

Be sure. **testo**



# Praktisk guide Termografi för solcellsanläggningar.

## Inledning.

Energiomställningen är ett nödvändigt steg för att minska beroendet av fossila bränslen och bekämpa klimatförändringarna. Här spelar förnybar energi som solenergi en viktig roll. Solceller är ett allt populärare sätt att omvandla solenergi till el. För att maximera effektivitet och prestanda hos solcellssystem är regelbunden övervakning och underhåll väsentligt. Den bästa metoden för att kontrollera solcellsanläggningar är termografi, som använder en värmekamera för att registrera temperaturfördelningen över

solcellerna. Detta gör att fel och defekter kan upptäckas i god tid, vilket maximerar anläggningens lönsamhet. I den här guiden hittar du värdefull information om termografi för solcellsanläggningar och praktiska tips för att utföra inspektioner med en värmekamera.



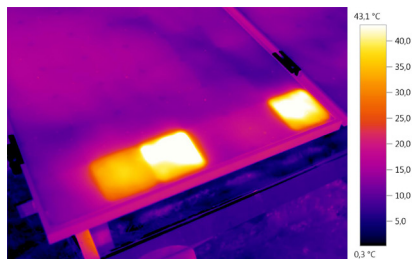
## Innehåll:

Motivering och anledningar till att använda termografi	4
Fel i värmebilder och orsaker	7
Tips & tricks för att mäta och undvika fel	11
Hur ser den idealiska värmekameran ut?	14
Värmekameror för solcellstermografi	17
Värmekameran – idealiskt verktyg för inspektion av solcellsanläggningar	18

# Motivering och anledningar till att använda **termografi**.

### **Undvika dålig lönsamhet för kunden.**

En ny solcellsanläggning baseras på en omfattande och detaljerad lönsamhets- och investeringsanalys. För detta ändamål beräknas avkastning och amortering för löptider på upp till 20 år. Dessa beräkningar inkluderar dock inte effektförluster på grund av problem med moduler, växelriktare och andra komponenter, eller på grund av felaktiga installationer. Med hjälp av termografi är det möjligt att redan vid idrifttagningen ta fram besiktningsintyg och bevis på korrekt installation. Regelbundna inspektioner är oundgängliga för att säkerställa en



Termiska oregelbundenheter indikerar en möjlig effektförlust.

hållbar avkastning för nya och befintliga anläggningar. Om moduler blir uppvärmda på grund av smuts, skugga eller felaktiga celler, dvs förbrukar ström istället för att generera den, sjunker verkningsgraden med 0,5 % per Kelvin. En medeltemperaturhöjning på 10 °C jämfört med medelstandardtemperaturen innebär 5 % lägre verkningsgrad.

**Kvalitetssäkring och garanti.** Med hjälp av termografi är det möjligt att kontrollera om kvaliteten på solcellerna uppfyller kraven. Rätt kombination av enskilda moduler undviker så kallade mismatchningar, där högpresterande moduler hindras av "sämre" moduler. Med en besiktning före garantitidens utgång kan eventuella garantianspråk gentemot leverantörer göras gällande i god tid.

### **Säkerhet för personal vid inspektioner.**

Solcellspaneler är genererar elektrisk spänning i dagsljus. När det gäller moderna modulsträngar är spänningarna ofta upp till

1000 V. Detta innebär en avsevärd risk för elektriska stötar för personalen. Av denna anledning är termografi en mycket säker inspektionsmetod, eftersom värmebilder alltid registreras med nödvändigt avstånd till mätobjektet. Detta gör att kraven på säkerhetsavstånd enkelt uppfylls.

### **Brandskydd.**

Brandskyddet blir allt viktigare. Moderna växelriktare och elektriska komponenter blir mer och mer kraftfulla (hög effektivitetsnivå), men den resulterande höga nivån av värme som avges måste också beaktas. Felaktigt monterade eller otillräckligt kylta elektriska komponenter kan snabbt utgöra en brandrisk, särskilt om monteringsunderlaget är gjort av brännbart material. Elektriska komponenter som installeras utomhus åldras särskilt snabbt till följd av väderpåverkan och UV-strålning. Korroderade eller lösa elektriska kablar indikerar termiska oregelbundenheter, som syns på en värmekamera.

