



Wir messen es.



Leitfaden zur Infrarot-Messtechnik

3. überarbeitete Auflage

Die von unserem Unternehmen zusammengestellten Informationen werden nach Ausübung aller erforderlichen Sorgfalt und Fachkenntnis während ihrer Zusammenstellung, Vorbereitung und Herausgabe aufgeführt. Sie werden hinsichtlich ihrer Anwendung und ihres Gebrauchs – auch im Hinblick auf wissenschaftlichen oder technischen Fortschritt oder juristische Fortschreibung geltender Rechtsnormen – jedoch ohne Gewähr vermittelt. Es ist untersagt, die in dieser Veröffentlichung enthaltenen Informationen ohne vorherige Genehmigung durch die Ersteller zu vervielfältigen oder für andere als den beschriebenen Anwendungszweck zu nutzen.

Vorwort

Die vorliegende Fibel „Leitfaden zur Infrarot-Messtechnik“ entstand durch eine Zusammenfassung täglich auftretender Fragestellungen unserer Kunden zum Thema berührungslose Temperaturmesstechnik.

Das berührungslose Messen von Oberflächentemperaturen ist technisch schon seit etwa 1960 möglich, doch waren die teuren Sensoren und Auswertegeräte ein Hemmnis für die breite Anwendung in Industrie und Handwerk. Durch neue Fertigungstechniken und sinkende Komponentenpreise bei Bauteilen gelang in den 1990er Jahren der Durchbruch dieser Technologie. Dies beweisen beispielsweise die tausendfach im elektrischen Installationsbereich eingesetzten Infrarot-Schalter eindrucksvoll. So sind heute kleine, preisgünstige Temperatur-Handmessgeräte zur berührungsfreien Messung möglich, die nicht mehr kosten als das Sensor-Bauelement eines vergleichbaren Gerätes in den 1970er Jahren.

Die Hauptanwendung finden berührungsglos arbeitende Temperaturmessgeräte überall dort, wo andere Messmethoden (z.B. Kontaktthermometer) nicht oder nur bedingt angewendet werden können. Beispiele hierfür sind spannungsführende Teile, raue Oberflächen, Objekte mit geringer Wärmeleitfähigkeit und rotierende Maschinenteile oder verpackte Lebensmittel, die beim Einstechen eines Messfühlers beschädigt werden.

Da bei dieser Messtechnik die von der Oberfläche des Messobjektes ausgehende IR-Strahlung erfasst und ausgewertet wird, sind im Vergleich zur Kontaktmessung einige elementare Grundregeln zu beachten, um Messfehler zu vermeiden. Diese „Tipps und Tricks“ sind mit Beispielen aus der täglichen Messpraxis ergänzt worden, um dem Anwender eine praxisnahe, wertvolle Hilfestellung zu geben.

Wolfgang Schwörer,
Leitung Produktmanagement

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	3
Inhaltsverzeichnis	4
1. Wärmestrahlung	6
1.1 Grundlagen	6
1.2 Vorteile der Infrarot-Messtechnik	7
1.3 Geschichte der Infrarot-Messtechnik	9
1.4 Elektromagnetisches Wellenspektrum	10
Atmosphärische Fenster	12
1.5 Emission, Reflexion, Transmission	13
1.6 Das Messobjekt	14
Schwarzer Strahler	14
Realer Körper	15
Grauer Strahler, Bunter Strahler	15
2. Aufbau eines Infrarot-Messgerätes	16
2.1 Messanordnung/Messsystem	16
2.2 Welche Parameter gehen ins Messergebnis ein?	17
3. Emissionsgrad	18
3.1 Typische Emissionsgrade	18
3.2 Auswirkungen auf das Messergebnis an Beispielen	19

4. Anwendungen und Praxistipps	21
4.1 Fehlerquellen/Ursachen/Kompensation bei Infrarot-Messgeräten	21
4.2 Lösung verschiedener Messaufgaben	24
Beispiele für die berührungslose Messung	26
Anwendungsbeispiele	28
4.3 Weitere Praxistipps	33
Infrarot-Messgeräte	33
Prüfen und kalibrieren	35
Emissionsgrad	35
4.4 Gegenüberstellung Infrarotthermometer und Wärmebildkamera	36
4.5 Zusammenfassung: Berührungslose Messung oder Kontakt-	
Oberflächenmessung? – Empfehlung von Testo	37
Berührungslose Infrarot-Temperaturmessung	37
Die Kontaktmessung-Temperaturmessung	38
Fazit	40
Anhang: Emissionsgradtabellen	41

1. Wärmestrahlung

1.1 Grundlagen

Es ist eine aus dem täglichen Leben bekannte Tatsache, dass alle Körper in Abhängigkeit von ihrer Temperatur elektromagnetische Wellen, sprich Strahlung, aussenden. Bei der Ausbreitung der Strahlung wird Energie transportiert, die letztlich erlaubt, mit Hilfe der Strahlung die Temperatur des Körpers berührungslos zu messen.

Die abgestrahlte Energie und deren charakteristische Wellenlängen sind in erster Linie von der Temperatur des strahlenden Körpers abhängig.

Im Idealfall nimmt ein Messobjekt alle Energie auf (Absorption) und wandelt diese in eigene Wärmestrahlung um (Emission). In einem solchen Fall spricht man dann vom sogenannten „Schwarzen Strahler“. In der Natur tritt dieses Verhalten so gut wie nie auf; es findet vielmehr zusätzlich Reflexion und Transmission der Strahlung an bzw. durch einen Körper statt.

Um jedoch in der Praxis trotzdem zuverlässige Messergebnisse mit

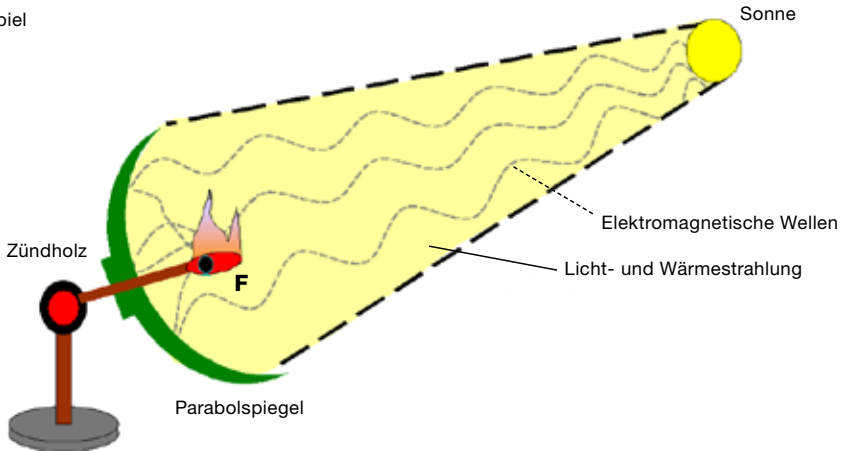
Infrarot-Messsystemen zu erzielen, ist es erforderlich, dieses Verhalten von Emission, Reflexion und Transmission (siehe auch 1.4) genau zu erkennen oder mit geeigneten Maßnahmen diesen Einfluss zu eliminieren.

Möglich wird dies durch Referenz-Messungen mit Kontakt-Thermometern oder durch eine bewusste Veränderung der Messfläche, so dass diese für die Infrarot-Messtechnik einfach zu handhaben ist; so beispielsweise durch Farbanstriche mit Lacken, durch Kleber und Leim, durch Kunststoffüberzüge oder Papiersticker.

Ob und wie Maßnahmen zu erfolgen haben, entscheiden letztendlich Messobjekt und Messumgebung. Eine Hilfestellung bei der Beurteilung bietet die Einteilung der Anwendungsfälle nach dem Erscheinungsbild der Messobjekte und deren Oberfläche.

Hierzu wird später in Punkt 4 „Anwendungen und Praxistipps“ eingegangen.

Beispiel



Richtet man beispielsweise einen Parabolspiegel mit einem Zündholz im Brennpunkt des Spiegels genau nach der Sonne aus, so entzündet es sich nach kurzer Zeit. Ursache dafür ist die Wärmestrahlung der Sonne, die vom Parabolspiegel auf einen Punkt F (Focus = Brennpunkt) konzentriert wird.

1.2 Vorteile der Infrarot-Messtechnik

In den letzten Jahren ist eine überproportionale Zunahme von Anwendungen mit Infrarot-Messsystemen zu verzeichnen. Sicher spielen bei dieser Entwicklung folgende Faktoren eine wichtige Rolle.

- Infrarot-Messtechnik bietet eine einfache Temperaturerfassung selbst bei schnellen, dynamischen Prozessen. Dies wird durch die kurze Ansprechzeit der Sensoren und Systeme unterstützt.
- Die Systeme bieten eine ausgereifte, moderne Technik mit zuverlässiger Sensorik und moderner Mikroprozessor-Elektronik.

- Durch ihre Rückwirkungsfreiheit, d.h. ohne Einfluss auf das Messobjekt, sind Online-Messungen an empfindlichen Oberflächen und sterilen Produkten ebenso durchführbar wie Messungen an gefährlichen oder schwer zugänglichen Stellen.

Nicht zu vernachlässigen bei dieser Entwicklung sind neben technischen Vorzügen auch die kundenfreundliche Preisgestaltung dieser Systeme durch eine kostenoptimierte Fertigung, die zielgerichtet auf große Stückzahlen ausgelegt wurde.

Infrarot-Temperaturmessgeräte eignen sich besonders...

...bei schlechten Wärmeleitern, wie Keramik, Gummi, Kunststoffen etc. Ein Fühler für kontaktbehaftete Messung kann nur die richtige Temperatur anzeigen, wenn er die Temperatur des Messkörpers annehmen kann. Bei schlechten Wärmeleitern ist dies meist nicht der Fall bzw. sind die Einstellzeiten sehr lang.



...für die Bestimmung der Oberflächentemperatur von rauen Oberflächen (z.B. Putz, Rautapete, etc.). Eine Messung mit Fühlern ist aufgrund des schlechten Wärmekontakts bedingt durchführbar.



...für sich in Bewegung befindliche Teile, z.B. laufende Papierbahnen, drehende Reifen, laufende Blechbahnen etc.



