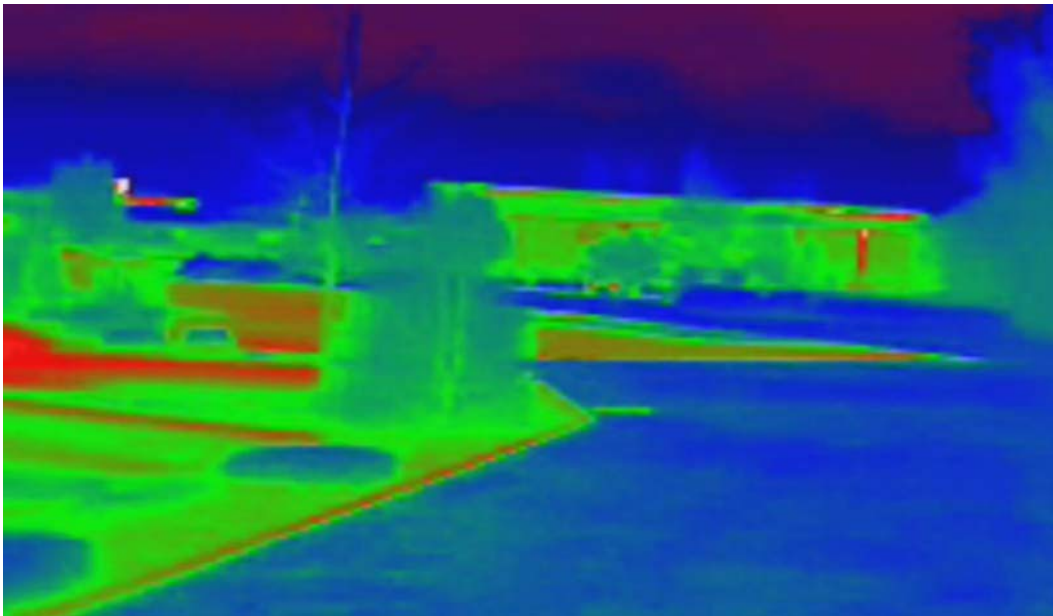


Leitfaden Thermografie



ABUS Security Center GmbH & Co. KG

Version 1.0

Inhaltsverzeichnis

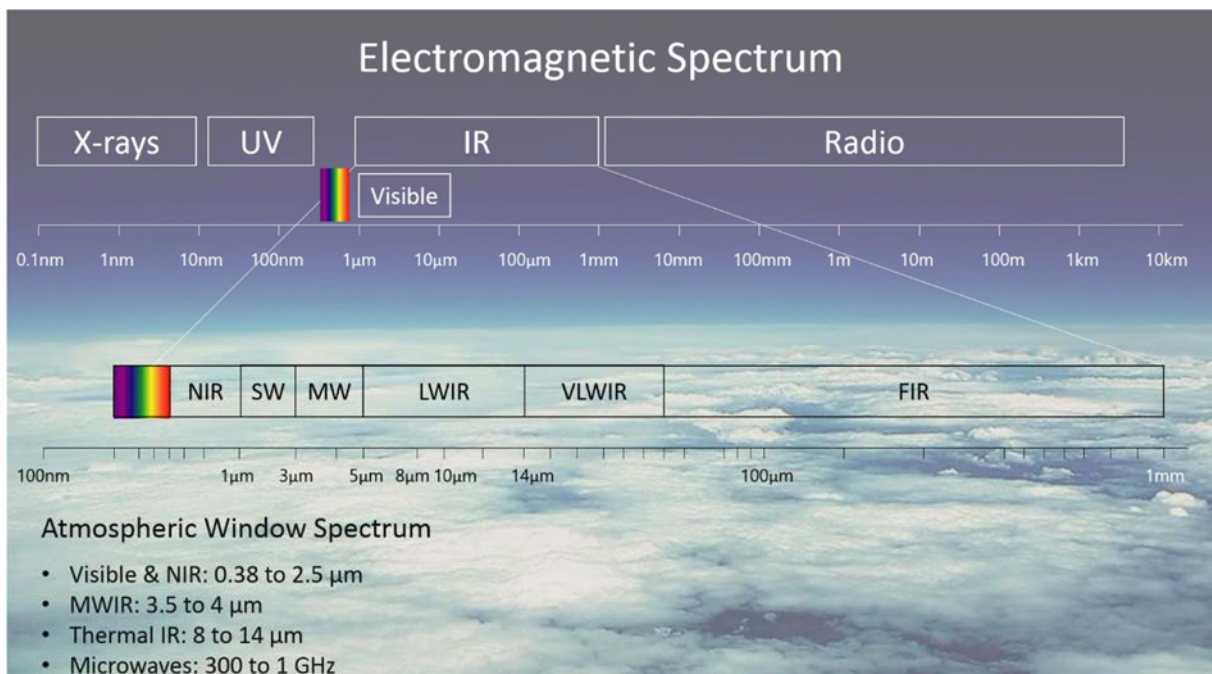
1.	Einführung	3
1.1.	Was ist Thermische Strahlung.....	3
1.2.	Physikalisches Grundprinzip	4
1.3.	Vorteile der Wärmebildtechnik.....	4
2.	Physikalische Parameter	4
2.1.	Johnson Kriterien.....	4
2.2.	Auflösung.....	5
2.3.	NETD	5
2.4.	Pixelabstand	5
2.5.	Referenztemperaturen.....	5
3.	Gründe für die Thermografie	5
4.	Umwelteinflüsse	6
4.1	Atmosphärische Absorption.....	6
4.2	Atmosphärische Streuung	6
4.3	Nebel, Smog, Regen und Schnee	7
5.	Komponenten einer Thermalkamera.....	7
5.1.	Objektive für Thermaltechnik.....	7
5.2.	Detektor / Bildaufnehmer	8
6.	Anwendungen.....	9
6.1.	Perimeterüberwachung	9
6.2.	Brandfrüherkennung.....	9
6.3.	Temperaturmessung	9
6.4.	Observation	10
7.	Installationshinweise.....	10
8.	Wartung	10
8.1.	Reinigung.....	10

