

Neue Anwendungen der aktiven Bauthermografie

Georg DITTIÉ¹

¹ Dittié Thermografie, Königswinter

Kurzfassung. Die Anwendung von Thermografie als echtes ZiP-Prüfverfahren ist im Bauwesen ein vergleichsweise ungewohntes Anwendungsgebiet, das sich aber immer dadurch durchsetzt, dass es eben wegen seiner Zerstörungsfreiheit viele Informationen über ein Bauwerk liefert, ohne die Kosten und den Zeitaufwand für die Beseitigung einer zerstörenden Untersuchung zu verursachen. Anhand von Beispielen aus nunmehr drei Jahren Anwendungspraxis wird im Vortrag vorgestellt, wie vor allem aktive Thermografie zur Aufklärung verdeckter Baustrukturen, Detektionen von Schichtablösungen und zur Bewertung von Schäden an Gebäuden eingesetzt werden kann. Dabei wird insbesondere auch die Nutzung des sommerlichen Tagestemperturgangs zur Schadensuntersuchung von Wärmedämmungen demonstriert. Ebenso können durchfeuchtete Zonen an Bauwerken durch aktive Thermografie sichtbar gemacht werden, auch wenn keine Verdunstungsabkühlung auftritt. Durch die Nutzung von Aufheiz- und Abkühlprozessen und der unterschiedlichen Wärmekapazität kann die Thermografie erheblich mehr leisten als die einfachen, bunten Bildchen, wofür sie bislang bekannt war.

1. Einführung

Bislang versteht man automatisch unter der Bauthermografie die klassische „passive“ Thermografie von Gebäuden oder Gebäudeteilen unter Ausnutzung von Verdunstungsabkühlung oder vor allem einem treibenden Temperaturunterschied zwischen Innenraum und äußerer Umwelt. Bilderzeugend wirkt dabei dann der lokale Unterschied der Wärmewiderstände, eine Folge von Geometrie und Wärmeleitung entlang der Wärmeströme.

Dabei wird vorausgesetzt, dass man den Zustand des Messobjekts und die Umweltbedingungen (Temperaturdifferenz, Wetter etc.) so akzeptiert, wie sie vorgefunden werden und dazu ein einzelne Aufnahme pro Objekt macht. Eine bewusste und vor allem auch gesteuerte Anregung fand und findet bislang nicht statt.

Das hat Nachteile: Man ist den natürlichen Schwankungen der Temperaturdifferenz ausgesetzt und vor allem ist diese Vorgehensweise sehr saisonabhängig. Ohnehin funktioniert sie nur dort, wo es klimatisch bedingt ausgeprägte Heizperioden gibt. Das ist bedauerlich, denn die Anwendung thermografischer Verfahren in der ZiP zeigen in vielen weiteren Bereichen ansehnliche Leistungen, die es auch für das Bauwesen zu erschließen gilt.



Die Thermografie als zerstörungsfreies Prüfverfahren im Bauwesen funktioniert dabei im Prinzip genauso wie in den verschiedenen Industriebereichen. Man nutzt bewusst eine Temperaturänderung aus, um lokale Unterschiede in der Wärmekapazität und in der Wärmeausbreitung in einem Bauteil hervorzurufen, die sich dann als Änderung der Oberflächentemperatur auswirken.

Der einzige Unterschied zu industriellen Anwendungen liegt darin, dass man es mit sehr großen und teilweise auch sehr groben Strukturen zu tun hat, deren Maße und Massen großen Toleranzen unterliegen.

Dabei wird oftmals der natürliche Tagestemperaturgang als Anregung herangezogen, zumindest im Außenbereich, wo er voll zur Wirkung kommen kann. Deshalb ist es sinnvoll, speziell in der Bauthermografie nicht von aktiver, sondern von „instationärer“ Thermografie zu sprechen. Im Innenbereich, wo man in der Regel aktiv heizen oder kühlen muss, kann man bei „aktiver“ Thermografie als Begriff bleiben.

2. Instationäre Thermografie durch Tagestemperaturgang

2.1. Vergleich Lock-In versus Puls-Phase

Aus der aktiven Thermografie kennt man zwei Verfahrensweisen: Die Lock-In-Thermografie, die ein Bauteil mit einer periodischen thermischen Schwingung anregt und dazu die Puls-Phasen-Thermografie, die nur einen thermischen Impuls zur Anregung nutzt.

Speziell im Bauwesen kann man als Anregungsquelle den natürlichen Tages-Temperaturgang nutzen: Entweder die vollen 24 Stunden, die ein Tag mit seinem Temperaturrythmus dauert, oder einzelne Abschnitte des Tagestemperaturgangs mit besonders hohem Temperaturgradienten.

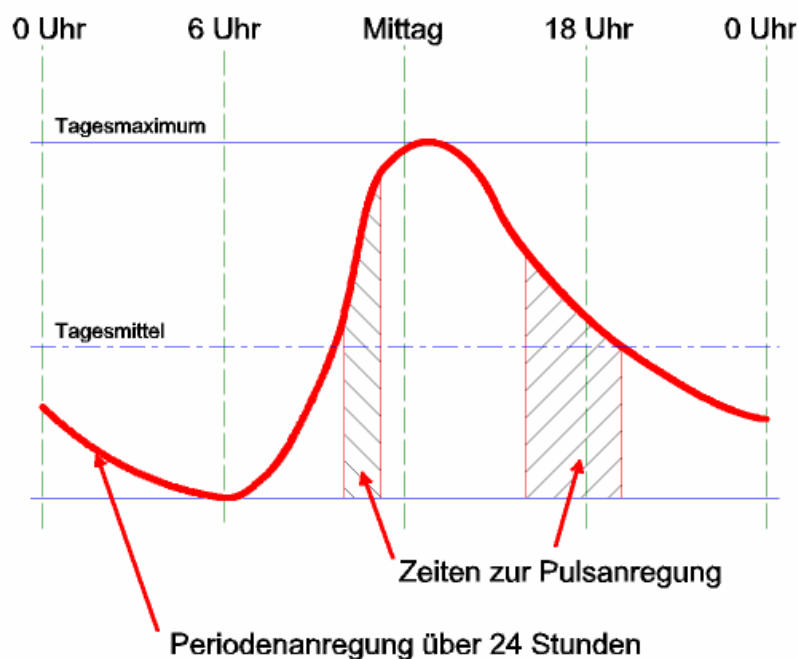


Abb. 1. *Tagestemperturgang über 24 Stunden. Durch den Tageslauf ergibt sich von selbst eine harmonische Schwingung. Die Zeiten mit den höchsten Temperaturgradienten liegen in den späten Vormittagsstunden oder nach Sonnenuntergang.*

