



Vorstellung der InfraTec GmbH

## INFRAROTSENSORIK UND MESSTECHNIK

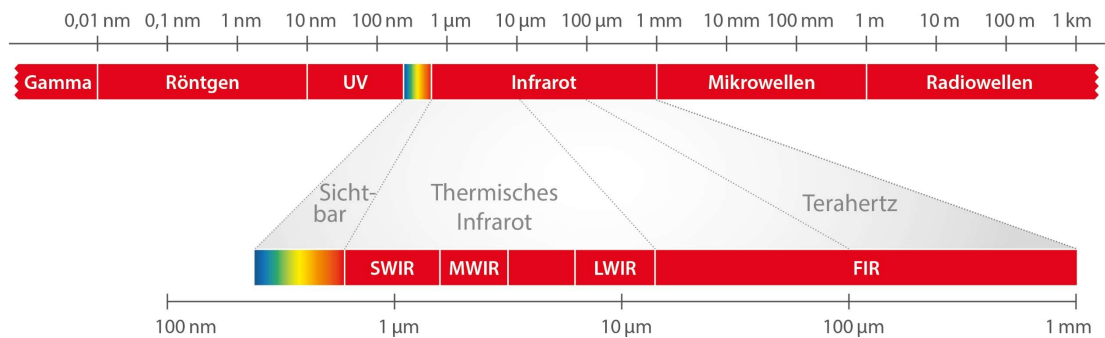
### Allgemeines zur Infrarot-Thermografie

Begriff „Infrarot-Thermografie“

- Die Infrarot-Thermografie ist überwiegend ein **passives Verfahren**, bei dem die von einem Messobjekt ausgesendete elektromagnetische Strahlung von einem Infrarot-Sensor **berührungslos** erfasst und als Intensitäts- oder Temperaturwert – dem sogenannten radiometrischen Thermobild – visualisiert wird.
- Die Infrarot-Thermografie ist ein **optisches Prüfverfahren**, bei dem die Oberfläche des Messobjektes vom Messgerät aus sichtbar sein muss.
- Es spielen aber auch die Beschaffenheit der Messstrecke sowie das Vorhandensein von **Störstrahlungsquellen** im Vorder- und ggf. im Hintergrund des Messobjektes eine entscheidende Rolle.

## Allgemeines zur Infrarot-Thermografie

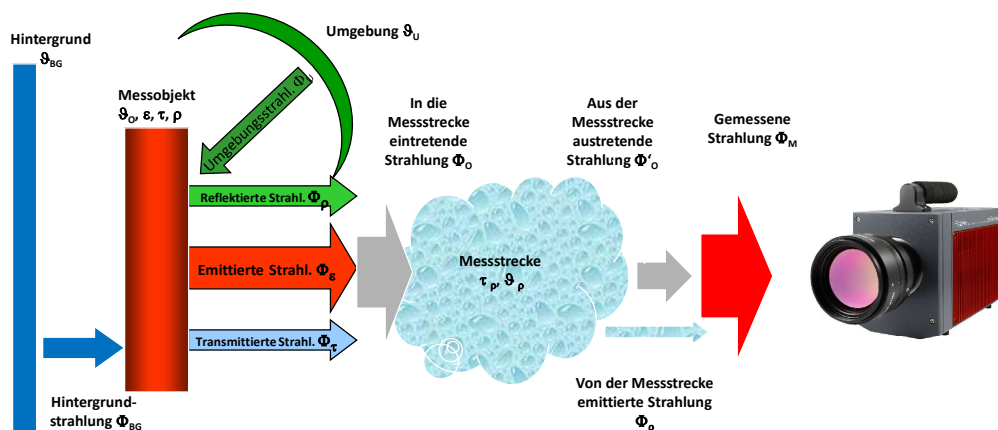
Infrarotstrahlung im elektromagnetischen Spektrum



Wellenlänge	Teilbereich des Infrarot
(0,8 ... 2) µm	Nahes Infrarot (SWIR)
(2 ... 6) µm	Mittleres Infrarot (MWIR)
(6 ... 20) µm	Fernes Infrarot (LWIR)

