



Co-funded by  
the European Union

# MODUL 08

AUSBILDUNGSPROGRAMM

# THERMOGRAFIE



Dirección General de Formación  
CONSEJERÍA DE ECONOMÍA,  
HACIENDA Y EMPLEO



BZB  
Bildungszentren des  
Baugewerbes e.V.





Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.

# Inhaltsverzeichnis

<b>1. Ziele des moduls .....</b>	<b>5</b>
<b>2. Thermographie .....</b>	<b>6</b>
2.1 Anwendungsfälle im Bausektor .....	7
Mangelnde Isolierung und Luftlecks.....	7
Wärmebrücken .....	8
Lokalisierung von Fußbodenheizungssystemen.....	8
Ortung von Wasser in Flachdächern.....	9
Überprüfung von Stromleitungen.....	9
Feuchtigkeit in Hoch- und Tiefbauten.....	10
Analyse der Photovoltaikmodule.....	12
Netze oder Bodenanalyse .....	13
2.2 Vorteile zum Einsatz von Drohnen für Thermografie .....	14
2.3 Erforderliche Hardware.....	16
Hardware - Optionen für Wärmebildkameras.....	17
Hardware - Optionen für eine Wärmebildkamera-Drohne .....	18
2.4 Erforderliche Software .....	24
<b>3. Thermografische Aufnahmen mit uavs - Theorie und Praxis .....</b>	<b>26</b>
3.1 Theoretischer Inhalt .....	26
3.2 Praktische Inhalte (Übungsflüge im Freien / wenn möglich in der Halle).....	29
Test-Szenario .....	29
Vor dem Flug .....	29
Im Flug .....	30
<b>4. Durchführen einer Thermografie.....</b>	<b>32</b>
4.1 Bedingungen.....	32
Thermische Empfindlichkeit.....	32
Emission Wert .....	33
Reflexion.....	34
Inspektion von Solarmodulen mit Wärmebildkameras.....	35
4.2 Kamera.....	37
4.3 Analyse und Berichterstattung .....	38
Die Bild-in-Bild-Funktion .....	38
Thermische Fusion.....	38
Bericht.....	38
<b>5. Anhang a.....</b>	<b>43</b>

## **DRONES4VET Erasmus+ Projektteilnehmer und Autoren**

### **CMQE HEREC Occitanie France Team:**

Régis Lequeux – Dozent, Bauingenieur, Lycée Dhuoda, Nîmes – Koordinator der 10  
Module  
Nicolas Privat – Dozent, Bauingenieur, Lycée Dhuoda, Nîmes  
Eric Remola – Dozent, Lycée Dhuoda, Nîmes  
Nicolas Vassart – Dozent, Ph.D., Lycée Dhuoda, Nîmes  
Valerie Poplin – CMQE HEREC Geschäftsführer

### **MTU Irland Team:**

Sean Carroll OEng MEng BEng (Hons) MIEI Dozent und Forscher  
Michal Otreba Inz, MScEng, PhD, Dozent und Forscher, beide Koordinatoren des  
Einstufungs- und Nachbereitungssitzungen für Pädagogen

### **FH Kufstein Tirol. Österreich**

Emanuel Stocker, Hochschullehrer für Facility- und Immobilienmanagement  
Sarah Plank, F&E Controllerin

### **CRN Paracuellos-Team (Dirección General de Formación. Comunidad de Madrid).**

#### **Spanien**

José Manuel García del Cid Summers, Direktor  
Daniel Sanz, Direktor der Dron-Arena  
Santos Vera, Techniker  
Jorge Gómez Sal, Leiter der Technischen Einheit  
Fernando Gutierrez Justo. Erasmus-Koordinator – Projektantragsteller

### **BZB Düsseldorf. Deutschland:**

Frank Bertelmann-Angenenendt, Projektleiter  
Markus Schilaski, Projektleiter

### **DEX. Spanien**

Ainhoa Perez  
Ignacio Gomez Arguelles  
Diego Diaz Mori  
Yvan Corbat  
Erasmus-Management

# 1. Ziele des moduls

Dieses Modul ermöglicht es Ihnen, die thermografische Analyse mit Drohnen zu verstehen. Zu den Zielen der Thermografie mit Drohnen gehören die Identifizierung von Anomalien, die Bewertung von Zuständen, die Verbesserung der Energieeffizienz und die Überwachung von Maßnahmen. Diese Anwendungen bieten ein nicht-intrusives, kostengünstiges und effizientes Mittel zur Erfassung von Thermodaten aus der Vogelperspektive.

Erwartete Fähigkeiten

- Beschreibung der der Wärmeeinwirkung ausgesetzten Teile des Gebäudes
  - Gebäudehülle: Fassaden und Dächer
  - Rohrleitungen der technischen Gebäudeausrüstung
  - Solaranlage/Photovoltaik
- Identifizierung von Schwachstellen, die das thermische / energetische Verhalten des Gebäudes beeinflussen,
  - Gebäudehülle
  - Prüfung der Luftdichtheit
  - Solaranlage/Photovoltaik
- Analyse von Thermografie-Bildern
- Ausstattung / Hardware
  - Drohne
  - Kameras
- Konfiguration der Kamera
  - Software
- Erstellung der Dokumentation / Berichte

## 2. Thermographie

Die Thermografie ist ein berührungsloses bildgebendes Verfahren, das Infrarotstrahlung zur visuellen Darstellung von Temperaturschwankungen auf der Oberfläche eines Objekts oder eines lebenden Organismus verwendet. Sie beruht auf dem Prinzip, dass alle Objekte in Abhängigkeit von ihrer Temperatur Infrarotstrahlung aussenden.

Bei der Thermografie wird eine spezielle Kamera, eine so genannte Wärmebildkamera oder Infrarotkamera, verwendet, um die von Objekten ausgehende Infrarotstrahlung zu erfassen. Die Kamera erkennt und misst die Intensität der Infrarotstrahlung und wandelt sie dann in ein visuelles Bild um, wobei verschiedene Farben oder Schattierungen unterschiedliche Temperaturen darstellen.

Die Thermografie bietet eine nicht-invasive und zerstörungsfreie Möglichkeit zur Visualisierung von Temperaturunterschieden, die für eine Vielzahl von Anwendungen nützlich sein kann. Es ist jedoch wichtig zu beachten, dass die Thermografie ein Diagnoseinstrument ist, auf das man sich nicht allein für endgültige Diagnosen verlassen sollte. Sie wird häufig in Verbindung mit anderen Diagnosemethoden eingesetzt, um eine umfassendere Beurteilung zu ermöglichen.

Drohnen können für die Thermografie eingesetzt werden, indem man sie mit speziellen Wärmebildkameras ausrüstet. Diese Kameras erkennen die von Objekten ausgehende Wärmestrahlung und können damit Bilder von der Oberflächentemperatur von Gebäuden und anderen Objekten erstellen. Der Pilot der Drohne steuert sie dann in die gewünschte Richtung und aktiviert die Wärmebildkamera. Die Drohne fliegt dann über das gewünschte Gebiet und nimmt Wärmebilder auf. Diese werden dann an einen Computer übertragen, wo sie von Experten analysiert werden können.

Mit der Wärmebildanalyse lassen sich beispielsweise Schäden oder Mängel an Gebäuden erkennen, die mit bloßem Auge nicht sichtbar sind. Sie kann auch eingesetzt werden, um die Energieeffizienz von Gebäuden zu überprüfen und eventuelle Schwachstellen zu ermitteln.

## 2.1 Anwendungsfälle im Bausektor

Die drohnengestützte Thermografie bietet mehrere Vorteile gegenüber herkömmlichen Methoden zur Durchführung thermischer Inspektionen, z. B. eine bessere Zugänglichkeit, Effizienz und Sicherheit.

### Mangelnde Isolierung und Luftlecks

Die Wärmebildtechnik ist eine einfache Methode, um Gebäudemängel wie fehlende Isolierung, abblätternden Putz und Kondenswasser zu erkennen.

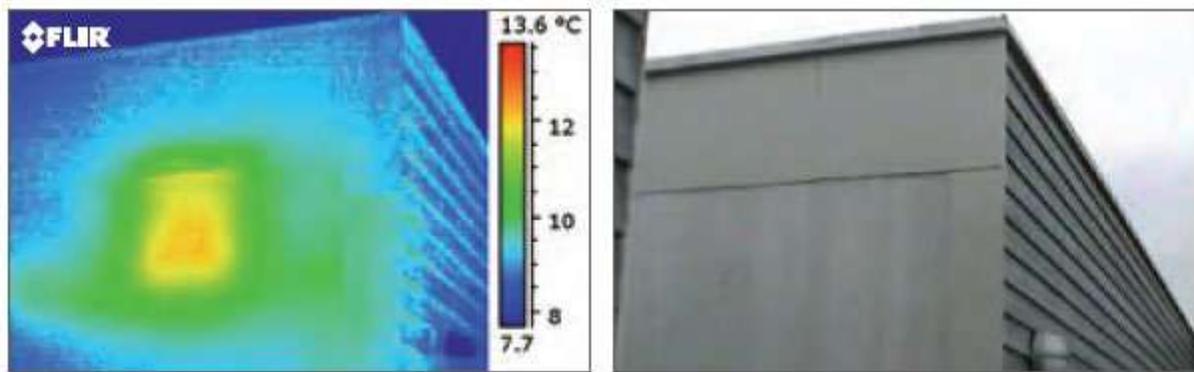


Abbildung 2- 1: Fehlende Isolierung in der Fassade (FLIR Systems)

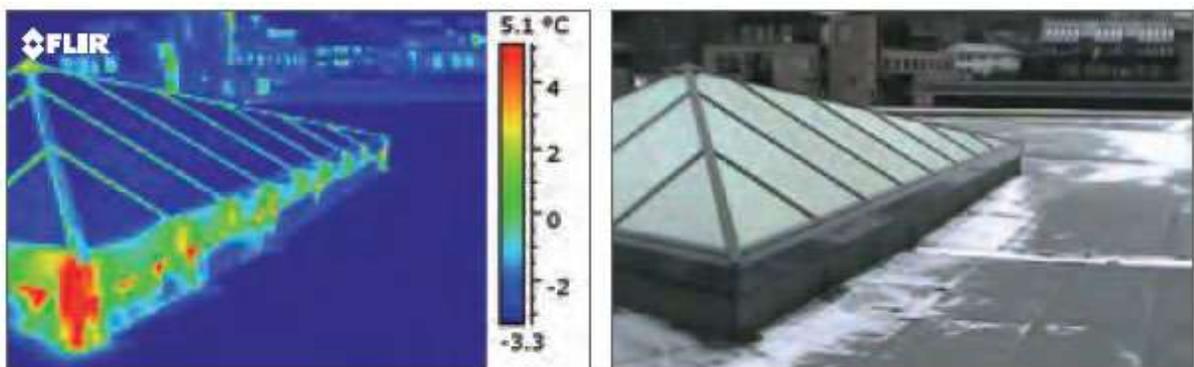


Abbildung 2- 2: Glasdach mit Warmluftaustritt (FLIR Systems)

Beim Einsatz einer Wärmebildkamera zur Suche nach fehlerhafter Isolierung oder Energieverlusten sollten idealerweise mindestens 10 °C zwischen Außen- und Innentemperatur liegen. Bei Verwendung einer Wärmebildkamera mit hoher Bildauflösung und hoher thermischer Empfindlichkeit kann der Temperaturunterschied auch geringer sein.

In kalten Klimazonen werden Gebäudeinspektionen häufig im Winter durchgeführt. In wärmeren Klimazonen, wo es wichtig ist, die Isolierung zu überprüfen, um sicherzustellen, dass die durch die Belüftung oder die Klimaanlage erzeugte kühle Luft im Gebäude bleibt, sind die Sommermonate ideal für diese Art von Inspektion.

## Wärmebrücken

Eine weitere Anwendung ist zum Beispiel die Lokalisierung von Wärmebrücken, die auf Stellen in einem Gebäude hinweisen, an denen Energie verschwendet wird. Eine Wärmebrücke ist eine Zone, in der die Gebäudehülle einen geringeren Wärmewiderstand aufweist. Dies wird durch konstruktionsbedingte Mängel verursacht. Die Wärme folgt dem einfachsten Weg vom beheizten Bereich nach außen, dem Weg des geringsten Widerstands.

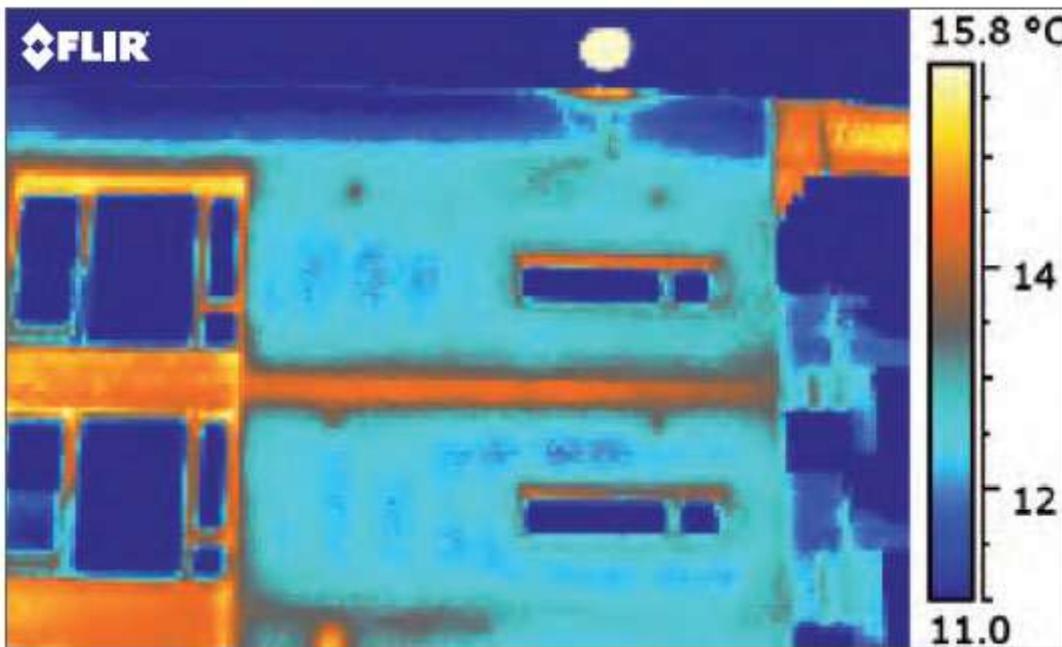


Abbildung 2- 3: Wärmebrücke an der Decke (FLIR Systems)

## Lokalisierung von Fußbodenheizungssystemen

Die Wärmebildtechnik ist ein einfaches Verfahren zur Ortung von Rohren und Schläuchen und zur Überprüfung auf undichte Stellen, selbst wenn die Wasserleitungen im Boden oder unter Putz verlegt sind. Die Wärme der Rohre strahlt durch die Oberfläche hindurch, so dass sich das Temperaturmuster mit einer Wärmebildkamera leicht erkennen lässt.

