

# 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 der Physiker Max Planck schon im Jahre 1900 bewiesen hat, 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 ( $\epsilon$ ) 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 kann man aus diesem Grund nicht in Objekte hinein- oder gar durch sie hindurchsehen.

## 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.

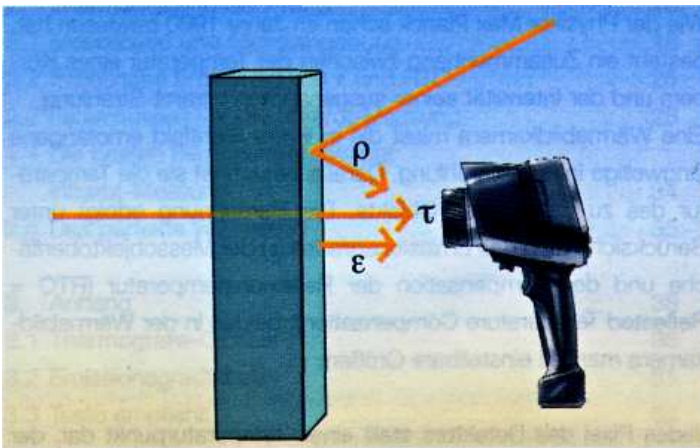


Abbildung 1.1: Emission, Reflexion und Transmission

## Der Emissionsgrad ( $\epsilon$ )



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

- $\epsilon$  hängt von der Oberflächenbeschaffenheit, dem Material und, bei einigen Materialien, auch von der Temperatur des Messobjektes ab.
- Maximaler Emissionsgrad:  $\epsilon = 1$  (s 100%) (vgl. „Schwarzer Strahler“).  $\epsilon = 1$  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 ( $\epsilon = 0,8-0,95$ ) im langwelligem Infrarotbereich.
- Metalle, vor allem mit glänzenden Oberflächen, haben einen niedrigen, mit der Temperatur schwankenden Emissionsgrad.
- $\epsilon$  ist manuell in der Wärmebildkamera einstellbar.

### **Der Reflexionsgrad ( $\rho$ )**

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

- $\rho$  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).
- Der Ausfallswinkel der reflektierten Infrarot-Strahlung ist stets gleich dem Einfallswinkel

### **Der Transmissionsgrad ( $\tau$ )**

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

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

### **Kirchhoff'sches Strahlungsgesetz**

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,

Die Summe dieser Bestandteile wird immer gleich 1 (= 100%) gesetzt:

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

Da die Transmission in der Praxis selten eine Rolle spielt, entfällt die Transmission  $\tau$  und die Formel

$$\varepsilon + \rho + \tau = 1 \text{ vereinfacht sich zu } \varepsilon + \rho = 1.$$

Für die Thermografie bedeutet das: je niedriger der Emissionsgrad,

=> desto höher der Anteil der reflektierten Infrarot-Strahlung,

O 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 ( $\varepsilon \approx 0,8$ ):

i=> haben einen niedrigen Reflexionsgrad ( $\rho$ ):  $\rho = 1 - \varepsilon$ .

<=> Ihre Temperatur ist sehr gut mit der Wärmebildkamera zu messen.

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

t=> haben einen mittleren Reflexionsgrad ( $\rho$ ):  $\rho = 1 - \varepsilon$ .

i=> Ihre Temperatur kann gut mit der Wärmebildkamera gemessen werden.

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

O haben einen hohen Reflexionsgrad ( $\rho$ ):  $\rho = 1 - \varepsilon$ .

|=> 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. 7.2, ):
  - |=> Zu groß eingestellte Emissionsgrade ergeben zu hohe Temperaturanzeigen (vgl. Kamera 1).
  - <=> Zu klein eingestellte Emissionsgrade ergeben zu niedrige Temperaturanzeigen (vgl. Kamera 2).
2. Bei Messobjekttemperaturen unter der Umgebungstemperatur (vgl. die Türe in Abb. 7.2, ):
  - !=> Zu groß eingestellte Emissionsgrade ergeben zu niedrige Temperaturanzeigen (vgl. Kamera 1).
  - t=> Zu klein eingestellte Emissionsgrade ergeben zu hohe Temperaturanzeigen (vgl. Kamera 2).