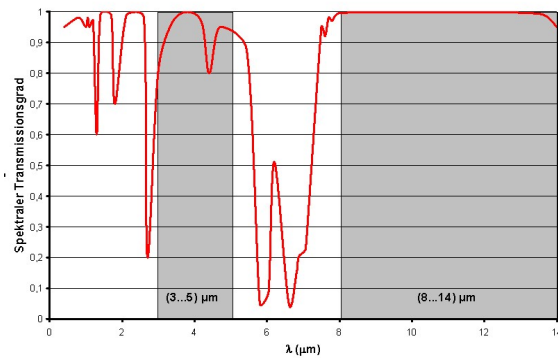
## Allgemeines zur Infrarot-Thermografie

Physikalisches Prinzip – Strahlungsanteile der thermografischen Messanordnung



## Allgemeines zur Infrarot-Thermografie

Zusammenhang zwischen Messstrecke und Transmission der Atmosphäre



Für **Messungen im Außenbereich** sollten Thermografiekameras im **langwelligen Infrarotfenster (8 ... 14)  $\mu\text{m}$**  verwendet werden.



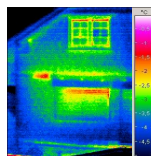
(Länge 10 m, 25 °C, 1.013 mbar, 85 % r.F.)

Die Transmission der Luft ist sehr stark wellenlängenabhängig. Während im Bereich (8 ... 14)  $\mu\text{m}$ , dem **langwelligen atmosphärischen Fenster**, die Durchlässigkeit auch über große Entfernungen gleichmäßig hoch ist, treten im Bereich (3 ... 5)  $\mu\text{m}$ , dem **mittleren atmosphärischen Fenster**, bereits bei Messentfernungen von einigen zehn Metern messbare Abschwächungen durch die Atmosphäre auf.

## Kriterien bei der Auswahl geeigneter Kameratechnik

Welches Kamerasystem wird benötigt?

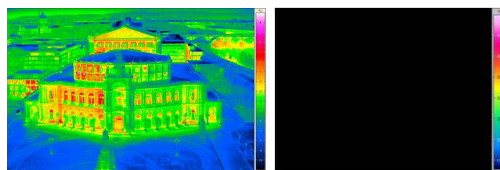
Kompaktkameras



Systemkameras



High-End-Kameras



## Kriterien bei der Auswahl geeigneterameratechnik

Welches Kamerasystem ist wirklich notwendig?



- ☐ Spektraler Detektionsbereich
  - ☐ SWIR (0,8 ... 2)  $\mu\text{m}$  / MWIR (2 ... 5)  $\mu\text{m}$  / LWIR (8 ... 14)  $\mu\text{m}$
- ☐ Detektorprinzip
  - ☐ Photonendetektor (Snapshot) oder Mikrobolometer-Detektor (Zeilenmodus)
- ☐ Triggerbarkeit / Synchronisierung
  - ☐ Nicht vorhanden / bildgenauer Kameratrigger / sehr exakte Triggerein- und -ausgänge
- ☐ Thermisches Auflösungsvermögen
  - ☐ NETD in mK (Noise Equivalent Temperature Difference)
- ☐ Detektorformate (Geometrische Auflösung)
  - ☐ (2.560  $\times$  2.048) / (1.920  $\times$  1.536) / (1.280  $\times$  1.024) / (1.024  $\times$  768) / (640  $\times$  512) / (640  $\times$  480) / (384  $\times$  288) / (320  $\times$  256) / (160  $\times$  120) IR-Pixel
- ☐ Bildaufnahme Frequenz (Vollbild / Teilbild)
  - ☐ 9 Hz / 30 Hz / 60 Hz / 100 Hz / 350 Hz / 1.000 Hz ... 105.000 Hz
- ☐ Integrationszeit und Ausleseverfahren
  - ☐  $\mu\text{s}$ -Bereich / ms-Bereich

