

# Ausgewählte Kapitel der Photogrammetrie (PAK) 2009 WS

## Thermographie: Detektoren und Thermographiesysteme

Studentische Ausarbeitung  
von

Sebastian Tuttas



## 0 Detektoren / Thermographiesysteme (Inhalt)

- 1 Einführung: Infrarotstrahlung
- 2 Detektoren
  - 2.1 Detektorcharakteristiken
  - 2.2 Thermische Detektoren
  - 2.3 Photonendetektoren
  - 2.4 Vergleich
- 3 Geräte zur Strahlungstemperaturmessung
- 4 Kameraparameter
- 5 Beispiele
- 6 Zusammenfassung



## 1 Emission von Infrarotstrahlung

- ❑ Jeder Körper sendet infrarote Strahlung aus.
- ❑ Wellenlängenbereich: 0,7  $\mu\text{m}$  bis 1000  $\mu\text{m}$ .
- ❑ Schwarze Strahler absorbieren und emittieren 100% der Strahlung, die ihrer Eigentemperatur entspricht.
- ❑ Alle anderen Körper werden mit ihrem Abstrahlverhalten dazu ins Verhältnis gesetzt  $\rightarrow$  Emissionsgrad
  
- ❑ Emissionsgrad stellt die Verbindung zwischen Temperatur und Strahlungsfluss her.
- ❑ Viele Einflussgrößen auf den Emissionsgrad  $\rightarrow$  häufige Verwendung von Tabellenwerten
- ❑ Emissionswertkorrektur
  - Kennlinie: Strahlertemperatur  $\leftrightarrow$  Ausgangsgröße eines Detektors
  - Korrektur an die Kennlinie bei bekannter Emissionsgrad

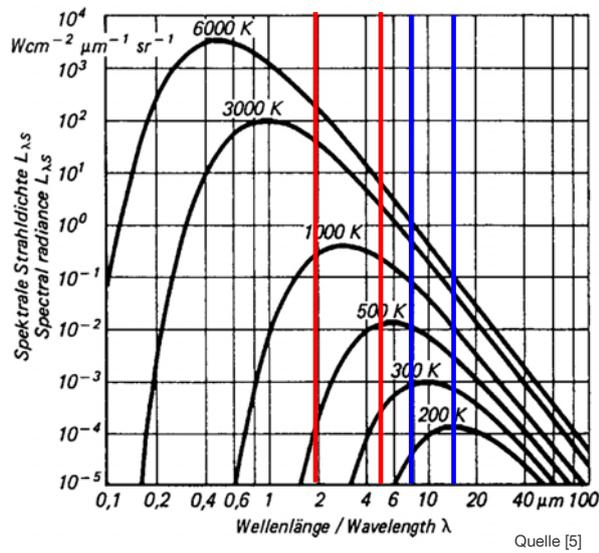


## 1 Wichtige Größen

- ❑ Strahlungsenergie  $W$  (oder  $Q$ ) [ $\text{Ws}$ ] oder [ $J$ ]
  - Die von einer Strahlungsquelle insgesamt abgestrahlte Energie
- ❑ **Strahlungsfluss (Strahlungsleistung)  $\Phi$  [ $W$ ] =  $Q / t$** 
  - **Pro Zeiteinheit  $t$  ausgesendete Strahlungsenergie**
- ❑ Spezifische Ausstrahlung  $M$  [ $\text{Wm}^{-2}$ ] =  $\Phi / A$ 
  - Strahlungsfluss einer Fläche  $A$
- ❑ Strahldichte  $L$  [ $\text{Wm}^{-2}\text{sr}^{-1}$ ] =  $M / (\Omega \cdot \cos \varepsilon) = \Phi / (\Omega \cdot A \cdot \cos \varepsilon)$ 
  - Durch Fläche  $A$  gehender Strahlungsfluss pro Raumwinkel  $\Omega$  pro auf Ebene senkrecht projizierte Flächeneinheit ( $\varepsilon$ : Winkel zwischen Flächennormalen und Strahlrichtung)
- ❑ Bestrahlungsstärke  $E$  [ $\text{Wm}^{-2}$ ] =  $\Phi / A$ 
  - Einfallender Strahlungsfluss auf eine Fläche  $A$