Um die Aussagekraft beider Anregungsmethoden miteinander zu vergleichen, wurde an einem bekannten Objekt (einem sehr in die Jahre gekommenen Dachgeschoßzimmer eines Fertighauses aus den Siebzigern) ein 24-Stunden-Test vorgenommen und vergleichend mit Lock-In-Thermografie und dazu mit Puls-Phasen-Thermografie (hier während der Abendabkühlung) vorgenommen.



Abb. 2. *Auswertung einer Thermografierihe, links über einige Stunden mit Nachtäckühlung, rechts über einen vollen Tagestemperturgang. Die Puls-Phasen-Auswertung bietet denselben Informationsgehalt wie die wesentlich zeitaufwendigere Lock-In-Thermografie.*

Beide Thermografieauswertungen liefern ein praktisch identisches, ausgesprochen hochwertiges Ergebnis, indem sich zeigt, dass die Dämmung der Wände auch nach über 45 Jahren noch sehr gut ist, die Dachdämmung sich jedoch als Sanierungsfall erweist.

Mit vollen 24 Stunden Aufnahmezeit ist die Lock-In-Thermografie allerdings nicht praxisgerecht, weil sie einfach viel zu viel Zeit in Anspruch nimmt und keinesfalls bessere Ergebnisse liefert als die nur über wenige Stunden ausgeführte Puls-Phasen-Thermografie. In der Regel wird eine Messung über 24 Stunden bei großen Gebilden wie Bauwerken nicht zu organisieren sein, eine Messung über 20 Minuten bis maximal 3 Stunden aber schon.

2.2 Funktionsprinzip der natürlichen Anregung

Obwohl wir bei der instationären Bauthermografie teilweise auch ohne künstliche Anregungsquellen auskommen, unterscheidet sie sich von der klassischen „passiven“ Thermografie dadurch, dass wir bewusst eine Temperaturänderung ausnutzen.

Das kann wie in Abbildung 2 alleine durch den Tagestemperturgang und die Wärmeübertragung von der Luft auf das Bauwerk erfolgen oder beabsichtigt durch Sonneneinstrahlung. Diese Methode kommt dann zu Tragen, wenn die zu untersuchende Fläche im Tagesverlauf besonnt wird (also keine Nordseiten) und wenn die Sonneneinstrahlung nicht durch Bäume, parkende Autos oder andere Gegenstände gestört wird. Und es muss natürlich sonniges Wetter herrschen.

Da ist aber nur eine Möglichkeit. Fehlt die Sonneneinstrahlung, so kann sie durch künstliche Erwärmung ersetzt werden. Im Inneren von Gebäuden ist man ohnehin auf künstliche Anregung angewiesen. In der folgenden Abbildung kann die Sonne also durch andere Wärmequellen ausgetauscht werden.

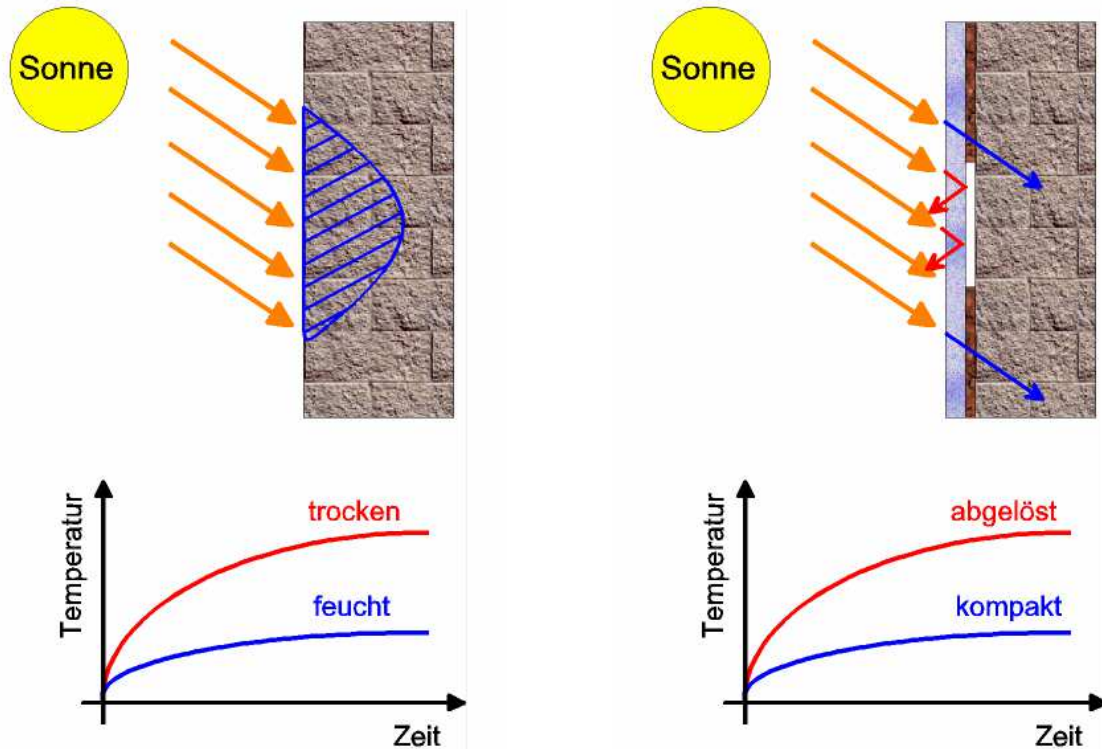


Abb. 3. Bei einem Temperaturwechsel z.B. durch Sonneneinstrahlung folgen feuchte Bauteile dem Temperaturanstieg durch ihre hohe Wärmekapazität langsamer, abgelöste Schichten durch besonders geringe schneller.