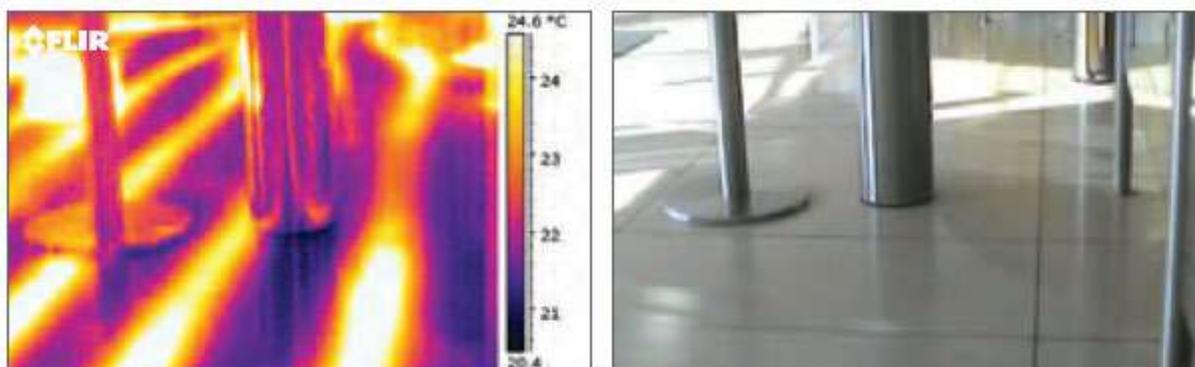


Abbildung 2- 4: Lokalisierung der Heizungsanlage (FLIR Systems)

## Ortung von Wasser in Flachdächern

Die Wärmebildtechnik wird auch eingesetzt, um undichte Stellen in Flachdächern zu finden. Wasser speichert die Wärme länger als das übrige Dachmaterial und kann mit einer Wärmebildkamera am späten Abend oder in der Nacht, wenn der Rest des Daches abgekühlt ist, leicht entdeckt werden.

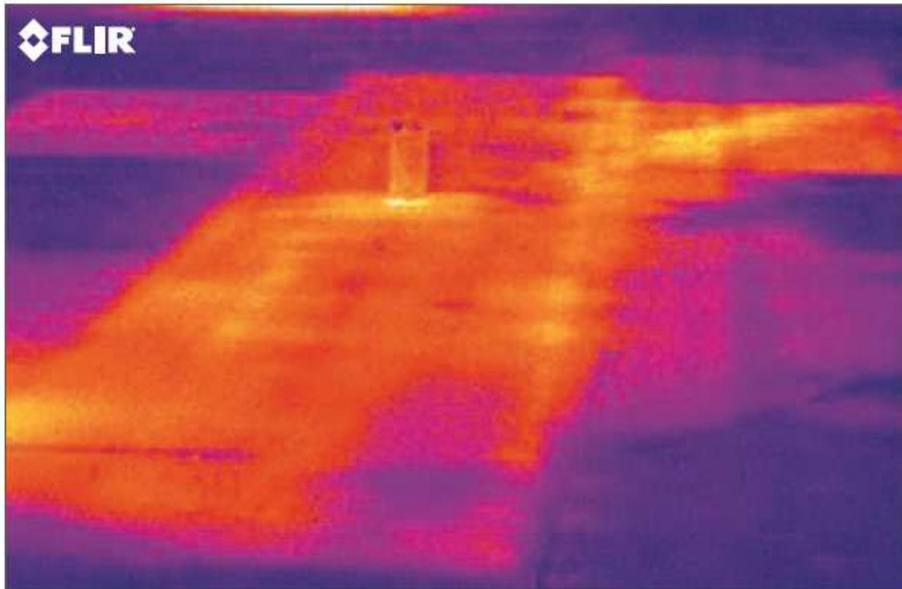


Abbildung 2-5: Ortung von Wasser im Flachdach (FLIR Systems)

## Überprüfung von Stromleitungen

Fehlerhafte Kontakte führen zur Überhitzung von Leitern und Schützen oder zu Überspannungen in Kabeln mit unzureichendem Querschnitt oder reduziertem Leiterquerschnitt aufgrund von Korrosion oder Reibung. Die Drohne ermöglicht eine sichere Betrachtung dieses Phänomens aus nächster Nähe.

- defekte Schutzeinrichtungen,
- falsches Anziehen einer elektrischen Klemmleiste,
- Überspannung oder Überstrom in Kabeln mit unzureichendem Querschnitt,
- verringerter Leiterquerschnitt aufgrund von Korrosion oder Reibung,
- ....

Die Drohne ermöglicht einen sicheren Blick auf das Phänomen aus nächster Nähe.

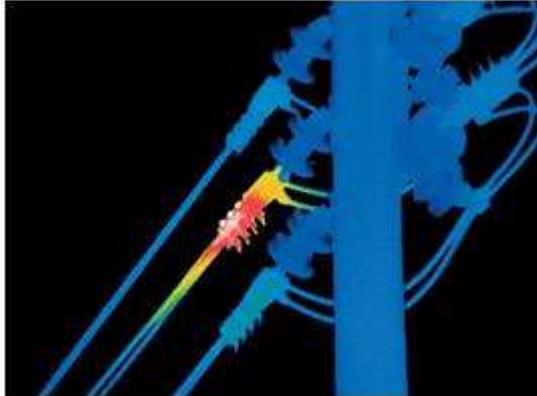


Abbildung 2-6: Überhitzung einer Leitung

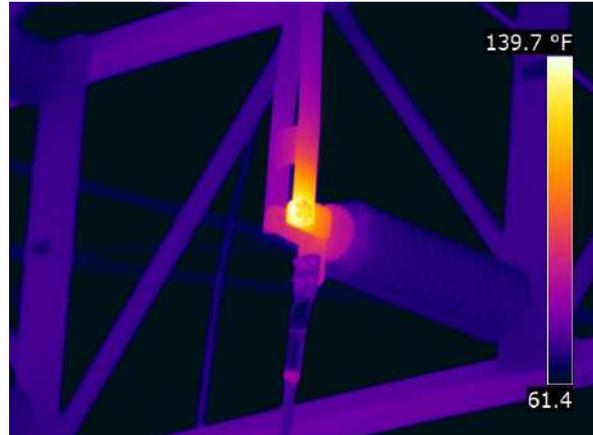


Abbildung 2-7: Überhitzung Kontaktstelle

### Feuchtigkeit in Hoch- und Tiefbauten

Feuchtigkeit in Brücken, Dämmen oder Stützmauern (oder Gebäuden) ist ein Faktor für Betonpathologien, Stahlkorrosion oder sogar Holzfäule. Alle Bauwerke können auch bei trockenem Wetter durch anhaltende Feuchtigkeit beeinträchtigt werden. Die Analyse sollte immer nach einer "normalen" Trocknungszeit durchgeführt und mit anderen ähnlichen, nicht betroffenen Bauteilen verglichen werden.

Nachfolgend werden einige Beispiele in der Verwendung von Thermographie bei Konstruktionen dargestellt.

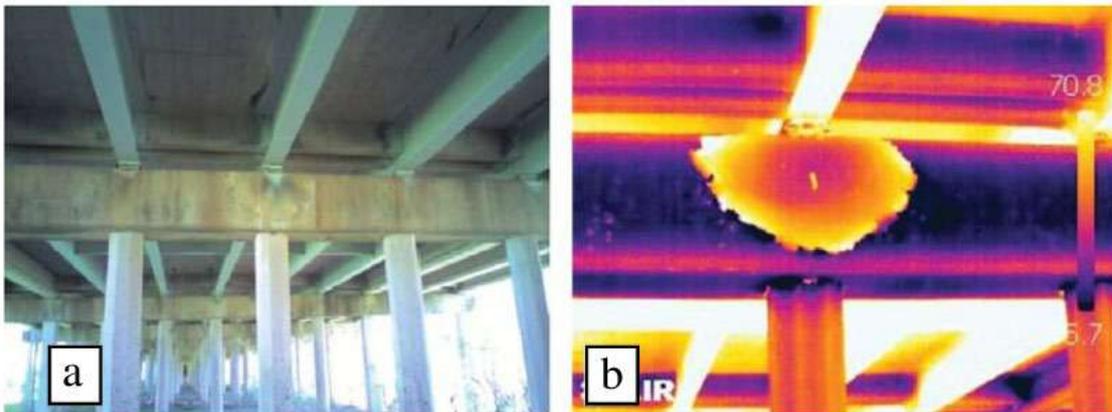


Abbildung 2-8: Durchfeuchtung Unterzug (semanticscolar.org)

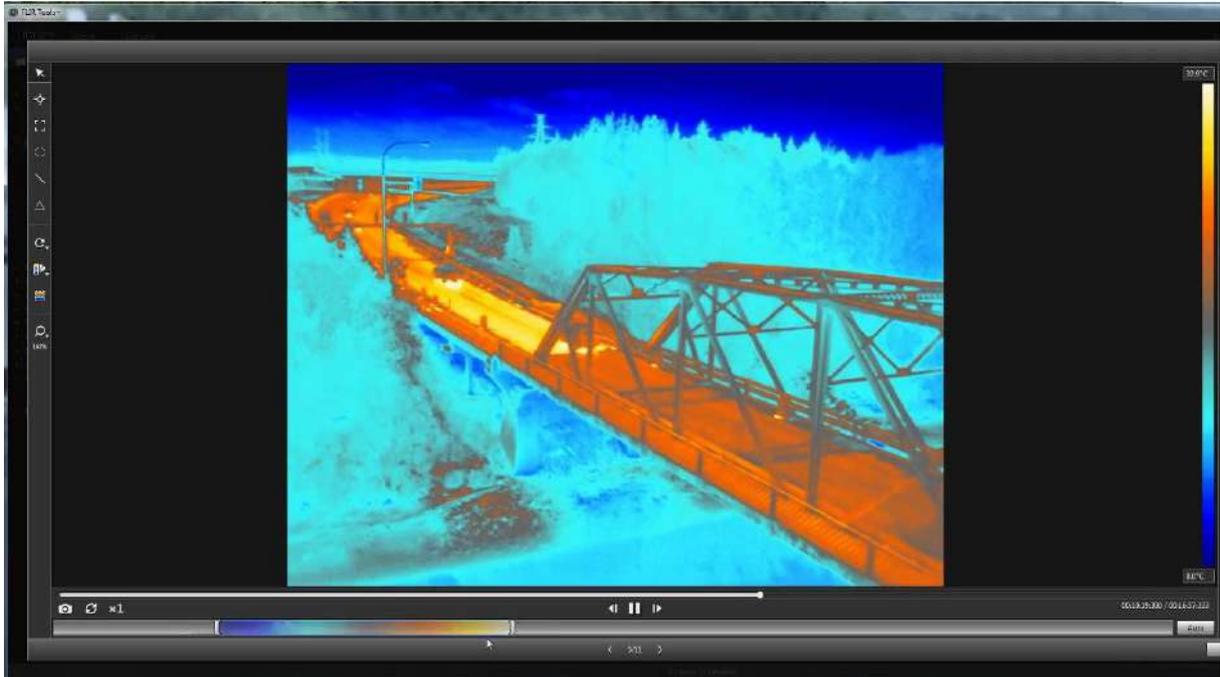


Abbildung 2-9: Metallbrücke Analyse (Brunswick Engineering)

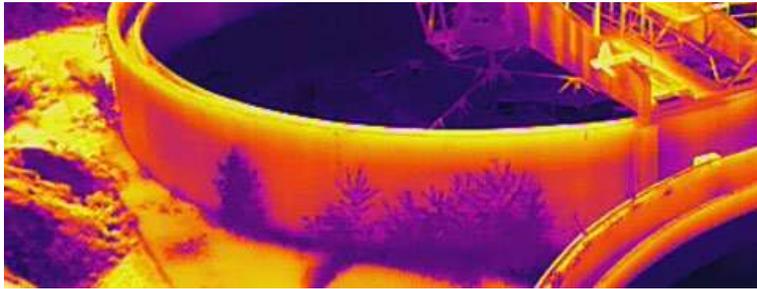


Abbildung 2-10: Wasserlecks bei Speicherbauten (3Dvirtual360.com.au)

## Analyse der Photovoltaikmodule

Zellen, die sich nicht mehr in ihrem ursprünglichen Zustand befinden und kaputt sind, können erkannt werden, weil sie heißer sind als die anderen, oder weil fehlerhafte Kontakte heißer sind als die daneben liegenden.