...für nicht berührbare Teile, z.B. Lebensmittel, lackierte Teile, keimfreie Teile oder an aggressiven Medien.

...für spannungsführende Teile, z.B. elektrische Bauelemente, Stromschienen, Transformatoren etc.

...für kleine und massearme Teile, z.B. Bauelemente und alle Messobjekte, bei denen ein Kontaktfühler zu viel Wärme entzieht und somit Fehlmessungen verursacht.

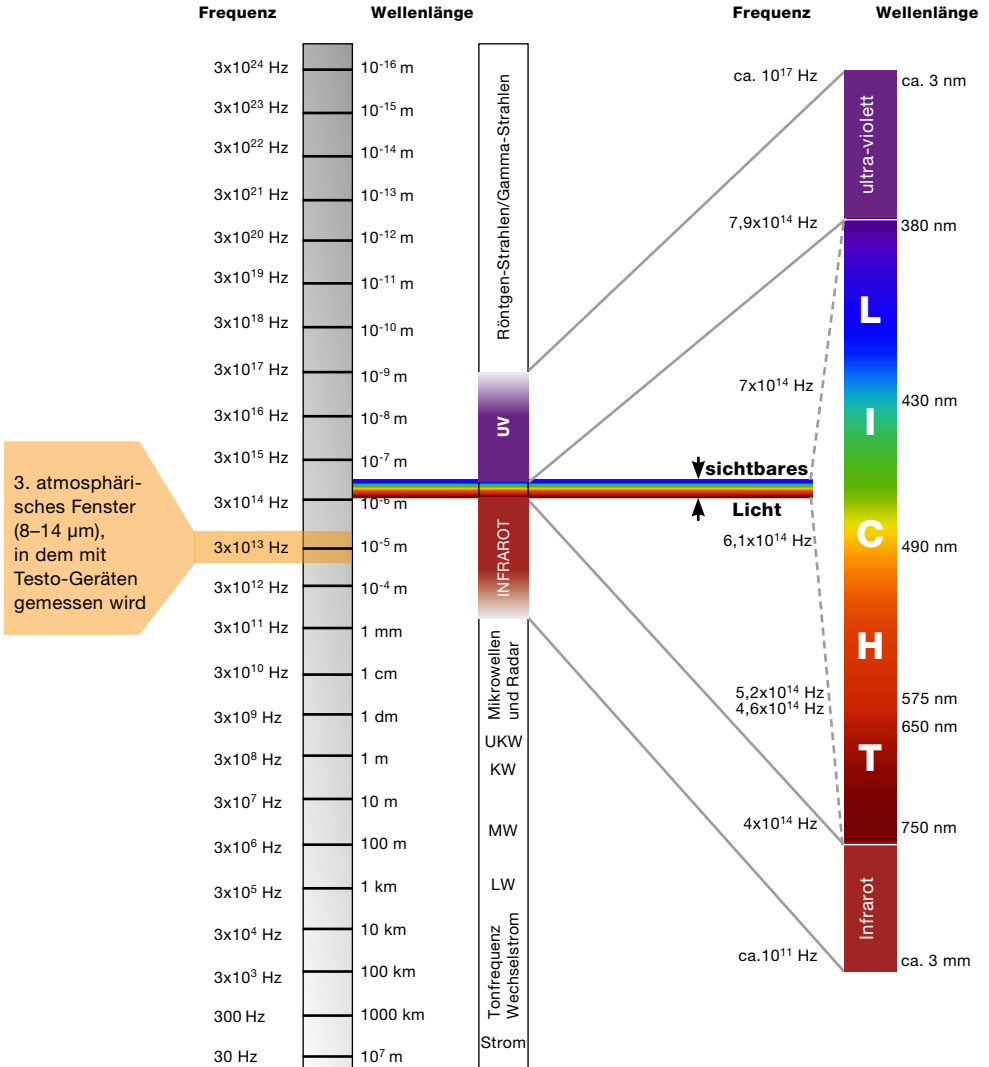
...für Messungen von kleinsten und größten Flächen durch Wahl verschiedener Objektive.

1.3 Geschichte der Infrarot-Messtechnik

Die Messung hoher Temperaturen war bis 1960 die wesentliche Anwendung von Strahlungsthermometern. Danach wurden jedoch verschiedene Typen von Strahlungsempfängern entwickelt, die auch noch bei Wellenlängen größer $8\ \mu\text{m}$ empfindlich sind und somit eine zuverlässige und genaue Temperatur-Messung bis weit unter den Gefrierpunkt des Wassers ermöglichen.

- 1800 Herschel entdeckt das IR-Spektrum durch Versuche mit einem Flüssigkeits-Thermometer mit IR-absorbierender Kugel
- 1900 Plank'sche Strahlungsgesetze
- 1938 Buch „Optische Pyrometrie“ (Messtechnische Anwendung)

1.4 Das elektromagnetische Wellenspektrum



Erklärung:

Die elektromagnetische Strahlung folgt immer den gleichen fundamentalen Naturgesetzen, wird jedoch vom Menschen völlig unterschiedlich wahrgenommen. Wahrnehmungen sind Licht oder Wärme, andere Bereiche wie z.B. Röntgenstrahlung werden gar nicht oder nur anhand ihrer Wirkung (UV-Licht führt zum Sonnenbrand) wahrgenommen. Das elektromagnetische Strahlungsspektrum erstreckt sich über ca. 23 Zehnerpotenzen.

Umgangssprachlich wird als Licht nur der sichtbare Teil der elektromagnetischen Strahlung, das VIS (visible = sichtbar) bezeichnet. Er umfasst die Wellenlängen-bereiche von 380 nm (violett) bis 750 nm (rot). Die Grenzen dieses Bereichs werden durch die Empfindlichkeit des menschlichen Auges definiert.

Daran schließt sich im kurzwelligen Bereich das Ultraviolett (UV) an.

Im langwelligen Bereich grenzt an das sichtbare Licht das Nahinfrarot (NIR). Es reicht von 750 nm bis 2,5 μm . Als nächstes folgt der Spektralbereich des mittleren Infrarot (MIR oder nur IR). Es umspannt den Bereich von 2,5 μm bis 25 μm . Der Bereich des fernen Infrarot (FIR) umfasst die Wellenlängenbereiche 25 μm bis ca 3 mm.

Atmosphärische Fenster:

Was sind atmosphärische Fenster und warum wird in diesen Bereichen gemessen?

1. atmosphärisches Fenster
2 μm – 2,5 μm
2. atmosphärisches Fenster
3,5 μm – 4,2 μm
3. atmosphärisches Fenster
8 μm – 14 μm

Im Bereich der sogenannten atmosphärischen Fenster gibt es zwischen Messobjekt und Messgeräte nur sehr geringe Absorption oder Emission von (elektromagnetischer) Strahlung durch Bestandteile der Luft. Deshalb gibt es insbesondere bei Abständen kleiner 1 m zum Messobjekt keine Einflüsse durch die in der Luft üblicherweise enthaltenen Bestandteile.

Die Messungen niedriger und negativer Temperaturen sind nur im Bereich von 8 bis 14 μm möglich, da zur Erzeugung eines brauchbaren Signals ein breites Energieband zur Auswertung herangezogen wird.

1.5 Emission, Reflexion, Transmission

Wie am Anfang schon erwähnt, sendet jeder Körper oberhalb des absoluten Nullpunktes (0 Kelvin = -273,15 °C) elektromagnetische Strahlung aus.

Die vom Messkopf erfasste Strahlung besteht aus der **Emission** des Messkörpers, sowie aus Fremdstrahlung durch **Reflexion** auf den Messkörper und **Transmission** durch den Messkörper. Die Summe dieser Strahlung (100% bzw. 1) wird vom Gerät ausgewertet. Da das Gerät die Anteile der Strahlung nicht kennt, muss ihm mitgeteilt werden, welchen Anteil davon die Emission des Messkörpers ist (Emissionsgrad).

Zusammenfassend gesagt:

Der Emissionsgrad (ϵ)

beschreibt die Fähigkeit eines Gegenstandes, Infrarot-Strahlung zu emittieren (auszusenden).

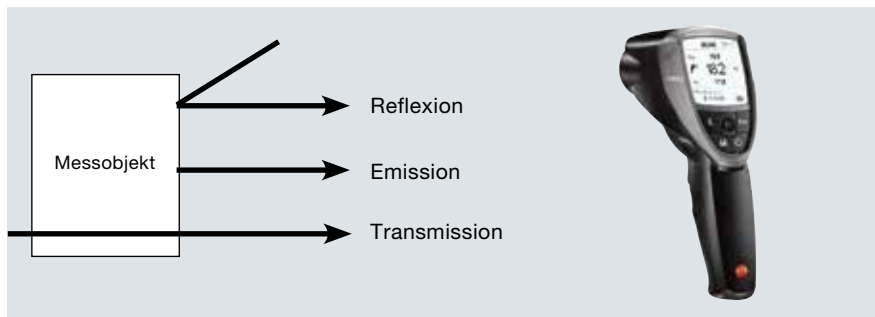
Der Reflexionsgrad (R)

beschreibt die Fähigkeit eines Gegenstandes, Infrarot-Strahlung zu reflektieren. Er hängt von der Oberflächenbeschaffenheit und der Art des Materials ab.

Der Transmissionsgrad (T)

beschreibt die Fähigkeit eines Gegenstandes, Infrarot-Strahlung durchzulassen. Er hängt von der Stärke und der Art des Materials ab und gibt die Durchlässigkeit des Materials für Infrarot-Strahlung an.

Diese drei Größen können Werte zwischen 0 und 1 (bzw. zwischen 0 und 100%) annehmen.



Hinweis: Zur Wahl des richtigen Emissionsgrades siehe Kapitel 4.3 „Weitere Praxistipps zu Emissionsgrad“.

1.6 Das Messobjekt

Bei jeder Anwendung steht primär das Messobjekt im Vordergrund. Die Aufgabe besteht darin, die Temperatur exakt und präzise zu bestimmen.

