



Be sure. **testo**

Termografi- handboken

Teori – Praktisk användning – Tips & Tricks

Upphovsrätt, garanti och ansvar

Informationen som sammanställs i denna handbok är skyddad av upphovsrätt. Alla rättigheter tillhör exklusivt Testo SE & Co. KGaA. Innehållet och bilderna får inte reproduceras kommersiellt, modifieras eller användas för andra ändamål än det definierade användarändamålet utan föregående skriftligt medgivande från Testo SE & Co. KGaA.

Informationen i denna handbok har tagits fram med största omsorg. Ändå är informationen inte bindande och Testo SE & Co. KGaA förbehåller sig rätten att göra ändringar eller tillägg. Testo SE & Co. KGaA erbjuder därför ingen garanti eller garanti för riktigheten och fullständigheten av den tillhandahållna informationen. Ansvar som kan uppstå, oavsett rättslig grund, är begränsat till skador som orsakats av Testo SE & Co. KGaA eller dess ställföreträdande agenter eller återförsäljare genom antingen uppsåt, grov vårdslöshet eller, vid brott mot väsentliga avtalsförpliktelser, mindre vårdslöshet. I fall av mindre vårdslöshet är omfattningen av Testo SE & Co. KGaA:s ansvar begränsad till typiska och förutsägbara skador för jämförbara transaktioner av denna karaktär. Detta påverkar inte ersättningsrätt som följer av garantier eller enligt produktansvarslagen.

Förord

Bästa kund,

“En bild säger mer än tusen ord”.

I tider av stigande energipriser och höga kostnader för maskinstillestånd har beröringsfri temperaturmätning etablerat sig både i bedömningen av byggnadseffektivitet och vid industriellt underhåll. Men all termografi är inte densamma, och det finns några grundläggande regler som måste följas när det gäller beröringsfri temperaturmätning.

Denna termografihandbok skapades genom att sammanfatta de vanligaste frågorna som våra kunder ställer. Den här handboken är full av intressant information, såväl som tips och tricks från praktiska mätapplikationer, och är utformad för att erbjuda dig användbar, praktisk hjälp och stöd i ditt dagliga arbete.

Trevlig läsning!



Prof. Burkart Knospe, CEO

Innehåll

1.	Termografi-teori	5
1.1	Emission, reflektion, transmission	6
1.2	Mätfläck och mätavstånd	13
2.	Termografi i praktiken	16
2.1	Mätobjekt	16
2.2	Mätmiljö	18
2.3	Praktisk bestämning av ϵ och RTC	25
2.4	Felkällor vid infraröd mätning	28
2.5	Optimala förhållanden för infraröd mätning	34
2.6	Den perfekta värmebilden	35
3.	Bilaga	38
3.1	Termografi-ordlista	38
3.2	Emissionsfaktor-tabell	51
3.3	Testo rekommenderar	53

1 Termografi-teori

Varje objekt med en temperatur över absoluta nollpunkten (0 Kelvin = $-273,15\text{ °C}$) avger infraröd strålning. Denna infraröda strålning är osynlig för det mänskliga ögat.

Som fysikerna Josef Stefan och Ludwig Boltzmann bevisade så långt tillbaka som 1884, finns det ett samband mellan temperaturen på en kropp och intensiteten av den infraröda strålning den sänder ut.

En värmekamera mäter den långvågiga infraröda strålningen som tas emot inom dess synfält. Utifrån detta beräknar den temperaturen på föremålet som mäts. Beräkningsfaktorerna för emissionsfaktorn (ϵ) på mätobjektets yta och den reflekterade temperaturkompensationen (RTC), som båda kan ställas in manuellt i värmekameran. Varje pixel i detektorn representerar en temperaturpunkt som visas på displayen som en falsk färgbild (jfr. "1.2 Mät punkt och mätavstånd" på sidan 13).

Termografi (temperaturmätning med en värmekamera) är en passiv, beröringsfri mätmetod. Det involverar den termiska bilden som visar temperaturfördelningen på ytan av ett föremål. Det betyder att du inte kan titta in i eller ens genom föremål med en värmekamera.

1.1 Emission, reflektans, transmission

Strålningen som registreras av värmekameran består av den emitterade, reflekterade och sända långvågiga infraröda strålningen som kommer från objekten inom värmekamerans synfält.

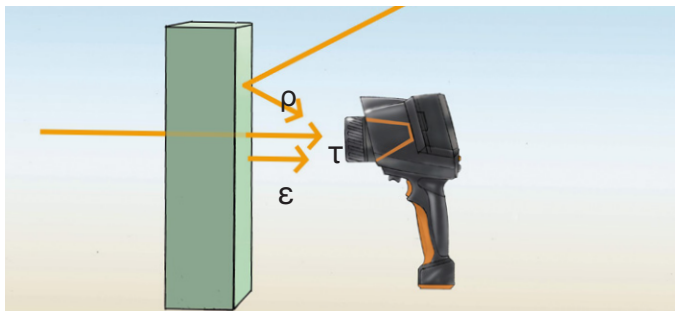


Figure 1.1: Emission, reflection and transmission



Emissionsfaktor (ϵ)

Emissionsfaktor (ϵ) är ett mått på förmågan hos ett material att avge infraröd strålning.

- ϵ varierar beroende på ytegenskaperna, materialet och, för vissa material, även temperaturen på mätobjektet, samt beroende på spektralområdet för den värmekamera som används.
- Maximal emissionsfaktor: $\epsilon = 1$ (100%) (jfr. "Svartkroppsstrålare" på sidan 39). $\epsilon = 1$ förekommer aldrig i verkligheten.

- Verkliga kroppar: $\epsilon < 1$, eftersom verkliga kroppar också reflekterar och eventuellt överför strålning.
- Många icke-metalliska material (t.ex. PVC, betong, organiska ämnen) har hög emissionsfaktor ($\epsilon \approx 0,8 - 0,95$) i det långvågiga infraröda området som inte är beroende av temperaturen.
- Metaller, särskilt de med en blank yta, har låg emissivitet som varierar med temperaturen.
- ϵ kan ställas in manuellt i värmekameran.

Reflektans (ρ)



Reflektans (ρ) är ett mått på ett materials förmåga att reflektera infraröd strålning.

- ρ beror på ytegenskaperna, temperaturen och typen av material.
- allmänhet reflekterar släta, polerade ytor mer än grova, matta ytor av samma material.
- Temperaturen på den reflekterade strålningen kan ställas in manuellt i värmekameran (RTC).
- RTC motsvarar omgivningstemperaturen i många mätapplikationer (främst med inomhustermografi).
- I de flesta fall kan du mäta detta med till exempel testo 810 lufttermometer.
- RTC kan bestämmas med en Lambert-strålare (jfr. "Mätning av reflekterad temperatur med en (improviserad) Lambert-strålare" på sidan 27).
- Reflexionsvinkeln för den reflekterade infraröda strålningen är alltid densamma som infallsvinkeln (jfr. "Speglande reflektion" på sidan 31).



Transmittans (τ)

Transmittans (τ) är ett mått på ett materials förmåga att överföra (släppa igenom) infraröd strålning.

- τ beror på materialets typ och tjocklek.
- De flesta material är inte genomsläppliga, det vill säga permeabla, för långvågig infraröd strålning.

Bevarande av energiprincipen för strålning enligt Kirchhoffs regler

Den infraröda strålningen som registreras av värmekameran består av:

- strålningen som sänds ut av mätobjektet,
- reflektionen från omgivande strålning och
- transmission av strålning genom mätobjektet.

(jfr. Fig. 1.1, sid. 6)

Summan av dessa delar anges alltid till 1 (100%):

$$\varepsilon + \rho + \tau = 1$$

Eftersom transmissionsen sällan spelar någon roll i praktiken, utelämnas överföringen τ och formeln

$$\varepsilon + \rho + \tau = 1$$

är förenklad till

$$\varepsilon + \rho = 1.$$

För termografi betyder detta:

ju lägre emissionsfaktor,

- desto högre andelen reflekterad infraröd strålning är,
- desto svårare är det att göra en exakt temperaturmätning och
- desto viktigare är det att den reflekterade temperaturkompensationen (RTC) är korrekt inställd.