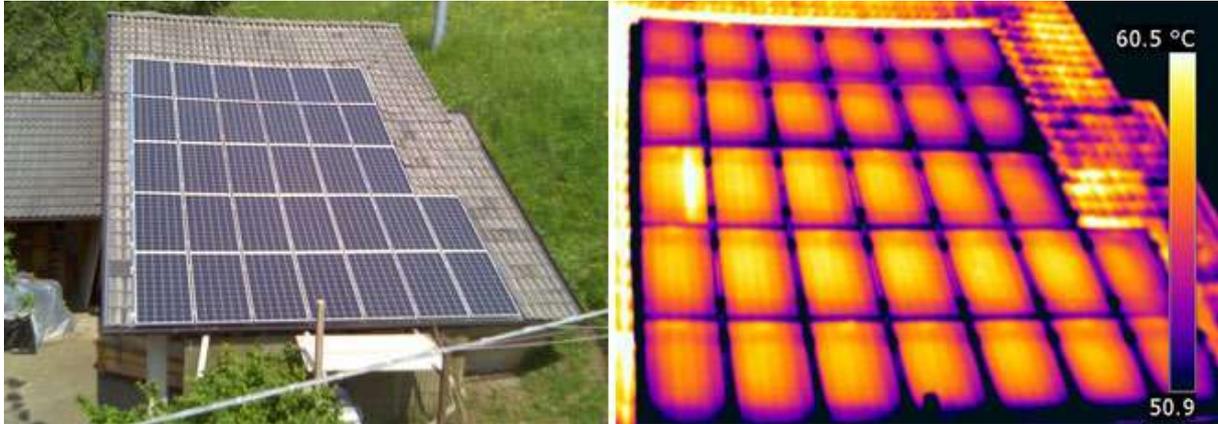


Abbildung 2-11: PV Module Fehlersuche (analistgroup.com)

Es gibt auch einige Szenarien, bei denen mehrere Fehler gleichzeitig auftreten können:

- Überhitze Anschlüsse,
- Überspannung von Mikrowechselrichtern,
- Paneele oder Paneelstreifen außerhalb des Stromkreises...

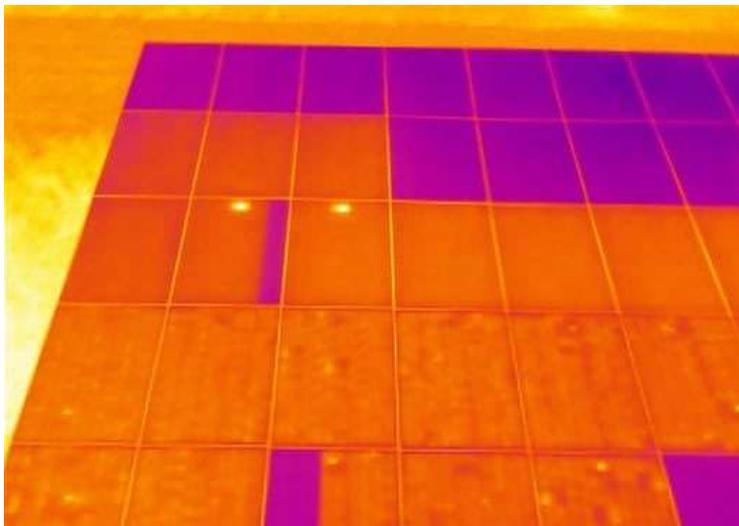


Abbildung 2-12: Mehrfache Fehler an Modulen (diagnosticphotovoltaique.fr)

## Netze oder Bodenanalyse

Drohnen können in Verbindung mit einer Wärmebildkamera zur Inspektion von Fernwärmesystemen oder Rohren mit messbaren Temperaturen eingesetzt werden. Zu den Vorteilen gehören die Vermeidung von Fehlgrabungen, die Ortung von Leitungen und die Erweiterung thermografischer Ebenen bei GIS-Daten.



Abbildung 2-13: Kalte Gasleitung (thermalcapture.com)

Die Thermografie kann auch zum Aufspüren von Lecks und unterirdischen Hohlräumen eingesetzt werden. Die Anwendung ist hier die Erkennung von Bodenverhältnissen. Wärmebilder der Baustelle werden aus der Luft aufgenommen, um verbliebene Baureste zu identifizieren und mögliche Gefahrenquellen zu beseitigen.

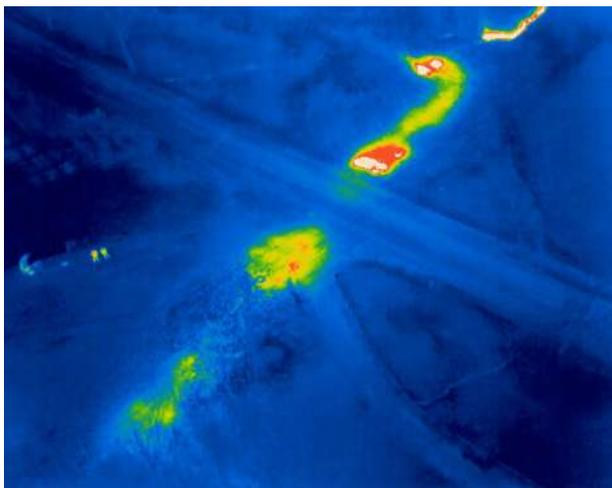


Abbildung 2-14: Leckagen bei Fernwärmesystem (drone-thermal-camera.com)

## 2.2 Vorteile zum Einsatz von Drohnen für Thermografie

- **Zugänglichkeit:** Mit Wärmebildkameras ausgerüstete Drohnen können in Bereiche vordringen, die für Menschen nur schwer oder gar nicht erreichbar sind, z. B. Dächer, hohe Gebäude oder enge Räume.
- **Effizienz:** Drohnen können große Gebiete in relativ kurzer Zeit abdecken und ermöglichen so effiziente thermische Inspektionen. Sie können hochauflösende Wärmebilder oder Videos aufnehmen, während sie ein bestimmtes Gebiet überfliegen, und so wertvolle Daten für die Analyse liefern.
- **Sicherheit:** Durch den Einsatz von Drohnen für die Thermografie entfällt die Notwendigkeit für das Personal, sich physisch Zugang zu potenziell gefährlichen oder schwer zugänglichen Stellen zu verschaffen. Dies verringert das Risiko von Unfällen oder Verletzungen, die mit Inspektionen in großen Höhen, bei extremen Temperaturen oder in gefährlichen Umgebungen verbunden sind.
- **Flexibilität und Mobilität:** Drohnen sind äußerst wendig und können durch komplexe Umgebungen navigieren, wodurch sie bei der Erfassung von Thermaldaten aus verschiedenen Winkeln und Perspektiven flexibel sind. Sie können ihre Flugbahn oder Flughöhe leicht anpassen, um sich auf bestimmte Bereiche von Interesse zu konzentrieren.
- **Datenerfassung und -analyse:** Drohnenmontierte Wärmebildkameras erfassen Infrarotbilder, mit denen sich Temperaturanomalien und Wärmemuster erkennen lassen. Die gesammelten Daten können analysiert werden, um Energieineffizienzen, Isolierungsprobleme oder Gerätefehlfunktionen in Gebäuden, Stromleitungen, Sonnenkollektoren und anderer Infrastruktur zu erkennen.
- **Integration mit Kartierungssoftware:** Die Drohnenthermografie kann in Kartierungssoftware und geografische Informationssysteme (GIS) integriert werden, um detaillierte Thermalkarten oder 3D-Modelle zu erstellen. Dies ermöglicht eine präzise Georeferenzierung und räumliche Analyse von Thermodaten und erleichtert die Entscheidungsfindung und Planung.

Insgesamt bieten Drohnen eine vielseitige und effiziente Plattform für die Durchführung von Thermografie aus der Luft und ermöglichen eine verbesserte Datenerfassung und -analyse in verschiedenen Branchen, darunter Bauwesen, Energie, Landwirtschaft und Infrastrukturwartung.

Passive oder aktive Thermografie kann Strukturen sichtbar machen, die für visuelle Kameras nicht sichtbar sind. So können beispielsweise Delaminationen im Mauerwerk in Lufteinschlüssen oder Verbundwerkstoffen sichtbar gemacht werden. Dies ist möglich, ohne die Oberfläche zu beschädigen. Die Thermografie mit Drohnen wird bei der Lecksuche, der Gebäude- und Anlagenthermografie, der Inspektion von Photovoltaikanlagen, Energieeffizienzsystemen und der Erfassung von intelligenten Städten eingesetzt.

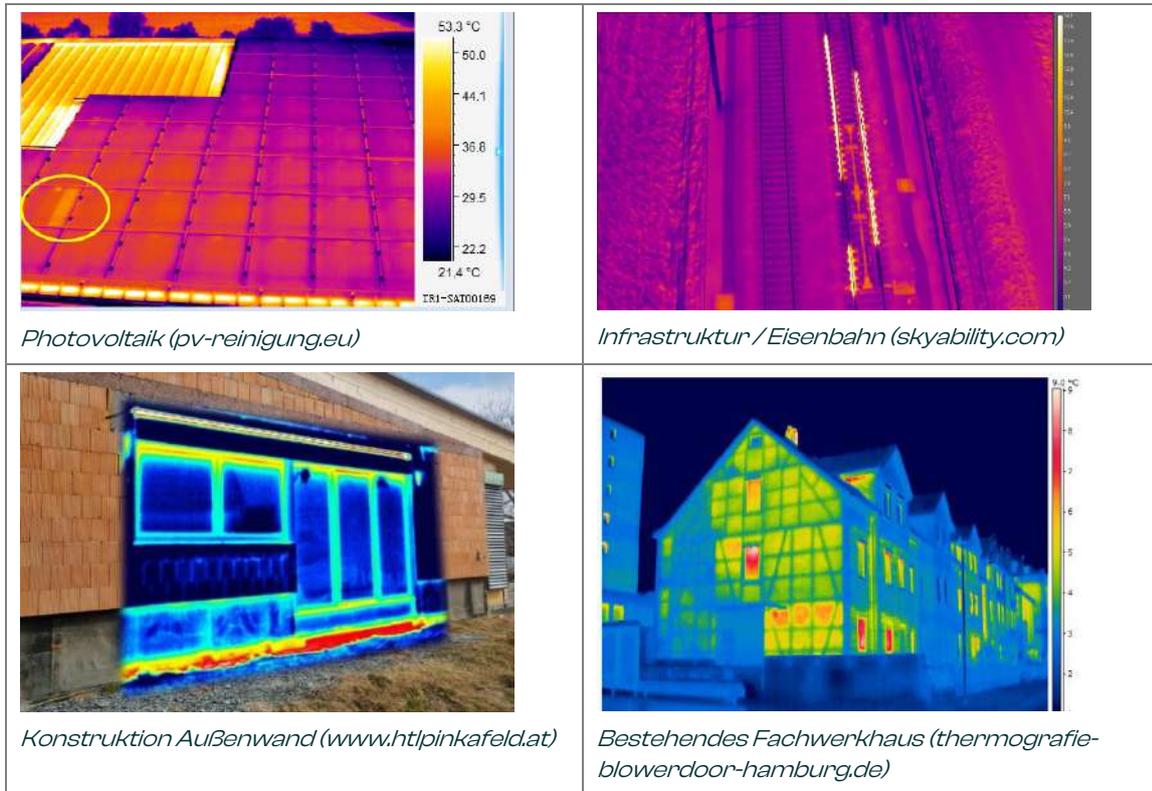


Abbildung 2-15 Beispiele mit Drohnen und Thermografie

Die Bedeutung der Farben ist definiert. Normalerweise veranschaulicht Rot warme Bereiche des Gebäudes, während Blau für kühlere Bereiche steht. Temperaturen im mittleren Bereich werden in Gelb und Grün dargestellt, wobei es wieder die Abstufung vom etwas kühleren Grün und dem Gelb gibt, das für wärmer steht. Die Thermografie zeigt undichte Stellen in der Gebäudehülle, im Dach, an Fenstern oder Türen.

## 2.3 Erforderliche Hardware

Bei der Drohnen-Thermografie gibt es bestimmte Hardware-Anforderungen zu beachten, um eine genaue und zuverlässige Wärmebildaufnahme zu gewährleisten. Hier sind die wichtigsten Hardware-Komponenten, die typischerweise bei der Drohnen-Thermografie zum Einsatz kommen:

- **Drohne:** Die Auswahl einer geeigneten Drohne für die Thermografie ist entscheidend. Zu den zu berücksichtigenden Faktoren gehören Flugstabilität, Nutzlastkapazität, Flugzeit und die Fähigkeit zur Integration mit Wärmebildkameras. Beliebte Optionen sind die DroneVolt Hercules, DJI Mavic, Autelrobotics Evo II, DJI Matrice series, da sie stabile Flugeigenschaften bieten und verschiedene Nutzlasten aufnehmen können.
- **Wärmebildkamera:** Die Wahl der richtigen Wärmebildkamera ist entscheidend für genaue Temperaturmessungen und detaillierte Wärmebilder. Achten Sie auf Kameras mit hoher thermischer Auflösung, Temperaturbereich und Empfindlichkeit.



- **Kardanische Aufhängung und Montage:** Ein Gimbal ist ein Stabilisierungssystem, das dafür sorgt, dass die Wärmebildkamera während des Flugs ruhig bleibt, um Vibrationen zu minimieren und die Bildqualität zu erhalten. Die Drohne sollte mit einem kompatiblen Gimbal oder Montagesystem zur Befestigung und Stabilisierung der Wärmebildkamera ausgestattet sein.
- **Kamerasteuerung und -integration:** Die Flugsteuerung der Drohne sollte eine nahtlose Integration mit der Wärmebildkamera ermöglichen und die Steuerung von Kamerafunktionen wie Bildaufnahme, Videoaufzeichnung und Temperaturkalibrierung erlauben. Vergewissern Sie sich, dass die Software oder Firmware der Drohne das spezifische Wärmebildkameramodell unterstützt, das Sie verwenden möchten.
- **Sender und Empfänger:** Drohnen für die Thermografie benötigen ein zuverlässiges Sender- und Empfängersystem für Echtzeit-Videostreaming und Fernsteuerung. Es ermöglicht dem Bediener, die Live-Wärmebilder zu betrachten und die Flugparameter nach Bedarf anzupassen.
- **Akku- und Energiemanagement:** Eine ausreichende Akkukapazität ist entscheidend, um eine ausreichende Flugzeit für die Durchführung von Thermografieeinsätzen zu gewährleisten. Um die Betriebseffizienz zu

maximieren, sollten Sie Ersatzakkus vorrätig haben. Darüber hinaus kann ein Energieverwaltungssystem dabei helfen, den Batteriestand zu überwachen und Warnungen für den rechtzeitigen Austausch oder das Aufladen der Batterien zu geben.