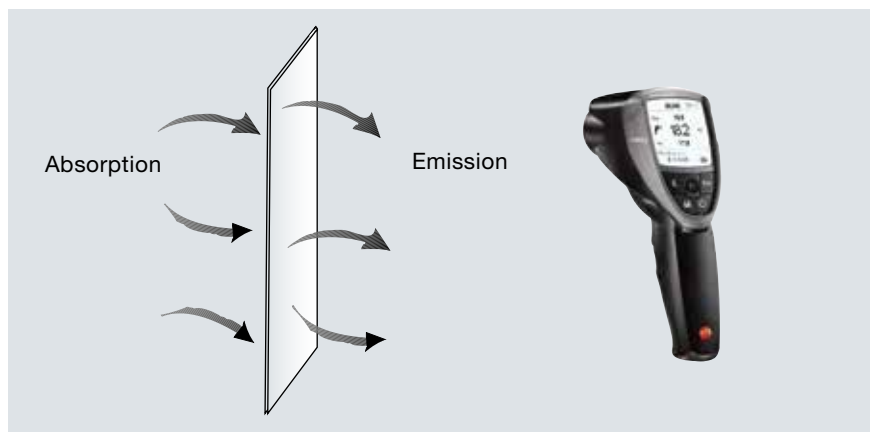
Ob Festkörper, Flüssigkeiten oder Gase, jedes Messobjekt stellt sich für einen Infrarotsensor individuell und spezifisch dar. Dieses beruht auf seiner material- und oberflächenspezifischen Gegebenheit. So lassen sich viele organischen Produkte und Flüssigkeiten

ohne besondere Maßnahmen messen. Metalle hingegen, insbesondere mit spiegelnden Oberflächen, bedürfen besonderer Betrachtung.

Ist der Reflexionsgrad und der Transmissionsgrad gleich 0, so hat man einen idealen Messkörper, den sog. „Schwarzen Strahler“, dessen abgestrahlte Energie sich durch das Plank'sche Strahlungsgesetz berechnen lässt. Ein solch idealer Körper hat ein Emissionsvermögen von $\epsilon = 1$.

Schwarzer Strahler (Idealer Strahler)

Er absorbiert und emittiert 100%. Emissionsgrad $\epsilon = 1$.

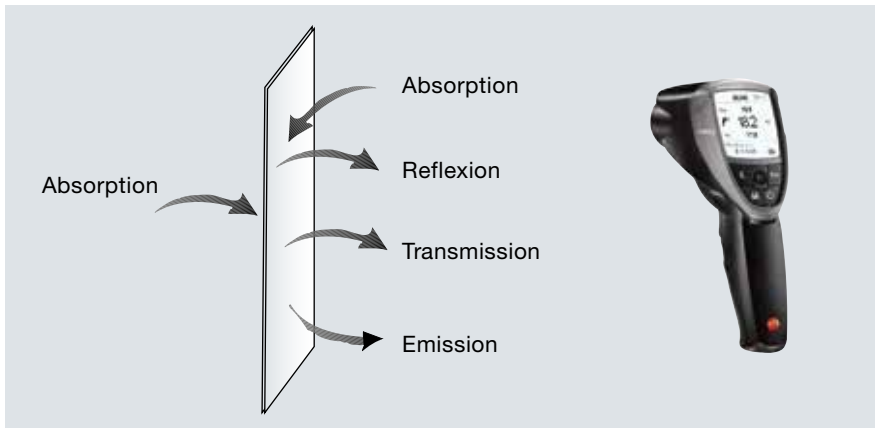


Schwarzer Strahler

In der Realität liegen solche idealen Bedingungen jedoch nicht vor. Transmission und Reflexion gehen bei der Messung immer als Störgrößen mit ein.

Realer Körper

Ein Teil der Strahlung wird reflektiert bzw. geht hindurch. Emissionsgrad $\epsilon < 1$.



Realer Körper

Grauer Strahler (ϵ kleiner 1)

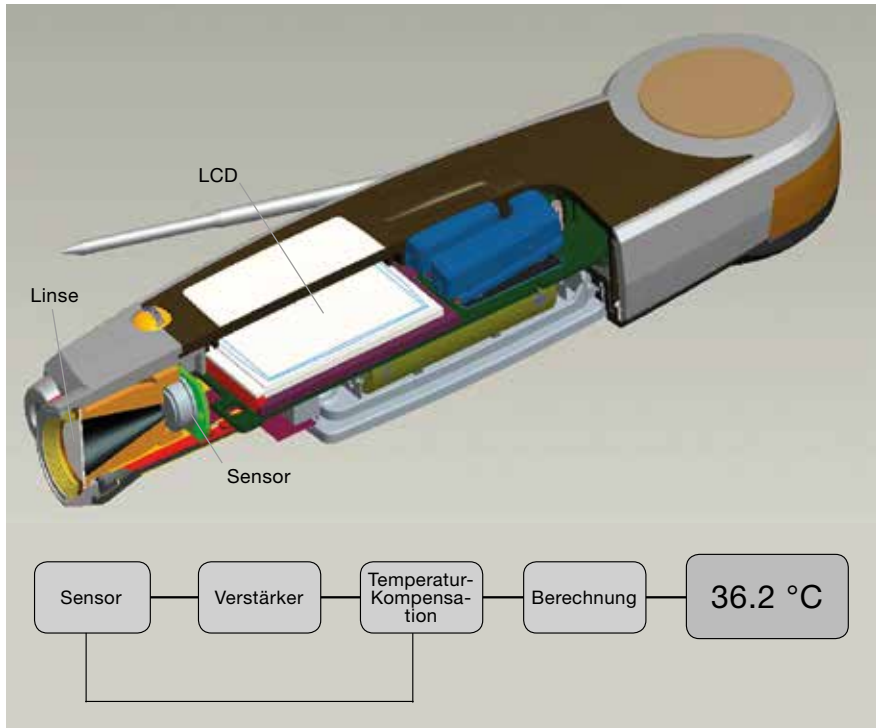
Die meisten in der Natur vorkommenden Körper bezeichnet man als „Graue Strahler“. Sie weisen die gleiche Charakteristik wie Schwarze Strahler auf. Lediglich die Intensität der abgegebenen Strahlung ist geringer. Dies wird durch die Einstellung des Emissionsgrades korrigiert.

Bunter Strahler

Bunte Strahler sind Materialien, bei denen der Emissionsgrad von der Wellenlänge und damit von der Temperatur abhängig ist. Das bedeutet, dass ein solcher Körper z.B. bei $+200\text{ }^{\circ}\text{C}$ einen anderen Emissionsgrad als bei $+600\text{ }^{\circ}\text{C}$ hat. Dies gilt für die meisten metallischen Werkstoffe. Hierbei muss beachtet werden, dass der Emissionsgrad ϵ bei der Messtemperatur ermittelt wird.

2. Aufbau eines Infrarot-Messgerätes

2.1 Messanordnung / Messsystem



Querschnitt durch ein testo 104 Thermometer

Die Strahlung wird mit Hilfe einer Linse (hier einer Fresnel Linse) gebündelt und auf den Sensor gebracht. Dieser wandelt die Strahlung in eine elektrische Spannung um, die verstärkt und zum Mikroprozessor weitergeleitet wird. Der Prozessor berechnet aus der aufgenommenen Strahlung und der

Umgebungsstrahlung (=Gerätetemperatur) unter Berücksichtigung des Emissionsgrades die Temperatur des Messobjektes.

Da es sich im Prinzip um eine optische Messmethode handelt, muss die Linse immer staubfrei und sauber gehalten werden.

2.2 Welche Parameter gehen ins Messergebnis ein?

- a) Messobjekt
 - Temperatur des Messobjektes
 - Emissionsgrad des Messobjektes
- b) Umgebungsstrahlung
 - Eigentemperatur der Optik-Baugruppe

Das Messgerät ermittelt folgende Größen:

SM = Strahlung vom Messobjekt

SU = Umgebungsstrahlung (wird meist mit Gerätetemperatur gleichgesetzt)

Hieraus wird bei bekanntem Emissionsgrad ϵ das wirksame Signal **SW** berechnet:

$$SW = \frac{SM - SU}{\epsilon} + SU$$

Die Messobjekt-Temperatur ist eine Funktion des so ermittelten wirksamen Signales **SW**:

T Messobjekt = f (SW)

Im Messgerät wird aus der wirksamen Strahlung **SW** die Temperatur des Messobjektes berechnet.

3. Emissionsgrad

3.1 Typische Emissionsgrade

Lebensmittel

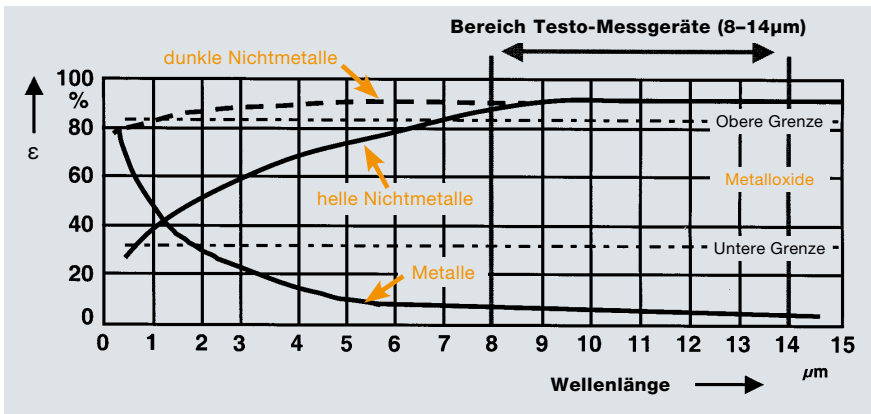
Lebensmittel haben, wie alle organische Materialien, gute Emissionseigenschaften und sind relativ unproblematisch mittels Infrarot-Messung zu messen.

-> Die meisten organischen Stoffe (z.B. Lebensmittel) haben einen Emissionsgrad von ca. 0,95. Deshalb wird dieser Wert in vielen Geräten fest eingegeben, um Messfehler durch (unbemerkt) falsch eingestellte Emissionsgrade zu vermeiden.

Blanke Metalle

haben im Bereich 8 bis 14 μm sehr kleine Emissionsgrade und sind deshalb schlecht zu messen.

-> Emissionsgraderhöhende Beschichtungen wie z.B. Lack, Ölschicht oder Emissions-Klebeband (z.B. testo Best.-Nr. 0554 0051) auf Messobjekt aufbringen oder mit Kontakt-Thermometer messen.



