

Be sure.



Pocket-Guide Thermografie

Theorie – Praxis – Tipps & Tricks

Urheberrechte, Gewährleistung und Haftung

Die in diesem Pocket-Guide zusammengestellten Informationen sind urheberrechtlich geschützt. Alle Rechte stehen ausschließlich der Testo SE & Co. KGaA zu. Die Inhalte und Bilder dürfen nicht ohne vorherige schriftliche Genehmigung der Testo SE & Co. KGaA gewerblich vervielfältigt, verändert oder für andere als den beschriebenen Anwendungs- zweck verwertet oder genutzt werden.

Die Informationen in diesem Pocket-Guide werden mit größter Sorgfalt erstellt. Dennoch sind die bereitgestellten Informationen unverbindlich und die Testo SE & Co. KGaA behält sich das Recht vor, Änderungen oder Ergänzungen vorzunehmen. Die Testo SE & Co. KGaA übernimmt daher keine Gewährleistung oder Garantie für die Richtigkeit und Vollständigkeit der bereitgestellten Informationen. Die Haftung, gleich aus welchem Rechtsgrund, ist beschränkt auf Schäden, welche die Testo SE & Co. KGaA, oder deren Erfüllungsgehilfen oder Auftragnehmer vorsätzlich, grob fahrlässig oder bei der Verletzung von vertragswesentlichen Pflichten leicht fahrlässig herbeigeführt haben. In Fällen leichter Fahrlässigkeit ist die Haftung der Testo SE & Co. KGaA der Höhe nach beschränkt auf die bei vergleichbaren Geschäften dieser Art typischen und vorhersehbaren Schäden. Schadensersatzansprüche wegen Garantien oder nach dem Produkthaftungsgesetz bleiben unberührt.

Testo SE & Co. KGaA, im Dezember 2017

Vorwort

Sehr geehrte Testo-Kundin,
sehr geehrter Testo-Kunde,

„Bilder sagen mehr als tausend Worte“.

In Zeiten steigender Energiepreise sowie hoher Kosten für Stillstandzeiten von Maschinen hat sich die berührungslose Temperaturmessung sowohl bei der Beurteilung der Gebäudeeffizienz als auch bei der industriellen Instandhaltung etabliert. Doch Thermografie ist nicht gleich Thermografie. Denn bei der berührungslosen Temperaturmessung gilt es, einige elementare Grundregeln zu beachten.

Das Handbuch „Pocket-Guide Thermografie“ entstand durch eine Zusammenfassung täglich auftretender Fragestellungen unserer Kunden. Gespickt mit vielen interessanten Informationen sowie Tipps und Tricks aus der Messpraxis soll Ihnen dieser Pocket-Guide eine wertvolle, praxisnahe Hilfe sein und Sie in Ihrer täglichen Arbeit unterstützen.

Viel Spaß beim Durchlesen!



Prof. Burkart Knospe, Vorstandsvorsitzender

Inhaltsverzeichnis

1.	Thermografie in der Theorie	5
1.1	Emission, Reflexion, Transmission	6
1.2	Messfleck und Messentfernung	13
2.	Thermografie in der Praxis	16
2.1	Messobjekt	16
2.2	Messumgebung	18
2.3	Praxisnahe Ermittlung von ϵ und RTC	25
2.4	Fehlerquellen bei der Infrarot-Messung	28
2.5	Die besten Bedingungen bei der Infrarot-Messung	34
2.6	Das perfekte Wärmebild	35
3.	Anhang	38
3.1	Thermografie-Glossar	38
3.2	Emissionsgradtabelle	51
3.3	Testo empfiehlt	53

1 Thermografie in der Theorie

Jedes Objekt mit einer Temperatur oberhalb des absoluten Nullpunktes (0 Kelvin = -273,15 °C) sendet infrarote Strahlung aus. Diese Infrarot-Strahlung kann vom menschlichen Auge nicht wahrgenommen werden.

