

Weiteres zur Gebäudethermographie

MICHAEL VOLLMER | KLAUS-PETER MÖLLMANN | FRANK PINNO

Dieses Dokument ist eine Ergänzung zum Artikel „Die Versuchung bunter Bilder“ über Gebäudethermographie in **Physik in unserer Zeit**, 42. Jahrgang 2011, Nr. 4, S. 176.

TAB. 1 | WICHTIGE FAKTOREN IN DER GEBÄUDE THERMOGRAPHIE

erforderliche Kenntnisse der Nutzer	Bedeutung
verwendete Messgeräte	Kenntnisse Kameras (MW / LW), Software, Wind, Feuchte-Sensoren, Thermometer mit absoluten/relativen Messgenauigkeiten
Thermische Auflösung	≤ 100 mK
Zusammenhang von Entfernung, Pixelzahl und Optik	geometrische Auflösung, sinnvolle Messung erfordert, dass untersuchter Objektbereich auch auf nächste + übernächste Pixel abgebildet wird
Winkelabhängigkeit des Emissionsgrades direkte Umgebung	Blickwinkel sollte $< 45^\circ$ sein
Temperaturgradient innen-außen vorhanden? (quasistationäre Bedingungen)	Entfernung / Orientierung Nachbargebäude für Sichtfaktoren
Sichtbares Bild	$\Delta T \geq 15K$ über längeren Zeitraum (>12 Stunden, sinnvoll mehrere Tage)
	Photo sinnvoll für Bericht
Nutzereingaben / Wahlmöglichkeiten	Korrektur durch Software
Entfernung Objekt-Kamera	Schwächung durch H_2O und CO_2
Luftfeuchtigkeit	Schwächung durch H_2O Dampf
Temperatur Atmosphäre und Hintergrund ($T_{reflekt}$)	Korrekturen Umgebungsstrahlung
Emissionsgrad	bekannt (Tabellen), oder zusätzlich zu bestimmen (Tape, Kontaktthermometer, ...)
Temperaturbereich, mittlere T (level) und T -Spreizung (span)	vom Nutzer wählbar (teilweise auch später per Software), sinnvoll an Problem anpassen (Vorschlag standardisierte Darstellung s. [2])
Farbpalette	vom Nutzer frei wählbar
externe Einflüsse	Einfluss
Windgeschwindigkeit	verändert konvektiven Wärmeübergang, erschwert Vergleiche
Feuchtigkeit	Verdunstungskühlung, beeinträchtigt Temperaturkontrast
Sonneneinstrahlung / Schatten	führt zu zeitabhängigen Effekten (lange therm. Zeitkonstanten der Gebäudehülle)
Strahlungskühlung über Himmel und Strahlungsaustausch zu Nachbarobjekten	abhängig von Orientierung / Sichtfaktoren
Allgemeine Wetterbedingungen außen	zeitliche Änderungen von Temperatur, Wind, Niederschlag, Sonne, Bedeckung am Tag und in der Nacht vor sowie während Messung
vermeidbare Fehler	Aktion
Kamera bei Messung im thermischen Gleichgewicht ?	vor Messung Kamera genügend lange (>30 Minuten) bei Umgebungstemperatur in Betrieb? Sonst Drift (Thermoschock)
thermisch reflektierende Objekte	auf „warme“ Objekte in Umgebung testen, können Messung verfälschen?
Möbel an Wänden (Zusatzdämmung)?	Wände im Vorfeld (>12 Stunden) frei räumen
Innenbedingungen bekannt, vorbereitet	Dauer des Heizens, wann gelüftet, ...
Besonderheiten Gebäudekonstruktion bekannt?	Informationen anfordern/sich besorgen, z.B. hinterlüftete Fassaden nur von innen analysieren, Dachüberhang, Balkonansatz, Ringanker, Metallfassaden (Emissionsgrad, Reflexionen) ...