1. Einführung

1.1. Was ist Thermische Strahlung

Alle Objekte in der Natur mit einer Temperatur über dem absoluten Nullpunkt (-273 °C) strahlen elektromagnetische Wellen aus. Infrarotstrahlung (IR) ist eine der umfangreichsten elektromagnetischen Strahlungen in der Natur. Die zufällige Bewegung von Molekülen und Atomen aller Objekte in einer herkömmlichen Umgebung strahlt ständig thermische IR-Energie aus.

Als eine Art elektromagnetische Welle hat die thermische IR-Strahlung alle physikalischen Eigenschaften elektromagnetischer Wellen. Wenn die elektromagnetische Welle die Atmosphäre durchdringt, wird sie reflektiert, absorbiert, gestreut und ihre Energie wird gedämpft. Wellenlängen des elektromagnetischen Spektrums mit hoher Durchlässigkeit, die ohne viel Reflexion, Absorption und Streuung durch die Atmosphäre übertragen werden können, werden atmosphärische Fenster genannt.



Die Wärmebildtechnik empfängt hauptsächlich mittelwelliges Infrarot (d. h. MWIR) und langwelliges Infrarot (d. h. LWIR), das vom Objekt emittiert wird.

Folgende Grundeigenschaften bestehen zwischen diesen beiden Wellenlängenbereichen:

MWIR:

- 3 bis 5 μm Wellenlänge
- Transparent gegenüber Glas und Kunststoff
- Klares Wetter ist erforderlich. Der Wellenlängenbereich der atmosphärischen Absorption liegt zwischen 4,2 und 4,5 μm
- Leichteres Durchdringen bei hoher Luftfeuchtigkeit

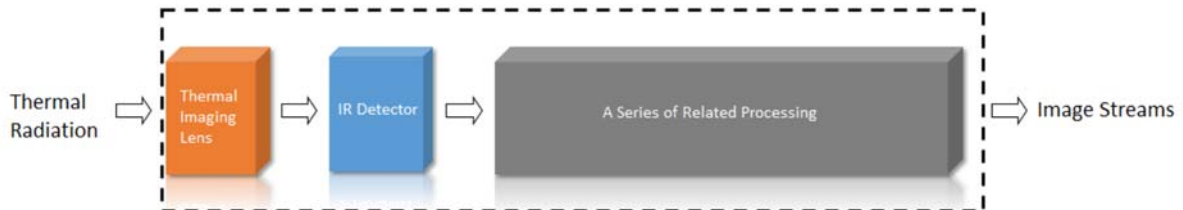
LWIR:

- 8 bis 14 μm Wellenlänge
- Undurchsichtig gegenüber Glas und dickem Kunststoff. Oberflächentemperatur messbar
- Kann Rauch, Nebel und Staub durchdringen
- Unempfindlich gegen Hintergrundinterferenzen durch sichtbares Licht

1.2. Physikalisches Grundprinzip

IR-Strahlung eines Objekts wird durch das Wärmebildobjektiv auf den IR-Detektor projiziert. IR-Detektor wandelt Strahlungssignale unterschiedlicher Intensität in entsprechende elektrische Signale um. Nach Verstärkung und Videoverarbeitung werden elektrische Signale zu einem für das menschliche Auge sichtbaren Videobild.

Die Thermografie entdeckt und detektiert das Ziel mit einem Thermografiebild, das durch Strahlungsunterschiede zwischen dem Ziel und dem Hintergrund oder verschiedenen Teilen des Ziels gebildet wird.



1.3. Vorteile der Wärmebildtechnik

Mit starker Anpassungsfähigkeit an die Umgebung kann das Wärmebildgerät Menschen, Fahrzeuge und andere Ziele in einer Umgebung ohne Licht oder mit schlechter Beleuchtung erkennen. In Umgebungen mit starkem Licht kann es auch die subtilen Temperaturänderungen auf der Zieloberfläche schnell überwachen. Daher kann es zur Zieltemperaturmessung verwendet werden.

2. Physikalische Parameter

2.1. Johnson Kriterien

Die zur Detektion erforderliche Auflösung wird in Pixel angegeben. Unter Verwendung von Johnsons Kriterien von 1950 wurden viele Vorhersagemodelle für die Sensortechnologie entwickelt, die die Leistung von Sensorsystemen unter verschiedenen Umgebungs- und Betriebsbedingungen vorhersagen. Diese Kriterien liefern eine 50 % Wahrscheinlichkeit, dass ein Beobachter ein Objekt in bestimmtem Maße erkennt.

