

# Intelligente Temperatur- Messung

## 1 Einleitung

Eine Wärmebildkamera ist ein Gerät, das Infrarotstrahlung von Zielobjekten erfasst. Es berechnet das entsprechende Verhältnis zwischen Strahlungsenergie und Temperatur und zeigt die Oberflächentemperatur des Zielobjekts durch verschiedene Grauwerte an.

Wärmebildkameras müssen die Intensität der Infrarotstrahlung eines Zielobjekts berechnen und dabei Faktoren eliminieren, die möglicherweise die Bereitstellung einer zuverlässigen Temperaturmessung beeinträchtigen könnten, wie z. B. die Oberflächentemperatur heißer Objekte in der Umgebung des Zielobjekts. Um eine genaue Temperaturmessung zu erreichen, werden je nach Ziel und Temperaturszenario verschiedene Teststrategien implementiert.

## 2 Funktionsübersicht

### 2.1 Punktuelle-Temperaturmessung

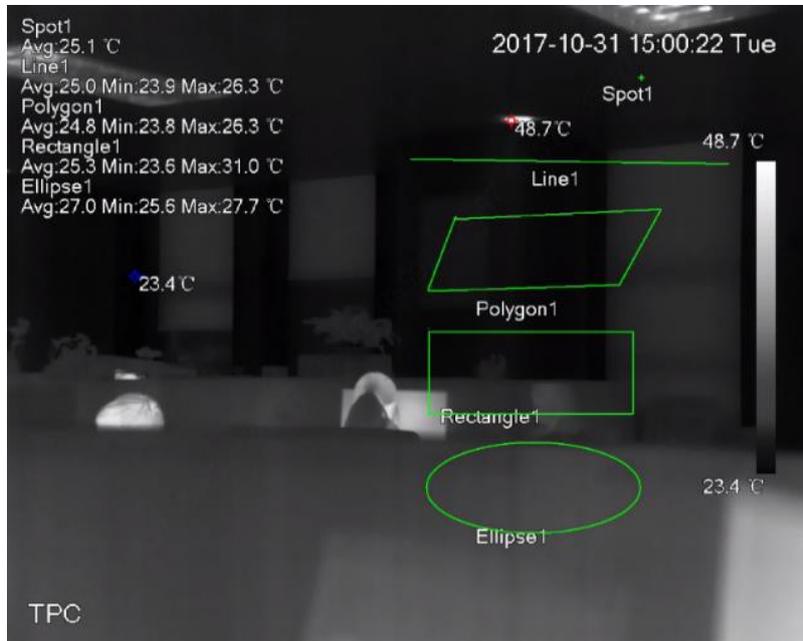
Die punktuelle Temperaturmessung unterstützt die Anzeige von Temperaturwerten an einer beliebigen Stelle im Vorschaubild, wie in Abbildung 1 dargestellt.



Abbildung 1: Punktuelle Temperaturmessung

## 2.2 Regel-Temperaturmessung

Die Regel-Temperaturmessung bietet verschiedene Modi, z. B. Punkt-, Linien-, Polygon-, Rechteck- und Ellipsenmodus. Sie berechnet den Grauwert aller Pixel in oder innerhalb der Regelzeile und zeigt den berechneten Durchschnitts-, Minimal- und Maximalwert an.



## 2.3 Temperaturdifferenzmessung

Die Temperaturdifferenzmessung vergleicht die Temperatur des ausgewählten Punkts, der ausgewählten Linie oder der ausgewählten Fläche und zeigt die Ergebnisse in der Vorschau an.



## 2.4 Isotherme Paletten

Mit der isothermen Bildgebung können hervorgehobene Temperaturspannen im Bild konfiguriert werden. Dies erleichtert die Interpretation des Geschehens in der Szene. Im Gegensatz zu

herkömmlichen Farbpaletten kann die Temperatur eingestellt werden. Die Paletten sind fest eingestellt, es ist jedoch möglich, die Temperaturen für die verschiedenen Farbbereiche anzupassen, so dass eine kritische Temperatur hervorsticht.