Emissionsgrade verschiedener Stoffe abhängig von der Wellenlänge (schematisierte Darstellung)

Metalloxide

weisen kein einheitliches Verhalten auf. Die Emissionsgrade liegen zwischen 0,3 und 0,9 und sind im allgemeinen stark wellenlängenabhängig.

-> Emissionsgrad durch Vergleichsmessung mit Kontakt-Thermometer ermitteln oder Beschichtung mit definiertem Emissionsgrad aufbringen.

Helle Nichtmetalle / dunkle Nichtmetalle / Kunststoffe

wie weißes Papier, Keramik, Gips, Holz, Gummi, dunkles Holz, Gestein, dunkle Farben und Lacke usw. haben bei Wellenlängen größer 8 μm oft einen Emissionsgrad von ca. 0,8.

Einfluss von Farben auf das Messergebnis

Helle und dunkle Nichtmetalle unterscheiden sich demnach bezüglich ihres Emissionsverhaltens bei längeren Wellenlängen kaum. Es spielt beispielsweise keine Rolle, ob Farben und Lacke schwarz, blau, rot, grün oder auch weiß sind. Ein weiß lackierter Heizkörper mit einer Temperatur von +40 °C bis +70 °C strahlt genauso gut wie ein schwarz lackierter Körper, da seine Temperaturstrahlung vorwiegend bei langen Wellenlängen > 6 μm ,

also weit ausserhalb des sichtbaren Bereichs, ausgesandt wird.

3.2 Auswirkung auf das Messergebnis an Beispielen

Beispiel 1:

- Messobjekt (Pizza, tiefgekühlt, $T = -22\text{ °C}$)
- Emissionsgrad = 0,92
- Infrarot-Messung bei Umgebungstemperatur +22 °C
- Fest eingestellter Emissionsgrad von 0,95
- Anzeige Infrarot-Messgerät: -21 °C

Das heißt, das Messgerät zeigt um ca. 1 °C falsch an.

-> vernachlässigbar

Beispiel 2:

- Messobjekt (Messingplatte oxidiert, $T = +200\text{ °C}$)
- Emissionsgrad = 0,62
- Infrarot-Messung bei Umgebungstemperatur +22 °C
- Eingestellter Emissionsgrad 0,70
- Anzeige Infrarot-Messgerät: +188 °C

Das heißt, das Messgerät zeigt um ca. 12 °C falsch an.

-> nicht vernachlässigbar

Fazit:

Je größer die Differenz von Messobjekttemperatur zur Umgebungstemperatur und je kleiner die Emissionsgrade, desto größer werden die Fehler bei falschem Emissionsgrad!

Bei Temperaturen größer der Umgebungstemperatur

- Zu groß eingestellte Emissionsgrade ergeben zu niedrige Temperaturanzeigen.
- Zu klein eingestellte Emissionsgrade ergeben zu hohe Temperaturanzeigen.

Bei Temperaturen kleiner der Umgebungstemperatur

- Zu groß eingestellte Emissionsgrade ergeben zu hohe Temperaturanzeigen.
- Zu klein eingestellte Emissionsgrade ergeben zu niedrige Temperaturanzeigen.

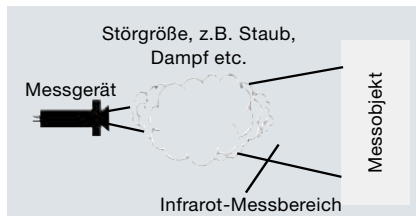
4. Anwendungen und Praxistipps

4.1 Fehlerquellen/Ursachen/Kompensation bei Infrarot-Messgeräten

Einfluss von Zwischenmedien (Störgrößen) auf das Messergebnis

Bei der berührungslosen Temperatur-Messung kann neben den material- und oberflächenspezifischen Einflüssen auch die Zusammensetzung der Übertragungstrecke zwischen Gerät und Messobjekt einen Einfluss auf das Messergebnis haben. Störgrößen sind beispielsweise:

- Staub- und Schmutzpartikel
 - Feuchtigkeit (Regen), Dampf, Gase
- Siehe auch „Atmosphärische Fenster“ (Kapitel 1.3).



Falsch eingestellte Emissionsgrade können zu erheblichen Fehlern führen (siehe 4.2).

Das Messgerät ist nach Temperaturwechsel noch nicht auf die neue Temperatur angeglichen – Angleichzeiten

siehe Bedienungsanleitung. Dies führt zu erheblichen Messfehlern.

- > Gerät möglichst dort lagern, wo auch gemessen wird! Dadurch wird die Problematik der Angleichzeit vermieden (aber: Betriebstemperatur der Geräte beachten!).

Infrarot-Messung ist eine rein optische Messung:

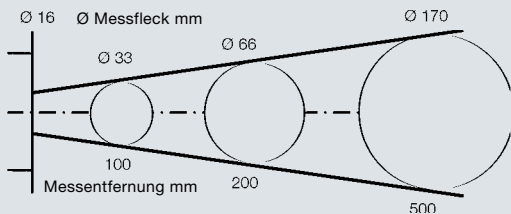
- > Eine saubere Linse ist Voraussetzung für eine genaue Messung.
- > Nicht mit beschlagener Linse messen, z.B. über Wasserdampf.

Infrarot-Messung ist eine Oberflächenmessung:

- > Immer für reine Oberflächen sorgen! Wenn sich Schmutz, Staub, Rauheif usw. auf der Oberfläche befinden, wird nur die oberste Schicht gemessen, sprich der Schmutz.
- > Nicht an Lufteinschlüssen messen.

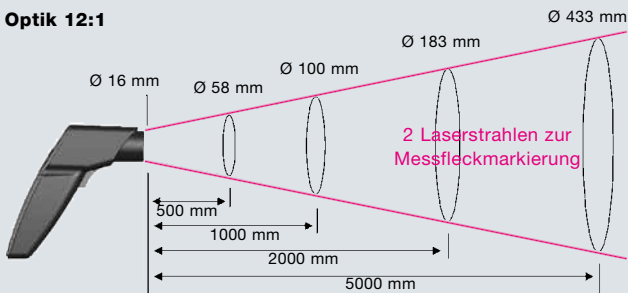
Abstand zwischen Infrarot-Messgerät und Messobjekt ist zu groß, d. h. der Messfleck ist größer als das Messobjekt. Dabei gelten folgende Messfleckdiagramme, die das Verhältnis Messentfernung-Messfleck darstellen.

Messentfernung zu Messfleck 3:1



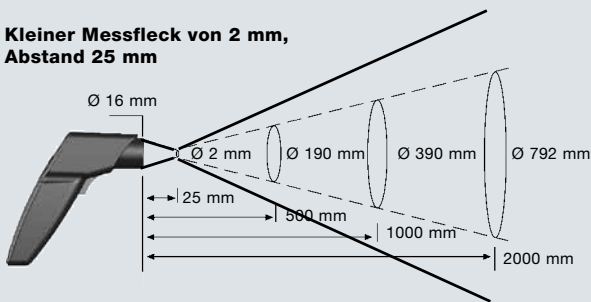
testo 825-T2
testo 825-T4

Optik 12:1



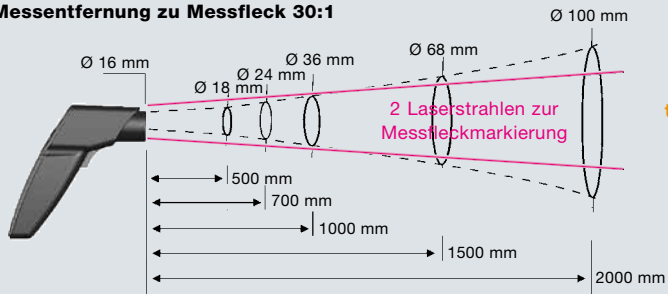
testo 830-T2

Kleiner Messfleck von 2 mm, Abstand 25 mm

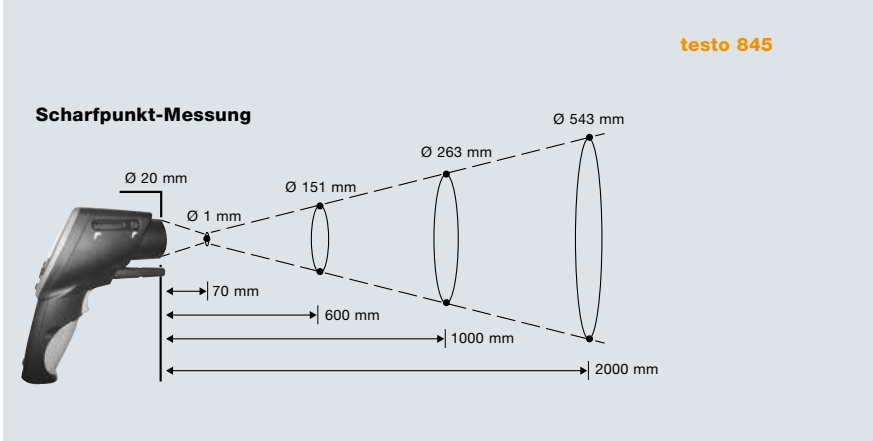
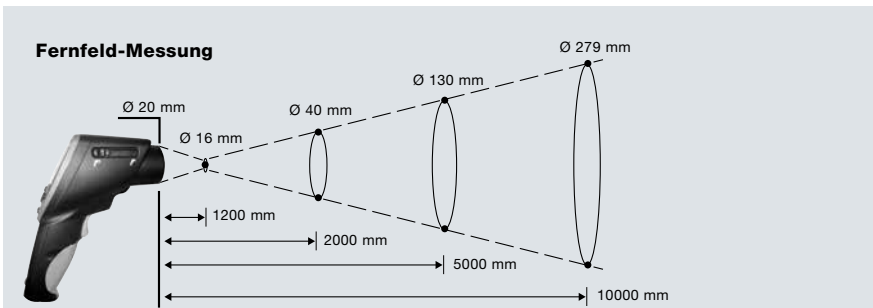
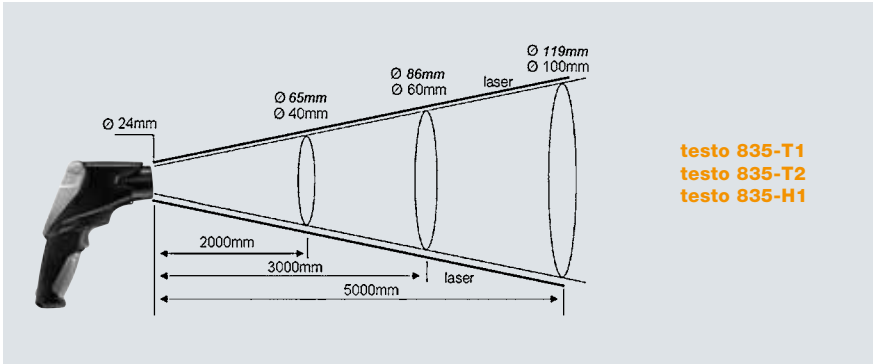


testo 830-T3

Messentfernung zu Messfleck 30:1



testo 830-T4



**Wichtiger Hinweis zur
Messfleckgröße:**

Die in den Geräteunterlagen abgebildeten Messfleck-Diagramme geben üblicherweise den sogenannten 90%-Messfleck an, das heißt, dass 90% der im Sensor umgesetzten Energie aus diesem Bereich kommen.