Korrelation mellan emission och reflektion

1. Mätning av föremål med hög emissionsfaktor ($\epsilon \geq 0,8$):

- har låg reflektans (ρ): $\rho = 1 - \epsilon$
- deras temperatur kan mätas mycket noggrant med en värmekamera

2. Mätning av objekt med medelhög emissionsfaktor ($0,6 < \epsilon < 0,8$):

- har medelreflektans (ρ): $\rho = 1 - \epsilon$
- deras temperatur kan mätas noggrant med en värmekamera

3. Mätning av objekt med låg emissionsfaktor ($\epsilon \leq 0,6$):

- har hög reflektans (ρ): $\rho = 1 - \epsilon$
- temperaturmätning med värmekameran är möjlig, men du bör kritiskt granska resultaten
- korrekt inställning av den reflekterade temperaturkompensationen är oundgänglig, eftersom den ger ett stort bidrag till temperaturberäkningen

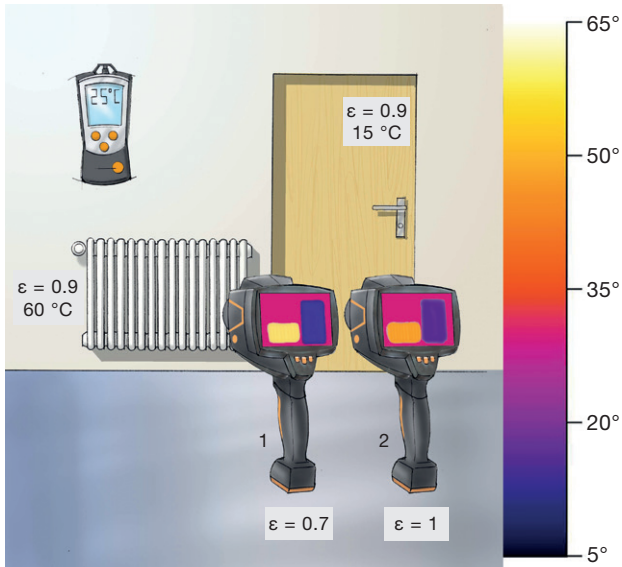
Att kontrollera att emissionsfaktorn är rätt inställd är särskilt viktigt när det är stor temperaturskillnad mellan mätobjektet och omgivningen.

1. Där temperaturen på mätobjektet är högre än omgivningstemperaturen (jfr värmare i fig. 1.2, 11):

- för höga emissionsfaktor-inställningar resulterar i för låga temperaturmätvärden (jfr kamera 2)
- för låga emissionsfaktor-inställningar resulterar i för höga temperaturmätvärden (jfr kamera 1)

2. Där temperaturen på mätobjektet är lägre än omgivningstemperaturen (jfr dörrar i fig. 1.2, sid. 11):

- för höga emissionsfaktor-inställningar resulterar i för höga temperaturmätvärden (jfr kamera 2)
- för låga emissionsfaktor-inställningar resulterar i för låga temperaturmätvärden (jfr kamera 1)



Figur 1.2: Konsekvens av en felaktig emissionsfaktorställning på temperaturmätningen

OBS!

Ju större skillnaden är mellan mätobjektets temperatur och omgivningstemperaturen och ju lägre emissionsfaktorn är, desto större blir mätfelen. Dessa fel ökar om emissionsfaktorställningen är felaktig.

Vänligen notera:

- Du kan bara mäta ytemperaturerna med en värmekamera; du kan inte titta in i något eller genom något.
- Många material som är genomskinliga för det mänskliga ögat, till exempel glas, är inte genomsläppliga (permeabla) för långvågig infraröd strålning (se "Mätningar på glas" på sidan 30).
- Ta vid behov bort eventuell täckning från mätobjektet, annars mäter värmekameran endast ytemperaturen på täckningen.

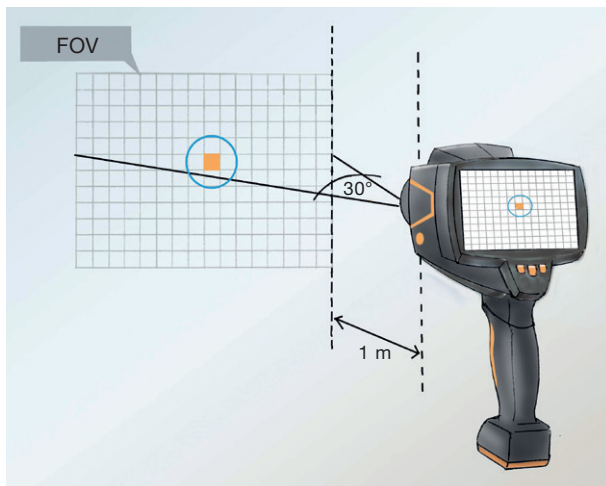
Varning: Följ alltid bruksanvisningen för mätobjektet!

- Det lilla antalet genomsläppliga material inkluderar till exempel tunna plastskivor och Germanium, det material som linsen och skyddsglasat på en Testo värmekamera är gjorda av.
- Om element som ligger under ytan påverkar temperaturfördelningen av mätobjektets yta genom ledning, kan strukturer av det inre av mätobjektet ofta identifieras i värmebilden. Ändå mäter värmekameran bara ytemperaturen. En exakt uppgift om temperaturvärdena för element i mätobjektet är inte möjligt.

1.2 Mät punkt och mätavstånd

Tre variabler måste beaktas för att bestämma lämpligt mätavstånd och det maximala mätobjekt som är synligt eller mätbart:

- synfält (FOV),
- det minsta identifierbara objektet (IFOV_{geo}), och
- det minsta mätbara objektet/mätpunkten (IFOV_{meas}).



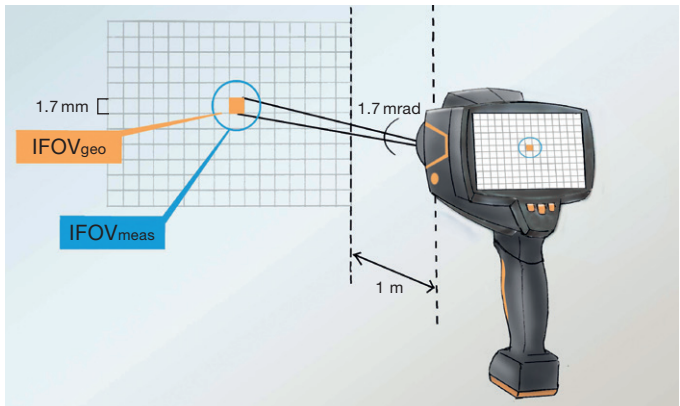
Figur 1.3: Värmekamerans synfält

Värmekamerans synfält (FOV) beskriver området som är synligt med värmekameran (jfr. Fig. 1.3, sid. 13). Det beror på vilket objektiv som används (standard-, vidvinkel- eller teleobjektiv).

OBS!

Ett stort synfält kräver ett vidvinkelobjektiv.

Dessutom bör du känna till specifikationen för det minsta identifierbara objektet (IFOV_{geo}) för din värmekamera. Detta definierar storleken på en pixel enligt avståndet.



Figur 1.4: Synfält för en enda pixel

Med en rumslig upplösning hos linsen på 1,7 mrad och ett mätavstånd på 1 m har det minsta identifierbara objektet (IFOV_{geo}) en kantlängd på 1,7 mm och visas på displayen som en pixel (jfr. Fig. 1.4, sid. 14). För att få en exakt mätning bör mätobjektet vara 3 gånger större än det minsta identifierbara objektet (IFOV_{geo}).

Följande tumregel gäller därför för det minsta mätbara objektet (IFOV_{meas}): $IFOV_{meas} \approx 3 \times IFOV_{geo}$

OBS!