## 1 Spektrale Strahldichte



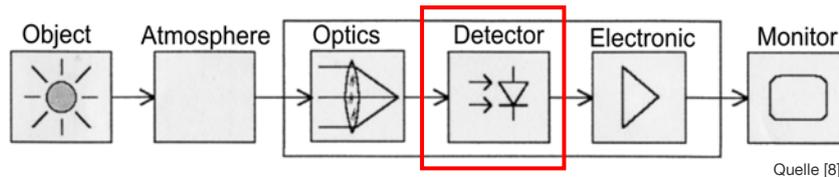
- Plancksches Strahlungsgesetz
- Wiensches Verschiebungsgesetz
- Atmosphärische Fenster

Quelle [5]



## 2 Detektor

- Aufgabe: Erzeugung eines elektrischen Signals, das eine Maß für die auftreffende Strahlungsleistung ist.
- Realisierung durch:
  - o Thermische Effekte → Thermische Detektoren
  - o Umwandlung von Photonen in Elektronen → Quantendetektoren
- Charakterisierung durch:
  - o Strahlungsempfindlichkeit
  - o Rauschverhalten



Quelle [8]



## 2.1 Strahlungsempfindlichkeit

- Strahlungsempfindlichkeit = Responsivität (engl.: responsivity) = Empfindlichkeit (engl.: sensitivity)
- Eigenschaft des Detektors einfallende Strahlungsleistung in elektrisches Ausgangssignal (Strom oder Spannung) zu wandeln

$$R_D = \frac{U}{\Phi} [V/W] \quad R_D = \frac{I}{\Phi} [A/W]$$

- Spektrale Strahlungsempfindlichkeit → umfasst die einwirkende Strahlung in einem infinitesimalen Wellenlängenbereich.

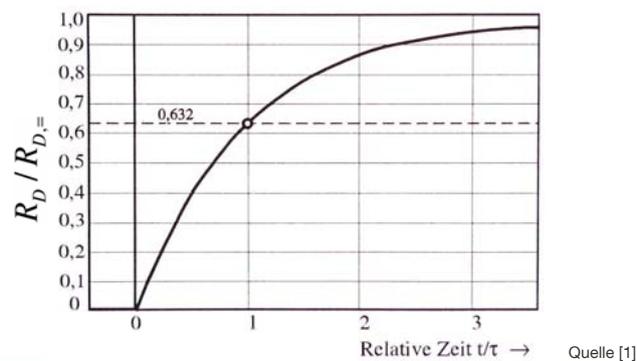
$$R_D(\lambda) = \frac{dU_\lambda}{d\Phi_\lambda}$$

- Thermische Empfänger → relativ konstant
  - Quantenempfänger → spektral stark veränderlich
- Wachsenden Zahl von Oberflächendefekten → Verringerung der Empfindlichkeit mit zunehmender Empfängerfläche.



## 2.1 Zeitkonstante

- Die Zeitkonstante  $\tau$  Kennwert für das dynamische Verhalten.
- Sie definiert die Ansprechzeit eines Detektors bei einer abrupten Änderung der Bestrahlungsstärke.
- $\tau$  ist die Zeit, bei der das elektrische Signal 63% seines endgültigen Wertes erreicht hat.



Quelle [1]



## 2.1 NEP

- Verschiedene Rauschquellen führen zu einer Rauschspannung  $U_r$  am Ausgang des Detektors
- NEP = Noise equivalent Power = äquivalente Rauschleistung oder rauschäquivalente Strahlungsleistung
- Umrechnung in eine (fiktive) Rauschleistungsstrahlung am Eingang → äquivalente Rauschleistung:

$$NEP = \frac{U_r}{R_D} [W]$$

- Interpretation: Eine Signalstrahlung mit dem Leistungswert NEP führt am Detektorausgang zu einem Signal-Rauschverhältnis von 1.
- NEP verschlechtert sich etwa proportional zu  $\sqrt{A \cdot \Delta f}$ 
  - $\Delta f$  : elektrische Bandbreite des Ausgangssignals  
nicht die spektrale Bandbreite
  - $A$  : Empfängerfläche