## Kriterien bei der Auswahl geeigneterameratechnik

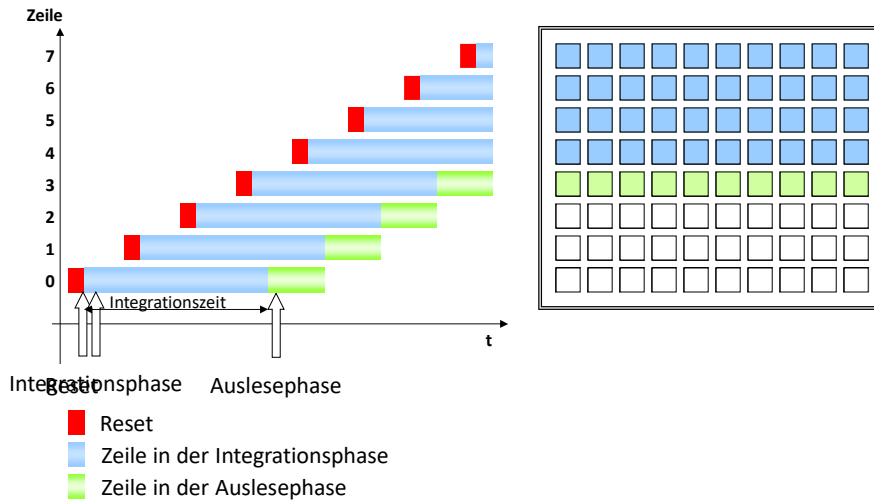
Kalibrierung – automatisiert, präzise und kundenspezifisch

- ☐ Präzisionskalibrierung inkl. **Kalibrierzertifikat** in Messbereichen (-40 ... 3.000) °C
- ☐ **3-Kennlinien Kalibrierung** mit einer Haupt- und 2 Nebenkennlinien zur Kompensation von Umgebungstemperaturschwankungen ermöglicht wiederholgenaue Messungen sowie ein optimales Einlaufverhalten
- ☐ Simultane, **automatisierte Kalibrierung** mehrerer Systeme
- ☐ Teilautomatisierte Kalibrierung **kundenspezifischer Sondermessbereiche**



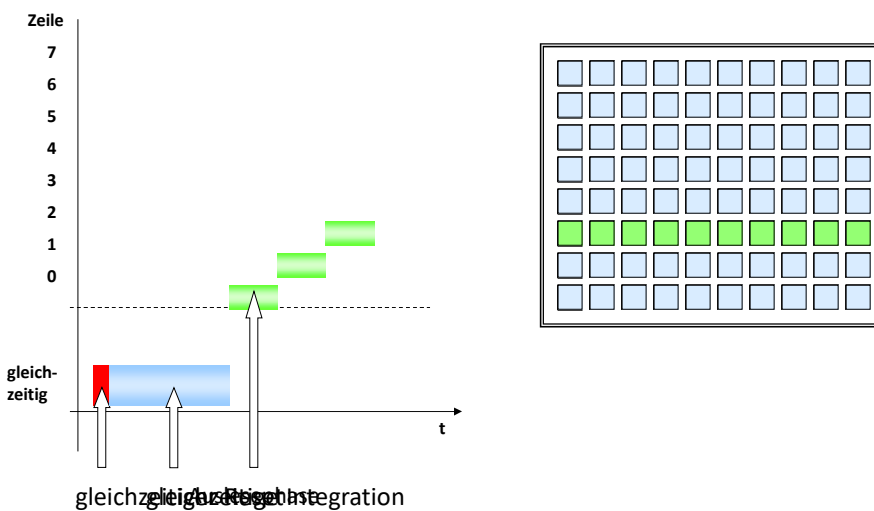
## Kriterien bei der Auswahl geeigneterameratechnik