Ganz genau wie in der industriellen Thermografie folgen Zonen mit hoher Wärmekapazität dem Energieeintrag nur zögerlich mit einem entsprechenden Temperaturanstieg: Dazu trägt sowohl die spezifische Wärmekapazität als auch die Masse des Bauteils bei. Bei sehr leichten Bauteilen ist nicht viel Wärmekapazität vorhanden, so dass die Erwärmung schneller erfolgt. Speziell bei abgelösten Schichten ist an der Ablösung auch der weitere Wärmefluss in die Tiefe der Bausubstanz unterbrochen.

Aufgrund der bei natürlicher Anregung extrem langsamen Anregungsgeschwindigkeit ist die Wärmeausbreitung in der Bausubstanz eher von geringer Bedeutung, was allerdings zum gegenwärtigen Zeitpunkt (Mai 2015) noch Gegenstand weiterer Untersuchung sein muss.

2.3 Praktischer Einsatz instationärer Bauthermografie mit natürlicher Anregung

Natürlich muss ein neues Verfahren auch in der Praxis getestet werden. Letztendlich ist der Anwender für instationäre Thermografieverfahren nicht am Verfahren, sondern an der Aussagekraft des Ergebnisses interessiert. Im Bauwesen heißt das: Wie ist mein Bauwerk unter der Oberfläche beschaffen? Ist es feucht oder trocken? Woher kommen Risse? Gibt es

Hohlstellen und Ablösungen? Im Allgemeinen wird die Thermografie als ZfP-Verfahren im Bauwesen zur Ursachenermittlung von Schäden herangezogen.

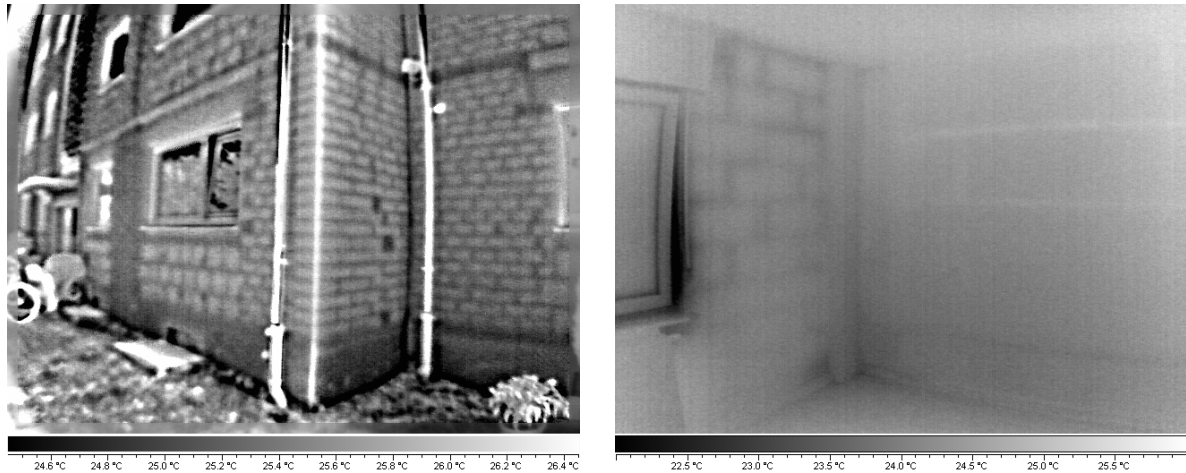


Abb. 4. In diesen durch den natürlichen Anstieg der Tagestemperatur angeregten Thermogrammen zeigen sich die Unterschiede in der **Wärmekapazität** und nicht (wie gewohnt) in der Wärmeleitung. Massive Bauteile mit hoher Wärmekapazität können der Temperaturänderung nur langsamer folgen als leichte mit geringer Wärmekapazität. Die Innenaufnahme rechts ist allerdings grenzwertig.

Bei den beiden Beispielen aus Abbildung 4 geht es darum, zu klären, ob es Feuchtigkeit im Bauwerk gibt und wenn ja, welche Ursache sie haben könnte. Links wurde dazu eine einzelne Thermografie zur Mittagsstunde an einem sonnigen Maitag aufgenommen, nachdem die Außentemperatur in den Vormittagsstunden um über 10 Grad angestiegen ist. Schwere Bauteile konnten dem Temperaturanstieg nicht so folgen wie leichte. Es ist keine Unregelmäßigkeit erkennbar, was auf eine gleichmäßig trockene Bausubstanz schließen lässt. Dafür bilden die Betondecken, der gegossene und nicht gedämmte Betonkeller sowie die Fensterbank deutliche konstruktive Wärmebrücken, die dann auch die Ursache für den aufgetretenen Schimmel sind.

Das funktioniert sogar in Innenräumen, allerdings nur dann, wenn das Fenster (hier unbeabsichtigt) die ganze Zeit offen steht und ein signifikanter Temperaturgang auch im Gebäudeinneren auftritt. Zur regelmäßigen Anwendung ist das nicht geeignet, weil der Temperaturgang zu gering ist. Künstliche Beheizung ist hier klar zu bevorzugen.



Abb. 5.

