch gute geometrische Auflösung bedeutet. Der Detektor wandelt die Strahlung in ein elektrisches Signal um, das in einem Vorverstärker aufbereitet und in der Bildspeicherlogik weiterverarbeitet wird. Neben der analogen Signalaufbereitung des Sensorsignals sind die Digitalisierung und die Weiterverarbeitung die wichtigsten Funktionen des IR- Systems. Mikroprozessoren übernehmen sämtliche Aufgaben in dem Gerät, wobei die CPU1 für die komplette Steuerung der Kombieinheit, für die Bedienung, des GP-IB Interface und den compact Memory-Card-Drive zuständig ist. Für die gesamte Bildverarbeitung und Aufbereitung wird ein schneller Prozessor verwendet. Über den Vorverstärker - in der Kombieinheit - und Kabel wird das Signal zu einem Differenzverstärker geführt, welche die folgenden Operationen gewährleistet:

- Unterdrückung der Gleichtaktstörung
- Verstärkungseinstellung
- Änderung der Raumtemperatur korrigieren
- Emissionsfaktor korrigieren
- Einflüsse der Umgebung (Temperatur und Reflexionen) korrigieren



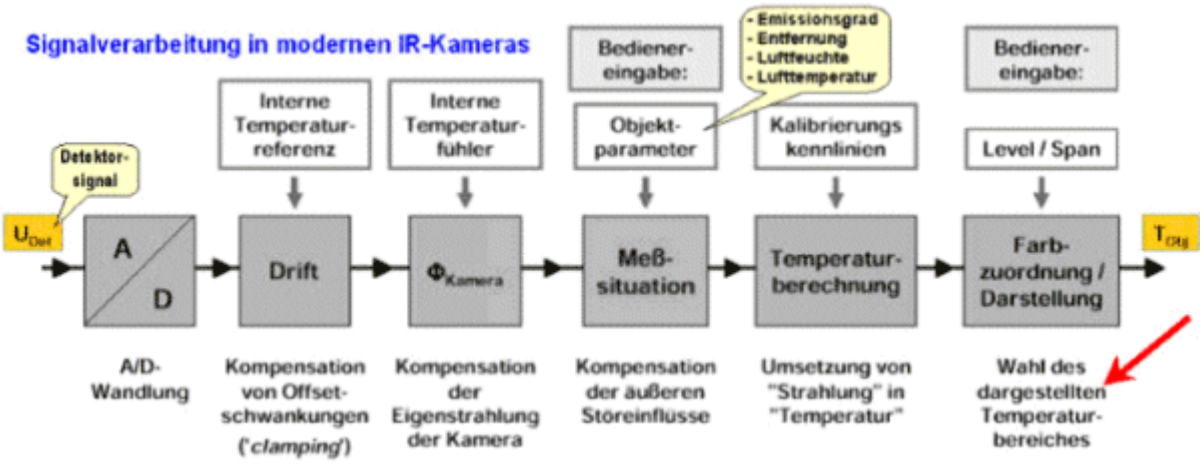
Die anschließende Linearisierung des Signals über den gesamten Messbereich in eine proportionale Temperatur wird auf dem analogen Eingangsboard über ein E-PROM vorgenommen. Digitalisiert wird das Signal über einen 8 Bit A/D-Wandler und von dort zeilenweise in einen Zwischenspeicher geschrieben. Über die CPU1 werden die Zeileninformationen des Zwischenspeichers in einen der acht 65 KByte großen Bildspeicher geschrieben. Die im Bildspeicher abgelegten Temperaturdaten werden über einen CRT-Controller - mit 25 Vollbilder (-3 Referenzbilder für Chopperroutine / 50 Hz PAL Halbbild Videooutput) - und den Zusatzinformationen wie z.B. Einstellungen usw. gemixt und wieder in ein analoges RGB-Videosignal zurückgewandelt und auf einem hochauflösenden Monitor dargestellt. Das RGB-Signal wird außerdem über einen Encoder in ein Video-Signal gewandelt.

Die vielen Möglichkeiten der im System standardmäßig integrierten Bildverarbeitung gestatten eine entsprechende Aufbereitung und Bearbeitung der Thermogramme, z.B.:

- delta-Temperaturmessung
- Darstellung von bis zu 4 Isothermen
- S/N-Verbesserung
- emissionsgradkorrigierte Temperatur
- min-max-ave Temperaturverteilung
- Cursortemperatur
- Punkttemperaturen
- 16 bis 256 Farben mit mehreren Farbkeiltypen
- Farb- oder Schwarz/Weiß-Darstellung
- Auto Sens und Level
- elektro-optischer Zoom
- interner Realtime Speicher
- Intervall Aufzeichnung

Die genannten Systeme verfügen dennoch über vorteilhafte Funktionen wie:

- optische Zoommöglichkeit für Aufnahmen kleiner Objekte bei voller geometrischer Auflösung durch Einflussnahme auf die Schwingamplitude der Scanningspiegel.
- hohe Stabilität bei Langzeitmessungen mit extrem genauer Wiederholgenauigkeit.
- Durch ihre hohe Temperaturempfindlichkeit lassen sich sog. Scanner IR-Kameras, besonders auf den Bereichen der Bauphysiologie, F&E, Leckageortung, Materialprüfung sowie anspruchsvollen Maintenanceaufgaben noch nicht ganz wegdenken.



Funktionsprinzip moderner NEC Thermo Tracer TH/TS91/92'Serie

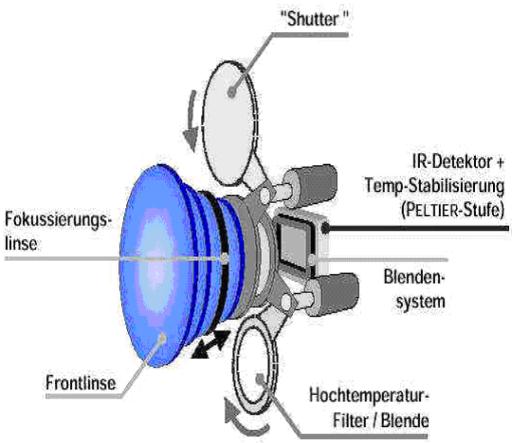
Ungekühlte FPA Bolometer Kameraeinheit

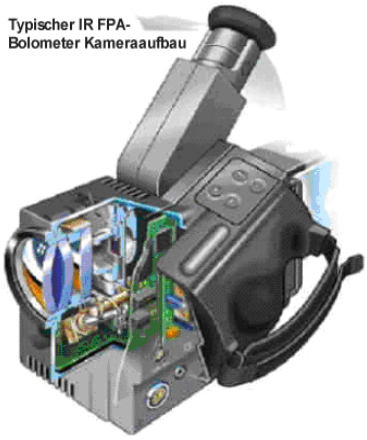
Der Sensor besteht nicht aus einem Singledetektor oder einer Detektorleiste sondern aus einem Chipsensor. Er ist ein ferroelektrisches Array mit X/Y 320 bzw. 640 x 240 bzw. 480 Pixeln aus Bariumstrontiumtitan (BST) bzw. Vanadium Oxid (Vox). Es wird für den Betrieb der Infrarotkamera keinerlei Kühlung mehr benötigt, anders ist jedoch der Aufbau des Chips und die Aufnahmetechnik. Unter Bias und nahe der Curie-Temperatur ändert sich eine elektrische Ladung an dem BST-Kondensator mit hoher Empfindlichkeit in Abhängigkeit von der Temperatur. Die Pixel des ferroelektrischen Arrays sind deshalb thermisch voneinander isoliert. Das Bild wird nicht wird ähnlich wie bei einer CCD Kamera generiert, das Photonenwanderungsprinzip gibt es jedoch nicht in dieser Form. Auch ein vorgesetzter Scanner, wie bei den mechanischen Infrarotkameras ist wegen dem Flächensensors nicht mehr erforderlich. Die Temperaturreferenzierung erfolgt auch nicht über einen on-line mitgeführten Schwarzkörper-Chopper, sondern durch den sog. NUC- Vorgang, der zeitweilig immer wieder die etwaigen Driften der Ambient- und Betriebstemperaturen kompensiert. Hierbei wird inzwischen ein beachtliches temperaturbezogenes Langzeitstabilitätsverhalten erreicht, das sich mit scannenden Infrarot Kamerasystemen messen kann. Die Performance hinsichtlich Funktionalität und Softwarefeatures der Kamera, wird auch fortgeschrittenen Ansprüchen in der Thermografie gerecht.

Wichtig:

Auf Grund der fehlenden Kühlung lassen sich diese ausschließlich langwellig angesiedelten (Spektralbereich 8µm - 12µm) Infrarot uFPAs für Langzeitbeobachtungen exzellent einsetzen. Dadurch werden erstmalig kostenreduzierte Lösungen im F&E Bereich, Verkehrsmanagement und Prozesskontrolle sowie Qualitätsprüfwesen möglich. Die Maintenancefreundlichkeit, Ausfallsicherheit und Langlebigkeit sprechen für diese Systemgruppen.

Das geringe Kameragewicht, die fortschreitend verbesserte Bildqualität und das gesteigerte Stabilitätsverhalten lassen Infrarot uFPA Bolometerkameras fortwährend dominanter auf dem Infrarotmarkt werden. Besonders auf dem Felde der präventiven Instandhaltung und der prozessorientierten Anwendungen findet man die häufigsten Anwendungen. Zu diesem Zwecke werden uFPAs grundsätzlich als kommerzielle sog. umgangserprobte HandyCams angeboten und als industietaugliche Ein- bzw. Anbaukomponenten mit Schutzgehäusen die auch den gröbsten Betriebsbedingungen gerecht werden.





PC-SOFTWARE IrMOTION

Speziell für quantitative Thermografie-Systeme wurde die anspruchsvolle Bildverarbeitungssoftware IrMOTION entwickelt, die auch mit allen bisherigen NEC Systemen rückkompatibel ist. Diese dient für die rechnerunterstützte Erfassung und problembezogene Auswertung der Thermogramme auf PCs. Damit ist der Anwender in der Lage, die Bilder auf dem Rechner zu archivieren und unabhängig vom Thermografie-System auszuwerten. Die Bilddaten und Systemsteuerung von Thermografie-System zu PC erfolgt off-line über den individuellen Datenträger bzw. On-line über das digitale Interface, über das jedes NEC Thermografiekamerasystem verfügt. Wie in der modernen Einzel- und Videoszenen- Bearbeitung lassen sich Bilddaten und Bildsequenzen mühelos und auf komfortable Weise bearbeiten, auswerten, korrigieren, dokumentieren und wahlweise komprimiert archivieren. Die Für die quantitative sowie visuelle Thermogrammbeurteilung stehen eine Reihe von Funktionen aus der Bildverarbeitung zur Auswahl:

- pixelweise Emissionswertkorrektur
- flächenweise Emissionswertkorrektur
- punktweise Emissionswertkorrektur
- flächenweise Temperaturkorrektur auch als f (T)
- Temperaturprofil über beliebige Linien
- Histogrammdarstellung für das Gesamtbild oder Teilbereiche
- Isothermen Darstellung
- Addition und Subtraktion von Thermogrammen
- Bildüberlappung
- statistische Berechnungen
- punktuelle und flächige Online-Auswertung mit X/T-Diagramm
- Temperaturmessungen für nahezu beliebig viele Messpunkte oder Messgeometrien
- Softwareschnittstellen z.B. ASCII, TIF, JPEG, PCX, BMP etc.
- Datenkomprimierung
- Bildbeschriftung und Dokumentation
- schnelle Reportierung unter MS-Windows und HTML

Eines der vielen Vorteile von IrMOTION sind die integrierten Softwareschnittstellen, die einen Datenaustausch auch mit anderen Kalkulations- oder Textverarbeitungsprogrammen gewährleisten. So werden die Thermogramme und Messtemperaturen in Publishing-Formaten oder im ASCII-Format abgelegt. Des Weiteren können mit IrMOTION alle die im Kapitel "Emissionswertkorrektur und Bestimmung über Software" beschriebenen Emissionswertkorrekturen durchgeführt werden. Das Programm selbst ist menügeführt und neben einfachem Handling, für automatische Abläufe gerüstet. Ein Macro-Recorder, basierend auf einem teach-in Verfahren, unterstützt Ihre Wünsche nach einem vollautomatisierten, getriggerten Auswerteprozess u.v.m.

Dokumentiert wird wahlweise in der Microsoft Applikationsumgebung wie MS WORD MS EXCELL etc. durch einfachste Übertragungswerkzeuge. Dies hat den unstreitigen Vorteil, dass Anwender nicht stets umlernen und ihre gewöhnte Umgebung verlassen müssen. Des Weiteren sind unter MS Office bspw. alle wichtigen Dokumenten-, Graphikediting- und Tabellenkalkulationsfunktionen vorhanden, welche selbstverständlich vom jeweiligen Hersteller stets kostengünstig gepflegt und weiterentwickelt werden.

Die weitere Alternative automatische Protokollierungen und Messdokumentationen durchzuführen ergibt sich aus dem in IrMOTION verfügbaren HTML- Reporting Kit. Diese Einzelthermogramm- und Serienauswertungs Routinen basieren auf Hypertext-Generierung. Die Reportkompatibilität zu bspw. Windows Internet Explorer oder Netscape etc. bieten dem Anwender grenzenlose Freiheiten seine Dokumentation zu Publishen, zu Drucken, elektronisch zu Versenden oder zu Hosten ist eines von neuen Möglichkeiten auf modernste Weise für sich und für seine Dienstleistungskunden Messungen zu dokumentieren, und das mit weltweit verfügbaren Software-Instrumentarien, endlich losgelöst von der Abhängigkeit von individuellen Infrarotkamera Herstellern.

