

Einführung in die Infrarot-Temperaturkalibrierung

Das richtige Werkzeug führt zu besserer Arbeit und mehr Produktivität

FLUKE®

Hart Scientific®

Applikationsbericht



Mit Infrarotthermometern können Sie die Oberflächentemperatur eines Objekts ohne Berührung des Objekts aus einer Entfernung messen. Einfaches Zielen und Auslösen, um die Temperatur eines Objekts zu messen, kann zu Fehlmessungen führen. Dieser Applikationsbericht beschreibt das Verfahren der Infrarotthermometrie (IR) und erklärt, warum regelmäßige Kalibrierung zur Maximierung der Werterhaltung dieser nützlichen Geräte wichtig ist.

Wie Infrarotthermometer Temperatur messen

Infrarotthermometer messen die **elektromagnetische Strahlung**, die von einem Objekt als Folge der Temperatur des Objekts abgestrahlt wird. Solange das Objekt nicht sehr heiß ist, bewegt sich die Mehrheit dieser Strahlung in einem Band von Frequenzen, das Infrarotspektrum genannt wird. Sehr heiße Objekte geben sichtbares Licht ab, das ebenfalls eine Form elektromagnetischer Strahlung ist.

Das menschliche Auge ist sehr empfindlich auf gelbes Licht mit Wellenlängen um $0,555 \mu\text{m}$, aber es kann Licht mit Wellenlängen über $0,7 \mu\text{m}$ (rot) und unter $0,4 \mu\text{m}$ (violett) nicht erkennen. Obwohl unsere Augen die Energie außerhalb dieses schmalen Bandes (sichtbares Spektrum genannt) nicht erkennen können, wissen wir, dass die Energie da ist, da wir sie mit einem **Radiometer** feststellen können.

Temperatur „sehen“

Wir haben etwas Erfahrung, Temperatur durch Erkennung elektromagnetischer Strahlen mit unseren Augen zu messen. Wir sind vertraut mit Dingen, die „heiß glühen“, beispielsweise die heiße Glut eines Feuers, das gelbe Glühen einer Kerze

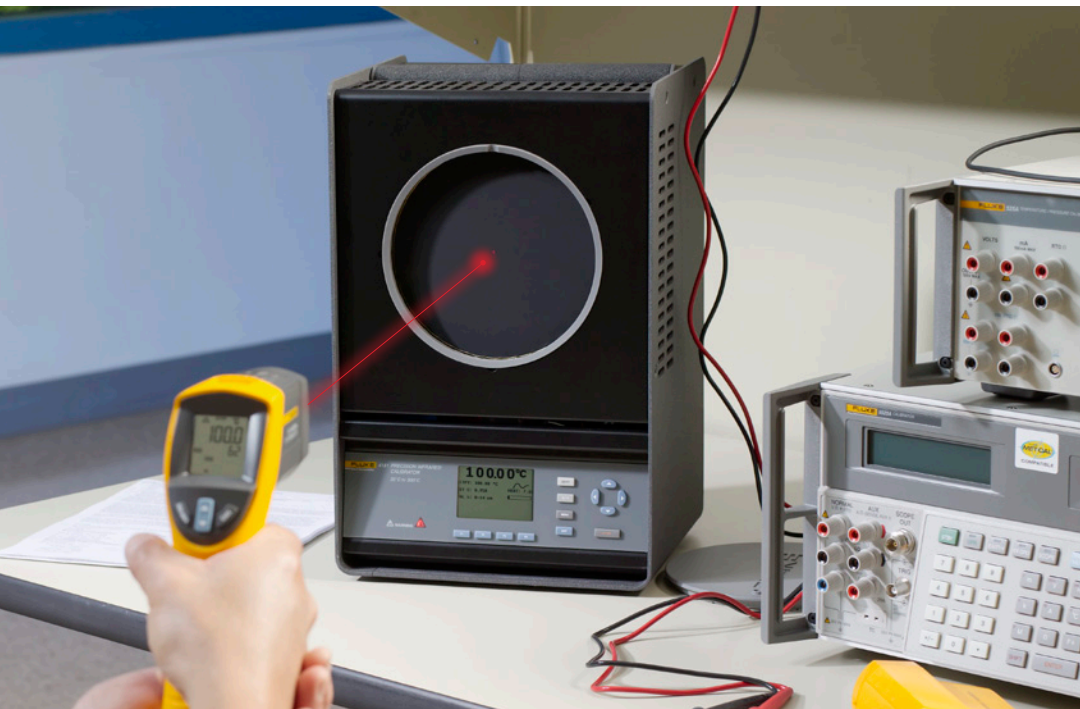
und das weiße Glühen einer Glühlampe. Die Farbe, die wir wahrnehmen, steht in einer Beziehung zur Temperatur des erhitzten Objekts. Stahlarbeiter nehmen für sich in Anspruch, dass sie die Temperatur von geschmolzenem Stahl ausschließlich aufgrund der Farbe auf $50 \text{ }^\circ\text{C}$ genau schätzen können.

Infrarotthermometer sind wie die Augen von Stahlarbeitern konzipiert, um im Bereich eines bestimmten **Wellenlängen** empfindlich zu sein. Das am meisten verwendete **Spektralband** für Universal-Infrarotthermometer reicht von 8 bis $14 \mu\text{m}$.