Isotherme Einstellungen werden verwendet, um die Farben im Bild zu konfigurieren und die Temperaturunterschiede visuell hervorzuheben. Es gibt zwei Palettentypen, die auf das Bild angewendet werden können, und die vertikale Leiste gibt an, welcher Palettentyp aktiv ist:

1. **Farbpalette (Standard):** Alle Farben in der angewendeten Palette werden verwendet, um das Bild einzufärben, aber keine Farbe entspricht in irgendeiner Weise bestimmten Temperaturen im Bild. Die vertikale Leiste zeigt die ausgewählte Palette.

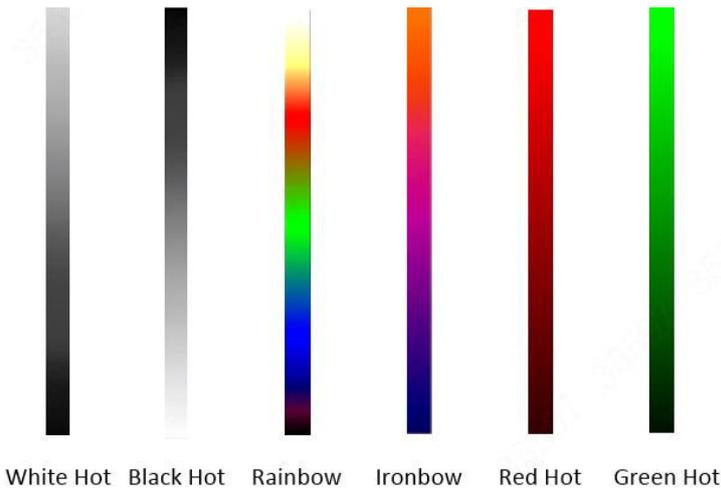


Abbildung 2: Beispiel Farbpaletten in Wärmebildkameras

2. **Isotherme Palette (isotherm aktiviert):** Isotherme Paletten ermöglichen die Isolation vordefinierter Farben auf wählbare Temperaturniveaus. Der vertikale Balken zeigt die ausgewählte isotherme Palette und die eingegebenen Temperaturstufen.

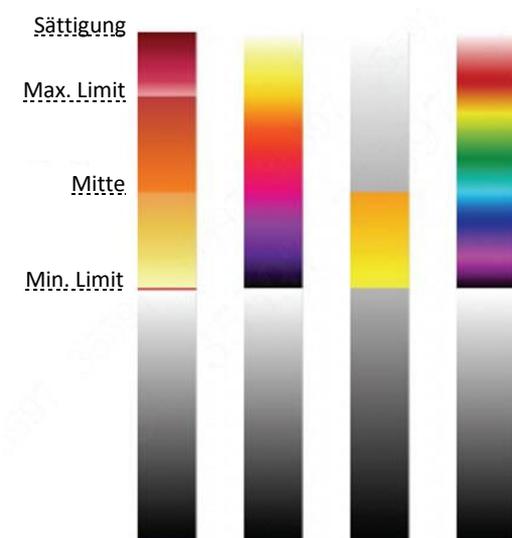


Abbildung 3: Beispiel isotherme Palette in Wärmebildkameras

Isotherme Paletten werden nur verwendet, um bestimmte Temperaturen als visuelle Hilfe für einen Bediener hervorzuheben. Wenn zum Beispiel die Untergrenze auf eine Temperatur eingestellt wird, die für ein bestimmtes Objekt kritisch ist, fallen alle darüber liegenden Temperaturen auf. Im Falle eines Temperaturalarms kann der Bediener schnell erkennen, ob der Alarm falsch ist, da das

isotherme Bild anzeigt, ob es sich um das kritische Objekt oder um etwas anderes handelt, das den Alarm ausgelöst hat.