## 2.1 NETD

- NETD = Noise Equivalent Temperature Difference = Rauschäquivalente Temperaturdifferenz
- Die NETD ist die am häufigsten in der Thermographie angegebene Maßzahl (= Temporauflösung).
- Temperaturveränderung eines Schwarzen Strahlers, die die Leistung NEP hervorbringt.
- Es handelt sich um einen Wert unter Idealbedingungen:
  - Annahme Objekt ist ein schwarzer Strahler
  - Annahme Objekt groß gegenüber des Auflösungsvermögens
- Der Wert wird üblicherweise für eine Strahlertemperatur von 300 K oder 30° C angegeben.



## 2.1 Nachweisvermögen

- Detektivität oder Nachweisvermögen oder Nachweisempfindlichkeit D
  - Reziprokwert der rauschäquivalenten Strahlungsleistung:

$$D = \frac{1}{NEP} = \frac{R}{U_r}$$

- Spezifisches Nachweisvermögen
  - Einsetzen von  $U_r / \sqrt{A \cdot \Delta f}$  für  $U_r$

$$D^* = \frac{R \cdot \sqrt{A \cdot \Delta f}}{U_r} [\text{cm} \cdot \text{Hz}^{1/2} \cdot \text{W}^{-1}]$$

- Charakteristische Größe, die von der Fläche und der Signalbandbreite des Detektors unabhängig ist.
- Die Einheit von  $D^*$  wird auch Jones genannt.



## 2.2 Thermische Detektoren

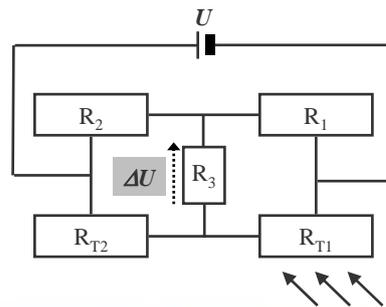
- Indirekte Messung der IR-Strahlung
- Einfallende Strahlung wird in eine Temperaturänderung des Detektors überführt.
- Änderung der Temperatur des Detektors  $\Delta T \rightarrow$  Änderung einer physikalischen Größe  $\rightarrow$  Änderung in der Ausgangsspannung
- $\Delta T$  kann überführt werden in eine Änderung
  - des elektrischen Widerstandes  $\rightarrow$  Bolometer
  - der elektrischen Ladung  $\rightarrow$  pyroelektrischer Detektor
  - der elektrischen Spannung  $\rightarrow$  Thermoelement
  - der mechanischen Deformation



## 2.2 Bolometer

- Abhängigkeit des elektrischen Widerstandes eines Metalls oder Halbleiters von der Temperatur.
- Thermistoren
- Änderung der Temperatur proportional zur Widerstandsänderung
- Bolometerdetektoren mit Abmessungen im  $\mu\text{m}$ -Bereich werden Mikrobolometer genannt.

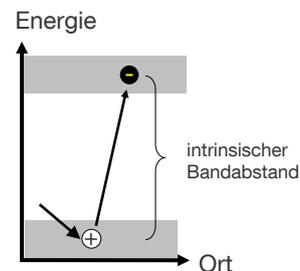
- Spannungsabfall  $\Delta U$  an  $R_3$  entsteht, wenn sich das Verhältnis  $R_{T2}/R_2$  zum Verhältnis  $R_{T1}/R_1$  ändert
- Ändern sich beide Thermistoren gleich, kommt es zu keinem Spannungsabfall
- Sehr konstante Spannungsquelle benötigt



## 2.3 Photodetektoren - Funktionsprinzip 1

- Quantendetektoren = Photonendetektoren = Photodetektoren = Halbleiterempfänger
- Einfallende Strahlung tritt direkt quantenphysikalisch mit den Elektronen des Detektormaterials in Wechselwirkung
- Verwendung von Halbleitern
- Eintreffender Strahlungsfluss soll bewegliche Ladungsträger im Halbleitermaterial erzeugen.