Infrarotstrahlung ist elektromagnetische Strahlung mit Wellenlängen, die länger sind als sichtbares Licht und kürzer als Millimeterwellen. Begriffe wie Wellenlänge und Amplitude werden verwendet, um Infrarotstrahlung und andere Formen elektromagnetischer Strahlung zu beschreiben. Amplitude beschreibt beispielsweise die Intensität elektromagnetischer Strahlung und Wellenlänge wird zusammen mit anderen Parametern verwendet, um zu bestimmen, ob es sich um eine Mikrowellenstrahlung, sichtbares Licht oder eine Infrarotstrahlung handelt.

Wie klein ist ein Mikrometer?

Ein Mikrometer (μm) ist sehr klein; ein Millionstel eines Meters. Zum Beispiel würden $100 \mu\text{m}$ etwa der Stärke eines menschlichen Haars entsprechen.



Kalibrierung ist einfach mit den Präzisions-Infrarotkalibratoren der Geräteserie 4180.

Infrarot-Temperaturkalibrierung

Temperaturquelle

Trotz unserer Erfahrung im „Sehen“ von Temperaturen erfordert zuverlässige IR-Temperaturmessung normalerweise den Einsatz kalibrierter Messgeräte. Kalibrierung kann als ein Satz von Vorgängen definiert werden, die in Übereinstimmung mit einem eindeutigen dokumentierten Verfahren durchgeführt werden; dabei werden die mit einem Messgerät erzeugten Messwerte mit den Messwerten verglichen, die mit einem genaueren Messgerät oder Standard erzeugt wurden; es ist das Ziel, Fehler im zu prüfenden Messgerät zu erkennen und zu melden oder durch Justierung zu beseitigen.

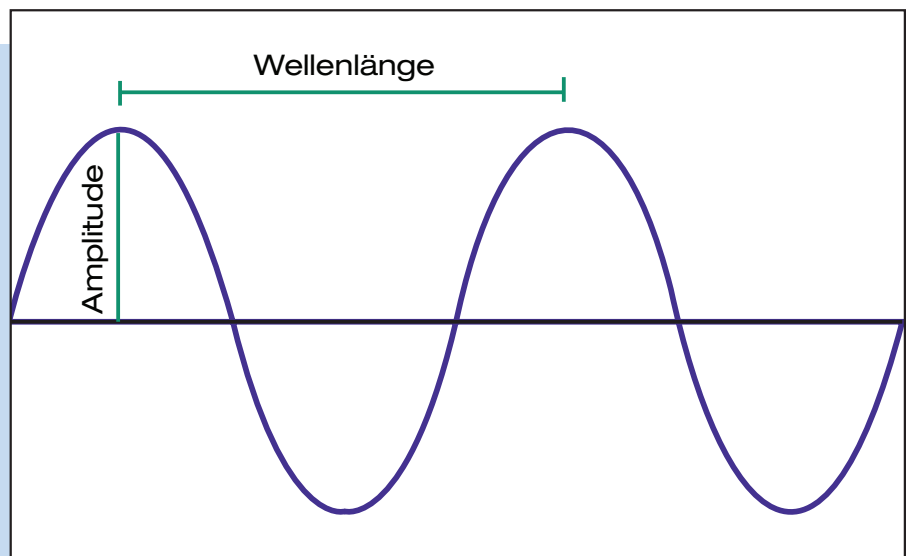
Eine IR-Temperaturkalibrierung beginnt mit einer Messoberfläche, die als Temperaturquelle funktioniert; es kann sich um eine ebene oder um eine nach innen gewölbte Fläche handeln, die als Standard oder Referenz dient. Die Kalibriergeometrie schließt die Größe der Messoberfläche und den Abstand vom zu kalibrierenden Thermometer ein, spielt

eine wichtige Rolle für das Messergebnis. Ebenfalls kritisch sind die Temperaturstabilität und **Gleichförmigkeit** sowie die physikalischen Eigenschaften (z. B. die Emissivität) der Strahlung abgebenden Oberfläche.

Umwandlung der Eingangstemperatur in Strahlung

Die Messoberfläche eines Kalibrators funktioniert als Messwandler, der Wärmeenergie

in Wärmestrahlung umwandelt. Die Intensität eines Teils der durch die Messoberfläche abgegebenen Infrarotstrahlung wird durch das Infrarotthermometer gemessen, um eine Temperatur zu berechnen. Die Messoberfläche verhält sich analog zum Sensor eines Widerstandstemperaturfühlers, der Wärmeenergie in einen Widerstandswert umwandelt, der durch ein Auslesegerät gemessen und zur Berechnung einer Temperatur verwendet



Temperaturgleichförmigkeit ist wichtig für die Kalibrierung von Infrarotthermometern und Wärmebildkameras.

wird. Es ist wichtig zu wissen, dass der Sensor für den Großteil des Fehlers in einer Temperaturmessung verantwortlich ist; dies erklärt die Wichtigkeit der Kalibrierung des Temperatursensors. Eine der Quellen für Fehler in der Messoberfläche und vielleicht die größte in einer Infrarot-Temperaturkalibrierung ist die **Emissivität**.

und reflektierter Strahlung, die von anderen Quellen in der Umgebung kommt.