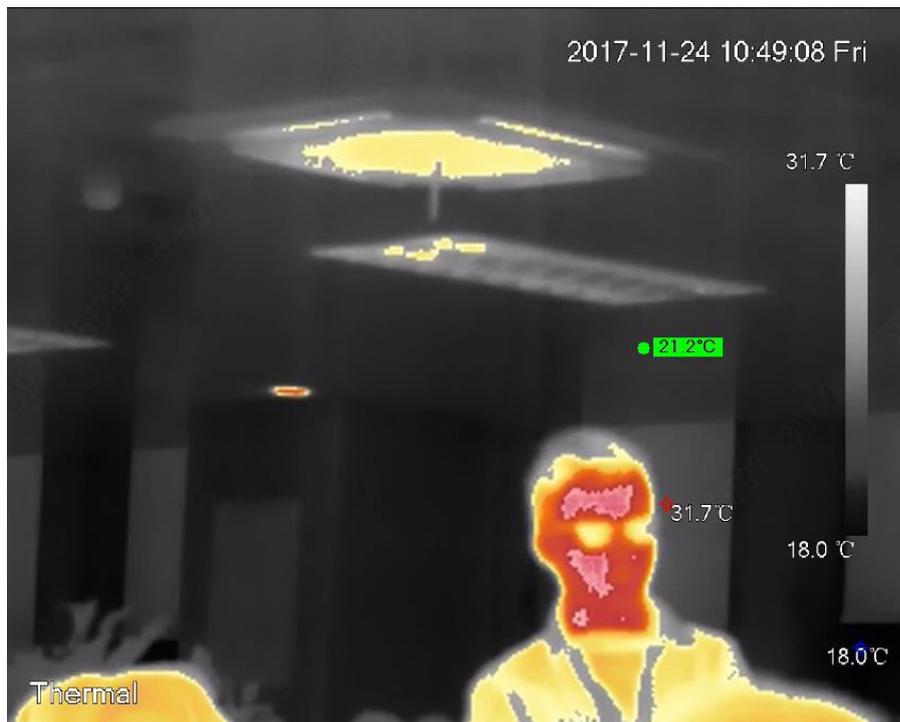


Abbildung 4: Mit der Isotherm-Palette kann die Temperaturspanne hervorgehoben und auf einfache Weise festgestellt werden, ob eine Oberfläche eine definierte Temperatur erreicht.

### 3 Genauigkeit

Wärmebildkameras können verwendet werden, um die von Objekten emittierte Infrarotenergie zu messen und in ein sichtbares Bild umzuwandeln. Abhängig vom funktionalen Verhältnis der Strahlung und der Oberflächentemperatur eines Objekts kann das Gerät den spezifischen Temperaturwert berechnen und anzeigen. Die Strahlung hängt jedoch nicht nur von der Temperatur, sondern auch vom Emissionsgrad des Objekts ab. Die Umgebung sendet auch Strahlung aus, insbesondere Objekte mit hoher Temperatur im Nahbereich, die von der Oberfläche des Ziels reflektiert werden. Die emittierte Strahlung des Objekts und die reflektierte Strahlung werden auch durch die atmosphärische Absorption beeinflusst. Um die Temperatur genau zu messen, ist es daher erforderlich, die Wirkung verschiedener Strahlungsquellen zu berücksichtigen.

#### 3.1 Emissionsgrad des Ziels

Das Emissionsvermögen eines Ziels ist die Fähigkeit eines Ziels, Wärmestrahlungsenergie von seiner Oberfläche zu absorbieren und abzugeben. Unterschiedliche Objekte haben eine unterschiedliche molekulare Struktur und Anordnung, sodass die von ihnen abgegebene Strahlungsenergie bei derselben Temperatur unterschiedlich ist. Zum Beispiel beträgt der oberflächliche Emissionsgrad eines 50° heißen Stücks Gusseisen 0,81, während der Emissionsgrad von Wasser bei 50° C 0,96 beträgt. Bei der Messung verschiedener Objekte sind unterschiedliche Einstellungen der Emissionsgrade erforderlich.

