

## Thermographie

Thermographie meint Infrarot-Fotografie. Wie entsteht überhaupt Infrarot-Strahlung?

Entdeckt wurde sie 1800 vom Astronomen Herschel. Er ließ einen Sonnenstrahl durch ein Prisma laufen. Die Ablenkung des Lichts im Prisma hängt von der Wellenlänge ab. So entsteht auf der anderen Seite des Prismas ein sichtbares regenbogenartiges Spektrum.

Herschel stellte fest, dass es am Ende des Regenbogens noch eine unsichtbare Strahlung gibt, die ein rußgeschwärztes Reservoir eines Quecksilber-Thermometers erhitzte. Er nannte die Strahlung Wärmestrahlung. Der Begriff hat sich bis heute gehalten.

Wärmestrahlung entsteht durch die Wechselwirkung von elektrisch und magnetisch geladenen Elementarteilchen (Elektronen, Protonen und andere) in Materie. Die Teilchen sind ständig in Bewegung, vibrieren. Die Wärmestrahlung ist ein Viel-Teilchen-Phänomen.

Wärmestrahlung kann auch sichtbar werden, wenn die Temperatur hoch genug ist. Beispiel aus dem Alltag: glühend heiße Kochplatte, Glühwendel in der Glühbirne. Sinkt die Temperatur ab, wandert das ausgesendete Lichtspektrum in den unsichtbaren Infrarot-Bereich ab. Die Haut des Menschen kann auch diese Strahlung spüren, dank Kälte- und Wärmerezeptoren in der Haut. Um die Strahlung sichtbar zu machen, wurden Wärmebildkameras entwickelt.

Wärmebildkameras haben Sensoren, die auf die Infrarotstrahlung durch Erwärmung vieler Pixel reagieren. Eine Matrix aus unterschiedlich erwärmten (oder abgekühlten) Pixeln erzeugen quasi ein elektrisches Abbild. Es gibt unterschiedliche Sensoren. Pyroelektrische Sensoren, **Mikrobolometer**, Thermoelemente sind als Sensoren verfügbar. Mikrobolometer aus Vanadiumoxid-Keramik sind die am meisten verwendeten. Diese findet man in Wärmebildkameras mit höherer Auflösung.

Das Prinzip: ein Halbleiter (z. B. Vanadiumoxid) hat einen temperaturabhängigen Widerstand. Fällt Infrarotstrahlung auf einen thermisch isolierten Pixel aus dem Halbleitermaterial, erwärmt sich der Pixel oder kühlt ab. Dadurch ändert sich der Widerstand des Pixels. Dieses Signal kann man leicht elektronisch erfassen, speichern und einem digitalen Signalprozessor zuführen. Der Prozessor berechnet aus dem Signal eine Temperatur, setzt diese in eine Farbe (oder einen Grauwert) um und zeigt es auf dem Display an. Viele Pixel erzeugen ein Wärmebild.

Wie kann ein Gegenstand durch einfallende Strahlung abkühlen? Sagen wir, Sie stellen sich vor eine kalte Wand. Selbst wenn man die Konvektion der Luft außer Acht läßt, passiert folgendes: Der Wärmefluss geht von warm nach kalt. Ihre Wärmestrahlung (die des Körpers) strahlt auf die kalte Wand ein und erwärmt diese etwas. Daher verlieren **Sie** Wärme, indem Sie die kalte Wand gegenüber durch Ihre Infrarotstrahlung erwärmen. Umgekehrt strahlt auch die kalte Wand auf Ihren Körper ab, kann diesen jedoch nicht erwärmen, da die Energie dafür zu schwach ist. **Sie** kühlen ab, weil Sie Wärme bzw. Energie an die kalte Wand verlieren.

Wärmestrahlung auf den Ursprung – Bewegung von Elementarteilchen - reduziert. Das ganze mal vergrößert. Ein sich schnell drehendes Rad wird gegen ein sich langsam drehendes Rad gehalten. Was passiert? Das schnell drehende Rad verliert Energie an das langsam drehende Rad, wobei sich das schnell drehende Rad jetzt weniger schnell dreht und das langsam drehende Rad sich schneller dreht oder die Drehrichtung ändert.

In jedem Fall gibt es eine Verminderung der Energie auf der Seite, die höhere Energie hatte.

Warme Materie verliert Energie an kältere Materie, zum Beispiel durch Infrarotstrahlung! Selbst wenn ein Vakuum dazwischen ist.

Wärmebildkameras zeigen Temperaturen auf dem erzeugten Wärmebild an. Zugrunde gelegt wird dabei die Infrarotstrahlung, die auf den Sensor eingewirkt hat und diesen erwärmt bzw. abgekühlt hat. Die von Materie abgestrahlte Infrarotstrahlung hängt von verschiedenen Faktoren ab.