- För en bra rumslig upplösning, bör du ha en standardoptik eller ett telobjektiv, beroende på användningsområdet.
- Med testo Thermography-appens FOV-kalkylator, kan du beräkna värdena för FOV, IFOV_{meas} och IFOV_{geo} för olika avstånd.

Ta reda på mer om testo Thermography-appen
<https://www.testo.com/en/produkte/thermography-app>

Gå till IFOV-kalkylatorn online (<https://www.testo.com/en/products/ifov-calculator-thermal-imager-testo>)

2 Termografi i praktiken

2.1 Mätobjekt



1. Material och emissionsfaktorer

Ytan på varje material har en specifik emissionsfaktor som används för att bestämma hur mycket av den infraröda strålningen som kommer från materialet

- reflekterade och
- strålade (utstrålas från själva föremålet).



2. Färg

När man mäter temperaturen med en värmekamera har färgen på ett material ingen märkbar effekt på den långvågiga infraröda strålningen som kommer från mätobjektet. Mörka ytor absorberar mer kortvågig infraröd strålning än ljusa ytor och värms därför upp snabbare. Den emitterade infraröda strålningen beror dock på temperaturen och inte på färgen på ytan på mätobjektet. Till exempel sänder en värmare som är svartmålad ut exakt samma mängd långvågig infraröd strålning som en värmare som är vitmålad vid samma temperatur.



3. Ytan på mätobjektet

Mätobjektets ytas egenskaper spelar en avgörande roll vid temperaturmätning med en värmekamera. Eftersom ytans emissionsfaktor varierar beroende på ytans struktur, smuts eller beläggning.

Ytans struktur

Släta, blanka, reflekterande och/eller polerade ytor har i allmänhet en något lägre emissionsfaktor än matta, strukturerade, grova, väderbitna och/eller repade ytor av samma material. Det finns ofta spegelreflektioner med extremt släta ytor (jfr. "Speglande reflektion", sid. 31).

Fukt, snö och rimfrost på ytan

Vatten, snö och rimfrost har relativt hög emissionsfaktor (ca. $0,85 < \epsilon < 0,96$), så mätning av dessa ämnen är generellt sett oproblematisk. Däremot måste man komma ihåg att temperaturen på mätobjektet kan störas av naturliga beläggningar av denna typ. Eftersom fukt kyls ytan på mätobjektet när det avdunstar och snö har goda isolerande egenskaper. Rimfrost bildar vanligtvis inte en tät yta, så rimfrostens emissionsförmåga samt ytan under den måste beaktas vid mätning.

Nedsmutsning och främmande kroppar på ytan

Nedsmutsning på ytan av mätobjektet, såsom damm, sot eller smörjolja, ökar i allmänhet ytans emissionsfaktor. Att mäta smutsiga föremål är därför generellt sett oproblematiskt. Din värmekamera mäter dock alltid temperaturen på ytan, det vill säga på smutsen, och inte den exakta temperaturen på ytan på mätobjektet under.

OBS!

- Ett materials emissionsfaktor är starkt beroende av strukturen på materialets yta.
- Var uppmärksam på den korrekta emissionsfaktorinställningen enligt täckningen på ytan av mätobjektet.
- Undvik att mäta på våta ytor eller ytor täckta av snö eller rimfrost.
- Undvik att mäta på löst liggande smuts (förfalskad temperatur på grund av luftfickor).
- Var uppmärksam på möjliga strålningskällor i omgivningen (t.ex. sol, värmare etc.), speciellt vid mätning av släta ytor.

2.2 Mätning av miljö



1. Omgivande temperatur

Förutom emissionsfaktorinställningen (ϵ), bör du också räkna in den reflekterade temperaturinställningen (RTC), så att din värmekamera kan beräkna temperaturen på ytan på mätobjektet korrekt. I många mätapplikationer motsvarar den reflekterade temperaturen den omgivande temperaturen (jfr. "2. Strålning" på sidan 19). Du kan avgöra detta med en lufttermometer, t.ex. testo 810. En noggrann inställning av emissionsfaktorn är särskilt viktig där det finns en stor skillnad i temperatur mellan mätobjektet och mätmiljön (jfr. Fig. 1.2, sid. 11).



2. Strålning

Varje föremål med en temperatur över absoluta nollpunkten ($0 \text{ Kelvin} = -273,15 \text{ }^\circ\text{C}$) avger infraröd strålning. Speciellt objekt med stor temperaturskillnad från mätobjektet kan störa den infraröda mätningen till följd av sin egen strålning. Du bör undvika eller eliminera störningskällor av detta slag när det är möjligt. Genom att avskärma störningarna (t.ex. med duk eller en kartong) kan du minska denna negativa effekt på mätningen.

Om effekten av störningen inte kan avlägsnas, kommer den reflekterade temperaturen inte att motsvara omgivningstemperaturen.

En Lambert-strålar rekommenderas till exempel för att mäta den reflekterade strålningen i samband med din värmekamera (jfr. "Bestämma temperaturen för den reflekterade strålningen" på sidan 27).

Specialfunktioner för utomhustermografi

Infraröd strålning som kommer från en klar himmel kallas i vardagligt tal för "kall himmelstrålning". När himlen är klar reflekteras "kall himmelstrålning" (~ -50 till $-60 \text{ }^\circ\text{C}$) och het solstrålning ($\sim 5500 \text{ }^\circ\text{C}$) under hela dagen. Solen tar bara upp en liten del av hela himlavalvet, vilket innebär att den reflekterade temperaturen normalt ligger under $0 \text{ }^\circ\text{C}$, även en solig dag. Föremål värms upp av solen eftersom de absorberar solljus. Detta påverkar yttemperaturen avsevärt, i vissa fall i timmar efter exponering för solstrålning.

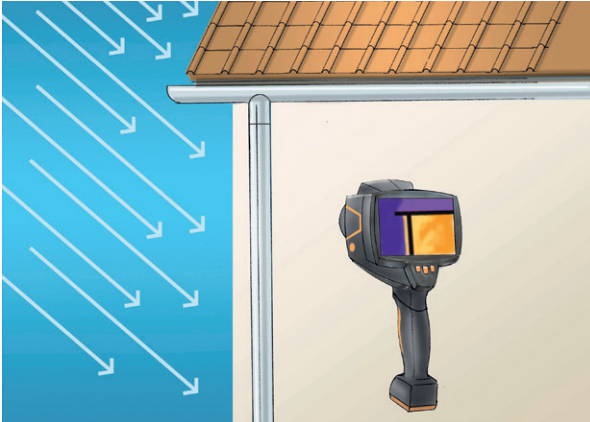


Figure 2.1: Reflektion vid utomhusmätning

I figur 2.1 kan man se att rännan visas som kallare än husväggen på värmebilden. Men båda har nästan samma temperatur. Bilden måste därför tolkas.

Låt oss anta att rännans yta är galvaniserad och har extremt låg emissionsfaktor ($\epsilon = 0,1$). Endast 10 % av den långvågiga infraröda strålningen som kommer från rännan är därför strålning inifrån och 90 % är reflekterad omgivande strålning (RTC).

Om himlen är klar reflekteras bland annat "kall himmelstrålning" (~ -50 till -60 °C) på rännan. Värmekameran är inställd på $\epsilon = 0,95$ och $RTC = -55$ °C för att säkerställa korrekt mätning av husväggen. På grund av den extremt låga emissionsfaktorn och extremt höga reflektansen visas rännan som för kall på värmebilden. För att visa temperaturerna för båda materialen

korrekt på värmebilden kan du ändra emissionsfaktorn för specifika områden i efterhand med hjälp av analysmjukvara (t.ex. IRSoft eller testo Thermography App). För att bestämma rätt RTC rekommenderar vi en Lambert-strålare (jfr. "Praktisk bestämning av ϵ och RTC", sid. 25).

OBS!