**Tidsbesparingar.** Termografi är en beröringsfri, visuell mätmetod. Solcellsmoduler med stora ytor kan

skannas på mycket kort tid. Termiska oregelbundenheter eller temperaturskillnader som påverkar moduler är omedelbart uppenbara och är en första indikation på möjliga fel. Medan tidigare alla modulsträngar mättes individuellt, kan man med termografi nu koncentrera sig på de moduler och celler som ser misstänkta ut, för alla ytterligare mätningar (t.ex. med ett mätinstrument som använder karakteristikkurvor).

### **Effektiva merförsäljnings- och uppföljningsaffärer.**

I takt med att antalet installationer ökar, ökar också behovet av test- och underhållstjänster för solceller. Serviceavtal kan utgöra ytterligare en intäktskälla i en klassisk eftermarknadsverksamhet. Användningen av termografi gör att en kund kan erbjuda värdefulla eftermarknads-tjänster som säkerställer värdet av en solcellsanläggning på lång sikt.

## Termografi

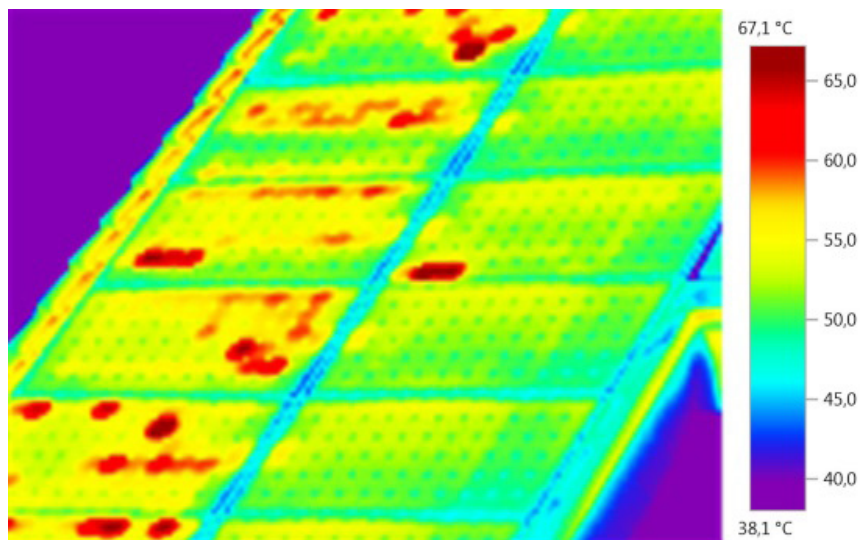
### Effektiva merförsäljnings- och uppföljningsaffärer.

I takt med att antalet installationer ökar, ökar också behovet av test- och underhållstjänster för solceller. Serviceavtal kan utgöra ytterligare en intäktskälla i en klassisk eftermarknadsverksamhet. Användningen av termografi gör att en kund kan erbjuda värdefulla eftermarknadstjänster som säkerställer värdet av en solcellsanläggning på lång sikt.

### Försäkringsskydd.

Fram till nu har felaktiga bypass-dioder varit extremt svåra att lokalisera efter stormar. Termografi är ett enkelt och snabbt verktyg för att identifiera denna typ av skador.

Kostnaderna för att avhjälpa felet står i allmänhet försäkringsbolaget för.



Felaktiga moduler efter åskväder.

## Fel i värmebilder och **orsaker.**

### **Söka efter hotspot-områden.**

Skuggade eller defekta modulceller bildar ett internt elektriskt motstånd som kan leda till oönskade "hotspots". Cellen kan värmas upp så mycket att den inte bara skadas, utan även skadar höljets material (EVA) och stödfilmen (TPT) om den skadas.

Bypass-dioder är avsedda att förhindra denna effekt. Defekta eller olämpliga bypass-dioder (där skuggan är minimal) fortsätter dock att leda till okontrollerbara hotspots. Om skugga inte beaktas i planeringsfasen (t.ex. orsakad av externa anläggningar eller träd), utsätts modulcellerna och bypass-dioderna för permanent belastning i årtal.

