

DIN EN 63144

ICS 17.200.20

Einsprüche bis 2018-11-14

Entwurf

**Geräte zur industriellen Prozesssteuerung –
Thermografische Bildgeber –
Metrologische Charakterisierung und Kalibrierung thermografischer
Bildgeber
(IEC 65B/1109/CD:2017);
Text Deutsch und Englisch**

Industrial Process Control Devices –
Thermographic Imagers –
Metrological Characterization and Calibration of Thermographic Imagers
(IEC 65B/1109/CD:2017);
Text in German and English

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2018-09-14 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt.

Weil die beabsichtigte Norm von der vorliegenden Fassung abweichen kann, ist die Anwendung dieses Entwurfs besonders zu vereinbaren.

Stellungnahmen werden erbeten

- vorzugsweise online im Norm-Entwurfs-Portal von DIN unter www.din.de/go/entwuerfe bzw. für Norm-Entwürfe der DKE auch im Norm-Entwurfs-Portal der DKE unter www.entwuerfe.normenbibliothek.de, sofern dort wiedergegeben;
- oder als Datei per E-Mail an dke@vde.com möglichst in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter www.din.de/go/stellungnahmen-norm-entwuerfe oder für Stellungnahmen zu Norm-Entwürfen der DKE unter www.dke.de/stellungnahme abgerufen werden;
- oder in Papierform an die DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE, Stresemannallee 15, 60596 Frankfurt am Main.

Die Empfänger dieses Norm-Entwurfs werden gebeten, mit ihren Kommentaren jegliche relevanten Patentrechte, die sie kennen, mitzuteilen und unterstützende Dokumentationen zur Verfügung zu stellen.

Gesamtumfang 82 Seiten

DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE

Inhalt

	Seite
Einleitung	7
1 Anwendungsbereich	8
2 Normative Verweisungen	8
3 Begriffe	8
4 Symbole	12
5 Abkürzungen	13
6 Bestimmung technischer Daten	13
6.1 Temperaturmessbereich	14
6.1.1 Erforderliche Parameter	14
6.1.2 Beispiele für Angaben	14
6.1.3 Prüfverfahren	14
6.2 Rauschäquivalente Temperaturdifferenz (en.: <i>Noise equivalent Temperature Difference (NETD)</i>)	15
6.2.1 Erforderliche Parameter	15
6.2.2 Beispiele für Angaben	15
6.2.3 Prüfverfahren	15
6.3 Messentfernung	17
6.3.1 Erforderliche Parameter	17
6.3.2 Beispiele für Angaben	17
6.3.3 Prüfverfahren	17
6.4 Sichtfeld (en.: <i>Field of view (FOV)</i>)	17
6.4.1 Erforderliche Parameter	17
6.4.2 Beispiele für Angaben	17
6.4.3 Prüfverfahren	17
6.5 Anzahl der Bildelemente	18
6.5.1 Beispiel für Angaben	18
6.6 Verwendetes Detektorformat (Anzahl der verwendeten Detektorelemente)	18
6.6.1 Beispiele für Angaben	18
6.7 Momentanes Sichtfeld (en.: <i>Instantaneous field of view (IFOV)</i>)	18
6.7.1 Erforderliche Parameter	19
6.7.2 Beispiel für Angaben	19
6.7.3 Prüfverfahren	19
6.8 Spalt-Übertragungsfunktion (en.: <i>Slit response function (SRF)</i>)	19
6.8.1 Erforderliche Parameter	19
6.8.2 Beispiele für Angaben	19
6.8.3 Prüfverfahren	20
6.9 Mindestsichtfeld für die Temperaturmessung (en.: <i>Minimum field of view for temperature measurement (MFOV_T)</i>)	20

	Seite
6.9.1 Erforderliche Parameter	22
6.9.2 Beispiel für Angaben	22
6.9.3 Prüfverfahren	22
6.10 Spektralbereich	22
6.10.1 Beispiele für Angaben	23
6.10.2 Prüfverfahren	23
6.11 Einstellung des Emissionsgrads	23
6.11.1 Beispiele für Angaben	23
6.11.2 Prüfverfahren	23
6.12 Einfluss der Eigentemperatur des Geräts	23
6.12.1 Erforderliche Parameter	23
6.12.2 Beispiele für Angaben	23
6.12.3 Prüfverfahren	24
6.13 Einfluss der Feuchte	24
6.13.1 Erforderliche Parameter	24
6.13.2 Beispiel für Angaben	25
6.13.3 Prüfverfahren	25
6.14 Langzeitstabilität.....	25
6.14.1 Erforderliche Parameter	25
6.14.2 Beispiel für Angaben	25
6.14.3 Prüfverfahren	25
6.15 Kurzzeitstabilität	26
6.15.1 Erforderliche Parameter	26
6.15.2 Beispiel für Angaben	26
6.15.3 Prüfverfahren	26
6.16 Wiederholpräzision.....	27
6.16.1 Erforderliche Parameter	27
6.16.2 Beispiel für Angaben	27
6.16.3 Prüfverfahren	27
6.17 Austauschbarkeit (Produktionsverteilung)	28
6.17.1 Erforderliche Parameter	28
6.17.2 Beispiel für Angaben	28
6.17.3 Prüfverfahren	28
6.18 Ansprechzeit.....	29
6.18.1 Erforderliche Parameter	32
6.18.2 Beispiel für Angaben	32
6.18.3 Prüfverfahren	32
6.19 Expositionsdauer.....	33
6.19.1 Erforderliche Parameter	33

	Seite
6.19.2 Beispiel für Angaben	33
6.19.3 Prüfverfahren	33
6.20 Aufwärmzeit	34
6.20.1 Erforderliche Parameter	34
6.20.2 Beispiele für Angaben	34
6.20.3 Prüfverfahren	34
6.21 Einstellungsbereich der Integrationszeit	35
6.21.1 Erforderliche Parameter	35
6.21.2 Beispiel für Angaben	36
6.22 Aktualisierungsrate	36
6.22.1 Beispiel für Angaben	36
6.22.2 Prüfverfahren	36
6.23 Ungleichförmigkeit (Inhomogenität der Detektorempfindlichkeit)	36
6.23.1 Erforderliche Parameter	37
6.23.2 Beispiel für eine Angabe:	37
6.23.3 Prüfverfahren	37
6.24 Inhomogenitätsäquivalente Temperaturdifferenz (<i>en.: Inhomogeneity Equivalent Temperature Difference (IETD)</i>)	37
6.24.1 Erforderliche Parameter	38
6.24.2 Beispiele für Angaben	38
6.24.3 Prüfverfahren	38
6.25 Betriebstemperaturbereich und Luftfeuchtebereich	38
6.25.1 Beispiel für Angaben	38
6.25.2 Prüfverfahren	38
6.26 Umfeldfaktor (<i>en.: Size-of-source effect (SSE)</i>)	38
6.26.1 Erforderliche Parameter	39
6.26.2 Beispiele für Angaben	39
6.26.3 Prüfverfahren	39
Anhang A (informativ) Durch eine 1-prozentige Änderung des Strahlungsaustauschs verursachte Änderung der angezeigten Temperatur	40
Literaturhinweise	42
Bilder	
Bild 1 – Schematischer Messaufbau	14
Bild 2 – Spalt-Übertragungsfunktion	20
Bild 3 – Mindestgröße eines Messpunktes für die Temperaturmessung	21
Bild 4 – Synchrone Signalerfassung für einen Quantendetektor	29
Bild 5 – Asynchrone Signalerfassung für einen Quantendetektor	30
Bild 6 – synchrone Signalerfassung für einen thermischen Detektor (Bestfall)	31
Bild 7 – Asynchrone Signalerfassung für einen thermischen Detektor (schlechtestmöglicher Fall)	31
Bild 8 – Beispiel für die Messung der Aufwärmzeit	35

Tabellen

Tabelle 1 – Symbole	12
Tabelle A.1 – Änderung der angezeigten Temperatur im Vergleich zu einer 1-prozentigen Änderung des Strahlungsaustauschs mit einer thermografischen Kamera bei 23 °C	40

Nationales Vorwort

Das internationale Dokument IEC 65B/1109/CD:2017 „Industrial Process Control Devices – Thermographic Imagers – Metrological Characterization and Calibration of Thermographic Imagers“ (CD, en: Committee Draft) ist unverändert in diesen Norm-Entwurf übernommen worden. Dieser Norm-Entwurf enthält eine noch nicht autorisierte deutsche Übersetzung.

Um Zweifelsfälle in der Übersetzung auszuschließen, ist die englische Originalfassung des CD entsprechend der diesbezüglich durch die IEC erteilten Erlaubnis beigefügt. Die Nutzungsbedingungen für den deutschen Text des Norm-Entwurfes gelten gleichermaßen auch für den englischen IEC-Text.

Das internationale Dokument wurde vom SC 65B „Measurement and control devices“ der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC) erarbeitet und den nationalen Komitees zur Stellungnahme vorgelegt.

Die Internationale Elektrotechnische Kommission (IEC) und das Europäische Komitee für Elektrotechnische Normung (CENELEC) haben vereinbart, dass ein auf IEC-Ebene erarbeiteter Entwurf für eine Internationale Norm zeitgleich (parallel) bei IEC und CENELEC zur Umfrage (CDV-Stadium) und Abstimmung als FDIS (en: Final Draft International Standard) bzw. Schluss-Entwurf für eine Europäische Norm gestellt wird, um eine Beschleunigung und Straffung der Normungsarbeit zu erreichen. Dokumente, die bei CENELEC als Europäische Norm angenommen und ratifiziert werden, sind unverändert als Deutsche Normen zu übernehmen.