Für ein gemessenes Objekt mit unbekanntem Emissionsgrad können Sie die tatsächliche Temperatur mithilfe einer Kontaktmethode ermitteln. Verwenden Sie dann die Wärmebildkamera, um die

Temperatur zu messen, und konfigurieren Sie den Emissionsgrad, bis der Temperaturwert dem durch Kontakt gemessenen Wert entspricht. Zu diesem Zeitpunkt ist der Einstellwert der Emissionsgrad des Ziels.

### 3.2 Zielreflexion

Die Strahlungsenergie der umgebenden Objekte kann von der Zieloberfläche reflektiert und auf die Wärmekamera übertragen werden, was sich auf die Temperaturmessungen auswirkt.

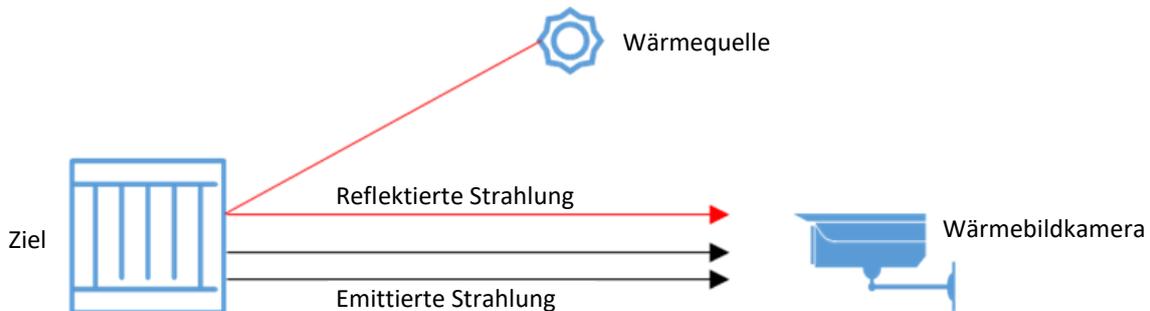


Abbildung 5: Zielreflexionstemperatur

Wenn Sie beispielsweise die Windschutzscheibe eines Autos testen, ist die gemessene Temperatur häufig niedriger als die tatsächliche Temperatur der Windschutzscheibe. Dies liegt daran, dass die glatte Oberfläche des Glases kalte Luft in die Ansicht der Wärmekamera reflektiert. Insbesondere wenn der Emissionsgrad des Ziels unter 0,9 liegt und die Temperatur des Ziels niedriger ist als die der umgebenden Objekte, ist es sehr wichtig, Störungen durch heiße Quellen zu vermeiden. Sie können ein Abschirmblech oder Beschichtung aus Materialien mit hohem Emissionsvermögen auf der Oberfläche des Ziels platzieren, um das Ergebnis so genau wie möglich zu machen, wie in Abbildung 6 dargestellt.