- Temperatur der Oberfläche
- Emissionsfaktor der Oberfläche
- Neigung der Oberfläche zum Betrachter / Kamera
- Distanz der Oberfläche

Die **Temperatur** beeinflusst die Energie sowie das Wellenlängenspektrum der abgestrahlten Infrarotstrahlung. Je höher die Temperatur, desto höher die Energie (Intensität) und desto kürzer die Wellenlängen des abgestrahlten Spektrums. Das kann bei heißen Oberflächen bis in den sichtbaren Bereich (Sonne, glühendes Eisen) gehen.

Das Spektrum der Infrarotstrahlung des vom Menschen (37°C) abgestrahlten Wellenlängenbereichs schafft es nicht in den sichtbaren Bereich. In absoluter Finsternis können wir einen anderen Menschen nicht sehen. Wenn dieser jedoch dicht vor uns steht, spüren wir die Wärmestrahlung. Eine Wärmebildkamera kann einen Menschen auch in absoluter Finsternis erkennen.

Der **Emissionsfaktor** ist vom Material, von der Beschaffenheit der Oberfläche bzw. der Reflexionseigenschaften der Oberfläche abhängig. Ein schwarzer Körper strahlt Wärme besser ab als ein weißer, absorbiert aber auch einfallende Wärmestrahlung besser als ein weißer Körper. Im Sommer heizen sich schwarze Autos wesentlich stärker auf als weiße oder silberfarbene Autos. Der Emissionsfaktor einer rußgeschwärzten Oberfläche ist nahezu 1,0 (der Maximalwert).

Eine blanke Metalloberfläche strahlt nur wenig eigene Infrarotstrahlung ab und reflektiert dagegen einfallende Infrarotstrahlung. Blankes Metall absorbiert kaum Wärmestrahlung. Der Emissionsfaktor von blankem Metall ist 0,1 und kleiner (Minimalwert = 0).

Bei Wärmebildkameras kann man den Emissionsfaktor einstellen.

Der Reflexionsfaktor einer Oberfläche kann eine falsche Temperatur vortäuschen. Wird der kalte Nachthimmel reflektiert, erscheint durch die niederenergetische reflektierte Infrarotstrahlung die Oberfläche kalt, obwohl die Materie warm ist.

Auch die Neigung der Oberfläche (hin- oder abgeneigt zur Kamera) beeinflusst den Emissionsfaktor und daher die daraus abgeleitete Temperatur.