Wie die Physiker Josef Stefan und Ludwig Boltzmann schon 1884 bewiesen haben, besteht ein Zusammenhang zwischen der Temperatur eines Körpers und der Intensität seiner ausgesandten Infrarot-Strahlung. Eine Wärmebildkamera misst die in ihrem Sichtfeld empfangene langwellige Infrarot-Strahlung. Daraus berechnet sie die Temperatur des zu messenden Objekts. Die Berechnung erfolgt unter Berücksichtigung des Emissionsgrades (ϵ) der Messobjektoberfläche und der Kompensation der Reflexionstemperatur (RTC = Reflected Temperature Compensation), beides in der Wärmebildkamera manuell einstellbare Größen. Jedes Pixel des Detektors stellt einen Temperaturpunkt dar, der auf dem Display als Falschfarbenbild wiedergegeben wird (vgl. „Messfleck und Messentfernung“, S. 13).

Die Thermografie (Temperaturmessung mit einer Wärmebildkamera) ist ein passives, berührungsloses Messverfahren. Dabei zeigt das Wärmebild die Temperaturverteilung der Oberfläche eines Objekts an. Mit einer Wärmebildkamera können Sie aus diesem Grund nicht in Objekte hinein- oder gar durch sie hindurchschauen.

1.1 Emission, Reflexion, Transmission

Die von der Wärmebildkamera erfasste Strahlung besteht aus der Emission, der Reflexion und der Transmission von langwelliger Infrarot-Strahlung, die von den Objekten im Sichtfeld der Wärmebildkamera ausgeht.

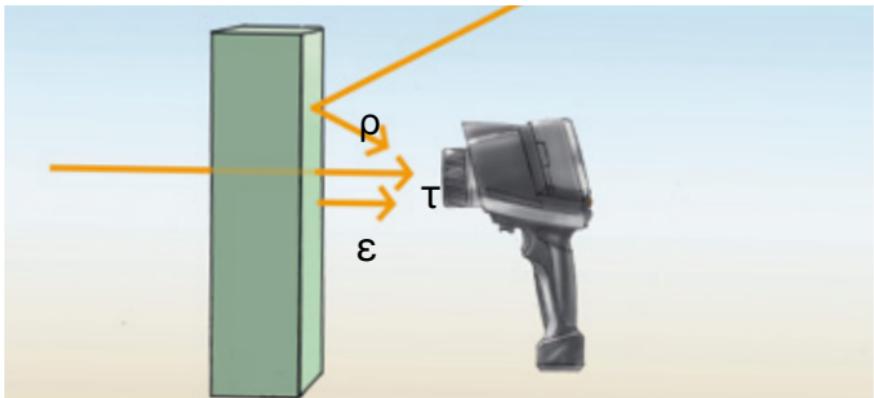
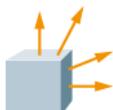


Abbildung 1.1: Emission, Reflexion und Transmission



Der Emissionsgrad (ϵ)

Der Emissionsgrad (ϵ) ist ein Maß für die Fähigkeit eines Materials Infrarot-Strahlung zu emittieren (auszusenden).

- ϵ hängt von der Oberflächenbeschaffenheit, dem Material und – bei einigen Materialien – auch von der Temperatur des Messobjektes, so wie dem Spektralbereich der verwendeten Wärmebildkamera ab.

- Maximaler Emissionsgrad: $\epsilon = 1$ ($\cong 100\%$) (vgl. „Schwarzer Strahler“, S. 48). $\epsilon = 1$ tritt in der Realität nie auf.
- Reale Körper: $\epsilon < 1$, weil reale Körper Strahlung zusätzlich reflektieren und eventuell transmittieren.
- Viele nichtmetallische Materialien (z. B. PVC, Beton, organische Stoffe) haben einen hohen, von der Temperatur unabhängigen Emissionsgrad ($\epsilon \approx 0,8 - 0,95$) im langwelligen Infrarotbereich.
- Metalle, vor allem mit glänzenden Oberflächen, haben einen niedrigen, mit der Temperatur schwankenden Emissionsgrad.
- ϵ ist manuell in der Wärmebildkamera einstellbar.



Der Reflexionsgrad (ρ)

Der Reflexionsgrad (ρ) ist ein Maß für die Fähigkeit eines Materials, Infrarot-Strahlung zu reflektieren.