Zeilenweise Arbeitsweise von FPA-Detektoren



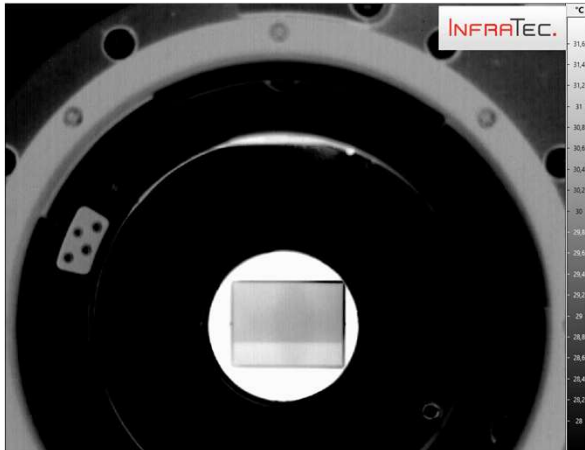
## Kriterien bei der Auswahl geeigneterameratechnik

Snapshot Arbeitsweise von FPA-Detektoren



## Kriterien bei der Auswahl verschiedener Detektortechnologien

Ausleseverfahren von FPA-Detektoren – Mikrobolometer



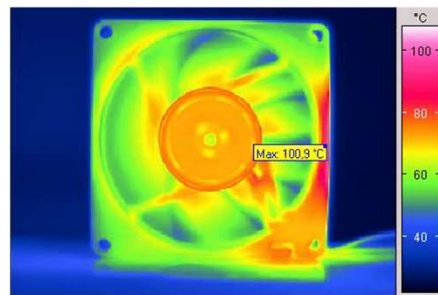
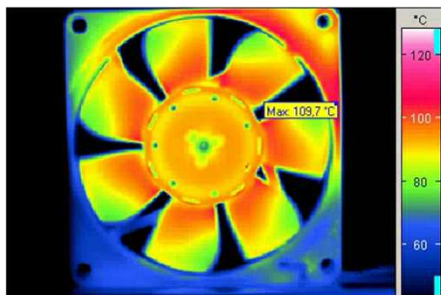
Funktionsweise LWIR-Mikrobolometer

- ☐ Aufnahme mit einem LWIR-Photonendetektor
- ☐ Ca. 300-fache Verlangsamung
  - ☐ 60 Hz wären Echtzeit
- ☐ Zeilenweise Reset- und Integrationsphase
  - ☐ Im Millisekunden Bereich
- ☐ Erwärmung der Zeile beim Auslesevorgang

## Kriterien bei der Auswahl verschiedener Detektortechnologien

Ausleseverfahren von FPA-Detektoren

- |   |  |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> <b>Snapshot Ausleseverfahren</b> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> Gleichzeitige Reset- und Integrationsphase</li> <li><input type="checkbox"/> Detektortyp: Photonendetektor</li> <li><input type="checkbox"/> Für schnelle Prozesse geeignet</li> </ul> </li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> <b>Zeilenweise Auslesung</b> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> Zeilen- oder blockweise Reset- und Integrationsphase</li> <li><input type="checkbox"/> Detektortyp: Mikrobolometer</li> <li><input type="checkbox"/> Bedingt für schnelle Prozesse und Temperaturänderungen geeignet</li> </ul> </li> </ul> |
|---|--|



## Kriterien bei der Auswahl verschiedener Detektortechnologien

Details zu Infrarot Detektoren – Vor- und Nachteile



**Photonen- / Quantendetektoren**

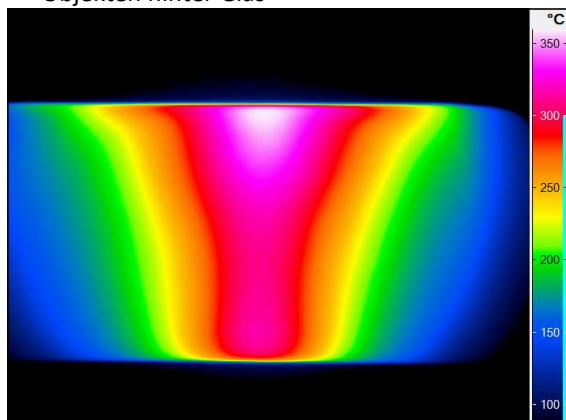
**Thermische Detektoren (Mikrobolometer)**