- **Detektion:** Die Fähigkeit, ein Ziel im Sichtfeld zu entdecken. In diesem Fall sollte das Bild nicht weniger als 1,5 Pixel über die kritische Dimension des Ziels einnehmen.
- **Erkennung:** Die Fähigkeit, die Art des Ziels, beispielsweise ein Fahrzeug oder einen Menschen, zu erkennen und zu bestimmen. In diesem Fall sollte das Bild nicht weniger als 6 Pixel über die kritische Dimension des Ziels einnehmen.
- **Identifizieren:** Die Fähigkeit, das Modell und andere Merkmale des Ziels zu identifizieren, wie z. B. die Unterscheidung zwischen Freund und Feind. In diesem Fall sollte das Bild nicht weniger als 12 Pixel über die kritische Dimension des Ziels einnehmen.

2.2. Auflösung

Die Detektorauflösung, ein wichtiger Parameter zur Messung der Qualität eines Detektors, gibt die Menge der Einheitsdetektionselemente auf der Brennebene des Detektors an. Je höher die Auflösung ist, desto klarer wäre das Bild. Detektorauflösungen in der Industrie umfassen hauptsächlich 160×120 , 256×192 , 384×288 und 640×512 . Für spezielle Anwendungsszenarien gibt es auch hochauflösende Detektoren.

2.3. NETD

Die rauschäquivalente Temperaturdifferenz (NETD) bezieht sich auf die thermische Empfindlichkeit der IR-Wärmebildkamera. NETD beschreibt die Empfindlichkeit der IR-Wärmebildkamera gegenüber Temperaturänderungen. Dieser Indikator spiegelt die Rauschunterdrückungsfähigkeit der Wärmebildkamera während der Analyse und Verarbeitung des Schaltkreises wider und ist einer der Hauptindikatoren für die Leistungsmessung des IR-Detektors.

Die Fähigkeit der Wärmebildkamera, die minimale Temperaturdifferenz der Zielstrahlung zu erkennen, wird durch die rauschäquivalente Temperaturdifferenz (NETD) gemessen. Je höher die Temperaturauflösung ist, desto deutlicher erkennt das Wärmebildgerät die Temperaturänderung, was eine kleinere NETD und eine höhere Bildqualität bedeutet.

2.4. Pixelabstand

Der Detektorabstand bezieht sich auf den Abstand zwischen den einzelnen Sensoreinheiten. Je kleiner der Detektorabstand ist, desto mehr Details würde das Bild enthalten. Die wichtigsten Detektorabstände in der Industrie sind $17 \mu\text{m}$ und $12 \mu\text{m}$.

2.5. Referenztemperaturen

- Klarer Himmel (sog. „kalte Himmelsstrahlung“): -50 bis $-60 \text{ }^\circ\text{C}$
- Kochendes Wasser: $100 \text{ }^\circ\text{C}$ (Normaldruck auf Meereshöhe)
- Körpertemperatur Mensch: 36.5 bis $37.4 \text{ }^\circ\text{C}$

3. Gründe für die Thermografie

Mit starker Anpassungsfähigkeit an die Umgebung kann das Wärmebildgerät Menschen, Fahrzeuge und andere Ziele in einer Umgebung ohne Licht oder mit schlechter Beleuchtung erkennen. In Umgebungen mit starkem Licht kann es auch die subtilen Temperaturänderungen auf der Zieloberfläche schnell überwachen. Daher kann es zur Zieltemperaturmessung verwendet werden.

Einige Beispiele für Thermografieanwendungen sind:

- Temperaturmessung vs. Temperaturunterschiedermittlung
- Überwachung von Bereichen ohne sichtbarem Licht
- Überwachung großer Flächen, bei der die Ausleuchtung unwirtschaftlich wäre
- Überwachungsanwendungen mit komplettem Schutz der Privatsphäre
- Temperaturmessung mit Abstand zum Messobjekt

4. Umwelteinflüsse

4.1 Atmosphärische Absorption

Die Hauptbestandteile in der Atmosphäre, die für den größten Teil der IR-Strahlungsabsorption verantwortlich sind, sind Wasserdampf und CO₂. Wasserdampf macht etwa 1 % der gesamten Atmosphäre aus und CO₂ macht 0,03 % bis 0,05 % aus. Wasserdampf konzentriert sich hauptsächlich unterhalb von 2 bis 3 km der Atmosphäre, und CO₂ ist gleichmäßiger in der Atmosphäre verteilt als Wasserdampf.

Praktisch gesehen wird die von einem Objekt abgestrahlte Wärme durch Wasserdampf und CO₂ anteilmäßig absorbiert, bevor diese den Ort der thermischen Messung erreicht. Die Bildqualität wird dabei beeinflusst.

4.2 Atmosphärische Streuung

In die Atmosphäre übertragene IR-Strahlung unterliegt auch der Luftmolekülstreuung (atmosphärische Molekülstreuung und Teilchenstreuung). Partikelstreuung ist die Streuung verschiedener Partikel, die nur in der Atmosphäre existieren, wie Staub von der Erdoberfläche, Rauch, Wassertröpfchen und Salzpartikel.

4.3 Nebel, Smog, Regen und Schnee

Im Gegensatz zu Kameras, die sichtbares Licht abbilden, kann eine Thermalkamera sehr viel besser mit Nebel und Smog umgehen. Am praktischen Beispiel ist dies in den folgenden Bildern zu sehen.

