

Helmut Budzier und Gerald Gerlach

Thermische Infrarot-Sensoren für die Thermografie – Stand und Tendenzen

Einhergehend mit einer starken Kostenreduzierung ungekühlter Infrarot(IR)-Bildsysteme – die auch als Thermografiesysteme, Wärmebildgeräte oder IR-Kameras bezeichnet werden – entwickelt sich seit ca. 10 Jahren die Thermografie außergewöhnlich stark. Es ist zu erwarten, dass diese Entwicklung zukünftig noch an Dynamik gewinnt. So wird prognostiziert, dass sich die Anzahl verkaufter IR-Kamerasysteme von 200.000 Stück im Jahre 2010 auf mehr als das Dreifache im Jahre 2015 steigern wird [1]. Unkomplizierte Handhabung, ausgeklügelte, automatisierte Bildauswertung, Überlagerung von visuellen Bildern mit infraroten Bildern usw. werden zu massenhaftem Einsatz thermografischer Systeme und Verfahren führen.

1. Thermografie

1.1 Grundlagen

Thermografie ist ein bildgebendes Verfahren, das die Infrarotstrahlung einer Szene als zweidimensionales Falschfarbenbild darstellt. Dieses Falschfarbenbild kann in erster Näherung als Temperaturverteilung der abgebildeten Szene interpretiert werden. Die Strahlung, die ein Körper aussendet, hängt von seiner Temperatur und seinen Emissionseigenschaften ab und wird durch das PLANCKSche Strahlungsgesetz beschrieben:

$$M_{\lambda S} = \frac{c_1}{\lambda^5} \frac{1}{e^{\frac{c_2}{k_B T}} - 1} \quad (1)$$

mit den PLANCKSchen Strahlungskonstanten c_1 und c_2 , der BOLTZMANN-Konstante k_B , der Wellenlänge λ der Strahlung und der absoluten Temperatur T (Abbildung 1).

Um die gesamte Ausstrahlung M_S eines Körpers in einem bestimmten Wellenlängenbereich zu berechnen, muss das PLANCKSche Strahlungsgesetz über genau diesen Wellenlängenbereich integriert werden. Dabei existiert nur eine bekannte geschlossene Lösung dieses Integrals. Für die Gesamtstrahlung ($0 \leq \lambda \leq \infty$) ergibt sich aus Gl. (1) das STEFAN-BOLTZMANN-Gesetz:

$$M_S = \sigma T^4 \quad (2)$$

mit der STEFAN-BOLTZMANN-Konstante σ .

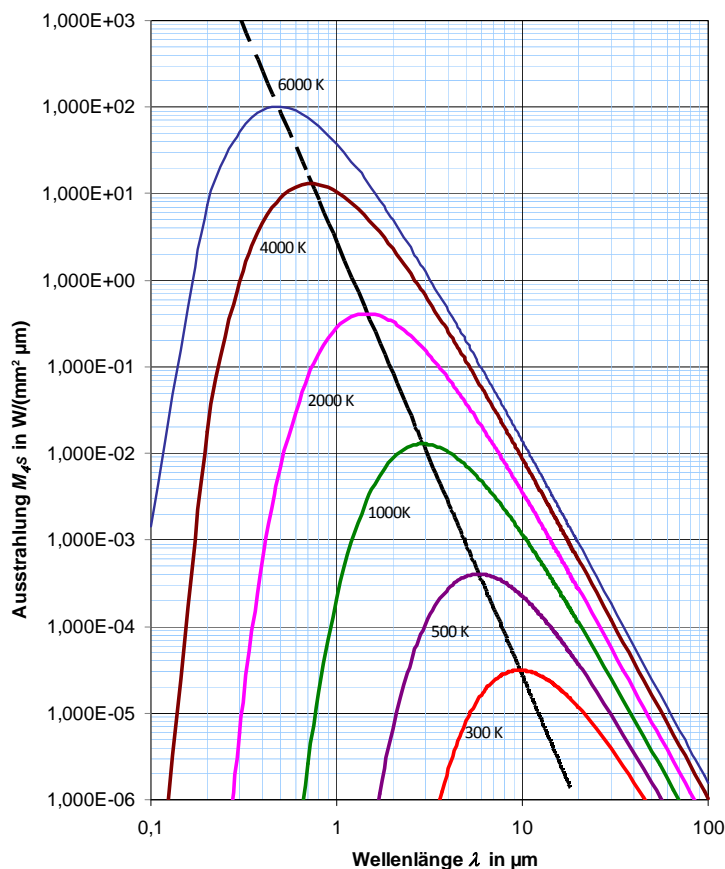


Abb. 1: PLANKsches Strahlungsgesetz. Parameter: Temperatur
(die gestrichelte Linie charakterisiert das WIENSche Verschiebungsgesetz)

Bereich	Spektralbereich	Abkürzung	Wellenlängenbereich	Atmosphärische Fenster
Optisch	Sichtbar	VIS	0,38 - 0,78 μm	0,4 - 0,7 μm
Infrarot	Nahes Infrarot	NIR	0,78 - 1,5 μm	0,75 - 0,8 μm 0,95 - 1,1 μm 1,2 - 1,3 μm 1,5 - 1,7 μm
	Mittleres Infrarot	MIR	1,5 - 6,0 μm	2,1 - 2,4 μm 3,2 - 4,1 μm 4,4 - 5,2 μm
	Fernes Infrarot	FIR	6,0 - 40 μm	8 - 13 μm
	Ultrafernes Infrarot	UFIR	40 - 1000 μm	