### **Hotspots och deras konsekvenser.**

- Verkningsgraden minskar, eftersom enskilda celler eller hela modulen förbrukar el istället för att generera den.
- Önskad elförbrukning värmer upp cellerna och modulerna. Förutom skador på enskilda celler och en ytterligare minskning av verkningsgraden kan detta också leda till en reell brandrisk.

### **Identifiera hotspots med termografi.**

I allmänhet kan fel i solcellsanläggningar från cirka 600 W/m<sup>2</sup> solstrålning snabbt diagnostiseras från förändringar i de termiska egenskaperna som dyker upp på en värmekamera. Den här typen av förändringar inträffar till exempel på grund av:

- Defekta bypass-dioder
- Kontaktfel och kortslutning i solceller
- Fuktinträngning, smuts
- Sprickor i celler eller i modulens glas
- Ej fungerande eller fränkopplade moduler
- Så kallade "mismatches", dvs förlust av prestanda på grund av olika kapacitet i enskilda moduler
- Felaktiga kablar och lösa kontakter
- Tecken på åldring och slitage.

# Termografi

## Fel i värmebilder av celler och moduler.

IR-bilderna (1) och (2) visar typiska, olika värmebilder för felaktiga enskilda celler och delsträngar.

Anslutningsuttagen som syns på bild (1) visar synlig uppvärmning. Detta indikerar inte nödvändigtvis ett fel.

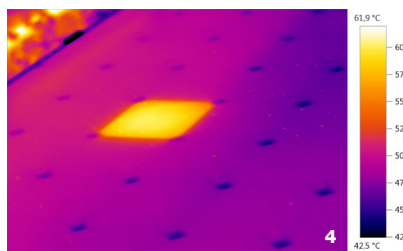
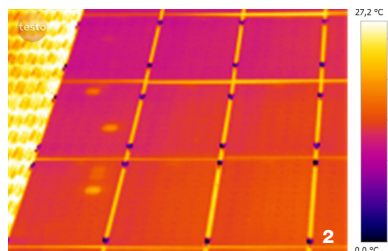
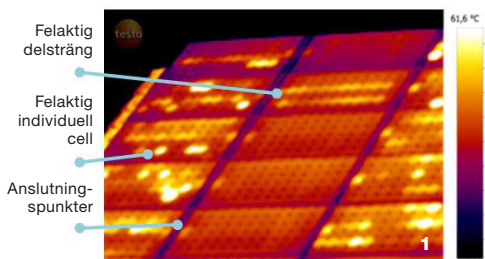
Dock kan anslutningsuttag överhettas, så det är nödvändigt att testa temperaturutvecklingen vid behov.

**Avbrott i modulen.** Det är inte ovanligt att moduler körs med avbrott. Detta kan orsakas av felaktigt anslutna moduler eller kablar som har skadats. Detta syns i värmebilden genom ett

konsekvent varmare område (3), jämfört med de andra modulerna.

**Delaminering** På grund av yttre påverkan eller dålig kvalitet kan det skyddande EVA-skiktet lossna. Eventuell fukt som tränger in kan leda till cellkorrosion och till prestandaförlust. Med en värmekamera kan detta detekteras innan lagren blir synligt "mjölkiga"(4).

## Typiska felindikeringar i värmebilder på solceller och moduler.



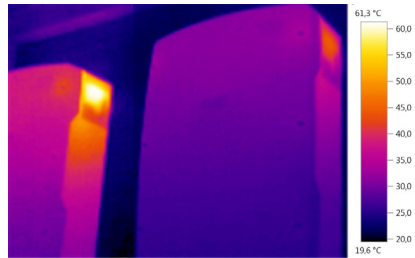
**Cellbrott.** Redan under transport och installation kan mikrosprickor och cellbrott uppstå. Extern mekanisk påverkan kan också vara orsaken till detta. Även om mikrosprickbildning inte är kritisk, kan cellbrott minska prestandan.

**Kontroll av elektriska och mekaniska komponenter.**

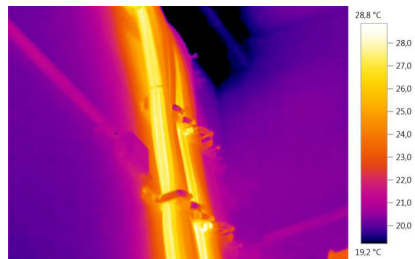
Förutom de enskilda cellerna och modulerna kan elektriska komponenter även kontrolleras med termografi. Korrosion på elektriska ledare och kontakter eller lösa kablar kan leda till elektriskt överföringsmotstånd, vilket kan leda till en avsevärd temperaturhöjning.

