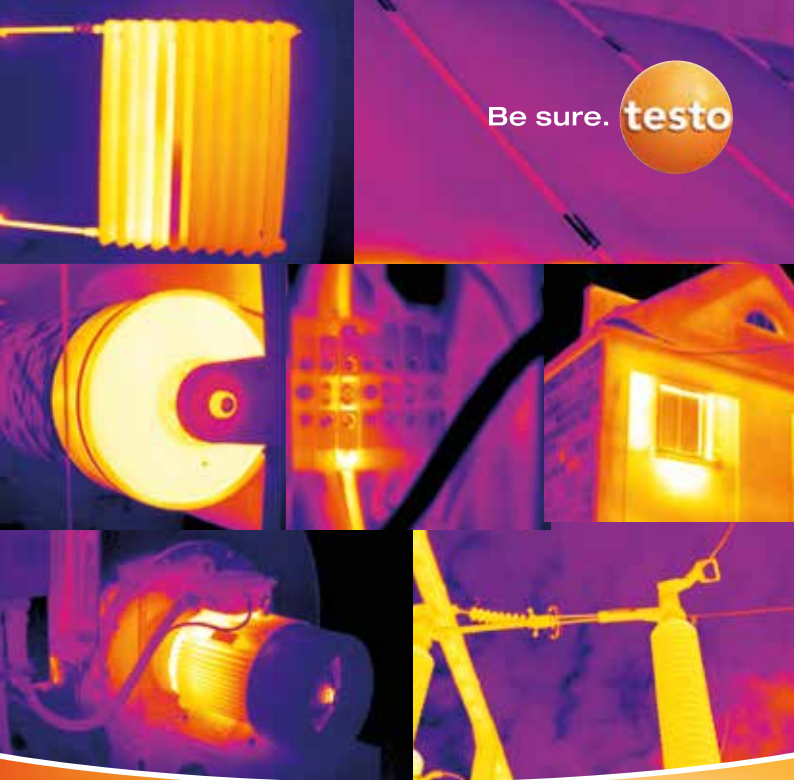




Be sure. **testo**

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 Anwendungszweck 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 = $-273,15\text{ °C}$) 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.

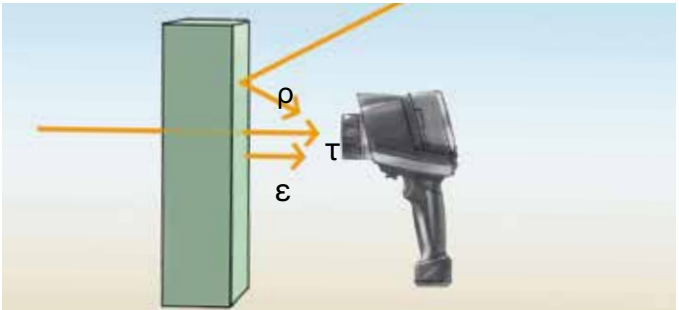


Abbildung 1.1: Emission, Reflexion und Transmission



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: $\varepsilon = 1$ ($\hat{=}$ 100 %) (vgl. „Schwarzer Strahler“, S. 48). $\varepsilon = 1$ tritt in der Realität nie auf.
- Reale Körper: $\varepsilon < 1$, 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 ($\varepsilon \approx 0,8 - 0,95$) 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:

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

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

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

vereinfacht sich zu

$$\varepsilon + \rho = 1.$$

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 ($\epsilon \geq 0,8$):

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

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

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

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

- haben einen hohen Reflexionsgrad (ρ): $\rho = 1 - \epsilon$
- 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)

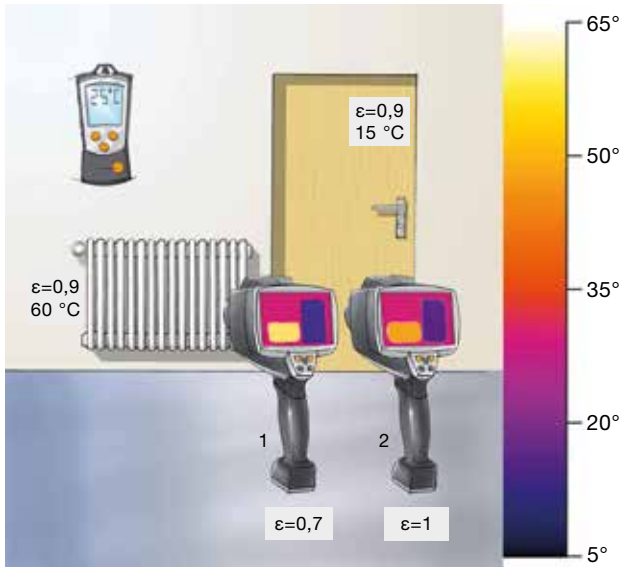


Abbildung 1.2: Auswirkungen eines falsch eingestellten Emissionsgrades auf die Temperaturmessung

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 Messobjektoberfläche 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.

1.2 Messfleck und Messentfernung

Zur Bestimmung des geeigneten Messabstands und des maximal sichtbaren bzw. messbaren Messobjekts sind drei Größen zu beachten:

- das Sichtfeld (FOV),
- das kleinste erkennbare Objekt (IFOV_{geo}), und
- das kleinste messbare Objekt / Messfleck ($\text{IFOV}_{\text{meas}}$).

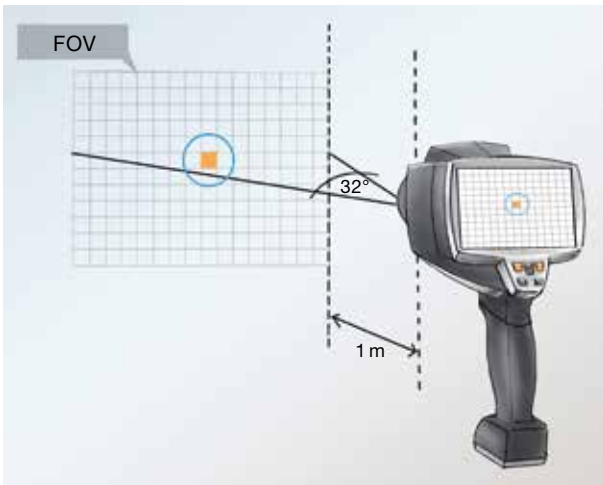


Abbildung 1.3: Das Sichtfeld der Wärmebildkamera

Das Sichtfeld (FOV) der Wärmebildkamera beschreibt die mit der Wärmebildkamera sichtbare Fläche (vgl. Abb. 1.3, S. 13). Es ist abhängig von dem verwendeten Objektiv (z. B. 32° Weitwinkelobjektiv oder 9° Teleobjektiv – dieses Teleobjektiv ist als Zubehör bei der testo 875i, testo 885 und testo 890 erhältlich).

Beachten Sie:

Um ein großes Sichtfeld zu erhalten, sollten Sie ein Weitwinkelobjektiv verwenden.

Zusätzlich sollten Sie die Angabe über das kleinste erkennbare Objekt (IFOV_{geo}) Ihrer Wärmebildkamera kennen. Dieses beschreibt die Größe eines Pixels in Abhängigkeit von der Entfernung. Bei einer räumlichen Auflösung des Objektivs von 3,5 mrad und

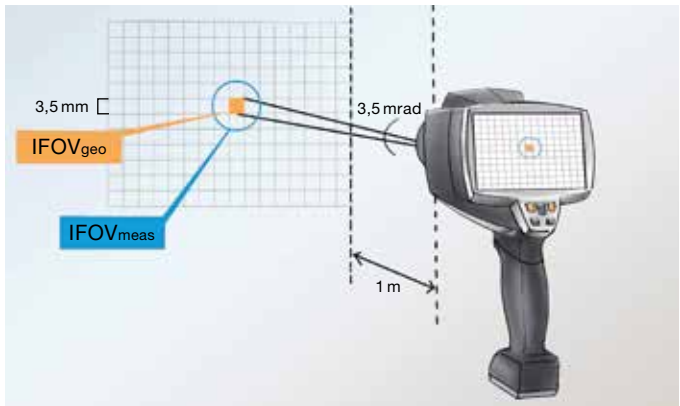


Abbildung 1.4: Sichtfeld eines einzelnen Pixels

einem Messabstand von 1 m hat das kleinste erkennbare Objekt (IFOV_{geo}) eine Kantenlänge von 3,5 mm und wird als ein Pixel auf dem Display angezeigt (vgl. Abb. 1.4, S. 14). Zur exakten Messung sollte das Messobjekt 3 mal größer als das kleinste erkennbare Objekt (IFOV_{geo}) sein.