Kamera für sichtbares Licht



Thermalkamera

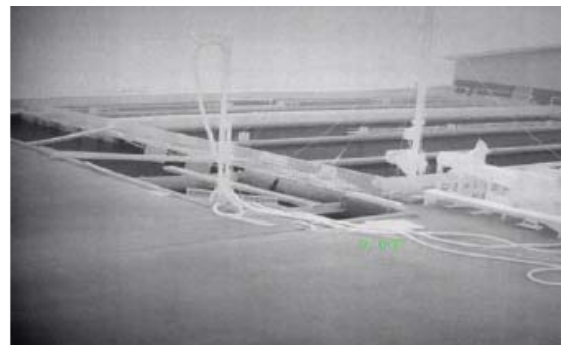


Gleiches gilt für Regen oder Schnee.

Kamera für sichtbares Licht



Thermalkamera



5. Komponenten einer Thermalkamera

5.1. Objektive für Thermaltechnik

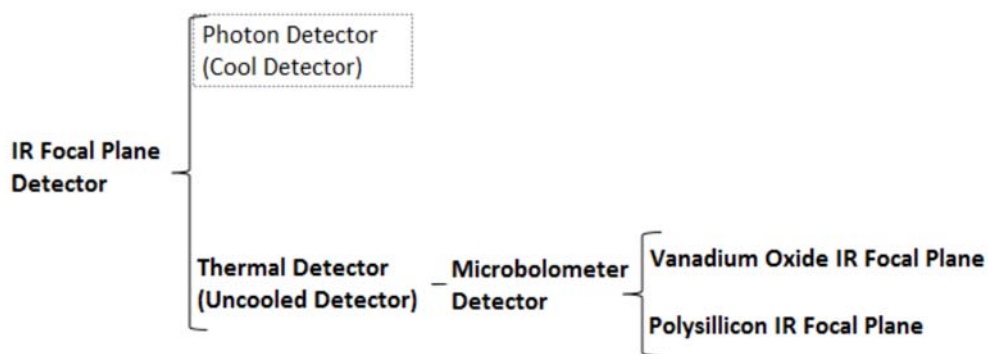
Im Allgemeinen verwenden Wärmebildkameras IR-Objektive. Nach Materialien klassifiziert gibt es Germanium- und Chalkogenid-Linsen. Mit einem hohen Brechungskoeffizienten sind diese beiden Arten von Linsen nur für IR-Licht transparent und für sichtbares Licht und Ultraviolett undurchlässig.

- Germanium-Glaslinse: Hohe Härte, teuer, geeignet zur Herstellung elektrisch abstimbarer Linsen mit langer Brennweite. Das elektrisch einstellbare Objektiv hat eine große Schärfentiefe und eine kurze Blindzone, die das Fokussieren auf Ziele in unterschiedlichen Entfernungen unterstützt.

- Chalkogenid-Glaslinse: Geringe Empfindlichkeit gegenüber Außentemperatur, stabile Bildausgabe, niedrige Kosten, hohe Verarbeitungseffizienz und geeignet für die Herstellung athermalisierter Linsen mit kurzer oder mittlerer Brennweite.

5.2. Detektor / Bildaufnehmer

Je nach Arbeitstemperatur können Detektoren in zwei Typen eingeteilt werden: gekühlter Detektor und ungekühlter Detektor. Das folgende Bild zeigt die wichtigsten Arten von Wärmemeldern auf dem Markt.



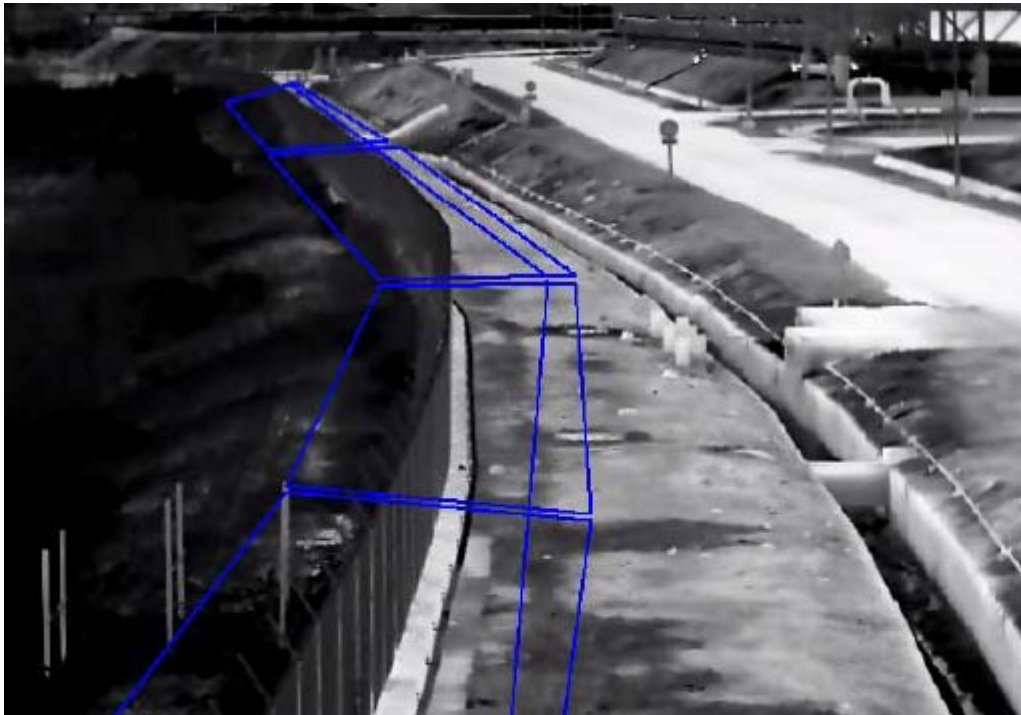
- Ungekühlter Detektor: Basierend auf dem Mikrobolometer und der thermischen Detektion ist der ungekühlte Detektor die übliche Wahl auf dem Markt. Wenn grundlegende zivile Anforderungen erfüllt sind, erfordert der ungekühlte Detektor keine Tieftemperaturkühlung und ist kostengünstig.
- Gekühlter Detektor: Ein gekühlter Detektor ist mit einem Kryokühler integriert, um die Detektortemperatur zu senken, wodurch das thermische Rauschen auf ein Niveau reduziert wird, das unter dem des Signals der abgebildeten Szene liegt. Der gekühlte Detektor hat Vorteile wie hohe Empfindlichkeit, schnelle Ansprechgeschwindigkeit und gute Bildqualität. Integriert in den Kryokühler ist er groß und erfordert hohe Herstellungskosten. Der gekühlte Detektor wird hauptsächlich im Militär eingesetzt.