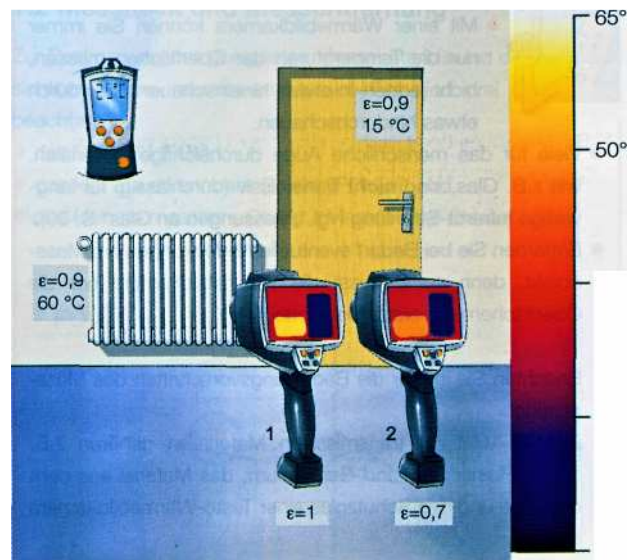


Abbildung 7.2; Auswirkungen eines falsch eingestellten Emissionsgrades auf die Temperaturmessung

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“).

Entfernen Sie bei Bedarf eventuelle Abdeckungen am Messobjekt, denn sonst misst die Wärmebildkamera nur die Oberflächentemperatur der Abdeckung. 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<sub>geo</sub>), und
- das kleinste messbare Objekt / Messfleck (IFOV<sub>meas</sub>).

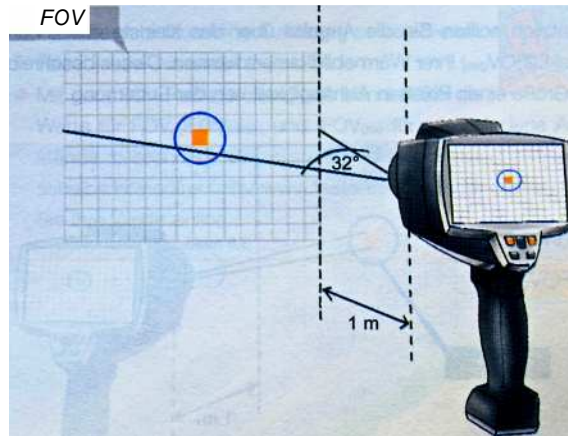


Abbildung 1.3: Das Sichtfeld der Wärmebildkamera

Das Sichtfeld (FOV) der Wärmebildkamera beschreibt die mit der Wärmebildkamera sichtbare Fläche (vgl. Abb. 1.3). Es ist abhängig von dem verwendeten Objektiv (z.B. 32° Weitwinkelobjektiv - Standard bei der testo 880, 12° Teleobjektiv ist als Zubehör erhältlich).

Um ein großes Sichtfeld zu erhalten, sollte ein Weitwinkelobjektiv verwendet werden.

Zusätzlich sollten Sie die Angabe über das kleinste erkennbare Objekt (IFOV<sub>geo</sub>) Ihrer Wärmebildkamera kennen. Dieses beschreibt die Größe eines Pixels in Abhängigkeit von der Entfernung.

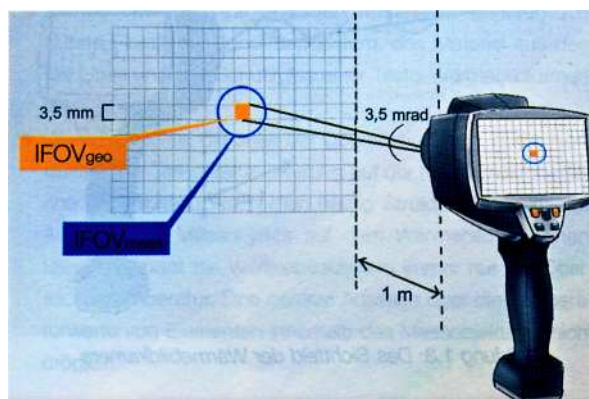


Abbildung 1.4: Sichtfeld eines einzelnen Pixels

Bei einer räumlichen Auflösung des Objektivs von 3,5 mrad und einem Messabstand von 1 m hat das kleinste erkennbare Objekt (IFOV<sub>geo</sub>) eine Kantenlänge von 3,5 mm und wird als ein Pixel auf dem Display angezeigt (vgl. Abb. 1.4). Zur exakten Messung sollte das Messobjekt 2 - 3 mal größer als das kleinste erkennbare Objekt (IFOV<sub>geo</sub>) sein. Für das kleinste messbare Objekt (IFOV<sub>meas</sub>) gilt also die Faustregel:

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