Andra felorsaker:

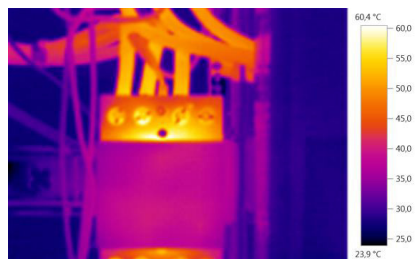
- Korroderade kontakter eller kontaktdon
- Växelriktare
- Lösa kontakter
- Överhettade anslutningspunkter



Vänster växelriktare är betydligt varmare.



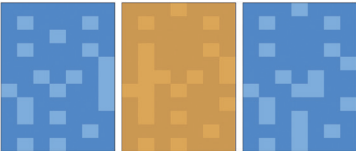
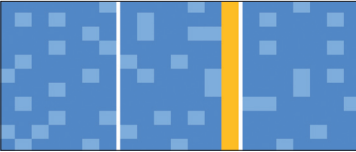
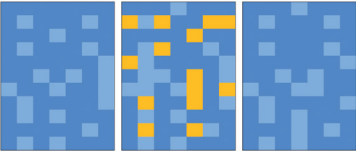
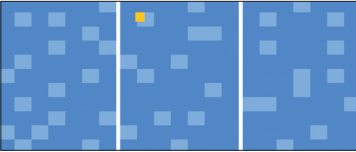
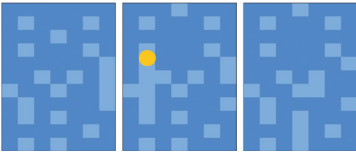
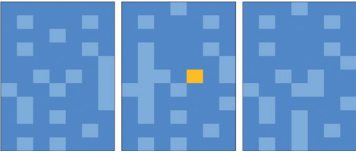
DC-kabel utan kritisk uppvärmning.



Betydande uppvärmning vid elanslutningar.

## Översikt över fel i värmebilder och orsaker.

Följande översikt listar typiska fel i värmebilder och deras möjliga orsaker.

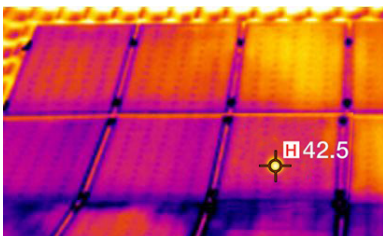
	<b>Värmebild 1</b> Beskrivning: konstant uppvärmning av en modul jämfört med de övriga. Möjliga fel: modulen ur funktion. Möjlig orsak: modulen är inte ansluten, sliten eller trasig kabel.
	<b>Värmebild 2</b> Beskrivning: modulen har linjeliknande uppvärmning av en cellsträng. Möjliga fel: kortslutning i en cellsträng. Möjlig orsak: defekt bypass-diod t.ex. efter en storm.
	<b>Värmebild 3</b> Beskrivning: "lapptäcksmönster" där enskilda celler är slumpmässigt fördelade och betydligt varmare. Möjliga fel: hela modulen ur funktion. Möjlig orsak: felaktigt ansluten eller så är alla bypass-dioder felaktiga.
	<b>Värmebild 4</b> Beskrivning: Endast en del av en cell är betydligt varmare. Möjliga fel: cellbrott. Möjlig orsak: transport- eller installationsskador eller annan yttre mekanisk påverkan.
	<b>Värmebild 5</b> Beskrivning: uppvärmning vid specifika punkter eller ojämn värme. Möjliga fel: spricka i en cell eller artefaktbildning. Möjlig orsak: tillverkningsfel, skugga på grund av till exempel smuts (fågelspillning etc.).
	<b>Värmebild 6</b> Beskrivning: uppvärmning av en enskild cell. Möjliga fel: inte nödvändigtvis ett fel. Möjlig orsak: skugga eller defekt cell.