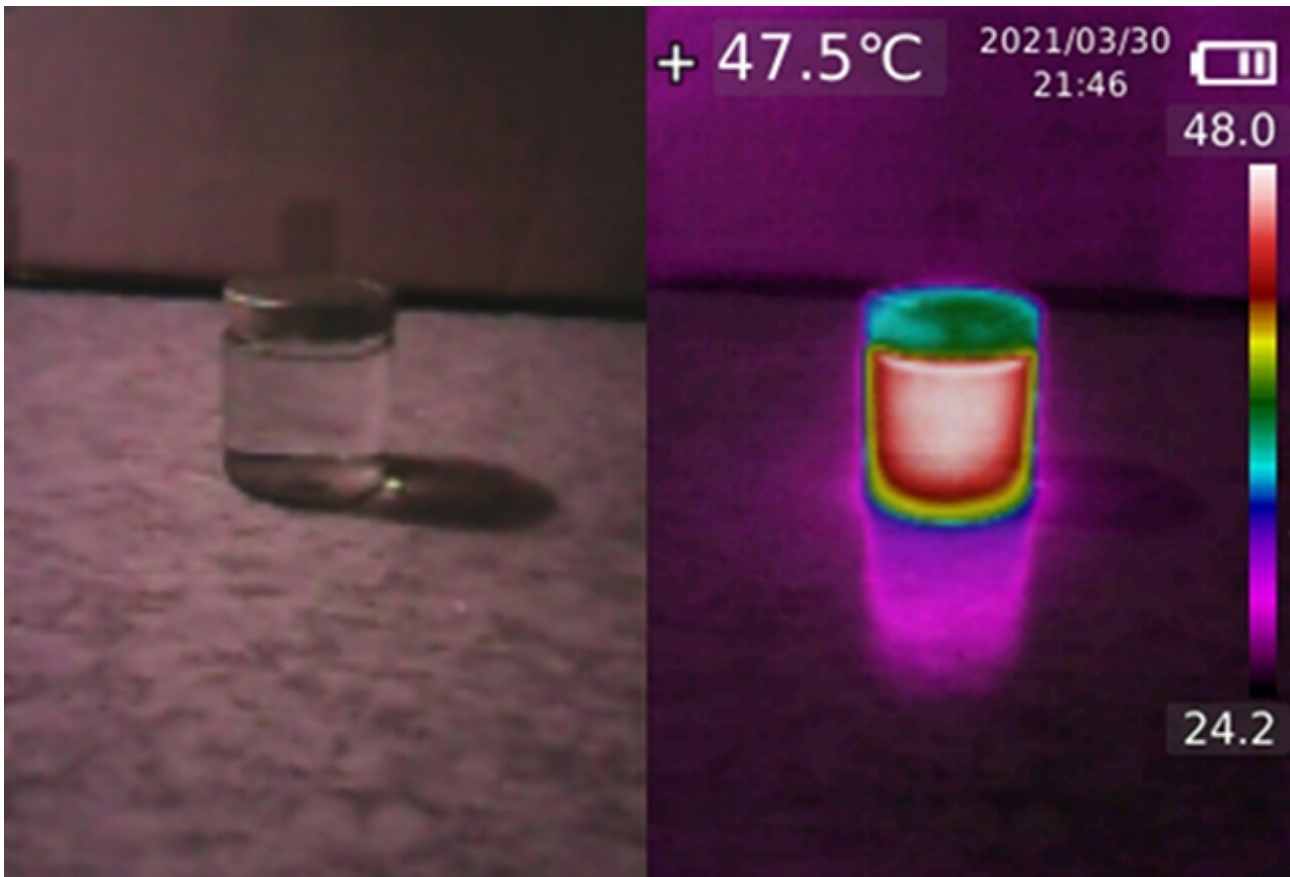


Foto: Wärmebild eines mit heißem Wasser gefüllten Honiglases

Die Strahlung des Honiglases entlang des Umfangs fällt infolge der Oberflächenkrümmung unterschiedlich stark auf den Sensor der Wärmebildkamera, obwohl die Temperatur gleich ist: scheinbar kleinere Temperaturen bei abgewandten Seiten.

Dieser Effekt ist bekannt. Suchen Sie nach **CURVATURE EFFECT QUANTIFICATION FOR IN-VIVO IR THERMOGRAPHY**, dort finden Sie auch weitere Quellen am Ende des pdf-Dokuments. Der Text ist in Englisch.

Der Einfluss des Winkels der Oberfläche (hin zum Betrachter oder abgeneigt) beeinflusst die Intensität der von der Oberfläche abgestrahlten Infrarotstrahlung. Eigentlich müssten die Kameras diesen Winkel mit in die Berechnung der Temperaturen einbeziehen. Dazu sind derzeitige Wärmebildkameras jedoch nicht in der Lage.

Sie als Nutzer einer Wärmebildkamera müssen daher noch diverse Hintergrundinformationen und ein Echtfoto zu einem Wärmebild haben, um mit einem Wärmebild Aussagen machen zu können.

Was beeinflusst noch die Intensität der Wärmestrahlung? Die **Umgebungstemperatur** beeinflusst die Messung von stark reflektierenden Oberflächen. Diese reflektieren die Umgebungstemperatur und eventuell noch zusätzliche Infrarotstrahlungsquellen.

Die **Distanz** zur Oberfläche, deren Temperatur man messen will. Je größer die Distanz, desto geringer die empfangene Strahlung (wie bei einer Lampe).

Bei Wärmebildkameras kann man neben dem Emissionsfaktor die Umgebungstemperatur und die Distanz zum Objekt einstellen.

Einstellen kann man ebenfalls den Temperaturbereich, den man untersuchen will. Ein kleiner Temperaturbereich erhöht die Genauigkeit der Wärmebilder bzw. der gemessenen Temperaturen. Bei Wärmebildkameras für Einsteiger fällt diese Option manchmal weg, weil es nur einen Temperaturbereich gibt.