Tab. 1: Übliche Unterteilung der Spektralbereiche und wichtige atmosphärische Fenster

Der infrarote Spektralbereich umfasst den Wellenlängenbereich des elektromagnetischen Strahlungsspektrums von 780 nm bis 1 mm. Die Unterteilung dieses Bereiches erfolgt nach technischen Gesichtspunkten (Tabelle 1). Für die Thermografie nutzbar sind nur die atmosphärischen Fenster,

da in diesen Wellenlängenbereichen die Transmission der Atmosphäre sehr hoch ist. Mit steigender Temperatur verschiebt sich die maximale Ausstrahlung eines Körpers hin zu kürzeren Wellenlängen (WIENSches Verschiebungsgesetz). Während ein Körper mit Raumtemperatur (ca. 30 °C) vorwiegend im fernen Infrarot strahlt, erfolgt die Wärmeabstrahlung von sehr heißen Körpern im nahen Infrarot bzw. im sichtbaren Spektralbereich. Sichtbare Wärmestrahlungsquellen sind z.B. glühender Stahl (> 800 °C) und die Sonne (Oberflächentemperatur ca. 5800 K).

Thermografiesysteme erzeugen aus dem aufgenommenen IR-Bild ein Falschfarbenbild im sichtbaren Bereich. Dabei repräsentiert jede Farbe bzw. jede Graustufe einen Temperaturwert. Die Temperaturwerte werden aus der detektierten IR-Strahlung mittels PLANCKschem Strahlungsgesetz berechnet. Der prinzipielle Aufbau eines Thermografiesystems entspricht dabei konventionellen Videokameras. Wesentliche Unterschiede bestehen im optischen Kanal und dem Bildsensor.

Werden thermische IR-Sensoren zur Detektion der Strahlung eingesetzt, spricht man von ungekühlten IR-Kameras. Kommerziell erhältliche ungekühlte IR-Kameras nutzen dabei Mikrobolometerarrays, die sogenannten UFPAs (uncooled focal plane array). Sie arbeiten im fernen IR-Bereich (Wellenlängenbereich von 8 bis 14 µm).

IR-Optiken für ungekühlte IR-Kameras bestehen meistens aus Germanium, Silizium oder Sondersgläsern und sind hoch geöffnet (Blendenzahlen $\leq 1,4$). Deshalb sind sie neben den IR-Sensoren ein weiterer wesentlicher Kostenfaktor.

1.2 Anwendungen

Thermografische Verfahren dringen immer tiefer in die unterschiedlichsten Bereiche unserer Volkswirtschaft ein und entwickeln sich zunehmend zu Standardmessmethoden. Typische zivile Anwendungsgebiete sind z.B.:

- *Bauthermografie*: Sie dient zur Erfassung der Wärmeisolation von Gebäuden und der Baudagnostik (Abbildung 2).



Abb. 2: Thermobild eines Hauses

- *Sicherheitstechnik*: Da die Thermografie beleuchtungsunabhängig ist, können Objekte und Personen auch bei Dunkelheit erkannt werden (Nachtsichtgeräte). Selbst bei schlechten Sicht-

verhältnissen, z.B. in verrauchten Räumen, können IR-Kameras zur Detektion von Personen oder Glutnestern eingesetzt werden (Feuerwehrunterstützung).

- *Vorbeugende Instandhaltung*: Defekte und Ausfälle an Maschinen und Anlagen kündigen sich oft frühzeitig durch eine Wärmeentwicklung an und können durch die Thermografie sicher erkannt werden (Abbildung 3).