Für das kleinste messbare Objekt ($\text{IFOV}_{\text{meas}}$) gilt also die Faustregel:

$$\text{IFOV}_{\text{meas}} \approx 3 \times \text{IFOV}_{\text{geo}}$$

Beachten Sie:

- Für eine gute räumliche Auflösung sollten Sie ein Teleobjektiv verwenden.
- Mit dem IFOV-Rechner der testo Thermography App können Sie die Werte für FOV, $\text{IFOV}_{\text{meas}}$ und IFOV_{geo} für verschiedene Abstände berechnen.

2 Thermografie in der Praxis

2.1 Messobjekt



1. Material und Emissionsgrad

Die Oberfläche jedes Materials besitzt einen spezifischen Emissionsgrad, aus dem abgeleitet wird, wie viel der vom Material ausgehenden Infrarot-Strahlung

- reflektiert und
- emittiert (vom Objekt selbst ausgestrahlt) wird.



2. Farbe

Bei der Temperaturmessung mit einer Wärmebildkamera hat die Farbe eines Materials keinen nennenswerten Einfluss auf die vom Messobjekt ausgehende langwellige Infrarot-Strahlung. Dunkle Oberflächen absorbieren mehr kurzwellige Infrarot-Strahlung als helle und erwärmen sich dadurch schneller. Die ausgesendete Infrarot-Strahlung hängt jedoch von der Temperatur ab und nicht von der Farbe der Messobjektoberfläche. Z. B. strahlt ein schwarz lackierter Heizkörper genau so viel langwellige Infrarot-Strahlung ab, wie ein gleich warmer, weiß lackierter Heizkörper.



3. Oberfläche des Messobjekts

Die Beschaffenheit der Messobjektoberfläche spielt bei der Temperaturmessung mit einer Wärmebildkamera eine entscheidende Rolle. Denn je nach Oberflächenstruktur, Verschmutzung oder Beschichtung ändert sich der Emissionsgrad der Oberfläche.

Struktur der Oberfläche

Glatte, glänzende, spiegelnde und/oder polierte Oberflächen haben in der Regel einen etwas niedrigeren Emissionsgrad als matte, strukturierte, raue, verwitterte und/oder zerkratzte Oberflächen desselben Materials. Bei sehr glatten Oberflächen kommt es häufig zu spiegelnden Reflexionen (vgl. „Spiegelnde Reflexion“, S. 31).

Nässe, Schnee und Raureif auf der Oberfläche

Wasser, Schnee und Raureif besitzen relativ hohe Emissionsgrade (ca. $0,85 < \varepsilon < 0,96$), daher ist die Messung dieser Stoffe generell unproblematisch. Allerdings müssen Sie beachten, dass die Temperatur des Messobjekts durch solche natürliche Beschichtungen verfälscht sein kann. Denn Nässe kühlt bei der Verdunstung die Messobjektoberfläche ab, und Schnee hat gute Isolationseigenschaften. Raureif bildet meistens keine geschlossene Oberfläche, daher müssen Sie bei der Messung sowohl den Emissionsgrad des Raureifs als auch den der darunter liegenden Oberfläche beachten.

Verschmutzungen und Fremdkörper auf der Oberfläche

Verschmutzungen auf der Messobjektoberfläche, wie z. B. Staub, Ruß oder Schmieröl, erhöhen in der Regel den Emissionsgrad der Oberfläche. Aus diesem Grund ist die Messung schmutziger Objekte generell unproblematisch. Ihre Wärmebildkamera misst jedoch immer die Temperatur der Oberfläche, also die des Schmutzes, und nicht die exakte Temperatur der darunter liegenden Messobjektoberfläche.

Beachten Sie:

- Der Emissionsgrad eines Materials hängt stark von der Struktur der Oberfläche des Materials ab.
- Beachten Sie die korrekte Einstellung des Emissionsgrades je nach Belag auf der Messobjektoberfläche.
- Vermeiden Sie die Messung nasser, schneebedeckter oder mit Raureif überzogener Oberflächen.
- Vermeiden Sie die Messung an locker aufliegenden Verschmutzungen (Verfälschung der Temperatur durch Luft-einschlüsse).
- Achten Sie besonders bei der Messung glatter Oberflächen auf mögliche Strahlungsquellen in der Umgebung (z. B. Sonne, Heizungen, etc.).

2.2 Messumgebung



1. Umgebungstemperatur

Damit Ihre Wärmebildkamera die Temperatur der Messobjektoberfläche korrekt berechnen kann, sollten Sie neben der Einstellung des Emissionsgrades (ϵ) auch die Einstellung der reflektierten Temperatur (RTC) beachten. Bei vielen Messanwendungen entspricht die reflektierte Temperatur der Umgebungstemperatur (vgl. „Strahlung“, S. 19). Diese können Sie mit einem Luftthermometer, z. B. testo 810, ermitteln. Besonders bei einer großen Temperaturdifferenz zwischen Messobjekt und Messumgebung ist eine genaue Einstellung des Emissionsgrades wichtig (vgl. Abb. 1.2, S. 11).



2. Strahlung

Jedes Objekt mit einer Temperatur über dem absoluten Nullpunkt ($0 \text{ Kelvin} = -273,15 \text{ }^{\circ}\text{C}$) sendet infrarote Strahlung aus. Vor allem Objekte, die eine große Temperaturdifferenz zum Messobjekt aufweisen, können die Infrarot-Messung aufgrund ihrer eigenen Strahlung stören. Solche Störquellen sollten Sie wenn möglich vermeiden bzw. abschalten. Durch Abschirmen der Störquellen (z. B. mit einer Leinwand oder einem Karton) reduzieren Sie diesen negativen Einfluss auf die Messung. Lässt sich der Einfluss der Störquelle nicht beseitigen, entspricht die reflektierte Temperatur nicht der Umgebungstemperatur.

Zur Messung der reflektierten Strahlung empfiehlt sich z. B. ein Lambert-Strahler in Verbindung mit Ihrer Wärmebildkamera (vgl. „Ermittlung der Temperatur der reflektierten Strahlung“, S. 27).

Besonderheiten bei der Außenthermografie

Die infrarote Strahlung, die vom klaren Himmel ausgeht, wird umgangssprachlich als „kalte Himmelsstrahlung“ bezeichnet. Bei einem klaren Himmel werden tagsüber „kalte Himmelsstrahlung“ ($\sim -50 \dots -60 \text{ }^{\circ}\text{C}$) und warme Sonneneinstrahlung ($\sim 5500 \text{ }^{\circ}\text{C}$) reflektiert. Der Himmel überwiegt flächenmäßig die Sonne, so dass die reflektierte Temperatur bei der Außenthermografie sogar an einem sonnigen Tag meist unter $0 \text{ }^{\circ}\text{C}$ liegt. Aufgrund der Absorption der Sonnenstrahlung heizen sich Objekte in der Sonne auf. Dies beeinflusst die Oberflächentemperatur erheblich – teilweise auch noch Stunden nach der Sonneneinstrahlung.



Abbildung 2.1: Reflexion bei Messungen im Freien

In Abbildung 2.1 ist zu sehen, dass die Regenrinne auf dem Wärmebild kälter dargestellt wird, als die Hauswand. Beide haben jedoch annähernd die gleiche Temperatur. Das Bild muss also interpretiert werden.