Spezifikationen Thermo Tracer TH 51'series (Scanner-Technologie)

	TH5102	TH5104R
Temperaturmessbereich	Range1: -20°C bis 200°C Range2: 0°C bis 800°C	Range1: -10°C bis 200°C Range2: 0°C bis 800°C und optional 150°C bis 1500°C
Temperaturauflösung	Normal mode: 0.03°C (at 30°C) Fast mode: 0.1°C (at 30°C)	Normal mode: 0.1°C (at 30°C) Fast mode: 0.3°C (at 30°C)
Messgenauigkeit	± 0.5%range (RFS)	± 0.1%range (RFS)
Spectraler Arbeitsbereich	8 to 12µm	3 to 5.3µm
Detector	HgCdTe (stirling-gekühlter Typ)	HgCdTe (thermoelektrisch-gekühlter Typ)
Öffnungswinkel	Horizontal 21.5° x Vertical 21.5°	
Winkelauflösung (IFOV)	1.5mrad	2.2mrad
Pixelauflösung	255(H) x 223(V)	
Fokussierabstand	30cm bis unendlich	
Bildrate	Hochaufgelöster Normal Mode (0.65sec) Echtzeit Fast Mode1 (1/22sec) Echtzeit Fast Mode2 (1/22sec)	
Optischer Zoom	x2 bei Normal Mode	
Echtzeitspeicher	64 Vollbilder	
Intervall Messung	0-60 min	
Emissionswertkorrektur	1.00 to 0.10 (0.01steps)	
Ambientkorrektur	serienmäßig	
A/D Auflösung	12bit	
Einsatztemperatur	-10 bis 40°C	
Display	Flexibles 5" Farb-LCD,	
Schnittstellen	1) PCMCIA I/F (Type I.II) 2) LCD Anschluss I/F (RGB output) 3) VIDEO Ausgang NTSC/PAL 4) GB-IB I/F	
Netzteil	AC Netzteil für 100 to 240V AC, Akku DC 12V	
Stromaufnahme	ca. 24W	ca. 20W
Baumaße	ca. 198B x 98H x 235L mm	ca. 198B x 93H x 210L mm
Gewicht	ca. 3.8kg ohne Akku Pack	ca. 2.5kg ohne Akku Pack
Standard Lieferumfang	Memory FlashCard, Akku Pack, Akku Ladeteil, AC Netzteil, Tragegurt, Schutzkappe, Bedienerhandbuch	

Spezifikationen Thermo Tracer TH 71/ 91'serie (Mikrobolometer-Technologie)

	TH9100MR/MR	TH9260
Messtemperatur Range	Range 1: -40 bis 100°C Range 2: 0 bis 250°C Range Erweiterung Range 3: 100 bis 800°C Range 4: 200 bis 2000°C	Range 1: -20 bis 60°C Range 2: -40 bis 120°C Range 3: 0 bis 500°C Range Erweiterung Range 4: 200 bis 2000°C
Auflösung	0,02°C S/N bzw. 0.06°C bei 30°C a. A.	
Genauigkeit	± 2°C, ± 2% of reading	
Arbeitsbereich	8 bis 14 µm	
Detektor	uncooled Focal Plane Array (Mikrobolometer)	
Öffnungswinkel	22° (H) x 17° (V)	
Winkelauflösung F.O.V.	1.58 mrad	
Fokussierbereich	30cm bis unendlich	
Bildrate	1/7.5 sec, 1/30 sec, 1/60 sec	
Pixelauflösung	320 (H) x 240 (V) bzw. 640 (H) x 480 (V)	
Digitalisierung	16 bit Bildformat	
Ambientkorrektur	serienmäßig (einschl. Intervall NUC)	
Emissionswertkorrektur	1.00 to 0.10 (0.01 step)	
Display	Flexibles Farb LCD Display mit Fernsteuerung	
Automatikfunktionen	•Vollautomatik (Level/ Sensitivität/ Fokus) •Auto Fokus •Auto Level •Auto Sensitivität	
Display Funktionen	•Live/Einfrieren/Speichern •Farbe/Monochrome (pos/neg) •16, 32, 64, 128, 256 Gradierung •Regenbogen-/ Spatial-/ Glühfarben-/ Medical-Farbkeile •Isothermische Darstellung mit bis zu 4 Verläufen	
Arbeitsfunktionen	•Multi-Punkt Temperaturmessung •Multi-Punkt Emissionswertkorrektur •Delta Temp. Display •Max/Min Temperaturverfolgung (im Vollbild oder Areal) •Max/Min Temperatur Hold-Funktion (im Vollbild oder Areal) •Temperatur-Alarm (im Vollbild oder Areal) •Areal Bestimmung (bis zu 4 Flächen) •Spatial-Filter •Vollautomatische Optimal-Anzeige für Farbkeil (frei definierbar oder fixiert) •Auto Gain Kontrolle (AGC) oder Auto Level (LVT) •Texteingabeeditor •Multifocussing (Tiefenschärfen Erweiterungsfunktion) •Fusion IR&Visible (Mischbildeinrichtung)	
Sprachaufzeichnung	30 sec. pro Bild (kein Headset, da interner IP54-Mikrofon/Lautsprecher)	
Digital Zoom	x2 und x4	
Video Ausgang	NTSC/PAL Video Signal, S-video Signal	

Interface	IEEE 1394 *FireWire*, USB2, LAN, RS-232C
Datenspeicher	Compact FlashCard (SIT, BMP, JPG* Formate)
Betriebstemperaturen & Feuchtigkeit	-15 bis 50°C, 90% RH oder weniger (kein Kondensat)
Lagerungstemperaturen & Feuchtigkeit	-40 bis 70°C, 90% RH oder weniger (kein Kondensat)
Netzteil	AC Netzteil: 100V to 240V DC Spannung: 7.2V (Nominal)
Stromaufnahme	ca. 7W , max. 16W
Akku	Li-ion Akku 180 min.
Schutznorm	IP-54 (staub- und spritzwassergeschützt)
Schock- & Vibration- Widerstandsfähigkeit	Schock: 30G, Vibration 3G (IEC68-2-29)
Baumaße	ca. 97 (B) x 110 (H) x 169 (L) mm (inklusive Protektoren)
Gewicht	ca. 1.6kg (1,7kg*) ohne Akku, Akku 90g
Standard Lieferumfang	Handschlaufe, Schultergurt, Akku, Akku Ladegerät, Compact FlashCard, AC Netzteil, Objektiv und Okular Schutzkappe, Schutzprotektoren, Bediener Handbuch
Integrierte digital CCD-Video-Farbkamera (nur beim Typ: TH7102/ 91 MV/WV*)	
Detektor	0.41M pixels
Pixelauflösung	768 (H) x 494 (V) pixels bzw. 1,3 Mega Pixel
Öffnungswinkel	34.6° (H) x 25.9° (V) bzw. angepasst
Lichtempfindlichkeit	1 lux (kein Blitz erforderlich)
Fokussierbereich	30 cm bis unendlich ohne Vignitierung bei Tele
Belichtung und Fokus	Automatik
Video Ausgang	PAL/NTSC umschaltbar

Einsatzgebiete

Inhalt dieser Seite:

- Einsatzgebiete
  - Elektronikindustrie
  - Automobilindustrie
  - Chemie
  - Metallindustrie
  - Sonstiges

Einsatzgebiete

Die Einsatzgebiete der Thermografie sind heute sehr vielseitig und überwiegend im zivilen industriellen Bereich zu finden.

Einsatzgebiete sind:

- Anlagenüberwachung zur Fehlerfrüherkennung und Energieeinsparung
- Entwicklung und Forschung zur frühzeitigen Fehlererkennung
- Qualitätssicherung
- Produktionskontrolle und Produktionssteuerung

Elektronikindustrie

Einsatzgebiet	Anwendung
Elektronikindustrie	Funktionsprüfung und thermische Verteilung, Belastbarkeitsprüfung, Früherkennung von erhöhten oder abnormalen Temperaturen in der Forschung, Entwicklung und Qualitätssicherung, Fertigung und Produktion von z.B.:
Hierzu zählen u.a. Hersteller von: • Haushaltsgeräten • Computer • Elektronischen Geräten • Halbleitern • Lampen • Maschinen	• Trafowicklungen, Generatoren, Motoren • Motorengetriebe, Motorenlager und Gehäuse • Halbleitern, IC's und Kühlkörpern • Netzteile und elektronische Baugruppen • Kühlgebläse und Klimaanlagen • Gefrierschränke, Kühltruhen • Mikrowellenherde, Elektroherde und Backöfen • Schaltanlagen, Starkstromanlagen und Hochspannungsanlagen • Lötbädertemperaturen • Siliziumwafer

Automobilindustrie

Einsatzgebiet	Anwendung
Automobilindustrie	Funktionsprüfung und thermische Verteilung, Belastbarkeitsprüfung, Früherkennung von erhöhten oder abnormalen Temperaturen in der Forschung, Entwicklung und Qualitätssicherung, Fertigung und Produktion von z.B.:
Hierzu zählen u.a. Hersteller von: • Autos & Nutzfahrzeuge • Zulieferindustrie • Katalysatoren & Abgassysteme • Klimaanlagen • Motoren & Antriebe • Bremsanlagen	• Bremsen und Verstärker • Katalysatoren • Kühler • Motoren • Klimaanlagen • Gebläse, Defroster und Heckscheibenheizung • Stossdämpfer • Autoreifen und Felgen • beheizte Sitze • beheizte Sprühdüsen

Chemie

Einsatzgebiet	Anwendung
Chemie	Thermische Verteilung, Qualitätssicherung, Wartung und Früherkennung von erhöhten oder abnormalen Temperaturen in der Forschung, Entwicklung und Qualitätssicherung, Fertigung und Produktion von z.B. :
	• Düsen für Produktionsmaschinen • Plastikfolien • Isolationsmaterialien • Raffinerieöfen

Metallindustrie

Einsatzgebiet	Anwendung
Metallindustrie	Funktionsprüfung und thermische Verteilung, Belastbarkeitsprüfung, Früherkennung von erhöhten oder abnormalen Temperaturen und Materialfehlern in der Forschung, Entwicklung und Qualitätssicherung, Fertigung und Produktion von z.B. :
	• Druckmaschinen • Lager und Getriebe • Fräsmaschinen und Fräsköpfe • Schweißautomaten • Guss- und Schmiedetechnik • Schmelzöfen • Material- oder Ermüdungsfehler in Hubschrauberrotoren, Turbinen • Prüfung von Schweißnähten • Walzen und Rotationsmaschinen

Sonstige Einsatzgebiete

Einsatzgebiet	Anwendung
Sonstiges	Funktionsprüfung und thermische Verteilung, Belastbarkeitsprüfung, Früherkennung von erhöhten oder abnormalen Temperaturen und Materialfehlern in der Forschung, Entwicklung und Qualitätssicherung, Fertigung und Produktion von z.B.:
	• Brenner, Öfen und Heizungen • Pflanzen, Blättern und Bäumen • Verunreinigungen von Gewässern • Strömungen in Seen, Flüssen und Gewässern • Geschwindigkeitsmessung • Justierung von IR-Laser • Gewebeuntersuchung von Textilien • usw.

Die Infrarottechnik bietet sicher noch weitere interessante Ansatzpunkte für industrielle Anwendungen. Weitere große Anwendungs- und Einsatzgebiete befinden sich in der Medizin, im Bausektor und militärischen Bereich, auf die hier nicht näher eingegangen wird.

Applikationen

Inhalt dieser Seite:

Thermografie in Praxis

Infrarotthermografie nutzt die von einem Körper emittierte Strahlung im Wellenlängenbereich des Infraroten. Die von einem entsprechenden Detektor aufgenommene Strahlung wird in Spannungssignale umgewandelt. Sie kann somit zur Temperaturbestimmung bzw. zur Charakterisierung Beurteilung von Oberflächen und auch transienten Objekten dienen. Infrarotthermografie ist somit nicht zerstörend, nicht, in Prozesse eingreifend und außerdem örtlich und zeitlich hoch auflösend. Basierend auf der Technik von Pyrometern können durch schnelle horizontale und vertikale Ablenkeinrichtungen komplette Wärmebilder auch von kompliziert zu erreichenden Oberflächen (z.B. bei sehr hohen Temperaturen, unter Spannung stehenden Geräten, Objekten, umgeben von gefährlichen Gasen) aufgenommen werden. Die modernen Anwendungsgebiete gehen inzwischen weit über die bisher bekannten, wie z.B. bei Häusern zur Erkennung von Wärmeverlusten, hinaus. Thermografiegeräte dienen heute zu:

Prozessüberwachung, Qualitätskontrolle, Verfahrensbeurteilung, Instandhaltung, On-Line Steuerungs- und Regelungstechnik, thermische Designprüfung, Lokalisierung von Anomalien etc.

Physikalische Vorgänge, die mit bloßem Auge nicht erkannt werden, können sichtbar gemacht werden. Temperaturverteilungen sind sowohl bei niedrigen als auch bei sehr hohen Temperaturwerten (bis 3500 Kelvin) erfassbar. Der modulare Aufbau ermöglicht hier mit umfangreicher Datenverarbeitung und Datenerfassung, die für unterschiedliche Anwendungen optimale Zusammenstellung. Ideale Einsatzmöglichkeiten ergeben sich unter anderem in:

- Elektronik
- Vorbeugende Instandhaltung
- Glasindustrie
- Kunststofftechnik
- Stahlindustrie,
- Automobilindustrie
- Werkstoffprüfung, -kunde
- Bauphysik und Leckageortung
- Medizin
- Energieversorgung
- Verfahrenstechnik

Ofen- und Kaminanlagen

Bei der in der Prozesswärmeerzeugung eingesetzten Ofenanlagen ist die Beurteilung des Zustandes der Ausmauerung sehr wichtig. Es gibt eindeutige Zusammenhänge zwischen der Temperaturverteilung des Mauerwerkes und deren Zustand. Heiße Stellen lassen auf verstärkten Verschleiß schließen. Die frühzeitige Erkennung derartiger Stellen ist durch den Einsatz von Thermografiesystemen unproblematisch und es können Maßnahmen zur Eindämmung der Schadensprogression ergriffen werden. Schadensverdächtige Heißstellen werden qualitativ in die Planung von Material? und Instandhaltungskapazitäten einbezogen. So werden Schäden wirtschaftlich behoben. Darüber hinaus ist eine differenzierte Ausschöpfung der Restlebensdauer der Anlage möglich. Bei Kaminen werden Untersuchungen mit Thermografie zum Nachweis von Ablagerungen angestellt. Abbildung 6 zeigt einen Industrieschornstein mit starken Ablagerungen im unteren Bereich, die durch ihre zusätzliche Isolierwirkung die Außentemperatur herabsetzen. Die angestellten Untersuchungen dienen zum einem als Hinweis auf mögliche strömungstechnische, verfahrenstechnische Probleme, zum anderen als Grundlage für die Planung der Beseitigung derartiger Ablagerungen, also zur präventiven Instandhaltung.