- Bortse aldrig från effekten av din egen personliga infraröda strålning.
- Ändra din position under mätningen för att identifiera eventuella reflektioner. Reflektioner rör sig, termiska egenskaper hos mätobjektet förblir på samma plats, även om synvinkeln ändras.
- Undvik mätningar nära mycket varma eller mycket kalla föremål, eller skärma av dem.
- Undvik direkt solstrålning, även om den inträffar flera timmar före mätningen. Gör mätningar tidigt på morgonen.
- Gör så långt det är möjligt utomhusmätningar under en molnig himmel.



3. Väder

Moln

En mycket molnig himmel erbjuder idealiska förhållanden för infraröda mätningar utomhus, eftersom den avskärmar mätobjektet från solstrålning och "kall himmelstrålning" (jfr. "2. Strålning" på sidan 19).

Nederbörd

Kraftig nederbörd (regn, snö) kan störa mätresultatet. Vatten, is och snö har hög emissionsfaktor och är ogenomtränglig för IR-strålning. Dessutom kan mätningen av våta föremål resultera i mätfel, eftersom ytan på mätobjektet kyls ner när nederbörden avdunstar (jfr. “3. Mätobjektets yta” på sidan 16).

Sol

(jfr. “2. Strålning” på sidan 19)

OBS!

- Utför helst mätningar under en mycket molnig himmel.
- Ta hänsyn till molntäcket flera timmar före mätningen.
- Undvik kraftig nederbörd under mätningen.



4. Luft

Luftfuktighet

Den relativa luftfuktigheten i mätmiljön bör vara tillräckligt låg för att det inte ska finnas någon kondens i luften (dimma), på mätobjektet, på skyddsglasat eller på värmekamerans lins. Om linsen (eller skyddsglasat) har immatiserats, kommer en del av den infraröda strålningen som träffar värmekameran inte att tas emot, eftersom strålningen kommer att misslyckas med att helt penetrera linsen genom vattnet.

Extremt tät dimma kan påverka mätningen, eftersom vattendropparna i transmissionsriktningen släpper igenom mindre infraröd strålning.

Luftströmmar

Vind eller drag i rummet kan påverka temperaturmätningen med värmekameran.

Som ett resultat av värmeväxlingen (konvektionen) har luften nära ytan samma temperatur som mätobjektet. Om det är blåsigt eller dragigt kommer detta luftskikt att "blåsa bort" och ersättas med ett nytt skikt som ännu inte anpassat sig till mätobjektets temperatur. Konvektionen innebär att värme avleds från det varma mätobjektet eller absorberas av det kalla mätobjektet tills temperaturen på luften och mätobjektets yta har anpassat sig till varandra. Denna värmeväxlingseffekt ökar med temperaturskillnaden mellan mätobjektets yta och omgivningstemperaturen.

Luftförorening

Vissa suspenderade partiklar, såsom damm, sot och rök, tillsammans med vissa ångor, har hög emissionsfaktor och är knappt transmissiva. Det betyder att de kan försämra mätningen, eftersom de själva avger infraröd strålning som fångas upp av värmekameran. Dessutom kan bara en del av IR-strålningen från mätobjektet ta sig ända fram till värmekameran, eftersom den sprids och absorberas av partiklarna i luften.

OBS!

- Utför inte mätningar i tjock dimma eller över vattenånga.
- Utför inte mätningar när luftfuktigheten kondenserar på värmekameran (se “Fukt, snö och rimfrost på ytan” på sidan 17).
- Undvik vind och andra luftflöden under mätningen när det är möjligt.
- Notera luftflödernas hastighet och riktning under mätningen och ta med dessa data i din analys av värmebilderna.
- Mät inte i kraftigt förorenad luft (t.ex. när damm nyligen har störts).
- Mät alltid med minsta möjliga mätavstånd för din mätapplikation för att minimera effekten av eventuella svävande partiklar i luften.



5. Ljus

Varken ljus eller belysning spelar någon betydande roll vid mätning med en värmekamera.

Det går också att mäta i mörker, eftersom värmekameran mäter långvågig IR-strålning.

Det finns emellertid ljuskällor som själva avger IR-värmestrålning och alltså kan påverka temperaturen i intilliggande objekt. Du bör därför inte mäta när det till exempel finns direkt solinstrålning eller nära en varm glödlampa. Kalla ljuskällor, som LED eller neonljus, är inte kritiska, eftersom de omvandlar majoriteten av energin som används till synligt ljus och inte infraröd strålning.

2.3 Praktisk bestämning av ϵ och RTC

För att bestämma emissionsfaktorn på mätobjektets yta kan du till exempel:

- Se emissionsfaktorn i en tabell (jfr. “3.2 Emissionstabell” på sidan 50). **OBS!** Värdet i emissionsfaktor-tabeller är alltid endast riktvärdet.
- Emissionsfaktorn på ditt mätobjekts yta kan därför skilja sig från det angivna riktvärdet.
- Bestäm emissionsfaktorn med hjälp av en jämförande mätning med en anliggnings-termometer (t.ex. med testo 905-T2 eller testo 925) (jfr. “1. Metod med kontakttermometer” på sidan 25).
- Bestäm emissionsfaktorn med hjälp av en jämförande mätning med hjälp av värmekameran (jfr. “2. Metod med värmekamera” på sidan 26).

Bestämning av emissionsfaktorn med hjälp av en jämförande mätning

1. Metod med hjälp av en anliggnings-termometer

Mät först temperaturen på ytan på mätobjektet med en anliggnings-termometer (t.ex. testo 905-T2 eller testo 925). Mät nu temperaturen på ytan på mätobjektet med värmekameran med en förinställd emissionsfaktor på 1. Skillnaden mellan temperaturvärdena som mäts av anliggnings-termometern och värmekameran beror på att emissionsfaktorn är inställd för högt. Genom att gradvis sänka emissionsfaktor-inställningen kan du ändra den uppmätta temperaturen tills den motsvarar värdet som erhållits i anliggningsmätningen. Den inställda emissionsfaktorn motsvarar emissionsfaktorn hos mätobjektets yta.

2. Metod med hjälp av värmekameran

Fäst först en bit emissionstejp (t.ex. värmebeständig emissionstejp från Testo) på ditt mätobjekt. Efter att ha väntat en kort stund kan du mäta temperaturen på ytan på mätobjektet i det avtejpade området med hjälp av din värmekamera med en inställd emissionsfaktor för den självhäftande tejp. Denna temperatur är din referenstemperatur. Justera nu emissionsfaktor-inställningen tills värmekameran mäter samma temperatur i det område som inte är tejpats som referenstemperaturen som just uppmätts. Den nu inställda emissionsfaktorn motsvarar emissiviteten för ytan på mätobjektet.

Som ett alternativ till emissionstejpen kan du också:

- bestryka mätobjektet med en beläggning eller färg med känd emissionsfaktor.
- bestryka mätobjektet med ett tjockt lager ($> 0,13$ mm) av värmebeständig olja ($\epsilon \approx 0,82$).
- bestryka mätobjektet med ett tjockt lager av sot ($\epsilon \approx 0,95$).
- bestäm emissionsfaktorn och RTC med ϵ -Assist-funktionen (testo 868/868s, testo 871/871s, testo 872/872s).

OBS!

- Var försiktig: följ alltid mätobjektets bruksanvisning!
- Vid ytbehandling eller limning av mätobjektet, ta hänsyn till att ytbeläggningen eller tejpens först måste anpassas till objektets temperatur innan en korrekt mätning är möjlig.

Bestämning av temperaturen på den reflekterade strålningen

När du har uteslutit alla möjliga störningskällor som kan påverka din mätning, är temperaturen på den reflekterade infraröda strålningen densamma som den omgivande temperaturen. Du kan mäta omgivningstemperaturen med en lufttermometer, t.ex. testo 810, och ange RTC i din värmekamera. Men om det finns källor för infraröd strålning i mätmiljön bör du bestämma temperaturen på den reflekterade strålningen för att säkerställa ett korrekt mätresultat.