- Energetisch normaler Zustand: Elektronen im Valenzband.
- Zufuhr von Energie: Elektronen lösen sich von ihrem Atom → Anhebung in das Leitungsband
- Im Valenzband bleibt ein Loch zurück: verhält sich wie eine frei bewegliche positive Ladung.
- Energieabstand von Natur vorgegeben: intrinsischer Bandabstand.



## 2.3 Photodetektoren - Funktionsprinzip 2

- Energie:
  - IR-Strahlung
  - innere Wärmeenergie
  - ⇒ Kühlung benötigt!
  
- Für die Erzeugung eines beweglichen Ladungsträgers ist eine Mindestenergie erforderlich.
- Energie umgekehrt proportional zur Wellenlänge
- Grenzwellenlänge  $\lambda_g$  (cut-off-wavelength) bis zu der der Photoeffekt vorhanden ist.
  - abhängig vom Bandabstand (Valenzband  $\leftrightarrow$  Leitungsband)
  - Strahlung größerer Wellenlänge erzeugt keine beweglichen Ladungsträger.



## 2.3 Photowiderstand und Photodiode

- Leitungsbandelektronen ändern die Leitfähigkeit des Halbleiters in Abhängigkeit von der Strahlungsenergie.
  
- Anlegen einer konstanten Spannung  $\rightarrow$  frei bewegliche Ladungsträger fließen als Strom  $I$  durch einen Photowiderstand
- Die Elektronen haben eine mittlere Lebensdauer  $T$
- Treffen sie zufällig mit einem Loch zusammentreffen werden sie wieder zu einem unbeweglichen Valenzbandelektron
  
- Bei der Photodiode tritt die Rekombination der Ladungen schneller ein.
- Es kann somit der Laufweg der Ladungsträger (Drift) vernachlässigt werden.



## 2.3 Photostrom und Strahlungsempfindlichkeit

- Photostrom wird bei Photowiderstand und Photodiode gleich berechnet.
- Der Photostrom ist proportional zur Rate der einfallenden Photonen  $\Phi_p$  (Photonenfluss = Strahlungsleistung / Photonenenergie), dem Quantenwirkungsgrad  $\eta$  und der Elementarladung  $e$ :

$$I = \eta \cdot \Phi_p \cdot e \cdot G$$

- $G = 1$  für Photodiode
- $G$  von  $T$  abhängiger Term für Photowiderstand
- Abhängigkeit von Photonenfluss:
  - Photonen für kurze Wellenlängen jedoch energiereicher  $\Rightarrow$  für gleiche Strahlungsleistung werden weniger Photonen benötigt
  - Empfindlichkeit ist proportional zur Wellenlänge der einfallenden Strahlung!

$$R_D = \frac{I}{\Phi} \text{ [A/W]}$$



## 2.3 Photodetektortypen - Auswahl

- Cadmium-Quecksilber-Tellurid-Detektoren (CMT- oder MCT-Detektoren) als Photowiderstand oder Photodiode. Häufig verwendetes Material, besteht aus den Molekülen CdTe und HgTe.
- Indiumantimonid (InSb): weiters häufiges Material für Photodioden, aber mit auf  $5,5 \mu\text{m}$  begrenzten Grenzwellenlänge
- Schottky-Barier-Dioden (SBD): Photodiode die den Photoeffekt an einem Halbleiter-Metall-Übergang nutzt. Häufiges Material ist PtSi.
  - Nachteile:
    - nur für Strahlung bis ungefähr  $5 \mu\text{m}$  empfindlich
    - sehr geringer Quantenwirkungsgrad  $\rightarrow$  Verlängerung der Integrationszeit
  - Vorteile:
    - Große Homogenität und Stabilität
- Quantentopfstrukturen (QWIP = quantum well infrared photodetection)



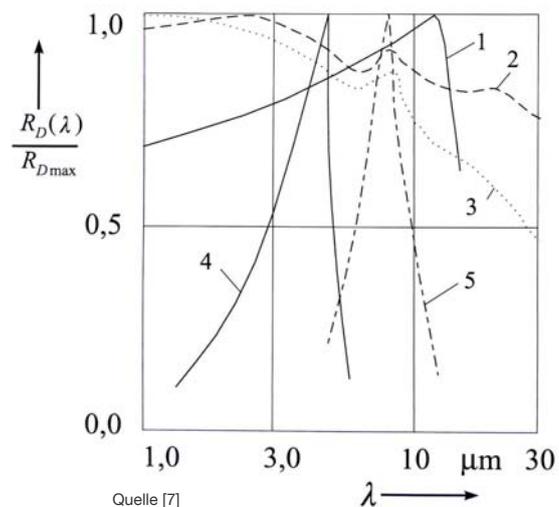
## 2.4 Vergleich: Photodetektoren - Thermische Detektoren