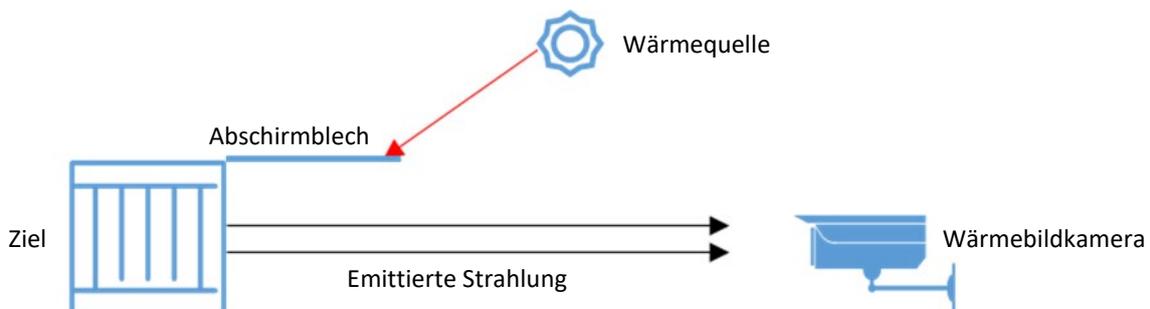


Abbildung 6: Zielreflexionstemperatur - mit Abschirmblech

### 3.3 Zielgröße und Entfernung

In den meisten Temperaturmessanwendungen belegen einige Ziele nur 1 oder 2 Pixel. Aufgrund optischer Beugung und Aberration kann die Strahlungsenergie des Ziels nicht vollständig auf 1 oder 2 Pixel übertragen werden, was zu falsch interpretierten Messergebnissen führt. Die Größe eines Ziels muss mindestens 10 x 10 Pixel betragen. Auf dieser Grundlage können Sie den maximalen Abstand für die genaue Temperaturmessung von Objekten unterschiedlicher Größe mit unterschiedlichen Objektiven ermitteln, wie in Tabelle 1 gezeigt.

Auflösung/Objektiv	Zielabmessungen/max. Entfernung zum Ziel		
	1 x 1 m	0,3 x 0,3 m	0,1 x 0,1 m
<b>336 x 256</b>			
9 mm	36 m	10.8 m	3.6 m
13 mm	52 m	15.6 m	5.2 m
19 mm	76 m	22.8 m	7.6 m
25 mm	100 m	30 m	10 m
35 mm	140 m	42 m	14 m
50 mm	200 m	60 m	20 m
60 mm	240 m	72 m	24 m
100 mm	400 m	120 m	40 m
<b>640 x 512</b>			
9 mm	52.9 m	15.9 m	5.3 m
13 mm	76.5 m	22.9 m	7.6 m
19 mm	111.8 m	33.5 m	11.2 m
25 mm	147.1 m	44.1 m	14.7 m
35 mm	205.9 m	61.8 m	20.6 m
50 mm	294.1 m	88.2 m	29.4 m
60 mm	352.9 m	105.9 m	35.3 m
100 mm	588.2 m	176.5 m	58.8 m

Tabelle 1: Entfernung zum Ziel in Abhängigkeit von der Brennweite und der Auflösung

### 3.4 Atmosphärische Übertragung

Strahlungsenergie kann über dem Luftweg auf das Gerät übertragen werden. Daher ist die atmosphärische Übertragung ein Faktor, der bei der Durchführung präziser Temperaturmessungen in verschiedenen Luftumgebungen berücksichtigt werden muss. In kalter und trockener Luft in einer Entfernung von 10 m kann der Energieübertragungskoeffizient bis zu 100 % erreichen. In Umgebungen mit hohen Temperaturen und hoher Luftfeuchtigkeit nimmt Wasserdampf jedoch viel Energie auf, was bedeutet, dass das System Übertragungsverluste und einen niedrigeren Koeffizienten berücksichtigen muss.

Die Tabelle 3, Tabelle 4 und Tabelle 5 beschreiben den Einfluss unterschiedlicher Entfernungen, Temperaturen und Luftfeuchtigkeit auf die Strahlungsenergie. Die in den Tabellen angegebenen atmosphärischen Bedingungen decken 90 % der Nutzungsszenarien ab. In jeder Tabelle gelten die Werte für eine bestimmte konstante Temperatur. In Abhängigkeit von der Entfernung und der relativen Luftfeuchtigkeit wird der zugehörige Transmissionskoeffizient angegeben.