- Datenspeicherung und -übertragung: Drohnen erzeugen eine erhebliche Menge an Wärmebilddaten. Stellen Sie sicher, dass die Drohne über ausreichende Speicherkapazität an Bord verfügt oder die Daten drahtlos an eine Bodenstation zur Speicherung und Analyse übertragen kann.
- Bodenstation und Display: Eine Bodenstation dient in der Regel dazu, den Flug der Drohne zu steuern, die Wärmebilder in Echtzeit zu überwachen und die Einsatzplanung zu verwalten. Sie besteht aus einem Controller, einem Monitor oder einem mobilen Gerät zur Anzeige der Live-Wärmebilder und zur Interaktion mit der Steuerungsschnittstelle der Drohne.

Es ist wichtig zu beachten, dass die spezifischen Hardware-Anforderungen je nach der beabsichtigten Anwendung, der Komplexität der thermischen Inspektionen und dem gewünschten Grad der Datengenauigkeit variieren können. Eine Beratung durch Experten oder erfahrene Drohnen-Thermografen kann wertvolle Hinweise für die Auswahl der am besten geeigneten Hardware-Komponenten für Ihre spezifischen Anforderungen liefern.

### Hardware - Optionen für Wärmebildkameras

Bei den Drohnenkameras für die Thermografie gibt es mehrere Optionen, die für die Aufnahme von Wärmebildern und die Durchführung thermografischer Inspektionen verwendet werden können. Prüfen Sie in jedem Fall die Kompatibilität und die jeweiligen Nutzlastkapazitäten. Hier sind einige häufig verwendete Drohnen-Kameraoptionen für die Thermografie:

- FLIR Vue Pro: Die FLIR Vue Pro ist eine beliebte Wärmebildkameraoption für Drohnen. Sie bietet verschiedene Auflösungsoptionen (z. B. 336x256 oder 640x512) und verschiedene Objektivoptionen, um unterschiedlichen Anforderungen gerecht zu werden. Die Vue Pro ist bekannt für ihre hohe Wärmeempfindlichkeit und die Fähigkeit, genaue Temperaturdaten zu erfassen.
- DJI Zenmuse XT2: Die DJI Zenmuse XT2 ist eine Dual-Sensor-Kamera, die eine visuelle Kamera mit einer FLIR Boson Wärmebildkamera kombiniert. Sie liefert hochauflösende Wärmebilder und kann sowohl Wärmebilder als auch visuelle Bilder gleichzeitig aufnehmen. Die Zenmuse XT2 bietet fortschrittliche Wärmebildfunktionen und eine Integration in die Drohnenplattformen von DJI. Sie eignet sich für das Drohnenmodell Matrice 300 / 350 RTK.
- FLIR Duo Pro R: Die FLIR Duo Pro R ist eine Dual-Sensor-Kamera, die eine Wärmebildkamera mit einer hochauflösenden sichtbaren Kamera kombiniert. Sie liefert radiometrische Wärmebilder und ermöglicht so genaue Temperaturmessungen und -analysen. Die Duo Pro R ist bekannt für ihre kompakte Größe und die einfache Integration in Drohnen.
- Workswell WIRIS Pro: Die Workswell WIRIS Pro ist eine professionelle Wärmebildkamera, die speziell für Drohnen entwickelt wurde. Sie bietet einen

hochauflösenden Wärmesensor und verschiedene Objektivoptionen, um detaillierte Wärmebilder zu liefern. Die WIRIS Pro verfügt außerdem über Funktionen wie GPS- und IMU-Integration für eine präzise Geolokalisierung von Wärmedaten.

- TeAx ThermalCapture: TeAx ThermalCapture ist eine Wärmebildlösung, die in verschiedene Drohnenplattformen integriert werden kann. Sie umfasst sowohl Hardware- als auch Softwarekomponenten und ermöglicht die Erfassung radiometrischer Wärmebilder sowie die Nachbearbeitung und Analyse von Wärmedaten.
- Yuneec E20Tvx für H520E H850 Hexacopter 640 x 512

Es ist wichtig zu beachten, dass die Kompatibilität dieser Kameras je nach Drohnenplattform und Kameramodell variieren kann. Vergewissern Sie sich vor dem Kauf einer Wärmebildkamera für die Drohnen-Thermografie, dass sie mit Ihrer Drohne kompatibel ist und dass Ihnen die erforderlichen Montage- und Integrationsoptionen zur Verfügung stehen. Berücksichtigen Sie außerdem Faktoren wie die thermische Auflösung, die Empfindlichkeit, die Datenaufzeichnungsfunktionen und die Fähigkeit, thermische Daten zu kalibrieren und zu analysieren, um die Kamera auszuwählen, die Ihren spezifischen Anforderungen und Ihrem Budget am besten entspricht.

### **Hardware - Optionen für eine Wärmebildkamera-Drohne**

Im Folgenden finden Sie einige Drohnen mit Thermografie-Funktionalität. Die Zusammenstellung umfasst eine Auswahl gängiger Drohnen. Die Zusammenstellung erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit.

### DJI Mavic 3T (Thermal)

Diese kompakte und tragbare Drohne kombiniert eine hochauflösende Sichtkamera mit einer FLIR Lepton-Wärmebildkamera. Sie bietet ein Dual-Sensor-Setup, mit dem Sie sowohl sichtbares Licht als auch Wärmebilder gleichzeitig aufnehmen können. Die Mavic 2 Enterprise Dual ist für verschiedene Anwendungen geeignet, darunter Inspektionen, öffentliche Sicherheit sowie Such- und Rettungseinsätze.

#### Spezifikationen:

- 45 Minuten maximal mögliche Flugzeit
- Gewicht: 920g
- Auflösung Wärmebildkamera 640 x 512 Pixel
- Hindernisvermeidung
- Geeignet für die Inspektion thermischer Gebäude sowie für die Inspektion von PV-Anlagen
- Preis: ca. 5.500 €



Abbildung 2-18 DJI Mavic 3T (store.dji.com)

### DJI Matrice 30 T

Die DJI Matrice M30 ist eine hochleistungsfähige Drohne für anspruchsvolle Inspektionsaufgaben an Bauwerken aller Art. Sie kann auch bei widrigen Wetterbedingungen bis ca. -20°C und schwierigen Lichtverhältnissen eingesetzt werden und liefert mit ihrer 12 MP Weitwinkelkamera und einer 48 MP Kamera mit bis zu 16-fachem optischen Zoom beeindruckende Aufnahmen. Ein Laserentfernungsmesser mit einer Reichweite von bis zu 1200 m ermöglicht eine einfache Entfernungsbestimmung.

#### Spezifikationen:

- 41 Minuten max. mögliche Flugzeit
- Gewicht: 3.770g
- Auflösung Wärmebildkamera 640 x 512 Pixel
- Hindernisvermeidung
- Laser-Entfernungsmesser mit einer Reichweite von 3m - 1200m
- Geeignet für die Inspektion thermischer Gebäude sowie für die Inspektion von PV-Anlagen
- Preis: ca. 12.500 €



Abbildung 2-19 DJI Matrice 30 T (w.grube.at)

### DJI Matrice 350 RTK

Die Matrice 350 RTK wurde für kommerzielle und industrielle Anwendungen entwickelt und ist eine vielseitige Drohne, die mit Wärmebildkameras wie der Zenmuse XT2 ausgestattet werden kann. Sie bietet erweiterte Flugfunktionen, längere Flugzeiten und eine robuste Nutzlastkapazität. Die Wärmekamera-Optionen bieten eine hohe thermische Empfindlichkeit und erweiterte Analysefunktionen für detaillierte Inspektionen und Kartierungen.

#### Spezifikationen:

- 55 Minuten maximal mögliche Flugzeit
- Gewicht: 3.770 g (ohne Zuladung und Batterie)
- Hindernisvermeidung
- Geeignet für die Inspektion thermischer Gebäude sowie für die Inspektion von PV-Anlagen
- Preis: ca. 13.500 € (ohne die Kamera)



Abbildung 2-20 DJI Matrice 350 (droon.ee)

### Yuneec H520E-SpecCombo Hexacopter RtF

Die Yuneec H520 E ist eine Drohne für den professionellen Einsatz, die mit der Wärmebildkamera E20T kombiniert werden kann. Sie verfügt über eine radiometrische Wärmebildkamera mit einstellbaren Temperaturbereichseinstellungen und präzisen Temperaturmessungen. Die H520 ist bekannt für ihre Stabilität, ihre zuverlässige Flugleistung und ihre erweiterten Flugplanungsfunktionen.

#### Spezifikationen:

- 25 Minuten maximal mögliche Flugzeit
- Gewicht: 1.860 g
- Auflösung Wärmebildkamera 1344 x 759 Pixel
- Hindernisvermeidung
- Geeignet für die Inspektion thermischer Gebäude sowie für die Inspektion von PV-Anlagen
- Preis: ca. 5.500 €



Abbildung 2-21 Yuneec H520E (shop.yuneec.com)

### FLIR SkyRanger R70

Diese robuste und wetterfeste Drohne wurde speziell für industrielle Anwendungen entwickelt. Sie kann mit der FLIR Vue Pro R-Wärmebildkamera integriert werden und bietet hochauflösende Wärmebilder. Der SkyRanger R70 bietet lange Flugzeiten, fortschrittliche Flugsteuerungsfunktionen und eignet sich für verschiedene Branchen wie Infrastrukturinspektionen, Energie und öffentliche Sicherheit.

#### Spezifikationen:

- 40/59 Minuten maximal mögliche Flugzeit
- Gewicht: 5.000 g
- Auflösung Wärmebildkamera StormCaster-T: 640 x 512 Pixel
- Preis: keine Angabe



Abbildung 2-22 FLIR SkyRanger R70 ([www.flir.eu](http://www.flir.eu))

### Parrot Anafi Thermal

Der Parrot Anafi Thermal ist eine Drohne, die speziell für Wärmebildanwendungen entwickelt wurde. Sie ist ein kompakter und leichter Quadcopter, der eine hochauflösende visuelle Kamera mit einer integrierten FLIR Lepton-Wärmebildkamera kombiniert.

#### Spezifikationen:

- 25 Minuten maximal mögliche Flugzeit
- Gewicht: 315 g
- Auflösung Wärmebildkamera 160 x 120
- Keine Hindernisvermeidung
- Geeignet für die Inspektion thermischer Gebäude sowie für die Inspektion von PV-Anlagen
- Preis: ca. 2.500 €



Abbildung 2-23 Parrot Anafi Thermal ([www.parrot.com](http://www.parrot.com))

### Parrot Anafi USA

Der Parrot Anafi Thermal ist eine Drohne, die speziell für Wärmebildanwendungen entwickelt wurde. Sie ist ein kompakter und leichter Quadcopter, der zwei hochauflösende visuelle Kameras (Zoom) mit einer eingebauten FLIR Boson Wärmebildkamera kombiniert.

#### Spezifikationen:

- 32 Minuten mögliche Flugzeit
- Gewicht: 496 g
- Auflösung Wärmebildkamera 320 x 256
- Keine Hindernisvermeidung
- 32-facher Zoom
- IP53
- Preis: ca. 8.000 €



Abbildung 2-24 Parrot Anafi USA (drohnen.de)

### Autel EVO II Dual 640T

Die Autel Evo II Dual ist eine faltbare Drohne, die sowohl mit einer visuellen Kamera als auch mit einer FLIR Boson Wärmebildkamera ausgestattet ist. Sie bietet eine 48-Megapixel-Sichtkamera und eine Wärmebildkamera mit einer Auflösung von 640x512 Pixeln, die detaillierte Bilder liefert. Die Evo II Dual ist für ihre Vielseitigkeit und ihre benutzerfreundlichen Funktionen bekannt, wodurch sie sich für verschiedene Anwendungen eignet, darunter Inspektionen und öffentliche Sicherheit.

#### Spezifikationen:

- 38 Minuten maximal mögliche Flugzeit
- Gewicht: 1.110 g
- Auflösung Wärmebildkamera 640 x 512
- Hindernisvermeidung
- Geeignet für die Inspektion thermischer Gebäude sowie für die Inspektion von PV-Anlagen
- Preis: ca. 5.500 €



Abbildung 2-25 Autel EVO II Dual 640T (shop.autelrobotics.com)

### Flyability Elios 3

Die Flyability Elios 3 ist eine spezielle Indoor-Inspektionsdrohne, die für enge und komplexe Räume entwickelt wurde. Sie wird hauptsächlich für industrielle Inspektionen in Bereichen wie Kraftwerken, Öl- und Gasanlagen, Baustellen und Infrastruktur

eingesetzt. Der Elios 3 ist für seine Robustheit und Kollisionsfestigkeit bekannt, wodurch er sich für Inspektionen in schwierigen Umgebungen eignet.