Da der Abstimmungszeitraum für einen FDIS bzw. Schluss-Entwurf FprEN nur 6 Wochen beträgt, und dann keine sachlichen Stellungnahmen mehr abgegeben werden können, sondern nur noch eine „JA/NEIN“-Entscheidung möglich ist, wobei eine „NEIN“-Entscheidung fundiert begründet werden muss, wird bereits der CD als DIN-Norm-Entwurf veröffentlicht, um die Stellungnahmen aus der Öffentlichkeit frühzeitig berücksichtigen zu können.

Für dieses Dokument ist das nationale Arbeitsgremium K 961 „Elektrische Messwertaufnehmer und Messgrößenumformer“ der DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE (www.dke.de) zuständig.

Für den Fall einer undatierten Verweisung im normativen Text (Verweisung auf ein Dokument ohne Angabe des Ausgabedatums und ohne Hinweis auf eine Abschnittsnummer, eine Tabelle, ein Bild usw.) bezieht sich die Verweisung auf die jeweils aktuellste Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments.

Für den Fall einer datierten Verweisung im normativen Text bezieht sich die Verweisung immer auf die in Bezug genommene Ausgabe des Dokuments.

Der Zusammenhang der zitierten Dokumente mit den entsprechenden deutschen Dokumenten ergibt sich, soweit ein Zusammenhang besteht, grundsätzlich über die Nummer der entsprechenden IEC-Publikation. Beispiel: IEC 60068 ist als EN 60068 als Europäische Norm durch CENELEC übernommen und als DIN EN 60068 ins Deutsche Normenwerk aufgenommen.

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. IEC ist nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

Das Original-Dokument enthält Bilder in Farbe, die in der Papierversion in einer Graustufen-Darstellung wiedergegeben werden. Elektronische Versionen dieses Dokuments enthalten die Bilder in der originalen Farbdarstellung.

Einleitung

Für die räumlich und zeitlich aufgelöste, kontaktlose Strahlungstemperaturmessung werden zunehmend thermografische Kameras (thermografische Bildgeber oder Infrarotkameras) verwendet. Das Übertragen der von diesen Instrumenten ausgegebenen Temperaturwerten auf die Internationale Temperaturskala (ITS-90) gewinnt für die Vergleichbarkeit der Messergebnisse zunehmend an Bedeutung. Die Voraussetzung für deren Kalibrierung und metrologische Anwendung mit geringen Messunsicherheiten ist die genaue Beschreibung und Festlegung der grundlegenden metrologischen Daten thermografischer Kameras. Während für die Festlegung technischer Spezifikationen für Strahlungsthermometer bereits internationale Vorschriften vorliegen – nämlich IEC/TS 62492-1 und IEC/TS 62492-2 – fehlen solch detaillierte Vorschriften für thermografische Kameras.

Bei dieser technischen Spezifikation handelt es sich um Teil 1 einer Serie technischer Spezifikationen für thermografische Kameras. Ziel der Spezifikation ist die Verbesserung der Vergleichbarkeit und Prüfbarkeit der grundlegenden metrologischen Technikdaten thermografischer Kameras. Dazu werden eindeutige Verfahren für die Anzeige und Bestimmung dieser technischen Daten festgelegt. In Teil 2 werden die absoluten Kalibrierungsverfahren und die entsprechenden Messunsicherheiten für thermografische Kameras tiefergehend und detaillierter dargelegt.

Geräte zur industriellen Prozesssteuerung – Thermografische Bildgeber – Metrologische Charakterisierung und Kalibrierung thermografischer Bildgeber

1 Anwendungsbereich

Diese technische Spezifikation gilt im Metrologiebereich zur Angabe und Prüfung technischer Daten in Datenblättern und Betriebsanleitungen für thermografische Kameras, die zur Messung von Oberflächentemperaturen verwendet werden. Dazu gehören, sofern nicht anders angegeben, sowohl zweidimensionale als auch eindimensionale (Zeilenkameras oder Zeilenscanner) Temperaturmessgeräte und das unabhängig vom Scan-Prinzip (fester Multielementdetektor oder Scanning-Kamerasystem).

Die Richtlinie beschreibt Standardprüfmethoden zur Bestimmung relevanter metrologischer Daten thermografischer Kameras. Hersteller und Verkäufer thermografischer Kameras sind nicht dazu verpflichtet, sämtliche in diesem Dokument angegebenen technischer Daten in den Datenblättern für einen bestimmten Produkttyp aufzuführen. Es sollten nur die jeweils relevanten Daten angegeben werden, die dieser Spezifikation entsprechen sollten.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente, die in diesem Dokument teilweise oder als Ganzes zitiert werden, sind für die Anwendung dieses Dokuments erforderlich. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

IEC/TS 62492-1, *RADIATION THERMOMETERS –Part 1: Technical data for radiation thermometers*

IEC/TS 62492-2, *RADIATION THERMOMETERS – Part 2: Determination of the technical data for radiation thermometers*

ISO/IEC Guide 98-3: 2008, *Uncertainty of measurement - Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM 2008)*

ISO/IEC Guide 99: 2007, *International vocabulary of metrology (VIM 2007)*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die folgenden Begriffe.

3.1

Schwarzkörperstrahler

Strahler, der eine Strahlung mit einer sehr guten Näherung an das plancksche Strahlungsgesetz abgibt

Anmerkung 1 zum Begriff: Ein Schwarzkörperstrahler ist eine Wärmestrahlungsquelle mit einem effektiven Emissionsgrad nahe 1

3.2

Erweiterungsfaktor

Zahlenfaktor, der, zur Schaffung einer erweiterten Messunsicherheit, als Multiplikator für die kombinierten Standardmessunsicherheit verwendet wird

Anmerkung 1 zum Begriff: Der Erweiterungsfaktor k ist eine Zahl größer eins und liegt typischerweise zwischen 2 und 3.

3.3

Verwendetes Detektorformat

Anzahl der Detektorelemente (Detektorpixel), die tatsächlich zur Aufzeichnung des Bildes verwendet wurden

Anmerkung 1 zum Begriff: Der häufig verwendete Ausdruck „Pixel“ wird im Folgenden nicht verwendet, da er sich sowohl auf den Detektor (Detektorelement), als auch auf das Bild (Bildelement) beziehen kann.

3.4

Expositionsdauer

Mindestzeitraum, für den die Eingangsgröße (Messtemperatur oder Messstrahlung) im Falle abrupter Änderungen angewendet werden muss, damit das Ausgangssignal der thermografischen Kamera einen vordefinierten Wert erreicht

3.5

Einstellungsbereich des Emissionsgrads

Bereich, innerhalb dessen der Emissionsgrad des Ziels an der thermografischen Kamera eingestellt werden kann

3.6

Sichtfeld (en.: *Field of view (FOV)*)

horizontaler und vertikaler Winkel des maximalen verwirklichtbaren Bildbereichs der thermografischen Kamera, bei spezifizierter Optik

Anmerkung 1 zum Begriff: Das Sichtfeld bezeichnet den Winkelbereich der beobachtbaren Welt, der zu jedem Zeitpunkt sichtbar ist.

3.7

Einfluss der Luftfeuchte

Parameter, der die zusätzliche Messunsicherheit des an einem Ziel gemessenen Temperaturwert angibt, die von der Abweichung der tatsächlichen Luftfeuchte von der Luftfeuchte während der Kalibrierung auf einen vorgegebenen Messbereich abhängt

3.8

Einfluss der Eigentemperatur des Geräts

Parameter, der die zusätzliche Messunsicherheit des an einem Ziel gemessenen Temperaturwert angibt, die von der Abweichung der tatsächlichen Eigentemperatur der thermografischen Kamera von der Eigentemperatur während der Kalibrierung auf einen vorgegebenen Messbereich abhängt

3.9

Inhomogenitätsäquivalente Temperaturdifferenz (en.: *Inhomogeneity Equivalent Temperature Difference (IETD)*)

der kleinste lösbare Temperaturunterschied, der dem über die Oberfläche der Bildelemente in einem Bild verteilten Rauschen entspricht

Anmerkung 1 zum Begriff: „Über die Oberfläche verteiltes Rauschen“ bezeichnet die positionsabhängige Abweichung des angezeigten Werts eines Bildelements vom Mittelwert aller Elemente, ohne den Einfluss zeitabhängigen Rauschens bei einer homogenen Strahlung der Quelle.

3.10

Momentanes Sichtfeld (en.: *Instantaneous field of view (IFOV)*)

horizontaler und vertikaler Winkel, der durch die Berechnung des, von einem einzelnen Detektorelements der thermografischen Kamera mit aberrationsfreier Optik bei spezifizierter Brennweite, erfassten Sichtfeldbereichs, entsteht

3.11

Integrationszeit

die Zeitspanne, in der ein Quantendetektor die einfallende Strahlung in ein Ausgangssignal umwandelt

Anmerkung 1 zum Begriff: Das Messsignal wird auch bei der Verwendung von Temperaturfühlern integriert. In diesem Fall ist die Integrationszeit jedoch für die Beschreibung des zeitabhängigen Verhaltens nicht repräsentativ.

3.12**Einstellungsbereich der Integrationszeit**

Bereich, innerhalb dessen die Zeitspanne für die Umwandlung des Strahlungssignals in ein Ausgangssignal eingestellt werden kann (für thermografische Kameras mit Quantendetektor)

3.13**Austauschbarkeit**

die Hälfte der Maximalabweichung zwischen den Messergebnissen zweier thermografischer Kameras des selben Typs, die unter identischen Bedingungen verwendet werden

3.14**Eigentemperatur des Geräts**

die Eigentemperatur des Geräts, die vom Hersteller an einem oder mehreren repräsentativen Punkten festgestellt und dem Benutzer mitgeteilt wird, damit dieser die erlaubten Betriebstemperaturen überwachen kann und um auf zusätzliche Komponenten in der Messunsicherheit hinzuweisen

3.15**Langzeitstabilität**

die Reproduzierbarkeit von Messergebnissen bei Wiederholung über einen Zeitraum von mindestens 3 Monaten

3.16**Messgenauigkeit**

Grad der Übereinstimmung zwischen einem gemessenen Mengenwert und dem tatsächlichen Mengenwert einer Messgröße

Anmerkung 1 zum Begriff: Das Konzept „Messgenauigkeit“ ist keine Menge und wird nicht als numerischer Mengenwert angegeben. Eine Messung gilt dann genauer, wenn sie einen kleineren Messfehler aufweist.