Durch Unschärfen in der Abbildung ist der Bereich, der einen (wenn auch geringen) Einfluss auf das Messergebnis hat, jedoch größer.

Deshalb sollte darauf geachtet werden, dass das Messobjekt immer größer ist als der in den Unterlagen angegebene Messfleck, um unerwünschte Einflüsse aus dem Randbereich zu vermeiden.

Je größer die Temperaturunterschiede zwischen Messobjekt und Hintergrund sind, desto größer sind die Auswirkungen auf das Messergebnis.

4.2 Lösung verschiedener Messaufgaben

Einfach lösbare Messaufgaben:

Alle nichtmetallischen Teile und Oberflächen, organische Stoffe sowie Lacke und Farben, Papier, Plastik und Gummi, Holz, Kunststoffe, Lebensmittel, Glas, Textilien, Mineralien, Steine, usw. Für diese Gruppe sind keine besonderen Maßnahmen zu treffen. Der Emissionsgrad ist ausreichend groß, oft um 0,95 und ändert sich nicht über den Temperaturbereich.

Bedingt lösbare Messaufgaben:

Matt erscheinende, korrodierte Metalloberflächen und transparente Folien. Hier ist von Fall zu Fall eine Unterscheidung zu treffen, ob und wie das Messproblem angegangen werden muss.

-> Emissionsgrad durch Vergleichsmessung mit Kontakt-Thermometer ermitteln oder ebenfalls Beschichtungen mit definierten Emissionsgrad aufbringen.

Schwierig lösbare Messaufgaben:

Blanke, spiegelnde Oberflächen von Metallen, wechselnde Oberflächenstrukturen z.B. durch Zunder.

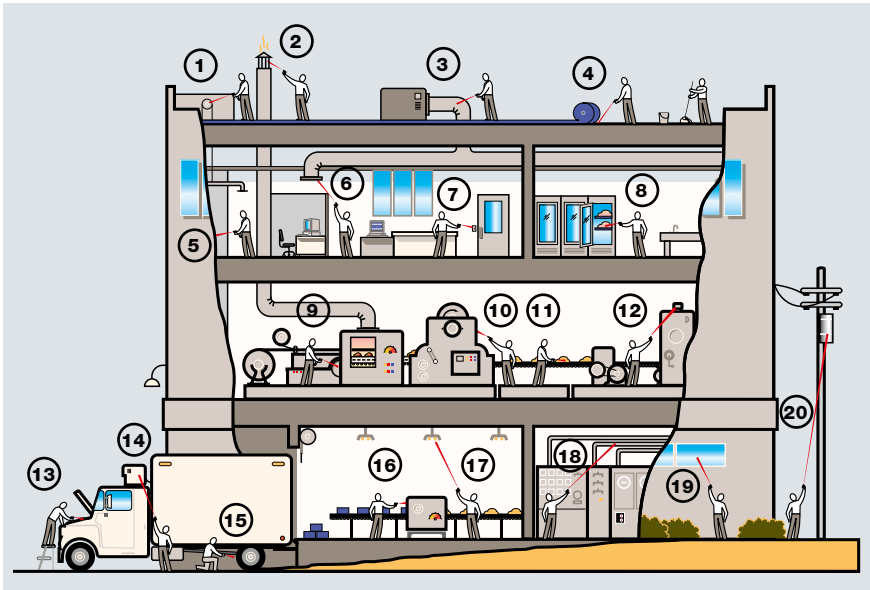
Anwendungsfälle für diese Gruppe sind nur schwer und nur unter besonderen Bedingungen zu lösen. Der Emissionsgrad ist nur mit einer bestimmten Bandbreite bekannt. Die Werte sind klein und schwanken über das Temperaturintervall.

-> Falls hier eine Messung mit Kontakt-Thermometern nicht möglich ist, müssen zur berührungslosen Messung Beschichtungen, wie z.B. Lack, Öl oder Emissionsklebeband mit definiertem Emissionsgrad, auf das Messobjekt aufgebracht werden.

Hinweis zum Emissionsklebeband:

Wichtig ist, dass das Klebeband gut die Temperatur des Messobjektes aufnehmen kann. Dies ist bei Körpern mit guter Wärmekapazität (große Masse) und guter Wärmeleitung (Körper aus Metall) gewährleistet.

Beispiele für die berührunglose Messung



1 Messung an PVC-Rohrsystemen

- Temperatur bei ca. +25 °C
 - Emissionsgrad Kunststoff 0,84.
- Ideal für Infrarot-Messtechnik.

2 Messung an Weißblechhaube

- Temperatur bei ca. +38 °C
 - Emissionsgrad Weißblech 0,05
- Emissionsgraderhöhende Beschichtung aufbringen, z.B. Lack oder Emissions-klebeband, ansonsten mit Kontakt-Thermometer messen.

Tipp: Messgerät mit kleinem Messfleck bei großem Abstand und integriertem Kontakt-Thermometer (z.B. testo 845 oder testo 835) verwenden.

3 Messung an verzinktem Abluftrohr

- Temperatur bei ca. +24 °C
 - Emissionsgrad Zink 0,23
- Beschichtung wie Lack oder Emissions-klebeband aufbringen oder Vergleichs-Messung mit Kontakt-Thermometer durchführen.

4 Messung an Asphalttschicht

- Temperatur bei ca. +24 °C
 - Emissionsgrad Asphalt 0,93
- Problemlos messbar.

5 Messung an Backsteinwand

- Temperatur bei ca. +21 °C
 - Emissionsgrad Backstein (rot) 0,93
- Problemlos messbar.

6 Messung an Deckenauslass (lackiert)

- Temperatur bei ca. +24 °C
 - Emissionsgrad Zink (lackiert) 0,96
- Problemlos messbar.

Tipp: Messgerät mit kleinem Messfleck bei großem Abstand und integriertem Kontakt-Thermometer (z.B. testo 845 oder testo 835) verwenden.

7 Messung am Lichtschalter

- Temperatur bei ca. +20 °C
 - Emissionsgrad 0,85
- Problemlos messbar.

8 Messung im Elektroschrank (Schütz)

- Temperatur bei ca. +74 °C
- Emissionsgrad Kunststoff 0,92

Vorsicht: Auf der Kunststoffoberfläche messen, nicht auf Metall!

Tipp: testo 845 mit Scharfpunkt-Messung verwenden

9 Messung an Lagerschale (lackiert)

- Temperatur bei ca. +68 °C
- Emissionsgrad schwarze Farbe 0,93

Problemlos messbar.

Tipp: Messgerät mit kleinem Messfleck bei großem Abstand und integriertem Kontakt-Thermometer (z.B. testo 845 oder 835) verwenden.

10 Messung an Kühlrippe von Elektromotor

- Temperatur bei ca. +50 °C
- Emissionsgrad grüne Farbe 0,93

Problemlos messbar.

11 Messung von Lebensmittelprodukt auf Kühlband

- Temperatur bei ca. +8 °C
- Emissionsgrad Lebensmittel 0,95

Problemlos messbar.

12 Messung am Wärmetauscher

- Temperatur bei ca. +10 °C
- Emissionsgrad Tauwasser 0,93

Hinweis: Messbar durch benetztes Tauwasser; ansonsten Beschichtung mit hohem Emissionsgrad aufbringen.

Tipp: Messgerät mit kleinem Messfleck bei großem Abstand und integriertem Kontakt-Thermometer (z.B. testo 845 oder testo 835) verwenden.

13 Messung am Motorblock

- Temperatur bei ca. +100 °C
- Emissionsgrad Alu (stark oxidiert) 0,2

Beschichtung mit Öl oder Emissionsklebeband aufbringen, damit $\epsilon > 0,9$ ist.

14 Messung am Kühlaggregat

- Temperatur bei ca. +36 °C
 - Emissionsgrad lackiertes Blech 0,92
- Problemlos messbar.

Tipp: kleiner Messfleck, testo 845 verwenden.

15 Messung am Autoreifen

- Temperatur bei ca. +40 °C
 - Emissionsgrad weicher Gummi 0,86
- Problemlos messbar.

16 Messung am Ofenausgang

- Temperatur bei ca. +70 °C
 - Emissionsgrad Ton (gebrannt) 0,91
- Problemlos messbar.

17 Messung an Leuchtstoffröhre

- Temperatur bei +42 °C
 - Emissionsgrad Glas (glatt) 0,92–0,94
- Problemlos messbar.

18 Messung an lackierten Rohren

- Temperatur bei ca. +10 °C
 - Emissionsgrad blaue Farbe 0,94
- Problemlos messbar.

Tipp: Messgerät mit kleinem Messfleck verwenden.

19 Messung an verzinktem Abluftrohr

- Temperatur bei ca. 38 °C
 - Emissionsgrad Zink 0,23
- Beschichtung wie Lack oder Emissionsklebeband aufbringen oder eine Vergleichs-Messung mit Kontakt-Thermometer durchführen.

Tipp: Kombi-Messgerät verwenden.

20 Messung am Transformator (lackiert)

- Temperatur bei ca. +70 °C
 - Emissionsgrad Trans.lack 0,94
- Problemlos messbar.

Tipp: Messgerät mit kleinem Messfleck bei großem Abstand verwenden.