Diese Situation verstößt eigentlich gegen die Richtlinien der herkömmlichen Bauthermografie: Hier wird bei ungestörter Sonneneinstrahlung gearbeitet.

Ziel der Untersuchung ist, die Ursache für beginnende Putzablösungen auf etwa 1 Meter Höhe zu klären.

In Abbildung 5, 6 und 7 ist die Anwendung direkter Sonneneinstrahlung zur Untersuchung von Putzablösungen an einer historischen Außenwand aus Ziegelmauerwerk dargestellt. Die allgemeine Wärmekapazität des Mauerwerks ist dabei so hoch, daß die Temperaturunterschiede auch nach einigen Stunden Sonneneinstrahlung noch nicht egalisiert sind:

Dort wo sich der Putz abgelöst hat, sind die frei schwebenden Putzflächen deutlich wärmer als der fest haftende Teil. Dabei ist auch die erhöhte Wärmekapazität des feuchten Mauerwerks vom trockenen zu unterscheiden, ab einer gewissen Höhe über dem Boden zeigt sich ein allgemein höheres Temperaturniveau: Der Saughorizont der im porenoffenen Mauerwerk aufsteigenden Feuchtigkeit zeigt sich hier auch thermisch unter dem dort noch unbeschädigten Putz.

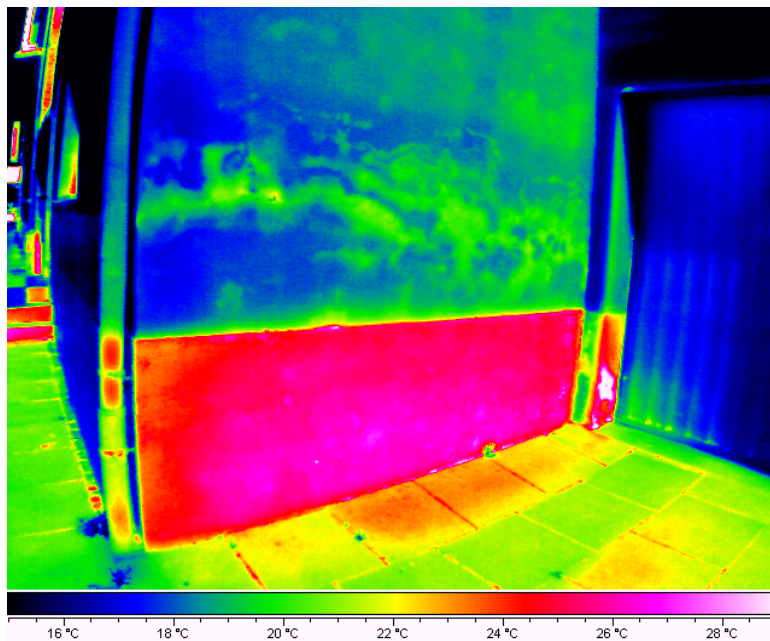


Abb. 6.

Die Sonneneinstrahlung führt je nach Untergrund zu verschieden schneller Erwärmung der Oberfläche: Im Thermogramm sind über die gesamte Wandbreite Putzablösungen feststellbar, die sehr schnell erwärmt werden. Das durchfeuchtete Mauerwerk wärmt sich dagegen langsamer auf als das trockene ganz oben im Bild.

Die besonders hohe Temperatur des Gebäudesockels ist auf die hohe Absorption durch die dunkle Farbe bestimmt.



Abb. 7.

Ein Verzicht auf Farbe bringt noch mehr Information hervor: Neben dem durchfeuchteten Horizont und den Putzablösungen wird auch die Mauerwerksstruktur unter dem dunklen Sockelputz sichtbar. Hier haben sich keine Ablösungen eingestellt. Der Sockelputz ist kunststoffmodifiziert und daher praktisch dampfdicht. Dadurch wirkt das Mauerwerk wie ein Docht.

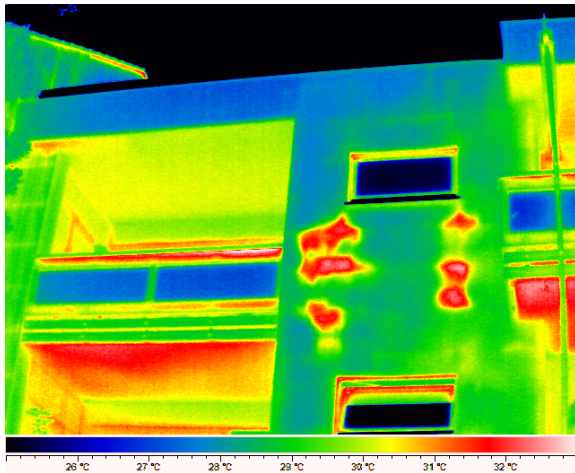


Abb. 8. Beschädigte Wärmedämm-Verbundsysteme lassen sich sehr gut untersuchen, wenn die Aufnahmen bei abendlicher Abkühlung nach einem heißen Sommertag gemacht werden. Die hohe Wärmekapazität des stellenweise eingedrungenen Wassers sorgt für eine anhaltend hohe Temperatur, während trockene Zonen schnell auskühlen.