Übertragung durch das Objekt ist eine andere Quelle von Strahlungsenergie, die berücksichtigt werden muss, wenn das Objekt nicht lichtundurchlässig ist. Die Menge des bei einer bestimmten Temperatur abgegebenen Lichts wird

durch die Emissivität der Oberfläche bestimmt. Die Emissivität ist das Verhältnis zwischen der durch eine

Oberfläche abgegebenen Strahlungsenergie und der bei gleicher Temperatur durch einen **schwarzen Körper** abgegebenen Strahlungsenergie. Die Emissivität eines Objekts wird weitgehend durch die

Emissivität, schwarzer Körper und grauer Körper

Die Emissivität kann einen beliebigen Wert besitzen, einschließlich eines Werts zwischen null und eins. Eine Emissivität von null bedeutet, dass kein Licht abgestrahlt wird; die Objekttemperatur spielt dabei keine Rolle. Eine Emissivität von eins bedeutet, dass die Oberfläche bei allen Wellenlängen eine perfekte Strahlung erzielt. Von Wissenschaftlern werden solche Objekte mit perfekter Strahlung als „schwarze Körper“ bezeichnet. Objekte mit einer Emissivität von fast eins werden ebenso gewöhnlich als „schwarze Körper“ bezeichnet. Ein Infrarot-Kalibrator mit einer Emissivität um 0,95 ist wird als ein **Graukörper** bezeichnet, wenn die Emissivität über alle Wellenlängen hinweg einheitlich ist.

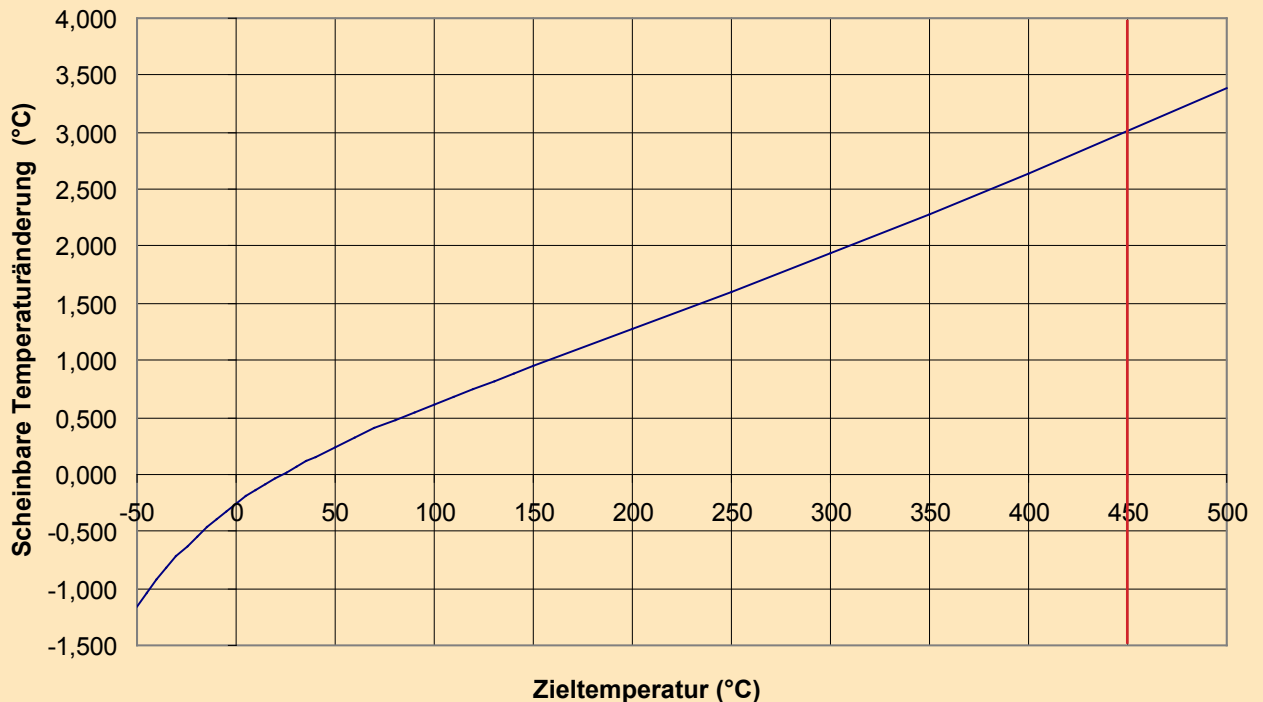
$$\text{Reflexionsvermögen} + \text{Emissivität} + \text{Durchlassvermögen} = 1$$

Die Beziehung zwischen Emissivität, Reflexionsvermögen und Übertragung.

Emissionswert

Die Strahlungsenergie, die von einem **lichtundurchlässigen** Objekt abgegeben wird, ist eine Kombination von aufgrund der Temperatur des Objekts abgegebener **Strahldichte**

Auswirkung einer 1 %-igen Erhöhung der Emissivität auf die scheinbare Temperatur
TBG=23 °C, $\epsilon=0,95$, $\lambda=8 \mu\text{m to } 14 \mu\text{m}$



Temperaturfehlerentsprechung zu einem Fehler von 1 Prozent der Emissivität. Ein Fehler von 1 % der Emissivität kann bei 450 °C zu einem Fehler von 3 °C in der Temperatur führen.