## Tips och tricks för att mäta och undvika fel.

**Mätförutsättningar.** Testning bör ske under klara, torra dagar med intensiv solstrålning (ca 600 W/m<sup>2</sup>).

Vid direkt solstrålning arbetar solpanelerna för full kapacitet och skadade solceller visar sig varmare än de andra cellerna på IR-bilden eftersom de är överbelastade eller har slutat fungera. Strålning på ca. 600 W/m<sup>2</sup> är ett riktvärde. Om solinstrålningen ändras under mätningen, till exempel på grund av moln, kan IR-bilden inte längre användas. För att uppnå högsta möjliga och därför lätt detekterbara temperaturgradienter rekommenderar vi att mätningen utförs när utomhustemperaturen är låg (t.ex. morgon eller kväll). Den kyleffekt på paneler som orsakas av vind kan också behöva beaktas.

**Korrekt position.** Under termografering är värmekamerans position i förhållande till



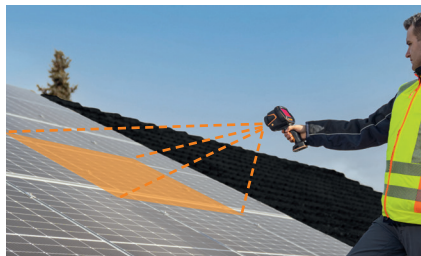
Molnreflektioner är synliga.

**solcellsmodulen nyckeln.** Den utstrålade energin är riktning-beroende, dvs. under IR-temperaturmätningen bör värmekamerans position i förhållande till modulytan vara 60° till 90°.

Solcellsmodulen bör vara justerad så att den är så vertikal som möjligt mot solstrålningsriktningen.

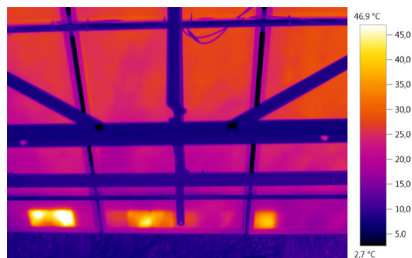
Vinkelrelaterade mätfel leder till exempel till möjliga temperaturskillnader och falska reflektioner. Vidare måste det säkerställas att mätbilden inte påverkas av reflektioner från värmekameran, mätteknikern, solen eller närliggande byggnader. Reflekterad strålning detekteras också av värmekameran. Reflektioner kan upptäckas genom förändringar i synvinkeln, eftersom de också rör sig.





Korrekt position för mätning av en modul.

Med fristående solcellsmoduler som stöds av monteringsystem kan värmebilder även tas från baksidan, eftersom reflektioner praktiskt taget kan uteslutas och en högre emissionnivå uppnås. Värmeöverföringen är tillräcklig för att kunna bedöma temperaturfördelning på baksidan. Detta gör att felaktiga mätningar och feltolkningar undviks.



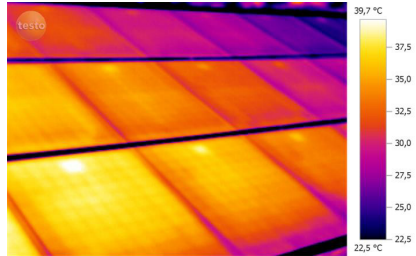
Ta en bild av en modul bakifrån.

**Tolkning och utvärdering.** Om temperaturavvikelser uppstår under utvärderingen av värmebilderna behöver detta inte betyda att de berörda modulerna måste vara felaktiga. Värmebilder kan till exempel indikera halvskugga orsakad av smuts. Samtidigt leder en enskild skadad cell inte nödvändigtvis till förlust av prestanda i hela panelen. Endast fel på hela undersektioner av panelen kommer att resultera i stora prestandaförluster. **Ytterligare kontroller såsom en visuell inspektion, en mätning med karakteristikkurvor eller med elektroluminescens är därför nödvändiga för att lokalisera misstänkta orsaker till fel.**

Försiktighet bör iaktas när du tolkar de absoluta temperaturerna som visas på värmebilderna. Reflektioner av den kalla himmelstrålningen kan till exempel leda till feltolkningar – klarblå sommarhimmel strålar upp till -25 °C. Vi rekommenderar att du här arbetar med  $\Delta T$ -värden och är särskilt uppmärksam på extrema temperaturskillnader inom en panel eller jämfört med den intilliggande panelen.