Glasherstellung

Bei der optimierten Herstellung von Front- und Heckscheiben für den Einbau in Automobilen sind Aufheiz- und Abkühlvorgänge der Scheiben durchzuführen. Bei diesen Vorgängen sind bestimmte Temperaturverteilungsmuster auf der Scheibenfläche zu erreichen. Nur so könne Formgebung und Abkühlung optimal stattfinden.

Der Einsatz von Thermografiesystemen liefert Aufschluss über die Temperaturverteilung auf der Glasscheibe. Somit können geringste Änderungen der thermischen Verhältnisse festgestellt und berücksichtigt werden.

Bei einer beheizten Heckscheibe werden Thermografiesysteme eingesetzt, um zu überprüfen, ob die Heizdrähte die Wärme gleichmäßig über die ganze Scheibe verteilen. Unterbrochene Heizdrähte werden damit aufgespürt.

Neben der Qualitätssicherung wird Wärmestrommessung auch bei der Herstellung von Glas, d.h. in Schmelzöfen und beim Walzen, eingesetzt.

Automobilindustrie

Thermografie-Systeme werden bei Automobilherstellern dazu eingesetzt, um die Enteisung von Windschutzscheiben zu beobachten. Mit den gewonnenen Erkenntnissen können die Heizungsdüsen so eingestellt werden, dass maximal wirksame Enteisung bei minimalen Energieaufwand und geringster thermischer Belastung gewährleistet ist. Der Einsatz von Thermografie wird Thermoelementen vorgezogen, da diese den Wärmefluss verfälschen und nur ein bruchstückhaftes Bild der Temperaturverteilung liefern.

Automobilbauer müssen auch zunehmend auf Wärmestrahlung vom Motor bei der Motorraumgestaltung Rücksicht nehmen. Durch die zunehmende Umstellung von Heck- auf Front- oder Allradantrieb, durch immer leistungsstärkere Motoren , wegen des Einsatzes von Zusatzaggregaten wie Klimaanlagen und durch die Forderung nach aerodynamischen Karosserieformen ist es nötig, eine kompakte Motorraumgestaltung zu gewährleisten.

Um dabei das Problem der Wärmeübertragung und den Wärmefluss bewältigen zu können, wurde eine Methode entwickelt, die Beobachtung des Wärmeflusses im Motorraum ermöglicht. Temperaturverteilung und Luftbewegung geben dabei Aufschluss über den Wärmetransport. Man stelle sich ein Testaufbau im Windkanal vor. Dabei ist ein transparentes und IR- durchlässiges Fenster in die Motorhaube eingebracht. Darüber befinden sich parallel ein Thermografiesystem und eine Videokamera. Das Thermografie-system liefert die Temperaturverteilung im Motorraum. In den Luftstrom der in den Motorbereich eindringt wird Stickstoffnebel eingebracht, so dass mit Hilfe de~ Videokamera die Luftbewegung sichtbar gemacht wird. Die Ergebnisse, in Form von visuellen und thermographischen Videoaufzeichnungen, geben Aufschluss über den Wärmefluss im Motorraum.

Die gewonnenen Daten dienen als Hilfsmittel zur Vermeidung und Beseitigung von thermischer Oberbeanspruchung von Teilen in der Nachbarschaft zum Motor. Die Beobachtung des Wärmeflusses von Abgasturboladern, liefert Erkenntnisse über Verbrennung, Abstrahlung und Wärmeabgabe an andere Teile im Motor. Eine gesamtthermographische Beobachtung liefert ein integrales Bild über Temperatur- und Wärmeflussverteilung insbesondere bei heckangetriebenen Fahrzeugen. Die Erwärmung von "Anbauteilen" kann ebenfalls interessante Aufschlüsse über Konstruktionen geben.

Temperaturmessung in Gasen

Bei der Abbildung von Gasen herrschen andere Bedingungen als bei Festkörpern. Atmosphärische Gase sind zum Beispiel selektive Strahler. d.h. der Emissionsfaktor ist von der Wellenlänge abhängig, so dass im Empfindlichkeitsbereich des Detektors unter Umständen keine IR- Strahlung emittiert wird.

Wegen der IR- Durchlässigkeit vieler Gase wird bei Flammen unter Umständen die Strahlung des gesamten heißen Gasvolumens plus der Hintergrundstrahlung gemessen. Dadurch besteht kein definierter Zusammenhang zwischen Abstrahlung und Temperatur. Gase besitzen keine definierte räumliche Begrenzung oder Oberfläche, deshalb kann man nicht auf eine bestimmte Entfernung fokussieren . Um trotzdem Aussagen über die Temperaturverteilung in Flammen machen zu können, bringt man eine Referenzoberfläche ein, an der die Temperatur gemessen werden kann. Dabei ist zu beobachten, dass die Strömung in der Flamme möglichst wenig gestört wird. Ferner sollen Wärmkapazität und Wärmeleitfähigkeit des Körpers die Messung möglichst wenig beeinflussen. Aus diesem Grund nimmt man vorzugsweise dünne Wolframdrähte

Bei einer Butangasflamme bspw. Gilt es den Abstand zu finden, in dem die Flammenfront eine homogene Temperaturverteilung aufweist. Im einem Messaufbau wird ein Wolframdraht (Durchmesser 0,2mm) in die Flammenfront gestellt, und millimeterleise verschoben, und die Temperatur mit einem Thermografiesystem aufgenommen. Anschließend werden softwaremäßig die einzelnen Bildausschnitte in definierter Position zusammengestellt. Es wird somit gut erkennbar, dass im Bereich der weiteren Ausschnitte die Flammenfronttemperatur einheitlich bleibt oder nicht.

Gasbrenner

Bei der Optimierung von Großgasbrenner verfolgt man mehrere Ziele. So möchte man erreichen, dass die in Flammennähe befindlichen Teile möglichst niedrigen Temperaturen ausgesetzt sind , um zum einen eine geringe thermische Belastung des Materials zu haben, zum anderen, um die Energieverluste durch Abstrahlung gering zu halten.

Des Weiteren möchte man die Flammenfront in einen Bereich bringen, in dem sie die Umhüllung möglichst wenig zu Schwingungen anregt. Thermografie ist ein nützliches Mittel zur Beobachtung der thermischen Abstrahlung und deren Geringhaltung. Aus der Temperaturverteilung auf der Außenhaut eines Brenners lässt sich auf die Lage der Flammenfront schließen. Somit ist Thermografie ein Werkzeug zum Optimieren der Flammenfrontposition für Großgasbrenner in Betrieb.

Metall- Aluminiumerzeugung, Produktüberwachung

Bei Kokillen entstehen durch das Abgießen des Rohblocks schockartig thermische Ausdehnungen. Diese führen zu Deformationen, die die Ausmauerung in Mitleidenschaft ziehen. Durch diese Belastung sind die Anzahl der erreichbaren Abgüsse und somit die Lebensdauer der Kokille begrenzt. Durch den Einsatz von Thermografiesystemen ist es möglich, genauen Aufschluss über die entstehende thermische Belastung und deren Verlauf sowohl in Gusskokillen als auch in den Gussteilen selbst zu erhalten. Durch Auswertung der gewonnenen Thermogramme und mit zusätzlichen Rechenmodellen wird es ermöglicht, verbesserte Kokillen bzw. Gießformen zu konstruieren, die in der Lebensdauer ihren Vorgängern überlegen sind. Dies zieht erhebliche Kosteneinsparungen nach sich.

Esergeben sich definitive Messmöglichkeiten von bspw. Alu- Brammen bei steigendem Guss in ihrem Abkühlverhalten. Das Erstarrungs- und Abkühlverhalten beeinflusst extrem das Endprodukt in seiner Qualität. Das gleiche gilt auch für Lunkerbildung und Oberflächenqualität von Armaturen aus Kupfer, Messing oder Zink.

Sichtbarmachung von Strömung in Rohrsystemen

Thermische und strömungstechnische Prozesse stehen häufig in direktem Zusammenhang. Wie oben erläutert ist es möglich, mit Thermografiesystemen Konvektionsströmung an Häuserfassaden z.B. für die Detektion von Feuchte nachzuweisen. Mit Hilfe von Thermografie ist es auch möglich, Strömungseffekte bei der Filmverdampfung aufzuzeigen. Bei der Strömung heißer Medien in Rohrsystemen lassen sich Verstopfungen, Undichtheiten und quantitative Geschwindigkeitsunterschiede aufzeigen. Bspw. zeigt ein Heizkörper, bei dem der bevorzugte Strömungsweg an der Zone erhöhter Temperatur erkennbar ist. Ähnliche Untersuchungen sind an Kühlem von Kraftfahrzeugen und allgemein bei Rohrsystemen, z.B. Fernwärmenetzen, möglich.

Auffinden von unterirdischen Hohlräumen und Leckagen

Bei der Neubebauung von verfallenen Industriegeländen ergibt sich häufig die Frage nach gefährlichen Altlasten, wie verschüttete oder unterirdische Tanks mit gefährlichen Stoffen. Vor Baubeginn sind derartige Gefahrenquellen unbedingt zu beseitigen.

Spezialfirmen nutzen Thermografiesysteme, die in Helikopter montiert sind, um Aufschluss über mögliche Gefahrenherde zu geben.

Die Arbeitsweise ist wie folgt: Das zu untersuchende Gelände heizt sich tagsüber durch Sonneneinstrahlung gleichmäßig auf. Befinden sich keine Hohlräume unter der Erde, so kann viel Wärme aufgenommen werden. Ist ein Hohlraum unter der Oberfläche, so ist die Kapazität, Wärme aufzunehmen, geringer. Nachts gibt der Boden die Wärme an die Atmosphäre ab. Wo sich Höhlen, Spalten oder Behälter befinden, wird schneller ein Temperaturausgleich der Oberfläche mit der Atmosphäre erreicht als in anderen Gebieten. Es entsteht ein kalter Fleck.

In Thermogrammen die nachts angefertigt werden, geben kühle Gebiete Aufschluss über das mögliche Vorhandensein von Hohlräumen in Form von Tanks oder ähnlichen Einschlüssen.

Auch bei Ausgasung von Kohle wurden Verbrennungskanäle und das Fortschreiten der Verbrennungsfront, sowohl direkt bei Betriebsmessungen als auch im Labor durch Thermografie quantitativ und qualitativ ermittelt.

Elektro- und Elektronikindustrie

Durch den Einsatz von Mikroskopvorsätzen können Wärmebilder Aufschluss über Fehler in Halbleiterbauteilen geben. Einfach lassen sich an aufgenommenen MOS- Transistoren Kurzschlüsse schnell nachweisen, welche üblicherweise als Überhitzung, angezeigt werden. Hier ist Thermografie bei der Qualitätskontrolle online von Massensteifen möglich. Eine Einsatzmöglichkeit bei der Qualitätssicherung präventiven Instandhaltung von Leistungselektrik, bietet sich mit den modernen und inzwischen preisgünstigen Thermografie-systemen geradezu an.

Festigkeitsprüfung von Materialien

Bauteile im Maschinenbau werden hauptsächlich durch zerstörende Prüfverfahren momentan noch getestet. Hierfür abgestimmte Messaufbauten beschäftigen sich mit der Früherkennung von Spannungsspitzen, wodurch eine Wärmeentwicklung insbesondere bei höherfrequenter Belastung stattfindet. Zur zerstörungsfreien Werkstoff-/ Bauteilprüfung lassen sich Wärmebilder von der Oberfläche vor Versagen des Bauteiles aufnehmen. Die Analyse von Wärmenestern und Hotspotwanderung, an Zugstäben im Dauerfestigkeitsversuch kurz vor Zerreißen, gehören schon zu den Standardanwendungen auf diesem Gebiet.

Straßenbau und Verkehrs- Management

Durch die Änderung des Straßenbelags mit der Zeit ändern sich auch der Emissionsfaktor und somit die angezeigte Temperatur. Durch Vergleichsmessungen kann der Zustand der Fahrbahn flächenhaft ermittelt werden. Erneuerungsmaßnahmen sind gegebenenfalls einzuleiten.

Besonders das Verkehrsaufkommen kann sogar nächtlich und außerhalb der "rush-hour" exzellent nachgewiesen und untersucht werden. An den üblichen ampelgeregelten Kreuzungen diffundieren stehende Fahrzeuge die eigene Motoren- und Abgasanlagenwärme in den Asphalt, so dass diese oft noch Stunden danach für aussagekräftige Untersuchungen als messbare Restwärme herangezogen werden kann.

Rotierende Teile

Sowohl die Anbringung von Sensoren als auch die Datenübertragung bei diesen schnell bewegenden Teilen bringt Probleme mit sich. Hier bieten Thermografiekameras eine örtlich und zeitlich hoch auflösende Möglichkeit der Aufnahme von Temperaturwerten. Bei rechtzeitigem Erkennen können Ersatzteile beschafft und eingebaut werden, um Schaden am Motor selbst abzuwenden. Die Beobachtung eines Luftkühlers, erlaubt die Interpretation des Luftstromes und die Anordnung des Kühlers relativ zu anderen Wärmequellen in Motorräumen. Verfahrens- wärme- und strömungstechnische Maßnahmen können eingeleitet werden.