Anwendungsbeispiele

Industrielle Anwendungen



Aufspüren zu hoher Temperaturen bei Schaltschränken, Messung an elektrischen Schaltungen, wie z.B. Widerständen, Transistoren in gedruckten Schaltungen usw.

Bitte beachten:

- Messfleck/Messabstand
- Messung nicht auf blanken Oberflächen (diese reflektieren die Umgebungstemperatur), sondern auf Kunststoff mit ϵ -Einstellung 0,95.

Tipp: Infrarot-Messgerät mit kleinem Messfleck verwenden (z.B. testo 845, testo 830-T3).



Temperaturmessung bei Kälteaggregat

Bitte beachten:

- Messfleck/Messabstand
- Messung auf Fläche mit hohem Emissionsgrad (z.B. lackierte Fläche)

Tipp: Messgerät verwenden, das bei großer Entfernung einen kleinen Messfleck hat und die Vergleichsmessung mit einem Kontakt-Thermometer ermöglicht (z.B. Set testo 845 oder testo 835).



Kontrolle und Aufzeichnung von Temperaturwerten bei Generatoren und Antrieben, an Dieselaggregaten, an Auspuffkrümmer.

Bitte beachten:

- Messfleck/Messabstand
- Messung auf Fläche mit hohem Emissionsgrad oder die Oberfläche z.B. mit Öl benetzen.



Tipp: Messgerät verwenden, das bei großer Entfernung einen kleinen Messfleck hat und die Vergleichsmessung mit einem Kontakt-Thermometer ermöglicht (testo 845 und testo 835).



Temperaturkontrolle an den Ausgangskabeln eines Stromgenerators.



Temparturkontrolle an Schienenfahrzeugen, z.B. „Heißläufer-Ermittlung“ an Eisenbahnwagen durch Messung der Achsdeckel-Temperaturen.

Bitte beachten:

- Messgerät verwenden, das bei großer Entfernung einen kleinen Messfleck hat.

Heizungs-, Lüftungs- und Kühlanlagen



Kontrolle der Temperatur von Lüftungskanälen.

Bitte beachten:

- Es wird nicht die Luft gemessen, sondern die Temperatur der Gitter.
- Nicht an blanken Metallen messen.
- Nicht zu nah an Messstelle messen.



Kontrolle der Wärmeverläufe bzw. Suche von kritische Stellen in Gebäuden.

Bitte beachten:

- Messung von Materialien wie Tapete, Holz, Putz, lackierte Fensterrahmen und Glas sind wegen ihres hohen Emissionsgrades zwischen 0,9 und 0,95 einfach zu messen.
- Blanke Metallrahmen entweder mit Kontakt-Thermometer messen oder Beschichtung aufbringen, die den Emissionsgrad erhöht.



Kontrolle der thermischen Isolation in Gebäuden.

Bitte beachten:

- Nicht an blanken Metallen messen.
- Unterschiedliche Emissionsgrade beachten.

Allgemeine Anwendungen



Schnelle Temperaturmessung beim Straßenbau.

Bitte beachten:

- zulässige Betriebstemperaturen des Messgerätes
- Messfleck/Messabstand
- Messgerät muss auf Umgebungstemperatur angeglichen sein.
- Nur Materialien mit hohem Emissionsgrad messen, da „kalte Himmelsstrahlung“ mit $-50...-60\text{ °C}$ als Störgröße vorhanden ist. Evtl. Abschottung des Himmels z.B. mit einem Regenschirm über der Messstelle.

Tipp: Messgerät mit kleinem Messfleck bei großem Abstand verwenden.



Bei der Lebensmittelkontrolle

Bitte beachten:

- Berührungslos wird nur Oberflächentemperatur ermittelt.

-> Bei kritischen Werten immer mit Kontakt-Thermometer nachmessen!



- Messfleck/Messabstand beachten
- Messgerät muss auf Umgebungstemperatur angeglichen sein.
- Der ideale Abstand zwischen Messgerät und gekühlter Ware/Verpackung ist 1 bis 2 cm. Bei Kartonumverpackungen den Karton öffnen und in die Verpackung hinein messen.
- Bei folienverschweißten Lebensmitteln wird nur die Temperatur der Folie gemessen. Deshalb nur an Stellen messen, an denen die Folie direkt an der Ware anliegt
- Nicht an Lufteinschlüssen messen.

Tipp: Kombimesstgerät verwenden (z.B. testo 104 IR)

Weitere Anwendungen in Stichworten

- Temperaturüberwachung bei Thermofixier-, Trocknungs- und Kaschierprozessen.
- Messung der Temperatur an laufenden Gummireifen unter Belastung zur Feststellung von Materialfehlern durch ungleichmäßige Erwärmung.
- Temperatur-Messung bei Trocknungs- und Verformungsprozessen in der Kunststoffindustrie.
- Lecksuche an Fernheizleitungen durch Messung der an der Erdoberfläche auftretenden Temperaturerhöhung.

4.3 Weitere Praxistipps

Infrarot-Messgeräte

Natürliche Objekte im Freien

wie Wasser, Steine, Erde, Sand, Pflanzen, Holz usw. besitzen im Spektralgebiet 8 bis 14 μm Emissionsgrade zwischen 0,8 und 0,95. Wenn im Freien gemessen werden soll, muss evtl. bei kleinen Emissionsgraden die „kalte Himmelsstrahlung“ berücksichtigt werden. Wenn irgend möglich, sollte diese „Umgebungsstrahlung“ aber in der Nähe der Lufttemperatur liegen. Dies erreicht man durch Abschirmung der Störstrahlung, z.B. mit einem Karton oder Regenschirm über der Messstelle.

-> Messbar mit Testo-Infrarot-Messgeräten

Glas und Quarz

besitzen im Wellenlängenbereich über 8 μm hohe Emissionsgrade von ca. 0,90. Für Infrarot nicht durchlässig, d. h. es wird die Glasscheibe gemessen.

-> Messbar mit Testo-Infrarot-Messgeräten

Kunststoffe

werden bei Trocknungs- und Verformungsprozessen, beim Extrudieren, Kalandrieren, Tiefziehen usw. im Temperaturbereich von +20 °C bis +300 °C, gemessen. Der Emissionsgrad fast aller Kunststoffe liegt zwischen 0,8 und 0,95 und ist deshalb problemlos zu messen.

-> Messbar mit Testo-Infrarot-Messgeräten

Transparente Folien

besitzen bei bestimmten Wellenlängen eine charakteristische Absorptionsbande und damit Emissionsgrad sind aber abhängig von der Dicke der Folie. Je dünner die Folie, desto geringer wird der Emissionsgrad. Dünne Folien sind im Infrarot-Bereich oft durchlässig, Hintergrund beachten.

-> Bedingt messbar mit Testo-Infrarot-Messgeräten

Heiße Gase und Flammen

sind „Volumenstrahler mit selektiven Emissionseigenschaften“. Die Messstelle ist nicht mehr flächig. Der Temperaturwert wird aus einer Wegstrecke innerhalb der Flamme gemittelt. Dieser Wert wird außerdem häufig durch hinter der Flamme bzw. den Gasen befindlichen Ofenwänden beeinflusst.

Ähnlich wie bei den transparenten Materialien strahlen Flammen und Gase bevorzugt in gewissen Spektralbereichen, beispielsweise im Bereich um 4,3 µm (CO₂ Bande).

-> Messbar mit Spezialgeräten

-> Nicht messbar mit Testo-Infrarot-Messgeräten

Prüfen und kalibrieren

Zur Prüfung und Kalibrierung der Anzeige von Strahlungs-pyrometern benötigt man einen Schwarzen Strahler. Bei der Kalibrierung ist darauf zu achten, dass das jeweilige Messfeld des zu prüfenden Strahlungs-Thermometers kleiner als die Öffnung des Schwarzen Strahlers ist.

Bei fest eingestellten Emissionsgrad (z.B. 0,95) muss die Anzeige auf $\epsilon = 1$ um-gerechnet werden.

Emissionsgrad

Auch bei richtig eingestelltem Emissionsgrad kann es zu Messfehlern kommen!

Bei Emissionsgrad kleiner 1 wird der Messwert auf der Basis Gerätetemperatur = Umgebungstemperatur hochgerechnet.

- Entspricht die Gerätetemperatur nicht der Umgebungstemperatur, so ist die Emissionsgradkorrektur des Gerätes falsch. Das heißt: Ist die Gerätetemperatur niedriger, so ist das Messergebnis zu hoch, ist die Gerätetemperatur höher, so ist das Messergebnis zu niedrig.
- Werden einzelne Wärme- oder Kälte-Strahler (z.B. Heizkörper, Lampen, Kälteaggregate usw.) auf der Oberfläche des Messobjektes reflektiert, so entspricht diese Strahlung nicht der Umgebungstemperatur = Gerätetemperatur. Somit ist auch in diesem Fall die vom Gerät durchgeführte Emissionsgradkorrektur falsch.

Abhilfe: Abschirmen solcher Strahler z.B. mit einem Karton. Dieser absorbiert diese Störstrahlen und emittiert seine eigene Strahlung = Umgebungstemperatur.

4.4 Gegenüberstellung Infrarotthermometer und Wärmebildkamera

Insbesondere bei der punktuellen Temperaturmessung an großen Objekten hat sich die Infrarot Messtechnik mit Infrarotthermometer (Pyrometer) auch aufgrund ihres vergleichsweise geringen Preises als einfaches berührungsloses Messgerät etabliert. Für die hier beschriebenen Messaufgaben sind diese Geräte auch durchaus ausreichend.

Im Unterschied dazu besitzt z.B. die Wärmebildkamera testo 870 19.200 einzelne Temperaturwerte, aus denen ein Infrarotbild aufgebaut ist. In der Praxis bringt das folgende Vorteile:

- Erkennen kritischer Temperaturen auch an sehr kleinen Objekten wie etwa einem heißen Kabel.
- Große Oberflächen oder Messobjekte (z.B. Fußböden, Gebäude, Schaltschränke, etc.) werden auf einem Bild dargestellt. Das zeitraubende ‚Abscannen‘ einer Oberfläche mit einem Infrarotthermometer entfällt.