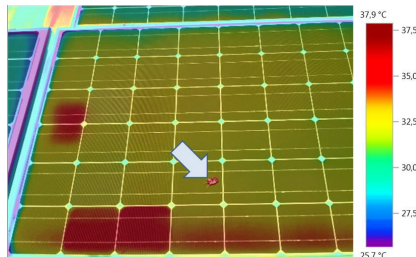
**Hotspots innebär inte nödvändigtvis en felaktig cell.**

Inte alla hotspots innebär alltid ett fel i en solcell. Till exempel kan monteringsystem och anslutningspunkter vara synliga som ett resultat av värmeöverföringen till modulytan.



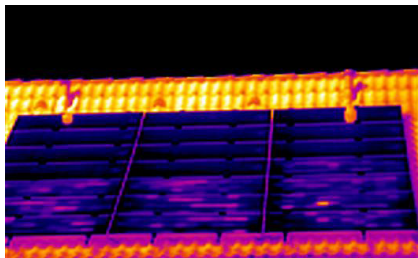
Anslutningspunkter på baksidan är synliga.

Moduler med betydande avvikelser är inte nödvändigtvis felaktiga, de kan bara vara smutsiga och behöver rengöras.

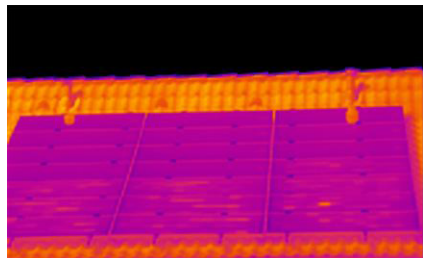


Bildöverlägget visar smuts orsakad av fågel-spilling vid den hetaste hotspoten.

**Nivå och spännvidd. Justering av nivå och spännvidd är extremt viktig för identifiering av fel.** I automatiskt läge upptäcker värmekameran den varmaste och kallaste punkten och justerar färggraderingen över hela området. Den stora spridningen eliminerar därför alla relevanta temperaturskillnader.



Manuell justering



Automatisk justering

# Hur ser den idealiska värmekameran ut?

Att kontrollera solcellsanläggningar med termografi ställer höga krav på användningen av en värmekamera. För att välja en lämplig värmekamera måste flera kriterier beaktas:

- Detektorns IR-upplösning
- Termisk upplösning (NETD)
- Utbytbar optik
- Kamerafunktioner
- Mjukvara

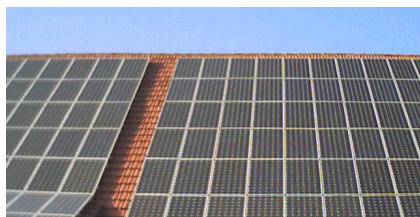
### **IR-upplösning eller geometrisk upplösning.**

Den geometriska upplösningen (anges i mrad) beskriver en värmekameras förmåga att känna igen objekt (t.ex. enskilda felaktiga moduler) från ett visst avstånd. Eftersom den geometriska upplösningen bland annat är beroende av detektorns IR-upplösning rekommenderas IR-upplösningar på minst 320 x 240 pixlar (76 800 mätpunkter) vid stora solcellsanläggningar och vid mätningar på långt avstånd. När man kontrollerar små anläggningar och utför mätningar på kort avstånd kan det också räcka med IR-upplösningar från 160 x 120 pixlar (19 200 mätpunkter).

### **Termisk upplösning (NETD).**

Den termiska upplösningen beskriver förmågan hos en värmekamera att upptäcka temperaturskillnader på en objektyta. En värmeupplösning på till exempel 0,05 °C (eller 50 mK) gör att värmekameran kan upptäcka denna skillnad och visa den med olika färggraderingar på displayen. Ju lägre termisk upplösning, desto bättre IR-bild.

**Utbytbar optik.** Bortsett från detektorns IR-upplösning, påverkar optikens öppningsvinkel även den geometriska upplösningen. För att spara tid på stora ytor, t.ex. från en förhöjd plattform, bör man välja värmekameror med utbytbara teleobjektiv. På värmekameror som testo 883 kan objektivet snabbt bytas.