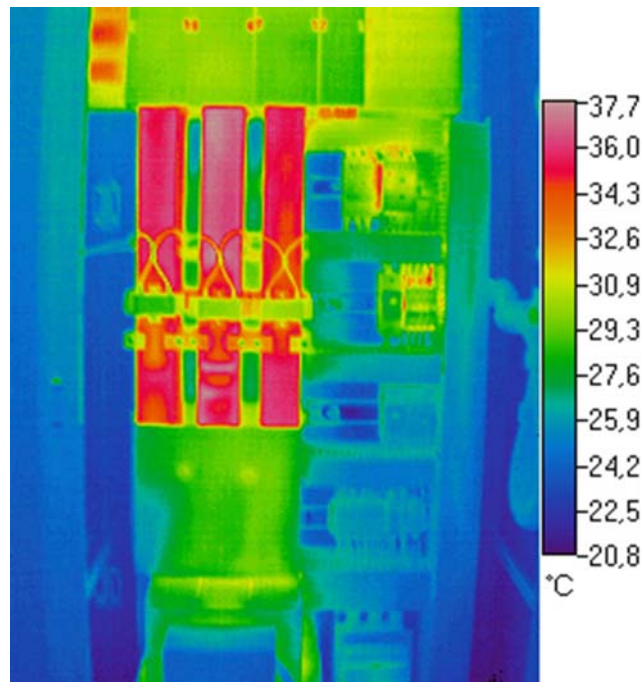


Abb. 3: Wärmeentwicklung in einem Schaltschrank

- *Zerstörungsfreie Prüfung*: Hier werden vorzugsweise aktive thermografische Verfahren, wie z.B. die Impuls- oder Lock-In-Thermografie eingesetzt. Dabei wird durch einen gezielten Wärmeeintrag ins Prüfobjekt (Wärmefluss-Thermografie) die innere Struktur des Prüfobjekts sichtbar. So können z.B. Inhomogenitäten und Hohlstellen detektiert werden.
- *Prozesssteuerung und -kontrolle*: Die laufende Messung in Produktionsprozessen, die so genannte Online-Thermografie, dient der Steuerung, der Regelung und der produktionsüberwachenden Qualitätskontrolle in der Fertigung. Thermografiesysteme werden für berührungslose Messungen in automatisierten Temperaturregelsystemen eingesetzt.
- *Human- und Veterinärmedizin*: Die Temperaturverteilung der Haut dient als Basis für eine Diagnose durch einen Mediziner (Abbildung 4).
- *Forschung und Entwicklung*: Die thermische Optimierung von Baugruppen und Systemen ist ein wichtiges Problem bei der Entwicklung neuer Produkte. Durch die Sichtbarmachung der Temperaturverteilung, z.B. auf einer Leiterplatte oder der Außenseite eines Motors, können bereits im Entwicklungsprozess Maßnahmen getroffen werden, die Qualität, Zuverlässigkeit und Langzeitstabilität eines Produktes dauerhaft erhöhen.

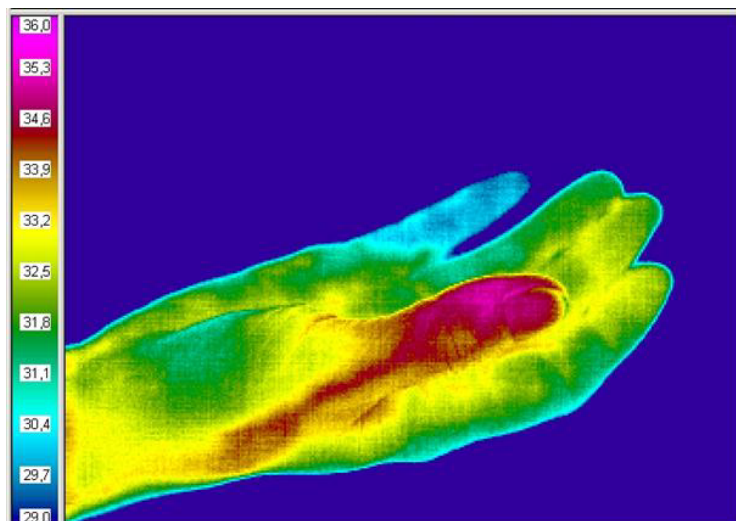


Abb. 4: Thermobild einer Hand mit sichtbarer Entzündung des Daumens

2. Sensoren für die Thermografie

In modernen Thermografiesystemen werden zweidimensionale (2D)-Array-Sensoren (FPA: Focal Plane Array; Matrix-Sensor) eingesetzt. Dabei kommen entweder Photonensensoren (Halbleitersensoren) oder thermische Sensoren zum Einsatz.

Bis Mitte der neunziger Jahre dominierten die Photonensensoren (Fotowiderstand, Fotodiode) die Thermografie. Sie nutzen den inneren fotoelektrischen Effekt in Halbleitern. Um die energiearme FIR-Strahlung detektieren zu können, müssen sie gekühlt werden. Typische Sensortemperaturen liegen unterhalb 80 K. Um diese Sensortemperaturen zu erreichen, ist eine aufwendige Kühltechnik notwendig. Dazu werden z.B. flüssige Gase (LN₂) oder Kleinkältemaschinen eingesetzt. Die notwendige Kühlung und der dazu erforderliche Energiebedarf sind die großen Nachteile der Photonensensoren und begrenzen deren Lebensdauer und Langzeitstabilität erheblich.

Mit der Entwicklung von Mikrobolometerarrays begann vor ungefähr 20 Jahren der Siegeszug der ungekühlten Thermografiesysteme. Mikrobolometer sind thermische Sensoren, welche die Strahlungsleistung detektieren. Die einfallende Strahlung wird im Sensor absorbiert und führt zu einer Temperaturänderung des Sensors. Die Auswertung der Temperaturänderung erfolgt je nach Sensortyp. So messen Mikrobolometer die Widerstandsänderung ihres Detektorelements. Thermische Sensoren arbeiten bei Raumtemperatur. Deshalb spricht man dann von ungekühlten Sensoren.

Photonensensoren	Thermische Sensoren
<ul style="list-style-type: none"> - sehr hohe Empfindlichkeit, auch multispektral - sehr gute Temperaturauflösung (< 10 mK) - Zeitkonstante: einige Mikrosekunden - sehr große Pixelzahlen - aufwendige Kühltechnik - eingeschränkte Lebensdauer - sehr teuer 	<ul style="list-style-type: none"> - wellenlängenunabhängige Empfindlichkeit - gute Temperaturauflösung (> 30 mK) - Zeitkonstante: einige Millisekunden - keine Kühlung erforderlich - hohe Langzeitstabilität - preiswert

Tab. 2: Eigenschaften von Photonen- und thermischen Sensoren

In Tabelle 2 sind einige Eigenschaften ungekühlter und gekühlter Sensoren gegenübergestellt. Abbildung 5 zeigt einen Vergleich der maximalen Detektivität beider Sensorarten. Deutlich ist zu erkennen, dass im FIR die Detektivität beider Sensorprinzipien vergleichbar ist.