Spezifikationen:

- 10 Minuten
- Gewicht: 1,800 g
- Beleuchtungssystem
- Hindernisvermeidung
- Lidar-Sensor
- GPS-Flyware für den Innenbereich
- Geeignet für die thermische Gebäudeinspektion
- Preis: ca. 50.000 €



Abbildung 2-26 Flyability Elios 3 ([halorobotics.com](http://halorobotics.com))

## 2.4 Erforderliche Software

Es gibt verschiedene Softwareoptionen für die Verarbeitung und Analyse von Wärmebildern, die von Drohnen für Thermografiezwecke aufgenommen wurden. Diese Softwarelösungen helfen dabei, wertvolle Erkenntnisse aus den Thermodaten zu gewinnen, Berichte zu erstellen und verschiedene Analyseaufgaben durchzuführen. Hier sind einige beliebte Softwareoptionen für die Drohnen-Thermografie:

- **FLIR Tools:** FLIR Tools ist eine Software-Suite von FLIR Systems, einem führenden Hersteller von Wärmebildkameras. Sie ermöglicht Anwendern das Importieren, Analysieren und Erstellen von Berichten aus Wärmebildern, die von FLIR-Kameras, einschließlich auf Drohnen montierten Kameras, aufgenommen wurden. FLIR Tools bietet Funktionen wie Temperaturmessung, Bildverbesserung und anpassbare Analysetools.
- **Pix4Dmapper:** Pix4Dmapper ist eine Photogrammetrie-Software, die sowohl visuelle als auch thermische Bilder, die von Drohnen aufgenommen wurden, verarbeiten kann. Sie ermöglicht die Erstellung von genauen 3D-Modellen, Orthomosaiken und Wärmekarten aus den aufgenommenen Bildern. Pix4Dmapper bietet fortschrittliche Analysefunktionen, darunter volumetrische Messungen, Temperaturanalysen und die Erkennung von Veränderungen im Zeitverlauf.
- **DroneDeploy:** DroneDeploy ist eine cloudbasierte Softwareplattform, die die Analyse von Wärmebildern unterstützt. Sie ermöglicht es Benutzern, von Drohnen aufgenommene Wärmebilder hochzuladen, zu verarbeiten und zu analysieren. DroneDeploy bietet Tools zur Erstellung von Wärmekarten, zur Durchführung von Temperaturanalysen und zur Erstellung anpassbarer Berichte. Es bietet außerdem die Integration mit gängigen Drohnenplattformen und verfügt über Funktionen zur Zusammenarbeit bei teambasierten Projekten.
- **FLIR Tools+ oder ResearchIR:** FLIR Tools+ und FLIR ResearchIR sind fortschrittliche Wärmebildsoftwareoptionen von FLIR Systems. Diese Softwarepakete sind für komplexere thermografische Analyseaufgaben konzipiert. Sie bieten erweiterte Funktionen wie Emissionsgradkorrektur, Zeitrafferanalyse, Nachbearbeitung radiometrischer Daten und erweiterte Berichtsfunktionen.
- **Raptor Maps:** Raptor Maps ist eine Softwareplattform, die speziell auf die Analyse von Wärmebildern für die Inspektion von Solarmodulen ausgerichtet ist. Sie bietet Werkzeuge zur Erkennung von Mängeln, zur Klassifizierung von Problemen und zur Erstellung detaillierter Berichte. Raptor Maps bietet automatisierte Analysealgorithmen und lässt sich mit verschiedenen Drohnenplattformen und Wärmebildkameras integrieren, die üblicherweise für Solarinspektionen verwendet werden.
- **DJI Thermal Analysis Tool 3.0:** kann für die Analyse und Verarbeitung von Wärmebildern verwendet werden. Durch die Identifizierung der Temperaturinformationen von kritischen Bereichen des Ziels kann die Software

zur Analyse von Objekten in vielen industriellen Anwendungen eingesetzt werden.

Dies sind nur einige Beispiele für Softwareoptionen, die für die Drohnen-Thermografie zur Verfügung stehen. Die Wahl der Software hängt von Ihren spezifischen Bedürfnissen, der Art der gewünschten Analyse und der Kompatibilität mit Ihrer Drohne und Wärmebildkamera ab. Es ist ratsam, die Funktionen und Möglichkeiten der verschiedenen Softwareoptionen zu erkunden, Ihre spezifischen Anwendungsanforderungen zu berücksichtigen und die Software auszuwählen, die Ihren Anforderungen am besten entspricht.

# 3. Thermografische Aufnahmen mit uavs - Theorie und Praxis

## 3.1 Theoretischer Inhalt

Hier finden Sie einige theoretische Informationen zur Thermografie:

Allgemeiner Überblick:

- Relevanz von Drohnen im Bausektor und Häufigkeit des Einsatzes, -Bereiche.
- Voraussetzungen für die allgemeine Durchführung wie die Wind- und Wittereinflüsse, die Jahreszeit mit ihren Temperaturen und die Tageszeit. So ist es wichtig, dass es tagsüber hell ist und gute Wetterbedingungen herrschen, da sich dies sonst negativ auf die Qualität und die Möglichkeit der Durchführung auswirkt. So sind Regen und Sturm für die Durchführung ungeeignet. Auch die Jahreszeit spielt eine Rolle, denn die Fläche sollte frei von Schnee oder Herbstlaub sein und im Sommer nicht durch zu starke Sonneneinstrahlung und zu heiße Temperaturen überhitzt werden. Außerdem führt eine trockene Oberfläche nicht zu Verzerrungen im Ergebnis.
- Anschaffungskosten und grobe Unterschiede zwischen den Modellen (welche Funktionen sind wofür notwendig).

Thermografie:

- Infrarot-Strahlung und Temperatur:
  - Infrarot (IR)-Strahlung: Infrarotstrahlung ist eine Form der elektromagnetischen Strahlung, deren Wellenlängen länger sind als die des sichtbaren Lichts. Infrarotstrahlung wird von jedem Objekt mit einer Temperatur über dem absoluten Nullpunkt (0 Kelvin =  $-273,15^{\circ}\text{C}$ ) ausgesandt. Sie ist für das menschliche Auge unsichtbar.
  - Emissionsgrad: Der Emissionsgrad ist das Maß für die Fähigkeit eines Objekts, Infrarotstrahlung auszusenden. Er variiert je nach Materialeigenschaften und Oberflächenbeschaffenheit. Da sich der Emissionsgrad mit der Temperatur und den Oberflächeneigenschaften ändert, sind die hier aufgeführten Werte nur Richtwerte. Um die absolute Temperatur genau zu messen, sollte der Emissionsgrad des Materials genau bestimmt werden.

Tabelle 3-1: Emissionsgrad einiger Materialien

Material	Emissionsgrad
Aluminium	0.05
Ziegelstein	0.91
Beton	0.93
Sandstein	0.67
Messing, oxidiert	0.61
Porzellan	0.92
Stahl, oxidiert	0.79

- Schwarzkörperstrahlung: Ein Schwarzer Körper ist ein idealisiertes Objekt, das alle einfallende Strahlung aussendet und absorbiert. Er folgt dem Planck'schen Gesetz, das die spektrale Verteilung der von einem Schwarzen Körper bei einer bestimmten Temperatur ausgesandten Strahlung beschreibt.
- Wärmebildkameras:
  - Funktionsweise: Wärmebildkameras erkennen und messen die von Objekten ausgehende Infrarotstrahlung. Sie bestehen aus einem Infrarotdetektor, einer Optik und einer Bildverarbeitungselektronik.
  - Thermische Empfindlichkeit: Die thermische Empfindlichkeit bezieht sich auf den kleinsten Temperaturunterschied, den eine Kamera erkennen kann. Die thermische Empfindlichkeit ist ein Synonym für die rauschäquivalente Temperaturdifferenz (NETD) und bezeichnet den kleinsten nachweisbaren Temperaturunterschied bei Verwendung eines thermischen Geräts. Dieser Wert wird in der Regel in MilliKelvin (mK) gemessen und dient als elektronischer Rauschwert für das System. Idealerweise ist eine Wärmebildkamera mit einem möglichst niedrigen mK-Wert wünschenswert. Ein niedriger NETD-Wert bedeutet, dass der Sensor kleinste Temperaturschwankungen besser erfassen kann. Umgekehrt beeinträchtigt ein höherer NETD-Wert die Bildschärfe, was sich negativ auf die Analyseleistung und die Sichtbarkeit auswirkt, insbesondere bei schwierigen Wetterbedingungen.
- Grundsätze der Wärmebildtechnik:
  - Arten der Wärmeübertragung: Wärme kann durch Leitung, Konvektion und Strahlung übertragen werden. Die Wärmebildtechnik konzentriert sich in erster Linie auf die Wärmeübertragung durch Strahlung.
  - Thermische Anomalien: Thermische Anomalien beziehen sich auf Temperaturschwankungen oder Unregelmäßigkeiten, die auf Probleme wie Wärmelecks, elektrische Fehler oder mechanische Fehlfunktionen hinweisen können.

- Thermografische Inspektionen:
  - Anwendungen: Die Thermografie wird in vielen Bereichen eingesetzt, z. B. bei Gebäudeinspektionen zur Erkennung von Energiedefiziten, bei elektrischen Inspektionen zur Erkennung von überhitzten Bauteilen und bei mechanischen Inspektionen zur Überwachung der Geräteleistung.
  - Umweltfaktoren: Umweltbedingungen wie Umgebungstemperatur, Luftfeuchtigkeit und Luftbewegung können thermografische Untersuchungen beeinflussen und sollten bei der Auswertung der Daten berücksichtigt werden.
  - Bewährte Praktiken: Eine ordnungsgemäße Kamerakalibrierung, die Einstellung des Emissionsgrads und genaue Abstandsmessungen sind für zuverlässige thermografische Inspektionen unerlässlich.
- Datenanalyse und Berichterstattung:
  - Bildanalyse: Software-Tools werden zur Analyse von Wärmebildern verwendet, einschließlich Temperaturmessung, Temperaturprofilierung und Erkennung von Anomalien.
  - Berichte: Thermografieberichte enthalten in der Regel visuelle und thermische Bilder, Temperaturdaten, Anmerkungen und Empfehlungen für weitere Maßnahmen.

Es ist wichtig zu wissen, dass die Thermografie ein Spezialgebiet ist, das umfangreiche theoretische Kenntnisse und praktische Erfahrung erfordert, um Wärmebilder richtig interpretieren zu können.

## 3.2 Praktische Inhalte (Übungsflüge im Freien / wenn möglich in der Halle)

Die praktische Erfahrung in der Drohnen-Thermografie beinhaltet die Anwendung der theoretischen Kenntnisse der Thermografie auf reale Szenarien unter Verwendung von mit Wärmekameras ausgestatteten Drohnen. Hier sind einige Aspekte der praktischen Erfahrung in der Drohnenthermografie:

### Test-Szenario

Veranschaulichungen durch Selbstversuche oder Demonstrationen, die zunächst von einem Fachmann vorgeführt und dann von interessierten Personen getestet werden, sind auch in einer Halle möglich, indem das Gerät an eine Wärmebrücke gehalten und die Veränderung beobachtet wird. Der Ablauf ist durch eine vorgegebene Reihenfolge vorgegeben, die auf dem Grundriss eingezeichnet wurde. Linien markieren die Schritte, um Temperaturunterschiede bestmöglich auszunutzen. Dazu werden temperaturbeeinflussende Geräte wie ein Kühl- und ein Gefrierschrank, ein Heizlüfter, ein Heizstrahler, ein Klimagerät und ein elektrisches Haushaltsgerät an verschiedenen Punkten in der Halle positioniert und strahlen ihre Temperatur ab, die nacheinander ausgewählt werden, um ihre Wirkung zu verdeutlichen. Auch im Außenbereich ist dies möglich und könnte über die bereits erwähnten Geräte, aber auch über Hauswände, die Lüftungsanlage und Bauteile des Gebäudes dargestellt werden.

### Vor dem Flug

Flugplanung - Drohnen:

Eine thermografische Messung sollte immer im Winter während der Heizperiode durchgeführt werden. Es sollte ein Temperaturunterschied von mindestens zwölf bis fünfzehn Grad Celsius zwischen Innen- und Außenbereich bestehen. Das Wärmebild sollte spätestens in den Morgenstunden aufgenommen werden. Tagsüber und abends können die untersuchten Gebäudeteile von der Sonne erwärmt werden, was die Messergebnisse verfälschen kann. Das Gebäude muss vor und während der Messung gleichmäßig beheizt werden. Die Fenster sollten eine Stunde vor und während der Thermografie-Sitzung geschlossen bleiben.

- Vor dem Flug der Drohne muss der Pilot den Bereich/das Bauwerk identifizieren, der/das thermografisch inspiziert werden soll.
- Prüfen Sie die Wetterbedingungen, um die Eignung für den Drohnenflug sicherzustellen. Vermeiden Sie Flüge bei starkem Wind, Regen oder extremen Temperaturen. Dasselbe gilt für Rauch, Staub und Schutt.
- Untersuchen Sie das Gelände vor Ort, um Hindernisse, potenzielle Gefahren und geeignete Start- und Landeplätze zu ermitteln.
- Planen Sie den Flugweg und die Flughöhe auf der Grundlage der Inspektionsanforderungen, der Drohnenspezifikationen und der Umgebungsbedingungen.

- Die Flugroute sollte das gesamte Gebiet abdecken, das von Interesse ist, und die Flughöhe sollte für die Aufnahme klarer und detaillierter Wärmebilder optimiert sein.

- 

Kameraeinstellungen:

- Die Kameraeinstellungen, wie Temperaturbereich, Emissionsgrad und Palette, müssen für die Erfassung genauer und zuverlässiger Wärmebilder optimiert werden.
- Der Pilot sollte die Kameraeinstellungen je nach Art der Inspektion und des zu prüfenden Materials anpassen.

Weitere zu berücksichtigende Faktoren sind die IR-Erfassung:

- Zu untersuchende Objekte
  - Emissionsgrad
  - Transparenz
  - Reflexionsvermögen
  - Auf ein Objekt malen
  - Glas
  - Entfernung vom Ziel
  - Betrachtungswinkel
  - Oberflächenrauigkeit oder -glätte
- Menge der thermischen Energie
- Drohne - zu berücksichtigende Nutzlasten

## Im Flug

Bildakquisition:

- Die Drohne muss mit einer konstanten/programmierten Geschwindigkeit und Höhe geflogen werden, um klare und detaillierte Wärmebilder aufzunehmen.
- Der Pilot sollte sicherstellen, dass die Wärmebildkamera Bilder mit ausreichender Überlappung aufnimmt, damit die Bilder bei der Nachbearbeitung genau zusammengesetzt werden können.

Datenanalyse:

- Nach der Erfassung der Wärmebilder müssen die Daten analysiert werden, um etwaige thermische Anomalien oder Temperaturschwankungen zu erkennen.
- Software-Tools wie die FLIR Tools oder das DJI-Wärmeanalyse-Tool können zur Analyse von Wärmebildern und zur Erstellung von Berichten verwendet werden.

Berichterstattung:

- Der Bericht über die thermische Analyse sollte visuelle und thermische Bilder, Temperaturdaten, Anmerkungen und Empfehlungen für weitere Maßnahmen enthalten.

- Der Bericht sollte klar und prägnant formuliert sein, damit die Beteiligten die Ergebnisse leicht verstehen und entsprechend handeln können.