Material	MCT, InSb, SLS, QWIP @ ~77 °K; InGaAs	a-Si, VOx
Spektraler Bereich	<b>SWIR, MWIR, LWIR</b> (Spektrale Thermografie)	<b>LWIR</b>
Thermische Empfindlichkeit	<b>≤ 20 (10) mK</b>	< 30 mK
Größe FPA	Bis zu <b>(2.560 × 2.048) IR-Pixel</b> / 5 µm PP	Bis zu <b>(1.024 × 768) IR-Pixel</b> / 17 µm PP
Langzeitstabilität	Hoch	Gut – (Abhängig von der Detektorgüte)
Zeitkonstante	IT: (< 1 ... > 20,000) µs – bis zu 105,000 fps	Thermische Trägheit: ~ 10 ms – ca. 30 / 50 fps
Ausleseverfahren	Snap shot	Zeilenweise
Lebensdauer	Benötigt Wartung wegen Kühleinheit	Wartungsfrei
Kosten	Hoch	Gering

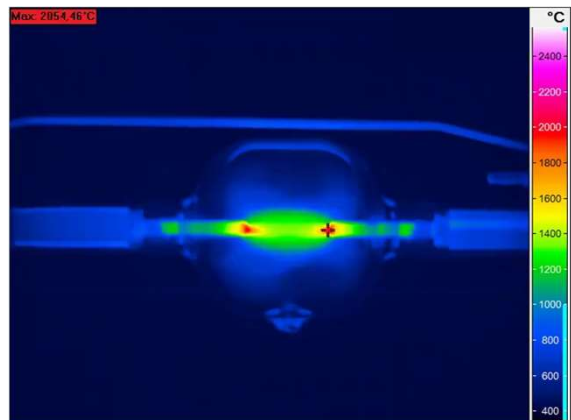
## Kriterien bei der Auswahl geeigneter Kameratechnik

Auswahl des spektralen Empfindlichkeitsbereiches – Glasmessung

- ☐ Kamerasystem mit Spezialfilter zur Messung der Glas-Oberflächentemperatur sowie Objekten hinter Glas



Auf-Glas-Filter: Spezialfilter 5,1 µm



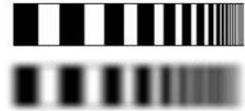
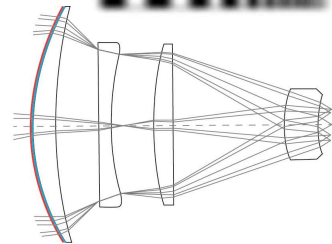
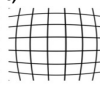
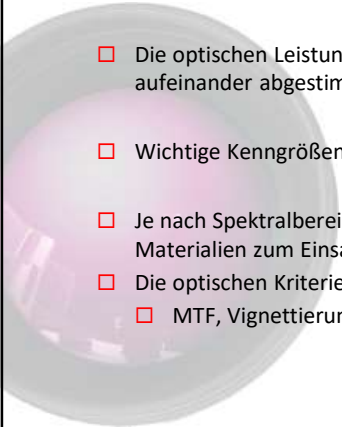
Durch-Glas-Filter: Spezialfilter 2,3 µm