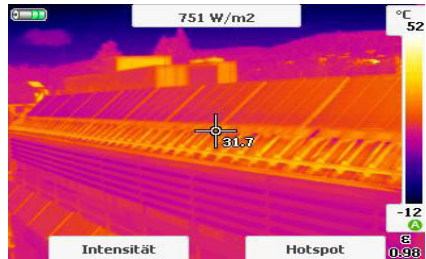


En hög geometrisk upplösning underlättar inspektioner av stora anläggningar.

**Solstrålningsläge.** Detta kameraläge är ett som är särskilt användbart för solcellstermografi. I solläge kan solstrålningen i  $W/m^2$  lagras med varje bild, för att dokumentera relevanta omgivningsförhållanden.

**Vridbar display.** En vridbar display, som till exempel på värmekameran testo 890, hjälper dig att placera kameran korrekt (se Tips & Tricks) för att undvika mätfel. Detta gör det möjligt att ta värmebilder med kameran uppsträckt i luften. Mätningar på baksidan av moduler underlättas också. Värmekameran kan vridas till önskat läge, utan att någon behöver ligga på golvet.

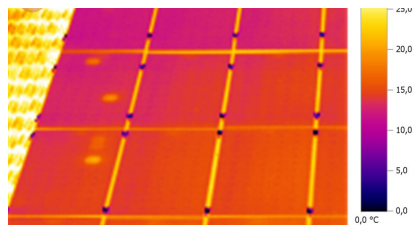
**Videosekvenser.** En fullständig radiometrisk videomätning eller loggningsfunktion gör det möjligt att spela in videosekvenser. I detta bildläge, som är integrerat i värmekameran testo 890, kan värmekameran spela in videosekvenser medan mätteknikern förflyttar sig i ett fordon längs rader med markmonterade solcellspaneler. Bilderna utvärderas sedan med programvara på PC:n för att spara tid.



Solinstrålning i  $W/m^2$  lagras också i varje bild.



testo 890 med vridbar display för att kunna hålla kameran högt.

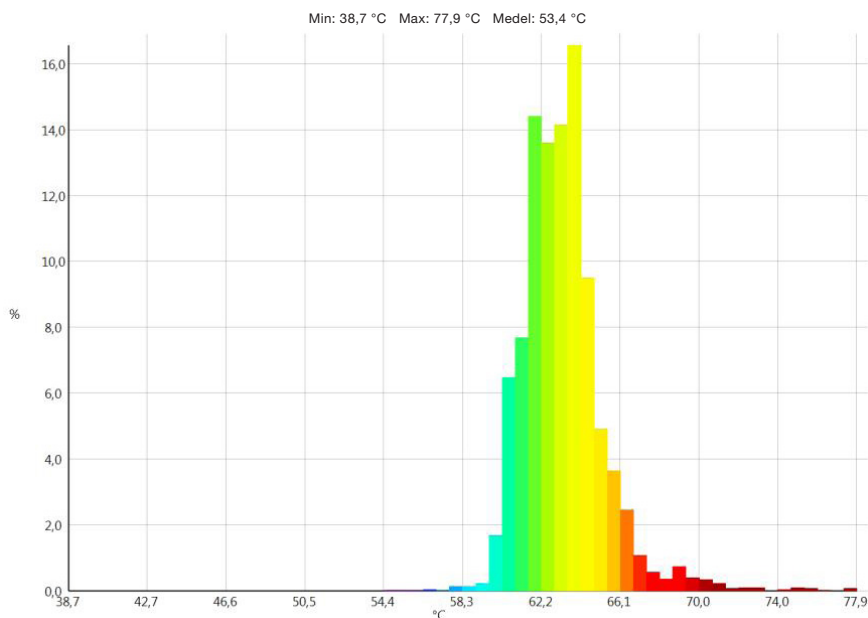


Att ta en bild av en takinstallation med ett teleobjektiv på långt avstånd.

I stora anläggningar är det bara de misstänkta modulerna som behöver undersökas ytterligare.

## Termografi

**Programvara.** Analysmjukvara (t.ex. testo IRSof) möjliggör optimering och analys av värmebilderna och säkerställer att resultaten är tydligt presenterade och dokumenterade. Mjukvaran ska vara intuitiv att använda, tydlig och extremt användarvänlig. I testo IRSof kan meningsfulla, professionella rapporter skapas på några minuter med hjälp av fördefinierade rapportmallar.



Temperaturhistogram för en solcellsmodul.