- ρ hängt von der Oberflächenbeschaffenheit, der Temperatur und der Art des Materials ab.
- In der Regel reflektieren glatte, polierte Oberflächen stärker als raue, matte Oberflächen desselben Materials.
- Die Temperatur der reflektierten Strahlung kann in der Wärmebildkamera manuell eingestellt werden (RTC).
- RTC entspricht in vielen Messanwendungen der Umgebungstemperatur (hauptsächlich bei der Innenthermografie). Diese können Sie meistens z. B. mit dem Luftthermometer testo 810 ermitteln.
- RTC kann mit Hilfe eines Lambert-Strahlers ermittelt werden (vgl. „Messung der reflektierten Temperatur mittels (improvisiertem) Lambert-Strahler“ S. 27).
- Der Ausfallswinkel der reflektierten Infrarot-Strahlung ist stets gleich dem Einfallswinkel (vgl. „Spiegelnde Reflexion“ S. 31).



Der Transmissionsgrad (τ)

Der Transmissionsgrad (τ) ist ein Maß für die Fähigkeit eines Materials Infrarot-Strahlung zu transmittieren (durchzulassen).

- τ hängt von Art und Dicke des Materials ab.
- Die meisten Materialien sind für langwellige Infrarot-Strahlung nicht transmissiv, das heißt nicht durchlässig.

Energieerhaltungssatz der Strahlung nach den Kirchhoff'schen Regeln

Die von der Wärmebildkamera erfasste Infrarot-Strahlung besteht aus:

- der emittierten Strahlung des Messobjektes,
- der Reflexion von Umgebungsstrahlung und
- der Transmission von Strahlung durch das Messobjekt.
(vgl. Abb. 1.1, S. 6)

Die Summe dieser Bestandteile wird immer gleich 1 ($\cong 100\%$) gesetzt:

$$\epsilon + \rho + \tau = 1$$

Da die Transmission in der Praxis selten eine Rolle spielt, entfällt die Transmission τ und die Formel

$$\epsilon + \rho + \tau = 1$$

vereinfacht sich zu

$$\epsilon + \rho = 1.$$

Für die Thermografie bedeutet das:

je niedriger der Emissionsgrad,

- desto höher der Anteil der reflektierten Infrarot-Strahlung,
- desto schwieriger eine genaue Temperaturmessung, und
- desto wichtiger eine korrekte Einstellung der Kompensation der reflektierten Temperatur (RTC).

Zusammenhang zwischen Emission und Reflexion

1. Messobjekte mit hohem Emissionsgrad ($\varepsilon \geq 0,8$):

- haben einen niedrigen Reflexionsgrad (ρ): $\rho = 1 - \varepsilon$
- ihre Temperatur ist sehr gut mit der Wärmebildkamera zu messen

2. Messobjekte mit mittlerem Emissionsgrad ($0,6 < \varepsilon < 0,8$):

- haben einen mittleren Reflexionsgrad (ρ): $\rho = 1 - \varepsilon$
- ihre Temperatur kann gut mit der Wärmebildkamera gemessen werden

3. Messobjekte mit niedrigem Emissionsgrad ($\varepsilon \leq 0,6$):

- haben einen hohen Reflexionsgrad (ρ): $\rho = 1 - \varepsilon$
- die Temperaturmessung mit der Wärmebildkamera ist möglich, Sie sollten jedoch die Ergebnisse kritisch hinterfragen
- eine korrekte Einstellung der Kompensation der reflektierten Temperatur ist unerlässlich, da sie einen großen Anteil an der Temperaturberechnung hat

Besonders bei großen Temperaturunterschieden zwischen Messobjekt und Messumgebung ist die korrekte Einstellung des Emissionsgrades entscheidend.

1. Bei Messobjekttemperaturen über der Umgebungstemperatur (vgl. die Heizung in Abb. 1.2, S.11):
 - zu groß eingestellte Emissionsgrade ergeben zu niedrige Temperaturanzeigen (vgl. Kamera 2)
 - zu klein eingestellte Emissionsgrade ergeben zu hohe Temperaturanzeigen (vgl. Kamera 1)
2. Bei Messobjekttemperaturen unter der Umgebungstemperatur (vgl. die Türe in Abb. 1.2, S.11):
 - zu groß eingestellte Emissionsgrade ergeben zu hohe Temperaturanzeigen (vgl. Kamera 2)
 - zu klein eingestellte Emissionsgrade ergeben zu niedrige Temperaturanzeigen (vgl. Kamera 1)