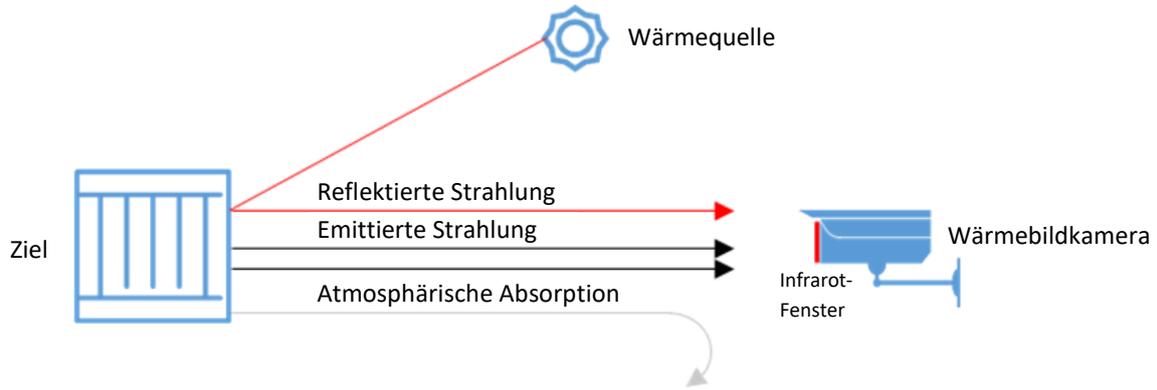


Tabelle 2: Atmosphärische Übertragungstemperatur

Entfernung [m]	RL = 5 %	RL = 25 %	RL = 50 %	RL = 100 %
1	1	1	0.99	0.99
3	1	1	0.99	0.99
10	0.99	0.99	0.98	0.97
30	0.99	0.97	0.97	0.95
100	0.99	0.95	0.94	0.91
300	0.95	0.92	0.89	0.83
500	0.94	0.9	0.85	0.77
1000	0.92	0.86	0.79	0.63
2250	0.87	0.79	0.66	0.4
3000	0.86	0.77	0.60	0.4
5500	0.81	0.67	0.41	0.4
10000	0.74	0.56	0.40	0.4

Tabelle 3: Atmosphärendurchlässigkeitskoeffizient unter verschiedenen Bedingungen (Atmosphärentemperatur = 20° C)

Entfernung [m]	RL = 5 %	RL = 25 %	RL = 50 %	RL = 100 %
1	1	0.99	0.99	0.99
3	0.99	0.99	0.99	0.98
10	0.99	0.98	0.98	0.96
30	0.98	0.97	0.96	0.94
100	0.97	0.94	0.92	0.87
300	0.95	0.90	0.84	0.74
500	0.93	0.86	0.79	0.63
1000	0.90	0.80	0.67	0.40
2250	0.86	0.69	0.42	0.40
3000	0.84	0.64	0.40	0.40
5500	0.79	0.48	0.40	0.40
10000	0.72	0.40	0.40	0.40

Tabelle 4: Atmosphärendurchlässigkeitskoeffizient unter verschiedenen Bedingungen (Atmosphärentemperatur = 30° C)

Entfernung [m]	RL = 5 %	RL = 25 %	RL = 50 %	RL = 100 %
1	1	0.99	0.99	0.99
3	0.99	0.99	0.98	0.98
10	0.99	0.98	0.97	0.96
30	0.98	0.96	0.94	0.93
100	0.96	0.92	0.88	0.85
300	0.94	0.86	0.77	0.68
500	0.92	0.81	0.68	0.53
1000	0.89	0.71	0.47	0.40
2250	0.83	0.51	0.40	0.40
3000	0.81	0.41	0.40	0.40
5500	0.75	0.40	0.40	0.40
10000	0.68	0.40	0.40	0.40

Tabelle 5: Atmosphärendurchlässigkeitskoeffizient unter verschiedenen Bedingungen (Atmosphärentemperatur = 40° C)