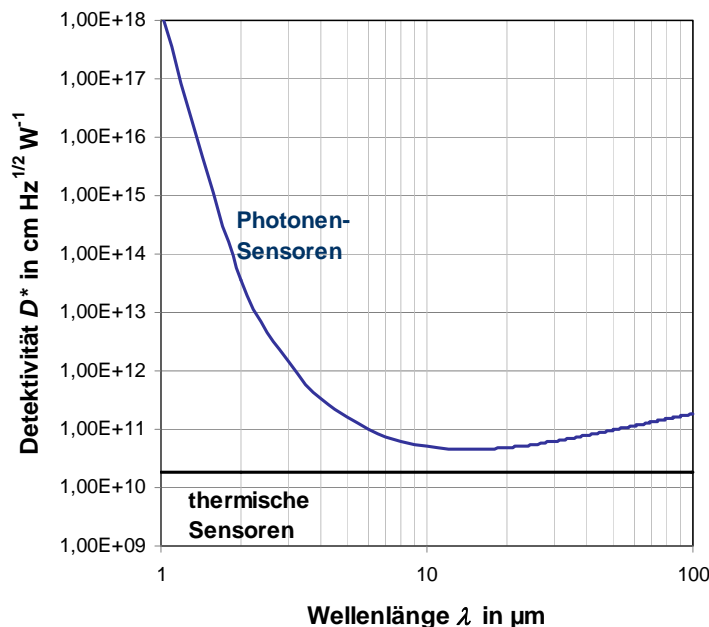


Abb. 5: Vergleich der maximal möglichen Detektivität von Photonen- und thermischen Sensoren [2]

3. Thermische Sensoren

Ein Teil der von einem Objekt ausgehenden Strahlung wird mit einer Optik, die die Transmission τ aufweist, auf ein Sensorelement (Pixel) abgebildet und von diesem absorbiert (Abbildung 6). Dadurch kommt es im Sensorelement zu einer Temperaturänderung ΔT , die wiederum eine Änderung einer elektrischen Größe bewirkt. Je nach Sensortyp ändert sich ein Widerstand (ΔR ; Bolometer), eine Ladung (ΔQ ; pyroelektrischer Sensor) oder eine Spannung (ΔU ; thermoelektrischer Sensor).

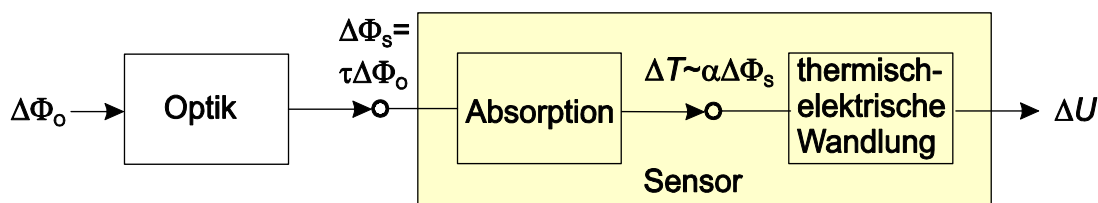


Abb. 6: Wirkprinzip thermischer Sensoren

$\Delta\Phi_0$ Strahlungsfluss vom Objekt, $\Delta\Phi_s$ Strahlungsfluss am Sensor; τ Transmission der Optik, ΔT Temperaturänderung des Sensorelements, ΔU Ausgangsspannung des Sensors

Damit die Temperaturänderung im Sensorelement möglichst groß ist, muss es sehr gut thermisch isoliert sein. Abbildung 7 zeigt beispielhaft den Aufbau eines Pixels eines Mikrobolometerarrays. Das Pixel ist als Mikrobrücke (MEMS-Element) mit aufgebracht Widerstandsschicht ausgeführt. Die Brückenhöhe über dem Ausleseschaltkreis beträgt ca. 2,5 μm . In der Mikrobrücke wird

die einfallende IR-Strahlung absorbiert. Das führt zu einer Temperaturänderung ΔT und damit zu einer Widerstandsänderung ΔR . Zur thermischen Isolation befindet sich die Mikrobrücke im Vakuum. Außerdem wird durch die Konstruktion (Stützfüße und Stege) ein möglichst geringer thermischer Leitwert zum Ausleseschaltkreis, der als thermische Masse gelten kann, erreicht.