3.17**Messunsicherheit**

mit dem Messergebnis verbundener Parameter, der die Streuung der Werte darstellt, die vernünftigerweise der Messgröße zugeschrieben werden können, z. B. die halbe Breite eines Intervalls mit einer festgelegten Überdeckungswahrscheinlichkeit

Anmerkung 1 zum Begriff: Bei Messunsicherheit und Messgenauigkeit handelt es sich nicht um Synonyme.

3.18**Messentfernung**

Entfernung oder Entfernungsbereich zwischen der thermografischen Kamera und dem Ziel, für das die thermografische Kamera entwickelt wurde und in welcher/m eine scharfe Bildgebung des Ziels möglich ist

3.19**Temperaturmessbereich**

der Temperaturbereich für Messungen, in Hinblick auf den Schwarzkörper, für den die thermografische Kamera entwickelt wurde

Anmerkung 1 zum Begriff: Bei diesem Temperaturbereich bleibt die Messunsicherheit innerhalb festgelegter Grenzen.

3.20**Mindestsichtfeld für die Temperaturmessung (en.: *Minimum field of view for temperature measurement (MFOV_T)*)**

Sichtfeld des kreisförmigen Ziels mit dem kleinstmöglichen Durchmesser, das, bei Messung proportional zur Strahlung, verglichen mit dem Referenzwert nicht zu einer größeren Abweichung als der angegebenen führt

3.21**Rauschäquivalente Temperaturdifferenz (en.: *Noise equivalent Temperature Difference (NETD)*)**

Beitrag zur Messunsicherheit, die aufgrund zeitabhängigen Geräteraustauschs auftritt, angegeben in K oder °C

3.22**Ungleichförmigkeit (Inhomogenität der Detektorempfindlichkeit)**

maximaler Unterschied zwischen den in einem Bild angezeigten Temperaturwerten, bei Betrachtung einer bildfüllenden, homogenen Strahlung des Messobjekts und unter Vernachlässigung des zeitabhängigen intrinsischen Geräterauschens

3.23**Anzahl der Bildelemente**

Anzahl der Einzelwerte, aus denen das von der thermografischen Kamera erstellte Bild, horizontal und vertikal, besteht

3.24**Betriebsfeuchtebereich**

zulässiger Feuchtebereich, in dem die thermografische Kamera betrieben werden kann

3.25**Betriebstemperaturbereich**

zulässiger Temperaturbereich, in dem die thermografische Kamera betrieben werden kann

3.26**Bildelement (Bildpixel)**

das kleinste Bildelement, das von den umliegenden Bildelementen klar unterscheidbar ist

Anmerkung 1 zum Begriff: Der häufig verwendete Ausdruck „Pixel“ wird im Folgenden nicht verwendet, da er sich sowohl auf den Detektor (Detektorelement), als auch auf das Bild (Bildelement) beziehen kann.

3.27**Planckscher Strahler**

eine idealisierte thermische Strahlungsquelle, die eine Strahlung mit einem charakteristischen Spektrum abgibt, das lediglich von der Temperatur abhängt und durch das Plancksche Strahlungsgesetz vollständig beschrieben wird

3.28**Referenzstrahler**

eine Strahlungsquelle für die metrologische Charakterisierung einer thermografischen Kamera, deren Strahlungsoberfläche eine ausreichende Größe, Temperaturhomogenität und einen spektralen Emissionsgrad aufweist, der ausreichend stabil und für seine Anwendung bekannt ist

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Anforderungen an den Referenzstrahler ergeben sich aus den zu charakterisierenden technischen Spezifikationen der thermografischen Kamera und der vorgesehenen Unsicherheit ihrer Charakterisierung.

3.29**Aktualisierungsrate**

Anzahl der Ausgangsbilder in der angegebenen Auflösung (Anzahl der Bildelemente) je Sekunde

3.30**Wiederholpräzision**

die doppelte Standardabweichung von unter den gleichen Bedingungen innerhalb einer Zeitspanne von mindestens 3 Minuten wiederholten Messungen

3.31**Ansprechzeit**

Zeitintervall zwischen dem Zeitpunkt eines abrupten Wechsels des Eingangsparameterwerts (Messtemperatur oder Messstrahlung) zwischen zwei konstanten Werten und dem Zeitpunkt, ab dem der Messwert der thermografischen Kamera innerhalb der festgelegten Grenzen seines Endwerts bleibt

3.32**Kurzzeitstabilität**

die Reproduzierbarkeit von Messergebnissen bei Wiederholung über einen Zeitraum von mindestens 3 Stunden

3.33**Umfeldfaktor (en.: *Size-of-source effect (SSE)*)**

von der thermografischen Kamera angezeigte Änderung des Strahlungs- oder Temperaturwerts bei Betrachtung des Zentrums einer strahlenden Oberfläche mit einer homogenen Temperatur, wenn der Bereich der Strahlungsoberfläche vergrößert wird

3.34**Spalt-Übertragungsfunktion (en.: *Slit response function (SRF)*)**

relative Änderung des im Spaltzentrum gemessenen Werts in strahlungsproportionaler Quantität bei gleichzeitiger Breitenreduzierung einer spaltförmigen Öffnung, die horizontal und/oder vertikal zum Detektor ausgerichtet und vor einem homogen temperaturregulierten Strahler positioniert ist

3.35**Spektralbereich**

Parameter, der die untere und obere Bereichsgrenze des Wellenlängenbereichs angibt, über den die thermografische Kamera vom Ziel ausgehende Strahlung erfasst

3.36**Aufwärmzeit**

maximaler Zeitabschnitt, den die thermografische Kamera nach dem Anschalten benötigt, um den Betrieb gemäß ihrer Spezifikation aufzunehmen

4 Symbole

In diesem Dokument werden die im Folgenden aufgelisteten Symbole verwendet:

Tabelle 1 – Symbole

Symbol	Beschreibung	Einheit
U	Erweiterte Messunsicherheit	
M	Messergebnis	
k	Erweiterungsfaktor	1
FOV_h	Horizontales Sichtfeld	°
FOV_v	Vertikales Sichtfeld	°
$IFOV_h$	Horizontales momentanes Sichtfeld	mrad
$IFOV_v$	Vertikales momentanes Sichtfeld	mrad
$MFOV_T$	Mindestsichtfeld für die Temperaturmessung	mrad
n_h	Nummer des horizontalen Bildelements	1
n_v	Nummer des vertikalen Bildelements	1
x_{ideal}	Idealisiertes Messfeld	mm
d	Messentfernung	m
f_{Optic}	Optischer Faktor	1
λ	Wellenlänge	µm
	Durchschnittlicher Temperaturunterschied	K
t	Zeit	s
t_w	Aufwärmzeit	s
f_B	Aktualisierungsrate	Hz
t_M	Integrationszeit	s

5 Abkürzungen

In diesem Dokument werden die im Folgenden aufgelisteten Abkürzungen verwendet:

- *NETD*: – Rauschäquivalente Temperaturdifferenz
- *IETD*: – Inhomogenitätsäquivalente Temperaturdifferenz
- *FOV*: – Sichtfeld
- *IFOV*: – Momentanes Sichtfeld
- *MFOV_T*: Mindestsichtfeld für die Temperaturmessung
- *SRF*: – Spalt-Übertragungsfunktion
- *FWHM*: – Impulsdauer
- *NUC*: – Ungleichmäßigkeitskorrektur (en.: Non uniformity correction)

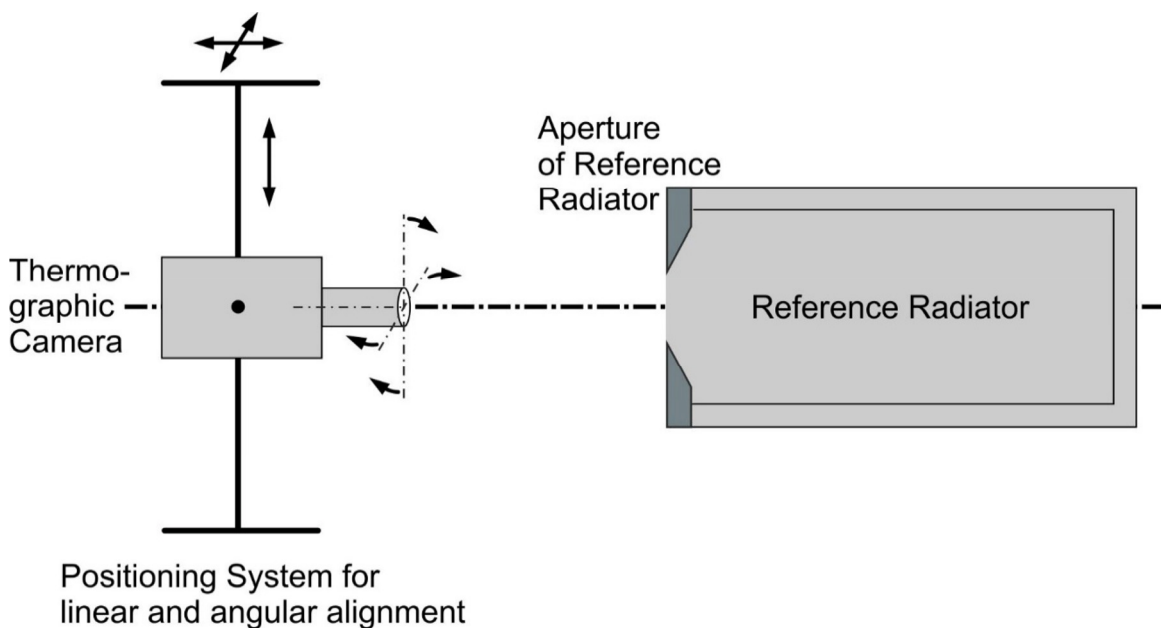
6 Bestimmung technischer Daten

Falls nicht anders angegeben, gelten die folgenden Prüfbedingungen für alle Messungen