# 4. Durchführen einer Thermografie

## 4.1 Bedingungen

Die Grundvoraussetzung für die Thermografie der äußeren Gebäudehülle ist immer dann gegeben, wenn ein durch Temperaturunterschiede erzwungener Wärmestrom zeitlich möglichst konstant fließt. Dieser Wärmestrom erzeugt dann aufgrund der lokal unterschiedlichen Wärmewiderstände der durchströmenden Bauteile lokal unterschiedliche Oberflächentemperaturen, die von der Thermografiekamera erfasst werden. Um dies zu gewährleisten, müssen bei der Durchführung einer Thermografie durch einen Energieberater eine Reihe wichtiger Kriterien beachtet werden. Die Nichteinhaltung dieser Kriterien kann die Auswertung erschweren oder zu falschen Schlussfolgerungen führen. Der wichtigste Punkt ist die Witterung. Da Temperaturunterschiede bei der Messung eine große Rolle spielen, ist der Winter die ideale Jahreszeit für die Thermografie.

Die Thermografie von außen kann theoretisch unabhängig von der Tageszeit durchgeführt werden, solange es nicht zu hell ist (< 1500 Lux). Daher werden Thermografieaufnahmen vom Energieberater hauptsächlich morgens gemacht, da alle von der Sonne beleuchteten Flächen noch nicht zu sonnig sind. Auch in Innenräumen kann das Sonnenlicht trotz der hohen thermischen Trägheit der Bausubstanz die Aufnahmen stören, indem die Sonne in die Fenster scheint.

Andererseits ist es empfehlenswert, die Thermografie bei vollständig bewölktem Himmel durchzuführen, da dann die Temperatur an der Wolkenbasis fast der Umgebungstemperatur entspricht und somit ein nahezu perfektes Gleichgewicht herrscht und Strahlungs- sowie Abschattungseffekte fast vollständig ausbleiben.

### Thermische Empfindlichkeit

Die thermische Empfindlichkeit beschreibt, wie klein der Temperaturunterschied ist, den die Kamera noch erkennen kann. Je besser die thermische Empfindlichkeit, desto geringer ist der minimale Temperaturunterschied, den die Wärmebildkamera erkennen und anzeigen kann. Normalerweise wird die thermische Empfindlichkeit in °C oder mK angegeben. Die meisten modernen Wärmebildkameras für Gebäudeanwendungen haben eine thermische Empfindlichkeit von 0,03 °C (30 mK).

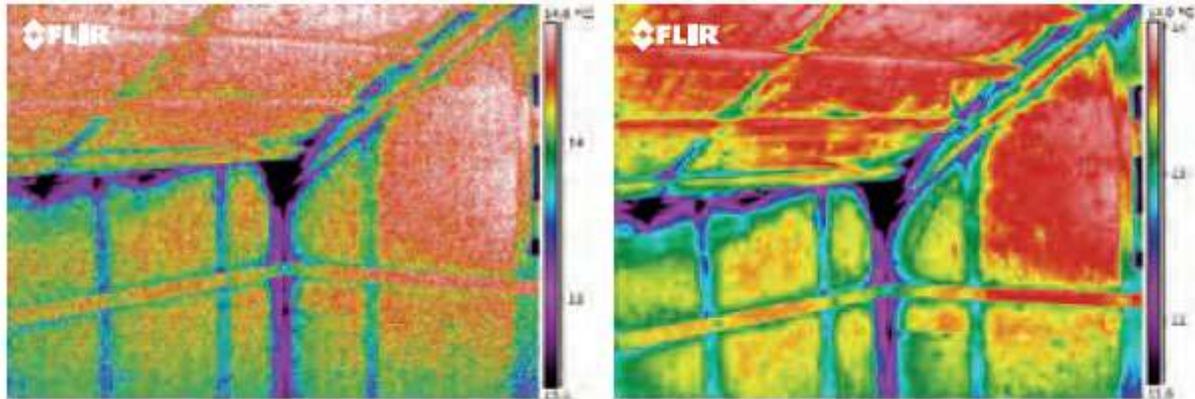


Abbildung 4- 1: Wärmeempfindlichkeit 65mk links gegenüber 45mk rechts (FLIR Systems)

Die Erkennung solch geringer Temperaturunterschiede ist bei den meisten Wärmebildanwendungen entscheidend. Eine hohe Kameraempfindlichkeit ist vor allem bei Bauanwendungen wichtig, wo die Temperaturunterschiede in der Regel geringer sind. Eine höhere Empfindlichkeit ist erforderlich, um detailliertere Bilder für bessere Diagnosen zu erfassen, auf deren Grundlage Entscheidungen über notwendige Maßnahmen getroffen werden können. Je höher die Empfindlichkeit, desto besser ist die Fähigkeit der Kamera, selbst bei kleinen Temperaturunterschieden kleinste Details zu erfassen.

### Emission Wert

Die Thermografie ist eng mit dem Begriff Emissionswert verbunden. Da bei den meisten Materialien die Transmission (Durchlässigkeit für Strahlung) eher gering ist, bleiben Reflexion und Emission als wichtige Messgrößen übrig, um insgesamt die oben genannten 100 Prozent oder den Wert 1 zu erhalten.



Abbildung 4- 2: Emissionswert (FLIR Systems)

Im Wärmebild links wurde der richtige Emissionsgrad für die menschliche Haut (0,97) eingestellt, und die abgelesene Temperatur zeigt den richtigen Wert (36,7 °C). Im Wärmebild rechts wurde der falsche Emissionsgrad eingegeben (0,15), was zu einem

falschen Temperaturwert führt (98,3 °C). Siehe Tabelle 1 mit den Emissionsgraden der verschiedenen Materialien.

## Reflexion

Einige Materialien, darunter die meisten Metalle, reflektieren die Wärmestrahlung so stark wie ein Spiegel das sichtbare Licht. Reflexionen sind häufig die Ursache für eine Fehlinterpretation des Wärmebildes; die Reflexion von Wärmestrahlung am eigenen Körper oder an einer Lampe kann zu falschen Temperaturdaten führen. Der Bediener sollte daher den Winkel, in dem die Wärmebildkamera auf das Objekt gerichtet ist, sorgfältig auswählen, um solche Reflexionen zu vermeiden.

Verwenden Sie keine Metalloberflächen für reale Messwerte! Blanke Kupfersammelschienen nicht beachten!

Messen Sie Kabelabgänge von Kupferschienen, Kabelisolierungen oder Schrumpfschläuchen am Kabelschuh!

Anwendung am Gebäude: Seien Sie vorsichtig mit Dachrinnen: Sie bestehen meist aus Zink oder Kupfer und können den Himmel reflektieren. Glasfenster, die von außen betrachtet werden, reflektieren Bäume, gegenüberliegende Gebäude oder den Himmel und die Wolken. Alte, blanke Aluminiumfenster und -türen reflektieren ebenfalls. Doppelt verglaste Fenster sind durch Blechprofile getrennt, die aufgrund ihrer Konstruktion eine Wärmebrücke darstellen. Innere Ecken oder Kanten in Räumen stellen eine geometrische Wärmebrücke dar und sind in der Regel kälter als die Wand oder die Decke. Es ist wichtig, die Temperatur unter dem Taupunkt zu halten. Zinkblechfassaden reflektieren.

Nehmen wir an, Sie befinden sich in einem Raum und möchten die Temperatur einer Glasscheibe eines Fensters messen. Die Glasscheibe hat einen Emissionsgrad von 0,5, d.h. die bei der Kamera ankommende Strahlung setzt sich zu 50 Prozent aus Glasstrahlung (abhängig von der Glasktemperatur) und zu 50 Prozent aus von der Oberfläche reflektierter Strahlung zusammen. Wird eine matte dunkle Innenwand in der Glasscheibe reflektiert, kann man an der Kamera oder in der Auswertesoftware näherungsweise eine Innentemperatur von z.B. 20°C und einen Emissionswert von 0,5 oder 50 Prozent einstellen. Spiegelt sich jedoch ein Heizkörper mit 65°C in der Scheibe, oder sieht sich der Infrarotkammermann dort, so muss der entsprechende Wert als Hintergrundtemperatur eingestellt werden. Im folgenden Bild ist gut zu erkennen, warum dies wichtig ist und welche Faktoren zu beachten sind.

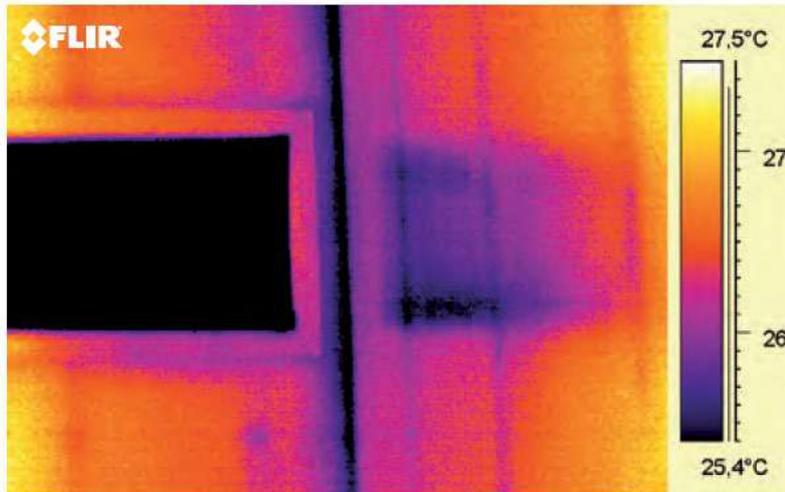


Abbildung 4-3: Reflexion an der rechten Wand vom linken Fenster (FLIR Systems)

Im Hochsommer bei Außentemperaturen von 35°C und strahlend blauem Himmel kann sich bei der Messung der Glasoberflächentemperatur eines Fensters von der Straße aus der Himmel (z.B. -20°C) oder z.B. die schwarze Schieferfassade des Nachbarhauses (60°C) spiegeln und im Ergebnis, ohne korrekte Berücksichtigung der Hintergrundtemperatur, erhebliche Messfehler auftreten.

### Inspektion von Solarmodulen mit Wärmebildkameras

Um bei der Inspektion von Solarzellen vor Ort einen ausreichenden thermischen Kontrast zu erzielen, ist eine Sonneneinstrahlung von 500 W/m<sup>2</sup> und mehr erforderlich. Ein optimales Ergebnis kann bei einer Strahlungsintensität von 700 W/m<sup>2</sup> erzielt werden. Der Standort und die lokalen Wetterbedingungen haben einen großen Einfluss. Auch niedrige Außentemperaturen können den thermischen Kontrast erhöhen.

In der Regel werden PV-Module auf stark reflektierenden Aluminiumrahmen montiert, die auf dem Wärmebild als kalte Zonen erscheinen, weil sie die Wärmestrahlung vom Himmel reflektieren. In der Praxis bedeutet dies, dass die Wärmebildkamera die Rahmentemperatur als deutlich unter 0 °C anzeigt. Da sich ihr Anzeigealgorithmus jedoch automatisch an die höchsten und niedrigsten gemessenen Temperaturen anpasst, sind viele niedrige thermische Anomalien nicht sofort sichtbar. Um einen hohen thermischen Kontrast des Wärmebildes zu erreichen, müssten daher Pegel und Spanne ständig von Hand korrigiert werden.

**Um Reflexionen** der Wärmebildkamera und des Bedieners im Glas **zu vermeiden**, sollte die Kamera nicht im rechten Winkel zum zu untersuchenden Modul angeordnet werden. Der Emissionsgrad ist jedoch im rechten Winkel am größten und nimmt mit zunehmendem Winkel ab. Ein Betrachtungswinkel von 5 bis 60° ist ein guter Kompromiss (0° ist senkrecht).

**Umgebungs- und Messbedingungen:** Zur Durchführung einer thermografischen Untersuchung sollte der Himmel wolkenfrei sein, da Wolken die Sonneneinstrahlung reduzieren und zusätzlich störende Reflexionen erzeugen. Dennoch lassen sich auch bei Bewölkung aussagekräftige Bilder erzielen, sofern die verwendete Wärmebildkamera empfindlich genug ist. Ebenso ist Windstille wünschenswert, da jede Luftströmung auf der Oberfläche des Solarmoduls zu einer Abkühlung durch Konvektion führt, was

wiederum den Temperaturgradienten verringert. Je niedriger die Lufttemperatur ist, desto höher ist der potenzielle thermische Kontrast. Die Durchführung thermografischer Untersuchungen am frühen Morgen ist daher eine Möglichkeit.

## 4.2 Kamera

Eine Infrarotkamera zeigt Temperaturen an. Dies kann schwarz/weiß geschehen, dann entsprechen die Helligkeiten den Temperaturen. Meist werden jedoch unterschiedliche Falschfarbendarstellungen gewählt. Die Zuordnung von Farben zu Temperaturen wird vom Betrachter oft intuitiv von blau nach rot, also von kalt nach warm erwartet. Im Kamerabild sorgt ein Farbkeil für die Zuordnung von Temperaturen zu Farben.

Eine Infrarotkamera ist ein kalibriertes System und wird auch als Radiometer bezeichnet. Für die absolute Messgenauigkeit der Kamera spielen verschiedene Faktoren eine Rolle. Unter anderem werden in der Kamera die Temperaturen der Optik oder des Detektors gemessen, um die internen Kalibrierungseigenschaften korrekt zu parametrieren.

Es ist daher immer wichtig, dass die Kamera selbst thermisch stabil ist. So sollte man bei einer Gebäudethermografie nicht mit der Kamera bei einer Temperatur von 20°C aus dem Auto steigen und korrekte Messwerte bei Außentemperaturen von -20°C erwarten. Die Kamera sollte nicht zur Messung der Gebäudetemperatur verwendet werden. Diese erhält man nur, wenn die Kamera selbst thermisch stabil ist, d.h. wenn sie etwa ½ Stunde lang bei -20°C gelaufen ist.

## 4.3 Analyse und Berichterstattung

Es gibt einige Funktionen, die die Dokumentation und auch die Berichterstattung nachvollziehbarer machen.

### Die Bild-in-Bild-Funktion

Damit kann der Benutzer Bilder von der Digitalkamera und der Wärmebildkamera kombinieren. Das kombinierte Bild zeigt einen Rahmen über dem digitalen Bild mit einem Teil des Wärmebildes, der verschoben und in der Größe verändert werden kann. So kann der Benutzer Probleme leichter lokalisieren.