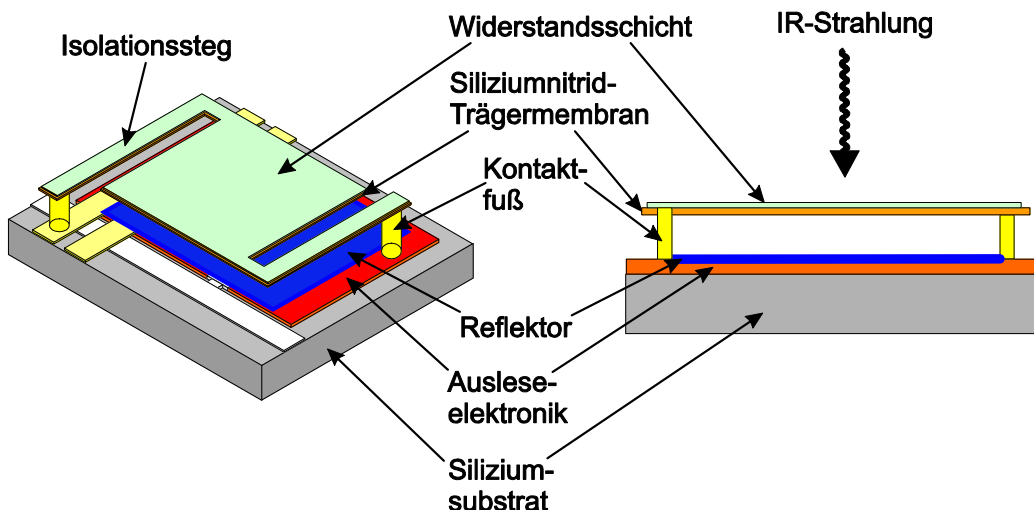


Abb. 7: Mikrobolometerpixel

4. Arraygrößen

Die stürmische Entwicklung der Mikrobolometerarrays seit Beginn der neunziger Jahre führte zu immer größeren Pixelzahlen, einhergehend mit immer kleineren Pixelrastern; Abbildung 8 zeigt diese Entwicklung. Als Stand der Technik gelten heute (im Jahr 2011) Thermografiesysteme mit VGA-Auflösung (640x480 Pixel). Schon verfügbar sind XGA-Systeme (1024x768 Pixel), bereits angekündigt sind Mikrobolometerarrays im HDTV-Standard (1920x1080 Pixel).

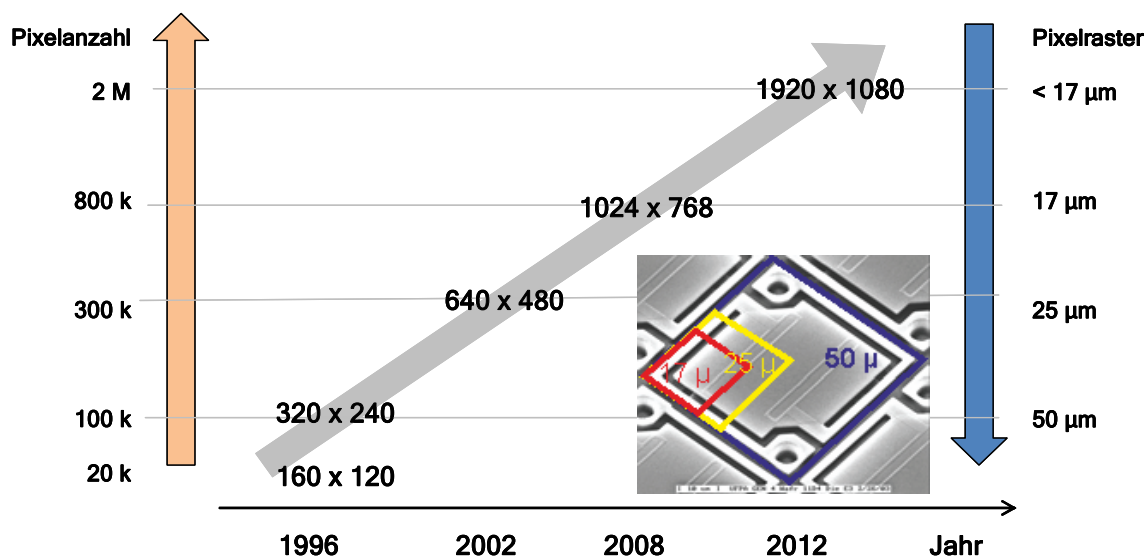


Abb. 8: Entwicklung der Mikrobolometerarrays [3]

5. Auflösungsgrenzen thermischer Sensoren

Im Folgenden sollen die theoretischen Grenzen der räumlichen, thermischen und zeitlichen Auflösung untersucht werden.

5.1 Thermische Auflösung

Die thermische Auflösung eines Sensors wird durch die rauschäquivalente Temperaturdifferenz *NETD* (Noise Equivalent Temperature Difference) beschrieben. Sie gibt die kleinste am Objekt auflösbare Temperaturdifferenz an. Die Angabe der *NETD* erfolgt zumeist für Objekte mit einer Temperatur von 27 °C, wobei eine Blendenzahl der Optik von Eins angenommen wird.

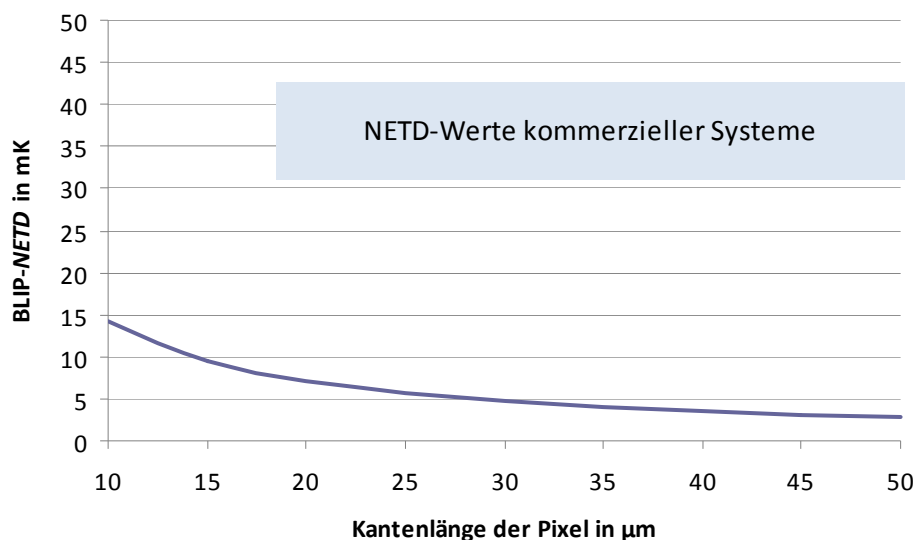


Abb. 9: BLIP-*NETD* für quadratische Pixel mit einer Blendenzahl von 1, einer Rauschbandbreite von 1 kHz und einer Sensortemperatur von 300 K