Wir nehmen an, die Oberfläche der Regenrinne ist verzinkt und hat einen sehr niedrigen Emissionsgrad ($\epsilon = 0,1$). Nur 10 % der von der Regenrinne ausgehenden langwelligen Infrarot-Strahlung ist also emittierte Eigenstrahlung und 90 % ist reflektierte Umgebungsstrahlung (RTC). Bei klarem Himmel wird u.a. die „kalte Himmelsstrahlung“ ($\sim -50 \dots -60 \text{ }^\circ\text{C}$) an der Regenrinne reflektiert. Die Wärmebildkamera ist zur korrekten Messung der Hauswand auf $\epsilon = 0,95$ und $\text{RTC} = -55 \text{ }^\circ\text{C}$ eingestellt. Auf Grund des sehr niedrigen Emissionsgrades und der sehr starken Reflexion wird die Regenrinne auf dem Wärmebild zu kalt dargestellt. Um die Tem-

peraturen beider Materialien auf dem Wärmebild korrekt anzuzeigen, können Sie den Emissionsgrad für bestimmte Bereiche nachträglich mit einer Analyse-Software (z. B. IRSoft oder Testo Thermography App) ändern. Zur Ermittlung der korrekten RTC empfehlen wir einen Lambert-Strahler (vgl. „Praxisnahe Ermittlung von ϵ und RTC“, S. 25).

Beachten Sie:

- Vernachlässigen Sie nicht den Einfluss Ihrer persönlichen Infrarot-Strahlung.
- Wechseln Sie Ihre Position während der Messung, um Reflexionen zu erkennen. Reflexionen wandern, thermische Auffälligkeiten des Messobjekts bleiben an derselben Stelle – auch bei Änderung des Blickwinkels.
- Vermeiden Sie Messungen in der Nähe sehr heißer oder kalter Objekte, bzw. schirmen Sie diese ab.
- Vermeiden Sie direkte Sonneneinstrahlung, auch einige Stunden vor der Messung. Messen Sie in den frühen Morgenstunden.
- Messen Sie im Freien möglichst bei dicht bewölktem Himmel.



3. Wetter

Bewölkung

Für Infrarot-Messungen im Freien bietet ein dicht bewölkter Himmel ideale Bedingungen, da er das Messobjekt vor Sonneneinstrahlung und „kalter Himmelsstrahlung“ abschirmt (vgl. „Strahlung“, S. 19).

Niederschlag

Starker Niederschlag (Regen, Schnee) kann das Messergebnis verfälschen. Wasser, Eis und Schnee besitzen einen hohen Emissionsgrad und sind undurchlässig für Infrarot-Strahlung. Zudem kann die Messung nasser Objekte zu Messfehlern führen, da sich die Oberfläche des Messobjekts bei Verdunstung abkühlt (vgl. „Oberfläche des Messobjekts“, S. 16).

Sonne

(vgl. „Strahlung“, S. 19)

Beachten Sie:

- Messen Sie bevorzugt bei dicht bewölktem Himmel.
- Beachten Sie auch die Bewölkung einige Stunden vor der Messung.
- Vermeiden Sie starken Niederschlag während der Messung.



4. Luft

Luftfeuchtigkeit

Die relative Luftfeuchtigkeit in der Messumgebung sollte niedrig genug sein, damit es nicht zur Kondensation in der Luft (Nebel), am Messobjekt, am Schutzglas oder der Linse der Wärmebildkamera kommt. Bei beschlagener Linse (bzw. Schutzglas) kann ein Teil der auf die Wärmebildkamera treffende Infrarot-Strahlung nicht empfangen werden, da die Strahlung nicht vollständig durch das Wasser auf der Linse hindurch gelangt.

Sehr dichter Nebel kann die Messung beeinflussen, denn die Wassertröpfchen in der Übertragungsstrecke lassen weniger Infrarot-Strahlung durch.

Luftströmungen

Wind bzw. der Luftzug im Raum kann die Temperaturmessung mit der Wärmebildkamera beeinflussen.

Durch den Wärmeaustausch (Konvektion) besitzt die Luft nahe der Oberfläche die gleiche Temperatur wie das Messobjekt. Bei Wind oder Luftzug wird diese Luftschicht „weggeweht“ und eine neue, nicht an die Temperatur des Messobjekts angepasste Luftschicht befindet sich an ihrer Stelle. Durch die Konvektion wird dem warmen Messobjekt Wärme entzogen bzw. dem kalten Messobjekt Wärme zugeführt, bis sich die Temperatur der Luft und der Messobjektoberfläche aneinander angeglichen haben. Dieser Effekt des Wärmeaustausches vergrößert sich mit der Temperaturdifferenz zwischen der Messobjektoberfläche und der Umgebungstemperatur.

Luftverunreinigungen

Einige Schwebestoffe wie z. B. Staub, Ruß, Rauch, sowie manche Dämpfe besitzen einen hohen Emissionsgrad und sind kaum transmissiv. Das heißt, sie können die Messung beeinträchtigen, da sie selbst Infrarot-Strahlung aussenden, die von der Wärmebildkamera empfangen wird. Zusätzlich kann die Infrarot-Strahlung des Messobjekts nur zum Teil bis zur Wärmebildkamera durchdringen, da sie von den Schwebestoffen gestreut und absorbiert wird.

Beachten Sie:

- Messen Sie nicht bei dichtem Nebel oder über Wasserdampf.
- Messen Sie nicht bei Kondensation von Luftfeuchtigkeit an der Wärmebildkamera (vgl. „Nässe, Schnee und Raureif auf der Oberfläche“, S. 17).
- Vermeiden Sie wenn möglich Wind und andere Luftströmungen während der Messung.
- Beachten Sie die Geschwindigkeit und die Richtung von Luftströmungen während der Messung und berücksichtigen Sie diese Daten bei der Auswertung der Wärmebilder.
- Messen Sie nicht bei stark verunreinigter Luft (z. B. bei frisch aufgewirbeltem Staub).
- Messen Sie immer mit dem für Ihre Messanwendung kleinstmöglichen Messabstand, um den Einfluss eventueller Schwebstoffe in der Luft zu minimieren.



5. Licht

Licht oder Beleuchtung spielen bei der Messung mit einer Wärmebildkamera keine nennenswerte Rolle.

Sie können auch im Dunkeln messen, da die Wärmebildkamera langwellige Infrarot-Strahlung misst.

Einige Lichtquellen senden jedoch selbst infrarote Wärmestrahlung aus und können so die Temperatur von Objekten in ihrer Umgebung beeinflussen. Daher sollten Sie z. B. nicht bei direkter Sonneneinstrahlung oder in der Nähe einer heißen Glühbirne messen. Kalte Lichtquellen, wie z. B. LEDs oder Neonleuchten, sind unkritisch, da sie den Großteil der eingesetzten Energie in sichtbares Licht und nicht in Infrarot-Strahlung umwandeln.

2.3 Praxisnahe Ermittlung von ϵ und RTC

Zur Bestimmung des Emissionsgrades der Messobjektoberfläche, können Sie z. B.:

- den Emissionsgrad in einer Tabelle ablesen (vgl. „Emissionsgradtabelle“, S. 51).
Vorsicht: Werte in Emissionsgradtabellen sind immer nur Richtwerte. Der Emissionsgrad Ihrer Messobjektoberfläche kann daher vom angegebenen Richtwert abweichen.
- den Emissionsgrad durch Vergleichsmessung mit einem Kontaktthermometer (z. B. mit dem testo 905-T2 oder testo 925) ermitteln (vgl. „Methode mit einem Kontaktthermometer“, S. 25).
- den Emissionsgrad durch Vergleichsmessung mit der Wärmebildkamera ermitteln (vgl. „Methode mit der Wärmebildkamera“, S. 26).

Emissionsgrad durch Vergleichsmessung ermitteln

1. Methode mit einem Kontaktthermometer

Messen Sie zuerst die Temperatur der Messobjektoberfläche mit einem Kontaktthermometer (z. B. testo 905-T2 oder testo 925). Nun messen Sie die Temperatur der Messobjektoberfläche mit der Wärmebildkamera bei einem voreingestellten Emissionsgrad von eins. Der Unterschied zwischen den gemessenen Temperaturwerten des Kontaktthermometers und der Wärmebildkamera resultiert aus einem zu hoch eingestellten Emissionsgrad. Durch schrittweises Senken der Einstellung des Emissionsgrades können Sie die gemessene Temperatur ändern, bis sie mit dem Wert der Kontaktmessung übereinstimmt. Der dann eingestellte Emissionsgrad entspricht dem Emissionsgrad der Messobjektoberfläche.

