

Thermografie in der baubegleitenden Qualitätssicherung

Benjamin Standecker, M.Eng.

*Bundesverband für Angewandte Thermografie e. V.
WTA-Arbeitsgruppe „Bauthermografie im Bestand“*

Unter Qualität versteht man die Güte aller Eigenschaften eines Objektes, Systems oder Prozesses. Somit beschäftigt sich die Qualitätssicherung also mit der Bewertung und Einhaltung beschriebener bzw. vertraglich zugesicherter Eigenschaften. Die baubegleitende Qualitätssicherung befasst sich allerdings nicht erst in oder nach der Ausführungsphase, sondern schon während des Planungsprozesses mit der „Sicherung“ der Qualität einzelner Bauteile, Baukonstruktionen bzw. des gesamten Projektes. Durch die Begleitung unter ganzheitlichen Gesichtspunkten während des Gesamtprozesses wird somit eine „größtmögliche“ Mangelfreiheit angestrebt.

THERMOGRAFIE IN DER QUALITÄTSSICHERUNG

Im Zuge dieses Prozesses kommt ein wichtiges Instrument zur praktischen Qualitätssicherung vor Ort ins Spiel: Durch den Einsatz der zerstörungsfreien Prüfmethode der Infrarotthermografie können während der Bauphase aber auch nach der Fertigstellung von Gewerken, z. B. nach dem Verputzen von Wärmedämmverbundsystemen Schwachpunkte wie Wärmebrücken, Risse oder Feuchtigkeit nachgewiesen werden.

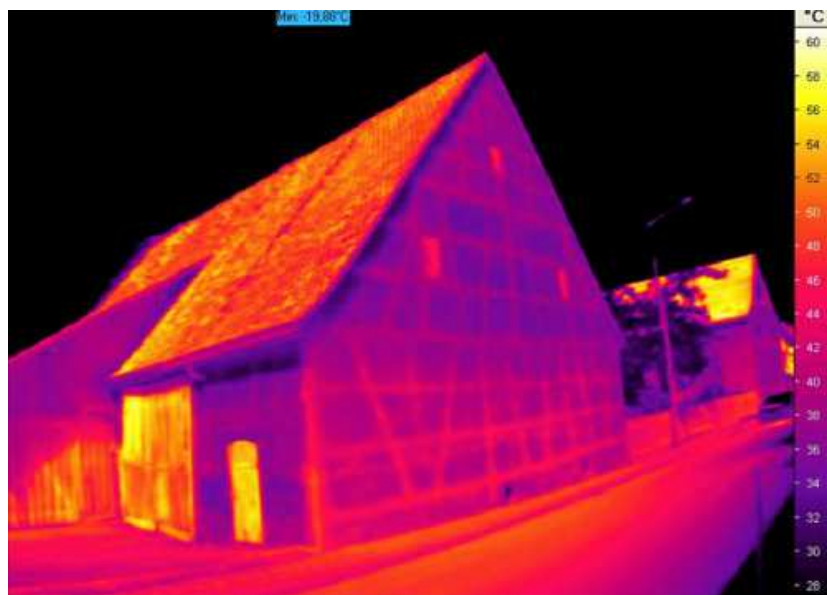


Abb. 1: Thermografie einer verputzten Fachwerkwand

Auch kann die Homogenität der Wärmedämmung zerstörungsfrei überprüft und visuell dargestellt werden. Gerade auch kritische Detailpunkte, die „mit dem bloßen Auge“ schwer oder gar nicht beurteilt werden können, sind mittels Thermografie ohne Probleme zerstörungsfrei zu detektieren, analysieren und zu dokumentieren. Fehlstellen können somit schon während der Bauphase, in der die Beseitigung des Mangels aus finanzieller Sicht meist gering ist, aufgedeckt und beseitigt werden.

PHYSIKALISCHES MESSPRINZIP DER THERMOGRAFIE

Unter Thermografie versteht man ein Verfahren zur berührungslosen Messung der Oberflächentemperatur(-verteilung) an Körpern - hier von Bauteilen. Jeder Körper mit einer Temperatur über dem absoluten Nullpunkt von $-273,15^{\circ}\text{K}$ sendet eine Eigenstrahlung aus. Die Ursache für dieses Phänomen ist die in jedem Körper vorhandene innere mechanische Molekülbewegung. Die Intensität dieser Bewegung hängt von der Temperatur des Körpers ab. Diese Wärmestrahlung ist für das menschliche Auge nicht sichtbar und ist dem infraroten Wellenlängenbereich zuzuordnen.