Die theoretisch kleinste *NETD* ergibt sich, wenn keine Wärmeleitung des Pixels zu seiner Umgebung auftritt (ideale thermische Isolation des Pixels). Dann wird das auflösungsbegrenzende Rauschen nur noch durch das Strahlungsrauschen der einfallenden IR-Strahlung bestimmt und man erhält die sogenannte BLIP(Background Limited Infrared Performance)-*NETD* [2]. Die BLIP-*NETD* ist abhängig von der Sensortemperatur, der Pixelfläche, der Blendenzahl und der Rauschbandbreite. In Abbildung 9 ist die BLIP-*NETD* für quadratische Pixel im Vergleich zu *NETD*-Werten kommerziell verfügbarer Systeme dargestellt. Aktuelle Mikrobolometerarrays erreichen die idealen BLIP-*NETD*-Werte noch nicht. Bei ihnen wird die *NETD* durch die thermische Leitfähigkeit der Pixelaufhängung bestimmt.

5.2 Räumliche Auflösung

Die räumliche bzw. geometrische Auflösung beschreibt die Fähigkeit eines Systems, benachbarte Strukturen eines Objektes zu unterscheiden. Die optische Auflösung wird durch die FRAUNHOFER-Beugung begrenzt. Als kleinster abbildbarer Messfleck gilt demnach die AIRY-Scheibe, die durch die FRAUNHOFER-Beugung an einer kreisrunden Lochblende entsteht.

In Abbildung 10 sind die AIRY-Scheibe und die Überlagerung zweier AIRY-Scheiben als Querschnitt dargestellt. Als Auflösungsgrenze kann nun der Abstand r_{min} zweier AIRY-Scheiben ange-

nommen werden, indem das Maximum der einen AIRY-Scheibe in der ersten Nullstelle der anderen AIRY-Scheibe liegt:

$$r_{\min} \approx 0,61\lambda k \tag{3}$$

mit der Wellenlänge λ und der Blendenzahl k . Mit einer Blendenzahl $k = 1$ und einer Wellenlänge $\lambda = 10 \mu\text{m}$ berechnet sich ein minimal auflösbarer Abstand von ca. $6 \mu\text{m}$. Bedenkt man, dass jeweils ein Pixel im Maximum und eins im Minimum angeordnet werden muss, ergibt sich ein minimales, sinnvolles Pixelraster von $3 \mu\text{m}$. Von diesem Wert sind die heutigen verfügbaren Sensoren noch sehr weit entfernt.

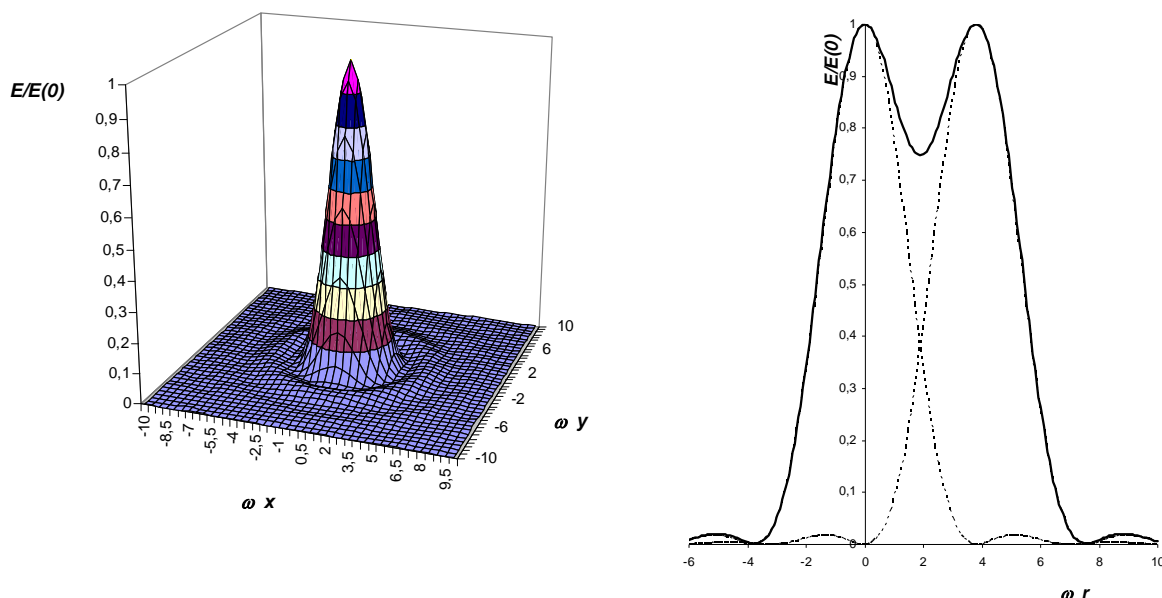


Abb. 10: a) AIRY-Scheibe und b) Überlagerung zweier AIRY-Scheiben im Querschnitt $E/E(0)$ normierte Bestrahlungsstärke, r Radius, ω Normierungsgröße [2/]