- ❑ Photodetektoren sind schnell → Zeitkonstante zehn bis tausendmal kürzer als bei thermischen Empfängern
  - Wertebereich [ns] bis [ms]
  - Thermidetektoren zehn bis hunderte [ms]
- ❑ Maximale Empfindlichkeit der Photodetektoren ist bis zu  $10^6$  größer als bei thermischen Empfängern
- ❑ Photodetektoren sind rauscharm → Detektivität zehn bis tausendmal größer
  - Wertebereich  $10^{10}$  bis  $10^{12}$  (an der Wellenlänge mit der höchsten Detektivität). Diese Werte sind jedoch nur bei niedrigen Betriebstemperaturen zu erreichen → Kühlung!
  - Thermidetektoren  $10^8$  bis  $10^9$
- ❑ Empfindlichkeit und Detektivität hängen bei Photodetektoren stark von der Wellenlänge ab



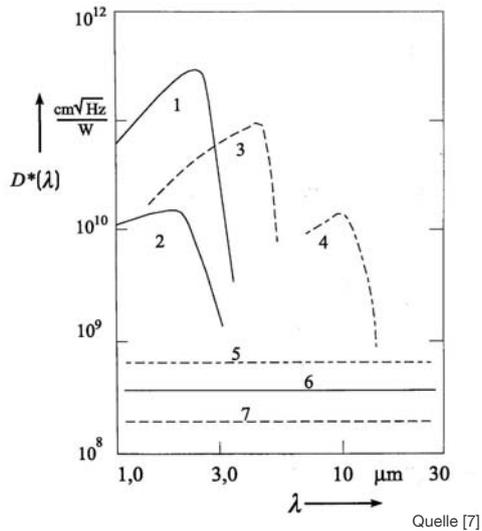
## 2.4 Vergleich: relative Strahlungsempfindlichkeit

- ❑ 1 und 2: thermisch, pyroelektrisch
- ❑ 3: thermisch, Bolometer
- ❑ 4 und 5: Photodetektor



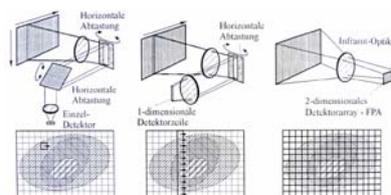
## 2.4 Vergleich: spezifische Detektivität

- 1, 3 und 4: Photodetektoren (gekühlt)
- 2: Photodetektor (ungekühlt)
- 5: thermisch, pyroelektrisch
- 6: thermisch, Bolometer
- 7: thermisch, Thermosäule



## 3 Thermographiekameras

- 1. Generation - Scannende Wärmebildgeräte mit Eielementdetektor
  - Scanbewegung in horizontaler und vertikaler Richtung
- 2. Generation - Scannende Wärmebildgeräte mit Matrixdetektor oder einer Spalte
  - Scanbewegung nur in horizontaler Richtung
  - Anordnung der Elemente in Matrizen mit vielen Zeilen und wenigen Spalten (1 - 8)
- 3. Generation - Starrende Geräte / Focal Plane Arrays (FPA)
  - Kein Scanner benötigt
  - Elemente füllen das ganze Bildfeld, das Bild der Szene verweilt starr auf den Detektorelementen



Quelle [1]



### 3 Weitere Geräte



- ❑ Linescanner und Zeilenkamera
  - Einelementdetektor mit eindimensionaler Scanrichtung (Linescanner) oder einzelne Detektorzeile (Zeilenkamera)
  - Bild entsteht aufgrund der Bewegung des zu messenden Objekts bzw. Bewegung der Kamera über das Objekt.
  