Bilden visar ett temperaturhistogram för en solcellsmodul. Olika aspekter kan utläsas av detta. Medan medeltemperaturen är 53,4 °C, finns det maxvärden på upp till 77,9 °C jämfört med lägsta temperaturvärdet på 38,7 °C. Frekvensen i procent gör det möjligt att dra en slutsats om hur

många celler som befinner sig i kritiska temperaturområden. Bilden som används i exemplet visar att ca. 55 % av alla temperaturvärden är över 63 °C och därför redan är 10 °C högre än medelvärdet på 53,4 °C.

# Testo värmekameror för solcellstermografi.

## Jämför tekniska data.

	testo 872s / testo 872	testo 883	testo 890
<b>Upplösning</b>	320 x 240	320 x 240	640 x 480
<b>Upplösning med SuperResolution</b>	640 x 480	640 x 480	1280 x 960
<b>Värmekänslighet</b>	<0,05 °C (50 mK)	<0,04 °C (40 mK)	<0,04 °C (40 mK)
<b>Fokus</b>	Fast fokus	Manuell	Automatisk / manuell
<b>Synfält</b>	42 x 30°	30° x 23°	42 x 32°
<b>Bilduppdaterings-frekvens</b>	9 Hz	27 Hz	33 Hz
<b>Noggrannhet</b>	±2 °C, ±2 % av mv.	±2 °C, ±2 % av mv.	±2 °C, ±2 % av mv.
<b>Utbytbar optik</b>	–	Teleobjektiv (tillval)	Teleobjektiv och super-teleobjektiv (tillval)
<b>Solstrålnings-funktion</b>	✓	✓	✓
<b>Sekvensmätning och fullständig radiometrisk videomätning</b>	–	–	✓
<b>Termografi-app (t.ex. som andra skärm)</b>	✓	✓	–
<b>Vridbar display</b>	–	–	✓

# Värmekameror – idealiska verktyg för besiktning av solcellsanläggningar.

Även ett litet tekniskt fel är tillräckligt för att få en avsevärt negativ inverkan på effekten – och därmed den ekonomiska bärkraften för en solcellsanläggning. Orsakerna är olika: Fel under installationen, smuts, försämrade laminat eller långsam skada på grund av årtal av UV-strålning och väderpåverkan. Användningen av en värmekamera hjälper till att snabbt och tillförlitligt fastställa orsakerna till fel och att eliminera dem.

Viktigast i en termografisk analys är identifieringen av hotspots, som inte bara orsakar sämre lönsamhet, utan också representerar riskområden. Detta bevis spelar en viktig roll när det gäller frågan om garantianspråk. Värmekamera-kontroller utförs dessutom på elektriska kopplingspunkter för att upptäcka felaktig ledningsdragning. Värmebilder hjälper också till att säkerställa att strömförande komponenter inte överhettas och att kylsystem fungerar korrekt.

Värmekameror från Testo är speciellt designade för solcellstermografi. De gör det möjligt för installations- och servicetekniker att erbjuda sina kunder en värdefull service efter försäljning, samtidigt som anläggningsoperatörer får ett tillförlitligt intyg på statusen för sina solcellsanläggningar.

### **Solcellstermografi: Översikt över applikationer och fördelar**

- Tidig identifiering av fel, undvikande av dålig lönsamhet
- Ökad driftsäkerhet, förebyggande av brandrisk
- Snabba, säkra inspektioner
- Identifiering av hotspots, moduler med avbrott, kortslutningar, delaminering, cellbrott, korroderade och lösa kontakter, överhettade anslutningsuttag
- Skapa mervärde för tekniker och anläggningsoperatörer

### **Praktiska applikationstips**

- Mät i solsken och vid låga utomhustemperaturer
- Rikta värmekameran i korrekt vinkel, ha reflektioner i åtanke
- Om möjligt, mät på baksidan
- Analysera noggrant orsakerna till temperaturavvikelser

### **Val av rätt värmekamera**

- Välj en kamera med lämplig geometrisk och termisk upplösning för applikationen
- Värmekameror med utbytbar optik och vridbar display ger mer flexibilitet
- Användbara funktioner som solstrålningsfunktion och videoinspelning, samt en mångsidig analysmjukvara, förenklar mätning och analys