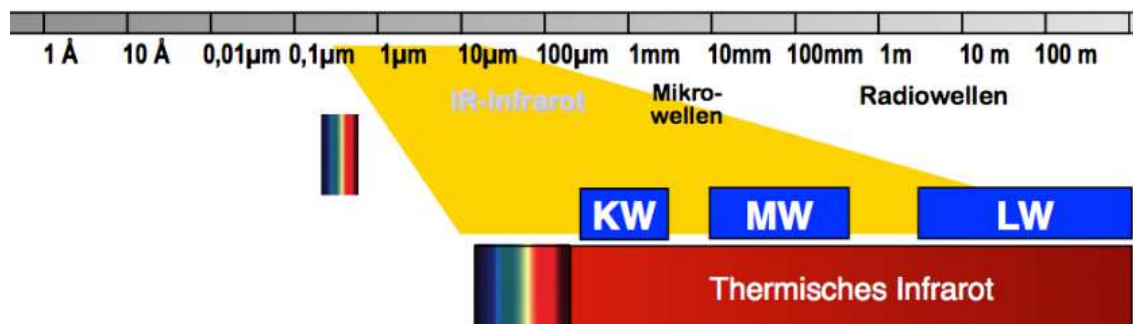


Abb. 2: Elektromagnetisches Spektrum – Übersicht thermografisch rel. IR-Bereich
(Quelle: Flir Systems GmbH, Frankfurt)

Im Bereich der Bauthermografie bewegen wir uns meist im Wellenlängenbereich von 3-5 µm (Mittelwelle/Midwave) bzw. 8-14 µm (Langwelle/Longwave). Das Prinzip der IR-Thermografie liegt nun darin, den für das menschliche Auge nicht sichtbaren Infrarotbereich „sichtbar“ zu machen. Dies passiert in der IR-Kamera und wird als sogenannte „Falschfarbendarstellung“ bzw. als sogenanntes Thermogramm ausgegeben. In der Regel wird eine Farb-zuordnung gewählt, bei der helle Farben (z.B. gelb, rot) höheren Temperaturen und dunklere Farben (z.B. grün, blau) geringeren Oberflächentemperaturen zugeordnet werden. Was wir in so einem Thermogramm sehen, ist das Ergebnis komplexer Berechnungen, welche allerdings - dank modernster Technik - durch das Kamerasystem vollautomatisch vorgenommen werden. Bei der thermografischen Messung wird die im IR-Detektor einfallende Strahlungsenergie in eine Temperaturangabe umgerechnet. Folglich werden thermische Signaturen, wie z. B. die Projektion einer Wärmebrücke oder Leckstelle, im Thermogramm sichtbar.

PRAKTISCHE ANWENDUNG DER THERMOGRAFIE IN DER QUALITÄTSSICHERUNG

Die Anwendungsbreite der Thermografie im Bauwesen – speziell der Qualitätssicherung – erstreckt sich von passiven Methoden (ohne gezielt eingesetzte „aktive“ Anregungen), wie z. B. der „klassischen“ „Wärmebrückendetektion“ im Winter, bis hin zur Leckortung (Undichtheiten in der Luftdichtheitsebene) unter Einsatz eines Differenzdruckes. Unter Zuhilfenahme unterschiedlichster Anregungsarten lässt sich somit nahezu jede Art Qualitätssicherung zerstörungsfrei verwirklichen.

DETEKTION VON WÄRMEBRÜCKEN/ÜBERPRÜFUNG DES MINDESTWÄRMESCHUTZES

Wärmebrücken sind konstruktiv oder geometrisch bedingte Erhöhungen des Wärmestroms durch die thermische Gebäudehülle.



Abb. 3: Thermografieaufnahme verputztes Mauerwerk mit Wärmebrücken im Bereich der Zwischendecken bzw. rund um die Fenster (Stürze, Rollladenkästen, Heizkörper)