Gesundheitswesen

Wärmehaushalt und Temperaturregulation sind Faktoren, die bei Frühgeborenen für Überleben, Wachstum und Gedeihen von größter Bedeutung sind. Aus diesem Grund ist es wichtig, die Körpertemperatur kontinuierlich zu messen. Systematische Messungen einer Vielzahl von Oberflächentemperaturen sind bei Neugeborenen, vor allem bei frühgeborenen, mit gestörten Vitalfunktionen mit konventionellem Widerstandsthermometer nicht zumutbar und nicht durchführbar. Mit Hilfe der Infrarothermografie ist eine berührungslose Thermometrie der Körperoberfläche im Vergleich möglich. Vergleichstests von Thermografie und Widerstandsthermometrie haben nur minimale Unterschiede zwischen beiden Methoden erbracht. Bei Thermografiemessungen der Temperatur der menschlichen Haut, werden mit einem Emissionsfaktor von 0,98 exakte Ergebnisse erzielt. Dies unterstützt die Messgenauigkeit. Infrarotthermografie lässt sich auch problemlos in den klinischen Alltagsablauf von Neugeborenenstationen integrieren. Auf Grund der kompakten Bauweise von Kamera und Rechnereinheit ergeben sich keine Störungen im Stationsablauf oder in Handling der Patienten.

In der Umgebung von bösartigen Tumoren entstehen vermehrt Blutgefäße. Die Blutgefäße und der Tumor, je nach Wachstumsphase, führen in oberflächennahen Bereichen zu erhöhter Temperatur. Die in Tumoren entstehende Wärme wird Ober Venen abtransportiert, so dass eine thermographische Untersuchung von oberflächennahen Arterien und Venen sinnvoll ist. Tumore weisen in ihren Zellteilungsphasen höhere Temperaturen als in der intermediären Phase auf. Außerdem gilt: je höher die Temperatur eines Tumors, desto bösartiger ist er einzuschätzen, und je schneller die Geschwulst wächst, desto mehr Wärme produziert sie. Diese drei Effekte sind mit Thermografie nachweisbar, allerdings nicht absolut, sondern nur im Vergleich.

Thermografie ist auch eine berührungslose und doch effektive Methode zum Aufspüren, Identifizieren und Behandeln von Gelenksverletzungen, da derartige Erscheinungen immer mit Temperaturerhöhungen einhergehen. Thermografie liefert exakte Lokalisierung von Verletzungen und unterstützt die genaue Ermittlung der Ausbreitung der Verletzungen durch die Darstellung der Wärmeverteilung des die Verletzung umgebenden Gewebes. Bei Pferden auftretende Gelenksentzündungen lassen sich, einfach diagnostizieren.

Darüber hinaus hilft der Einsatz von Thermografie bei der Beobachtung des Heilungsprozesses von Gelenkverletzungen und anderen Leiden, da durch regelmäßige Untersuchungen beispielsweise der Rückgang des Entzündungsgewebes und die Abnahme der Temperaturdifferenz beobachtet werden kann. Somit ist Thermografie ein nützliches Mittel zur Verbesserung von Rehabilitationstechniken und zum Optimieren des Behandlungs-terminplans.

Thermografie wurde bei der Erkennung von Brüchen, Knochensplittern, schlechter Durchblutung und entzündeten Muskeln und Bändern bereits erfolgreich eingesetzt. Im Gegensatz zu Röntgenanlagen ist die Thermografie leicht transportabel und kann zum Patienten gebracht werden. Da Thermografiegeräte in Echtzeitdarstellung mit hoher zeitlicher Auflösung arbeiten, stören geringfügige Bewegungen der Probanden die Untersuchung nicht.

Durch Nervenleiden wird der Blutfluss und somit der Wärmefluss gestört. Den Wärmeflussunterschied innerhalb des menschlichen Körpers, auf Grund der Verringerung des von Blut durchströmten Adernquerschnitts, kann man auf Thermogrammen eindeutig lokalisieren. Durchblutungsstörungen lassen sich direkt z.B. an Füßen und Händen problemlos erkennen.

Schweißtechnik

Bei automatischen Schweißvorgängen hat sich inzwischen der Einsatz von leichten Industrie-Bolometerkameras bewährt. Sie bieten die Möglichkeit zur Echtzeitbeobachtung von prozessrelevanten Größen und dies ohne sog. "Schlupf".

Tritt in der Schweißnaht ein Lunker auf, so kühlt die Oberfläche darüber, aufgrund der Konvektionsunterschiede, schneller ab als in seiner Umgebung. Die entstehende Fläche niederer Temperatur wird von der Infrarotkamera erkannt. Bei entsprechender Abweichung der Temperaturverteilung von der Sollvorgabe, wird ein Alarm ausgelöst. Abweichungen von der Solltemperaturverteilung können beispielsweise beim MIK- Schweißen durch:

Leistungsschwankungen, -Fehlposition der Werkstücke, -mangelhafte Nahtvorbereitung, -Verschmutzung im Schweißbereich, -Materialfehler im Grundwerkstoff, -Schwankungen in der Schutzgaszufuhr.

Eine Abweichung kann auch dazu benutzt werden, regelnd in den Schweißprozess einzugreifen oder das verarbeitete Teil auf die Ausschlussschiene zu leiten.

Zusammenfassung

Die Entwicklung der Thermografie, die ihren Anfang mit Geräten zur militärischen Aufklärung nahm, geht ständig weiter. Dies gilt sowohl für die Geräte selbst, als auch für deren Applikationsbereiche.

Nachdem Thermografie zu Beginn ihrer zivilen Nutzung hauptsächlich in Forschung und Entwicklung angewandt wurde, findet sie jetzt immer mehr Anwendung in Industrie und Produktion. Neuentwicklungen wie Dual-Band-Systeme, die gleichzeitig in zwei Wellenbereichen (3-5pm, 8-13pm) der Infrarotstrahlung arbeiten, haben ebenfalls ihren Anfang im militärischen Bereich gefunden, da sie erhebliche Vorteile in der Zieldarstellung liefern. Auch für zivile Anwendungen bieten sie verbesserte Möglichkeiten, besonders bei der Messung selektiver Strahler, da durch die Zweibändigkeit der Emissionsfaktor als Unbekannte berechnet und weitestgehend kompensiert wird. Damit werden genauere Messungen möglich, da man von Schwankungen des Emissionsgrades nahezu unabhängig werden möchte. Zusätzlich erhält man eine bessere Darstellungsqualität.

Mit der zunehmenden Automatisierung in Produktionsprozessen gewinnen Thermografiegeräte an Bedeutung, da sie zur temperaturrelevanten Steuerung geeignet sind.

Durch ihre besonderen Eigenschaften ist Thermografie ein universell einsetzbares Messverfahren zur Darstellung von Temperaturverteilungen und zur Charakterisierung von Oberflächen bzw. thermischen Vorgängen direkt unter ihnen, was häufig entscheidende Vorteile gegenüber herkömmlichen Kontaktverfahren bietet.

Es gibt keine Verfälschung des Messergebnisses durch Wärmeableitung auf Grund der berührungslosen Infrarotsensorik

- bewegte, rotierende und unter Spannung stehende Teile können beobachtet werden
- Einsatz bei Messungen von extrem hohen Temperaturwerten ist möglich
- Stäube, Schüttgüter und bestimmt Flüssigkeiten können direkt gemessen werden

All diese Vorteile leiten sich von der Berührungslosigkeit der Messung ab. Gegenüber Pyrometern, die ebenfalls berührungslos arbeiten, haben Thermografie- und Linescanner- Systeme einen weiteren Vorteil. Sie sind bildgebende Verfahren. Somit lassen sich die Ergebnisse oft schon ohne zusätzliche Hilfsmittel wie Videomix, rein aus der Visualisierung des Thermogrammes, deuten.

Durch die relativ hohe örtliche und zeitliche Auflösung ist die Bildqualität von hohem Niveau, sowohl bei der Darstellung winziger Details als auch bei der Echtzeitbeobachtung dynamischer Vorgänge. Bei der Beobachtung zyklisch wiederkehrender Vorgänge, wie das Rotieren eines Reifens, besteht die Möglichkeit, pro Umdrehung des Objekts die Aufnahme einer Bildschirmzeile auszulösen, um so über mehrere Umdrehungen ein komplettes Bild zu erhalten. Der Vorteil ist hierbei, dass bei Verwendung entsprechender Software auch von schnell ablaufenden periodischen Vorgängen Thermogramme mit guter örtlicher Auflösung erstellt werden können. Beachten

Emissionsfaktoren

Inhalt dieser Seite:

- Emissionsfaktoren verschiedener Materialien

Material		Temperatur °C	Emissionsfaktor
Aluminium	poliert	50°C bis 100°C	0.04 bis 0.06
Aluminium	rauher Oberfläche	20°C bis 50°C	0.06 bis 0.07
Aluminium	stark oxidiert	50°C bis 500°C	0.2 bis 0.3
Aluminium	Aluminiumbronze	20°C	0.6
Aluminium	Aluminiumoxid, Aluminiumpuder	Normale Temperatur	0.16
Messing	matt, beschlagen	20°C bis 350°C	0.22
Messing	oxidiert bei 600°C	200°C bis 600°C	0.59 bis 0.61
Messing	poliert	200°C	0.03
Messing	bearbeitet mit Schleifpapier	20°C	0.2
Bronze	poliert	50°C	0.1
Bronze	porös und rauh	50°C bis 150°C	0.55
Chrom	poliert	50°C	0.1
Chrom	poliert	500°C bis 1000°C	0.28 bis 0.38
Kupfer	presspoliert	20°C	0.07
Kupfer	elektrolytisch poliert	80°C	0.018
Kupfer	elektrolytisch pulverisiert	normale Temperatur	0.76
Kupfer	geschmolzen	1100°C bis 1300°C	0.13 bis 0.15
Kupfer	oxidiert	50°C	0.6 bis 0.7
Kupfer	oxidiert und schwarz	5°C	0.88
Eisen	mit rotem Rost	20°C	0.61 bis 0.85
Eisen	elektrolytisch poliert	175°C bis 225°C	0.05 bis 0.06
Eisen	bearbeitet mit Schleifpapier	20°C	0.24
Eisen	oxidiert	100°C	0.74
Eisen	oxidiert	125°C bis 525°C	0.78 bis 0.82
Eisen	heiß gewalzt	20°C	0.77
Eisen	heiß gewalzt	130°C	0.6
Lack	Bakelit	80°C	0.93
Lack	schwarz, matt	40°C bis 100°C	0.96 bis 0.98
Lack	schwarz, hochglänzend, auf Eisen gespritzt	20°C	0.87
Lack	hitzebeständig	100°C	0.92
Lack	weiß	40°C bis 100°C	0.80 bis 0.95
Lampeschwarz	-	20°C bis 400°C	0.95 bis 0.97
Lampe schwarz	Anwendung an festen Oberflächen	50°C bis 1000°C	0.96
Lampe schwarz	mit Wasserglas	20°C bis 200°C	0.96
Papier	schwarz	normale Temperatur	0.90
Papier	schwarz, matt	dto.	0.94
Papier	grün	dto.	0.85
Papier	rot	dto.	0.76
Papier	weiß	20°C	0.7 bis 0.9
Papier	gelb	normale	0.72

		Temperatur	
Glas	-	20°C bis 100°C	0.94 bis 0.91
Glas	-	250°C bis 1000°C	0.87 bis 0.72
Glas	-	1100°C bis 1500°C	0.7 bis 0.67
Glas	mattiert	20°C	0.96
Gips	-	20°C	0.8 bis 0.9
Eis	mit starkem Frost bedeckt	0°C	0.98
Eis	glatt	0°C	0.97
Kalk	-	normale Temperatur	0.3 bis 0.4
Marmor	gräulich poliert	20°C	0.93
Glimmer	dicke Schicht	normale Temperatur	0.72
Porzellan	lasiert	20°C	0.92
Porzellan	weiß, glänzend	normale Temperatur	0.7 bis 0.75
Gummi	hart	20°C	0.95
Gummi	weich, grau, rauh	20°C	0.86
Sand	-	normale Temperatur	0.6
Schellack	schwarz, matt	75°C bis 150°C	0.91
Schellack	schwarz, glänzend, Anwendung auf Zinnlegierung	20°C	0.82
Blei	grau, oxidiert	20°C	0.28
Blei	bei 200°C oxidiert	200°C	0.63
Blei	rot, Pulver	100°C	0.93
Blei	Bleisulfat, Pulver	normale Temperatur	0.13 bis 0.22
Quecksilber	rein	0°C bis 100°C	0.09 bis 0.12
Molybdän	-	600°C bis 1000°C	0.08 bis 0.13
Molybdän	Heizdraht	700°C bis 2500°C	0.10 bis 0.30
Chrom	Draht, rein	50°C	0.65
Chrom	Draht, rein	500°C bis 1000°C	0.71 bis 0.79
Chrom	Draht, oxidiert	50°C bis 500°C	0.95 bis 0.98
Nickel	absolut rein, poliert	100°C	0.045
Nickel	dto.	200°C bis 400°C	0.07 bis 0.09
Nickel	bei 600°C oxidiert	200°C bis 600°C	0.37 bis 0.48
Nickel	Draht	200°C bis 1000°C	0.1 bis 0.2
Nickel	Nickel oxidiert	500°C bis 650°C	0.52 bis 0.59
Nickel	Nickel oxidiert	1000°C bis 1250°C	0.75 bis 0.86
Platin	-	1000°C bis 1500°C	0.14 bis 0.18
Platin	rein poliert	200°C bis 600°C	0.05 bis 0.10
Platin	Streifen	900°C bis 1100°C	0.12 bis 0.17
Platin	Draht	50°C bis 200°C	0.06 bis 0.07
Platin	Draht	500°C bis 1000°C	0.10 bis 0.16
Silber	rein poliert	200°C bis 600°C	0.02 bis 0.03
Stahl	Legierung (8% Nickel, 18% Chrom)	500°C	0.35
Stahl	galvanisiert	20°C	0.28
Stahl	oxidiert	200°C bis 600°C	0.80
Stahl	stark oxidiert	50°C	0.88
Stahl	stark oxidiert	500°C	0.98
Stahl	frisch gewalzt	20°C	0.24
Stahl	rauhe, ebene Fläche	50°C	0.95 bis 0.98