Mätning av reflekterad temperatur med en (improviserad) Lambert-strålar

En Lambert-strålar är ett objekt som reflekterar infallande strålning med optimal diffusion, dvs i alla riktningar.

Du kan mäta temperaturen på den reflekterade strålningen på en Lambert-strålar med hjälp av värmekameran. För detta ändamål är en bit aluminiumfolie som har skrynklats ihop och sedan vikas ut igen en lämplig ersättning för en Lambert-strålar.

Folien har hög reflektans och tack vare den skrynkliga strukturen är den diffusa reflektionen av strålningen nästan perfekt (jfr. Fig. 2.3, höger sida av aluminiumfolien, sid. 32).

För att mäta temperaturen på den reflekterade strålningen, placera Lambert-strålaren nära mätobjektet eller helst på ytan av mätobjektet. Mät sedan temperaturen på strålaren med emissionfaktorn inställd på 1. Kameran kommer nu att beräkna temperaturen på den infallande strålningen. Du kan nu mata in detta värde som RTC i din värmekamera och mäta temperaturen på mätobjektet med den inställda emissionfaktorn för ytan på ditt mätobjekt.

2.4 Felkällor vid infraröd mätning

Följande faktorer kan störa resultatet av din infraröda mätning:

- Felaktigt inställd emissionsfaktor
 - » Bestäm och ställ in korrekt emissionsfaktor (jfr. “Bestämma emissionsfaktorn med hjälp av en jämförande mätning” på sidan 25).
- Felaktig RTC-inställning
 - » Bestäm och ställ in den reflekterade temperaturen (jfr. “Bestämma temperaturen för den reflekterade strålningen” på sidan 27).
- Otydlig värmebild
 - » Fokusera din värmebild på plats, eftersom skärpan inte kan ändras när bilden väl har tagits.
- Mätavståndet är för långt eller för kort
- Mätning tagen med olämplig lins
- Mätpunkten är för stor
 - » När du gör mätningen, var uppmärksam på det minsta fokusavståndet för din värmekamera.
 - » Som när du tar ett vanligt fotografi, gör ett lämpligt val mellan teleobjektiv och vidvinkelobjektiv.
 - » Välj ett litet mätavstånd där det är möjligt.
- Fel i transmissionsriktningen (t.ex. luftföroreningar, höljen, etc.)
- Effekt av externa strålningskällor (t.ex. glödlampor, sol, värmeelement, etc.)
- Feltolkning av termisk bild på grund av reflektion
 - » Undvik att mäta där det finns störningar.
 - » Inaktivera eller skärmstörningar när det är möjligt, eller ta med dess inverkan i analysen av värmebilden.

- Snabb förändring av omgivningstemperaturen
 - » Om det sker förändringar i omgivningstemperaturen från kall till varm finns det risk för kondens på linsen.
 - » Om möjligt, använd värmekamera med temperaturstabiliserade detektorer.
- Feltolkning av värmebilden på grund av bristande kunskap om utformningen av mätobjektet
 - » Typ och utformning av mätobjektet bör vara känd.
 - » Använd även riktiga bilder (foton) där det är möjligt för att tolka värmebilderna.

Mätning på glas

Det mänskliga ögat kan se genom glas, men glas är ogenomträngligt för infraröd strålning. Värmekameran mäter därför endast yttemperaturen på glaset och inte temperaturen på materialen bakom det (jfr. Fig. 2.2). Glas är dock genomsläppligt för kortvågig strålning, såsom solstrålning. Du bör därför notera att solljus som skiner genom fönstret till exempel kan värma ditt mätobjekt.

Glas är också ett reflekterande material. Var därför uppmärksam på spegelreflektion när du mäter på glas (jfr. "Speglande reflektion" på sidan 31).

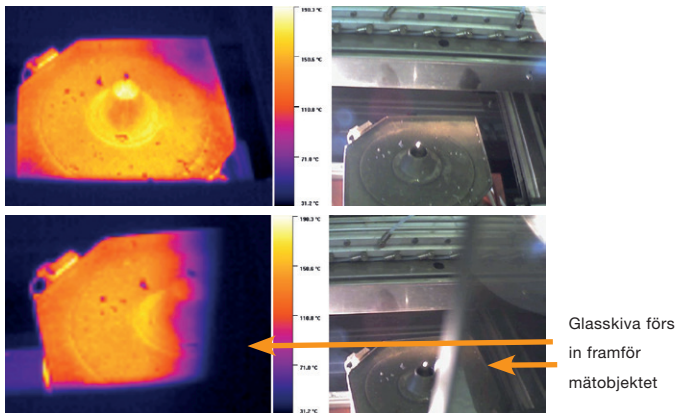


Figure 2.2: Mätning på glas

Mätning på metall

Metaller, särskilt de med en blank yta, är starka reflektorer av långvågig infraröd strålning. De har mycket låg emissionsfaktor, som kan bli temperaturberoende vid högre temperaturer. Att mäta temperaturen på dessa med en värmekamera är därför problematiskt. Förutom att reglera emissionsfaktorn är en korrekt inställning av den reflekterade temperaturen (jfr. "Bestämning av temperaturen för den reflekterade strålningen" på sidan 27) särskilt viktig. Observera också råden som ges om spegelreflektion (jfr. "Speglande reflektion" på sidan 31). Om metaller målas är mätningen inget problem, eftersom färg generellt har hög emissionsfaktor. Du måste dock återigen vara medveten om reflektioner av omgivande strålning här.

Speglande reflektion

En väl synlig spegelreflektion är ofta en indikator på en högre reflekterande yta, dvs en yta med låg emissionsfaktor. Att det mänskliga ögat uppfattar mycket spegling i det synliga området betyder dock inte alltid att det också är starkt reflekterande i det infraröda området. Till exempel kan speglade reflektioner av omgivande strålning ses på värmebilden av en målad yta (t.ex. silhuetten av personen som mäter), även om färg generellt har hög emissionsfaktor ($\epsilon \approx 0,95$). Likaså kan konturerna av reflekterade föremål i mätmiljön inte ses på värmebilden av en sandstensvägg, till exempel, även om sandsten har låg emissionsfaktor ($\epsilon \approx 0,67$). Huruvida den omgivande strålningen reflekteras spegelblankt i tydliga konturer beror därför inte i första hand på emissionsfaktorn, utan på ytans struktur.

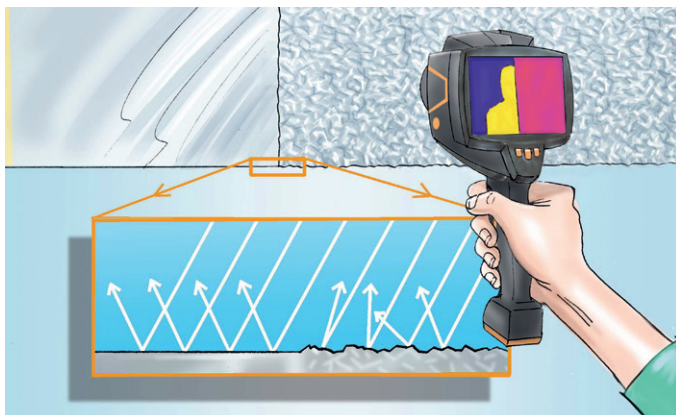


Figure 2.3: Speglande och diffus reflektion

All strålning reflekteras alltid i samma vinkel som den träffar ytan. Det betyder att följande tumregel alltid gäller: infallsvinkel = reflektionsvinkel. Detta är tydligt igenkännligt i figur 2.3 i det förstörade tvärsnittet av den släta halvan av aluminiumfolien (vänster sida). Här reflekteras den infraröda strålningen från den som mäter i samma form som den träffade ytan (spegelreflektion).