6. Anwendungen

6.1. Perimeterüberwachung

Wärmebildkameras in Verbindung mit Objekterkennungsalgorithmen sind sehr gut geeignet, um Außengrenzen von Flächen zu überwachen. Wettereinflüsse, Dunkelheit oder besonders starke Lichteinflüsse können Wärmebildkameras viel besser als Kameras für das sichtbare Licht handhaben.

Basierend auf der Erkennung thermischer Eigenschaften ist der Erfassungsbereich von Wärmebildkameras um ein Vielfaches höher als der von Kameras für sichtbares Licht. Für einen festgelegten Abstand werden weniger Geräte und geringere Installationskosten benötigt. Die Gesamtprojektkosten sind niedriger.



6.2. Brandfrüherkennung

Wärmebildkameras sind für die Brandfrüherkennung bestens geeignet, da sie bereits bei signifikanter Temperaturerhöhung eines Bereiches Alarm geben können, noch bevor ein Brand entsteht. Anwendung finden diese Kamera im Außenbereich (Waldbrandfrüherkennung) oder im Innenbereich (Lagerüberwachung).

6.3. Temperaturmessung

Mit Wärmebildkameras könnten Temperaturen genau gemessen werden. Dies kann z.B. im industriellen Sektor Anwendung finden. Dafür sind speziell kalibrierte Wärmebildkameras nötig,

welche eine genau Messung möglich machen.

6.4. Observation

Wärmebildkamera können bei observatorischen Vorgängen zur Anwendung kommen. Ein praktisches Beispiel ist die Überwachung von Freiwild speziell bei Nacht.

7. Installationshinweise

Folgende Grundregeln der Installation von Thermalkameras sind bereits bei der Planung von Anwendungen zu beachten.

- Die Kamera sollte so wenig wie möglich Himmel sehen. Neigen Sie die Kamera entsprechend bzw. wählen Sie die Installationshöhe entsprechend
- Die Kamera muss freie Sicht auf das zu erkennende Objekt haben.
- Objekte im Bild mit hohem Reflektionsgrad können die Temperaturmessung beeinflussen. Speziell im Außenbereich sollte dies bei der Planung beachtet werden.