5.3 Zeitliche Auflösung

Die zeitliche Auflösung beschreibt die Fähigkeit eines Systems, zeitlich aufeinanderfolgende Temperaturänderungen des Objekts zu detektieren. Beschrieben wird die zeitliche Auflösung mit Hilfe der Zeitkonstanten τ . In Mikrobolometern wird die Zeitkonstante durch das thermische Verhalten der Mikrobrücke bestimmt. Die thermische Zeitkonstante τ_{th} lässt sich aus der thermischen Kapazität C_{th} und dem thermischen Leitwert G_{th} des Pixels berechnen:

$$\tau_{th} = \frac{C_{th}}{G_{th}} \tag{4}$$



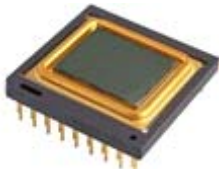
Reale Werte der thermischen Zeitkonstante liegen zwischen 5 ms und 15 ms. Diese Werte ergeben sich praktisch aus dem Spannungsfeld zwischen thermischer Auflösung und Technologie. Um einen möglichst geringen Wert der Zeitkonstante zu erhalten, muss die Wärmekapazität möglichst klein sein, bedeutet also möglichst kleine und dünne Pixel. Die Pixelgröße und damit die Wärmekapazität sind technologisch begrenzt. Eine geringe Zeitkonstante erfordert einen hohen thermischen Leitwert. Das steht aber im krassen Widerspruch zur angestrebten guten thermischen

Auflösung. Sensorhersteller entscheiden in der Regel aber immer zu Gunsten einer geringeren NETD.

6. Aktuelle Entwicklungen und Trends

6.1 Mikrobolometerarrays

Die Entwicklung von Mikrobolometerarrays für den zivilen Gebrauch begann Anfang der 90er Jahre in den USA (Abbildung 8). Zunächst wurde nur Vanadiumoxid (VOx) als Widerstandsmaterial verwendet. Ende der 90er Jahre begann in Europa die französische Firma ULIS, die aus der Firma Sofradir hervorgegangen war, mit der Entwicklung von UFPAs auf der Basis von amorphem Silizium (a-Si). Der rasante Fortschritt dieser Sensoren ist in Tabelle 3 anhand eines QVGA-Mikrobolometerarrays zusammengefasst. Einhergehend mit einer drastischen Reduktion des Preises konnten alle relevanten technischen Parameter deutlich verbessert werden.

Gehäuseform	Metallrundgehäuse	Flat-Pack-Gehäuse	Keramikgehäuse
Jahr (ca.)	2000	2005	2010
			
Abmessungen ohne Pins)	37,5 x 37,5 x 12,5 mm ³	32 x 23,5 x 7,7 mm ³	24,2 x 24,2 x 3,6 mm ³
Gewicht	< 50 g	< 25 g	< 6 g
Pixelraster	45 µm	35 µm	25 µm
NETD	< 120 mK	< 100 mK	< 65 mK
Leistungsaufnahme	< 200 mW	< 100 mW	< 60 mW
Quelle	[4]	[5]	[6]

Tab. 3: Evolution von Mikrobolometerarrays mit 384 x 288 Pixeln (QVGA)

Beim Aufbau der UFPAs werden typischerweise vier Systemebenen unterschieden: Optik, Packaging (Gehäuse einschließlich Vakuum), Pixel (Mikrobolometerbrücke) und Ausleseschaltkreis (ROIC: Read-out Integrated Circuit) [1].

Auch wenn die Optik nicht unmittelbar zum Sensor gehört, ist sie zusammen mit dem Sensor als funktionelle Einheit zu sehen. Beide, Optik und Sensor, bestimmen in einer ungekühlten IR-Kamera sowohl den Preis als auch die thermische und räumliche Auflösung. In Zukunft werden beide Teilsysteme zunehmend verschmelzen. So kann eine Integration einer Linse ins Sensorgehäuse erfolgen. Sie dient als Teil eines Linsensystems oder für niedrig auflösende Systeme als einziges abbildendes Element. Vorteilhaft sind hier z.B. diffraktive Optiken, die direkt als Sensorfenster dienen können. Um kostengünstige Optiken herstellen zu können, muss das Bildfeld klein sein. Das ist ein wichtiger Grund, weshalb das Pixelraster möglichst gering dimensioniert sein muss.

Mikrobolometerpixel müssen im Vakuum arbeiten. Deshalb wird der gesamte Sensor (ROIC mit

Mikrobolometerbrücke und zusätzlichem Peltierelement) in ein Vakuumgehäuse eingebaut (Metallrundgehäuse, Flat Pack; siehe Tabelle 3). Eine deutliche Verkleinerung des Gehäuses erzielt man mit dem Wafer-Level-Vacuum-Packaging [7]. Hier wird um jedes Array ein lötbare Ring aufgebracht. Auf dem Ring wird dann im Chipverband das IR-Fenster aufgelötet. Das führt dazu, dass sich nur die Pixel im Vakuum befinden. Der nächste Schritt ist dann das Pixel-Level-Vacuum-Packaging. Dabei wird durch einen dreidimensionalen Sensoraufbau für jedes Pixel einzeln ein Vakuum geschaffen.

Die Verkleinerung des Pixelrasters führt zu einer geringeren Chipfläche und damit auch zu geringeren Produktionskosten, sowie zu einer besseren räumlichen Auflösung (siehe Abschnitt 5.2). Kleinere Pixel bedeuten aber auch höhere Anforderungen an die MEMS-Technologie. Um die NETD nicht zu reduzieren, ist dann eine bessere thermische Isolation der Mikrobolometer erforderlich. Neue Pixel-Designs und verbesserte bzw. neue Materialien führen sogar zu niedrigeren und damit besseren NETD-Werten (siehe Tabelle 3). So wird z.B. durch eine mehrstöckige Brückenkonstruktion die Absorption der IR-Strahlung verbessert und der optische Füllgrad des Array erhöht [3].