## Kriterien bei der Auswahl geeigneter Kamertechnik

Details zu Infrarot-Optiken

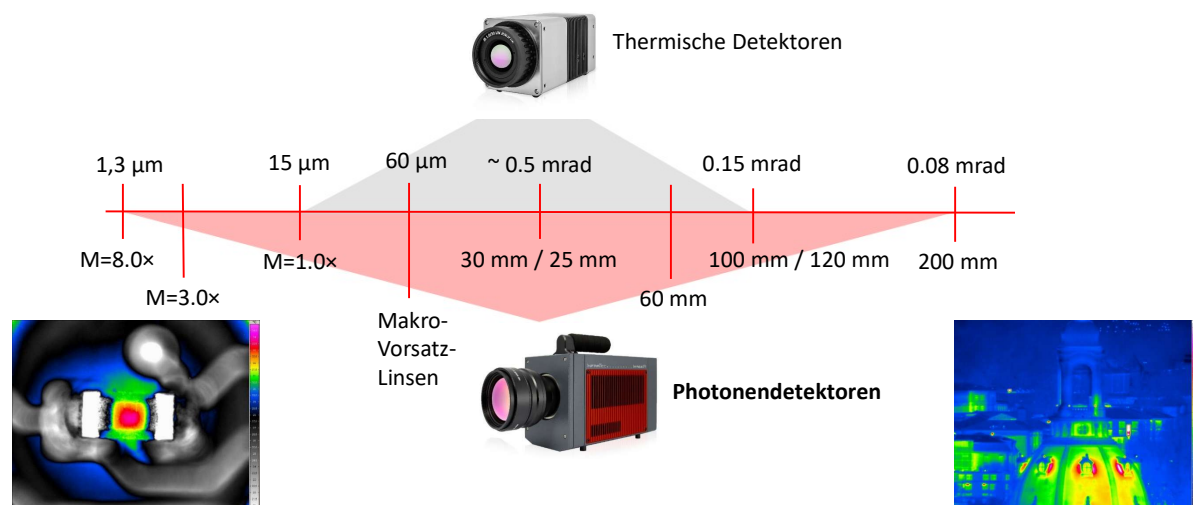
### □ Unterscheidungsmerkmale „Objektive aus einer Linse oder mehreren Linsen“

- IR-Objektive stellen eine der wichtigen Schlüsselkomponenten für das Thermografiesystem dar.
- Die optischen Leistungsparameter können hinsichtlich Funktionalität, Qualität und flexibler Anwendung aufeinander abgestimmt werden.
- Wichtige Kenngrößen sind Brennweite, Blickwinkel, Lichtstärke, Spektralbereich.
- Je nach Spektralbereich kommen verschiedene IR-transparente Materialien zum Einsatz, wie Silizium, Germanium oder Zinkselenid.
- Die optischen Kriterien sind ähnlich wie im „sichtbaren Bereich“
- MTF, Vignettierung, Verzeichnung, Fokusstabilität, ...



## Kriterien bei der Auswahl geeigneter Kamertechnik

Übersicht zu verfügbaren Objektiven je Kamerateyp





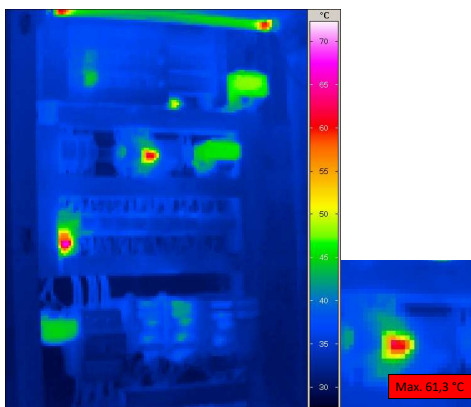
## Kriterien bei der Auswahl geeigneterameratechnik

### Geometrische Auflösung

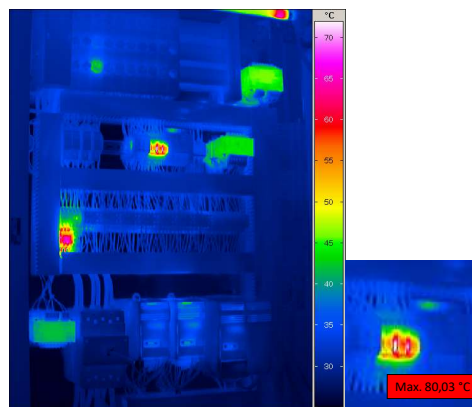
- ❑ **Definition:**  
Die geometrische Auflösung kennzeichnet allgemein die Fähigkeit eines Sensorsystems, Signale von benachbarten Objektstrukturen getrennt zu erfassen.
- ❑ Wird ein ungeeignetes Sensorsystem zur Erfassung einer komplexen Objektstruktur verwendet, kommt es – oftmals unbemerkt – zu geometrisch bedingten Messfehlern.