Självklart gäller regeln för infallsvinkel = reflektionsvinkel även för den infraröda strålningen som träffar den skrynkliga aluminiumfolien (höger sida). Här faller dock de infraröda strålarna på delområden med olika gradienter snarare än på en plan yta. Precis som på en Lambert-strålare reflekteras de därför åt olika håll. Denna diffusa reflektion gör att inga konturer av källorna för reflekterad infraröd strålning kan ses. Reflexionen på hela den skrynkliga sidan av aluminiumfolien är en blandning av den infraröda strålningen från de två reflekterade strålkällorna (personen som mäter och bakgrunden bakom den som mäter).

OBS!

- En kraftig spegling i det synliga området innebär inte alltid också stark reflektion i det infraröda området.
- Var alltid medveten om effekten av din egen personliga infraröda strålning.
- Ytor på vilka ingen spegelreflektion kan detekteras kan också ha hög reflektans.
- Mät släta ytor från olika vinklar och riktningar för att identifiera vilka av ojämnheterna i temperaturfördelningen som kan hänföras till reflektion och vilka som beror på mätobjektet.

2.5 Optimala förhållanden för infraröd mätning

Stabila miljöförhållanden är särskilt viktiga för infraröd mätning. Detta innebär att omgivningsförhållandena, föremål i mätmiljön och eventuella andra påverkande faktorer inte bör förändras under mätningen. Detta är det enda sättet att bedöma eventuella störningar och dokumentera det för senare analys.

För mätningar utomhus bör väderförhållandena vara stabila och himlen molnig för att avskärma mätobjektet från både direkt solstrålning och "kall himmelstrålning". Du måste också vara medveten om att mätobjekt fortfarande kan värmas upp från tidigare exponering för solstrålning på grund av deras värmelagringskapacitet.

De ideala mätförhållandena är:

- Stabila väderförhållanden
 - Molnig himmel före och under mätningen (för mätningar utomhus)
 - Ingen direkt solstrålning före och under mätningen
 - Ingen nederbörd
 - Ytan på mätobjektet ska vara torr och fri från termiska störningskällor (t.ex. inget löv eller flis på ytan)
 - Ingen vind eller drag
 - Inga störningar i mätmiljön eller i transmissionsriktningen
 - En mätobjektyta med hög emissionsfaktor som är känd exakt
- För byggnadsternografi rekommenderas en skillnad på minst 10 °C mellan inne- och utetemperatur.

2.6 Den perfekta värmebilden

När du tar en värmebild bör du vara uppmärksam på särskilt två saker:

- att välja rätt bildsektion, och
- fokusera värmebilden korrekt på det område som är relevant för mätningen.

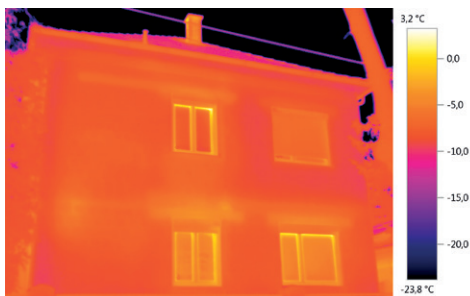
Som med en vanlig digital bild kan du inte ändra vare sig bildutsnittet eller bildens skärpa när värmebilden väl har sparats.

För att få en perfekt värmebild kan du göra följande ändringar i din värmekamera och i analysmjukvaran (t.ex. testo IRSOFT eller testo Thermography App):

- Ändra inställningen för emissionsfaktor och reflekterad temperaturkompensation (RTC). Detta kan också göras punkt-för-punkt eller via områden med professionell analysmjukvara, såsom testo IRSOFT eller testo Thermography App till exempel.
- Välj en lämplig färgpalett (t.ex. järn, regnbåge, etc.). Beroende på färgpalett får du en lättolkad värmebild med hög kontrast.



Figur 2.4:
Ställa in
temperaturskalan



- Justera temperaturskalan manuellt. Detta gör att du kan förbättra temperaturgraderingen eller färggraderingen av din värmebild (jfr. Fig. 2.4).

Observera följande tips för att ta värmebilden:

- Ta hänsyn till, förhindra eller skärma av alla störningar.
- Ytan på mätobjektet bör vara fri från optiska och termiska störkällor. Om möjligt, ta bort skydd och föremål som orsakar störningar från miljön.

- Ändra din position när du gör mätningen för att identifiera eventuella reflektioner. Reflektioner rör sig, termiska egenskaper hos mätobjektet förblir på samma plats, även om synvinkeln ändras.
- Din mätpunkt bör aldrig vara större än ditt mätobjekt.
- Håll mätavståndet så litet som möjligt.
- Använd ett objektiv som passar din mätuppgift.
- Användning av ett stativ rekommenderas för exakt mätning av detaljer.
- Utformningen av ditt mätobjekt bör vara känd för att möjliggöra korrekt identifiering av termiska egenskaper.
- Använd en värmekamera med en inbyggd digitalkamera, så att du kan granska "vanliga" bilder vid senare analys.
- Observera alla omgivningsförhållanden. Mät och dokumentera dessa vid behov för senare analys av värmebilderna.

3 Bilaga

3.1 Termografi-ordlista

A

Absoluta nollpunkten

Absoluta nollpunkten är $-273,15\text{ °C}$ ($0\text{ Kelvin} = -459,69\text{ °F}$). Alla kroppar vars temperatur är vid absolut noll avger ingen infraröd strålning.

Absorption

När elektromagnetisk infraröd strålning träffar ett föremål absorberar föremålet en del av denna energi. Absorptionen av infraröd strålning gör att föremålet värms upp. Varmare föremål avger mer infraröd strålning än kallare föremål. Den absorberade infraröda strålningen omvandlas alltså till emitterad infraröd strålning (som strålar från objektet). Absorptionsförmågan motsvarar emissionsfaktor.

Den infallande infraröda strålningen på föremålet som inte absorberas reflekteras och/eller transmitteras (släpps igenom).

Acklimatiseringstid

Acklimatiseringstiden är den tid som värmekameran behöver för att anpassa sig till den omgivande temperaturen på mätplatsen för att mäta inom specifikationen. Ta acklimatiseringstiden för din värmekamera från bruksanvisningen.

B

Bilduppdateringsfrekvens

Specifikation i hertz för hur ofta per sekund den visade bilden uppdateras (t.ex. 9 Hz / 33 Hz / 60 Hz). En bilduppdateringshastighet på 9 Hz innebär att värmekameran uppdaterar värmebilden i displayen nio gånger per sekund.

C

Celsius (°C)

Temperaturenhet. Vid normalt tryck är nollpunkten på Celsiusskalan (0 °C) vattnets frystemperatur. Ytterligare en fixpunkt för Celsiusskalan är kokpunkten för vatten vid 100 °C.

$^{\circ}\text{C} = (^{\circ}\text{F} - 32) / 1,8$ eller $^{\circ}\text{C} = \text{K} - 273,15$.

Coldspot och hotspot

Den kallaste punkten i ett område på värmebilden kallas "Cold spot" och den hetaste punkten kallas "Hot spot". Genom att använda funktionen "Automatisk Hot/Cold Spot Recognition" kan du visa dessa två fläckar direkt på din värmebild i kamerans display.

Denna funktion är också tillgänglig i många av analysmjukvarupaketerna, t.ex. med testo IRSofit eller testo Thermography App. Där kan du också visa dessa två fläckar för alla områden av värmebilden du vill definiera.

D

Daggpunkt/daggpunktstemperatur

Temperatur vid vilken vatten kondenserar. Vid daggpunktstemperatur är luften mättad med mer än 100 % vattenånga. När luften inte kan absorbera mer vattenånga bildas kondensat.

Detektor

Detektorn tar emot den infraröda strålningen och omvandlar den till en elektrisk signal. Detektorns geometriska upplösning visas i pixlar och den termiska upplösningen med NETD.

E

Emissionsfaktor (ϵ)

Ett mått på ett materials förmåga att avge (avge) infraröd strålning. Emissionsfaktorn varierar beroende på ytegenskaperna, materialet och, för vissa material, även på objektets temperatur.