- Dokumentation von Messergebnis per Knopfdruck als Infrarot- und als Echtbild

Diese Eigenschaften können z.B. in der industriellen Instandhaltung ausschlaggebend sein, wo defekte Maschinenteile wie z.B. ein Überhitzer Motor schnell erkannt werden müssen um schnellstmöglich zu ersetzen, damit Stillstände vermieden werden. Die meisten der heutigen Wärmebildkameras besitzen zusätzlich noch eine Digitalkamera. So werden vom Messobjekt jeweils ein Wärmebild sowie auch ein visuelles Bild festgehalten. Das ermöglicht eine bessere Orientierung bei der Auswertung. Tipp: Grundsätzlich kann man sagen, wenn man die Stelle an der gemessen werden soll kennt, also man weiß wo man misst und nicht auf die Umgebungstemperaturen angewiesen ist, dann genügt ein Ein-Punkt-Pyrometer. Um z.B. Obst oder die Temperatur in der Kühltheke zu messen ist es nicht zwingend notwendig eine Wärmebildkamera zu verwenden. Ist man jedoch darauf angewiesen Gefahrenstellen zu finden, ohne sie vorher zu kennen, kann eine Wärmebildkamera entscheidende Vorteile bringen.

4.5 Zusammenfassung: Berührungslose Messung oder Kontaktmessung – Empfehlung von Testo

Berührungslose Infrarot-Temperaturmessung ist...

...ideal geeignet für die Messung der Oberflächen-Temperaturen von:

- a) Schlechten Wärmeleitern wie Keramik, Kunststoff, Gummi, Holz, Papier, Tapeten, Putz, Textilien, organische Stoffe, Lebensmittel.
Das Messgerät misst rückwirkungs-frei, also ohne Einfluss auf das Messobjekt. Die Infrarotstrahlung des Messobjekts ist somit immer gleich schnell und unabhängig von der Wärmeleitung.
- b) Materialien mit hohem Emissionsgrad, beispielsweise Lacke, Farben, Glas, Mineralien, Fliesen, Steine, Teer und alle nicht-metallischen Stoffe. Hier ist eine Einstellung des Emissionsgrads von 0,95 oft richtig. Die Fehler durch Fremdstrahlung, die auf der Oberfläche reflektiert wird, sind dann nur gering.
- c) Sich in Bewegung befindlichen Teilen (vorausgesetzt Material hat einen hohen Emissionsgrad oder es kann ein Material mit definiertem Emis-

ionsgrad aufgebracht werden) z.B. laufende Papierbahnen, drehende Reifen, verzünderte Stahlteile auf einem Fließband.

- d) Nicht berührbaren Teilen wie z.B. frisch lackierte Teile, keimfreie Teile oder aggressive Medien, spannungsführende Teile wie elektronische Bauelemente, Stromschienen, Transformatoren.
- e) Kleinen und massearmen Teilen, z.B. Bauelemente und alle Messobjekte, bei denen ein Kontaktfühler zu viel Wärme entzieht und somit Fehlmessungen verursacht.

Immer muss aber beachtet werden, dass der Messfleck des Messgerätes kleiner als das Messobjekt ist!

...nur bedingt geeignet für:

Metalloxide, da diese einen meist von der Temperatur abhängigen Emissionsgrad (zwischen 0,3 und 0,9) besitzen.

Hier sollte man entweder einen Stoff mit definiertem Emissionsgrad aufbringen (z.B. testo Emissionsklebeband Best.-Nr. 0554 0051, Lack oder Öl) oder durch Vergleichsmessung mit einem Kontakt-Thermometer den Emissionsgrad ermitteln.

...nicht geeignet:

Bei blanken Metallen, auf die keine Emissionsgrad erhöhende Materialien wie z.B. Klebeband, Lack oder Öle aufgebracht werden können. Hier ist eine hohe Fehlerquote bedingt durch die hohe Reflexion auf der Messobjekt-Oberfläche zu erwarten.

Typische Temperatur-Kontrollmessungen per Infrarot in der Industrie:

- Generatoren, Antriebe, Aggregate
- Lagerschalen
- Schaltschränke
- elektronische Schaltungen
- Bimetalle-Schaltpunkteinstellung
- Thermofixier-, Trocknungs- und Kaschierprozesse
- laufende Gummireifen
- Kunststoffe im Trocknungs- und Verformungsprozess.

Typische Temperatur-Kontrollmessungen per Infrarot in der Gebäude-/Klimatechnik:

- Lüftungskanäle
- Wärmeverläufe und thermische Isolation in Gebäuden
- Auffinden von Kältebrücken und Isolationsschwächen.

Typische Infrarot-Anwendungen im Heizungsbau:

Oberflächenmessungen an:

- Heizkörpern, lackierten Heizungsrohren
- Fußbodenbelägen, Holz, Kork, Fliesen, Granit sowie an rauen Wandoberflächen zum Auffinden der Heizungsrohre.

Typische Infrarot-Anwendungen bei der Lebensmittelkontrolle:

- Schnelltest im Wareneingang oder in der Kühltruhe.

Kontakt-Temperaturmessung ist...

...ideal geeignet für:

- Messung von glatten Oberflächen mit guter Wärmeleitung wie z.B. alle Metalle. In diesem Fall ist die Kontakt-Messung meist auch genauer als die Infrarot-Messung.
- Ermittlung von Kerntemperaturen in Flüssigkeiten und Lebensmitteln.

...bedingt geeignet für:

a) Messungen von schlechten Wärmeleitern (Beispiele siehe Infrarot-Messung)

Ein Fühler für kontaktbehaftete Messung kann nur richtige Temperaturen anzeigen, wenn er die Temperatur des Messkörpers annehmen kann. Bei schlechten Wärmeleitern kommt es hier zu Fehlmessungen bzw. zu sehr langen Einstellzeiten bis der Fühler die Temperatur des Messobjektes angenommen hat.

b) Bei kleinen, massearmen Teilen. Hier entzieht der Kontaktfühler dem Messobjekt Wärme, wodurch es zur Beeinflussung des Messergebnisses kommt.

...nicht geeignet für:

- Nicht berührbare Teile (siehe oben)
- In Bewegung befindliche Teile.

Typische Kontaktmessungs-Anwendungen in der Industrie an:

- Werkzeugen für Verformungsprozessen
- Antrieben, Getrieben, Lagern
- allen Metalloberflächen

und zur Vergleichsmessung mit der Infrarot-Messung, um feststellen zu können, welchen Emissionsgrad die Oberfläche hat.

Typische Kontaktmessungs-Anwendungen in der Gebäude-Klimatechnik an:

- Lüftungskanälen
- Wandoberflächen.

Typische Kontaktmessungs-Anwendungen im Heizungsbau:

- Messung der Vor-/Rücklauftemperatur an blanken Kupferrohren
- Heizkörperüberprüfung
- Auffinden von Heizrohren im Fußboden und in der Wand

Typische Kontaktmessungs-Anwendungen bei der Lebensmittelkontrolle:

- Messung der Kerntemperatur bei kritischen Produkttemperaturen

Fazit

Testo empfiehlt nicht kontakt- oder berührungslos zu messen, sondern berührungslos messende Infrarot-Thermometer und Kontakt-Thermometer in einem kompakten Gerät einzusetzen. Durch diese Kombination sind fast alle Messaufgaben schnell und präzise lösbar.

Idealerweise ist bei Industrie-, Klima- und Heizungsanwendungen auf der Infrarotseite der Emissionsgrad einstellbar.

Bei der Lebensmittelkontrolle ist ein fix eingestellter Wert von 0,95 meist ausreichend.

Bei Oberflächenmessungen sollte auf der Kontaktseite ein schnell ansprechender federnder Messkopf, der auch auf gewölbten Metall-Oberflächen eine zuverlässige und genaue Messung ermöglicht, integriert sein. So sind auch bei Oberflächen, bei denen der Emissionsgrad nicht bekannt ist, exakte Ermittlungen möglich und die Vorteile der berührungslosen Messung nutzbar.

Bei Einstech- oder Tauchmessungen sollte zur Ermittlung der Kerntemperatur auf der Kontaktseite eine möglichst dünne Messspitze sein, damit auch bei geringen Einstechtiefen der Messwert schnell und zuverlässig ermittelt wird.

Anhang: Emissionsgradtabellen

Die folgenden Tabellen dienen als Anhaltspunkte zur Einstellung des Emissionsfaktors bei der Infrarot-Temperaturmessung. Sie geben den Emissionsfaktor ϵ einiger gängiger Metalle und Nicht-Metalle an. Da sich der Emissionsfaktor mit der Temperatur und vor allem mit der Oberflächen-

beschaffenheit ändert, sollten die hier aufgeführten Werte nur als Richtschnur für die Messung von Temperaturverhältnissen oder -differenzen betrachtet werden. Wenn der Absolutwert der Temperatur gemessen werden soll, muss der Emissionsfaktor des Materials exakt bestimmt werden.