- ❑ Punktmessendes System - Pyrometer
  - Bestimmt eine Temperatur im Blickfeld des Pyrometers. Der Messfleck muss für eine genaue Messung vom Messobjekt voll ausgefüllt sein.
  
- ❑ Pyroelektrisches Vidicon
  - Infrarotempfindliche Bildaufnahmeröhre
  - Werden nur als Sichtgeräte für Beobachtungszwecke (z.B. Feuerwehr), jedoch nicht zur Temperaturmessung eingesetzt.



### 4 Kameraparameter 1

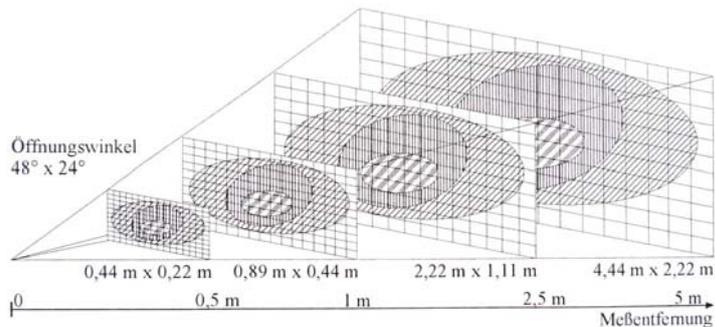


- ❑ Messtemperaturbereich  
Temperaturen für Messobjekte, Messunsicherheit bleibt innerhalb der festgelegten Grenzen
  
- ❑ Messunsicherheit / Messgenauigkeit:  
Genauigkeit der Messgröße Temperatur
  
- ❑ Umgebungstemperaturbereich  
Bereich der Umgebungstemperatur, in dem die Kamera ihre Leistungsdaten einhalten kann
  
- ❑ Temporauflösung:  
siehe NETD
  
- ❑ Detektorkenngrößen:  
siehe Zeitkonstante, Detektivität



#### 4 Kameraparameter 2

- Bildwinkel, Field of View (FOV):  
Nutzbare Feldwinkel der Kamera, bezogen auf deren optische Achse



Quelle [1]



#### 4 Kameraparameter 3

- Spektralbereich:  
Es sind die untere und die obere Grenzwellenlänge anzugeben, bei der die relative spektrale Empfindlichkeit auf 50% des Maximalwertes angestiegen bzw. abgefallen ist.  
Andere eingrenzende Faktoren (legen normalerweise Begrenzung des Systems fest):
  - Optik
  - FilterNatürliche Begrenzung:
  - atmosphärischen Fenster (2 - 5  $\mu\text{m}$ , 8 - 14  $\mu\text{m}$ )
  - Emissionsbereich des zu messende Objekts
- Bildwiederholfrequenz, Bildfrequenz:  
Unterscheidung zwischen der Aufnahme­frequenz der Kamera (Bildwiederhol­frequenz) und Angaben zur Bildfrequenz des Videosignals am Ausgang des Messsystems. Die mögliche Bildwiederhol­frequenz ist abhängig von der Zeitkonstanten des Detektors.



## 5 Thermographiegeräte - Mikrobolometer

Spektralbereich	(7,5 ... 14) $\mu\text{m}$
Detektortyp	ungekühltes Mikrobolometer Focal Plane Array.
Detektorformat (Pixel)	(320 x 240) (384 x 288), optionales Resolution Enhancement auf (768 x 576) (640 x 480), optionales Resolution Enhancement auf (1.280 x 960)
Temperaturmessbereich*	(-40 ... 1.200) °C, optional > 2.000 °C
Messgenauigkeit	$\pm 1,5 \text{ K}$ (0 ... 100) °C; $\pm 2 \%$ (< 0 bzw. > 100) °C
Temperaturaufösung bei 30 °C	besser als 0,08 K oder 0,05 K im Premium Mode
IR-Bildfrequenz	50/60 Hz
Digitale Farb-Videokamera	1,3 Megapixel, LED-Videoleuchte
Normalobjektiv (Bildfeld)	1,0/25 mm (25 x 19)° bei einem Bildformat von (320 x 240) Pixeln 1,0/25 mm (30 x 23)° bei einem Bildformat von (384 x 288) Pixeln 1,0/30 mm (30 x 23)° bei einem Bildformat von (640 x 480) Pixeln
Bildspeicherung	SD-Karte, optional FireWire (IEEE 1394), interner Echtzeitspeicher
A/D-Wandlung	16 Bit
Schnittstellen*	PAL/NTSC-FBAS, S-Video, RS232, FireWire (IEEE 1394), WLAN
Stromversorgung	handelsüblicher Lithium-Ionen-Akku (schnellladefähig, mit Statusanzeige)
Laser	Halbleiters Laser Rot, Laserschutzklasse 2
Arbeitstemperaturbereich, Schutzgrad	(-15 ... 50) °C, IP 54
Abmessungen	(133 x 106 x 110) mm
Gewicht	1,5 kg (Komplettausstattung)