F

Fahrenheit (°F)

Temperatureenhet som främst används i Nordamerika.

$$^{\circ}\text{F} = (^{\circ}\text{C} \times 1,8) + 32.$$

Exempel 20 °C i °F: $(20\text{ }^{\circ}\text{C} \times 1,8) + 32 = 68\text{ }^{\circ}\text{F}$.

FOV (Field Of View)

Värmekamerans synfält. Detta anges som en vinkel (t.ex. 32°) och definierar området som kan ses med värmekameran. Synfältet är beroende av detektorn i värmekameran och av vilket objektiv

som används. Med samma detektor har vidvinkelobjektiv ett stort synfält, medan teleobjektiv (t.ex. Testos 9°-teleobjektiv) och superteleobjektiv har ett litet synfält.

Färgpalett

Val av färgdisplay för värmebilden i kameran (t.ex. “regnbåge”, “järn”, “gråskala” färgpalett). Värmebildernas kontraster kan visas med varierande kvalitet beroende på mätuppgift och färgpalett-uppsättning.

Färgpaletten kan också ställas in individuellt med analysmjukvara (t.ex. med testo IRSofT eller testo Thermography App) efter att värmebilden har sparats. Var också uppmärksam på tolkningsbarheten av din värmebild när du väljer färgpalett. I de flesta fall förknippas röda och gula färger intuitivt av tittaren med värme, gröna och blå färger med kyla.

G

Gråkroppsstrålare

Eftersom det inte finns någon idealisk svartkroppsstrålare ($\epsilon = 1$), nöjer vi oss med konceptet “gråkroppsstrålare” ($\epsilon < 1$). Många byggnadsmaterial eller organiska material kan ungefär beskrivas som gråkroppsstrålare i ett smalt spektralområde. Detta innebär att man bortser från emissionsfaktorns våglängdsberoende (jfr. “Strålning från färgade kroppar”), eftersom den spektrala känsligheten hos vanliga värmekameror bara täcker en liten spektral del av det infraröda spektrumet. Detta representerar därför en tillåten approximation.

Till skillnad från svartkroppsstrålare absorberar gråkroppsstrålare aldrig 100 % av den strålning som träffar dem, vilket innebär att intensiteten på strålningen de avger också är lägre.

H

Hotspot

Jfr. "Coldspot och hotspot" på sidan 39.

I

Idealisk strålare

Jfr. "Svartkroppsstrålare" på sidan 47.

IFOVgeo (omedelbart synfält)

IFOVgeo indikerar kameran systemets upplösning. Den indikerar vilka detaljer kameran systemet kan se beroende på detektorn och objektivet. Kameran systemets (IFOVgeo) upplösning anges i mrad och beskriver det minsta objekt som fortfarande kan avbildas på värmebilden, beroende på mätavståndet. Storleken på detta objekt motsvarar en pixel på värmebilden.

IFOVmeas (mätning av omedelbart synfält)

Beteckning på det minsta föremålet vars temperatur kan mätas noggrant av värmekameran. Det är 2-3 gånger större än det minsta identifierbara objektet (IFOVgeo).

Tumregeln är: $IFOVmeas \approx 3 \times IFOVgeo$.

IFOVmeas kallas också för den minsta mätpunkten som ska mätas.

Infraröd strålning

Infraröd strålning är elektromagnetisk strålning. Alla föremål med en temperatur över absoluta nollpunkten (0 Kelvin = $-273,15 \text{ }^\circ\text{C}$) avger infraröd strålning. Infraröd strålning täcker våglängdsområdet från $0,78 \text{ }\mu\text{m}$ upp till $1000 \text{ }\mu\text{m}$ (= 1 mm) och gränsar därför till våglängdsområdet för ljus ($0,38$ till $0,78 \text{ }\mu\text{m}$).

Värmekameror mäter ofta den långvågiga infraröda strålningen i området från 8 μm till 14 μm (testo 865/865s, testo 872/872s, testo 883, testo 890), eftersom atmosfären i detta våglängdsområde är extremt permeabel för infraröd strålning.

IR-bild

Bild som visar temperaturfördelningarna på föremåls ytor med olika färger för olika temperaturvärden. Värmebilder tas med en värmekamera.

Isotermer

Linjer med samma temperatur. Du kan visa isotermer med hjälp av analysmjukvara (t.ex. testo IRSofit) eller med högkvalitativa värmekameror. Detta innebär att alla mätpunkter i värmebilden med temperaturvärden inom ett fördefinierat område markeras i färg.

K

Kalibrering

Procedur där mätvärdena för ett instrument (verkliga värden) och mätvärdena för ett referensinstrument (nominella värden) mäts och jämförs. Resultatet gör det möjligt att dra slutsatser om huruvida de faktiska mätvärdena för instrumentet fortfarande ligger inom ett tillåtet gräns-/toleransområde. Till skillnad från en justering dokumenteras endast den identifierade avvikelsen från det faktiska mätvärdet vid en kalibrering och justeras inte till det nominella mätvärdet. De intervall med vilka en kalibrering ska utföras beror på respektive mätuppgifter och krav.

Kelvin (K)

Temperaturenhet.

0 K motsvarar den absoluta nollpunkten (-273,15 °C).

Följande gäller: $273,15 \text{ K} = 0 \text{ °C} = 32 \text{ °F}$.

$\text{K} = \text{°C} + 273,15$.

Exempel 20 °C i K: $20 \text{ °C} + 273,15 = 293,15 \text{ K}$.

Kondensation

Övergång av ett ämne från gasformigt till flytande tillstånd.

Luftfuktighet kan kondensera på ytor om yttemperaturen, och därmed temperaturen på luften på ytan, är lägre än daggpunktstemperaturen.

Konvektion

Värmeöverföring, vilket innebär att termisk energi flyttas från en vätska eller gas till en annan som ett resultat av masstransport av partiklar.

L

Lambert-strålare

En Lambert-strålare är ett objekt som reflekterar infallande strålning med optimal diffusion; med andra ord reflekteras den infallande strålningen med lika styrka i alla riktningar.

Du kan mäta temperaturen på den reflekterade strålningen på en Lambert-strålare med hjälp av värmekameran.

Lasermarkör

Med lasermarkören visas lasermarkeringen parallaxfri, vilket gör att du kan se den exakta positionen för laserpunkten på värmekamerans display. Denna funktion ingår i värmekamerorna testo 872/872s, testo 883 och testo 890.

Laserpekare

En laserpekare stödjer målsökning på mätytan (en röd prick projiceras på mätobjektet). Lasermarkeringen och mitten av bilden av mätytan överensstämmer inte exakt, eftersom de sitter på olika optiska axlar. Den fungerar som en guide.

OBS! Laserklass 2: Rikta aldrig lasern mot människor eller djur och titta aldrig in i lasern! Detta kan skada ögonen!

Linser

Storleken på värmekamerans synfält, och därmed även storleken på mätpunkten, ändras beroende på vilken lins som används. Ett vidvinkelobjektiv (t.ex. 42°) är särskilt lämpligt om du vill få en överblick över temperaturfördelningen över en stor yta. Du kan använda ett teleobjektiv (t.ex. 10°) för att mäta små detaljer med precision, även från ett större avstånd. Ett superteleobjektiv (till testo 890) finns också för att mäta även de minsta detaljerna på långt avstånd.

M

Mätfläck

Jfr. "IFOVmeas (Mätning av omedelbart synfält)" på sidan 42.

N

NETD (Noise Equivalent Temperature Difference)

Nyckeltal för minsta möjliga temperaturskillnad som kan ses av kameran. Ju mindre detta värde är, desto bättre är värmekamerans mätupplösning eller värmekänslighet.

R

Reflektans (ρ)

Ett materials förmåga att reflektera infraröd strålning. Reflexionsförmågan beror på ytegenskaper, temperatur och materialtyp.