Die Minimierung der damit verbundenen Wärmeverluste ist nicht nur eine allgemeine Forderung aktueller Regelwerke wie z. B. der EnEV, sondern eine unverzichtbare Notwendigkeit bei der Planung und Ausführung moderner, beheizter Gebäude. Grundsätzlich lassen sich Wärmebrücken am realen Bauwerk nicht vollständig vermeiden. Die Aufgabe der Thermografie ist es die Wärmebrücken nachzuweisen. Diese stellen sich an der Fassade als eine lokale Erhöhung und von innen als Verringerung der Wandoberflächentemperatur dar. Einen groben Überblick verschafft die Außenthermografie. Die Ausnahme bilden geometrische Wärmebrücken. Diese sollten nur von innen, als Temperaturabsenkung, dargestellt werden. Aufgrund des höheren inneren Wärmeübergangswiderstandes, gegenüber dem äußeren, führen Inhomogenitäten des Wärmestroms an der Bauteilinnenseite zu einem größeren Temperaturunterschied an der Oberfläche. Der Nachweis der Wärmebrücke durch Innenthermografie ist somit meist unverzichtbar. Eine quantitative Bewertung der

Wärmebrücken hinsichtlich der Größe des Wärmebrückenverlustkoeffizienten kann die Thermografie jedoch nicht liefern. Dazu sind ausschließlich spezielle Wärmebrückenberechnungsprogramme geeignet.

Ein zentrales Einsatzgebiet der Thermografie ist die Bewertung der Bauteiloberflächentemperatur im Bereich vorgenannter Wärmebrücken. Das Ziel dieser Untersuchungen ist überwiegend die Ursachenermittlung von Schimmelpilzbildung.

Die Grundlage dafür bietet DIN 4108 Teil 2. Als Bewertungsmaßstab ist hier der Temperaturfaktor $f_{RSI} = (\Theta_{si} - \Theta_e) / (\Theta_i - \Theta_e)$ aufgeführt. Dabei ist Θ_{si} die raumseitige Wandoberflächentemperatur, Θ_e die Außenlufttemperatur, Θ_i die Innenlufttemperatur. Als Randbedingungen wird ein Raumklima von 50 % rel. Lf. bei 20°C und eine Außentemperatur von -5°C definiert. Unter diesen Bedingungen darf die oberflächennahe Luftfeuchtigkeit nicht größer als 80 % (schimmelpilz-kritische Luftfeuchte) sein, was gleichbedeutend mit der Forderung nach einer Oberflächentemperatur größer 12,6°C ist. Dem entspricht ein Temperaturfaktor $f_{RSI} \geq 0,70$. Es handelt sich dabei um eine konstante, bauspezifische Größe, die von dem aktuell herrschenden Temperaturunterschied zwischen Innen und Außen unabhängig ist. Damit kann der Temperaturfaktor als Bewertungsmaßstab für das Bauteil dienen. Aufgrund der Phasenverschiebung der Temperaturwellen durch das Bauteil (diese beträgt in Abhängigkeit vom Wärmespeichervermögen u.a. Eigenschaften, mehrere Stunden) führt die Berechnung des Temperaturfaktors aus den momentan gemessenen Temperaturen meist zu unsinnigen Werten. Brauchbare Ergebnisse sind nur bei der Berücksichtigung der zurückliegenden Temperaturverläufe am zu untersuchenden Bauteil möglich. Überwiegend sind die Temperaturverläufe nicht bekannt, aber die Grenzen, in denen sie erfolgten, können ermittelt oder plausibel angenommen werden. Im Bereich von Wärmebrücken sollte ein Betrachtungszeitraum von 6-8 Stunden bei der Bestimmung des Intervalls der Außentemperatur ausreichend sein. Die Schwankungsbreite der raumseitigen Oberflächentemperatur ist meist geringer und folgt weniger träge der Raumtemperatur.

Durch die Betrachtung der oberen Grenzen der Temperaturintervalle für außen und innen, kann ein Temperaturfaktor auf der „sicheren Seite“ ermittelt werden. Der Temperaturfaktor ist dann nicht geringer als auf Grundlage der Messung berechnet. Werden die unteren Grenzwerte zugrunde gelegt, ergibt sich ein Wert, der nicht besser sein kann, als berechnet.

Die Genauigkeit der Bestimmung der Temperaturgrenzen entscheidet über die mögliche Annäherung an den tatsächlichen Temperaturfaktor.

Bei dem Vorliegen von Temperaturmesswerten aus einer Langzeitmessung, können die Intervallgrenzen verringert werden.

Eine interessante Anwendung der ermittelten Temperaturgrenzen bietet die bildliche Darstellung der schimmelpilzkritischen Bereiche in Thermografieaufnahmen. Dazu wird in der Formel zur Berechnung der Wandoberflächentemperatur die Außen- und Innentemperatur eingesetzt, sowie der Temperaturfaktor 0,7 gesetzt. Der Temperaturbereich unterhalb dieser so berechneten, kritischen Oberflächentemperatur wird im Thermogramm farbig hinterlegt und weist somit auf die thermischen Schwachpunkte hin.