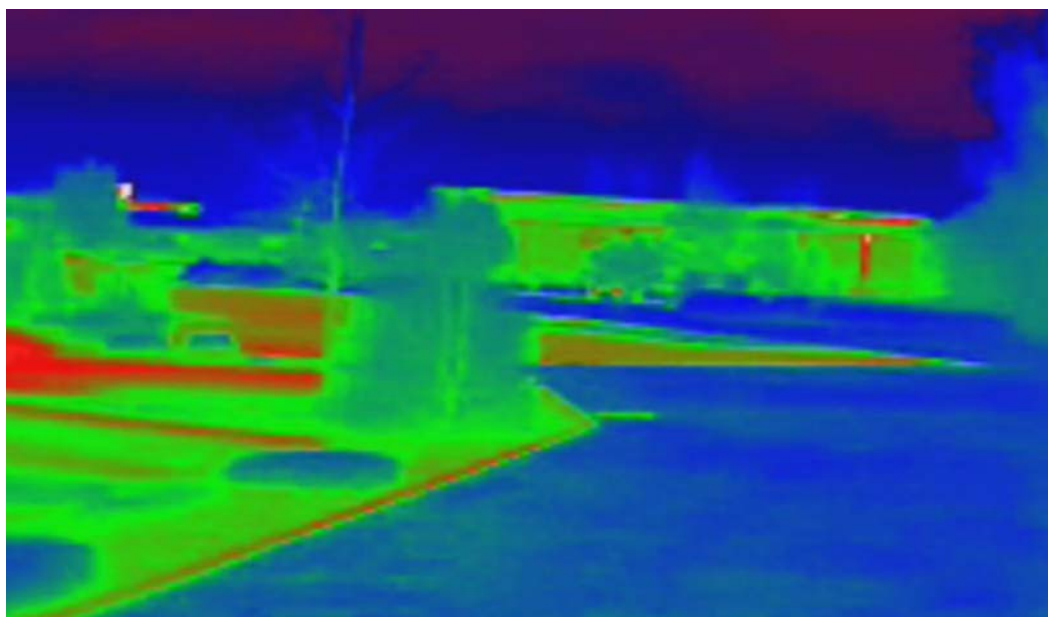
8. Wartung

8.1. Reinigung

Das Objektiv einer Thermalkamera sollte so wenig wie möglich gereinigt werden, da das Objektiv in der Regel sehr empfindlich ist. Sollte sich mit der Zeit aber sehr viel Schmutz auf dem Thermalobjektiv abgelagert haben, so können folgende Schritte zur Reinigung vorsichtig vorgenommen werden.

- Bitte niemals das Thermalobjektiv mit den Fingern berühren
- Verwendung von Druckluftspray aus der Dose für die Grobreinigung. Vorsichtige Verwendung des Sprays mit entsprechend Abstand.
- Verwendung von Watte bzw. Wattebällchen
- Verwendung von 90%-igem Isopropylalkohol

Thermography guide



ABUS Security Center GmbH & Co KG

Version 1.0

Table of contents

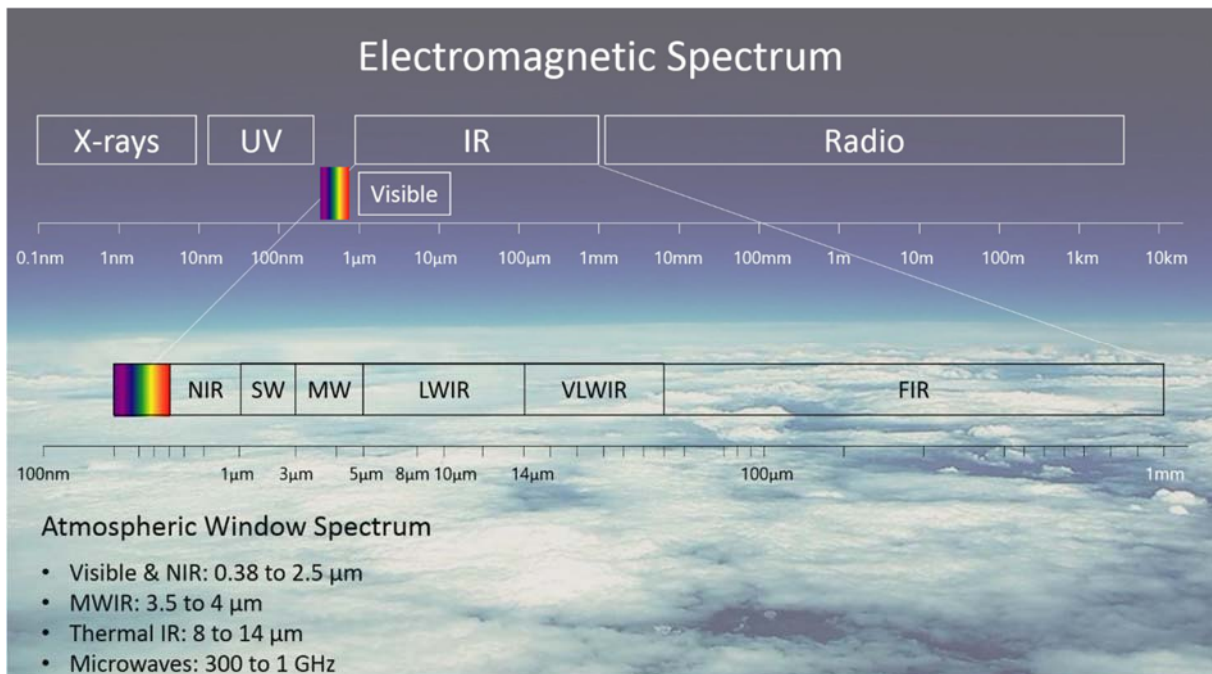
1.	Introduction	3
1.1.	What is thermal radiation	3
1.2.	Basic physical principle	4
1.3.	Advantages of thermal imaging	4
2.	Physical parameters	4
2.1.	Johnson criteria	4
2.2.	Resolution	5
2.3.	NETD	5
2.4.	Pixel pitch	5
2.5.	Reference temperatures	5
3.	Reasons for thermography	5
4.	Environmental influences	6
4.1	Atmospheric absorption	6
4.2	Atmospheric scattering	6
4.3	Fog, smog, rain and snow	7
5.	Components of a thermal camera	7
5.1.	Lenses for thermal technology	7
5.2.	Detector / Image Recorder	8
6.	Applications	9
6.1.	Perimeter monitoring	9
6.2.	Early fire detection	9
6.3.	Temperature measurement	9
6.4.	Observation	10
7.	Installation instructions	10
8.	Maintenance	10
8.1.	Cleaning	10

1. Introduction

1.1. What is thermal radiation

All objects in nature with a temperature above absolute zero (-273 °C) emit electromagnetic waves. Infrared radiation (IR) is one of the most extensive electromagnetic radiations in nature. The random movement of molecules and atoms of all objects in a conventional environment constantly emits thermal IR energy.