Relativ luftfuktighet (% RH)

Procentuell specifikation av vattenångans mätnadsnivå i luft. Till exempel, vid 33% relativ luftfuktighet innehåller luften endast ca $\frac{1}{3}$ av den maximala volymen vattenånga som luften kan absorbera vid samma temperatur och samma lufttryck. Vid en luftfuktighet över 100 % börjar kondensat bildas, eftersom luften är helt mättad och inte kan absorbera mer fukt. Den gasformiga vattenången i luften blir därför flytande. Ju varmare luften är, desto mer vattenånga kan den absorbera utan att det bildas kondens. Av denna anledning sker kondens alltid först på kalla ytor.

Riktig kropp

Jfr. "Gråkroppsstrålare" på sidan 41.

RTC (Reflected Temperature Compensation)

En del av den termiska strålningen reflekteras med verkliga kroppar. Denna reflekterade temperatur måste beaktas vid mätning av objekt med låg emissionsfaktor. En offsetfaktor i kameran gör det möjligt att beräkna reflektionen, vilket innebär att temperaturmätningens noggrannhet förbättras. Detta görs vanligtvis med hjälp av en manuell inmatning i kameran och/eller via programvaran.

I de flesta fall är den reflekterade temperaturen identisk med omgivningstemperaturen (särskilt vid inomhustermografi). Om den infraröda strålningen från störningar reflekteras på ytan av mätobjektet, bör du bestämma temperaturen på den reflekterade strålningen (t.ex. med hjälp av en Lambert-strålare). Den reflekterade temperaturen har liten effekt på föremål med mycket hög emissionsfaktor.

S

Strålning från färgade kroppar

Strålning från material vars emissionsfaktor beror på våglängden. Om du tittar på samma objekt med en värmekamera i det långvågiga infraröda området (LWIR, 8 – 14 μm) och en värmekamera i det mellanvågiga infraröda området (MWIR, 3 – 5 μm), kan det bli nödvändigt för att ställa in olika emissionsfaktorer i värmekameran.

Svartkroppsstrålare

Ett föremål som absorberar all energi från den infallande infraröda strålningen, omvandlar den till sin egen infraröda strålning och avger den i sin helhet. Emissionsförmågan för svartkroppsstrålare är exakt 1. Det finns därför ingen reflektion eller transmission av strålningen. Objekt med egenskaper av denna karaktär förekommer inte i praktiken.

Utrustning för kalibrering av värmekameror kallas ändå för svartkroppsstrålare. Deras emissionsfaktor är dock bara knappt 1.

Synfält

Jfr. "FOV (Field Of View)" på sidan 40.

T

Temperatur

Tillståndsvariabel för energin i en kropp.

Termogram

Jfr. "Värmebild" på sidan 49.

Termografi

Avbildningsprocedur med hjälp av mätteknik som visualiserar värmestrålning eller temperaturfördelningarna på föremåls ytor med hjälp av en värmekamera.

Transmittans (τ)

Mått på ett materials förmåga att tillåta infraröd strålning att passera genom det. Det beror på tjockleken och typen av materialet. De flesta material är inte genomsläppliga för långvågig infraröd strålning.

Tvåpunktsmätning

Tvåpunktsmätning har två hårkors i kamerans display, som kan användas för att avläsa individuella temperaturer.

V

Värmebild

Bild som visar temperaturfördelningarna på föremåls ytor med olika färger för olika temperaturvärden. Värmebilder tas med en värmekamera.

Värmekamera

Kamera som mäter infraröd strålning och omvandlar signalerna till en värmebild. Med hjälp av en värmekamera kan yttemperaturfördelningar visas som inte är synliga för det mänskliga ögat.

Typiska användningsområden finns till exempel inom byggnadstermografi och inom elektrisk och industriell termografi.

Värmeledning

Värmeledning. Överföring av värmeenergi mellan angränsande partiklar. Här överförs alltid energi från den varmare till den kallare partikeln. Till skillnad från konvektion sker ingen masstransport av partiklar vid värmeledning.

3.2 Emissionsfaktor-tabell

Följande tabell fungerar som en guide för justering av emissionsfaktorn vid infraröd mätning. Den anger emissionsfaktorn ϵ för vissa vanliga material.

Eftersom emissionsförmågan ändras med temperatur- och ytegenskaperna bör de värden som visas här endast ses som riktlinjer för mätning av temperaturförhållanden eller skillnader. För att mäta det absoluta temperaturvärdet måste materialets exakta emissionsfaktor bestämmas.

Material (materialtemperatur)	Emissionsfaktor
Aluminium, blankvalsad (170 °C)	0.04
Aluminium, ej oxiderad (25 °C)	0.02
Aluminium, ej oxiderad (100 °C)	0.03
Aluminium , kraftigt oxiderad (93 °C)	0.20
Aluminium, högpolerad(100 °C)	0.09
Mässing, oxiderad (200 °C)	0.61
Tegelsten, murbruk, puts (20 °C)	0.93
Murverk (40 °C)	0.93
Gjutjärn, oxiderat (200 °C)	0.64
Krom (40 °C)	0.08
Krom, polerat (150 °C)	0.06
Lera, bränt (70 °C)	0.91
Betong (25 °C)	0.93
Koppar, något fläckig (20 °C)	0.04
Koppar, oxiderad (130 °C)	0.76
Koppar, polerad (40 °C)	0.03
Koppar, valsad (40 °C)	0.64
Kork (20 °C)	0.70
Bomull (20 °C)	0.77
Glas (90 °C)	0.94

Material (materialtemperatur)	Emissionsfaktor
Granit (20 °C)	0.45
Gips (20 °C)	0.90
Människa (36 °C)	0.98
Is, slät (0 °C)	0.97
Järn, smärglat (20 °C)	0.24
Järn med gjutbeläggning (100 °C)	0.80
Järn med valsbeläggning (20 °C)	0.77
Bly (40 °C)	0.43
Bly, oxiderad (40 °C)	0.43
Bly, grå oxiderad (40 °C)	0.28
Marmor, vit (40 °C)	0.95
Oljefärger (alla färger) (90 °C)	0.92-0.96
Färg, blå på aluminiumfolie (40 °C)	0.78
Färg, mattsvart (80 °C)	0.97
Färg, gul, 2 täcklager på aluminiumfolie (40 °C)	0.79
Färg, vit (90 °C)	0.95
Papper (20 °C)	0.97
Plast: PE, PP, PVC (20 °C)	0.94
Porslin (20 °C)	0.92
Radiator, svart, anodiserad (50 °C)	0.98
Gummi, hårt (23 °C)	0.94
Gummi, mjukt, grått (23 °C)	0.89
Sandsten (40 °C)	0.67
Stål, värmebehandlad yta (200 °C)	0.52
Stål, oxiderat (200 °C)	0.79
Stål, kallvalsat (93 °C)	0.75-0.85
Transformatorfärg (70 °C)	0.94
Trä (70 °C)	0.94
Zink, oxiderad	0.1

3.3 Testo rekommenderar

Kalibrera din värmekamera

Vi rekommenderar att du kalibrerar din värmekamera regelbundet. De intervaller med vilka detta bör göras beror på dina mätuppgifter och på vilka krav som ställs på dessa.

Du kan hitta mer information om kalibrering av din värmekamera på www.nordtec.se/kalibrering.

Kurser i termografi

Håll din kunskapsnivå i framkant: det är ett av de viktigaste kraven för att genomföra komplexa mätuppgifter och möta stigande kvalitetskrav.

Därför erbjuder Nordtec utbildningar i termografi för ett brett spektrum av användningsområden.

Du kan hitta mer information om de utbildningar vi erbjuder på www.nordtec.se/kurser.

Läs mer på:
www.nordtec.se

Förresten, visste du att:

Tack vare sin förmåga att se värmestrålning, uppfattar näsgropsormar både viltbråd och fiender blixtsnabbt, även i mörker.

Näsgropsormar, en underart av huggormar, uppfattar så små temperaturskillnader som ca 0,0003 grader Celsius riktigt snabbt. Det är det mycket känsliga "groporganet" som gör detta möjligt. Detta sinnesorgan gör att ormen kan se bilder som är mycket lika dem som moderna värmekameror kan återge.