Durch Verbesserungen der Halbleitertechnologien konnte in den letzten Jahren die Leistungsaufnahme der ROICs stark gesenkt werden. Außerdem werden in aktuellen Generationen zusätzliche Funktionen integriert, z.B. Analog-Digitalumsetzer [8] und pixelbezogene Filter zur Reduktion der Rauschbandbreite [7].

6.2 Andere Arrays

Bisher wurden die den Markt dominierenden Mikrobolometerarrays diskutiert. Aber auch andere thermische Sensoren, beispielsweise thermoelektrische und Tragarmsensoren, versprechen interessante Entwicklungen. Inwieweit diese Erfolg haben werden, ist aber gegenwärtig noch nicht abzusehen.

Thermoelektrische Kleinarrays (Thermopile-Arrays) mit bis zu 64 x 64 Pixeln sind preiswerte Alternativen zu Mikrobolometern. Bei nicht allzu hohen Anforderungen an die thermische Auflösung können diese auch ohne Vakuum arbeiten. Vor allem für Präsenz- und Bewegungsmelder, eingebettete Systeme und Low-Cost-Anwendungen bieten Thermopiles Vorteile. Auch kundenspezifische Systeme sind mit Thermopiles realisierbar.

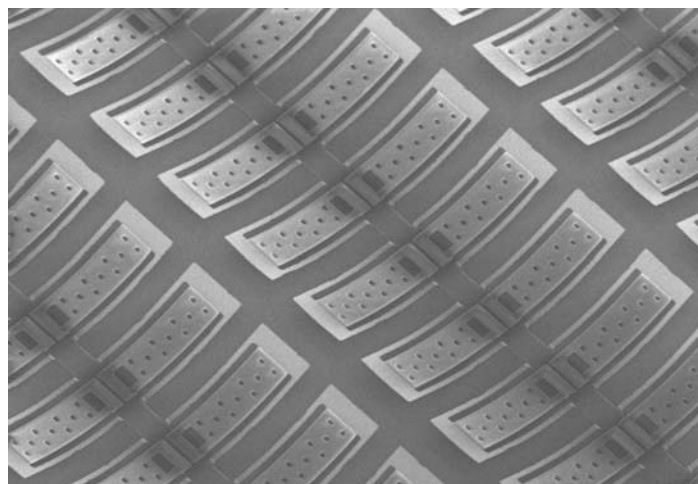


Abb. 11: REM-Aufnahme von Pixeln eines bimorphen Sensors (mit freundlicher Genehmigung des Instituts für Mikro- und Nano-Elektronik der TU Ilmenau)

Eine interessante Entwicklung sind Tragarmsensoren. Tragarmsensoren sind bimorphe Sensoren. Bei Erwärmung des Pixels ändert sich seine Auslenkung, die z.B. optisch gemessen werden kann (Abbildung 11). Dann haben die Pixel keine elektrische Funktion mehr und können z.B. ausschließlich zur Absorption, auch wellenlängenspezifisch, optimiert werden.

7. Zusammenfassung

Gerade in den letzten 10 Jahren hat eine ungeheure Entwicklung auf dem Gebiet ungekühlten IR-Bildsensoren stattgefunden, die einerseits zu höchstauflösende High-End-System (HDTV-IR-Kameras) und andererseits zu preiswerten Massenprodukten geführt hat. Preiswerte IR-Kameras (< 1000 €) werden zu einer weiten Verbreitung der Thermografie beitragen. Einfache Bedienung und integrierte Bildauswertung werden maßgeblich mithelfen, die Interpretation von Thermobildern zu erleichtern. So stellt z.B. eine Fusion von hochauflösenden visuellen Bildern mit Thermobildern mit geringer Pixelzahl eine preiswerte Alternative zur Suche von sogenannten Hot Spots dar.

Das prognostizierte Wachstum wird die Thermografie und insbesondere die Sensortechnologie weiter beflügeln und auch zukünftig für interessante Innovationen sorgen.

Literatur

- [1] YOLE Developpement: Uncooled Infrared Cameras and Detectors; Report, Lyon, 2010
- [2] Budzier, H.; Gerlach, G.: Thermische Infrarotsensoren; Wiley-VCH, Weinheim, 2010
- [3] Chuan Li et al: DRS Uncooled Vox Infrared Detector Development and Production Status; Proc. of SPIE, Vol. 7660, 2010, S. 76600V1-76600V9
- [4] Sofradir: Technical Data Package; IDML07322-V3, 10.01.2001
- [5] ULIS: Datenblatt UL 03 04 1, 09.05.06
- [6] ULIS: Datenblatt UL 03 16 2, 16.01.09
- [7] Hanson, C. M. et al.: Small Pixel a-Si/a-SiGe Bolometer Focal Plane Array Technology at L-3 Communications; Proc. of SPIE, Vol. 7660, 2010, S. 76600R1-76600R8
- [8] Tissot, J. L. et al.: High Performance Uncooled Amorphous Silicon VGA IRFPA with 17 μm Pixel-pitch; Proc. of SPIE, Vol. 7660, 2010, S. 76600T1-76600T7

[22.03.11]

Anschrift des Autors:

Dr.-Ing. Helmut Budzier
Technische Universität Dresden
Institut für Festkörperelektronik
Helmholtzstr. 18
D – 01062 Dresden
helmut.budzier@tu-dresden.de