As a type of electromagnetic wave, thermal IR radiation has all the physical properties of electromagnetic waves. When the electromagnetic wave penetrates the atmosphere, it is reflected, absorbed, scattered and its energy is attenuated. Wavelengths of the electromagnetic spectrum with high transmittance that can be transmitted through the atmosphere without much reflection, absorption and scattering are called atmospheric windows.



Thermal imaging mainly receives mid-wave infrared (i.e. MWIR) and long-wave infrared (i.e. LWIR) emitted from the object.

The following basic properties exist between these two wavelength ranges:

MWIR:

- 3 to 5 μm wavelength
- Transparent towards glass and plastic
- Clear weather is required. The wavelength range of atmospheric absorption is between 4.2 and 4.5 μm
- Easier penetration in high humidity conditions

LWIR:

- 8 to 14 μm wavelength
- Opaque to glass and thick plastic. Surface temperature measurable
- Can penetrate smoke, fog and dust
- Insensitive to background interference from visible light

1.2. Basic physical principle

IR radiation from an object is projected through the thermal imaging lens onto the IR detector. IR detector converts radiation signals of different intensity into corresponding electrical signals. After amplification and video processing, electrical signals become a video image visible to the human eye.

Thermography detects and identifies the target with a thermographic image formed by radiation differences between the target and the background or different parts of the target.



1.3. Advantages of thermal imaging

With strong environmental adaptability, thermal imaging can detect people, vehicles and other targets in low-light or no-light environments. In environments with strong light, it can also quickly monitor the subtle temperature changes on the target surface. Therefore, it can be used for target temperature measurement.

2. Physical parameters

2.1. Johnson criteria

The resolution required for detection is expressed in pixels. Using Johnson's 1950 criteria, many predictive models for sensor technology have been developed that predict the performance of sensor systems under various environmental and operating conditions. These criteria provide a 50% probability that an observer will detect an object to a given degree.

- **Detection:** The ability to detect a target in the field of view. In this case, the image should not occupy less than 1.5 pixels over the critical dimension of the target.
- **Recognition:** The ability to recognise and determine the nature of the target, for example a vehicle or a human being. In this case, the image should occupy no less than 6 pixels across the critical dimension of the target.
- **Identify:** The ability to identify the model and other features of the target, such as the distinction between friend and foe. In this case, the image should occupy no less than 12 pixels across the critical dimension of the target.

2.2. Resolution

The detector resolution, an important parameter for measuring the quality of a detector, indicates the amount of unit detection elements on the focal plane of the detector. The higher the resolution, the clearer the image would be. Detector resolutions in industry mainly include 160×120 , 256×192 , 384×288 and 640×512 . High-resolution detectors are also available for special application scenarios.

2.3. NETD

The noise equivalent temperature difference (NETD) refers to the thermal sensitivity of the IR thermal imaging camera. NETD describes the sensitivity of the IR thermal imaging camera to temperature changes. This indicator reflects the noise reduction capability of the thermal imager during circuit analysis and processing and is one of the main indicators for measuring the performance of the IR detector.

The thermal imager's ability to detect the minimum temperature difference of the target radiation is measured by the noise equivalent temperature difference (NETD). The higher the temperature resolution, the more clearly the thermal imager detects the temperature change, which means a smaller NETD and higher image quality.

2.4. Pixel pitch

The detector spacing refers to the distance between the individual sensor units. The smaller the detector spacing, the more detail the image would contain. The most important detector distances in industry are $17 \mu\text{m}$ and $12 \mu\text{m}$.

2.5 Reference temperatures

- Clear sky (so-called "cold sky radiation"): -50 to $-60 \text{ }^\circ\text{C}$
- Boiling water: $100 \text{ }^\circ\text{C}$ (normal pressure at sea level)
- Human body temperature: 36.5 to $37.4 \text{ }^\circ\text{C}$

3. Reasons for thermography

With strong environmental adaptability, thermal imaging can detect people, vehicles and other targets in low-light or no-light environments. In environments with strong light, it can also quickly monitor the subtle temperature changes on the target surface. Therefore, it can be used for target temperature measurement.

Some examples of thermography applications are:

- Temperature measurement vs. temperature difference detection
- Monitoring areas without visible light
- Monitoring of large areas where illumination would be uneconomical
- Surveillance applications with complete privacy protection
- Temperature measurement with distance to the measuring object

4. Environmental influences

4.1 Atmospheric absorption

The main components in the atmosphere responsible for most IR radiation absorption are water vapour and CO₂. Water vapour makes up about 1% of the total atmosphere and CO₂ makes up 0.03% to 0.05%. Water vapour is mainly concentrated below 2 to 3 km of the atmosphere, and CO₂ is more evenly distributed in the atmosphere than water vapour.

In practical terms, the heat radiated from an object is absorbed proportionally by water vapour and CO₂ before it reaches the location of the thermal measurement. The image quality is affected in the process.

4.2 Atmospheric scattering

IR radiation transmitted into the atmosphere is also subject to airborne molecular scattering (atmospheric molecular scattering and particle scattering). Particle scattering is the scattering of various particles that exist only in the atmosphere, such as dust from the earth's surface, smoke, water droplets and salt particles.