Stahl	rostig, rot	20°C	0.69
Stahl	Blech, ..	950°C bis 1100°C	0.55 bis 0.61
Stahl	Blech, Nickelbeschichtet	20°C	0.11
Stahl	Blech, poliert	750°C bis 1050°C	0.52 bis 0.56
Stahl	Blech, gewalzt	50°C	0.56
Stahl	rostfrei, gewalzt	700°C	0.45
Stahl	rostfrei, sandgestrahlt	700°C	0.70
Gusseisen	gegossen	50°C	0.81
Gusseisen	-	1000°C	0.95
Gusseisen	flüssig	1300°C	0.28
Gusseisen	bei 600°C oxidiert	200°C bis 600°C	0.64 bis 0.78
Gusseisen	poliert	200°C	0.21
Zinn	presspoliert	20°C bis 50°C	0.04 bis 0.06
Titan	bei 540°C oxidiert	200°C	0.40
Titan	dto.	500°C	0.50
Titan	dto.	1000°C	0.60
Titan	poliert	200°C	0.15
Titan	dto.	500°C	0.20
Titan	dto.	1000°C	0.36
Wolfram	-	200°C	0.05
Wolfram	-	600°C bis 1000°C	0.1 bis 0.16
Wolfram	Heizdraht	3300°C	0.39
Zink	bei 400°C oxidiert	400°C	0.11
Zink	oxidierte Oberfläche	1000°C bis 1200°C	0.50 bis 0.60
Zink	poliert	200°C bis 300°C	0.04 bis 0.05
Zink	Blech	50°C	0.20
Zirkonium	Zirkoniumoxid, Pulver	normale Temperatur	0.16 bis 0.20
Zirkonium	Zirkoniumsilikat, Pulver	normale Temperatur	0.36 bis 0.42
Asbest	Tafel	20°C	0.96
Asbest	Papier	40°C bis 400°C	0.93 bis 0.95
Asbest	Puder	normale Temperatur	0.40 bis 0.60
Asbest	Schiefer	20°C	0.96
Kohle	Heizdraht	1000°C bis 1400°C	0.53
Kohle	gereinigt (0.9% Asche)	100°C bis 600°C	0.81 bis 0.79
Zement	-	normale Temperatur	0.54
Holzkohle	Pulver	normale Temperatur	0.96
Ton	gebrannt	70°C	0.91
Stoff	schwarz	20°C	0.98
Ebonit	-	normale Temperatur	0.89
Schmiergel	grob	80°C	0.85
Silizium	Granulatpulver	normale Temperatur	0.48
Silizium	Silizium, Pulver	normale Temperatur	0.30
Schlacke	Heizkessel	0°C bis 100°C	0.97 bis 0.93
Schlacke	dto.	200°C bis 500°C	0.89 bis 0.78
Schlacke	dto.	600°C bis 1200°C	0.76 bis 0.70
Schnee	-	-	0.80

Stucco	rauh, gebrannt	10°C bis 90°C	0.91
Teer	-	-	0.79 bis 0.84
Teer	Teerpapier	20°C	0.91 bis 0.93
Wasser	Schicht auf Metalloberfläche	20°C	0.98
Wasser	Schicht > 0.1mm	0°C bis 100°C	0.95 bis 0.98
Ziegel	rot, uneben	20°C	0.88 bis 0.93
Ziegel	Schamotte	20°C	0.85
Ziegel	Schamotte	1000°C	0.75
Ziegel	Schamotte	1200°C	0.59
Ziegel	feuerbeständig, ...	1000°C	0.46
Ziegel	feuerbeständig, stark gestrahlt	500°C bis 1000°C	0.80 bis 0.90
Ziegel	feuerbeständig, schwach gestrahlt	500°C bis 1000°C	0.65 bis 0.75
Ziegel	Silizium (95% $Si0^2$)	1230°C	0.66

Rechenbeispiele

Inhalt dieser Seite:

- Rechenaufgaben 1-4 mit Lösung

Aufgabe 1:

Wo liegt das Maximum und die zwei 3 db-Punkte der spezifischen Ausstrahlung, bei einer gegebenen Temperatur T = 136°C eines schwarzen Strahlers?

$$M_{max} = \frac{2898\mu mK}{409K}$$

$$\lambda_{kurz} = \frac{1800\mu m}{409K} = 4{,}40\mu m$$

$$\lambda_{lang} = \frac{5100\mu m}{409K} = 12{,}47\mu m$$

Wie aus dem Ergebnis ersichtlich, erreicht die spezifischen Ausstrahlung Ml bei 7.086mm ihr Maximum. Bei 4.40 mm und 12.47 mm befindet sich der 3 dB-Punkt, der Punkt an dem die Strahlung auf 50% abgesunken ist. 60% der Gesamtstrahlung befinden sich zwischen den beiden Punkten lkurz und llang (siehe Physikalische Grundlagen).

Aufgabe 2:

Die Temperatur eines Objektes wurde bei einem Emissionsfaktor von 1.00 mit 206°C gemessen. Wie groß ist die wahre Temperatur bei einem Emissionsfaktor von 0.95 und 0.73?

$$T_W = \frac{479K}{\sqrt[4]{0{,}95}} = 485K = 212°C \text{ (bei } \varepsilon = 0{,}95)$$

$$T_W = \frac{479K}{\sqrt[4]{0{,}73}} = 518K = 245°C \text{ (bei } \varepsilon = 0{,}73)$$

Aufgabe 3:

Welche Leistung hat ein schwarzer Strahler bei einer Ausstrahlung im Wellenlängenbereich 1µm +/- 50nm (l +/- l)?

Fläche : A = 1cm²
Temperatur : T1 = 1200°K; T2 = 1400°K

Die Werte für die spezifische Ausstrahlung M sind aus Bild A zu entnehmen.

T1 (Temperatur 1200 K):

$$P = A \cdot M \cdot 2$$

$$\lambda = 10^{-4} \cdot 7 \cdot 10^{8} \cdot 10^{-7}cm^{2} \cdot W \cdot cm^{-2} = 7mW$$

T2 Temperatur 1400 K):

$$P = A \cdot M \cdot 2$$

$$\lambda = 10^{-4} \cdot 3 \cdot 10^{9} \cdot 10^{-7}cm^{2} \cdot W \cdot cm^{-2} = 30mW$$

Entsprechend den im Kapitel "Physikalische Grundlage aufgeführten Formeln steigt die ausgestrahlte Leistung mit steigender Temperatur stark an.

Aufgabe 4:

Wie groß ist die Leistung, wo liegt das Maximum und bei welcher Wellenlänge befinden sich die zwei 3 dB-Punkte eines schwarzen Strahlers mit der Fläche A = 30cm² und der Temperatur 700°K?

$$M = 3 \cdot 10^{-3} \cdot 5{,}6686 \cdot 10^{-12}W \cdot cm^{-2} \cdot K^{-4} \cdot 700^{-4} \cdot K^{-4}$$
$$= 40{,}84W$$

$$M_{max} = \frac{2898\mu mK}{700K} = 4{,}14\mu m$$

$$\lambda_{kurz} = \frac{1800\mu m}{700K} = 2{,}57\mu m$$

$$\lambda_{lang} = \frac{5100\mu m}{700K} = 7{,}28\mu m$$

Literatur

Inhalt dieser Seite:

- Literatur

- Jack H. Taylor: "Radiation Exchange"
  Academic Press, Inc., San Diego 1990
- K. Stahl, G. Miosga: "Infrarottechnik"
  Hüthig Verlag, Heidelberg 1986
- J. Niebuhr: "Physikalische Messtechnik"
  Oldenburg Verlag, München 1980
- NEC San-ei: "Technical Report about Infrared thermometers"
  NEC San-ei, Tokyo 1985
- H. Maier, K. Abel: "Forschungsbericht"
  Bundesministerium für Forschung und Technologie
- M. A. Bramson: "Infrared Radiaditon, a Handbook for Applikation"

Die Bauthermografie als auch die Bauthermografie zur Erstellung von Energiepass, Energiepaß, Gebäudeenergiepass und die Elektrothermografie, Elektrothermografie, Elektro Thermografie mit FLIR (Foward Looking InfraRed Cameras) Infrarot-thermografie Systemen, Infrarot-Thermografie und thermografischen Infrarotkamera und Infrarotkameras erlauben Infrarotmessung auf dem Bereich der Infrarotthermografie als auch der Infrarotthermografie. Leitungsortung mit Mikrobolometer Technik von NEC San-ei und NEC-Infrarotkameras einer ThermaCAM, VarioCAM, ThermaCam oder andere Thermocameras, Mikrobolometer, Microbolometer uncooled Focal Plane Array IR-Kameras mir 160x120, 320x240 oder 640x480 radiometrische Pixel, Bildpunkte zur Thermografie mittels Thermografiekamera, Thermografiekameras und Thermografie sowie Thermografiekamera und Thermografiekameras ist eine Thermokamera oder Thermokameras eine Thermovision IR-Kameraausstattung, im Rahmen von PPM Anwendungen, der Schimmelbekämpfung mit Zertifizierungsmöglichkeit über SectorCert IT. Näher bringt IT Zertifizierung über VDS, VATh, VET, ÖGfTh und ASNT mit IT Level 1, Stufe 1, Level 2, Stufe 2, Level 3, Stufe 3 IT, (IT Infrarot Thermografie) die Wärmebildtechnik mit seinen Wärmebildern aufgenommen mit einer Wärmebildkamera, Wärmebildkameras, zur Feststellung von Wärmeisolierung wobei sich Wärmekamera oder Wärmekameras dem Thermografen auch anbieten wie electrische inspekties, infrared camera, infrarood camera oder infraroodcamera und infraroodthermografie für lekdetectie und onderhoud sowie preventief onderhoud, warmtebeeld mit thermacam oder thermography variocam zur vorbeugenden Instandhaltung empfiehlt sich NEC Thermo Tracer TH7700, TH7800, TH9100 und TH6290 sowie Industrie Thermokamera und Infrarot Prozesskontrolle TS9200, wie auch in quality management, process control, conditional monitoring, traffic management and surveillance, übersetzt Qualitätswesen, Prozesskontrolle und Fertigungsüberwachung sowie Verkehrsmanagement und Sicherheits- und Überwachungstechnik. Bauthermografie, Bauthermografie, Elektrothermografie, Energiepass, Energiepaß, FLIR, Gebäudeenergiepass, Infrarot-thermografie, Infrarot-thermografie, Infrarotkamera, Infrarotkameras, Infrarotmessung, Infrarotthermografie, Infrarotthermografie, Leitungsortung, Mikrobolometer, NEC San-ei, NEC-Infrarotkamera, PPM, EnEv, Schimmelbekämpfung, SectorCert IT, ThermaCAM, ThermaCam, Thermocamera, Thermografie, Thermografiekamera, Thermografiekameras, Thermografie, Thermografiekamera, Thermografiekameras, Thermokamera, Thermokameras, Thermovision, VATh, VarioCAM, Wärmebild, Wärmebilder, Wärmebildkamera, Wärmebildkameras, Wärmeisolierung, Wärmekamera, Wärmekameras, berührungslose Temperaturmessung, electrische inspekties, elektrothermografie, fluke, gebäudethermografie, impac, industriethermografie, infrared camera, infrared cameras, infrared thermography, infrarood camera, infraroodcamera, infraroodthermografie, infrarot messtechnik, jenoptik, land, lekdetectie, mikron, onderhoud, preventief onderhoud, gsat, thermacam, thermal camera, thermo camera, thermografie grundlagen, thermografie kamera, thermografie messung, thermographic camera, thermografie kamera, thermography, thermography, camera, variocam, vorbeugende Instandhaltung, warmtebeeld, wuhan guide.

Infrarot Thermografie FAQ

F	A	Q

Thermografie Anwendungen in der Praxis reichen von Gebäudethermografie und Lecksuche über den industriellen Bereich mit u.a. vorbeugender Instandhaltung, Thermografie elektrischer Anlagen und Brandschutz bis zur Prozesskontrolle und Einsätzen im F&E Bereich. Aus diesen Gründen greifen neben Gutachtern und Sachverständigen auch Verantwortliche der Industrie oder F&E-Abteilungen immer öfters auf die Infrarot-Thermografie zurück.

Die Infrarot-Thermografie bietet dem Anwender dank neuester Technologie umfangreiche Möglichkeiten zur Problemlösung. Das Verfahren beschränkt sich dabei nicht auf die Aufnahme "bunter" Bilder mit einer IR-Kamera - dies ist nur netter Teilaspekt. Die IR-Thermografie steht vielmehr für ein umfassendes Messverfahren, das von Strahlungsphysik-erfahrenen Mess-Ingenieuren angewendet wird. Im Ergebnis lassen sich damit genaue Temperaturmessungen berührungslos vornehmen und ganze Temperaturprofile erfassen.

Was ist Thermografie?
Als Thermografie bezeichnet man eine Feststellung oder Darstellung der Temperaturverteilung von Gegenständen (Oberflächen) in grafischer Form.

Wie lange gibt es Thermografie schon?
Thermografie war vor 1930 noch technologisch schwer zugänglich und nur von akademischem Interesse für einige Forscher. Das ganze änderte sich als die Thermografie verstärkt in den Fokus militärischer Interessen geriet. Den mit der speziellen Form der Infrarotthermografie war es möglich auch Gegenstände (Gegner) von weiten zu beobachten, die sonst für uns Menschen unsichtbar bleiben. In den letzten 10 Jahren gab es einen regelrechten Boom in der Infrarottechnik, dies wird in Zukunft anhalten. Im Zuge dieser Entwicklung stehen auch immer bessere Geräte für zivile Anwendungen zur Verfügung.