1. Umgebungstemperaturbereich im Labor: 18 °C bis 28 °C
2. Die thermografische Kamera muss gemäß den Herstellerangaben an eine Stromversorgung angeschlossen werden
3. Ein Positionierungssystem zur linearen und angularen Verschiebung der thermografischen Kamera in Abhängigkeit zur optischen Achse des Referenzstrahlers
4. Einhaltung der vom Hersteller angegebenen Aufwärmzeit
5. Verwendung eines Referenzstrahlers
6. Falls die Messentfernung entsprechend der Messbestimmungen angezeigt wird, kann davon ausgegangen werden, dass das Ziel der thermografischen Kamera auf diese Entfernung scharfgestellt ist.

ANMERKUNG Beim Referenzstrahler sollte es sich, nach Möglichkeit, um einen Hohlraum-Schwarzkörperstrahler, der eine gute Annäherung an den Planckschen Strahler darstellt, oder einen großflächigen Oberflächenstrahler mit guter Temperaturhomogenität und einer Beschichtung mit homogenem und hohem Emissionsgrad (> 0.95 bei $T \leq 150$ °C und > 0.90 bei $T > 150$ °C) handeln.

ANMERKUNG Eventuelle vorhandene fehlerhafte Detektorelemente, die der Hersteller meistens durch spezielle Algorithmen ersetzt, dürfen die Messergebnisse nicht beeinflussen. Falls nötig, muss der Hersteller um die Bereitstellung dieser Algorithmen gebeten oder die Messungen an anderen Stellen wiederholt werden.



Thermographic Camera	Thermografische Kamera
Aperture of Reference Radiator	Öffnung des Referenzstrahlers
Positioning System for linear and angular alignment	Positioniersystem zur linearen und angularen Ausrichtung

Bild 1 – Schematischer Messaufbau

6.1 Temperaturmessbereich

Der Temperaturbereich für den die thermografische Kamera entwickelt wurde und in dem die Messunsicherheit innerhalb der angegebenen Spezifikation liegt, bezieht sich immer auf den Schwarzkörper.

Neben dem spezifizierten Temperaturmessbereich ist möglicherweise auch ein Temperaturanzeigebereich angegeben. Innerhalb dieser Bereichsgrenzen zeigt die thermografische Kamera Messwerte an, die nicht zwingend der spezifizierten Messunsicherheit entsprechen.

6.1.1 Erforderliche Parameter

Im Falle austauschbarer Objektive, Spektralfilter oder Blenden, muss der verwendete Aufbau angegeben werden. Falls weiter gefasste Temperaturmessbereiche in mehrere manuell oder automatisch anpassbare Einzelbereiche aufgeteilt werden, so muss diese Teilung ebenfalls angegeben werden.

6.1.2 Beispiele für Angaben

- a) Temperaturmessbereich: -20 °C bis 300 °C
- b) Temperaturmessbereiche: I) -20 °C bis 120 °C und II) 0 °C bis 600 °C

6.1.3 Prüfverfahren

Der Temperaturmessbereich ist eng mit der Messunsicherheit (3.17) verbunden und kann daher nur in Verbindung mit dieser vollständig bestimmt werden.

Zur Bestimmung des Temperaturanzeigebereichs wird die thermografische Kamera zentral vor einem Referenzstrahler mit bekannter Temperatur und Emissionsgrad platziert. Die Temperatur des Referenzstrahlers wird stufenweise näher an die spezifizierten Minimal- und Maximaltemperaturen des entsprechenden Temperaturanzeigebereichs gebracht. Unter Berücksichtigung der spezifizierten Messunsicherheit der thermografischen Kamera und der Unsicherheit des verwendeten Referenzstrahlers,

wird die Anzeige der niedrigsten und der höchsten Temperatur im thermografischen Bild aufgezeichnet und mit den Herstellerangaben verglichen.

6.2 Rauschäquivalente Temperaturdifferenz (en.: *Noise equivalent Temperature Difference (NETD)*)

Die rauschäquivalente Temperaturdifferenz zeigt den Beitrag zur Messunsicherheit an, der durch hochfrequentes temporäres Geräterauschen entsteht. Sie entspricht dem Temperaturunterschied eines Schwarzkörpers, bei dem das Signal-Rausch-Verhältnis der thermografischen Kamera 1 beträgt. Im Falle der rauschäquivalenten Temperaturdifferenz eines einzelnen Detektorelements beträgt die Überdeckungswahrscheinlichkeit immer 68,3 % (Standardmessunsicherheit).

6.2.1 Erforderliche Parameter

Die rauschäquivalente Temperaturdifferenz hängt stark von der Strahlungstemperatur des zu messenden Objekts, der ausgewählten Messzeit (Integrationszeit, Bildaufnahmezeit und oder Aktualisierungsrate) und der potenziellen Bildmittelung ab, die daher immer zusammen mit der *NETD* angegeben werden müssen. Im Falle austauschbarer Objektive oder Filter muss das verwendete Objektiv sowie der verwendete Filter, im Falle umschaltbarer Temperaturmessbereiche der verwendete Temperaturmessbereich angegeben werden. Falls die *NETD* von der Eigentemperatur des Geräts abhängt, so sollte diese Abhängigkeit gemessen werden. In diesem Fall muss die Eigentemperatur des Geräts zusammen mit der *NETD* angegeben werden. Zuletzt müssen der Abstand zum Referenzstrahler, die Scharfstellungsbedingungen und die Umgebungstemperatur mit der *NETD* angegeben werden, falls das Ergebnis von diesen Parametern abhängt. Falls nicht anders angegeben, wird davon ausgegangen, dass die *NETD* bei scharfgestellter Blende des Referenzstrahlers gemessen wurde.

ANMERKUNG Im Falle einer festen und bekannten Zuordnung der Expositionsdauer, kann diese als Parameter angegeben werden.

ANMERKUNG Falls die Kamera eine interne Ungleichmäßigkeitskorrektur (NUC) durchführen kann, so kann diese direkt vor der *NETD*-Messung durchgeführt werden. Dies wird die *NETD* im Allgemeinen verbessern.

6.2.2 Beispiele für Angaben

- a) *NETD*; 0,05 °C (bei einer Strahlertemperatur von 30 °C, Aktualisierungsrate: 25 Hz, Temperaturmessbereich: -20 °C bis 120 °C, Eigentemperatur des Geräts 23 °C +/- 5 °C)
- b) *NETD*; Rauschäquivalente Temperaturdifferenz: 20 mK (bei einer Strahlertemperatur von 30 °C, Integrationszeit: 1 ms, Brennweite: 30 mm)
- c) *NETD*; rauschäquivalente Temperaturdifferenz: typischerweise 40 mK (Mittelwert aller Detektorelemente bei einer Strahlertemperatur von 30 °C, Aktualisierungsrate: 50 Hz)

6.2.3 Prüfverfahren

Aufgrund verschiedener Ausrüstungsmerkmale, ist die für Prüfverfahren (A) geforderte Aufzeichnung in Echtzeit nicht bei allen thermografischen Kameras möglich. In diesem Fall kann Prüfverfahren (B), in Übereinstimmung mit OIML R141, angewendet werden. Während bei Prüfverfahren (A) für jedes Bildelement Anzeichen der zeitabhängigen rauschäquivalenten Temperaturdifferenz bestimmt werden, ermöglicht Prüfverfahren (B) lediglich die Angabe eines zu erwartenden Werts für die durchschnittliche rauschäquivalente Temperaturdifferenz der thermografischen Kamera. In diesem Fall muss der Wert klar als Mittelwert gekennzeichnet werden.

1) Prüfverfahren (A)

- i) Die thermografische Kamera wird gemäß den in Abschnitt 6 angegebenen Spezifikationen vorbereitet und zentral vor einen homogenen Referenzstrahler mit bekannter Strahlungstemperatur (in Bezug auf einen Emissionsgrad von 1) platziert. Die kurzzeitigen Abweichungen der Referenzstrahlertemperatur während der Messzeit müssen für die zu messende *NETD* unerheblich sein.

- ii) Die Integrationszeit und/oder Aktualisierungsrate müssen hierbei entsprechend dem in der Spezifikation angegebenen Wert eingestellt sein.
- iii) Mit der vom Hersteller zur Verfügung gestellten Software werden für die zum Referenzstrahler orientierten Pixel mindestens 100 aufeinanderfolgende Werte gemessen und aufgezeichnet; hierbei muss die Gesamtmesszeit mindestens dem 100-fachen der Expositionsdauer entsprechen. Basierend auf den gemessenen Temperaturwerten, wird für jedes einzelne Bildelement (Bildpixel) die Standardabweichung berechnet. Langsame Änderungen des Mittelwerts sämtlicher Bildelemente (Drift) müssen mathematisch korrigiert werden, falls sie nicht durch die Reduzierung der Messzeit beseitigt werden können.
- iv) Falls die gleichzeitige Exposition aller Bildelemente nicht möglich ist, müssen verschiedene Sequenzen bei verschiedenen Positionen des Referenzstrahlers im Bild durchgeführt werden.
- v) Die *NETD* ist die festgelegte Standardabweichung, der 90 % aller gemessenen einzelnen Standardabweichungen entsprechen oder darunter liegen. Falls notwendig, müssen relative Proportionen, die von diesem Wert abweichen, angegeben werden. Alternativ ist es möglich, stattdessen den arithmetischen Mittelwert der gemessenen einzelnen Standardabweichungen aller einzelnen Bildelemente und deren Streuung anzugeben. In diesem Fall muss der Wert klar als Mittelwert gekennzeichnet werden.