Emissionsgradtabelle wichtiger Materialien

Material	Temperatur	ε
Aluminium walzblank	170 °C	0,04
Asbest	20 °C	0,96
Asphalt	20 °C	0,93
Baumwolle	20 °C	0,77
Beton	25 °C	0,93
Blei grau oxidiert	20 °C	0,28
Blei stark oxidiert	20 °C	0,63
Dachpappe	20 °C	0,93
Eis, glatt	0 °C	0,97
Eis, rauher Reifbelag	0 °C	0,99
Eisen abgeschmirgelt	20 °C	0,24
Eisen blank geätzt	150 °C	0,13
Eisen mit Gusshaut	100 °C	0,80
Eisen mit Walzhaut	20 °C	0,77
Eisen rot angerostet	20 °C	0,61
Eisen stark verrostet	20 °C	0,85
Erde, gepflügter Ackerboden	20 °C	0,38
Erde, schwarzer Lehm	20 °C	0,66
Fliesen	25 °C	0,93
Gips	20 °C	0,90
Glas	90 °C	0,94
Gold poliert	130 °C	0,02
Gummi, hart	23 °C	0,94
Gummi, weich - grau	23 °C	0,86
Holz	70 °C	0,94
Kieselsteine	90 °C	0,95
Kork	20 °C	0,70
Korund Schmirgel (rauh)	80 °C	0,86
Kühlkörper, schwarz eloxiert	50 °C	0,98
Kupfer leicht angelaufen	20 °C	0,04
Kupfer oxidiert	130 °C	0,76
Kupfer poliert	20 °C	0,03
Kupfer schwarz oxidiert	20 °C	0,78
Kunststoffe (PE,PP, PVC)	20 °C	0,94
Laub	20 °C	0,84
Marmor, weiß	20 °C	0,95
Mennigeanstrich	100 °C	0,93
Messing oxidiert	200 °C	0,61
NATO-grün	50 °C	0,85
Papier	20 °C	0,97
Porzellan	20 °C	0,92
Schiefer	25 °C	0,95
Schwarzer Lack (matt)	80 °C	0,97
Seide	20 °C	0,78
Silber	20 °C	0,02
Stahl (wärmebehandelte Oberfläche)	200 °C	0,52
Stahl oxidiert	200 °C	0,79
Ton gebrannt	70 °C	0,91
Transformatorenlack	70 °C	0,94
Wasser	38 °C	0,67
Ziegelstein, Mörtel, Putz	20 °C	0,93
Zinkweiß (Farbe)	20 °C	0,95

Emissionsgradtabellen, typische Werte von Metallen

Material	Art/Beschaffenheit/Element	Temperatur (°C)	ε
Aluminium	nicht oxidiert	25	0,02
	nicht oxidiert	100	0,03
	nicht oxidiert	500	0,06
	oxidiert	200	0,11
	oxidiert	600	0,19
	stark oxidiert	93	0,20
	stark oxidiert	500	0,31
	hochpoliert	100	0,09
	anpoliert	100	0,18
Blei	poliert	38 - 260	0,060 - 08
	rauh	40	0,43
	oxidiert	40	0,43
	grau oxidiert	40	0,28
Chrom	Chrom	40	0,08
	Chrom	540	0,26
	Chrom, poliert	150	0,06
Eisen	oxidiert	100	0,74
	oxidiert	500	0,84
	nicht oxidiert	100	0,05
	Flugrost	25	0,70
	verrostet	25	0,65
Gold	Lackierung	100	0,37
	poliert	38 - 260	0,02
Gusseisen	oxidiert	200	0,64
	oxidiert	600	0,78
	nicht oxidiert	100	0,21
	stark oxidiert	40 - 250	0,95
Inconel-Tafel	Inconel-Tafel	540	0,28
	Inconel-Tafel	650	0,42
Kadmium	Kadmium	25	0,02
Kobald	nicht oxidiert	500	0,31
Kupfer	Kupferoxid	100	0,87
	Kupferoxid	260	0,83
	Kupferoxid	540	0,77
	schwarz, oxidiert	40	0,78
	geätzt	40	0,09
	poliert	40	0,03
	gewalzt	40	0,64
	roh	40	0,74
	geschmolzen	540	0,15
Legierungen	Ni-20, Cr-24, Fe-55, oxidiert	200	0,90
	Ni-60, Cr-12, Fe-28, oxidiert	270	0,89
	Ni-80, Cr-20, oxidiert	100	0,87
Magnesium	Magnesium	40 - 260	0,07 - 0,13
Messing	73 % Cu, 27 % Zn, poliert	250	0,03
	62 % Cu, 37 % Zn, poliert	260	0,03
	mattiert	20	0,07
	gebräunt	20	0,40
	oxidiert	200	0,61
	nicht oxidiert	25	0,04

Molybdän	Molybdän	40	0,06
	Molybdän	250	0,08
	Molybdän	540	0,11
Monel	Ni-Cu	200	0,41
	Monel	400	0,44
	Monel	600	0,46
	oxidiert	20	0,43
Nickel	poliert	40	0,05
	oxidiert	40 - 260	0,31 - 0,46
	nicht oxidiert	25	0,05
	nicht oxidiert	100	0,06
	nicht oxidiert	500	0,12
	galvanisch gefällt	40	0,04
Platin	Platin	40 - 260	0,05
	Platin	540	0,10
	schwarz	40	0,93
	schwarz	260	0,96
	oxidiert bei 600 °C	260	0,07
	oxidiert bei 600 °C	540	0,11
Quecksilber	Quecksilber	0	0,09
	Quecksilber	25	0,10
	Quecksilber	100	0,12
Silber	poliert	40	0,01
	poliert	260	0,02
	poliert	540	0,03
Schmiedeeisen	stumpf	25	0,94
	stumpf	350	0,94
	glatt	40	0,35
	poliert	40	0,28
Stahl	kaltgewalzt	93	0,75 - 0,85
	polierte Tafel	40	0,07
	polierte Tafel	260	0,00
	polierte Tafel	540	0,14
	weicher, unlegierter Stahl, poliert	25	0,10
	weicher, unlegierter Stahl, poliert	25	0,12
	nicht oxidiert	100	0,08
	oxidiert	25	0,80
Stahllegierung	Typ 301, poliert	25	0,27
	Typ 316, poliert	25	0,28
	Typ 321, poliert	150 - 815	0,18 - 0,49
Stellite	poliert	20	0,18
Tantal	nicht oxidiert	727	0,14
Wismut	hell	80	0,34
	nicht oxidiert	25	0,05
	nicht oxidiert	100	0,06
Zink	handelsübliche Reinheit (99,1 %)	260	0,05
	galvanisiert	40	0,28
	poliert	260 - 540	0,11
	poliert	38	0,02
	poliert	260	0,03
	poliert	540	0,04
Zinn	nicht oxidiert	25	0,04
	nicht oxidiert	100	0,05

Emissionsgradtabellen, typische Werte von Nichtmetallen

Material	Art/Beschaffenheit/Element	Temperatur (°C)	ε
Aluminiumfarben	Aluminiumfarben	40	0,27 - 0,67
	10 % Al	40	0,52
	26 % Al	40	0,30
Asbest	Asphalt, Straßenbelag	20	0,93
	Asphalt, Teerpappe	20	0,72
	-gewebe	93	0,90
	-pappe	38 - 370	0,93
	-platten	40	0,96
	-zement	0 bis 200	0,96
Basalt	Basalt	20	0,72
Baumwoll-Stoffe	Baumwoll-Stoffe	20	0,77
Bleimennige	Bleimennige	100	0,93
Bronzefarbe	Bronzefarbe	niedrig	0,34 - 0,80
Eis	glatt	0	0,97
	rauh	0	0,98
Erde	allgemein	40	0,38
	dunkler Lehmboden	20	0,66
	gepflügtes Feld	20	0,38
Farben	Blau, Cu 203	25	0,94
	Schwarz, CuO	25	0,96
	Grün, Cu 203	25	0,92
	Rot, Fe 203	25	0,91
	Weiß, Al 203	25	0,94
Gips	Gips	20	0,80 - 0,90
Glas	planes Flachglas	0 - 90	0,92 - 0,94
	Convex D	100	0,80
	Convex D	500	0,76
	Nonex	100	0,82
Granit	Granit	20	0,45
Gummi	Hartgummi	25	0,94
	weich, grau	25	0,86
Holz	Holz	niedrig	0,80 - 0,90
	Buche, gehobelt	70	0,94
	Eiche, gehobelt	40	0,91
	Fichte, geschliffen	40	0,89
Kalkmörtel	Kalkmörtel	40 - 260	0,90 - 0,92
Kalksandstein	Kalksandstein	40	0,95
Keramik	Porzellan	20	0,92
	Steingut, glasiert	20	0,90
	Steingut, matt	20	0,93
Kies	Kies	40	0,28
Kohlenstoff	Flammruß	25	0,95
	nicht oxidiert	25	0,81
	nicht oxidiert	100	0,81
	nicht oxidiert	500	0,79
	Kerzenruß	120	0,95
	Fasern	260	0,95
	grafitiert	100	0,76
	grafitiert	300	0,75
	grafitiert	500	0,71

Lack	blau, auf Aluminium-Folie	40	0,78
	gelb, 2 Schichten auf Alu-Folie	40	0,79
	klar, 2 Schichten auf Alu-Folie	90	0,09
	klar, auf hellem Kupfer	90	0,65
	klar auf angelaufenem Kupfer	90	0,64
	rot, 2 Schichten auf Alu-Folie	40	0,74
	schwarz, CuO	90	0,96
	weiß	90	0,95
Lehm	weiß, 2 Schichten auf Alu-Folie	40	0,88
	Lehm	20	0,39
	gebrannt	70	0,91
Marmor	Schiefer	20	0,69
	weiß	40	0,95
	glatt, weiß	40	0,56
Mauerwerk	poliert, grau	40	0,75
	Mauerwerk	40	0,93
	Öl auf Nickel	Schichtdicke 0,02 mm	22
Schichtdicke 0,05 mm		22	0,46
Schichtdicke 0,10mm		22	0,72
Ölfarben	alle Farben	90	0,92 - 0,96
	graugrün	20	0,95
	grün, Cu 203	90	0,95
	rot	90	0,95
	schwarz, CuO	90	0,92
	schwarz, glänzend	20	0,90
	Tarnfarbe, grün	50	0,85
	weiß	90	0,94
Quartzglas	1,98 mm	280	0,90
	6,88 mm	280	0,93
	Opakglas	300	0,92
Ruß	Azetylen	25	0,97
	Kampfer	25	0,94
	Lampenruß	95	0,96
	Kerzenruß	120	0,95
	Kohle	20	0,95
Sand	Sand	20	0,76
Sandstein	Sandstein	40	0,67
Sägemehl	Sägemehl	20	0,75
Schiefer	Schiefer	20	0,69
Schnee	fein	-7	0,82
	grobe Flocken	-8	0,89
Schmirgel	Schmirgel	80	0,86
Seide	Seide	20	0,78
Siliziumkarbid	Siliziumkarbid	150 - 650	0,83 - 0,96
Wasser	Wasser	40	0,67
Wasserglas	Wasserglas	20	0,96
Zellstoffkleber	2 Schichten	20	0,34
Ziegel	luftgetrocknet	20	0,90
	rot, rauh	20	0,93

Notizen

Wir messen es.



Änderungen, auch technischer Art, vorbehalten.

Testo SE & Co. KGaA
Testo-Straße 1, 79853 Lenzkirch
Telefon +49 7653 681-700
Telefax +49 7653 681-701
vertrieb@testo.de

www.testo.de

2980 3025 15//dk/11.2016