Wo wendet man Thermografie an?
Die Anwendungen der Thermografie sind vielfältig. Die wichtigsten zivilen Anwendungen liegen in der Gebäudethermografie (Bauphysik, Wärmedämmung,.....) sowie in der industriellen Entwicklung und Fertigung. Wichtig sind auch noch die Bereiche Fernerkundung, Umweltschutz und Geografie. Die Thermografie wird auch in der Medizintechnik z.B. zur Tumorerkennung oder bei Polizei und Rettungsdiensten eingesetzt - hier allerdings nicht als Messtechnik sondern zur Ortung.

Wie funktioniert Thermografie?
Unter Thermografie versteht man heute meist die berührungslose Temperaturmessung von Gegenständen und Systemen. Zum einen will man selbst weit vom Objekt weg sein können (z.B. bei der Ortung eines militärischen Gegner), zum anderen will man den Gegenstand selbst durch die Messung nicht verändern oder beschädigen. Oft kann man auch gar nicht am Gegenstand selbst messen, wie z.B. im Falle einer rotierenden Bremsscheibe oder eines Motors. Aus diesem Grunde greift man hier auf die Infrarotthermografie zurück. Die Infrarotthermografie verwendet (detektiert) zur Temperaturbestimmung die abgestrahlte infrarote Strahlung des Gegenstandes und ist damit ein passives Messverfahren.

Was sind die Besonderheiten der Infrarot-Thermografie?
Jeder Gegenstand oder jedes Gas gibt Strahlung ab. Einen Teil dieser Strahlung, das sichtbare Spektrum (380-780nm), können wir mit den Augen erkennen. Das länger wellige Licht hingegen ist zwar für manche Insekten und Tiere optisch wahrnehmbar, wir sehen es jedoch nicht, können es höchstens fühlen. Doch es gibt Sensoren (und Kameras), die diesen Bereich sehen können. Möglichkeiten hierzu sind Infrarotkameras oder Pyrometer, sie sind unsere Augen für das infrarote Licht. Die gemessene Strahlungsleistung eines Körper ändert sich sehr stark mit der Temperatur eines Körpers (Stefan-Boltzmann-Gesetz), d.h. mit der 4-ten Potenz der Temperatur. Damit ist die Infrarotthermografie grundsätzlich ein sehr genaues und sensitives Verfahren. Will man aber auch gleichzeitig eine exakte Aussage über Temperatur und die Wärmeabstrahlung eines Körpers machen, dann gilt dies nur wenn die vermessenen Körper bei gleicher Lage auch dasselbe thermische Emissions- und Reflektionsverhalten aufweisen.

Wo ist Infrarotthermografie gut einsetzbar?
Infrarotthermografie ist dort am besten einzusetzen, wo die vermessenen Gegenstände überall einen hohen Emissionskoeffizienten aufweisen. Die Reflexion von Wärmestrahlung, die aus der Umgebung auf den Gegenstand trifft, fällt dann weniger ins Gewicht. Gut möglich ist deshalb die Aufnahme und Temperaturbestimmung von fast allen nicht metallischen Stoffen. Metallische Gegenstände können zwar meist gut geortet und erkannt werden, die Temperaturbestimmung ist hier zwar möglich, aber schon etwas aufwändiger.

Kann Infrarotthermografie jeder einsetzen?
Im Grund ja, doch es gibt einige Einschränkungen. Manche hochwertige Infrarot IC´s unterliegen z.B. der US-Exportkontrolle und dürfen dann auch nicht ohne weiteres an Privatpersonen weitergegeben und verliehen werden. Die gewerblichen Anwender und öffentliche Institutionen sind deshalb meist die User und verfügen über die notwendige Technologie. Im Weiteren ist die Anschaffung einer eigenen hochwertigen Thermografie-Messtechnik sehr kostenintensiv und sie veraltet auch sehr schnell, sinnvollerweise wird deshalb oft auf Thermografiedienstleister zurück gegriffen. Diese haben in der Regel neue "Hi-End" Messtechnik und verstehen diese auch einzusetzen. Man sollte auf die Ausbildung und Qualifikation des Anbieters achten, damit die bezahlte Dienstleistung auch entsprechend durchgeführt wird.

Was unterscheidet Wärmebildkameras von einer Thermografiekamera?
Beides sind Bezeichnungen für ein Gerät, welches in der Lage ist, die Intensitätsverteilung von Infrarotstrahlung in einer Szenerie zu erfassen und als sichtbares Bild darzustellen. Während allerdings die Aufgabe des Wärmebildgerätes (manchmal auch als "Imager" oder "(passives) Nachtsichtgerät" bezeichnet) darin besteht, die Erkennbarkeit von Personen oder Objekten bei Dunkelheit oder schlechten Sichtbedingungen zu verbessern, geht die Aufgabe einer Thermografiekamera einen Schritt weiter. Durch ihre Kalibrierung ist sie darüber hinaus in der Lage, aus der Intensität der detektierten Infrarotstrahlung auf die Oberflächentemperatur der Objekte zu schließen.

Wie groß ist die Tiefenwirkung der Infrarot-Temperaturmessung?
Bei den allermeisten Materialien ist sie praktisch Null, d. h. die Messung erfolgt direkt an der Objektoberfläche. Es gibt nur sehr wenige (teil-) durchlässige Materialien wie z. B. Oxide oder Silikate, bei denen sich der Messwert dann aus verschieden tief liegenden Schichten des Objektes zusammensetzt.

Kann man mit einer Thermografiekamera durch Glasscheiben hindurch messen?
In der Regel nicht, weil Glas zwar für sichtbares Licht ebenso wie das nahe Infrarot durchlässig ist, nicht aber oberhalb von ca. 4µm Wellenlänge. Für diesen Spektralbereich werden spezielle infrarotdurchlässige Fenstermaterialien benötigt.

Bis hinab zu welcher Temperatur-Untergrenze kann man Infrarot-Thermografie betreiben?
Das hängt in erster Linie von der Leistungsfähigkeit der verwendeten Thermografiekamera ab. Moderne Thermografiekameras erlauben berührungslose Temperaturmessungen bis hinab zu (-20 ... -50) °C. Darunter fällt allerdings die Intensität der von den Objekten ausgesandten Infrarotstrahlung und damit das Signal-Rausch-Verhältnis so stark ab, dass selbst erhebliche Erhöhungen der Geräteempfindlichkeit nur noch zu geringen Absenkungen der unteren Messbereichsgrenze führen würden.

Warum beeinflusst eine Infrarot-Fernbedienung das Messergebnis einer Thermografiemessung normalerweise nicht, während der Reflex einer Hand dazu sehr wohl in der Lage sein kann?
Das ist eine Frage der Wellenlänge. Infrarot-Fernbedienungen und Infrarotdatenübertragungs- strecken nutzen Wellenlängen im nahen Infrarot (z. B. 0,85 µm bzw. 1,55 µm), während Thermografiekameras im sogenannten "Thermischen Infrarot", also neben dem seltener benutzten Bereich (3 ... 5) µm üblicherweise bei (8 ... 14) µm arbeiten - genau dort, wo auch die Körper bei Raumtemperatur ihre maximale Ausstrahlung haben.

Ist es mit Infrarot-Thermografie möglich, Gastemperaturen zu messen?
Nur unter bestimmten Umständen, denn viele häufig vorkommende Gase (wie mehrheitlich auch die Bestandteile der Erdatmosphäre) sind im Infrarotbereich weitgehend durchsichtig. Verschiedene Gase wie z. B. Kohlen- bzw. Stickoxide emittieren jedoch auch selbst Infrarotstrahlung, allerdings nur in sehr schmalen spektralen Bereichen, so genannten "Banden". Durch dazu passende Spektralfilter in der Thermografiekamera kann man sich darauf einstellen, muss aber beachten, dass dadurch eine Mindesttemperatur von typischerweise einigen hundert Grad Celsius sowie eine Mindestdicke der zu messenden Gasschicht benötigt wird.

Infrared Glossary (internationale Begriffe in englischer Sprache)

ABCDEFGHIJKLMNOPQRSTUVWXYZ

A

Absolute Temperature Scale

A temperature measurement scale based on the coldest possible temperature equal to 0 degrees. (See Rankine and Kelvin).

Absorptions (Absorptive)

The ratio between the amount of energy absorbed and the total energy incident (irradiance), usually measured at a surface. The absorption of a surface is equal to its emissivity.

Accuracy

A measure of the similarity of an instrument reading to the actual value for that reading. Instrument accuracy is affected by many things - instrument drift, environment, temperature, time, operator expertise, etc.

Active Element

The area on a detector which responds to radiation by creating a signal output. Many detectors contain both unused (inactive) elements and unused areas which are not part of the active, or responsive element area.

Active IR System

A system using an (active) IR source to illuminate a scene - much like a visible image scene is illuminated with a flood light. An active IR system monitors the illuminated scene in much the same way as a passive system.

Afocal

Usually refers to radiation in image space for a system adjusted for infinity focus. This radiation is fairly telecentric, having a very long focal length (no-focal-length).

Ambient Temperature

The temperature of the surrounding air and environment considered the baseline measurement for heat transfers around an object.

Amorphous

Having an irregular structure. Amorphous crystal structures are more useful in optical assemblies since they are not as prone to fracture along a crystal boundary. Crystals can sometimes be converted from mono-crystalline to poly-crystalline to amorphous by proper annealing.

Amplifier

A device for increasing (multiplying) some characteristic of its input. In electronics, there are voltage and current amplifiers that multiply the voltage (or current) of the input signal and output the amplified signal to the next circuit stage.

A/D Converter, ADC, (Analog to Digital Converter)

A device for converting continuously changing input signals (analog) into discretely valued outputs (digital).

Antireflective Coating

A thin layer of material applied to the surface of an optical element to increase the transmission of the element by reducing back scattering due to surface reflections. A simple A/R coating will be comprised of a one-quarter wavelength thick coating of a material whose refractive index is between the indexes of the air and the element material.

Aperture

A hole or opening limits the amount of radiation used by an optical system. The aperture of a system may be set by the size of the lens or window bounding the cross section of the radiation bundle.

Apparent Temperature

The temperature determined for an object calculated by a remote infrared sensor based solely on the amount of radiation it emits assuming the object has Blackbody emission characteristics.

Aspect Ratio

The ratio of the vertical length to the horizontal width. For a television display the aspect ratio is 3:4.

Atmospheric Window

Spectral radiation regions not absorbed by atmospheric gasses. These windows are transparent to radiation at those wavelengths. The most obvious window is the visible light window - if the 'smog is not too bad we can see through the atmosphere forever.

Atmospheric Attenuation, Atmospheric Absorption

The amount of signal reduction occurring when IR radiation travels through the atmosphere between the target and imaging system. The amount of attenuation can be very small on clear days with short transmission paths and can be very large on foggy, smoggy, dusty days with long transmission paths.

Attenuation

The reduction in intensity of radiation after processing through a filter. This can be measured in dB.

B

Background Temperature

The average temperature of the environment around an object under study. The background temperature creates the radiation level available as reflected energy.

Background Noise

The noise present in a sensor (detector) independent of the signal strength or ambient temperature.

Band pass Filter

A filter that is transparent for a range of wavelengths and opaque (reflective or absorptive) for wavelengths outside this band pass region.

Bandwidth

A range of wavelengths or frequencies passed or processed. Typically used in both electronics and optics to designate the operating range of a filter or electronic component.

Blackbody

An ideal thermal radiator, usually one whose temperature can be controlled, radiating and absorbing the maximum possible thermal radiation for the set temperature. (Emissivity = 1.0, Reflectance = 0.0, Transmittance = 0.0).

Bolometer

A temperature measuring instrument using a strip thermistor to achieve higher sensitivity than a simple thermistor. Unlike thermistors which are used for contact temperature measurements, bolometers can be used to measure radiation levels.

Burst Device

The safety device limiting the pressure in a high pressure gas container by allowing the gas to exit the container if the pressure exceeds the burst limit. These devices are usually made of a frangible disc in close proximity to a knife edge. The disc operates as a diaphragm that is pushed into contact with the knife edge as the pressure increases.

C

Calibration

The process of adjusting an instrument to read accurately. or in some cases, accurately constructing a table of errors so that the instrument reading can be adjusted off-line or post measurement to correlate the reading accurately to the true value.

Calorie

The amount of thermal energy required to raise one gram of water one degree-Celsius at 15 degrees C.

Celsius (Centigrade)

A scale for measuring temperature where absolute cold is -273.2 degrees C, the melting point of water (ice point) is 0 degrees C, and the boiling point of water is 100 degrees C.

Chopper

A means of optically blocking and unblocking the detector sensor repetitively. A chopper normally consists of a round, flat, pancake-like blade rotated by a motor. The blade is cut so that a regular pattern of openings and blockages pass in front of the detector.

Collimated Color Scale

Traveling together in parallel, as in parallel light rays. An area of the display screen set aside to display the full range of available colors. Used to demonstrate how each color is assigned a temperature or radiation level.

Color Thermograph

A display of temperature differences which has been enhanced by the assignment of discrete color values to each of the thermal intensity levels. This is considered the normal visual display mode for a thermal video system.

Conduction

The transfer of energy through a solid without motion of the conducting solid as a whole.

Conduction Band

The energy band above the energy gap in a semiconductor. Electrons with enough energy to reach the conduction band can freely move within the semiconductor in response to externally applied potential gradients.

Contrast

The relationship between the brightest intensity on a display and the dimmest. In an infrared system this may adjust the temperature range on the display. Increasing and decreasing the display range of temperature will change the apparent brightness difference between two different temperature values.

Convection

The transfer of energy through a liquid or gas due to the motion of the medium.

Coolant

A medium, usually gas or liquid that is either held at low temperatures or generates low temperatures when it expands used to reduce the temperature of another object.