2. Methode mit der Wärmebildkamera

Kleben Sie zuerst ein Stück Emissionsklebeband (z. B. hitzebeständiges Emissionsklebeband von Testo) auf Ihr Messobjekt. Nach kurzer Wartezeit können Sie die Temperatur der Messobjektoberfläche auf dem abgeklebten Bereich mit Ihrer Wärmebildkamera bei eingestelltem Emissionsgrad des Klebebands messen. Diese Temperatur ist Ihre Referenztemperatur. Regulieren Sie nun die Einstellung des Emissionsgrades, bis die Wärmebildkamera am nicht abgeklebten Bereich der Messobjektoberfläche die gleiche Temperatur wie die soeben gemessene Referenztemperatur misst. Der nun eingestellte Emissionsgrad ist der Emissionsgrad der Messobjektoberfläche.

Alternativ zum Emissionsklebeband können Sie auch:

- das Messobjekt mit einem Lack oder einer Farbe mit bekanntem Emissionsgrad anstreichen.
- das Messobjekt mit einer dicken Schicht ($> 0,13$ mm) hitzebeständigen Öls anstreichen ($\epsilon \approx 0,82$).
- das Messobjekt mit einer dicken Schicht Ruß ($\epsilon \approx 0,95$) versehen.
- die Emissivität und die RTC mit der Funktion ϵ -Assist bestimmen (testo 868, testo 871, testo 872).

Beachten Sie:

- Vorsicht: Halten Sie sich immer an die Betriebsvorschriften des Messobjekts!
- Achten Sie beim Anstreichen oder Bekleben des Messobjekts darauf, dass sich der Anstrich oder das Klebeband erst an die Objekttemperatur anpassen muss, bevor eine korrekte Messung möglich ist.

Ermittlung der Temperatur der reflektierten Strahlung

Haben Sie alle möglichen Störquellen, die Ihre Messung beeinflussen könnten, beseitigt, so ist die Temperatur der reflektierten Infrarot-Strahlung gleich der Umgebungstemperatur. Die Umgebungstemperatur können Sie mit einem Luftthermometer, z. B. testo 810, ermitteln und dementsprechend die RTC in Ihre Wärmebildkamera eingeben. Sind jedoch infrarote Strahlungsquellen in der Messumgebung vorhanden, sollten Sie für ein genaues Messergebnis die Temperatur der reflektierten Strahlung ermitteln.

Messung der reflektierten Temperatur mittels (improvisiertem) Lambert-Strahler

Ein Lambert-Strahler ist ein Objekt, welches auftreffende Strahlung ideal diffus, also in alle Richtungen, reflektiert.

An einem Lambert-Strahler können Sie mit der Wärmebildkamera die Temperatur der reflektierten Strahlung messen. Eine zerknitterte und wieder aufgefaltete Aluminiumfolie eignet sich für diesen Zweck gut als Ersatz für einen Lambert-Strahler. Die Folie besitzt einen hohen Reflexionsgrad und durch die zerknitterte Struktur wird die Strahlung nahezu ideal diffus reflektiert (vgl. Abb. 2.3, rechte Seite der Aluminiumfolie, S. 32).

Zur Messung der Temperatur der reflektierten Strahlung legen Sie den Lambert-Strahler in die Nähe des Messobjekts oder am besten auf die Messobjektoberfläche. Dann messen Sie an ihm die Temperatur bei einem eingestellten Emissionsgrad von eins. Die Kamera errechnet nun die Temperatur der auf sie treffenden Strahlung. Diesen Wert können Sie nun als RTC in Ihre Wärmebildkamera eingeben und mit eingestelltem Emissionsgrad Ihrer Messobjektoberfläche die Temperatur am Messobjekt messen.

2.4 Fehlerquellen bei der Infrarot-Messung

Folgende Faktoren können das Ergebnis Ihrer Infrarot-Messung verfälschen:

- Falsch eingestellter Emissionsgrad
 - Korrekten Emissionsgrad ermitteln und einstellen (vgl. „Emissionsgrad durch Vergleichsmessung ermitteln“, S. 25).
- Falsch eingestellte RTC
 - Reflektierte Temperatur ermitteln und einstellen (vgl. „Ermittlung der Temperatur der reflektierten Strahlung“, S. 27).
- Unscharfes Wärmebild
 - Fokussieren Sie ihr Wärmebild vor Ort, denn die Schärfe kann nach der Aufnahme nicht mehr geändert werden.
- Zu großer oder zu kleiner Messabstand
- Messung mit ungeeignetem Objektiv
- Zu großer Messfleck
 - Achten Sie bei der Messung auf den Mindestfokussierabstand Ihrer Wärmebildkamera.
 - Wählen Sie, wie bei der Fotografie, sinnvoll zwischen Teleobjektiv und Weitwinkelobjektiv.
 - Wählen Sie wenn möglich einen kleinen Messabstand.
- Störungen in der Übertragungsstrecke (z. B. Luftverunreinigung, Abdeckungen, etc.)
- Einfluss von Fremdstrahlungsquellen (z. B. Glühlampen, Sonne, Heizungen, etc.)
- Fehlinterpretation des Wärmebildes durch Reflexion
 - Vermeiden Sie Messungen unter dem Einfluss von Störquellen.

- Störquellen wenn möglich abschalten, abschirmen, oder ihren Einfluss bei der Auswertung des Wärmebildes beachten.
- Schnelle Wechsel der Umgebungstemperatur
 - Bei Wechseln in der Umgebungstemperatur von kalt nach warm besteht die Gefahr der Betauung auf dem Objektiv.
 - Setzen Sie möglichst Wärmebildkameras mit temperaturstabilisierten Detektoren ein.
- Fehlinterpretation des Wärmebildes aufgrund von Unkenntnis über den Aufbau des Messobjekts
 - Art und Aufbau des Messobjekts sollten bekannt sein.
 - Ziehen Sie zur Interpretation der Wärmebilder, wenn möglich, auch Realbilder (Fotos) heran.

Messungen an Glas

Das menschliche Auge kann durch Glas hindurchschauen, für Infrarot-Strahlung ist Glas jedoch undurchlässig. Die Wärmebildkamera misst daher nur die Oberflächentemperatur des Glases, nicht jedoch die Temperatur dahinter liegender Materialien (vgl. Abb. 2.2). Für kurzwellige Strahlung, wie z. B. Sonneneinstrahlung, ist Glas jedoch transmissiv. Daher sollten Sie auch darauf achten, dass z. B. durch Fenster scheinendes Sonnenlicht Ihr Messobjekt erwärmen könnte.

Glas zählt zu den spiegelnden Materialien. Achten Sie also bei der Messung an Glas auf spiegelnde Reflexion (vgl. „Spiegelnde Reflexion“, S. 31).

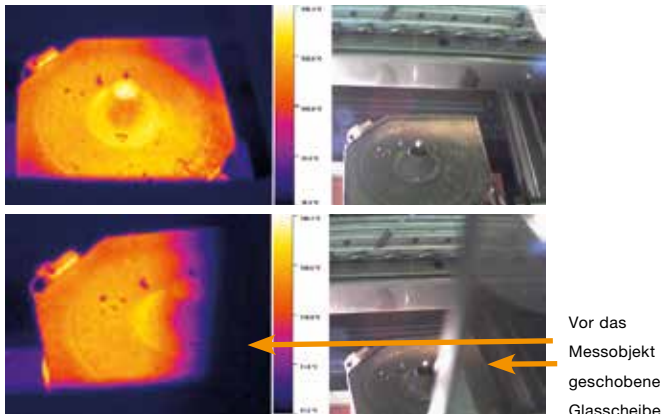


Abbildung 2.2: Messung an Glas

Messungen an Metall

Metalle, besonders solche mit glänzender Oberfläche, reflektieren langwellige Infrarotstrahlung stark. Sie besitzen einen sehr niedrigen Emissionsgrad, welcher bei höheren Temperaturen temperaturabhängig werden kann. Daher ist es problematisch, ihre Temperatur mit einer Wärmebildkamera zu messen. Neben der Regulierung des Emissionsgrades ist eine korrekte Einstellung der reflektierten Temperatur (vgl. „Ermittlung der Temperatur der reflektierten Strahlung“, S. 27) besonders wichtig. Beachten Sie hierbei auch die Hinweise zur spiegelnden Reflexion (vgl. „spiegelnde Reflexion“, S. 31).