Quelle: www.Infratec.de



## 5 Thermographiegeräte - Photodetektor

Modell	ImageIR® 5100	ImageIR® 5300	ImageIR® 5800	ImageIR® 8300	ImageIR® 8800
Spektralbereich	(0,8 ... 2,5) $\mu\text{m}$	(2 ... 5) $\mu\text{m}$	(8 ... 9,3) $\mu\text{m}$	(2 ... 5) $\mu\text{m}$	(8 ... 12) $\mu\text{m}$
Bildformat (IR-Pixel)	(320 x 256)	(320 x 256)	(320 x 256)	(640 x 512)	(640 x 512)
Detektor	MCT	MCT oder InSb	MCT oder QWIP	MCT oder InSb	MCT oder QWIP
Detektorkühlung	thermoelektrisch	Stirlingkühler	Stirlingkühler	Stirlingkühler	Stirlingkühler
Messgenauigkeit	-	$\pm 1^\circ\text{C}$ oder $\pm 1\%$			
Temperaturaufösung	-	0,025 K @ 30 °C			
Temperaturmessbereich	-	(-40 ... 1.200) °C (optional bis 2.000 °C)			
Lagertemperatur	(-40 ... 70) °C	(-40 ... 70) °C	(-40 ... 70) °C	(-40 ... 70) °C	(-40 ... 70) °C
Betriebstemperatur	(-20 ... 50) °C	(-20 ... 50) °C	(-20 ... 50) °C	(-20 ... 50) °C	(-20 ... 50) °C
Schutzgrad	IP 54, IEC 529	IP 54, IEC 529	IP 54, IEC 529	IP 54, IEC 529	IP 54, IEC 529
Integrationszeit	(10 ... 20.000) $\mu\text{s}$ in Schritten von 1 $\mu\text{s}$	(1 ... 20.000) $\mu\text{s}$ in Schritten von 1 $\mu\text{s}$	(1 ... 20.000) $\mu\text{s}$ in Schritten von 1 $\mu\text{s}$	(1 ... 20.000) $\mu\text{s}$ in Schritten von 1 $\mu\text{s}$	(1 ... 20.000) $\mu\text{s}$ in Schritten von 1 $\mu\text{s}$
Filterrad	optional	optional	optional	optional	optional
Dynamikbereich	14 bit	14 bit	14 bit	14 bit	14 bit
Fenstermodus	Nein	Ja	Ja	Ja	Ja
Bildrate (Vollbild/Halbbild/ Viertelbild)	(1 ... 100) Hz/-/- optional: 10.000 Hz Zeile	bis 250/900/3.000 Hz optional: 10.000 Hz Zeile	bis 250/900/3.000 Hz optional: 10.000 Hz Zeile	bis 100/325/850 Hz optional: 2.000 Hz Zeile	bis 100/325/850 Hz optional: 2.000 Hz Zeile
Digitalinterface	GigE	GigE	GigE	GigE	GigE
Optional	CAMLink, USB	CAMLink, USB	CAMLink, USB	CAMLink, USB	CAMLink, USB
Statusanschluß	1/4"-Fotogewinde	1/4"-Fotogewinde	1/4"-Fotogewinde	1/4"-Fotogewinde	1/4"-Fotogewinde
Gewicht (ohne Objektiv)	3 kg	3 kg	3,5 kg	3 kg	3,5 kg