Coulomb

A quantity measurement electricity. one coulomb is equal to 6.3 x 1018 electrons.

Critical Angle

The smallest incident radiation angle at which total internal reflection occurs. This angle is defined using Snell's law, setting the sine of the refraction angle of the lower index material equal to one.

Crosshair

A graphically based cursor overlay for identifying locations on an image - represented as the intersection of a vertical and horizontal line.

Current

The rate of flow of electricity.

Cryogen Cryogenics

Pertaining to extreme cold. A cryogen is a material that will create extremely cold conditions. Cryogenics is the study of extreme cold. In infrared, cryogenics usually refers to the means used to reduce the detector temperature to a useful value. Temperatures less than 200 degrees K could be considered cryogenic.

Cutoff Wavelength

The wavelength determined when the transmission of a filter drops below 5%.

Cut-On Wavelength

The wavelength of a filter where the transmission first exceeds 5%.

D

D-star (D*)

A measurement of the sensitivity of a detector material in terms of signal to noise ratio. D-star is normally expressed either as a blackbody D-star or as a peak wavelength D-star within the practical operating frequency of the detector. The units of D-star are centimeter-square root hertz per watt.

Delta-T

The temperature difference, or change, over a period of time.

Density

A measure of object weight per cubic size.

Depth Of Field

The range of object distances which are in focus around a set focus distance value (object space distance).

Depth Of Focus

The range of motion of the focus assembly which around a set focus distance which will not defocus an object at that focus distance (image space distance).

Detectivity

The ability of a detector to sense radiant power - the signal to noise ratio. The inverse of a noise power reading. Detectivity is related to noise since the signal power must be at least as large as the noise power to be distinguished as signal - not noise.

Detector, IR

A device which converts infrared irradiance into electrical energy.

Detector Element

A small area etched out of a detector material (called substrate) which does the actual photon sensing and conversion. Most of the rest of the substrate is inactive and either covered with a plating or not activated. Many detector elements can be put on one substrate and used for sensing IR radiation.

Dewar

A vacuum walled container for thermally isolating the contents from the outside. Dewars are used for holding and transporting cryogenic liquids.

Dew Point

The temperature at which water will condense out of a mixture of gasses. The dew point can be used as a means of identifying the humidity of a gas volume.

Diffuse Reflections

Non-specular reflections of defocused, uniform intensity for a wide range of reflection angles. A perfectly diffuse surface is defined as a Lambertian surface the intensity is constant no matter what the angle of view.

Dwell Time

The length of time that the detector is allowed to observe the same location to create its radiation signal. Normally the longer the dwell time allowed, the less noisy and more sensitive the detector will be.

E

Electromagnetic Radiation

The field effects given off by accelerating a charged particle in a magnetic field. Depending on field strength and speed of acceleration, many types of electromagnetic radiation are created.

Electromagnetic Spectrum

A plot of the range of wavelengths and types of electromagnetic radiation found to exist from subsonic waves to cosmic rays.

Emissivity, Emission

The ability of an object to radiate and absorb energy from its surroundings measured as a ratio of the actual object emission to the blackbody equivalent emission.

Equilibrium

A condition where all of the thermal changes in a system have stabilized. 'To observe true heat flow characteristics, a gradient must be developed across an object or interface and allowed to stabilize - this is a thermal equilibrium.

Evacuate

To empty. Used in relation to cleaning Dewars or cylinders prior to refilling them with pure gas. Cylinder evacuation is usually done by drawing a vacuum with a vacuum pump and mildly heating the cylinder to expedite the evacuation. Pure evacuation cleaning can take up to two days of continuous vacuum so an alternating cycle of purging and evacuating the container is recommended.

Exfiltration

Air flow out of a building structure. To measure exfiltration, a blower door is attached to the structure and the interior is pressurized and accurate measure is made of the exfiltration rate and areas of leakage.

Exothermic

Pertaining to heat generation. A chemical reaction is exothermic if it liberates heat as the reaction proceeds.

F

F-Number(f/#)

The ratio of focal length to aperture for a lens assembly.

Fahrenheit

A temperature measurement scale which defines the ice point of water as 32 degrees F and the boiling point of water as 212 degrees F. Absolute zero is -459.7 degrees F.

Far Infrared (LWIR)

Infrared radiation whose wavelength is in the range from 8 to 100 microns.

Field of View(FOV)

The total field measured in angle within which objects can be imaged or measured and displayed by an infrared system.

Filter (Optical)

An optical device which modifies the characteristics of radiation which is passed through it. Usually filters either attenuate all wavelengths of radiation a certain controlled amount or modify the optical pass band of the radiation - eliminating selected wavelengths or bands while allowing others to pass.

Fluorescence

The spectral emission of long wave radiation such as visible or infrared illumination by some materials when stimulated shorter wave radiation.

Focus

The ability of a lens or system to bring image radiation to a point of convergence within the confines of the active detector sensing area.

Focal Length

The distance from the convergent point for the radiation (focal point) to its affiliated principal plane.

Focal Plane

The plane created by mapping the points of convergence for rays which pass through a lens assembly from an object which is moved on a plane perpendicular to the optical axis at great distance from the lens assembly (i.e. collimated rays). For a detector to work properly, all of its active elements must be placed in the same focal plane for such an object. Otherwise, portions of the object space will appear defocused.

Frame Memory

A digital memory, usually of dynamic RAM chips, which is used to contain the entire image data scene at once. This is usually a bit mapped memory where each pixel of image data is located in it properly scaled x and y location. It is usually in the frame memory that the image scan conversion is completed.

Frequency

The number of cycles an operation occupies per period of time. The normal unit of measurement for frequency is Hertz.

Front Surface Mirror

A mirror whose reflective surface is on the same side as the incident radiation. Front surface mirrors coated for maximum reflection are normally used in infrared optics to maximize the signal strength of the reflected radiation.

G

Geometric Concentration

The ability of a lens to concentrate radiation on the focal point; the ratio of aperture size to active detector area.

Graybody

A thermal reference source which maintains an output, not at 100% emission (which would be a blackbody) but at a lesser ratio. Graybody emissions maintain a constant emission ratio over a wide frequency range. This distinguishes them from spectral radiators.

Gray Scale

An area of the screen reserved for displaying an increasing ramp of image intensities to be used as a calibration aid. Periodic intensity levels are labeled with the temperature or radiation value they represent.

H

Heat

Thermal energy.

Heat Capacity

A measurement of an objects ability to store thermal energy. Heat capacity equals the specific heat of an object multiplied by its density multiplied by its size (or specific heat times mass).

Heatsink

A device for dissipating heat; it absorbs heat by conduction from heat producing devices and dissipates heat by means of convection.

Heat Transfer

The flow of thermal energy from one object to another.(By means of conduction, convection or radiation).

Hertz(Hz)

A unit for measuring frequency. One hertz is one cycle per second.

High-Pass Filter

A filter which is blocked at low wavelength, whose transmission spectrum extends from a low cut-on wavelength up in wavelength to the maximum pass wavelength of the detector.

Hue

A term expressing the "color" aspect of a color display; part of the HLS (Hue, Luminosity, Saturation) color model. Without hue, there are only shades of gray.

Hybrid(circuit)

A process or the result of a process for making electronic components of higher density than normal printed circuit board technology. Since hybridizing electronics can be more expensive than discrete circuitry it is only used when space is at a premium as in the sensing head electronics of an infrared system.

Hydrostatic Testing

A means of testing high pressure reservoir integrity which involves placing the reservoir in a large tank of water, filling the reservoir with water to a known pressure and measuring the amount of flexure in the reservoir walls by monitoring water displacement in the tank.

Image Uniformity

See shading.

Image Enhancement or Signal Noise Improvement

Techniques used to modify an image to present an observer with more readily accessible information.

Imager

The part of an infrared system which contains the detector, optics and scanning mechanism. The imager must be held and pointed at whatever scene is to be studied. The word imager is sometimes used instead of viewer to mean an infrared system which creates relative radiation images without calibration.

Incident Radiant Energy

Total energy impinging on a surface from the surroundings.

Infiltration

The movement of air into a building structure. Along with exfiltration of hot interior air, infiltration of cold exterior air can be the principal heat loss mechanism in a structure.

Infrared (IR)

Electromagnetic radiation which occupies the band from 0.7 microns to 100 microns. Infrared radiation is between the visible spectrum and microwave radiation.

Infrared Film

Photographic media which can image radiation in the SWIR band from about 0.7 microns to 1.1 microns.

Infrared-window

An optical element usually placed on the front of an infrared system that is transparent to infrared radiation but excludes radiation of other wavelengths and protects the internal sensor components.

Instantaneous Field Of View (IFOV)

The angle in mill radians derived by dividing the active detector element's size by the system's effective focal length. An effective figure of merit for system resolution can be derived by dividing the field of view by the instantaneous field of view.

Insulation

A material to reduce heat transfer by conduction. A good insulator has a large R-value and a large thermal resistance; a low thermal conductivity.

Interlace

A technique used in visual displays to produce high resolution images at update rates slower than the eye flicker frequency. With interlace, a fraction of the total frame lines (called a field) is displayed at multiples of the frame rate. These lines are spread out across the entire display area and with each field update, a different set of lines are displayed. The number of fields required to reconstruct the entire frame is the interlace factor. The lines are usually spaced apart by the interlace factor. Normal television is interlaced by a factor of two fields per frame.

Isotherm

Areas or lines of constant temperature.

Isothermal Windowing

An image processing feature which allows the user, to enhance a range of isotherm or isoradian levels. This feature allows the user to highlight areas of similar temperature and easily find the hottest and coldest object in an area such as an electrical distribution panel.

J

Joule

A measurement of thermal energy. one joule is one newton meter, 10 7 ergs, or approx. 0.737 foot-pounds.

K

Kelvin

The most commonly used absolute temperature scale. The scale is based on the Celsius scale degree increment with 0 degrees K equal to absolute zero.

Kinetic Energy

The energy of motion.

L

Lag (Thermal Time)

The delay between the construction of a thermal gradient and the achievement of equilibrium.

Lens

An optical component constructed of transparent substance with one or two curved surfaces of different curvature which has the ability to change the direction of beam travel. Infrared lenses are used for focusing the detector at a distance of interest and for modifying the size and distance of the focused field of interest.

Limiting Resolution

The highest spatial frequency which a system can resolve, regardless of target temperature. Ultimately the spatial performance end of the MRT curve. Usually expressed in mill radians.

Line Scan

An instrument scanning and display mode which scans in one direction only but displays those lines side-by-side in the perpendicular direction to create a two-dimensional thermal map of a scene over time or panning motion.

Linear

Of, pertaining to or formed by a set of straight lines.

Linear Array

A collection of active detector elements set in a straight line on a plane usually spaced equal distances apart from each other with a single element in the perpendicular direction.

Low-Pass Filter

A filter blocked at higher wavelengths, with a cutoff wavelength in the pass band of the detector that passes all wavelengths shorter than the cutoff wavelength.

Lumen

An SI unit for measuring radiant flux. One lumen is produced per solid angle by a point source with one candela intensity.

Luminance

The portion of a color display which is related to display intensity; how bright a color is perceived by the eye.

M

Melting point

The temperature at which a material converts from a solid to a liquid.

Micron (Micrometer)

A measurement of length in the metric system appropriate for measuring infrared radiation wavelengths. 1,000,000 microns equals one meter.

Microscope

An optical-assembly made for magnifying objects too small to be seen with the human eye. Infrared microscopes operate in the infrared instead of the visible.

Mid Infrared (MWIR)

The middle infrared spectrum, usually from 2.4 to 7.0 microns.

Milli Radians

A measure of small angles. Two thousand-pi mill radians can be measured in a complete circle. There are 17.4 mrads per degree of angle.

Mosaic

See FPA - focal plane array.

N

Narrow Band Pass Filter

A multilayer filter usually based on interference effects whose cut-on and cut-off frequencies are very close to each other. In infrared, the half width of a narrow band pass filter will be 0.5 to 1.0 micron.

Near Infrared (SWIR)

The shortest wavelength infrared radiation band - 0.7 to 1.4 microns.

Neutral Density Filter

A filter which attenuates radiation uniformly over a wide range of wavelengths; used in infrared systems as a temperature range extension filter.

Noise

Unwanted signal interference - usually separated into various forms of signal cross talk and random noise generated by means internal to the sensor.

O

Object Plane

The plane created by tracing ray paths backwards from the active detector elements through the focusing lens assembly, through the scanning mechanism to project the active field of focused image area in space. The object plane is an optical description of what the system can focus.

Opaque

The characteristic of not passing any incident radiation (Transmissivity = 0). An optical filter is said to be blocked in a waveband if it has less than 5% transmission over those wavelengths.

Operating Temperature Range

The range of ambient temperatures over which a system will function accurately. This range can be defined by either a calibration limit; what range of ambient temperature offsets are allowed in the data calculations or it can be due to a functional limit in the system; the ability to keep the detector cold or it can be set by a catastrophic limit; batteries may not hold their charge below certain temperatures and integrated circuits will not function above certain temperatures.

Overlap (optical)

Redundant scanning of the image field which results in multiple sets of data taken from the same image points. If done in the direction of scan this is usually considered over sampling. If done by laying scan lines adjacent to each other closer than the optical spot dimension, it is considered scan overlap.

Over Sampling

To take multiple sets of data redundantly. Usually indicates digitization of a signal at a rate faster than the maximum information frequency of the data. An over sampling rate of at least two is indicated by information theory to avoid aliasing of repetitive information.

Over Scanning

Expanding the beam deflection on a CRT so that the active viewing area is larger than the available CRT faceplace. This cuts off the edges of the active raster. This technique is used on most television monitors.

P

Passive Infrared System

The normal form of infrared system in use commercially. A passive system does not generate a thermal source to illuminate the scene, it is only acted upon. A passive system monitors the flux of photons already being generated by the scene within its field of view.

Peltier Effect

The ability for two dissimilar metals and metal/semiconductors to create a thermal difference when current flows across the dissimilar junction.