Bei lackierten Metallen ist die Messung unproblematisch, da Lacke in der Regel einen hohen Emissionsgrad besitzen. Allerdings müssen Sie auch hier auf Reflexionen der Umgebungsstrahlung achten.

Spiegelnde Reflexion

Oft ist eine deutlich sichtbare spiegelnde Reflexion ein Indiz für eine stark reflektierende Oberfläche, also eine Oberfläche mit niedrigem Emissionsgrad. Allerdings bedeutet stark spiegelnd für das menschliche Auge im sichtbaren Bereich nicht immer, dass es auch im Infrarot-Bereich stark reflektiert. Man kann beispielsweise auf dem Wärmebild einer lackierten Fläche spiegelnde Reflexionen der Umgebungsstrahlung sehen (z. B. Silhouette der Messperson), obwohl Lack in der Regel einen hohen Emissionsgrad ($\epsilon \approx 0,95$) hat. Genauso kann man z. B. auf dem Wärmebild einer Sandsteinmauer keine Umrissse von reflektierten Objekten der Messumgebung erkennen, obwohl Sandstein einen niedrigen Emissionsgrad ($\epsilon \approx 0,67$) hat. Ob die Umgebungsstrahlung in deutlichen Umrissen spiegelnd reflektiert wird, hängt demnach nicht primär vom Emissionsgrad, sondern von der Struktur der Oberfläche ab.

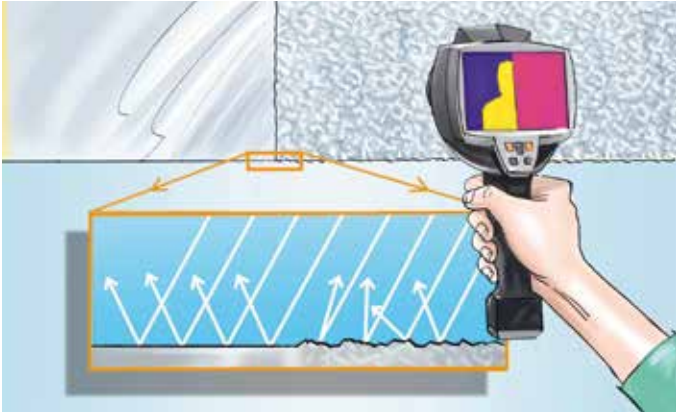


Abbildung 2.3: Spiegelnde und diffuse Reflexion

Jede Strahlung wird immer mit dem gleichen Winkel reflektiert, mit dem sie auf die Oberfläche auftrifft. Das heißt, es gilt immer folgende Faustregel: Einfallswinkel = Ausfallswinkel. Dies ist deutlich in der Abbildung 2.3 im vergrößerten Querschnitt der glatten Hälfte der Aluminiumfolie (linke Seite) zu erkennen. Hier wird die Infrarot-Strahlung der Messperson in der gleichen Form reflektiert, in der sie aufgetroffen ist (spiegelnde Reflexion).

Natürlich gilt auch für die auf die zerknitterte Aluminiumfolie (rechte Seite) auftreffende Infrarot-Strahlung die Regel Einfallswinkel = Ausfallswinkel. Hier fallen jedoch die Infrarot-Strahlen nicht auf eine ebene Fläche, sondern auf unterschiedlich geneigte Teilflächen. Daher werden sie, wie an einem Lambert-Strahler, in unterschiedliche Richtungen reflektiert. Diese diffuse Reflexion führt dazu, dass keine Umrisse der reflektierten infraroten Strahlungsquellen zu erkennen sind. Die Reflexion auf der zerknitterten Seite der Aluminiumfolie ist an jeder Stelle eine Mischung der Infrarot-Strahlung der beiden reflektierten Strahlungsquellen (Messperson und Hintergrund der Messperson).

Beachten Sie:

- Stark spiegelnd im sichtbaren Bereich bedeutet nicht immer auch stark reflektierend im Infrarot-Bereich.
- Beachten Sie immer den Einfluss Ihrer persönlichen Infrarot-Strahlung.
- Auch Oberflächen, auf denen keine spiegelnde Reflexion zu erkennen ist, können einen hohen Reflexionsgrad haben.
- Messen Sie glatte Oberflächen aus verschiedenen Winkeln und Richtungen, um zu erkennen, welche der Unregelmäßigkeiten in der Temperaturverteilung auf Reflexion und welche auf das Messobjekt zurückzuführen sind.

2.5 Die besten Bedingungen bei der Infrarot-Messung

Bei der Infrarot-Messung sind vor allem stabile Umgebungsbedingungen wichtig. Das heißt Klima, Objekte in der Messumgebung sowie jegliche andere Einflussfaktoren sollten sich während der Messung nicht ändern. Nur so können mögliche Störquellen eingeschätzt und für die spätere Analyse dokumentiert werden.

Bei Messungen im Freien sollte die Witterung stabil und der Himmel bewölkt sein, um das Messobjekt sowohl vor direkter Sonneneinstrahlung als auch vor „kalter Himmelsstrahlung“ abzuschirmen. Dabei müssen Sie auch beachten, dass Messobjekte durch vorherige Sonneneinstrahlung aufgrund ihrer Wärmespeicherkapazität noch aufgeheizt sein können.

Die idealen Messbedingungen sind:

- stabile Witterung
- bewölkter Himmel vor und während der Messung (bei Messungen im Freien)
- keine direkte Sonneneinstrahlung vor und während der Messung
- kein Niederschlag
- trockene und thermisch frei zugängliche Messobjektoberfläche (z. B. kein Laub, keine Späne auf der Oberfläche)
- kein Wind oder Luftzug
- keine Störquellen in der Messumgebung und der Übertragungsstrecke
- eine Messobjektoberfläche mit hohem, genau bekanntem Emissionsgrad

Bei Gebäudethermografie ist eine Differenz von mindestens 10 °C zwischen Innen- und Außentemperatur empfehlenswert.

2.6 Das perfekte Wärmebild

Bei der Aufnahme eines Wärmebildes sollten Sie vor allem auf zwei Dinge achten:

- die Wahl des richtigen Bildausschnitts und
- die richtige Fokussierung des Wärmebildes auf den messtechnisch relevanten Bereich.

Sie können sowohl den Bildausschnitt als auch die Schärfe des Bildes – genau wie bei einem normalen Digitalbild – nach dem Speichern des Wärmebildes nicht mehr ändern.

Um ein perfektes Wärmebild zu erhalten, können Sie in Ihrer Wärmebildkamera und in der Analyse-Software (z. B. testo IRSoft oder testo Thermography App) folgende Änderungen vornehmen:

- Emissionsgrad und Einstellung für die Kompensation der Reflexionstemperatur (RTC) ändern. Dies ist in einer professionellen Analyse-Software, wie z. B. testo IRSoft oder testo Thermography App, auch punkt- und bereichsweise möglich.
- Geeignete Farbpalette (z. B. Eisen, Regenbogen, etc.) wählen. Je nach Farbpalette erhalten Sie ein kontrastreiches, leicht interpretierbares Wärmebild.



Abbildung 2.4:
Anpassung der
Temperaturskala



- Temperaturskala manuell anpassen. So können Sie die Temperaturabstufung bzw. Farbabstufung Ihres Wärmebildes verbessern (vgl. Abb. 2.4).