Art des Materials und die Oberflächenbeschaffenheit des Objekts bestimmt. Metalle mit glatter Oberflächenbeschaffenheit haben oft eine niedrige Emissivität und ein hohes Reflexionsvermögen, wogegen lange schmale Löcher eine relativ hohe Emissivität und ein sehr niedriges Reflexionsvermögen ergeben.

Tech-Tipp:

Wenn die Zieltemperatur unter dem **Taupunkt** liegt, könnten sich kristalline Eismuster bilden. Dadurch wird die Emissivität der Oberfläche geändert, was zu Kalibrierfehlern führt. Ein Spülen mit Trockengas ist eine Methode zur Verhinderung des Kristallwachstums, das sich letztendlich zu einer Eisschicht ausbildet. Diese Eisschicht verdeckt die Temperatur der Messfläche und führt zu noch größeren Fehlern.

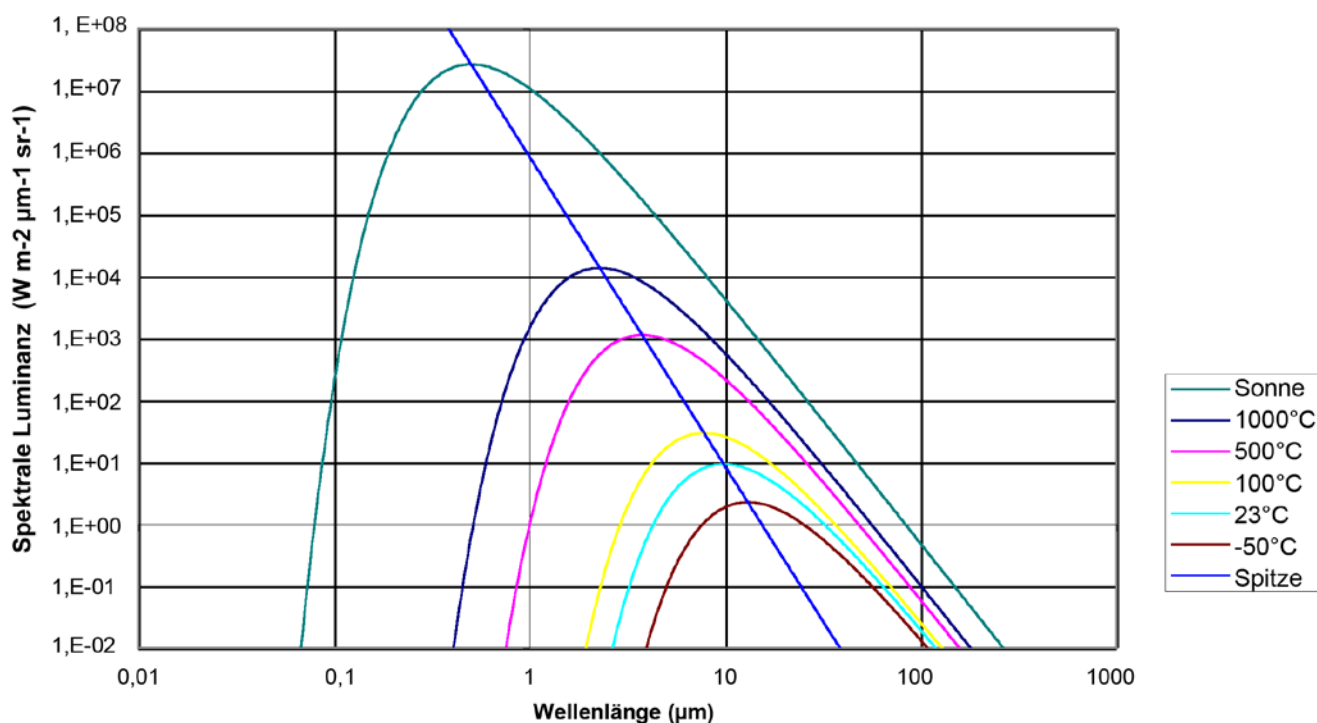
Die Summe von Emissivität, Reflexion und Übertragung ist stets 1.

Infrarot-Temperaturkalibratoren müssen so konzipiert sein, dass sie eine bekannte Emissivität haben, die über die volle Betriebstemperatur konstant bleiben muss. Die Emissivität wird leider bei der Kalibrierung der meisten IR-Kalibratoren vernachlässigt. Diese Kalibratoren selbst werden durch Einführen eines Kontaktthermometers, zum Beispiel ein Platin-Widerstandsthermometer, in das Objekt kalibriert. Diese Methode vernachlässigt zudem Temperaturverluste an der Oberfläche des Infrarotobjekts. Bei dieser Art von Kalibrierung weiß der Benutzer möglicherweise nicht, dass bei jeder Temperatur komplizierte emissivitätsbezogene Korrekturen erforderlich sind, um die vom Hersteller geforderte Genauigkeit zu erzielen. Diese Korrekturen basieren auf der Differenz zwischen der aktuell

gemessenen Emissivität des Objekts und der Emissions-Einstellung des Thermometers. Ein Fehler von 1 Prozent der Emissivität bei 500 °C würde zu einem Fehler von 3,5 °C in der Kalibrierung führen. Andererseits sind die durch Hersteller angegebenen Emissionswerte normalerweise lediglich typische Werte und in Wirklichkeit nicht durch Kalibrierung verifiziert. Dies kann zu einem Verlust der Rückführbarkeit und mit der Zeit zu inkonsistenten Ergebnissen und inkonsistenten Ergebnissen zwischen verschiedenen Kalibratoren führen.