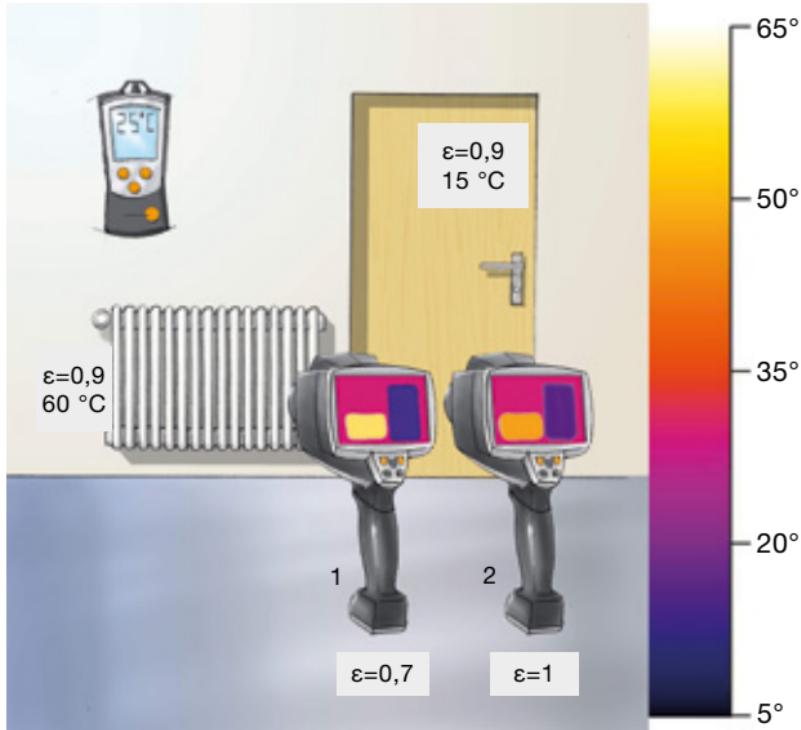


Abbildung 1.2: Auswirkungen eines falsch eingestellten Emissionsgrades auf die Temperaturmessung

Beachten Sie:

Je größer die Differenz von der Messobjekttemperatur zur Umgebungstemperatur und je kleiner die Emissionsgrade, desto größer werden die Messfehler. Diese Fehler verstärken sich bei falsch eingestelltem Emissionsgrad.

Beachten Sie:

- Mit einer Wärmebildkamera können Sie immer nur die Temperaturen der Oberflächen messen, nicht jedoch in etwas hineinschauen oder durch etwas hindurchschauen.
- Viele für das menschliche Auge durchsichtige Materialien, wie z. B. Glas, sind nicht transmissiv (durchlässig) für langwellige Infrarot-Strahlung (vgl. „Messungen an Glas, S. 30).
- Entfernen Sie bei Bedarf eventuelle Abdeckungen am Messobjekt, denn sonst misst die Wärmebildkamera nur die Oberflächentemperatur der Abdeckung.

Vorsicht: Beachten Sie immer die Bedienungsvorschriften des Messobjekts!

- Zu den wenigen transmissiven Materialien gehören z. B. dünne Plastikfolien und Germanium, das Material aus dem die Linse und das Schutzglas einer Testo-Wärmebildkamera besteht.
- Wenn Elemente, die unter der Oberfläche liegen, durch Konduktion die Temperaturverteilung auf der Messobjekt-oberfläche beeinflussen, kann man häufig Strukturen des inneren Aufbaus des Messobjekts auf dem Wärmebild erkennen. Dennoch misst die Wärmebildkamera immer nur die Oberflächentemperatur. Eine genaue Aussage über die Temperaturwerte von Elementen innerhalb des Messobjekts ist nicht möglich.

Möchten Sie auch die übrigen Seiten unseres Pocket-Guides zum Thema Thermografie herunterladen und mehr zu Theorie, Praxis, Tipps und Tricks erfahren?

Dann registrieren Sie sich bitte [hier](#).

Nachdem Sie sich registriert haben, erhalten Sie eine E-Mail mit einem Link, über den Sie den vollständigen Pocket-Guide herunterladen können.