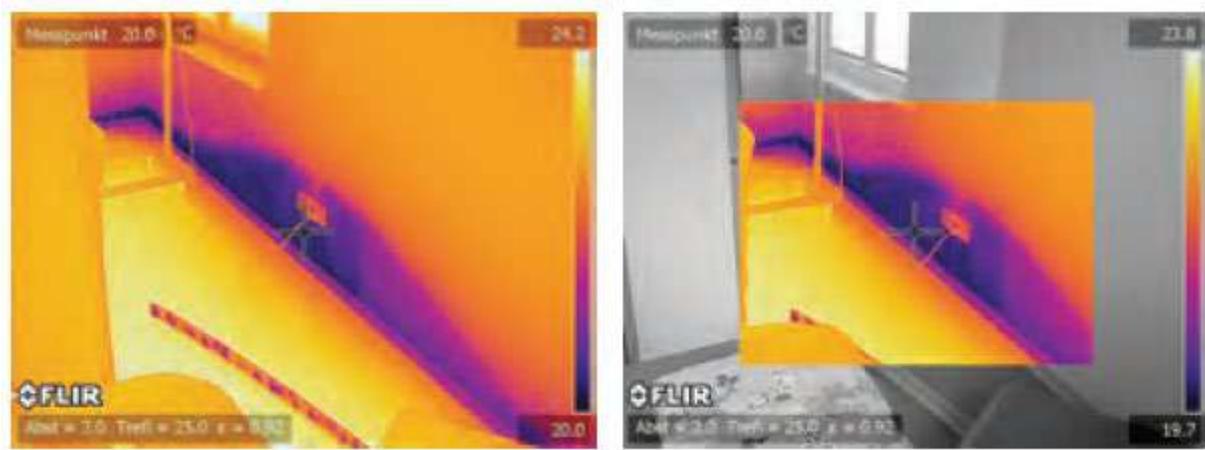


Abbildung 4- 4: Bild-im-Bild-Funktion (FLIR Systems)

### Thermische Fusion

Mit dieser Funktion kann der Benutzer die beiden Bilder nahtlos kombinieren, indem er Temperaturparameter einstellt und die thermischen Daten innerhalb der Grenzwerte und das Digitalfoto außerhalb anzeigt. So können Probleme isoliert und Reparaturen effizienter durchgeführt werden.

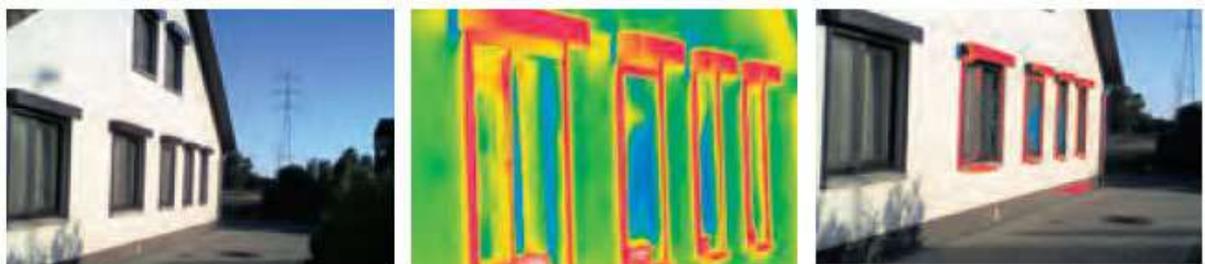


Abbildung 4- 5: Real - Infrarot - Wärmefusion (FLIR Systems)

### Bericht

Ein Thermografiebericht enthält in der Regel detaillierte Informationen über die an einem bestimmten Objekt durchgeführte Wärmebildinspektion, z. B. einem Gebäude, einer elektrischen Anlage oder einer mechanischen Ausrüstung. Der Inhalt eines Thermografieberichts kann je nach Anwendungsfall variieren, aber hier ist ein allgemeiner Überblick darüber, was er enthalten könnte:

1. Einleitung:
  - a. Zweck der thermografischen Prüfung.
  - b. Datum und Ort der Inspektion.
  - c. Identifizierung des inspizierten Objekts (z. B. Gebäude, Schaltschrank).
2. Umfang der Arbeiten:
  - a. Erläuterung der von der Inspektion erfassten Bereiche oder Komponenten.
  - b. Etwaige Einschränkungen oder Zwänge während der Inspektion.
3. Ausrüstung und Methodik:
  - a. Einzelheiten über die verwendete Wärmebildausrüstung.
  - b. Beschreibung der Inspektionsmethodik.
  - c. Alle speziellen Techniken, die während der Inspektion eingesetzt wurden.
4. Umweltbedingungen:
  - a. Temperatur- und Wetterbedingungen während der Inspektion.
  - b. Vermerk aller Faktoren, die die Ergebnisse beeinflusst haben könnten (z. B. Wind, Sonnenlicht).
5. Vorbereitung und Überlegungen:
  - a. Schritte zur Vorbereitung des Objekts für die thermografische Untersuchung.
  - b. Überlegungen zur Erzielung genauer und zuverlässiger Ergebnisse.
6. Wärmebilder:
  - a. Präsentation der während der Inspektion aufgenommenen Wärmebilder.
  - b. Kommentierung wichtiger Befunde und Anomalien.
7. Analyse und Interpretation:
  - a. Interpretation der beobachteten thermischen Muster und Anomalien.
  - b. Identifizierung potenzieller Probleme oder Bereiche, die Anlass zur Sorge geben.
  - c. Vergleich der Temperaturunterschiede und ihrer Bedeutung.
8. Empfehlungen:
  - a. Empfohlene Maßnahmen auf der Grundlage der Ergebnisse.
  - b. Prioritätsstufen für die Behandlung der ermittelten Probleme.
  - c. Vorschläge für weitere Untersuchungen, falls erforderlich.
9. Schlussfolgerungen:
  - a. Zusammenfassung der wichtigsten Beobachtungen und Schlussfolgerungen.
  - b. Gesamtbeurteilung des Zustands des Probanden.
10. Anhang:
  - a. Zusätzliche Belege, Diagramme oder Schaubilder.
  - b. Rohe Wärmebilder als Referenz.

11. Kontaktinformationen:

- a. Kontaktdaten des Thermografen oder des Inspektionsteams.
- b. Informationen darüber, wie man weitere Klärungen oder zusätzliche Dienste in Anspruch nehmen kann.

Es ist wichtig, dass ein Thermografiebericht klar und prägnant ist und sowohl von technischen als auch von nichttechnischen Lesern leicht verstanden wird. Darüber hinaus sollte der Bericht alle relevanten Industrienormen und Richtlinien erfüllen.

In **Anhang A** ist ein Auszug aus einem beispielhaften Bericht für die Inspektion einer Photovoltaikanlage (PV) dargestellt.

# Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2- 1: Fehlende Isolierung in der Fassade (FLIR Systems).....	7
Abbildung 2- 2: Glasdach mit Warmluftaustritt (FLIR Systems).....	7
Abbildung 2- 3: Wärmebrücke an der Decke (FLIR Systems).....	8
Abbildung 2- 4: Lokalisierung der Heizungsanlage (FLIR Systems).....	8
Abbildung 2- 5: Ortung von Wasser im Flachdach (FLIR Systems).....	9
Abbildung 2-7: Überhitzung Kontaktstelle.....	10
Abbildung 2-6: Überhitzung einer Leitung.....	10
Abbildung 2-8: Durchfeuchtung Unterzug (semanticssolar.org).....	10
Abbildung 2-9: Metallbrücke Analyse (Brunswick Engineering).....	11
Abbildung 2-10: Wasserlecks bei Speicherbauten (3Dvirtual360.com.au).....	11
Abbildung 2-11: PV Module Fehlersuche (analistgroup.com).....	12
Abbildung 2-12: Mehrfache Fehler an Modulen (diagnosticphotovoltaique.fr).....	12
Abbildung 2-13: Kalte Gasleitung (thermalcapture.com).....	13
Abbildung 2-14: Leckagen bei Fernwärmesystem (drone-thermal-camera.com).....	13
Abbildung 2- 15 Beispiele mit Drohnen und Thermografie.....	15
Abbildung 2- 16 FLIR Vue Pro (firmcameras.com).....	16
Abbildung 2- 17 DJI Zenmuse (dji.com).....	16
Abbildung 2- 18 DJI Mavic 3T (store.dji.com).....	19
Abbildung 2-19 DJI Matrice 30 T (w.grube.at).....	19
Abbildung 2-20 DJI Matrice 350 (droon.ee).....	20
Abbildung 2-21 Yuneec H520E (shop.yuneec.com).....	20
Abbildung 2-22 FLIR SkyRanger R70 (www.flir.eu).....	21
Abbildung 2-23 Parrot Anafi Thermal (www.parrot.com).....	21
Abbildung 2-24 Parrot Anafi USA (drohnen.de).....	22
Abbildung 2-25 Autel EVO II Dual 640T (shop.autelrobotics.com).....	22
Abbildung 2-26 Flyability Elios 3 (halorobotics.com).....	23
Abbildung 4- 1: Wärmeempfindlichkeit 65mk links gegenüber 45mk rechts (FLIR Systems).....	33
Abbildung 4- 2: Emissionswert (FLIR Systems).....	33
Abbildung 4- 3: Reflexion an der rechten Wand vom linken Fenster (FLIR Systems).....	35

Abbildung 4- 4: Bild-im-Bild-Funktion (FLIR Systems)..... 38  
Abbildung 4- 5: Real - Infrarot - Wärmefusion (FLIR Systems)..... 38

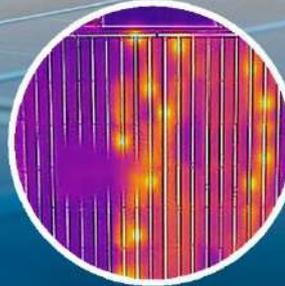
## Liste der tabellen

Tabelle 3-1: Emissionsgrad einiger Materialien..... 27

# 5. Anhang a

SOLARTESTER

# INSPECTION REPORT

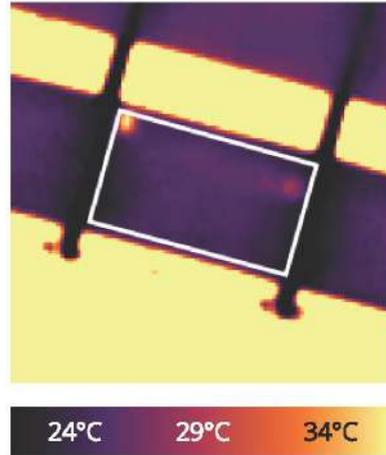


[www.solartester.nl](http://www.solartester.nl)

## Content

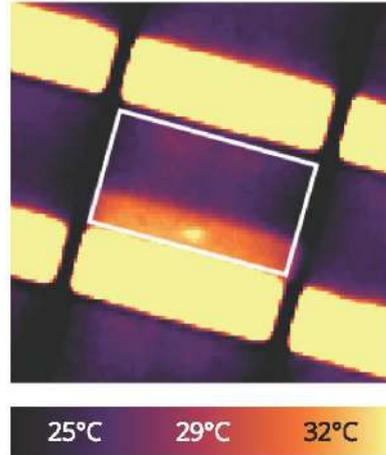
1. ST-9999 SOLARTESTER SAMPLE REPORT	1
Site properties	1
High level site plan	2
Inspection history	2
2. INSPECTION DETAILS	3
Data product	3
Timing	3
Main equipment	3
3. RGB ORTHOMOSAÏC	4
4. THERMAL ORTHOMOSAÏC	5
5. LAYER FEATURES	6
Thermal Anomalies	6

## THERMAL ANOMALIES - ID 7



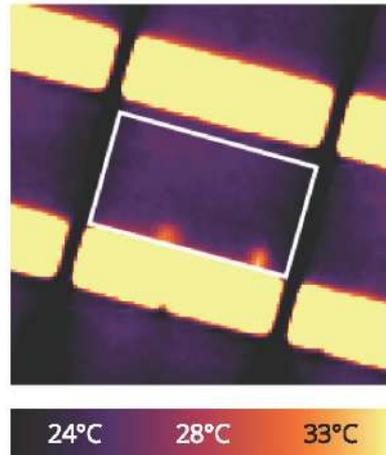
<b>ANOMALY TYPE</b>	Multiple hotspot	<b>MEAN TEMPERATURE</b>	25.5 °C
<b>ANOMALY CAUSE</b>	Dropping	<b>MIN TEMPERATURE</b>	23.6 °C
<b>MAX TEMPERATURE</b>	34.3 °C	<b>LONGITUDE</b>	4.5281328 °
<b>DELTA TEMPERATURE</b>	8.9 °C	<b>LATITUDE</b>	51.7144612 °

## THERMAL ANOMALIES - ID 8



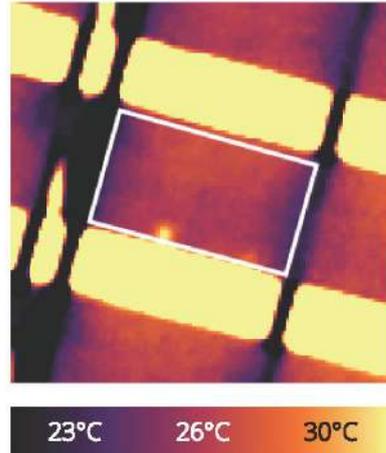
<b>ANOMALY TYPE</b>	Single bypassed	<b>MEAN TEMPERATURE</b>	27.9 °C
<b>ANOMALY CAUSE</b>	Physical internal	<b>MIN TEMPERATURE</b>	24.8 °C
<b>MAX TEMPERATURE</b>	32.4 °C	<b>LONGITUDE</b>	4.5286966 °
<b>DELTA TEMPERATURE</b>	4.6 °C	<b>LATITUDE</b>	51.7144612 °

## THERMAL ANOMALIES - ID 9



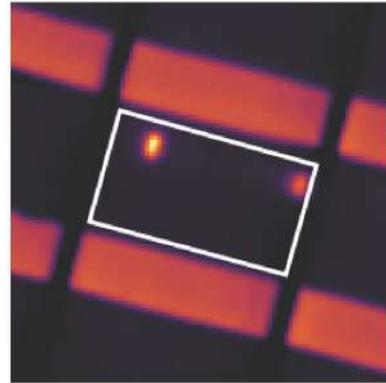
ANOMALY TYPE	Multiple hotspot	MEAN TEMPERATURE	25.6 °C
ANOMALY CAUSE	Dropping	MIN TEMPERATURE	23.9 °C
MAX TEMPERATURE	32.7 °C	LONGITUDE	4.5290964 °
DELTA TEMPERATURE	7.1 °C	LATITUDE	51.7144612 °