ÜBERPRÜFUNG VON WÄRMEDÄMMVERBUNDSYSTEMEN

Die Außenwände eines Gebäudes sollen den Transmissionswärmeverlust begrenzen. Dabei stellt die aufgebrachte Dämmung dem Wärmestrom von innen nach außen einen Wärmedurchgangswiderstand entgegen. Je nach Baukonstruktion (Material, Materialstärke) ergibt sich ein spezifischer Wärmedurchgangswiderstand bzw. Wärmedurchgangskoeffizient (U-Wert, früher k-Wert [$\text{W/m}^2\text{K}$]). Bei einer konstanten Innenraumtemperatur ergibt sich je nach Größe des Wärmedurchgangswiderstands auf der Fassadenaußenseite eine höhere bzw. niedrigere Oberflächentemperatur. Im Thermogramm wird aus dieser Temperaturverteilung auf die Qualität der Dämmung zurückgeschlossen. Dabei geht es nicht um die quantitative Bestimmung eines U-Wertes, sondern um eine vergleichende Messung zwischen guten und weniger gut gedämmten Flächen. Die Bestimmung des U-Wertes ist, nur mit einer begleitenden Langzeitmessung von Innen- und Außentemperatur sowie der Oberflächentemperatur auf der Wandinnenseite möglich. Nur so kann in der Berechnung die Dynamik von schwankenden Temperaturen im Tagesverlauf berücksichtigt werden.

Mit der Messung von außen verschafft sich der Thermograf bei großen Fassadenflächen schnell und wirtschaftlich einen Überblick. Schwachstellen können lokalisiert und bei Bedarf von innen detailliert untersucht werden. Die Innenthermografie ist auf Grund der konstanten Messbedingungen, höherem Temperaturkontrast und einem geringeren Temperaturamplitudenverhältnis genauer als die Außenthermografie.

LECKORTUNG MIT THERMOGRAFIE (DIFFERENZDRUCKMESSUNG)

Die Forderung nach einer luftundurchlässigen Gebäudehülle ergibt sich aus einer Vielzahl gängiger Regelwerke, u. a. aus der EnEV. Luftundichtheiten in der Gebäudehülle sind, neben erhöhten Wärmeverlusten, vor allem auch für eine Reihe von meist feuchtetechnischen Bauschäden verantwortlich.

Unter Zuhilfenahme einer Anregungsquelle – in der Regel einer Differenzdruckmessereinrichtung – können mittels IR-Thermografie Leckstellen in der Gebäudehülle detektiert und visualisiert werden. Grundlage für eine Visualisierungsmöglichkeit bilden auch bei diesem Anregungsverfahren Temperaturunterschiede zwischen der Innen- und Aussenluft, wenngleich bei dieser rein qualitativen Messmethode meist wenige Grad (je nach Einsatz der Gerätetechnik 1-2 K) Temperaturdifferenz ausreichend sind.

Die Leckortung mittels Thermografie wird i.d.R. im Unterdruckverfahren durchgeführt. Bei Differenzdrücken von 30 – 70 Pa Unterdruck wird nach kurzer „Einwirkungs-dauer“ die Gebäudehülle von der Innenseite aus thermografiert. Aufgrund der Temperaturdifferenz werden Leckstellen – je nach Temperaturgefälle - entweder wärmer oder weniger warm dargestellt.



Abb. 4: Thermogramm Leckortung bei Unterdruck (ca. 50 Pa)

Im Vergleich zu Prüfmethode wie der Verwendung von Prüfrauch oder Prüfnebel können mittels Thermografie auch Abkühlungen hinter Bauteiloberflächen wie z.B. hinter Gipskartonplatten oder Holzdecken dargestellt werden. Somit können u.U. auch Rückschlüsse auf die Lage und den Verlauf der Leckstelle gezogen werden.

FAZIT

Neben der Luftdichtheitsmessung mittels Differenzdruckverfahren ist das Messverfahren der Thermografie somit das einzige praktische Prüfungsinstrument bei der Beurteilung der Qualität der Baukonstruktion. Vor allem im Bereich der energetischen Modernisierung hat sich das Prüfverfahren Thermografie bewährt und sich zu einem kostengünstigen und universellen Baustein im baubegleitenden Qualitätssicherungsprozess entwickelt.