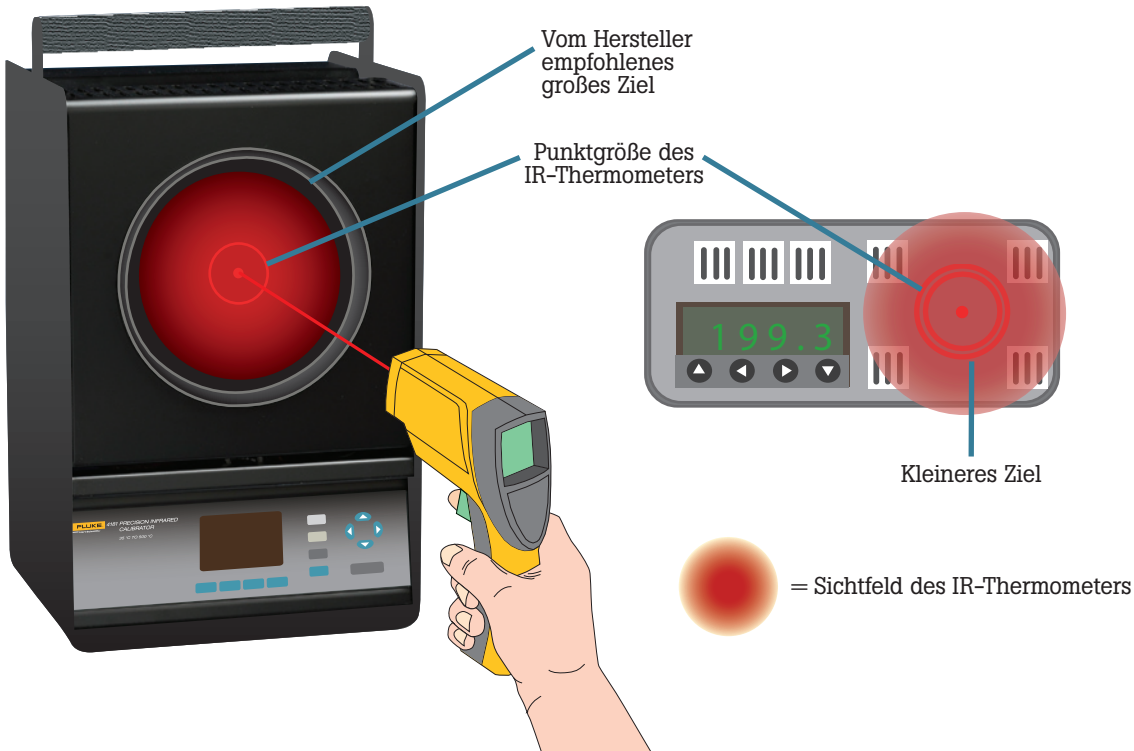
Um für Temperaturfehler in der Messoberfläche zu korrigieren, sollte ein Infrarot-Temperaturkalibrator mit einem Radiometer kalibriert werden, das bei jeder Temperatur die Menge der vom Kalibrierobjekt kommenden Strahlungsenergie misst. Eine Temperaturanzeige, die eine **radiometrische Kalibrierung** aufweist, benötigt keine zusätzlichen

Spektrale Luminanz und Temperatur



Die Spitze im Diagramm entspricht der hellsten Wellenlänge.

Die Spitze bewegt sich nach links und die ganze Kurve bewegt sich mit zunehmender Temperatur nach oben.



Periphere Sicht in Infrarotthermometern erfordert für zahlreiche Kalibrierungen große Objekte.

emissivitätsbezogenen Korrekturen, solange die Emissivitäts-Einstellung des Messgeräts mit dem Kalibrator übereinstimmt. Verwenden Sie einen Kalibrator, der für Emissivitäts-Einstellungen von Infrarotthermometern kompensieren kann.

Das untenstehende Diagramm „Spektrale Luminanz und Temperatur“ zeigt, wenn Temperatur bewirkt, dass ein Objekt Licht abgibt, kommt das Licht in der Form von vielen verschiedenen Wellenlängen vor. Dies wird spektrale Luminanz genannt (siehe Diagramm unten). Wenn man alle Wellen von der kürzesten bis zur längsten aufzeichnen könnte, würden die hellsten Wellen im Bereich der Mitte liegen. Wenn man dann die Temperatur des Objekts erhöhen würde, welches das Licht abgibt, würde man sehen, dass die kürzeren Wellen heller werden. Wenn das Objekt ausreichend heiß ist, beginnen selbst die sehr kurzen Wellen von 0,400 µm bis 0,700 µm ausreichend hell zu sein, sodass die durch das Objekt

abgegebene Strahlung für das menschliche Auge sichtbar wird, und das Objekt zu glühen scheint. Die Emissivität bei jeder Wellenlänge (spektrale Emissivität) bestimmt, wie hell jede einzelne Welle sein wird. Das Thermometer verwendet die Gesamthelligkeit eines ausgewählten Bandes dieser Wellen, um die Temperatur zu bestimmen.