Beachten Sie für die Aufnahme des Wärmebildes folgende Tipps:

- Jegliche Störquellen beachten, vermeiden oder abschirmen.
- Die Messobjektoberfläche sollte optisch und thermisch frei zugänglich sein. Entfernen Sie, wenn möglich, Abdeckungen und störende Objekte in der Umgebung.

- Wechseln Sie Ihre Position bei der Messung, um Reflexionen zu erkennen. Reflexionen wandern, thermische Auffälligkeiten des Messobjekts bleiben an derselben Stelle – auch bei Änderung des Blickwinkels.
- Ihr Messfleck sollte nie größer als Ihr Messobjekt sein.
- Halten Sie den Messabstand so gering wie möglich.
- Verwenden Sie ein für Ihre Messaufgabe geeignetes Objektiv.
- Für die exakte Messung von Details empfiehlt es sich, ein Stativ zu verwenden.
- Der Aufbau Ihres Messobjekts sollte bekannt sein, um thermische Auffälligkeiten richtig deuten zu können.
- Verwenden Sie eine Wärmebildkamera mit eingebauter Digitalkamera, damit Sie visuelle Bilder zur späteren Auswertung hinzuziehen können.
- Beachten Sie alle Umgebungsbedingungen. Messen und dokumentieren Sie diese gegebenenfalls für die spätere Auswertung der Wärmebilder.

3 Anhang

3.1 Thermografie-Glossar

A

Absoluter Nullpunkt

Der absolute Nullpunkt liegt bei $-273,15\text{ °C}$ ($0\text{ Kelvin} = -459,69\text{ °F}$). Alle Körper, deren Temperatur am absoluten Nullpunkt liegt, senden keine Infrarot-Strahlung aus.

Absorption

Wenn elektromagnetische Infrarot-Strahlung auf ein Objekt trifft, absorbiert das Objekt einen Teil dieser Energie. Die Absorption (Aufnahme) von Infrarot-Strahlung bedeutet eine Erwärmung des Objekts. Wärmere Objekte senden mehr Infrarot-Strahlung aus als kältere Objekte. Die absorbierte (aufgenommene) Infrarot-Strahlung wird also in emittierte (vom Objekt ausstrahlende) Infrarot-Strahlung umgewandelt. Der Absorptionsgrad entspricht dem Emissionsgrad.

Die auf das Objekt treffende Infrarot-Strahlung, die nicht absorbiert wird, wird reflektiert und/oder transmittiert (durchgelassen).

Angleichzeit

Die Angleichzeit ist die Zeit, die die Wärmebildkamera benötigt, um sich an die Umgebungstemperatur des Messortes anzupassen, um innerhalb der Spezifikation zu messen. Entnehmen Sie die Angleichzeit Ihrer Wärmebildkamera der Bedienungsanleitung.

B

Bildwiederholfrequenz

Angabe in Hertz, wie oft pro Sekunde das angezeigte Bild aufgefrischt wird (z. B. 9 Hz / 33 Hz / 60 Hz). Eine Bildwiederholfrequenz von 9 Hz bedeutet, die Wärmebildkamera erneuert das Wärmebild im Display neun mal pro Sekunde.

Bunter Strahler

Bunte Strahler sind Materialien, bei denen der Emissionsgrad von der Wellenlänge abhängig ist. Betrachtet man das gleiche Objekt mit einer Wärmebildkamera im langwelligen Infrarotbereich (LWIR, 8 – 14 μm) und einer Wärmebildkamera im mittelwelligen Infrarotbereich (MWIR, 3 – 5 μm) kann es notwendig sein unterschiedliche Emissivitäten in der Wärmebildkamera einzustellen.

C

Celsius (°C)

Temperatureinheit. Unter Normaldruck liegt der Nullpunkt der Celsius-Skala (0 °C) bei der Gefriertemperatur von Wasser. Ein weiterer Fixpunkt für die Celsius-Skala ist der Siedepunkt von Wasser bei 100 °C.

$^{\circ}\text{C} = (^{\circ}\text{F} - 32) / 1,8$ oder $^{\circ}\text{C} = \text{K} - 273,15$.

Coldspot und Hotspot

Als „Coldspot“ bezeichnet man den kältesten Punkt eines Bereichs auf dem Wärmebild, als „Hotspot“ bezeichnet man den heißesten Punkt.

Mit der Funktion „Auto-Hot-Cold-Spot-Erkennung“ können Sie sich diese beiden Punkte direkt auf Ihrem Wärmebild im Display der Kamera anzeigen lassen. Diese Funktion ist auch in mancher Analyse-Software verfügbar, z. B. mit testo IRSOFT oder testo Thermography App. Dort können Sie sich diese beiden Punkte auch für frei definierbare Bereiche des Wärmebilds anzeigen lassen.

D

Detektor

Der Detektor empfängt die Infrarot-Strahlung und wandelt sie in ein elektrisches Signal um. Die geometrische Auflösung des Detektors wird in Pixel und die thermische Auflösung mit der NETD angegeben.

E

Emissionsgrad (ε)

Ein Maß für die Fähigkeit eines Materials, Infrarot-Strahlung zu emittieren (auszusenden). Der Emissionsgrad hängt von der Oberflächenbeschaffenheit, dem Material und bei einigen Materialien auch von der Temperatur des Objektes ab.

F

Fahrenheit (°F)

Temperatureinheit, die hauptsächlich in Nordamerika gebräuchlich ist.

$$^{\circ}\text{F} = (^{\circ}\text{C} \times 1,8) + 32.$$

Beispiel 20 °C in °F: $(20\text{ °C} \times 1,8) + 32 = 68\text{ °F}$.

Farbpalette

Auswahl der Farbdarstellung des Wärmebildes in der Kamera (z. B. Farbpalette „Regenbogen“, „Eisen“, „Graustufen“). Je nach Messaufgabe und eingestellter Farbpalette lassen sich Kontraste der Wärmebilder unterschiedlich gut darstellen. Die Farbpalette lässt sich auch nach dem Speichern des Wärmebildes mit Hilfe einer Analyse-Software (z. B. mit testo IRSOFT oder testo Thermography App) individuell einstellen. Achten Sie bei der Wahl der Farbpalette auch auf die Interpretierbarkeit Ihres Wärmebildes. Rote und gelbe Farben werden vom Betrachter meist intuitiv mit Wärme assoziiert, grüne und blaue Farben mit Kälte.

FOV (Field of View)

Sichtfeld der Wärmebildkamera. Es wird im Winkelmaß (z. B. 32°) angegeben und beschreibt die mit der Wärmebildkamera sichtbare Fläche. Das Sichtfeld ist vom Detektor der Wärmebildkamera und vom verwendeten Objektiv abhängig. Weitwinkelobjektive haben bei gleichem Detektor ein großes, Teleobjektive (z. B. Testo Teleobjektiv 9°) und Superteleobjektive ein kleines Sichtfeld.

G

Grauer Strahler

Da es in der Natur keinen idealen schwarzen Strahler gibt ($\epsilon = 1$), behilft man sich des Konzepts des grauen Strahlers ($\epsilon < 1$). Viele Baumaterialien bzw. organische Materialien können in einem schmalen Spektralbereich näherungsweise als graue Strahler beschrieben werden. Hierbei wird die Wellenlängenabhängigkeit der Emissivität vernachlässigt (vgl. „Bunter Strahler“), da die Spektralempfindlichkeit gängiger Wärmebildkameras nur einen

kleinen Spektralausschnitt des Infrarotspektrums erfasst. Somit stellt dies eine zulässige Näherung dar.

Graue Strahler absorbieren die auf sie auftreffende Infrarot-Strahlung im Gegensatz zum Schwarzen Strahler nie zu 100 % und deshalb ist auch die Intensität der abgegebenen Strahlung geringer.

H

Hotspot

Vgl. „Coldspot und Hotspot“, S. 39.

I

Idealer Strahler

Vgl. „Schwarzer Strahler“, S. 48.