Quelle: www.Infratec.de



## 6 Zusammenfassung



- Thermische Detektoren → indirekte Messung der Wärmestrahlung
  - empfindlich über großen Wellenlängenbereich
  - häufiger Einsatz von Bolometer-Arrays
  
- Photodetektoren → direkte Messung (Zählung) der Photonen
  - höhere Messfrequenz
  - größer Detektivität und Empfindlichkeit
  - aufwändige Kühlung benötigt
  
- Wichtige Kenngrößen
  - NETD (Temperaturauflösung)
  - spezifische Detektivität (Vergleichbarkeit !)
  - Nutzbarer Spektralbereich
  - Bildwiderholffrequenz



## Literatur



- [1] Bernhard F (2004) Technische Temperaturmessung. Berlin: Springer
- [2] Breuer H (2000) dtv-Atlas Physik Teil 1 und 2. München: dtv
- [3] Gaussorgues G (1994) Infrared Thermography. London: Chapman & Hal
- [4] Glückert U (1992) Erfassung und Messung von Wärmestrahlung. München: Franzis
- [5] Gruner K Grundlagen der berührungslosen Temperaturmessung „Strahlungsthermometrie“. Berlin: Raytek GmbH  
([http://support.fluke.com/rayteksales/Download/Asset9250266\\_GER\\_C\\_W.PDF](http://support.fluke.com/rayteksales/Download/Asset9250266_GER_C_W.PDF), aufgerufen: 23.1.2010)
- [6] Schindel B (2007) Thermografie in der Theorie und Praxis. Ismaning: ebs Automatisierte Thermographie und Systemtechnik GmbH.  
([http://www.irpod.net/media/thermografie\\_in\\_der\\_theorie\\_und\\_praxis.pdf](http://www.irpod.net/media/thermografie_in_der_theorie_und_praxis.pdf), aufgerufen: 23.1.2010)
- [7] Schuster N, Kolobrodov V (2004) Infrarotthermographie. Weinheim: WILEY-VCH
- [8] Wallrabe A (2001) Nachtsichttechnik. Braunschweig: Vieweg



- [9] (2004) Einführung in die Theorie und Praxis der Infrarot-Thermografie Dresden: InfraTec GmbH.  
(<http://members.aon.at/osterrg2/Infratec.pdf>, aufgerufen: 23.1.2010)
- [10] IR0 Infrarotmesstechnik Grundlagen. Graz: nbn Elektronik Handelsgesellschaft m.b.H. und Klagenfurt: Messfeld Kompetenzzentrum für Condition Monitoring,  
([http://www.nbn.at/cms\\_data/Downloads/GRUNDLAGEN/IR\\_Scriptum\\_Messfeld\\_nbn\\_web.pdf](http://www.nbn.at/cms_data/Downloads/GRUNDLAGEN/IR_Scriptum_Messfeld_nbn_web.pdf), aufgerufen: 23.1.2010)



- ❑ Es gibt zwei grundlegende Prinzipien für Detektoren zur Messung von Infrarotstrahlung (thermische Detektoren, Photodetektoren). Ein Hörer dieses Vortrags sollte das physikalische Grundprinzip sowie die Unterschiede beider Möglichkeiten verstehen.
- ❑ Da der Mikrobolometer besonders häufig als Detektor verwendet wird, soll insbesondere dessen Messprinzip verstanden werden.
- ❑ Außerdem sollen die Bewertungskriterien für einen Infrarotdetektor und deren Zusammenhänge gekannt werden. Ein Hörer soll wissen, warum sich die jeweiligen Werte dieser Kriterien für die entsprechende Detektortechnologie unterscheiden. Auch sollte er die ungefähre Größenordnung dieser Werte kennen.
- ❑ Ein Hörer soll weiterhin in der Lage sein ein Datenblatt eines Herstellers lesen zu können. Dabei soll er möglichst viele Abkürzungen und Bewertungskriterien kennen. Es soll möglich sein, dass man bei einem bekannten Verwendungszweck, eine Kamera aus dem richtigen Leistungsbereich wählt.
- ❑ Außerdem sollen, mit Hilfe einer kurzen Übersicht, verschiedene Wärmebildkamerakonzepte unterschieden werden können.