Die quantitativen Messbedingungen in Paragraph iii), d.h. die Anzahl der für die *NETD*-Berechnung verwendeten Rahmen, kann von Herstellern und Verkäufern thermografischer Kameras unterschiedlich festgelegt werden, sofern die statistische Signifikanz erhalten bleibt.

2) Prüfverfahren (B)

- vi) Die thermografische Kamera wird gemäß Abschnitt 6 vorbereitet und zentral vor einen homogenen Referenzstrahler mit bekannter Strahlungstemperatur (in Bezug auf einen Emissionsgrad von 1) platziert. Die kurzzeitigen Abweichungen der Referenzstrahlertemperatur während der Messzeit müssen für die zu messende *NETD* unerheblich sein.
- vii) Die Integrationszeit und die Aktualisierungsrate müssen hierbei entsprechend dem in der Spezifikation angegebenen Wert eingestellt sein.
- viii) Es werden schnell nacheinander, aber mit einem der Detektionszeit entsprechenden Minimalintervall, zwei Bilder aufgenommen. Für jedes Bildelement wird der Unterschied zwischen den angezeigten Temperaturwerten bestimmt.

$$\Delta T_{i,j} = T_{i,j}^{(1)} - T_{i,j}^{(2)} \quad (1)$$

Dabei ist

$$T_{i,j}^{(1)}$$

der angezeigte Temperaturwert von Bildelement i,j im ersten thermografischen Bild

der angezeigte Temperaturwert von Bildelement i,j im zweiten thermografischen Bild.

- ix) Der Mittelwert der *NETD* wird folgendermaßen berechnet:

$$NETD = \frac{\sqrt{2}}{2} \sqrt{\sum_{i=1}^{n_h} \sum_{j=1}^{n_v} \frac{(\Delta T_{i,j} - \overline{\Delta T})^2}{n_h \cdot n_v}} \quad (2)$$

Dabei ist:

$$\Delta T_{i,j}$$

der Unterschied zwischen den angezeigten Temperaturwerten des Bildelements i,j

$$\overline{\Delta T}$$

der durchschnittliche Temperaturunterschied zwischen den Mittelwerten des Bildes

$$n_h$$

die horizontale Anzahl der Bildelemente

n_v

die vertikale Anzahl der Bildelemente.

6.3 Messentfernung

Die Messentfernung beschreibt eine feste Entfernung oder häufiger einen Entfernungsbereich für den die thermografische Kamera ein scharfes Bild des zu messenden Objekts erlaubt. Der Referenzpunkt zur Angabe der Messentfernung muss vom Hersteller angegeben werden (z.B. In einer Ecke des Gerätegehäuses).

6.3.1 Erforderliche Parameter

Im Falle austauschbarer Objektive, muss das verwendete Objektiv angegeben werden.

6.3.2 Beispiele für Angaben

Messentfernung: 0,2 m bis ∞

Messentfernung: 60 mm

6.3.3 Prüfverfahren

Die Entfernung zwischen einem Referenzstrahler mit scharf begrenzter Kante (z.B. einer gekühlten Blende) und der thermografischen Kamera variiert innerhalb der Grenzen, in denen die nachfolgende Scharfstellung eines Bildes möglich ist. Messungen müssen unter den Scharfstellbedingungen durchgeführt werden, unter denen der Signalgradient an der Grenze der scharfen Kante maximal ist. Beide Grenzen für die (Minimal- und Maximal)distanz werden als minimale und maximale Messentfernung festgelegt.

ANMERKUNG Für die Scharfstellung im Fernbereich ist es wichtig, dass der Referenzstrahler über eine ausreichend große Oberfläche verfügt. Da dies nicht immer gewährleistet werden kann, kann auch ein passendes Objekt mit einer scharf begrenzten Temperaturkante verwendet werden.

6.4 Sichtfeld (en.: Field of view (FOV))

Das Sichtfeld beschreibt den von der thermografischen Kamera, sowohl in horizontaler als auch in vertikaler Richtung, erfassten Bildbereich. Diese Werte werden als Kombination beider Richtungen oder als Einzelwerte (FOV_h oder FOV_v), in Winkleinheit angezeigt.

6.4.1 Erforderliche Parameter

Im Falle von austauschbaren Objektiven, muss das zugehörige Objektiv mit seiner Brennweite oder Bezeichnung und der entsprechenden Messentfernung angegeben werden.

ANMERKUNG Der Sichtfeldwinkel ist nur für Entfernungen, die im Vergleich zur Brennweite des Objektivs groß genug sind, eine konstante Größe.

6.4.2 Beispiele für Angaben

Bild-Sichtfeld: $30^\circ \times 23^\circ$

6.4.3 Prüfverfahren

Das FOV wird durch das horizontale und/oder vertikale Verschieben eines Referenzstrahlers mit einer kleinen Blende innerhalb der Objektebene bei scharfgestellter thermografische Kamera bestimmt. Es werden die Positionen des Referenzstrahlers genau an den Kanten des thermografischen Bildes ermittelt. Das Sichtfeld wird mit der Entfernung zwischen der Objektebene und der optischen Hauptebene berechnet. Statt

eines kleinformatigen Referenzstrahlers ist auch die Verwendung einer gekühlten Blende vor einem großflächigen Referenzstrahler möglich. Die Entfernung des Referenzstrahlers sollte mindestens das 20-Fache der Brennweite betragen.

Falls die Hauptebene des verwendeten Objektivs nicht bekannt ist, ist es auch möglich, die Größe des Sichtfeldes von zwei verschiedenen Entfernungen aus zu messen, die allerdings mindestens dem Zehnfachen der Brennweite entsprechen müssen, und den Winkel mithilfe des Dreisatzes zu bestimmen.

6.5 Anzahl der Bildelemente

Die Anzahl der Bildelemente beschreibt die Anzahl einzelner von der Kamera gelieferter Messwerte, die als horizontale und vertikale Anzahl der Bildelemente angezeigt werden und in ihrer Gesamtheit das für den Benutzer sichtbare thermografische Bild darstellen.

Die Nummer ist durch die vom Hersteller gewählte Gestaltung festgelegt und bedarf keiner Prüfung.

ANMERKUNG Die teilweise Überlagerung der Bilder findet bereits in der Kamera statt, um die Anzahl der ausgegebenen Bildelemente zu erhöhen. Die Anzahl der Bildelemente entspricht daher nicht notwendigerweise dem verwendeten Detektorformat (6.6).

6.5.1 Beispiel für Angaben

Anzahl der Bildelemente: 320 × 240

6.6 Verwendetes Detektorformat (Anzahl der verwendeten Detektorelemente)

Das verwendete Detektorformat muss nicht zwangsläufig der von der Kamera zur Verfügung gestellten Anzahl der Bildelemente entsprechen.

Beispiele:

- Thermografische Kameras mit Scanfunktion oder Zeilenscanner, bei denen die progressive Abtastung mithilfe eines mobilen optischen Elements vollzogen wird
- Auflösungserhöhung durch Bildüberlagerung mehrerer Einzelbilder mit leichter räumlicher Verschiebung
- Auflösungsverringering durch Durchschnittsberechnung über mehrere Detektorelemente
- Im Falle von Abweichungen zwischen der Anzahl ausgegebener Bildelemente und dem verwendeten Detektorformat, muss dies separat angegeben werden.
- Dieser Parameter wird vom Hersteller festgelegt und bedarf keiner Prüfmessung.

6.6.1 Beispiele für Angaben

Detektorformat: 320 × 240 Detektorelemente

6.7 Momentanes Sichtfeld (en.: *Instantaneous field of view (IFOV)*)

Diese Benennung geht auf thermografische Kameras mit Scanfunktion zurück und beschreibt den Bildbereich des Detektors, der zum Zeitpunkt eines Einzelscans erfasst wird. Thermografische Kameras mit Matrixdetektor verwenden Bildobjektive, die das Bild oft nicht winkeltreu erfassen. Besonders bei Weitwinkellinsen hängt der Sichtfeldwinkel des einzelnen Detektorelements von dessen Position ab. Für eine thermografische Kamera mit Matrixdetektor wird das durchschnittliche *IFOV* berechnet: es wird in der Winkereinheit mrad angegeben, als Quotient des *FOV* und der Anzahl der Bildelemente $n_{h,v}$, die sich jeweils auf eine horizontale (h) und eine vertikale (v) Ausrichtung beziehen:

$$IFOV_{h,v} = \frac{FOV_{h,v}}{n_{h,v}} \quad (3)$$

Basierend auf der Angabe des *IFOV* in mrad und der Entfernung des Objekts d in m, kann ein idealisiertes Messfeld χ_{ideal} in mm berechnet werden:

$$\chi_{ideal} / mm = d / m \cdot IFOV / mrad \quad (4)$$

Dies darf unter keinen Umständen mit der Mindestgröße eines zu messenden Objekts für eine Temperaturmessung verwechselt werden.

6.7.1 Erforderliche Parameter

Das verwendete Objektiv muss immer angegeben werden.