Infrarot-Strahlung

Infrarot-Strahlung ist elektromagnetische Strahlung. Jedes Objekt mit einer Temperatur oberhalb des absoluten Nullpunktes (0 Kelvin = $-273,15\text{ °C}$) sendet infrarote Strahlung aus. Die Infrarot-Strahlung erstreckt sich im Wellenlängenbereich von $0,78\text{ }\mu\text{m}$ bis $1000\text{ }\mu\text{m}$ (= 1 mm) und grenzt somit an den Wellenlängenbereich für Licht ($0,38 - 0,78\text{ }\mu\text{m}$). Wärmebildkameras messen oft die langwellige Infrarot-Strahlung im Bereich von $8\text{ }\mu\text{m}$ bis $14\text{ }\mu\text{m}$ (testo 865, testo 872, testo 875i, testo 882, testo 885, testo 890), da die Atmosphäre in diesem Wellenlängenbereich sehr durchlässig für Infrarot-Strahlung ist.

IFOV_{geo} (Instantaneous Field of View)

Der IFOV_{geo} gibt die Auflösung des Kamerasystems an. Er gibt an, welche Details das Kamerasystem in Abhängigkeit des Detektors und des Objektivs auflösen kann. Die Auflösung des Kamerasystems (IFOV_{geo}) wird in mrad (=Milliradian) angegeben und beschreibt das kleinste Objekt, das, in Abhängigkeit vom Messabstand, auf dem Wärmebild noch abgebildet werden kann. Auf dem Wärmebild entspricht die Größe dieses Objekts einem Pixel.

IFOV_{meas} (Measurement Instantaneous Field of View)

Bezeichnung für das kleinste Objekt, dessen Temperatur von der Wärmebildkamera genau gemessen werden kann. Es ist 2–3 mal größer als das kleinste erkennbare Objekt (IFOV_{geo}).

Als Faustregel gilt: $\text{IFOV}_{\text{meas}} \approx 3 \times \text{IFOV}_{\text{geo}}$.

Man nennt IFOV_{meas} auch den kleinsten zu messenden Messfleck.

Isothermen

Linien gleicher Temperatur. Mit der Analyse-Software (z. B. Testo IRSof) oder mit hochwertigen Wärmebildkameras können Sie sich Isothermen anzeigen lassen. Dabei werden alle Messpunkte im Wärmebild, deren Temperaturwerte innerhalb eines definierten Bereiches liegen, farblich markiert.

K

Kelvin (K)

Temperatureinheit.

0 K entspricht dem absoluten Nullpunkt (-273,15 °C). Entsprechend gilt: $273,15 \text{ K} = 0 \text{ °C} = 32 \text{ °F}$.

$\text{K} = \text{°C} + 273,15$.

Beispiel 20 °C in K: $20 \text{ °C} + 273,15 = 293,15 \text{ K}$.

Kalibrierung

Verfahren, bei dem Messwerte eines Gerätes (Ist-Werte) und Messwerte eines Referenzgerätes (Soll-Werte) ermittelt und verglichen werden. Das Ergebnis lässt Rückschlüsse zu, ob die Ist-Messwerte des Gerätes noch in einem zulässigen Grenz-/Toleranzbereich liegen. Im Gegensatz zu einer Justage wird bei einer Kalibrierung die ermittelte Abweichung des Ist-Messwertes lediglich dokumentiert und nicht an den Soll-Messwert angeglichen. In welchen Zeitabständen eine Kalibrierung durchgeführt werden soll, hängt von den jeweiligen Messaufgaben und -anforderungen ab.

Kondensation

Übergang eines Stoffes vom gasförmigen in den flüssigen Aggregatzustand. Luftfeuchtigkeit kann an Oberflächen kondensieren, wenn die Oberflächentemperatur, und somit die Temperatur der Luft an der Oberfläche, niedriger als die Taupunkttemperatur liegt.

Konvektion

Wärmetransport, bei dem Wärmeenergie durch den Stofftransport von Teilchen, Fluid oder Gas zu einem anderem Fluid oder Gas wandert.

Konduktion

Wärmeleitung. Übertragung von Wärmeenergie zwischen benachbarten Teilchen. Die Energie wird hierbei immer vom wärmeren zum kälteren Teilchen übertragen. Im Gegensatz zur Konvektion findet bei der Konduktion kein Stofftransport der Teilchen statt.

L

Lambert-Strahler

Ein Lambert-Strahler ist ein Objekt, welches auftreffende Strahlung ideal diffus reflektiert, das heißt, die auftreffende Strahlung wird in alle Richtungen gleich stark reflektiert.

An einem Lambert-Strahler können Sie mit der Wärmebildkamera die Temperatur der reflektierten Strahlung messen.

Laser-Marker

Mit dem Laser-Marker wird die Lasermarkierung parallaxefrei angezeigt, so dass Sie die exakte Position des Laserflecks auf dem Display der Wärmebildkamera sehen. Diese Funktion ist in den Kameras testo 872, testo 885 und testo 890 enthalten.

Laser-Pointer

Ein Laser-Pointer unterstützt das Anpeilen der Messfläche (ein roter Punkt wird auf das Messobjekt projiziert). Lasermarkierung und Bildmitte der Messfläche stimmen nicht exakt überein, da sie auf unterschiedlichen optische Achsen liegen. Er dient als Orientierungshilfe.

Vorsicht:

Laserklasse 2: Richten Sie den Laser nie auf Personen und Tiere und schauen Sie nie in den Laser! Dies kann zu Augenschäden führen!

Relative Luftfeuchtigkeit (% rF)

Prozentuale Angabe, mit wie viel Wasserdampf die Luft gesättigt ist. Beispielsweise enthält die Luft bei 33 % rF nur ca. 1/3 der Wasserdampfmenge, die bei gleicher Temperatur und gleichem Luftdruck maximal von der Luft aufgenommen werden könnte. Bei einer Luftfeuchtigkeit über 100 % bildet sich Kondensat, da die Luft vollständig gesättigt ist und nicht mehr Feuchtigkeit aufnehmen kann. Der gasförmige Wasserdampf in der Luft wird also flüssig. Je wärmer die Luft ist, desto mehr Wasserdampf kann sie aufnehmen, ohne dass es zur Kondensation kommt. An kalten Oberflächen kommt es daher immer zuerst zur Kondensation.

M

Messfleck

Vgl. „IFOV_{meas}“, S. 43.

N

NETD (Noise Equivalent Temperature Difference)

Kennzahl für den kleinstmöglichen Temperaturunterschied, der von der Kamera aufgelöst werden kann. Je kleiner dieser Wert, desto besser ist die Messauflösung bzw. thermische Empfindlichkeit der Wärmebildkamera.

O

Objektive

Abhängig vom verwendeten Objektiv ändert sich die Größe des Sichtfeldes der Wärmebildkamera und somit auch die Größe des Messflecks. Ein Weitwinkelobjektiv (z. B. 32° – Standardobjektiv bei testo 875i) eignet sich besonders, wenn Sie sich einen Überblick über die Temperaturverteilung einer großen Oberfläche verschaffen möchten. Ein Teleobjektiv (z. B. Testo Teleobjektiv 9°) können Sie verwenden, um auch noch aus größerer Entfernung kleine Details genau zu messen. Zur Messung kleinster Details aus großer Entfernung gibt es außerdem ein Superteleobjektiv (für Kameras testo 885 und testo 890).

R

Realer Körper

Vgl. „Grauer Strahler“, S. 41.

Reflexionsgrad (ρ)

Fähigkeit eines Materials, Infrarot-Strahlung zu reflektieren. Der Reflexionsgrad hängt von der Oberflächenbeschaffenheit, der Temperatur und der Art des Materials ab.

RTC (Reflected Temperature Compensation)

Bei realen Körpern wird ein Teil der Wärmestrahlung reflektiert. Diese reflektierte Temperatur muss bei der Messung von Objekten mit niedrigem Emissionsgrad berücksichtigt werden. Mit Hilfe eines Korrekturfaktors in der Kamera wird die Reflexion herausgerechnet und so die Genauigkeit der Temperaturmessung verbessert. Dies erfolgt in der Regel durch manuelle Eingabe in die Kamera und/oder über die Software.