Strahlungserkennung mit einem Thermometer

Die von der Oberfläche des Kalibrators abgestrahlte Lichtenergie wird durch die Luft übertragen, bis sie durch ein Thermometer erkannt wird. Staub, Rauch und Glasoberflächen können das Licht beeinträchtigen und sich auf die Ergebnisse der Messung auswirken. Der Detektor muss das Licht genau vom Bereich des gewünschten Objekts auffangen, um zu vermeiden, dass unerwünschte Objekte im Hintergrund die Messung beeinflussen. Das **Abstand-zu-Punktgröße-Verhältnis** (D:S) hilft dem Benutzer, die korrekte Position des Thermometers zu finden.

Die **Punktgröße** macht jedoch lediglich einen Prozentsatz des gesamten **Sichtfelds** des Thermometers aus. Wie das menschliche Auge weist das Infrarotthermometer eine bestimmte periphere Sicht auf. Periphere Sicht in IR-Thermometer, auch **Scatter/Streuung** genannt, kann je nach Messgerätequalität 1 % bis 35 % der insgesamt gemessenen Energie ausmachen. Während die Punktgröße für Messungen im Feld ausreichend sein kann, ist sie für die bei einer Kalibrierung erforderliche Laborgenaugigkeit nicht immer ausreichend. Aus diesem Grund ist bei der Kalibrierung der meisten IR-Thermometer ein Objekt erforderlich, das bedeutend größer ist, als das Abstand-zu-Punktgröße-Verhältnis des Thermometers vorgibt.

Die durch das Thermometer aufgefangene Infrarotenergie wird durch das optische System gefiltert, das lediglich für ein bestimmtes Spektralband, beispielsweise 8 µm bis 14 µm, empfindlich ist. Die aufgefangene

Energie enthält auch reflektierte Strahlung, die durch die Umgebungstemperatur im Raum verursacht wird. **Reflexion** steht in einer interessanten Beziehung zur Emissivität. Die erkennbare Infrarotstrahlung, die vom Kalibrator kommt, ist normalerweise eine Kombination von Wärmestrahlung, die durch die Messoberfläche abgegeben wird, und reflektierter Energie, die von anderen warmen Objekten in der Umgebung (z. B. Fenster, Wände, Personen) kommt. Für ein lichtundurchlässiges Objekt ist die Summe von Emissivität und Reflexion gleich 1.

Wenn demzufolge der Emissionswert eines lichtundurchlässigen Objekts gleich null ist, dann wird keine vom Objekt kommende Strahlungsenergie durch die eigene **thermodynamische Temperatur** (des Objekts) verursacht. Die gesamte Menge des durch das Thermometer erkannten Lichts wird in diesem Fall von einem anderen Objekt strahlungsreflektiert (Strahlung von einem anderen Ort im Raum). Wenn der Emissionswert des Objekts 0,95 ist, dann ist der Reflexionswert des Objekts 0,05. Anders ausgedrückt absorbiert das Objekt 95 % der Energie im Raum und reflektiert die restlichen 5 %. Das bedeutet auch, dass die durch Temperatur verursachte Energie 95 % des Werts ausmacht, der durch einen perfekten schwarzen Körper erzielt würde. IR-Thermometer versuchen die Energie zu

kompensieren, die durch ein Objekt reflektiert wird; wenn jedoch ein Ziel im Vergleich zur Umgebung sehr kalt ist oder die Emissivität sehr gering ist, erschwert die reflektierte Energie eine korrekte Temperaturmessung. Dies ist so, weil die reflektierte Energie einen relativ großen Teil des Signals ausmacht, das vom Thermometer empfangen wird, wenn die Objekttemperatur niedriger ist als die Umgebungstemperatur. Diese Situation wird oft als niedriges Signal-Störungsverhältnis beschrieben.

IR-Thermometer messen eine Gruppe von Wellenlängen, ein sog. **Spektralband**. IR-Thermometer sind Spektralbandthermometer, weil sie **Spektralstrahldichte** messen; Spektralstrahldichte ist die kollektive Strahlung aller Wellenlängen innerhalb eines bestimmten Spektralbands, beispielsweise 8 µm bis 14 µm.

Temperaturberechnung anhand von Strahlung

Eine genaue Temperaturberechnung erfordert die Einstellung der Emissivität auf dem Thermometer entsprechend der tatsächlichen Emissivität des zu messenden Objekts. Im Falle eines Objekts mit einer radiometrischen Kalibrierung sollte die Emissivitätseinstellung des Thermometers der tatsächlich kalibrierten Emissivität des Objekts entsprechen, sodass ein direkter Vergleich der Infrarottemperatur des Kalibrator-Objekts und des zu prüfenden Infrarotthermometers möglich ist.

Fazit

Infrarotthermometer werden in einer Reihe von Situationen eingesetzt, in denen Kontaktmessungen nicht sind. Anwendungen, die diese nützlichen Geräte einbeziehen, werden oft verkannt, was zu geringerer Nutzung der resultierenden Messungen führt. Die Zuverlässigkeit dieser Messungen wird jedoch durch Kalibrierung gesteigert. Wenn die Anforderungen hoch sind, bzw. die Anwendung wichtig ist, ist die gesteigerte Zuverlässigkeit der Messungen, den Aufwand für regelmäßiges Testen und Kalibrieren der IR-Thermometer sehr wohl wert.