6.7.2 Beispiel für Angaben

IFOV: 1,5 mrad (Objektiv mit einer Brennweite von 25 mm)

6.7.3 Prüfverfahren

Das durchschnittliche *IFOV* wird anhand der Gleichungen (3) und (4), basierend auf dem Referenz-*FOV* der jeweiligen Orientierung, geteilt durch die Anzahl der Bildelemente in dieser Richtung, berechnet. Das Ergebnis wird in der Winkleinheit mrad angegeben.

Eine vollständige Berechnung des positionsabhängigen *IFOV* ist nur möglich, wenn alle optischen Daten bekannt sind.

6.8 Spalt-Übertragungsfunktion (en.: *Slit response function (SRF)*)

Die Spalt-Übertragungsfunktion beschreibt die relative Änderung des angezeigten Messwerts bei Strahlungseinheiten, während der Verengung einer spaltförmigen Blende vor einem homogen temperaturregulierten Strahler. Bei der Spalt-Übertragungsfunktion handelt es sich um eine quantitative Beschreibung des Einflusses der Größe des zu messenden Objekts auf den Messwert, der als eine Funktion einer vorgegebenen Referenzrichtung (horizontal oder vertikal) angezeigt wird.

Aufgrund von Bildgebungsfehlern der Optik und von Diffraction – aber auch aufgrund thermischen Übersprechens zwischen den einzelnen Detektorelementen – entspricht die Projektion eines Detektorelements nie vollständig dem theoretisch berechneten Bild. Die Spalt-Übertragungsfunktion beschreibt dieses Verhalten quantitativ in einer Achse.

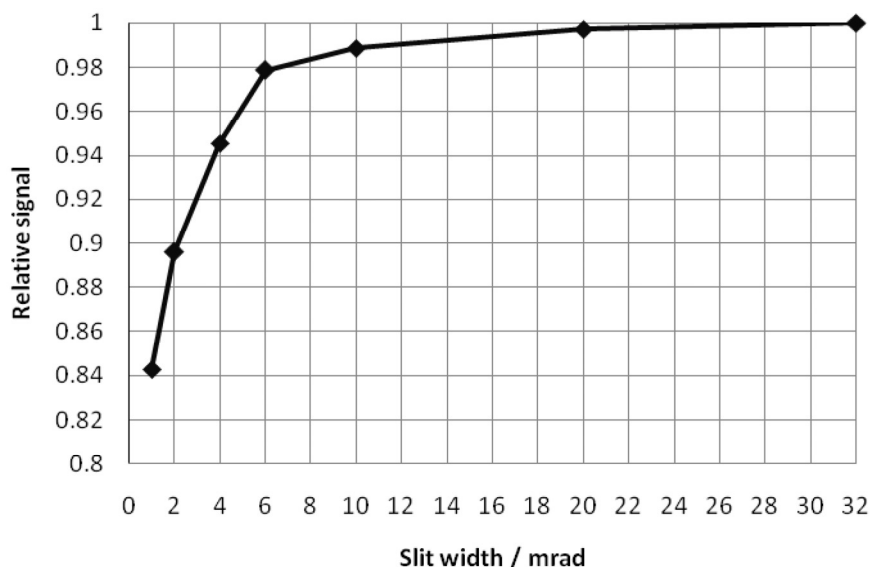
ANMERKUNG Sogar im Falle eines idealen Bildes würde ein sehr kleines Objekt mit projektierter Detektorelementgröße nicht gleichzeitig ausschließlich auf einem Detektorelement abgebildet, sondern könnte auch sämtliche möglichen dazwischenliegenden Positionen besetzen.

6.8.1 Erforderliche Parameter

Da die Messentfernung die Spalt-Übertragungsfunktion beeinflussen kann, sollte die Entfernung angegeben werden. Im Falle austauschbarer Objektive, muss das verwendete Objektiv angegeben werden. Die Temperatur des verwendeten Referenzstrahlers muss angegeben werden.

6.8.2 Beispiele für Angaben

- a) *SRF*: 90 % bei 3 mrad (Messentfernung: 500 mm, Temperatur des Referenzstrahlers: 100 °C)
- b) Grafische Darstellung



Relative signal	Relatives Signal
Slit width/mrad	Spaltbreite/mrad

Bild 2 – Spalt-Übertragungsfunktion

Spalt-Übertragungsfunktion für eine thermografische Kamera mit $IFOV = 1,6$ mrad bei einer Messentfernung von 500 mm und einer Referenzstrahlertemperatur von $100\text{ }^{\circ}\text{C}$

6.8.3 Prüfverfahren

- 1) Die thermografische Kamera wird gemäß Abschnitt 6 vorbereitet und zentral vor einem homogenen Referenzstrahler mit bekannter Temperatur platziert (mit einem Referenzstrahler/Blendensignal-Verhältnis von mindestens 5:1 in Strahlungseinheiten und einem Signal-Rausch-Verhältnis von mindestens 50:1). Ein verstellbarer temperaturregulierter Spalt ist erst zur horizontalen Bildachse hin ausgerichtet und die thermografische Kamera ist auf diesen scharfgestellt. Der Abstand zwischen der thermografischen Kamera und dem Spalt wird ermittelt.
- 2) Der Spalt ist auf eine Spaltbreite entsprechend dem IFOV eingestellt und der Spalt wird so zur Kamera positioniert, dass ein maximales Signal gemessen wird. Alternativ zu dieser Einstellung ist es auch möglich, mit einem asymmetrischen Spalt zu messen und dann die Maxima zu analysieren.
- 3) Der Spalt wird auf eine maximale Breite geöffnet, die mindestens dem 20-Fachen des IFOV entspricht. Die thermografische Kamera wird auf die Funktion „Anzeige strahlungsproportionaler Werte“ eingestellt. Falls dies nicht möglich ist, wird die Temperaturanzeige bei auf 1 eingestelltem Emissionsgrad aufgeschrieben und dann mithilfe der Planckschen Funktion, bei bekanntem Spektralbereich der Kamera, in die strahlungsproportionalen Größen umgerechnet. Da die Spalt-Übertragungsfunktion relative Änderungen anzeigt, sind relative strahlungsproportionale Größen ausreichend.
- 4) Die Spaltbreite wird schrittweise verkleinert und das entsprechende Maximum des Strahlungswerts innerhalb des Spalts wird notiert. Die hierbei gemessene Spaltbreite wird, bei bekannter Messentfernung, in einen Winkel in mrad umgerechnet.
- 5) Die relative Änderung, in Relation zum Messwert bei maximaler Spaltbreite, kann entweder in Form einzelner Werte (z.B. Verringerung auf 50 %, Verringerung auf 90 %) oder als eine Kurve der Gesamtmessung angegeben werden.
- 6) Schritte II bis V werden für die vertikale Spaltausrichtung wiederholt.

6.9 Mindestsichtfeld für die Temperaturmessung (en.: *Minimum field of view for temperature measurement (MFOV_T)*)

Sogar unter der Annahme, dass ideale Optik und Detektoren verwendet werden, erfordert die genaue Temperaturmessung ohne jegliche spezielle Kantenbedingungen für ein kreisförmiges Prüfobjekt eine Minimalgröße von mehr als $2c$, wobei c der Diagonalen eines vollständigen einzelnen Detektorelements einschließlich seiner strahlungsempfindlichen und strahlungsunempfindlichen Bereichen entspricht. Bild 3

zeigt verschiedene Grenzfälle. In den Beispielen A und B ist die Diagonale des gemessenen Punkts gerade so größer als $2c$. Im Fall A liegt der gemessene Punkt genau im Zentrum über dem strahlungsempfindlichen Teil des Detektorelements. Dieses bestimmte Detektorelement wird über seine ganze strahlungsempfindliche Oberfläche bestrahlt und liefert ein genaues Messergebnis. Die 8 anderen, angrenzenden Detektorelemente liefern ein falsches Messergebnis, da sie nur teilweise bestrahlt werden. In Fall B liegt der gemessene Punkt genau zwischen zwei Detektorelementen. Hier werden vier Detektorelemente vollständig bestrahlt. Mindestens acht andere Detektorelemente werden teilweise bestrahlt und liefern keine verwertbaren Ergebnisse. In den Fällen C und D ist der Durchmesser des gemessenen Punkts gerade so kleiner als $2c$. Falls sein Zentrum genau zwischen den Detektorelementen liegt (Fall C), wird keines der Detektorelemente mehr vollständig bestrahlt. Falls es etwas günstiger ausgerichtet ist, d.h. genau über einem Detektorelement (Fall D), ist es immer noch möglich einen einzelnen korrekten Messwert zu erhalten. Detektorelemente, die sich genau an den Grenzen zwischen zwei Messfeldern befinden, liefern keine verwertbaren Messergebnisse. Im Falle kleiner Messfelder übersteigt die Anzahl der Grenzelemente die der verwertbaren Detektorelemente.