In den meisten Fällen entspricht die reflektierte Temperatur der Umgebungstemperatur (hauptsächlich bei der Innenthermografie). Wenn die Infrarot-Strahlung von Störquellen an der Messobjektoberfläche reflektiert wird, sollten Sie die Temperatur der reflektierten Strahlung (z. B. mittels einem Lambert-Strahler) ermitteln. Die reflektierte Temperatur hat nur geringe Auswirkungen auf Objekte mit sehr hohen Emissionsgraden.

S

Schwarzer Strahler

Ein Objekt, das alle Energie der auf es auftreffenden Infrarot-Strahlung absorbiert, in eigene Infrarot-Strahlung umwandelt und zu 100 % emittiert. Bei Schwarzen Strahlern ist der Emissionsgrad genau eins. Es findet also keine Reflexion oder Transmission der Strahlung statt. In der Praxis kommen Objekte mit derartigen Eigenschaften nicht vor.

Vorrichtungen zur Kalibrierung von Wärmebildkameras nennt man Schwarze Strahler. Ihr Emissionsgrad ist allerdings nur annähernd eins.

Sichtfeld

Vgl. „FOV“, S. 41.

Taupunkt/Taupunkttemperatur

Temperatur, bei der Wasser kondensiert. Die Luft ist bei der Taupunkttemperatur mit über 100 % Wasserdampf gesättigt. Sobald die Luft den Wasserdampf nicht mehr aufnehmen kann, bildet sich Kondensat.

Temperatur

Zustandsgröße für die einem Körper innewohnende Energie.

Thermografie

Bildgebendes, messtechnisches Verfahren, das Wärmestrahlung bzw. die Temperaturverteilungen von Objektoberflächen mittels einer Wärmebildkamera sichtbar macht.

Thermogramm

Vgl. „Wärmebild“, S. 50.

Transmissionsgrad (τ)

Maß für die Fähigkeit eines Materials, Infrarot-Strahlung durchzulassen. Er hängt von der Dicke und der Art des Materials ab. Die meisten Materialien sind nicht durchlässig für langwellige Infrarot-Strahlung.

W

Wärmebild

Bild, das Temperaturverteilungen von Objektoberflächen durch verschiedene Farbgebungen für verschiedene Temperaturwerte zeigt. Die Aufnahme von Wärmebildern erfolgt mit einer Wärmebildkamera.

Wärmebildkamera

Kamera, welche Infrarot-Strahlung misst und die Signale in ein Wärmebild umwandelt. Mit Hilfe der Wärmebildkamera lassen sich Temperaturverteilungen von Oberflächen darstellen, die für das menschliche Auge nicht sichtbar sind. Typische Anwendungsgebiete finden sich beispielsweise in der Gebäudethermografie sowie in der Elektro- und Industriethermografie.

Z

Zweipunkt-Messung

Die Zweipunkt-Messung bietet im Display der Kamera zwei Fadenkreuze, mit denen einzelne Temperaturen abgelesen werden können.

3.2 Emissionsgradtabelle

Die folgende Tabelle dient als Richtlinie zur Einstellung des Emissionsgrades bei der Infrarot-Messung. Sie gibt den Emissionsgrad ϵ einiger gängiger Materialien an. Da sich der Emissionsgrad mit der Temperatur und der Oberflächenbeschaffenheit ändert, sollten die hier aufgeführten Werte nur als Richtangaben für die Messung von Temperaturverhältnissen oder -differenzen betrachtet werden. Um den Absolutwert der Temperatur zu messen, sollte der Emissionsgrad des Materials exakt bestimmt werden.

Material (Materialtemperatur)	Emissionsgrad
Aluminium, walzblank (170 °C)	0,04
Aluminium, nicht oxidiert (25 °C)	0,02
Aluminium, nicht oxidiert (100 °C)	0,03
Aluminium, stark oxidiert (93 °C)	0,20
Aluminium, hochpoliert (100 °C)	0,09
Baumwolle (20 °C)	0,77
Beton (25 °C)	0,93
Blei (40 °C)	0,43
Blei, oxidiert (40 °C)	0,43
Blei, grau oxidiert (40 °C)	0,28
Chrom (40 °C)	0,08
Chrom, poliert (150 °C)	0,06
Eis, glatt (0 °C)	0,97
Eisen, abgeschmiegelt (20 °C)	0,24
Eisen mit Gusschaut (100 °C)	0,80
Eisen mit Walzhaut (20 °C)	0,77
Gips (20 °C)	0,90
Glas (90 °C)	0,94
Granit (20 °C)	0,45

Material (Materialtemperatur)	Emissionsgrad
Gummi, hart (23 °C)	0,94
Gummi, weich, grau (23 °C)	0,89
Gusseisen, oxidiert (200 °C)	0,64
Holz (70 °C)	0,94
Kork (20 °C)	0,70
Kühlkörper, schwarz, eloxiert (50 °C)	0,98
Kupfer, leicht angelaufen (20 °C)	0,04
Kupfer, oxidiert (130 °C)	0,76
Kupfer, poliert (40 °C)	0,03
Kupfer, gewalzt (40 °C)	0,64
Kunststoffe: PE, PP, PVC (20 °C)	0,94
Lack, blau auf Aluminium-Folie (40 °C)	0,78
Lack, schwarz, matt (80 °C)	0,97
Lack, gelb, 2 Schichten auf Aluminium-Folie (40 °C)	0,79
Lack, weiß (90 °C)	0,95
Marmor, weiß (40 °C)	0,95
Mauerwerk (40 °C)	0,93
Messing, oxidiert (200 °C)	0,61
Mensch (36 °C)	0,98
Ölfarben (alle Farben) (90 °C)	0,92–0,96
Papier (20 °C)	0,97
Porzellan (20 °C)	0,92
Sandstein (40 °C)	0,67
Stahl, wärmebeh. Oberfläche (200 °C)	0,52
Stahl, oxidiert (200 °C)	0,79
Stahl, kalt gewalzt (93 °C)	0,75–0,85
Ton, gebrannt (70 °C)	0,91
Transformatorlack (70 °C)	0,94
Ziegelstein, Mörtel, Putz (20 °C)	0,93
Zink, oxidiert	0,1

3.3 Testo empfiehlt

Kalibrierung Ihrer Wärmebildkamera

Die Testo SE & Co. KGaA empfiehlt, die Wärmebildkamera regelmäßig kalibrieren zu lassen. In welchen Zeitabständen dies geschehen soll, ist abhängig von Ihren Messaufgaben und -anforderungen. Mehr Informationen zur Kalibrierung Ihrer Wärmebildkamera erhalten Sie unter www.testo.de.

Thermografieschulungen

Permanent auf dem neuesten Wissensstand zu sein: Das ist eine der wichtigsten Voraussetzungen, um den komplexen Messaufgaben und den steigenden Qualitätsanforderungen gerecht zu werden. Deshalb bietet die Testo SE & Co. KGaA Thermografieschulungen für die unterschiedlichsten Anwendungsbereiche an. Mehr Informationen zu unseren Schulungsangeboten erhalten Sie unter www.testo.de.

Mehr Informationen unter:
www.testo.de/thermografie

Ihre persönlichen Notizen:

Übrigens – wussten Sie:

Dank ihrer Fähigkeit, Wärmestrahlung sehen zu können, spüren Grubenottern – auch bei Dunkelheit – ihre Opfer und Feinde blitzschnell auf.

Selbst minimalste Temperaturunterschiede von rund 0,0003 Grad Celsius nehmen Grubenottern, eine Unterart der Vipern, sehr schnell wahr. Möglich ist ihnen das mit dem hochempfindlichen „Grubenorgan“. Dieses Sinnesorgan lässt Grubenottern Bilder sehen, die denen moderner Wärmebildkameras sehr ähnlich sind ...



Be sure.



Schutzgebühr 5,- Euro

0980 7323 02/HE/1/12.2017

Testo AG
Isenrietstrasse 32
8617 Mönchaltorf
Schweiz
+41 (0)43 277 66 66
info@testo.ch

Die aktuellen Anschriften unserer Töchter und
Vertretungen weltweit finden Sie unter

www.testo.com