Photoconductor

A radiation sensitive resistor whose resistance decreases as it is exposed to radiant energy.

Photon

A single quantum of electromagnetic energy having momentum hf/c and energy hf.(h is Planck's constant, f is the frequency of the wave and c is the speed of light).

Photovoltaic Detector

A detector which responds to radiant flux be generating current.

Pixel (Picture element)

The smallest location size on a display or in memory. The incremental location of picture information in either horizontal or vertical direction (also called a Pel).

Polycrystalline

A material which is made to have many small crystal grain boundaries instead of one large monocrystalline structure. Materials are made polycrystalline to increase their flexibility and strength.

Principal Plane

A mathematical construct useful in analyzing complex optical assemblies. The principal planes are constructed at the effective focal length distance away from the lens assembly focus and serve to represent the mathematical position of the lens assembly assuming it could be constructed as a single thin lens.

Pyrometer

An optical instrument for remote sensing and measurement of spot temperatures or radiation levels

Q

Qualitative Analysis

An analysis of objects or processes which is concerned with deriving structural, material, or relative information. This type of analysis can be done with imagers, line scanners, and viewers; temperature or radiometric data output is not required.

Quantitative Analysis

An analysis of objects or processes which is concerned with measuring temperatures or radiant energy levels by assigning numerical values to the characteristics of the displayed scene.

Quantum Efficiency

The ratio of actual detectivity to theoretical detectivity for a given detector material.

R

Radian

A measurement of angle. There are 2 r radians in a full circle of 360 angular degrees.

Radiance

The total intensity of thermal energy (radiant flux) which can be observed from a surface. It is scaled by unit of solid angle of view and by unit of area from the surface. The flux includes all forms of radiation emission, reflection and transmission.

Radiation

Heat transfer of energy in the form of electromagnetic waves. Forms of radiation include cosmic rays, gamma rays, x-rays, ultraviolet radiation, infrared, visible light, radio, audio, and sub sonic.

Radiometer

An instrument which measures radiation levels. Such an instrument can be calibrated in power or temperature.

Rankin

A temperature scale based on O degrees R equal to absolute zero temperature. The increment of one degree Rankin is equal to one degree Fahrenheit. 459.70 Rankin is equal to O degrees F.

Re Certification

Retesting of equipment to return it to an original standard or calibration. In infrared, it is spoken of in two ways. If the infrared system is being used to produce calibrated data, it must be recalibrated to a secondary standard regularly. When high-pressure containers are used to hold the cryogen, they must be re-certified to hold the required pressure, either every three or every five years. See the notice on the cylinder.

Reflectance(Reflectivity)

The amount of total radiance which can be attributed to reflected energy. Usually expressed as a percentage of total energy.

Repeatability

A measure of accuracy and stability for an instrument. The capability of an instrument to duplicate a previous answer to a previous experiment within a limited margin of error.

Remote Sensing

To obtain a reading or measurement from a distance, without physical contact between the meter and the object to be measured.

Resolution

A measure of the capability of a system to resolve small objects against the viewing field. Measured as a ratio of angles.

Responsively

A measure of detector performance, measures the value of the detector output change for a given applied thermal power change.

Rotor

Same as scan wheel. one method of creating a field scanning mechanism using a reflective polygon, spinning on its axis.

S

Saturation

The ratio of pure color to washed out white in the display of a color. 100% saturation is pure color. 0% saturation is pure white, at whatever intensity is encoded in the color.

Scale Factor, Scaling

A factor used to adjust the gain of an object parameter. Normally used in Temperature range adjustment, the gain of the amplifiers is scaled until the desired temperature range is displayed in full contrast from black to white. The units associated with a reading is a temperature scale (F, C, K, R).

Scale Sensitivity

The minimum adjustment allowed in the system per intensity level. A system is normally configured so that the operator can set a scale sensitivity greater than the system sensitivity. If the NET of a system were 0.5*C, the scale sensitivity might be O.IOC or .050C to allow enough signal for offline image improvement features such as averaging to reduce the noise level.

Scan Conversion

The reformatting of data, usually image data from one standard to another. In the case of infrared, the sensor output is not compatible in either time nor number of lines nor number of resolution elements to television. The sensor output must be scan converted into a television format in the image processor.

Scan Efficiency

The ratio of active scan time to total scan time. Can be expressed as a function of the ratio of two angles also. Normal scan efficiencies with rotating polygons can be from 25% to 60% (with re-imaging optics). Normal scan efficiencies with galvanometer mirrors can be as high as 90%.

Sensitivity

A measure of the minimum amplitude of input signal change to which an instrument will respond. This is a measurement of thermal resolution.

Sensor

The component which converts radiation into electrical signals. Can be used to refer to the detector specifically, the imager, or the entire system.

Shading

A measure of the non-uniformity of signal in an infrared system. Shading is measured by exposing the system to a wide area, constant temperature target and measuring the variations around a mean value. Shading may be identified by source - for example optical shading will be characterized by strong responses in the center and weak responses in the corners (vignetting). Channel to channel variations in response can also be a source of shading (Channel balance).

Specific Heat

A property of materials. The specific heat of a material indicates how much thermal energy (in joules) is required to increase a mass (in grams) of material a small temperature difference (degree C). Specific heat is one of the principal factors in determining heat capacity, conduction rates in a material ' and the thermal time constant of an object subject to heating.

Spectral

Pertaining to the electromagnetic spectrum, depending on wavelength or frequency, varying based on wavelength.

Spectral Absorption

The ability a filter or gas has of transmitting radiation of some wavelength while absorbing materials of other wavelength. The atmosphere is a spectral absorber for relatively long infrared path lengths.

Spectral Emission

A source which radiates thermal energy is specific bandwidths and emits little or no radiation in others. An incandescent light is a gray body radiator while a quartz iodine light is a selective radiator. Hot pipes are gray body radiators while flames are selective (spectral) radiators.

Spot Size

The minimum size of object which can be resolved at a given distance by an optical device.

Standards, Secondacy

Secondary standards are physical standards and references. which have been calibrated directly off of the NIST primary standard. These standards are normally maintained by the more sophisticated testing laboratories and used to calibration reference standards.

Stirling Refrigerator

A component used for cooling detectors to cryogenic temperatures. A stirling cycle refrigerator operates on compression and expansion of gasses like a home refrigerator. However, the refrigerator uses the Stirling cycle and Helium gas instead of Freon.

T

Target

An object in the object plane which the system can focus on and analyze.

Temperature

An expression of thermal energy density. How hot or cold an object is.

Temperature Range

The maximum to minimum temperature display capability of a system. It should be specified whether the range under consideration is the range displayed, the total display range capability of the system, or the operating temperature range of the system.

Thermal Conductivity

A property of materials which measures the ability of a material to conduct heat. It can be expressed as power per degree length (watts/meter-C). Metals have a high thermal conductivity (conduct well) while air fibers and plastics have much poorer conductivities.

Thermal Expansion

The change of size which materials undergo as their temperature changes. In tight mechanical tolerance assemblies, the thermal expansion coefficients must be matched to maintain tolerances over an significant operating temperature range.

Thermal Gradient (or Thermal Profile)

A graph of temperature changes over a distance. A thermal gradient is usually expressed and displayed as a straight line - sometimes only vertical or horizontal.

Thermal Radiation

Electromagnetic energy whose natural wavelength fall between .7 and 100 microns.

Thermal Viewer, Thermal Data Viewer

A class of remote temperature sensing systems. This equipment class offers an image of relative radiation levels and a means for obtaining temperature information from the screen. A common alternative is to have a bulls eye target indicator and an alphanumeric overlay display of the temperature and the operator selected emissivity.

Thermal Video System

A class of remote temperature sensing systems. This class of equipment is characterized by a fully calibrated display screen, video output, provision for the standard optical and data handling accessories.

Thermocouple

A device which can measure temperatures, usually by contacting the device to be measured. The device is made from a junction of dissimilar metals, as the junction changes temperature, a voltage is created which is read by a previously calibrated meter.

Thermoelectric Cooling

A solid-state device which converts current into a temperature difference between two junctions. It is possible to put thermoelectric junctions in series or parallel to increase either the overall temperature drop or their power.

Thermogram

A two dimensional hard copy record of the apparent scene temperatures displayed on an IR system (usually a photograph of the display).

Thermography

The study of remote temperature measurement.

Thermometer

A meter for measuring temperature.

Thermopile

A number of thermocouples whose junctions are assembled in series to magnify the Seebeck voltage and increase the sensitivity of the reading. Thermopiles have been used in remote sensing pyrometers.

Transmittance (Transmissivity)

A measurement of the ability of a material to pass radiation from one side to the other without absorbing or reflecting it. Transmittance is the ratio of transmitted radiant energy to total irradiance.

U

Undershoot

The amount that a cooling cycle in a thermal feedback control system cools beyond the set point.

V

Valence Band

The energy level which contains molecularly bound electrons which can not move within the crystal lattice. For there to be conduction in a semi-conductor, valence electrons much be stimulated to overcome the energy gap and enter the conductance band.

View Factor

A factor which adjusts the radiant energy transfer values between two objects based on their relative surface geometry.

Viewfinder

A small display attached to a camera (or IR sensor) for aiding the operator in adjusting the location and display characteristics of the equipment. A viewfinder reproduces the finally system display at a reduced size and resolution, usually in black and white to help with adjustments.

(Infrared) Viewer

A class of remote infrared sensing equipment. This class of-equipment creates an image of relative radiation levels but does not allow any direct readout of intensity values. This kind of equipment is quite useful for police, fire, and security use. Viewers have been used effectively for many years in the qualitative analysis of maintenance inspections.

Void (thermal)

An area in a surface which displays significantly different thermal impedance from adjacent areas. This can be due to a different object internal -structure - such as an insulation void in the wall of a building.

W

Wavelength

The length of distance between cycles on a repetitive event.

Wein's Displacement Algorithm

A statement relating the temperature of an object to the wavelength of maximum radiative output. (They are inversely proportional.)

X

X-Ray

Refer graphic spectral range chart

Y

Y-Junction

Branching-off point

Z

Z-Transfer

Z-Tranfer function (elec.)

Die Bauthermografie als auch die Bauthermografie zur Erstellung von Energiepass, Energiepaß, Gebäudeenergiepass und die Elektrothermografie, Elektrothermografie, Elektro Thermografie mit FLIR (Foward Looking InfraRed Cameras) Infrarot-thermografie Systemen, Infrarot-Thermografie und thermografischen Infrarotkamera und Infrarotkameras erlauben Infrarotmessung auf dem Bereich der Infrarotthermografie als auch der Infrarotthermografie. Leitungsortung mit Mikrobolometer Technik von NEC San-ei und NEC-Infrarotkameras einer ThermaCAM, VarioCAM, ThermaCam oder andere Thermocameras, Mikrobolometer, Microbolometer uncooled Focal Plane Array IR-Kameras mir 160x120, 320x240 oder 640x480 radiometrische Pixel, Bildpunkte zur Thermografie mittels Thermografiekamera, Thermografiekameras und Thermografie sowie Thermografiekamera und Thermografiekameras ist eine Thermokamera oder Thermokameras eine Thermovision IR-Kameraausstattung, im Rahmen von PPM Anwendungen, der Schimmelbekämpfung mit Zertifizierungsmöglichkeit über SectorCert IT. Näher bringt IT Zertifizierung über VDS, VATh, VET, OGfTh und ASNT mit IT Level 1, Stufe 1, Level 2, Stufe 2, Level 3, Stufe 3 IT, (IT Infrarot Thermografie) die Wärmebildtechnik mit seinen Wärmebildern aufgenommen mit einer Wärmebildkamera, Wärmebildkameras, zur Feststellung von Wärmeisolierung wobei sich Wärmekamera oder Wärmekameras dem Thermografen auch anbieten wie electrische inspekties, infrared camera, infrarood camera oder infraroodcamera und infraroodthermografie für lekdetectie und onderhoud sowie preventief onderhoud, warmtebeeld mit thermacam oder thermography variocam zur vorbeugenden Instandhaltung empfiehlt sich NEC Thermo Tracer TH7700, TH7800, TH9100 und TH6290 sowie Industrie Thermokamera und Infrarot Prozesskontrolle TS9200, wie auch in quality management, process control, conditional monitoring, traffic management and surveillance, übersetzt Qualitätswesen, Prozesskontrolle und Fertigungsüberwachung sowie Verkehrsmanagement und Sicherheits- und Überwachungstechnik. Bauthermografie, Bauthermografie, Elektrothermografie, Energiepass, Energiepaß, FLIR, Gebäudeenergiepass, Infrarot-thermografie, Infrarot-thermografie, Infrarotkamera, Infrarotkameras, Infrarotmessung, Infrarotthermografie, Infrarotthermografie, Leitungsortung, Mikrobolometer, NEC San-ei, NEC-Infrarotkamera, PPM, EnEv, Schimmelbekämpfung, SectorCert IT, ThermaCAM, ThermaCam, Thermocamera, Thermografie, Thermografiekamera, Thermografiekameras, Thermografie, Thermografiekamera, Thermografiekameras, Thermokamera, Thermokameras, Thermovision, VATh, VarioCAM, Wärmebild, Wärmebilder, Wärmebildkamera, Wärmebildkameras, Wärmeisolierung, Wärmekamera, Wärmekameras, berührungslose Temperaturmessung, electrische inspekties, elektrothermografie, fluke, gebäudethermografie, impac, industriethermografie, infrared camera, infrared cameras, infrared thermography, infrarood camera, infraroodcamera, infraroodthermografie, infrarot messtechnik, jenoptik, land, lekdetectie, mikron, onderhoud, preventief onderhoud, gsat, thermacam, thermal camera, thermo camera, thermografie grundlagen, thermografie kamera, thermografie messung, thermographic camera, thermografie kamera, thermography, thermography, camera, variocam, vorbeugende Instandhaltung, warmtebeeld, wuhan guide,