Nicht alle Kalibrierungen sind gleichwertig; die richtige Wahl der Kalibrierungsausrüstung kann entscheidend sein. Bei der Auswahl eines Kalibrators sollte darauf geachtet werden, dass die Messfläche des Kalibrators ausreichend groß ist, um die periphere Sicht des Thermometers unterzubringen. Die Messfläche sollte wahrscheinlich ebenso groß sein wie die Messfläche, die der Hersteller für seine eigenen Kalibrierungen verwendet. Thermometerhersteller empfehlen zudem die gleiche Kalibrierdistanz, die sie selbst zum Erzielen von Laborgenauigkeit bei Kalibrierungen verwenden.

Wenn der Kalibrator keine radiometrische Kalibrierung bietet, muss die Emissivität der Messfläche bekannt sein, sodass die entsprechenden Korrekturen berechnet werden können. Diese Berechnungen sind schwierig, sodass die korrekte Kalibrierung zu Beginn sehr wichtig ist. Ähnliche Berechnungen müssen durchgeführt werden, wenn die Emissivitätseinstellungen auf dem Thermometer nicht mit den Werten des Kalibrators übereinstimmen, und deshalb kann ein gut konzipierter Kalibrator, der diese Berechnungen durchführen kann, Zeit und Geld sparen.

Glossar

Absorption:

Der Vorgang, bei dem Strahlungsenergie, die auf einer Oberfläche auftrifft, in interne Wärmeenergie umgewandelt wird.

Abstand-zu-Punktgröße-Verhältnis:

Das Abstand-zu-Punktgröße-Verhältnis (D:S) ist das Verhältnis zwischen dem Abstand zum Objekt und dem Durchmesser des Bereichs, der einen bestimmten Prozentanteil der vom Infrarotthermometer festgestellten Gesamtenergie enthält. Anhand des Verhältnisses D:S wird die richtige Entfernung für praktische Infrarot-Temperaturmessungen bestimmt.

Durchlassvermögen:

Ein Maß, das angibt, welcher Betrag einer elektromagnetischen Welle durch eine Oberfläche hindurchtritt. Es handelt sich um das Verhältnis zwischen dem durch die Oberfläche hindurchtretenden Werte und dem die Oberfläche erreichenden Wert.

Elektromagnetische Strahlung:

Die von einer Oberfläche abgegebene Energie, die sich als eine Welle mit elektrischen und magnetischen Komponenten bewegt. Beispiele sind u. a: Funkwellen, Mikrowellen, Millimeterwellen, Infrarotstrahlung, sichtbares Licht, UV-Strahlung sowie Röntgen- und Gammastrahlung.

Emissivität:

Von der Emissivität einer Oberfläche wird angegeben, wie gut sie die Strahlung im Vergleich zu einem schwarzen Körper der gleichen Temperatur abgibt. Sie wird mithilfe des Verhältnisses zwischen der vom Material abgegebenen Energie und der bei gleicher Temperatur von einem schwarzen Körper abgegebenen Energie gemessen.

Gleichförmigkeit:

Die Gleichförmigkeitspezifikation gibt den zulässigen Höchstunterschied von zwei Messergebnissen einer durch ein Messmedium oder eine Oberfläche eingegrenzten Region an.

Grauer Körper:

Eine Oberfläche, die bei allen Wellenlängen und Temperaturen eine konstante Emissivität aufweist, wird als grauer Körper bezeichnet. Obwohl es in Wirklichkeit keine grauen Körper gibt, stellen sie doch eine gute Annäherung für viele echte Oberflächen dar.

Infrarotstrahlung:

Infrarotstrahlung (IR-Strahlung) ist elektromagnetische Strahlung mit Wellenlängen, die länger sind als sichtbares Licht und kürzer als Millimeterwellen. Infrarotstrahlung wird von allen Oberflächen mit Temperaturen über dem absoluten Nullpunkt (-273,15 °C) abgegeben.

Infrarotthermometer:

Ein Gerät, das die Temperatur eines Objekts durch die Messung der vom Objekt abgegebenen Infrarotstrahlung berechnet. Es wird auch als kontaktloses Thermometer bezeichnet, da es die Temperatur einer Oberfläche messen kann, ohne diese Oberfläche zu berühren.

Lichtundurchlässig:

Elektromagnetische Strahlung kann nicht durch ein lichtundurchlässiges Objekt hindurchtreten. Eine Oberfläche kann für einige Wellenlängen undurchlässig und für andere Wellenlängen durchlässig sein. Glas lässt zum Beispiel keine Infrarotstrahlung mit einer Wellenlänge von über ~3 µm durch, ist jedoch lichtdurchlässig.

Punktgröße:

Der Durchmesser des Messpunkts eines Radiometers. Er wird gewöhnlich als der Durchmesser definiert, der einen definierten Prozentanteil der gesamten vom Radiometer erfassten Leistung erfasst, z. B. 95 %. Diese Punktgröße ändert sich mit dem Abstand vom Radiometer.

