

# Grenzen der thermischen, räumlichen und zeitlichen Auflösung ungekühlter Thermografiekameras

Helmut BUDZIER<sup>1</sup>, Gerald GERLACH<sup>1</sup>  
<sup>1</sup> Technische Universität Dresden, IFE, Dresden

Kontakt E-Mail: [helmut.budzier@tu-dresden.de](mailto:helmut.budzier@tu-dresden.de)

**Zusammenfassung:** Die in ungekühlten Thermografiekameras eingesetzten Mikrobolometerarrays haben in den letzten Jahren eine starke Entwicklung genommen. Die Pixelraster und damit auch die Pixelflächen werden immer kleiner. Modernste Mikrobolometer haben bereits Pixelraster von 12  $\mu\text{m}$ , was der zu detektierenden Wellenlänge entspricht. In diesem Beitrag werden nun die physikalischen Grenzen untersucht, die eine weitere Miniaturisierung begrenzen. Für die thermische Auflösung ist das die BLIP-NETD. Die räumliche Auflösung wird durch die FAUNHOFER-Beugung begrenzt.

## Einführung

Ungekühlte Thermografiekameras auf der Basis von Mikrobolometern haben in den letzten Jahren eine rasante Entwicklung genommen. Dabei ist es vor allem die Miniaturisierung der Mikrobolometerarrays die treibende Kraft. In diesem Beitrag wird nun untersucht, durch welche physikalischen Randbedingungen die weiteren Entwicklungen von Mikrobolometern hinsichtlich der thermischen und räumlichen Auflösung begrenzt werden.

### 1. Thermische Auflösung

Die Temperaturlösung eines Infrarotsensors wird durch die rausch-äquivalente Temperaturlösung *NETD* beschrieben. Die *NETD* ist diejenige Temperaturdifferenz in einer Szene, die im Sensor einen Signal-Rausch-Abstand (SNR) von Eins erzeugt. Die kleinste *NETD* erreicht man, wenn der Sensor praktisch rauschfrei ist und damit das Strahlungsrauschen der einfallenden IR-Strahlung dominiert. In diesem Fall spricht man von hintergrundbegrenzter Auflösung BLIP (Background-limited Infrared Performance). Die hintergrundbegrenzte Temperaturlösung ist dann (Abb. 1):

$$NETD_{BLIP} = (4k^2 + 1) \sqrt{\frac{k_B B}{\sigma A_P T_O}}, \quad (1)$$

mit der Blendenzahl  $k$ , der STEFAN-BOLTZMANN-Konstante  $\sigma$ , der BOLTZMANNkonstante  $k_B$ , der Objekttemperatur  $T_O$ , der Pixelfläche  $A_P$  und der Rauschbandbreite  $B$ .



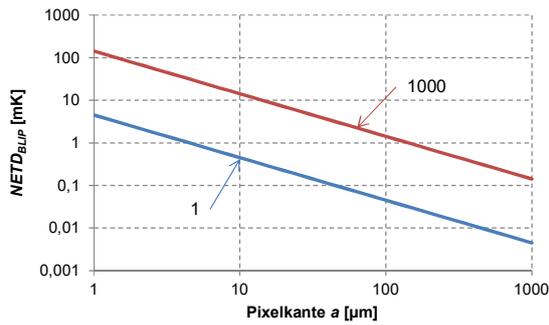


Abb. 1:  $NETD_{BLIP}$  für quadratische Pixel mit der Kantenlänge  $a$ . Blendenzahl  $k = 1$ ; Objekttemperatur  $T_O = 300$  K. Parameter: Bandbreite  $B$  in Hz.

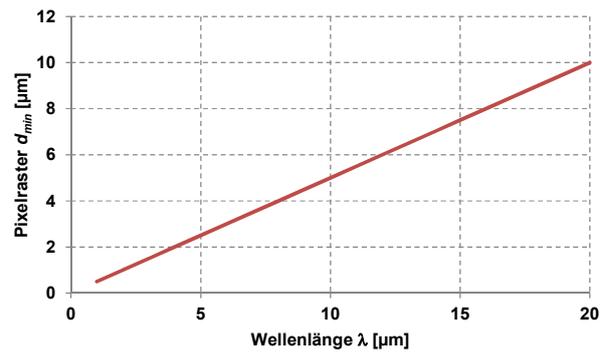


Abb. 2: Minimal sinnvolles Pixelraster  $d_{min}$ . Blendenzahl  $k = 1$ .

## 2. Räumliche Auflösung

Die optische Abbildung wird durch die FRAUNHOFER-Beugung begrenzt. Der kleinste abbildbare Messpunkt einer kreisrunden Apertur ist demnach die AIRY-Scheibe. Sie stellt die kleinste abbildbare Struktur dar. Aus ihr lässt sich mittels FOURIER-Transformation die optische Modulationstransferfunktion  $MTF_O$  berechnen. Sie gibt die maximale im Bild vorhandene Ortsfrequenz  $f_x$  an:

$$MTF\left(f_x \geq \frac{1}{\lambda k}\right) = 0 \quad (2)$$

mit der Wellenlänge  $\lambda$ . Um eine Unterabtastung zu vermeiden, muss die Raumfrequenz  $f_x$  mit doppelter Raumfrequenz bzw. halbem Pixelraster abgetastet werden:

$$d_{min} = \frac{\lambda k}{2}. \quad (3)$$

Das Pixelraster  $d_{min}$  stellt damit das kleinste sinnvolle Pixelraster dar. Für eine Blendenzahl  $k$  von Eins und einer Wellenlänge  $\lambda$  von  $10 \mu\text{m}$  ergibt sich also als minimales Pixelraster von  $5 \mu\text{m}$  (Abb. 2).

Dieser Beitrag basiert auf einem Vortrag auf der Tagung „Temperatur 2017“ am 17.05.2017 in Berlin. Ein ausführlicher Artikel zu diesem Thema erscheint in der Zeitschrift „Technische Messen“ [1].

## Referenzen

[1] Budzier, Helmut; Gerlach, Gerald: Grenzen der thermischen, räumlichen und zeitlichen Auflösung ungekühlter Thermografiekameras. tm – Technisches Messen 2017.