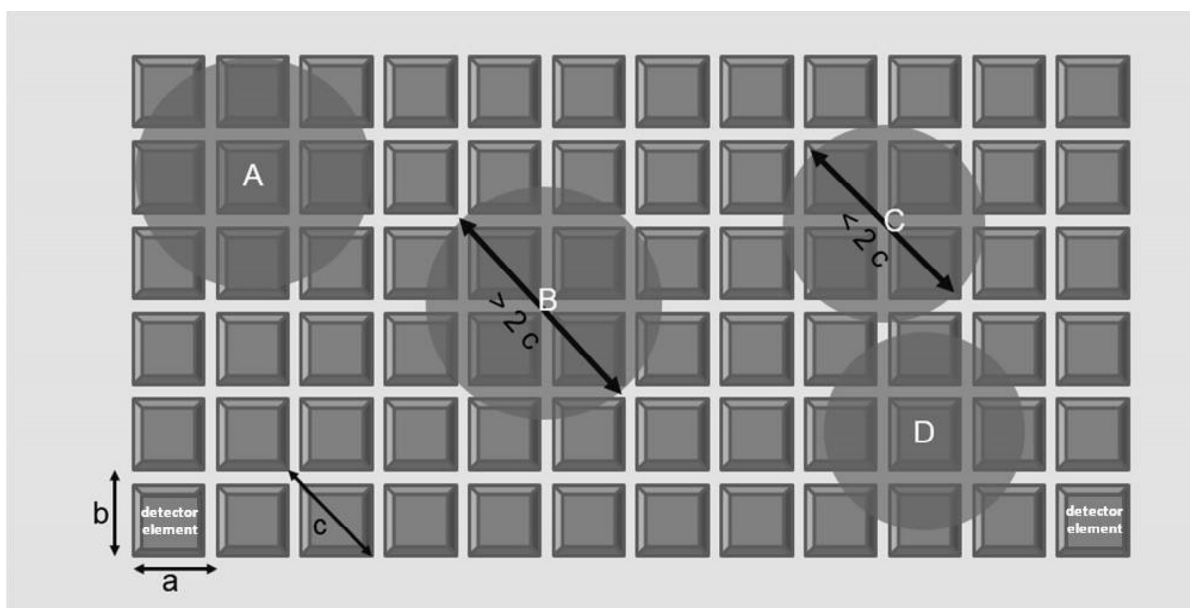


Bild 3 – Mindestgröße eines Messpunktes für die Temperaturmessung

Die Messpunkte werden in Kreisform abgebildet. Die aktiven (strahlungsempfindlichen) Teile der Detektorelemente sind dunkel und die strahlungsunempfindlichen Teile sind hell.

In der Praxis entstehen aufgrund von Diffraction, chromatischen Aberrationen, Streuung an defekten optischen Werkstoffen und Signal-Übersprechen im Detektor immer Auflösungsverluste.

Um die Mindestgröße eines zu messenden Objekts für eine quantitative Temperaturmessung mit einer vorhandenen Unsicherheit zu beschreiben, ist es möglich, das kleinste messbare Sichtfeld der Messung (Mindestsichtfeld für die Temperaturmessung – $MFOV_T$) anzugeben.

Letzteres kann auch folgendermaßen mithilfe eines optischen Faktors f_{Optic} angegeben werden:

$$MFOV_T = f_{Optic} \cdot IFOV \quad (5)$$

Der optische Faktor f_{Optic} ist üblicherweise größer als 3.

Das Mindestsichtfeld für die Temperaturmessung $MFOV_T$ gibt das Sichtfeld an, in dem das Strahlungssignal aufgrund des schrittweisen Schließens einer Kreisblende vom Anfangswert auf einen festgelegten Wert gesunken ist. Die Relation zwischen der gemessenen Strahlung und der Temperatur des zu messenden Objekts ist nichtlinear. Anhang A1 zeigt in einer Tabelle die Änderung der angezeigten Temperatur bei einer relativen Änderung des Strahlungsaustauschs zwischen der thermografischen Kamera und dem zu messenden Objekt von ungefähr 1 %.

6.9.1 Erforderliche Parameter

Da die Messentfernung die räumliche Auflösung beeinflussen kann, sollte die Entfernung angegeben werden. Im Falle austauschbarer Objektive, muss das verwendete Objektiv angegeben werden.

Es muss zudem angegeben werden, auf welche Proportion das Strahlungssignal bei dem vorhandenen Sichtfeld verringert wird. Der Fraktionswert sollte mindestens 90 % betragen; typische Werte sind 90 %, 95 % und 98 %.

Die Temperatur des verwendeten Referenzstrahlers muss angegeben werden.

Das $MFOV_T$ sollte im Zentrum des Sichtfelds der Kamera bestimmt werden. Da das $MFOV_T$ im Allgemeinen vom innerhalb des Sichtfelds gewählten Bereich abhängt, sollte angegeben werden, falls das $MFOV_T$ nicht im Zentrum bestimmt wird.

6.9.2 Beispiel für Angaben

$MFOV$: 2 mrad für eine Signalminderung auf 90 % (bei einer Messentfernung von 500 mm und einer Strahlertemperatur von 100 °C)

6.9.3 Prüfverfahren

- 1) Die thermografische Kamera wird gemäß Abschnitt 4 vorbereitet und zentral vor einem homogenen Referenzstrahler mit bekannter Temperatur platziert (mit einem Referenzstrahler/Blendensignal-Verhältnis von mindestens 5:1 in Strahlungseinheiten und einem Signal-Rausch-Verhältnis von mindestens 50:1). Eine verstellbare temperaturregulierte Irisblende wird zentral positioniert und die thermografische Kamera ist auf diese scharfgestellt. Der Abstand zwischen der thermografischen Kamera und der Blende wird ermittelt.
- 2) Die Blende wird auf einen Durchmesser geöffnet, der mindestens dem 20-Fachen des IFOV entspricht. Die thermografische Kamera wird auf die Funktion „Anzeige strahlungsproportionaler Werte“ eingestellt. Falls dies nicht möglich ist, wird die Temperaturanzeige bei auf 1 eingestelltem Emissionsgrad aufgeschrieben und dann mithilfe der Planckschen Funktion, bei bekanntem Spektralbereich der Kamera, in die strahlungsproportionalen Größen umgerechnet. Da relative Änderungen untersucht werden, sind relative strahlungsproportionale Größen ausreichend. Als vereinfachte Alternative, ist auch die Verwendung von Anhang A1 zur Bestimmung des Temperaturwerts, der einer vorhandenen Strahlungsreduktion (z.B. auf 90 %) entspricht, möglich.
- 3) Die Öffnung der Irisblende wird schrittweise geschlossen und die Maxima der Strahlungsmesswerte im thermografischen Bild der Irisblende werden aufgeschrieben. Hierbei wird der Durchmesser der Irisblende verkleinert, bis die spezifizierte Strahlungsproportion oder der unter Punkt II berechnete Temperaturwert angezeigt wird. Der hierbei gemessene Blendendurchmesser wird, bei bekannter Messentfernung, in einen Winkel in mrad umgerechnet.
- 4) Die Messungen II-III werden mindestens 5 Mal bei leicht (d.h. um ein paar IFOVs) verschobener Blende wiederholt. Das maximale Sichtfeld dieser Messreihe wird durch die Verringerung des Strahlungssignals auf den spezifizierten Wert angezeigt. Eine vollständige Messkurve zur Beschreibung der Strahlungsverringerung als Funktion des Blendensichtfelds kann angegeben werden. Zu diesem Zwecke sollte das maximale Sichtfeld jeder einzelnen Messung der wiederholten Messreihe angegeben werden.

ANMERKUNG Während der Messung muss darauf geachtet werden, die Irisblende nicht auf fehlerhafte Bildelemente zu richten

6.10 Spektralbereich

Der Spektralbereich gibt die untere und obere Bereichsgrenze des Wellenlängenbereichs an, über den die thermografische Kamera Strahlung in ein Messsignal umwandelt. Für den Spektralbereich werden die oberen und unteren Grenzen angegeben, an denen die relative Empfindlichkeit auf 50 % des Maximalwerts gestiegen oder gesunken ist. Es ist auch möglich die durchschnittliche Wellenlänge und die Impulsdauer anzugeben. Bei der Bestimmung der spektralen Empfindlichkeit werden alle Elemente des optischen Systems der thermografischen Kamera beachtet.

ANMERKUNG Für sehr kleine Schmalband-Spektralbereiche kann es sinnvoll sein, auch die maximalen und minimalen Wellenlängen bei einem deutlich niedrigeren Signal, z.B. 10 %, anzugeben. In diesem Fall muss auch der Prozentsatz der Signalverringerng angegeben werden.

6.10.1 Beispiele für Angaben

- a) Spektralbereich: 8 μm bis 14 μm
- b) Spektralbereich: 5 μm (*FWHM* 0,6 μm)

6.10.2 Prüfverfahren

Ein Prüfverfahren zur Bestimmung der Spektralbereichs ist nicht Teil dieser technischen Spezifikation. Der Spektralbereich wird vom Hersteller festgelegt.

6.11 Einstellung des Emissionsgrads

Der Bereich und die Auflösung der Einstellung des Emissionsgrads zur Berücksichtigung des Emissionsgrads des untersuchten Objekts müssen vom Hersteller festgelegt werden und erfordern keine Prüfungsmaßnahmen.

ANMERKUNG Die Einstellung kann sich auf das gesamte Bild beziehen, oder auch separat für einzelne Bereiche des Bildes vorgenommen werden.

6.11.1 Beispiele für Angaben

- a) Einstellung des Emissionsgrads: 0,2 bis 1,0 mit einer Auflösung von 0,01
- b) Einstellung des Emissionsgrads: 0,1 bis 1,0 mit einer Auflösung von 0,01 (für jedes Bildelement einzeln einstellbar)

6.11.2 Prüfverfahren

Die Funktionsüberprüfung der Emissionsgradkorrektur ist nicht Teil dieser technischen Spezifikation. Weitere Informationen hierzu sind vom Hersteller verfügbar.

6.12 Einfluss der Eigentemperatur des Geräts

Die technischen Daten, z.B. die Messunsicherheit und die *NETD*, müssen im Allgemeinen für den gesamten Betriebsbereich des Instrumentes gültig sein d. h., falls nicht anders angegeben, für die Eigentemperatur, Umgebungstemperatur und Umgebungsfeuchte gelten.

Falls die Messunsicherheit nicht für den gesamten Eigentemperaturbereich des Instrumentes gültig ist, muss ein zusätzlicher Temperaturparameter zur Beschreibung der zusätzlichen Messunsicherheit im Falle einer von der spezifizierten Referenzeigentemperatur abweichenden Eigentemperatur angegeben werden. Dieser Parameter wird als absolute oder relative Steigerung der Unsicherheit des Messwerts angegeben.