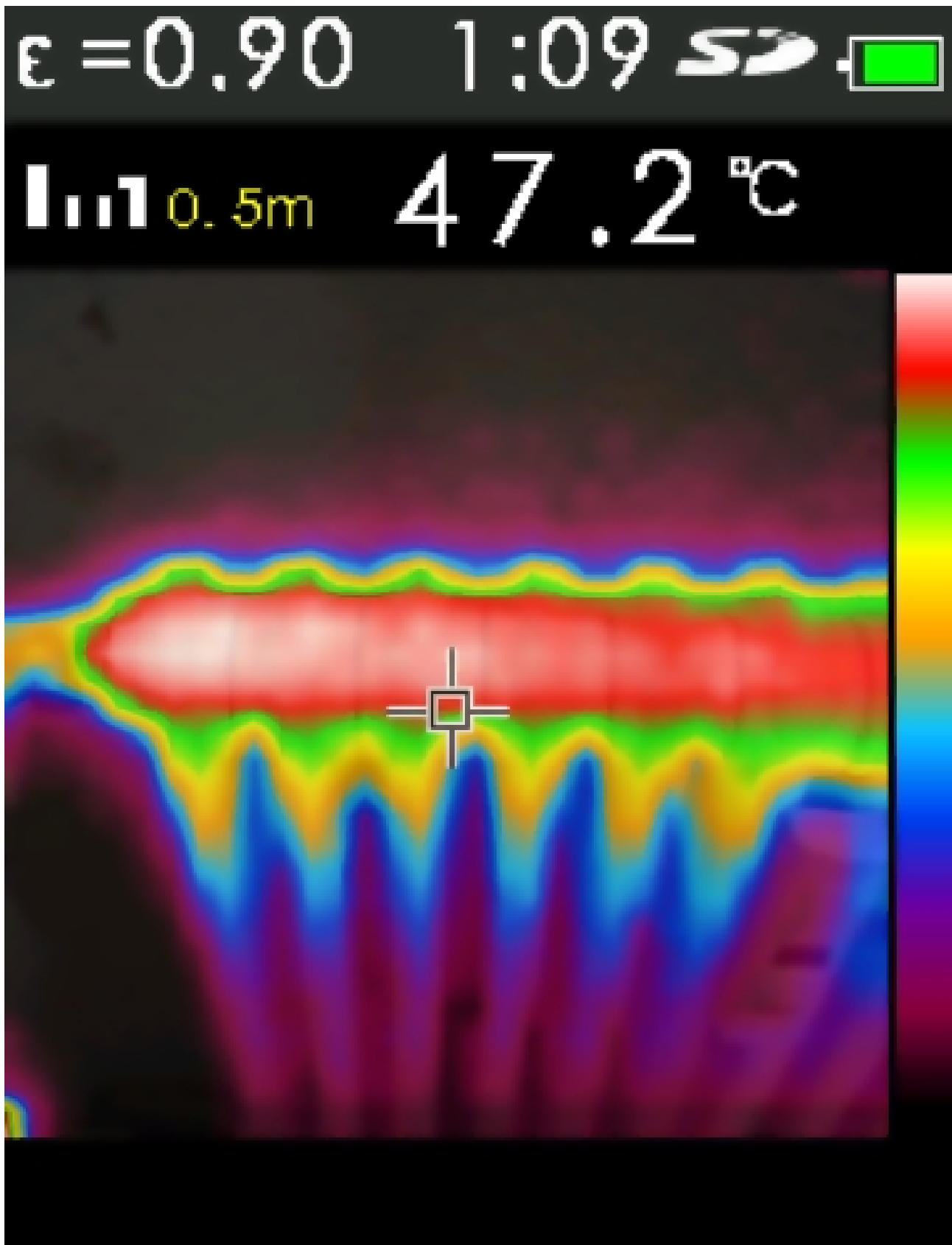


Foto: Wärmebild 32X32 Pixel mit überlagertem Echtfoto

Selbst mit einer Kamera, die nur einen 32X32 Pixel-Sensor hat (1024 Pixel), kann man noch brauchbare Wärmebilder hinbekommen. Durch Überlagerung von Echtbildfoto mit Wärmebild (Fusion). Das geschieht automatisch. Das Verhältnis Echtbildfoto zu Wärmebild ist einstellbar.

Da die Sensoren und Optiken von Wärmebildkamera und Echtbild-Kamera einen Abstand voneinander haben, muss man beim Aufnehmen der Fusion-Fotos aufpassen, dass Wärmebild und Echtbild nicht auseinanderliegen. Bei Wärmebild-Kameras kann man diese Parallaxe-Korrektur einstellen.

**Zu mir:** ich bin Jahrgang 1961, geboren in Starnberg. Nach dem Abitur in Bonn 1981 und einem abgebrochenen Studium der Allgemeinen Elektrotechnik in Köln zog ich nach Berlin-West. Von 1986-88 absolvierte ich eine Berufsausbildung zum Technischen Assistenten für Metallographie und Werkstoffkunde. Danach arbeitete ich knapp ein Jahr in der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM) in Berlin-Dahlem. Nach dieser befristeten Tätigkeit nahm ich an einer einjährigen Weiterbildung zur Bürokräft teil und war danach nur noch im Bürobereich beschäftigt gewesen.

**Kenntnisse:** Elektronik, Assembler-Programmierung, C, Patent-Recherche, Englisch

Ich habe 22 Gebrauchsmuster für unsinnige und sinnvolle Erfindungen. Meine aktuelle Erfindung ist der Handwärmer zum Warmreiben mit einem Tuch. Dafür habe ich ein eingetragenes Gebrauchsmuster. Die Erfindung finden Sie auf meiner Homepage **90j.de**

Thomas Strauß, Berlin, den 11.5.2021