Radiometer:

Ein Gerät zur Messung der Leistung (sog. Strahlungsintensität) von elektromagnetischer Strahlung. Siehe auch Infrarotthermometer.

Radiometrische Kalibrierung:

Eine Kalibrierung, die die mit einem Messgerät erzeugten Messwerte mit den Messwerten eines Referenz-Radiometers vergleicht, um mögliche Fehler im geprüften Messgerät festzustellen, zu melden oder durch Einstellungen zu beseitigen.

Reflexion:

Die elektromagnetische Strahlung wird reflektiert, wenn sie ihre Richtung an einer Oberfläche ändert, wobei sie im ersten Medium bleibt, ohne in das zweite Medium einzutreten.

Reflexionsvermögen:

Der Bruchteil der Einfallstrahlung, der von einer Oberfläche reflektiert wird.

**Schwarzer Körper
(Blackbody):**

Ein schwarzer Körper ist eine ideale Oberfläche, die die bei einer bestimmten Temperatur die Höchstmenge an elektromagnetischer Strahlung abgibt oder absorbiert. Eine solche Oberfläche gestattet weder die Reflexion noch das Durchtreten von Strahlung. Im Labor kommt man einem schwarzen Körper durch eine große Hohlraumstruktur mit einer kleinen Öffnung nahe. Eine Reflexion wird verhindert, da das Licht, das in das Loch eintritt, mehrmals von den Wänden der Hohlstruktur reflektiert werden müsste, wodurch es vor dem erneuten Austreten absorbiert wird.

Sichtfeld:

Das Sichtfeld (FOV) ist die Region im freien Raum, die einen bestimmten Betrag der Strahlungsenergie enthält, welche vom optischen System eines Infrarotthermometers erfasst wurde. Das Sichtfeld wird normalerweise in Winkelgraden angegeben (z. B. 1°). Das Sichtfeld des Thermometers muss völlig von der Messoberfläche ausgefüllt werden, um präzise Temperaturmessungen zu gewährleisten.

Spektralband:

Ein eindeutiger, ununterbrochener Wellenlängenbereich elektromagnetischer Energie. Zum Beispiel ist der Bereich von 8 bis 14 µm ein Spektralband, das von vielen Infrarotthermometern verwendet wird.

Spektralstrahldichte:

Ein Stärkemaß der elektromagnetischen Strahlung, die von einem bestimmten Bereich mit einer bestimmten Wellenlänge abgegeben wird bzw. durch ihn hindurchtritt. Es wird als *Strahldichte* pro *Wellenlängenintervall* definiert. Die SI-Einheit der pro Wellenlängenintervall gemessenen Spektralstrahldichte ist $W \cdot sr^{-1} \cdot m^{-3}$.

Strahldichte:

Ein Stärkemaß der elektromagnetischen Strahlung, die von einem bestimmten Bereich in einer bestimmten Richtung abgegeben wird bzw. durch ihn hindurchtritt. Sie wird als Leistung pro Flächeneinheit pro räumlichem Winkel definiert. Die SI-Einheit der Strahldichte ist Watt pro Steradian pro Quadratmeter ($W \cdot sr^{-1} \cdot m^{-3}$).

Streuung:

Eine durch Ungleichmäßigkeiten in einem Medium hervorgerufene Wirkung, wodurch das Licht in eine Richtung gezwungen wird, die von einem geraden Pfad abweicht.

Taupunkt:

Der Taupunkt ist die Temperatur, auf die die Luft bei einem bestimmten barometrischen Druck abgekühlt werden muss, sodass der Dampf zu Wasser kondensiert.

**Thermodynamische
Temperatur:**

Ein auf einer Skala basierender Temperaturwert, der mit allen bekannten Gesetzen der Thermodynamik übereinstimmt.

Übertragung:

Der Vorgang, bei dem ein Bruchteil der auf eine Oberfläche auftreffenden elektromagnetischen Energie durch das Material dieser Oberfläche hindurchtreten darf. Für Oberflächen, die im gemessenen Spektralband lichtundurchlässig sind, wird eine Übertragung von null angenommen.

Wellenlänge:

Die Strecke, die von einer vollständigen Schwingung einer sich bewegenden Welle eingenommen wird. Bei einer Welle ändert sich eine Eigenschaft (wie z. B. das elektrische Potenzial) mit der Schwingungsposition. Bei einer sich bewegenden Welle ändert sich diese Position mit der Zeit.

Fluke. Keeping your world up and running.®

Fluke Corporation
PO Box 9090, Everett, WA USA 98206

Fluke Europe B.V.
PO Box 1186, 5602 BD
Eindhoven, The Netherlands

Rufnummern für weitere Informationen:
USA (800) 443-5853 oder
Fax (425) 446-5116
Europa/Naher Osten/Afrika (31 40) 2 675 200
oder
Fax (31 40) 2 675 222
Kanada (800)-36-FLUKE oder
Fax (905) 890-6866
Aus anderen Ländern +1 (425) 446-5500 oder
Fax +1 (425) 446-5116
Website: <http://www.fluke.com>

© 2007 Fluke Corporation. Specifications subject to change without notice. Printed in USA
11/2007 3789615 A-DE-N Rev A
Pub_ID: 11329-ger, rev 01