6.12.1 Erforderliche Parameter

Zur Angabe der zusätzlichen Unsicherheit muss auch die Referenztemperatur angegeben werden.

6.12.2 Beispiele für Angaben

- a) Einfluss der Eigentemperatur: 0,2 °C/°C (23 °C, 600 °C) zusätzliche Unsicherheit der gemessenen Temperatur bei einer Abweichung der Eigentemperatur um 1 °C, basierend auf einer Referenzeigentemperatur von 23 °C bei einer angezeigten Temperatur von 600 °C
- b) Einfluss der Eigentemperatur: 0,2 %/°C (23 °C) zusätzliche Unsicherheit der gemessenen Temperatur bei einer Abweichung der Eigentemperatur um 1 °C, basierend auf einer Referenzeigentemperatur von 23 °C

6.12.3 Prüfverfahren

- 1) Die thermografische Kamera wird in einer klimatisierten Prüfkammer oder einem temperaturregulierten Gehäuse gemäß Abschnitt 6 vorbereitet und dann zentral vor einem Referenzstrahler mit bekannter Temperatur platziert. Die Messung wird zuerst mit einer Eigentemperatur der Kamera durchgeführt, die der in den Herstellerspezifikationen angegebenen Referenzeigentemperatur entspricht. Die vom Referenzstrahler angezeigte Temperatur und die von der thermografischen Kamera angezeigte Temperatur werden aufgeschrieben.
- 2) Die Umgebungstemperatur wird so geändert, dass die in den Herstellerspezifikationen angegebene minimale Eigentemperatur der thermografischen Kamera beinahe erreicht wird. Gemäß den Herstellerspezifikationen muss genug Zeit für die thermischen Stabilisierungsprozesse eingeräumt werden, wobei die Stabilisierungsdauer der thermografischen Kamera bedeutend länger als die der klimatisierten Prüfkammer ausfallen kann. Die vom Referenzstrahler angezeigte Temperatur und die von der thermografischen Kamera angezeigte Temperatur werden aufgeschrieben. Die Kondensation von Wasserdampf muss verhindert werden, z.B. durch Vorspülung mit entfeuchteter Luft oder Stickstoff.
- 3) Die Umgebungstemperatur wird so erhöht, dass die in den Herstellerspezifikationen angegebene maximale Eigentemperatur der thermografischen Kamera beinahe erreicht wird. Die Werte werden, wie in II, aufgeschrieben, wobei die Stabilisierungszeiten zu beachten sind.
- 4) Die Änderungen der angezeigten Temperaturen der Referenzstrahlers in den Messsituationen 1), 2) und 3) werden im Hinblick auf die Referenzeigentemperatur als zusätzlicher Beitrag zur Messunsicherheit berechnet und werden dann mit den Spezifikationen bezüglich des zulässigen Einflusses der Eigentemperatur verglichen.
- 5) Die Messunsicherheiten des Referenzstrahlers und der Eigentemperaturmessung müssen hierbei als zusätzliche Unsicherheitsquellen berücksichtigt werden. Falls die Eigentemperatur der thermografischen Kamera nicht ermittelbar ist, kann lediglich die Umgebungstemperatur in der klimatisierten Prüfkammer oder dem Gehäuse als Vergleichswert hinzugezogen werden, was die Aussagekraft dieser Prüfung erheblich einschränkt.

ANMERKUNG 1 Die Temperaturfühler zur Temperaturregelung der Prüfkammer müssen nachweisbar kalibriert sein.

ANMERKUNG 2 Falls die Kamera eine Ungleichmäßigkeitskorrektur durchführen kann, sollte diese Korrektur immer nach der thermischen Stabilisierung der Kamera auf Eigentemperatur erfolgen.

ANMERKUNG 3 Zusätzlich zu der Messunsicherheit kann die *NETD* der Kamera auch von der Eigentemperatur abhängen und mit diesem Prüfverfahren gemäß 6.2 bestimmt werden.

6.13 Einfluss der Feuchte

Die technischen Daten, z.B. die Messunsicherheit und die *NETD*, müssen im Allgemeinen für den gesamten Betriebsbereich des Instrumentes gültig sein d.h., falls nicht anders angegeben, für die Eigentemperatur, Umgebungstemperatur und Umgebungsfeuchte gelten.

Falls die Messunsicherheit nicht für den gesamten Betriebsfeuchtebereich des Instrumentes gültig ist, muss ein zusätzlicher Parameter zur Beschreibung der zusätzlichen Messunsicherheit im Falle einer von der spezifizierten Referenzfeuchte abweichenden aktuellen Feuchte angegeben werden. Dieser Parameter wird als absolute oder relative Steigerung der Unsicherheit des Messwerts angegeben.

ANMERKUNG Normalerweise sollte in diesem Zusammenhang keine zusätzliche Unsicherheit auftreten, da der Wellenlängenbereich der Kamera nicht empfindlich auf Luftfeuchte reagieren sollte und/oder eine von der Messentfernung abhängige Korrekturfunktion für den Einfluss von Feuchte vom Hersteller zur Verfügung gestellt werden sollte

6.13.1 Erforderliche Parameter

Zur Angabe der zusätzlichen Unsicherheit müssen die Referenzfeuchte und die Messentfernung angegeben werden.

6.13.2 Beispiel für Angaben

Feuchteinfluss: 0,1 °C/% relative Feuchte (50 % relative Feuchte, 10 m) zusätzliche Unsicherheit der gemessenen Temperatur für eine Messentfernung von 10 m bei einer Änderung der relativen Feuchte um 1 % basierend auf einer relativen Feuchte von 50 %

6.13.3 Prüfverfahren

Die Bestimmung der Abhängigkeit der Messunsicherheit von der Luftfeuchte erfordert besonders bei längeren Messentfernungen ausgeklügelte Apparate zur Schaffung festgelegter Luftbedingungen. Diese technische Spezifikation bietet keinerlei Empfehlungen zur Ausführung dieser Messungen, da die Bestimmung des Feuchteinflusses übermäßig zeitaufwändig ist und daher nicht Teil der routinemäßigen metrologischen Kennwertbestimmung thermografischer Kameras sein sollte. Normalerweise sollte der Hersteller eine Korrekturfunktion für den Einfluss der Luftfeuchte auf die gemessene Temperatur zur Verfügung stellen. Diese Korrektur hängt vom Spektralbereich der Kamera, der Messentfernung, Umgebungstemperatur und der gemessenen Temperatur ab.

6.14 Langzeitstabilität

Die Langzeitstabilität ist die Reproduzierbarkeit von Messergebnissen bei Wiederholung über einen Zeitraum von mindestens 3 Monaten. Diese ist ähnlich einer Messunsicherheit festgelegt und ihr Wert sollte entweder als Rate in °C/Monat oder in °C angegeben werden.

6.14.1 Erforderliche Parameter

Da die Langzeitstabilität von der Spiegelfrequenz, der Integrationszeit, der Eigentemperatur der thermografischen Kamera und der gemessenen Temperatur sowie dem Temperaturmessbereich und der Umgebungstemperatur abhängig ist, müssen diese Parameter angegeben werden. Da der anzugebende Wert basierend auf den Werten einer fehlerhaften Detektorelementmatrix erhoben wird, muss eine Angabe zur Proportion (in %) der Bildelemente, die diesem Wert entsprechen, gemacht werden.

6.14.2 Beispiel für Angaben

Langzeitstabilität: 3 °C (95 %) über 3 Monate 1 °C /Monat (95 %) für eine Strahlertemperatur von 50 °C, bei einer Spiegelfrequenz von 50 Hz, einer Integrationszeit von 1 ms und einer Eigentemperatur von 20 °C.

6.14.3 Prüfverfahren

- 1) Die thermografische Kamera wird gemäß Abschnitt 6 vorbereitet und dann zentral vor einen homogenen Referenzstrahler mit bekannter Temperatur platziert.
- 2) Die Temperatur des Referenzstrahlers liegt stabil bei einer Temperatur innerhalb des Temperaturmessbereichs der thermografischen Kamera.
- 3) Die Gesamtmesszeit einer Messserie sollte mindestens dem 100-Fachen der Bildgebungszeit (1/Bildfrequenz), aber gleichzeitig mindestens dem 10-Fachen der Ansprechzeit der thermografischen Kamera entsprechen. Für die in Richtung des Referenzstrahlers ausgerichteten Bildelemente werden mindestens 100 aufeinanderfolgende Messwerte aufgenommen. Basierend auf den gemessenen Temperaturwerten wird der arithmetische Mittelwert für jedes Bildelement gebildet. Falls die gleichzeitige Exposition aller Bildelemente nicht möglich ist, sollte ein Messpunkt ausreichender Größe verwendet werden (mindestens das Zehnfache des *MFOV* oder das Dreißigfache des *IFOV*). Falls eine Ungleichmäßigkeitskorrektur (Shutter-Ausrichtung) nötig ist, sollte diese vor den Messungen erfolgen.
- 4) Die Prüfsequenzen 1) bis 3) werden über einen Zeitraum von mindestens 3 Monaten, mindestens einmal im Monat bei gleicher Referenzstrahlertemperatur, wiederholt. Die thermografische Kamera muss zwischen den Prüfsequenzen abgeschaltet werden. Der Hersteller darf, in Übereinstimmung mit einem auf seinem technischen Fachwissen und seiner Erfahrung basierenden Verfahren, eine beschleunigte Prüfung durchführen. Der Informationswert dieser beschleunigten Prüfung muss mithilfe von auf dem Standardverfahren basierenden Vergleichsmessungen überprüft werden, die regelmäßig durchzuführen sind.