## Kriterien bei der Auswahl geeigneterameratechnik

### Geometrisch bedingte Messfehler am Beispiel der Elektrothermografie



Bildformat (160 × 120) IR-Pixel  
**geometrischer Messfehler vorhanden,**  
mind. 64 Detailaufnahmen notwendig

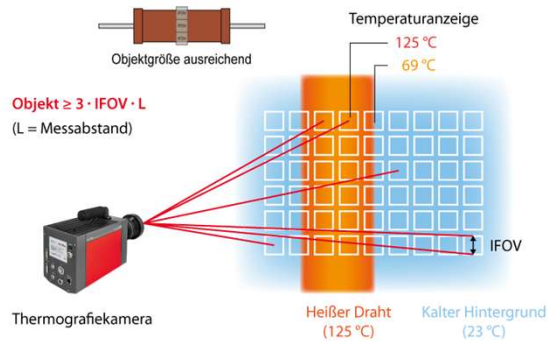


Bildformat (1.280 × 960) IR-Pixel  
**Übersichtsmessung mit einer Aufnahme**

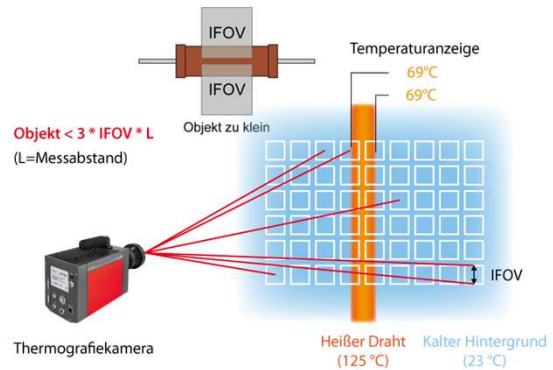
## Kriterien bei der Auswahl verschiedener Detektortechnologien

Geometrisch bedingte Messfehler – Entstehung

### Ausreichende geometrische Auflösung



### Unzureichende geometrische Auflösung



Vereinfacht gilt folgende Beziehung:  $X \text{ [mm]} = j \text{ [mrad]} \cdot d \text{ [m]}$   
 Beispiel:  $1,5 \text{ mrad} \cdot 0,5 \text{ m} = 0,75 \text{ mm}$

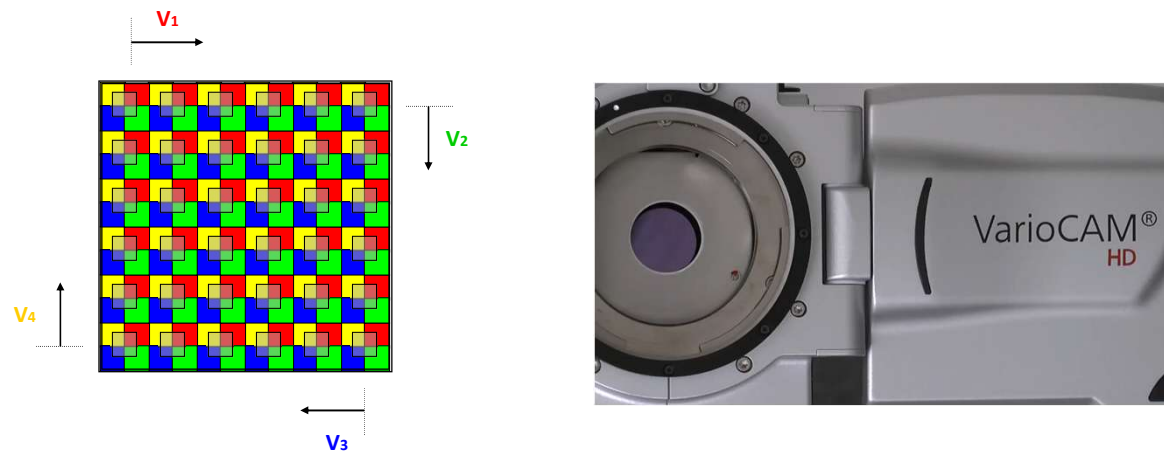
## Kriterien bei der Auswahl geeigneter Kameratechnik