## THERMAL ANOMALIES - ID 10



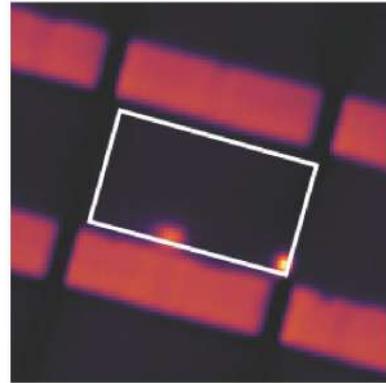
<b>ANOMALY TYPE</b>	Multiple hotspot	<b>MEAN TEMPERATURE</b>	25.7 °C
<b>ANOMALY CAUSE</b>	Dropping	<b>MIN TEMPERATURE</b>	23 °C
<b>MAX TEMPERATURE</b>	29.6 °C	<b>LONGITUDE</b>	4.5288414 °
<b>DELTA TEMPERATURE</b>	3.9 °C	<b>LATITUDE</b>	51.714461 °

## THERMAL ANOMALIES - ID 11



<b>ANOMALY TYPE</b>	Multiple hotspot	<b>MEAN TEMPERATURE</b>	26.2 °C
<b>ANOMALY CAUSE</b>	Dropping	<b>MIN TEMPERATURE</b>	24 °C
<b>MAX TEMPERATURE</b>	58.5 °C	<b>LONGITUDE</b>	4.5289707 °
<b>DELTA TEMPERATURE</b>	32.3 °C	<b>LATITUDE</b>	51.7144612 °

## THERMAL ANOMALIES - ID 12



<b>ANOMALY TYPE</b>	Multiple hotspot	<b>MEAN TEMPERATURE</b>	26.7 °C
<b>ANOMALY CAUSE</b>	Dropping	<b>MIN TEMPERATURE</b>	24.3 °C
<b>MAX TEMPERATURE</b>	61.9 °C	<b>LONGITUDE</b>	4.5287534 °
<b>DELTA TEMPERATURE</b>	35.3 °C	<b>LATITUDE</b>	51.714461 °

# SOLAR TESTER

[solartester.nl](http://solartester.nl)

Graafsebaan 139  
5248NL Rosmalen  
The Netherlands

[info@solartester.nl](mailto:info@solartester.nl)

## ST-9999 SOLARTESTER SAMPLE REPORT

This section gives a brief overview of site-specific information, including inverter and panel properties.

### SITE PROPERTIES

<b>ADDRESS</b>	Graafsebaan 139 Rosmalen	<b>PANEL ORIENTATION</b>	S
<b>PEAK POWER</b>	1 MWp	<b>PANEL MAXIMUM POWER</b>	370 Wp
<b>NUMBER OF PANELS</b>	2800	<b>AREA</b>	0.85 ha
<b>PANEL INCLINATION</b>	30	<b>PANEL MODEL</b>	Solar Tester
		<b>INVERTER MODEL</b>	Demo

## HIGH LEVEL SITE PLAN



## INSPECTION HISTORY

23 Jul 2022

Solar Inspection Pro

COMPLETED

## INSPECTION DETAILS

### DATA PRODUCT

Our “Pro” Solar Site Inspection functionality provides a complete overview of all the issues of your site and their potential causes.

#### TIMING

<b>TIMEZONE</b>	GMT+2
<b>THERMAL FLIGHT(S)</b>	<small>START</small> 23 Jul 2022 10:08
<b>RGB FLIGHT(S)</b>	<small>START</small> 23 Jul 2022 10:08

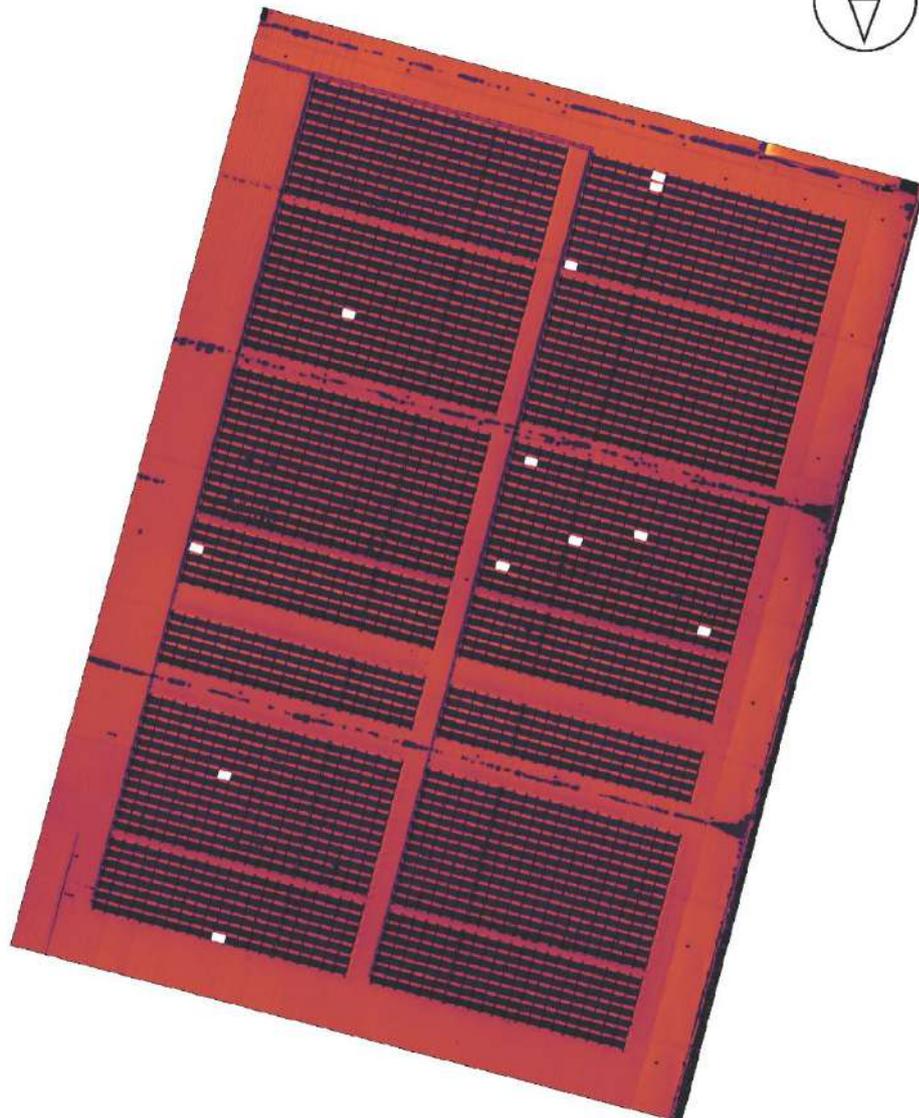
#### MAIN EQUIPMENT

<b>THERMAL DRONE</b>	DJI Matrice 200
<b>THERMAL CAMERA</b>	FLIR Zenmuse XT2 Thermal - 9Hz 640 R 13mm
<b>RGB DRONE</b>	DJI Matrice 200
<b>RGB CAMERA</b>	FLIR Zenmuse XT2 RGB

## RGB ORTHOMOSAÏC

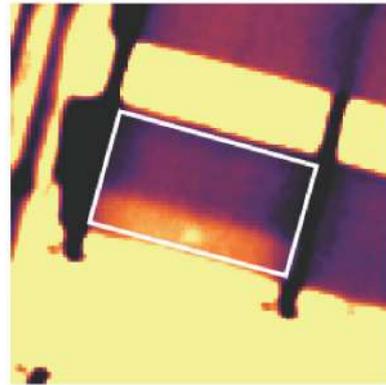


## THERMAL ORTHOMOSAÏC



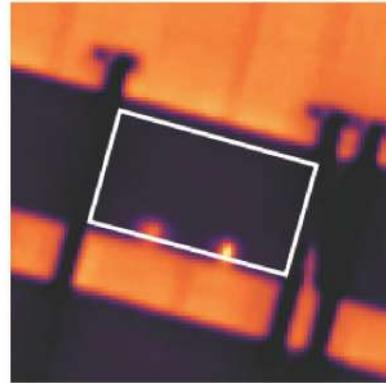
## LAYER FEATURES

### THERMAL ANOMALIES - ID 1



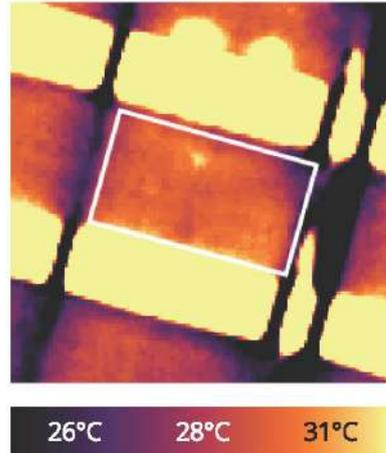
<b>ANOMALY TYPE</b>	Single bypassed	<b>MEAN TEMPERATURE</b>	28.2 °C
<b>ANOMALY CAUSE</b>	Physical internal	<b>MIN TEMPERATURE</b>	24.7 °C
<b>MAX TEMPERATURE</b>	33.1 °C	<b>LONGITUDE</b>	4.5288326 °
<b>DELTA TEMPERATURE</b>	5 °C	<b>LATITUDE</b>	51.7144612 °

## THERMAL ANOMALIES - ID 2



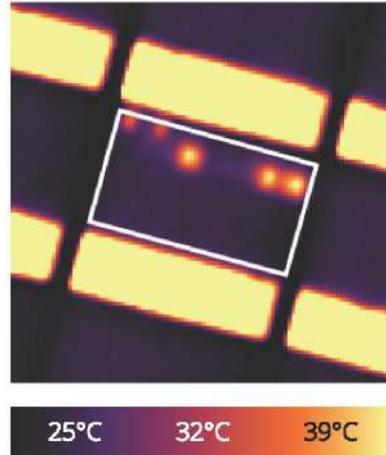
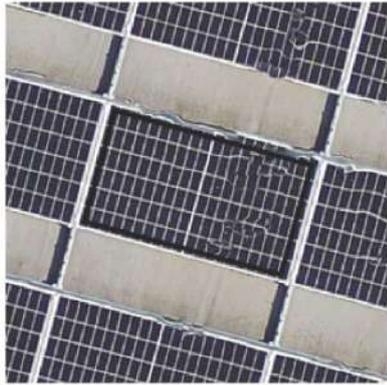
<b>ANOMALY TYPE</b>	Multiple hotspot	<b>MEAN TEMPERATURE</b>	28.4 °C
<b>ANOMALY CAUSE</b>	Dropping	<b>MIN TEMPERATURE</b>	26.2 °C
<b>MAX TEMPERATURE</b>	52.5 °C	<b>LONGITUDE</b>	4.5290063 °
<b>DELTA TEMPERATURE</b>	24 °C	<b>LATITUDE</b>	51.7144612 °

### THERMAL ANOMALIES - ID 3



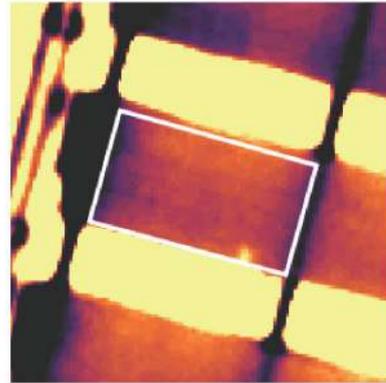
ANOMALY TYPE	Hotspot	MEAN TEMPERATURE	28.9 °C
ANOMALY CAUSE	Dropping	MIN TEMPERATURE	26.1 °C
MAX TEMPERATURE	30.5 °C	LONGITUDE	4.5290015 °
DELTA TEMPERATURE	1.6 °C	LATITUDE	51.714461 °

## THERMAL ANOMALIES - ID 4



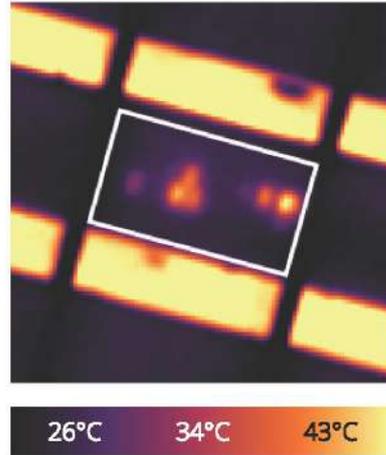
<b>ANOMALY TYPE</b>	Multiple hotspot	<b>MEAN TEMPERATURE</b>	26.6 °C
<b>ANOMALY CAUSE</b>	Physical internal	<b>MIN TEMPERATURE</b>	24.8 °C
<b>MAX TEMPERATURE</b>	39.2 °C	<b>LONGITUDE</b>	4.5283909 °
<b>DELTA TEMPERATURE</b>	12.5 °C	<b>LATITUDE</b>	51.7144612 °

## THERMAL ANOMALIES - ID 5



ANOMALY TYPE	Hotspot	MEAN TEMPERATURE	27.1 °C
ANOMALY CAUSE	Dropping	MIN TEMPERATURE	24.4 °C
MAX TEMPERATURE	30 °C	LONGITUDE	4.5280887 °
DELTA TEMPERATURE	2.9 °C	LATITUDE	51.7144612 °

## THERMAL ANOMALIES - ID 6



<b>ANOMALY TYPE</b>	Multiple hotspot	<b>MEAN TEMPERATURE</b>	27.8 °C
<b>ANOMALY CAUSE</b>	Physical internal	<b>MIN TEMPERATURE</b>	25.6 °C
<b>MAX TEMPERATURE</b>	43.3 °C	<b>LONGITUDE</b>	4.5281439 °
<b>DELTA TEMPERATURE</b>	15.6 °C	<b>LATITUDE</b>	51.7144612 °