4.3 Fog, smog, rain and snow

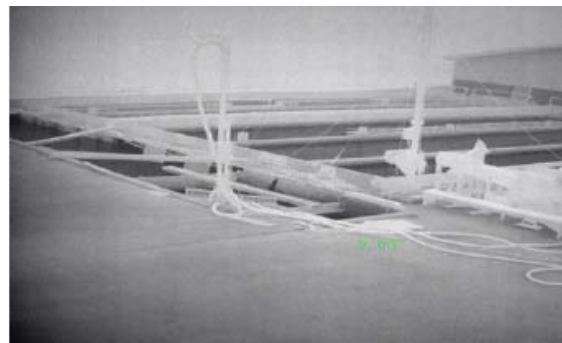
Unlike cameras that image visible light, a thermal camera can handle fog and smog much better. This can be seen in the practical example in the following pictures.

Camera for visible light Thermal camera



The same applies to rain or snow.

Camera for visible light Thermal camera



5. Components of a thermal camera

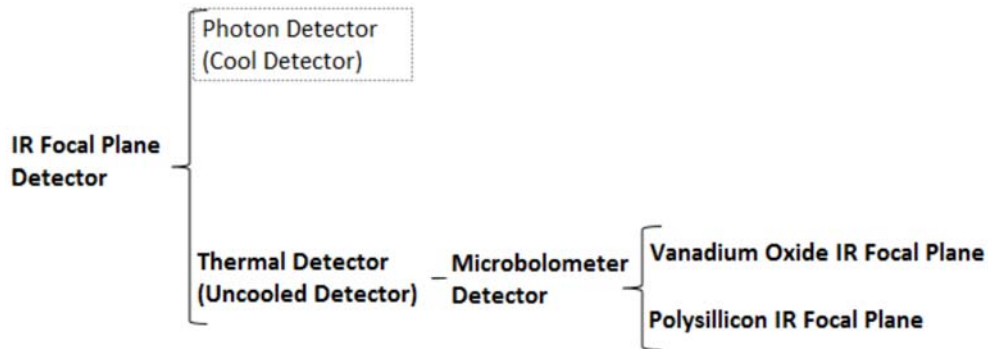
5.1. Lenses for thermal technology

In general, thermal imaging cameras use IR lenses. Classified by materials, there are germanium and chalcogenide lenses. With a high refractive coefficient, these two types of lenses are transparent only to IR light and opaque to visible light and ultraviolet.

- Germanium glass lens: High hardness, expensive, suitable for making long focal length electrically tunable lenses. The electrically adjustable lens has a large depth of field and a short blind zone that supports focusing on targets at different distances.
- Chalcogenide glass lens: Low sensitivity to external temperature, stable image output, low cost, high processing efficiency and suitable for short or medium focal length athermalised lens production.

5.2. Detector / Image Recorder

Depending on the working temperature, detectors can be divided into two types: cooled detector and uncooled detector. The following picture shows the main types of heat detectors on the market.



- Uncooled detector: Based on the microbolometer and thermal detection, the uncooled detector is the common choice on the market. If basic civilian requirements are met, the uncooled detector does not require cryogenic cooling and is cost effective.
- Cooled detector: A cooled detector is integrated with a cryocooler to lower the detector temperature, reducing thermal noise to a level below that of the signal of the imaged scene. The cooled detector has advantages such as high sensitivity, fast response speed and good image quality. Integrated into the cryocooler, it is large and requires high manufacturing costs. The cooled detector is mainly used in the military.

6. Applications

6.1. Perimeter monitoring

Thermal imaging cameras in combination with object detection algorithms are very well suited for monitoring outer boundaries of surfaces. Weather influences, darkness or particularly strong light influences can be handled much better by thermal imaging cameras than visible light cameras.

Based on the detection of thermal properties, the detection range of thermal imaging cameras is many times higher than that of visible light cameras. For a fixed distance, less equipment and lower installation costs are needed. The overall project costs are lower.



6.2. Early fire detection

Thermal imaging cameras are ideally suited for early fire detection, as they can give an alarm when the temperature of an area increases significantly, even before a fire starts. These cameras are used outdoors (early detection of forest fires) or indoors (warehouse monitoring).

6.3. Temperature measurement

Thermal imaging cameras could be used to measure temperatures accurately. This can be used in the industrial sector, for example. For this, specially calibrated thermal imaging cameras are needed, which make accurate measurement possible.

6.4. Observation

Thermal imaging cameras can be used for observational purposes. A practical example is the monitoring of game, especially at night.

7. Installation instructions

The following basic rules for the installation of thermal cameras should already be observed when planning applications.

- The camera should see as little sky as possible. Tilt the camera accordingly or choose the installation height accordingly
- The camera must have a clear view of the object to be detected.
- Objects in the image with a high degree of reflection can influence the temperature measurement. Especially in outdoor areas, this should be taken into account during planning.

8. Maintenance

8.1. Cleaning

The lens of a thermal camera should be cleaned as little as possible, as the lens is usually very sensitive. However, if a lot of dirt has accumulated on the thermal lens over time, the following steps can be taken carefully to clean it.

- Please never touch the thermal lens with your fingers
- Use of compressed air spray from a can for rough cleaning. Careful use of the spray with appropriate distance.
- Use of cotton wool or cotton wools
- Use of 90% isopropyl alcohol