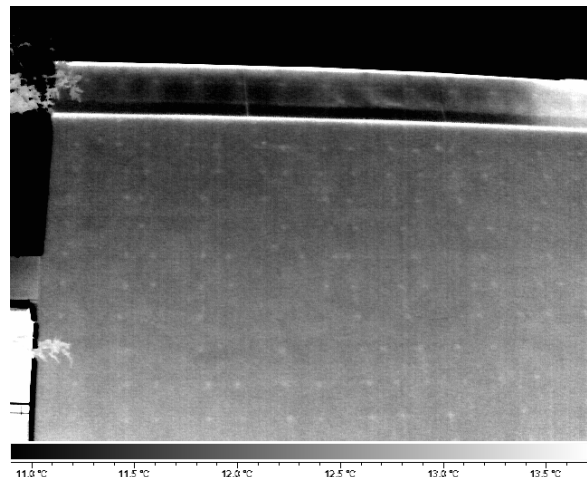
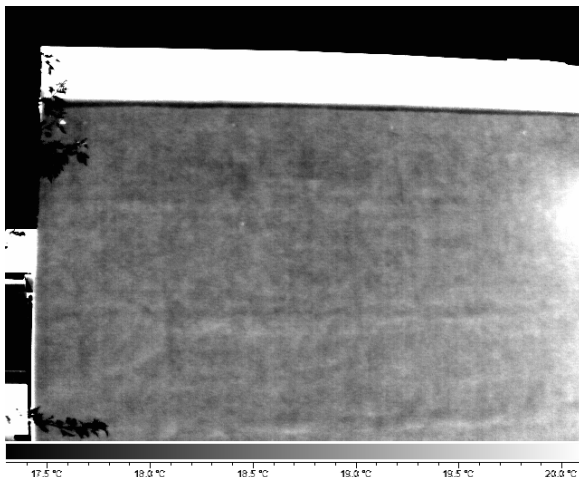


Abb. 9. In diesem Beispiel ist dieselbe Wandfläche mit einer verputzten Wärmedämmverbundfassade abgebildet, die im Verdacht steht, Mängel wie zu wenig Befestigungsdübel oder zu weite Fugen zu haben. Bei Sonnenschein wird die tiefere Struktur nicht sichtbar, jedoch zeigt sich die Dicke der Putzschicht zumindest ansatzweise. Man kann z.B. die ehemalige Lage des Baugerüstes noch erkennen. Misst man nochmals eine Stunde nach Sonnenuntergang so zeigen sich Dübel und Fugen in aller Deutlichkeit.

Es gibt durchaus Unterschiede bei dem, was man nachweisen kann, wenn man entweder tagsüber bei Sonneneinstrahlung oder nach Sonnenuntergang misst. In Abbildung 8 ist das nicht von Bedeutung, weil hier eine Nordseite aufgenommen wurde, die nicht besonnt werden kann und wo der natürliche Gang der Lufttemperatur die Anregung liefert. Bei nicht besonnten Flächen kann fast tageszeitunabhängig gemessen werden.

Nicht so bei besonnten Flächen wie in Abbildung 9: Hier ging es um die Qualitätskontrolle eines Wärmedämmverbundsystems, das in Verdacht stand nicht ganz ordnungsgemäß ausgeführt zu sein und das deshalb zweimal mittels instationärer Thermografie untersucht wurde, einmal mittags bei Sonneneinstrahlung und dann am selben Tag etwa eine Stunde nach Sonnenuntergang und ca. 9 Grad Temperaturabfall gegenüber den Mittagstunden.

Unter direkter Sonneneinstrahlung dringt die Wärme durch den dünnen Putz auf der Dämmung nicht tief ein, so dass sich hauptsächlich sehr oberflächliche Strukturen zeigen. Das sind im Wesentlichen die Dickeunterschiede der aufgetragenen Putzschicht. Dort wo einst die Gerüstbretter lagen kamen die Arbeiter nicht so gut an die Wand, demzufolge ist der Putz dort etwas dicker, was man im Thermogramm wenn auch schwach sehen kann. Durch den intensiven Energieaustausch durch Einstrahlung und Wärmeabgabe werden tiefer liegende Strukturen zugedeckt.

Nach Sonnenuntergang und einem mehrstündigen Abkühlungsprozeß ist der Wärmeaustausch so langsam geworden, dass auch die tiefer liegenden Strukturen nachweisbar werden. Jetzt zeigen sich die Dämmdübel und ganz schwach die Fugen zwischen den Dämmplatten etwas wärmer als der noch schneller auskühlende dünne Putz. Die Dämmplatten haben dagegen kaum Wärmekapazität und -leitung. Das WDVS ist im abgebildeten Bereich übrigens mangelfrei.

2.4 Weitere Verbesserung durch Bildverarbeitung

Speziell die abendliche Arbeitsweise hat auch ihre Tücken, die darin liegen, dass sehr massereiche Bauteile die Tageswärme noch sehr lange speichern und damit ihre Umgebung mit aufheizen oder überstrahlen.

In Abbildung 10 ist dafür ein typisches Beispiel angeführt. Hier haben sich der Beton von Balkon und der Kellereingangsbrüstung tagsüber aufgeheizt und kühlen nun nur sehr langsam ab. Dadurch werden die eigentlich interessanten feinen thermischen Strukturen der Wärmedämmung größtenteils so überdeckt, dass sie nicht nachweisbar sind. Die starr an die Temperatur gekoppelte Farbgebung, die bislang in der Bauthermografie üblich ist, tut ihr Übriges.

Abhilfe schafft zum einen der Verzicht auf Farbe. Sobald der Farbton fehlt, ist der menschliche Gesichtssinn in der Lage eher auf die Unterschiede zu achten und zwei Graustufen zu vergleichen. Dabei ist es gleichgültig, ob der Unterschied etwas im dunkleren oder helleren Bereich liegt.

Wesentlich ist aber die Anwendung eines Verfahrens, das in der Bildverarbeitung als „Unsharp Masking“ bekannt ist. Dazu wird aus dem Originalthermogramm eins abgeleitet, das sehr stark mit einem Tiefpass gefiltert ist, also nur Strukturen ab einer gewissen Größe zeigt. Besonders vorteilhaft ist es, dazu einen Tiefpassfilter zu benutzen, der die Kanten des Motivs erhält, damit später keine Überschwinger an den Kanten entstehen. Nun wird die unscharf gerechnete Kopie vom Original abgezogen.

Das Resultat ist ein homogen erscheinendes Bild, indem feine Strukturen besonders hervorgehoben werden: Dazu müssen diese Strukturen kleiner oder zumindest schmaler sein als der Wirkungsradius des Tiefpassfilters. Im Nebeneffekt werden die großen Temperaturzonen einander angeglichen.