### 3.5 Infrarotfenster

In einigen Fällen ist ein Fenster an der Vorderseite der Wärmebildkamera angebracht, um zusätzlichen Schutz zu bieten, z. B. gegen Explosion, Korrosion usw. Normalerweise beträgt die Durchlässigkeit des Fensters etwa 90 %, was zu einer Abweichung der Messgenauigkeit von etwa 10 % führt, aufgrund von Störungen durch die Gehäuseinnentemperatur. Wenn zum Beispiel die Fenstertemperatur 30° C beträgt, die Innentemperatur des Gehäuses jedoch 35° C beträgt, ist das Ergebnis 50,4° C, also höher als die tatsächliche Temperatur. Die reflektierte Energie wird unterschätzt, sie wird nicht zu 10 % von der 30° warmen Gehäuseinnenluft abgegeben, sondern zu 10 % von den 35°. Wenn die Fenstertemperatur 0° C beträgt, beträgt das Ergebnis 52,9° C.

Um eine genaue Temperaturmessung zu erhalten, müssen Sie die Durchlässigkeit und Temperatur des Fensters kennen und die entsprechenden Parameter in das Gerät eingeben. Das Gerät kann die Ergebnisse entsprechend den vorhandenen Bedingungen korrigieren.

Atmosph. Übertragung = 1, Fenster-Transmission = 0.9, Fensterreflekt. Temp. = 35° C, e = 0.95, Hintergrundtemperatur = 23° C		
Reflektierte Temperatur des Fensters in ° C (Eingegeben)	Temperaturmessung in ° C	Abweichung in ° C
19	51,5	1,5
23	51.1	1.1
27	50.7	0.7
31	50.4	0.4
35	50	0
39	49.5	-0.5
43	49.1	-0.9
47	48.6	-1.4

Tabelle 6: Infrarotfenster mit unterschiedlicher GUI-Temperatur für Messgenauigkeit (Zieltemperatur 50° C)

## 4 Zusammenfassung

In Kombination mit den oben genannten Faktoren sollte eine genaue Temperaturmessung Folgendes umfassen:

1. **Bestätigen des Zielemissionsvermögens.** Wenn es größer als 0,95 ist, d.h. wenn das Reflexionsvermögen sehr niedrig ist, erhalten Sie leicht die genaue Temperatur, da es für einen weiten Bereich von Hintergrundtemperaturen nicht empfindlich ist. Wenn das Emissionsvermögen niedriger als 0,9 ist, müssen Sie ein Material mit hohem Emissionsvermögen aufsprühen oder ein schwarzes elektrisches Gummiband auf die Oberfläche des Ziels kleben, um es zu verbessern.
2. **So weit wie möglich externe Temperaturstörungen ausschließen.** Wenn der Emissionsgrad 0,9 erreicht oder unterschreitet, wird die das Objekt umgebende Strahlungsenergie von der Oberfläche des Ziels reflektiert und in die Wärmebildkamera übertragen, was sich auf die Messung auswirkt. Je niedriger der Emissionsgrad und die Temperatur ist, desto größer ist der Einfluss auf die Ergebnisse.
3. **Halten Sie angemessenen Abstand.** Stellen Sie sicher, dass das Ziel genügend Pixel im Bild belegt ( $\geq 10 \times 10$ ).
4. **Berücksichtigen Sie die Energieübertragungsverluste.** Insbesondere in Umgebungen mit hohen Temperaturen und hoher Luftfeuchtigkeit ist der atmosphärische Transmissionskoeffizient offensichtlich verringert, und die Testentfernung sollte nicht mehr als 10 m betragen.
5. **Geben Sie die richtige Fensterdurchlässigkeit und Temperatur ein.** Erhöhen Sie die Durchlässigkeit und halten Sie die Gehäuseinnentemperatur stabil und niedrig. Das Emissionsvermögen des Ziels sollte so hoch wie möglich sein, insbesondere in Szenarien, in denen die Temperatur des Ziels niedriger als die Umgebungstemperatur oder die Gehäuseinnentemperatur.