Geometrisch bedingte Messfehler – Zusammenfassung

- ❑ Bei vielen Anwendungen in Industrie und Forschung ist die Anforderung an die geometrische Auflösung sehr hoch, da:
  - ❑ Sehr **kleine Messobjekte** oder Strukturen exakt aufzulösen sind
  - ❑ Details auf **großflächigen Messobjekten** effizient thermografiert werden müssen
  - ❑ **Weit entfernte Messobjekte** zuverlässig und fehlerfrei aufzulösen sind
- ❑ Je besser **die Bild- und / oder Detektorauflösung** und je mehr Messwerte im Thermogramm abgebildet werden, desto detailgetreuer („klarer“) ist die Abbildung und geringer die Gefahr einer geometrisch bedingten Fehlmessung.
- ❑ Lösung in der Praxis:
  - ❑ Einsatz von Kameras mit **hochauflösenden Detektoren**
  - ❑ Nutzung der **MicroScan-Einheit**
  - ❑ Nutzung von **Tele-, Makro- oder Mikroskopobjektiven**

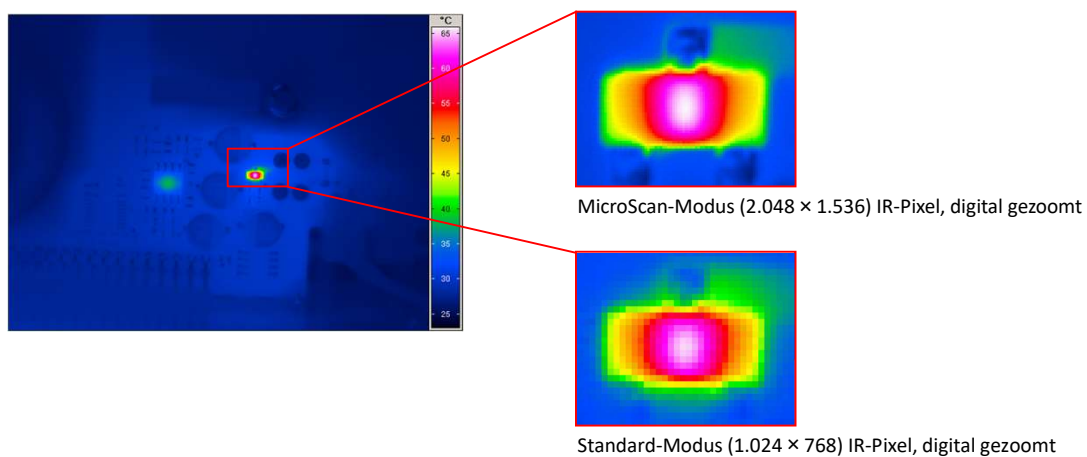
## Kriterien bei der Auswahl geeigneterameratechnik

Funktionsprinzip – MicroScan-Funktion



## Kriterien bei der Auswahl geeigneterameratechnik

MicroScan-Funktion der VarioCAM<sup>®</sup>-Serie



## Kriterien bei der Auswahl verschiedener Detektortechnologien

### Thermisches Auflösungsvermögen

- **Definition:** Ist die kleinste von einem optischen System am Objekt auflösbare Temperaturdifferenz, beschrieben durch:

- NETD = Noise Equivalent Temperature Difference =  $\Delta T$  [K]

- Abhängigkeiten:

- Typ und Qualität des implementierten IR-Sensors
- Spektraler Empfindlichkeitsbereich der Kamera
- Optikdesign (Linsenmaterial, Coating, Konzeption (F/1))
- Bildverarbeitungsalgorithmen
- Messbereiche (Integrationszeiten, Blenden, Graufilter)

- Vergleichsaufnahmen

- Mikrobolometertechnik im Format (640 × 480) IR-Pixel
- Mit unterschiedlicher thermischer Auflösung