Wichtig ist dabei, dass die absolute Temperaturinformation bei dieser Bildbearbeitung verloren geht. Im Anwendungsbeispiel sind die Temperaturinformationen als solche aber irrelevant.

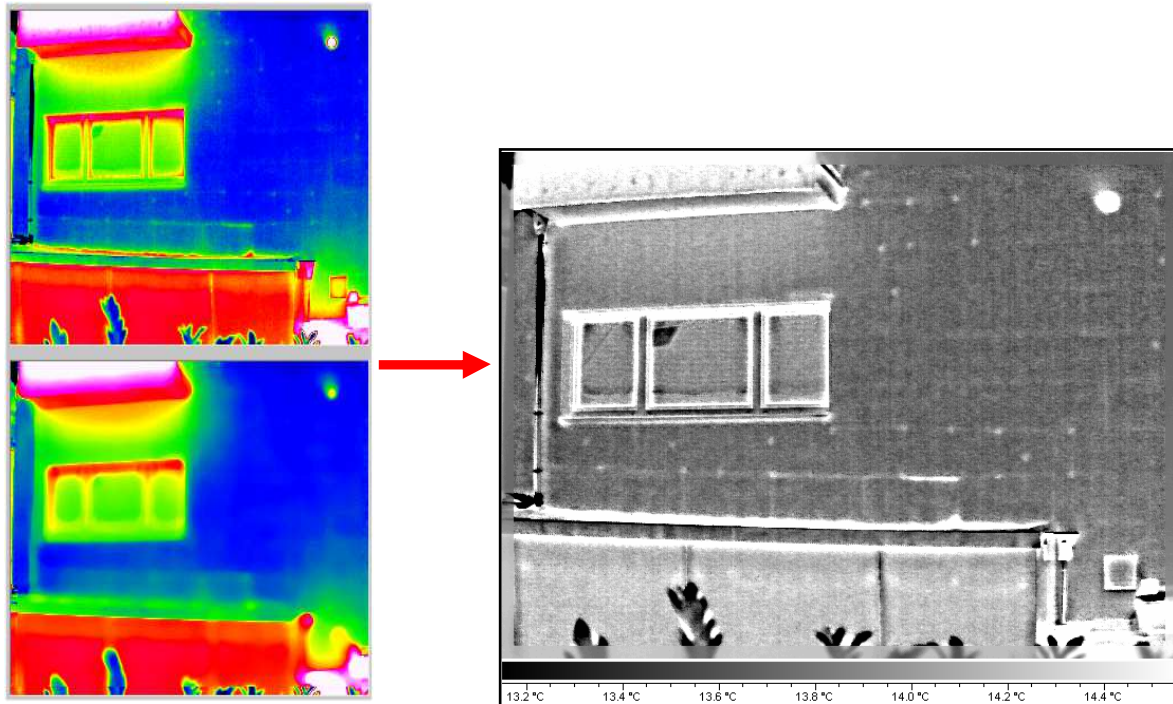


Abb. 10. In diesem Beispiel zeigt sich die Wirkung wenn man von einem Thermogramm seine unscharf gefilterte Kopie abzieht und auf Farbgebung verzichtet: Das Bild wirkt scharf, gleichförmig und thermisch sehr ausgeglichen.

3. Instationäre Thermografie durch aktive Anregung

3.1 Anwendung der instationären Thermografie innerhalb von Gebäuden

Geht man ins Gebäude, so fällt die natürliche Anregung durch den Tagestemperturgang in der Regel weg. Um Temperaturunterschiede zu erzeugen, muß hier künstlich angeregt werden. Dazu sind alle denkbaren Heiz- und Kühlgeräte einsetzbar, es kommt darauf an, genug und auch gleichförmig Energie in die Bausubstanz einzuspeisen. Im Bauwesen hat man es in der Regel mit sehr großen Bauteilen mit hoher Wärmekapazität zu tun, es muß also mit hinreichend langer Anregung und auch größeren Energiemengen gearbeitet werden.

Sofern das zu untersuchende Objekt nicht in der Nähe der Raumheizung liegt, kann man durchaus mit dieser arbeiten. Man muss nur vorher dafür sorgen, dass die Heizung vorher abgedreht und der Raum hinreichend ausgekühlt ist. In der Nähe der Heizung wird das Objekt von den thermischen Auswirkungen der Raumheizung allerdings so gestört, dass eine Thermografie nicht mehr möglich ist. Dann lässt man den Raum eher auskühlen und erwärmt ihn, indem man die Raumluft mit einem Heizgebläse allgemein aufheizt.

Auch Lampen und Infrarotstrahler sind als Energiequelle denkbar, nur ist hier zu beachten, dass etliche Oberflächen viel Licht gleich wieder zurückstrahlen entweder durch Reflektion oder durch ihre helle Farbe. Da kommt es darauf an, ob man mit kurzzeitigem Licht (sichtbar und nahes IR) oder im fernerem IR (Keramikstrahler) anregt.

Empfehlenswert sind Heizer ab 3 kW Leistung bez. 1 kW / m² zu untersuchender Fläche. Anregungszeiten liegen zwischen 10 und 30 Minuten.

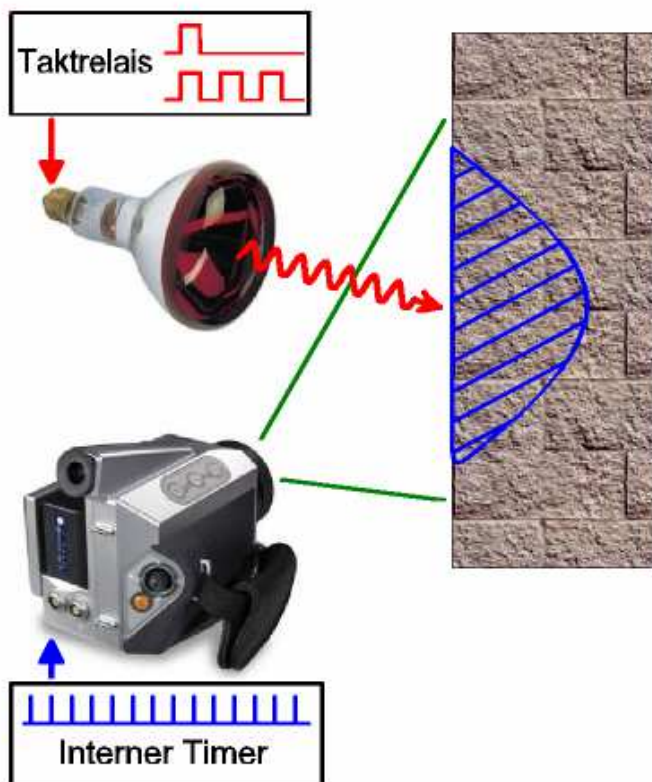


Abb. 11.

Die instationäre Thermografie in Innenräumen ist im Bauwesen auch nichts anderes als die aktive Thermografie bei Industrieanwendungen. Auf eine einmalige oder periodische Anregung hin erfolgt eine Aufnahme oder eine Aufnahmeserie.

Die Anregung kann bei mit allen möglichen Heiz- und Kühlgeräten erfolgen. Hierbei ist nur darauf zu achten, ob die Energie auch in die Bausubstanz eingekoppelt werden kann und dass nicht zu viele Nebenstörungen z.B. durch Reflektion auftreten.

Die massive Struktur und die thermische Trägheit von Bauwerken machen die aktive Thermografie recht einfach, was die Gerätschaften angeht. Man braucht nur eine Heizquelle (oder auch Kühlung), die manuell ein- und wieder abgeschaltet werden kann. Dazu sollte die eingesetzte Thermografiekamera einen Aufnahmetimer haben, wenn Serienaufnahmen erforderlich sind. Der Aufnahmeabstand liegt dabei in der Größenordnung von einer bis mehrere Minuten, so dass dieser Timer weder präzise noch besonders schnell sein muss. In vielen Fällen reicht aber auch schon eine einzelne Aufnahme nach einer Anregungsperiode. Auf komplexe Triggerungen kann völlig verzichtet werden, lediglich ein Stativ für die Kamera ist zu empfehlen.

3.2 Anwendungsbeispiele in Innenräumen

Im Inneren von Gebäuden sind vor allem zwei Dinge von großem Interesse: Wasser in der Bausubstanz und die innere Struktur unter der einsehbaren Oberfläche.

Bei Durchfeuchtungen kann es durchaus mal vorkommen, dass auf der Oberfläche wenig bis nichts zu sehen ist, entweder weil der Volumenstrom des Wassers so gering ist und das Wasser in der Bausubstanz so stagniert, dass keine Verdunstungsabkühlung mehr zu beobachten ist, oder dass die Oberfläche dampfdicht ist (Fliesen, Kunststoffbeschichtung, Glasfaser- oder Vinyltapete ...), dass keine Verdunstung stattfinden kann.

Dennoch verraten sich wasserhaltige Zonen in der Bausubstanz durch ihre erhöhte Wärmekapazität gegenüber den trocken gebliebenen Bereichen. Immerhin ist die Wärmekapazität von Wasser viermal so hoch als die der meisten Baustoffe. Damit wirken sich auch wenige Prozent Wasseranteil sichtbar aus. Unter günstigen Verhältnissen ist es sogar möglich zwischen verschiedenen Wassergehalten zu unterscheiden.

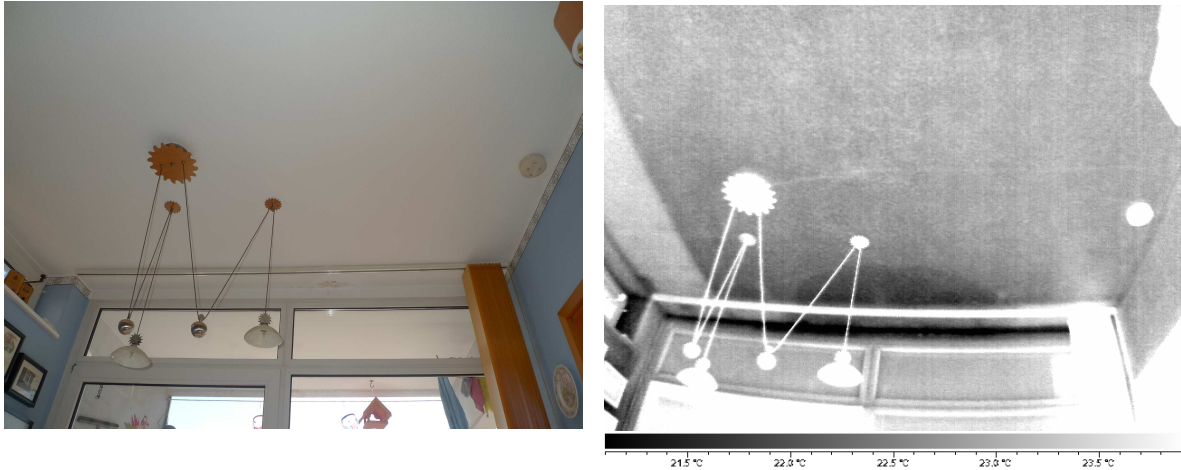


Abb. 12. In der Regel reicht der natürliche Tagesgang nicht, z.B. in massiven Bauwerken, in innen liegenden Räumen oder in Kellern. Dann muß aktiv angeregt werden. In diesem Beispiel wurde der Raum lediglich ca. 10 Minuten mit Heißluft aus einem 3kW-Heizlüfter gefüllt und anschließend ein einzelnes Thermogramm aufgenommen. Die Zonen mit hoher Wärmekapazität können dem Temperaturanstieg nicht folgen und bleiben kühl.

Zur Strukturaufklärung wird ausgenutzt, dass Baustoffe mit großer Masse und Dichte auch eine hohe Wärmekapazität aufweisen. Ebenso steigt die Wärmekapazität mit sinkendem Porenanteil. Dadurch können Bauteile mit hoher Wärmekapazität dem Wärmeeintrag nicht so folgen wie die mit geringerer Kapazität. Schon der recht kleine Unterschied zwischen Mörtel und Stein reicht dazu aus, die Art eines Mauerwerks unterhalb des Putzes zu erkennen.

Bei Hohlräumen (Spalten reichen dazu aus) ist der Wärmetransport in die Tiefe der Bausubstanz unterbrochen. Solche losgelösten Zonen werden schneller warm als ihre Umgebung mit Untergrundkontakt.

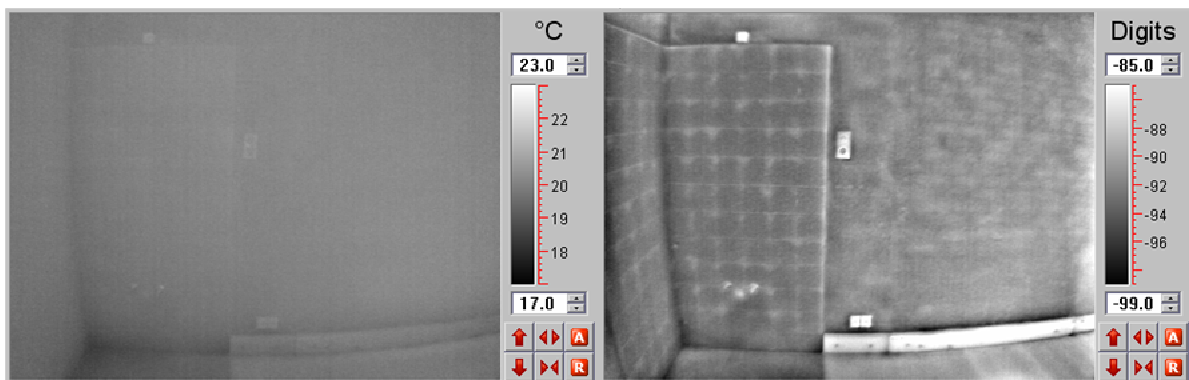


Abb. 13. Eine schlichte Aufheizung kann bei subtileren Details zu wenig sein, um hinreichende Kontraste hervor zu rufen. Dann muß aktiv angeregt und gleichzeitig auch aufgezeichnet werden. In diesem Beispiel wurde der Raum eine halbe Stunde mit Heißluft aus einem Bautrockner gefüllt und während dessen alle Minute ein Thermogramm aufgenommen. Die Auswertung erfolgte über die Berechnung des Aufheizkoeffizienten. Das Resultat ist auch kein Thermogramm mehr, sondern ein Bild aus Aufheizkoeffizienten.

4. Schlussfolgerung

Aus den bislang vorliegenden praktischen Einsatztests können folgende Regeln zur Anwendung instationärer Thermografie im Bauwesen abgeleitet werden:

- Eine einzelne Anregung im Puls-Phasen-Modus reicht praktisch immer aus. Die Lock-In-Thermografie wird im Bauwesen wohl eher weniger eine Rolle spielen.
- Bei Außenaufnahmen ist die Anregung durch den Tagestemperturgang notwendig, wenn es um tiefer liegende Schichten geht, bevorzugt bei abendlicher Abkühlung.
- Wenn außen mit Sonneneinstrahlung angeregt wird, muss diese schattenfrei sein. Damit können nur sehr oberflächennahe Strukturen nachgewiesen werden.
- Bei Innenaufnahmen reicht der natürliche Tagestemperturgang in der Regel nicht aus. Es muss künstlich angeregt (d.h. aufgeheizt werden).
- Zur Aufheizung in Innenräumen reichen 10 bis 30 Minuten für die Anregung aus.
- Als Anregungsmittel haben sich Bauheizlüfter bewährt. Infrarotstrahler sind wegen möglicher Reflektionen und unterschiedlicher Absorption problematisch.
- In der Regel reicht eine Einzelaufnahme am Ende der Anregungsperiode.
- Bei schwachen Kontrasten bewährt sich eine Reihenaufnahme von 10 – 30 Bildern, die dann als Koeffizientenbild e^{-a^*t} ausgewertet wird.
- Bei der Darstellung darf ruhig auf Farbe verzichtet werden. Die starr an die Temperaturen gekoppelte Einfärbung wirkt oft kontraproduktiv.

Natürlich kann das beim bisherigen Stand der Entwicklung nur ein vorläufiger Entwurf sein. Aber schon jetzt hat sich gezeigt, dass durch die Einführung der instationären und aktiven Verfahren in die Bauthermografie die alte Einschränkung auf Heizsaison und gleichzeitig kühle Klimazonen überflüssig wird.

Durch das Möglichwerden von zerstörungsfreien Prüfmethoden kann so im Bauwesen eine wirklich attraktive Alternative zur herkömmlichen Bauteilöffnung angeboten werden und das an jedem Ort und zu jeder Zeit.

Für den Bausachverständigen, der eine Thermokamera einsetzt, ergibt sich noch ein besonderer ökonomischer Vorteil: Der Einsatz der kostspieligen Kamera wird durch die aktiven Verfahren jahreszeitunabhängig, man ist nicht mehr länger auf die immer kürzer und milder werdenden Winter angewiesen.

Speziell zur Anwendung instationärer Thermografieverfahren ist in der Literatur wenig bis nichts zu finden, einfach, weil erst jetzt erste praktische Erfahrungen vorliegen. Zur den Grundlagen der instationären Thermografie sei auf die Publikationen der DGZfP zum Thema hingewiesen.