Wärmeübertragung und Oberflächentemperaturen von Gebäuden

Bei Thermographie von Gebäuden werden Oberflächentemperaturen der Bauteile detektiert. Problemstellen zeichnen sich durch hohe Temperaturunterschiede zu benachbarten Flächen aus. Die Oberflächentemperaturen von Gebäudeteilen kommen durch eine Temperaturdifferenz zwischen Außenluft und dem Inneren des Gebäudes zustande. Grundlage hierfür sind die drei Mechanismen der Wärmeübertragung, d.h. Leitung, Konvektion und Strahlung. Im Folgenden sei als einfaches Beispiel der Wärmedurchgang durch eine Wand betrachtet. In einer vereinfachten Beschreibung (eindimensional) ist der Wärmestrom aufgrund der Wärmeleitung proportional zur Temperaturdifferenz zwischen Innen- und Außenwandtemperatur. Ähnlich kann der Wärmestrom aufgrund der Konvektion sowohl an der Innen- als auch an der Außenwand (jeweils in Bezug auf die Innen- bzw. Außenlufttemperatur) ebenfalls als proportional zu den jeweiligen Temperaturdifferenzen ΔT zwischen Luft und Wand angesetzt werden. Der Proportionalitätsfaktor, der so genannte konvektive Wärmeübergangskoeffizient, ist allerdings nicht konstant, sondern hängt von der Windgeschwindigkeit ab. Der Energiestrom aufgrund von Strahlung zwischen Wand und Umgebung kann bei kleinen Temperaturdifferenzen ebenfalls als direkt proportional zu ΔT angesetzt werden [1].

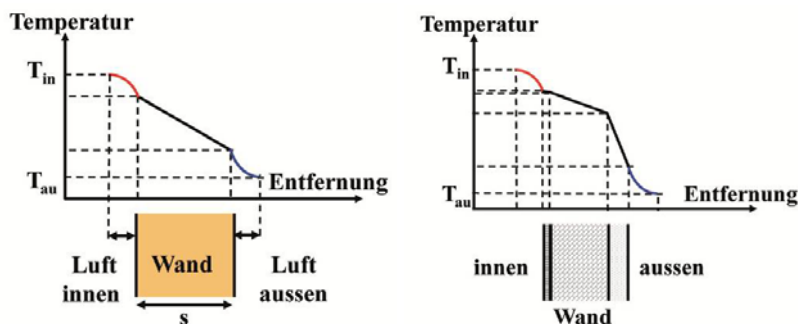


Abb. 1 Schematischer Temperaturverlauf durch eine einfache (links) sowie dreischichtige Wand.

Schematisch findet man im 1-dim Modell für eine einfache bzw. eine zweischichtige (mit Dämmmaterial isolierte) Wand folgende Temperaturverläufe (Abbildung 1) wenn Innen- (T_{in}) und Außentemperatur (T_{au}) sowie Wandaufbau vorgegeben sind.

Die Messgrößen der Thermographie sind die lateralen Verteilungen von Wandinnen- oder Wandaußentemperaturen. Beobachtete Variationen werden als Wärmebrücken bezeichnet, das sind Flächenanteile der Wand, die einen unverhältnismäßig hohen Wärmefluss aufweisen. Wärmebrücken müssen nicht auf Probleme hindeuten, es kommt darauf an, ob die beobachteten Wärmebrücken tolerierbar sind. Ein quantitatives Bewertungskriterium stellt der maximal erlaubte Wärmestrom dar, der durch die so genannten U-Werte beschrieben wird (siehe unten). Für die Innenthermographie ist das übliche Kriterium für ein ernstzunehmendes Problem die Unterschreitung der Taupunkttemperatur mit der Konsequenz von Schimmelbildung.

TAB. 2 | TYPISCHE U-WERTE FÜR GEBÄUDEKOMPONENTEN

Material	Dicke	U in W/(m ² ·K)
Betonwand, ohne thermische Isolierung	25 cm	≈ 3,3
Gemauerte Wand	25 cm	≈ 1,5
Gemauerte Wand plus thermische Isolierung	24 cm + 6 cm	≈ 0,46
massive Holzwand	25 cm	≈ 0,5
Moderne Außentür aus Holz oder Kunststoff		3 - 4
Fenster		
Einfachverglasung		≈ 6
Doppeltverglasung		≈ 3
Verglasung für Passivhäuser		≤ 1

In der Bauphysik unterscheidet man zwei Arten von Wärmebrücken, geometrisch und konstruktiv bedingte. Geometrische Wärmebrücken treten prinzipiell an allen Gebäuden auf. In Gebäudeecken trifft der Wärmestrom von einem kleinen Innenwandbereich auf einen größeren Außenwandbereich, weshalb die Innentemperatur von Ecken immer deutlich niedriger als die der flachen Wandteile ist. Die Dämmung der Außenwand muss so gestaltet werden, dass selbst bei ungünstigen Bedingungen die Temperatur der Ecke oberhalb der Taupunkttemperatur liegt. Ähnlich sind konstruktiv bedingte Wärmebrücken unvermeidbar, die auftreten wenn verschiedene Bauteile mit verschiedenen Wärmeleiteigenschaften an- oder ineinandergefügt werden, so zum Beispiel Fensterleibungen und -stürze, Rolladenkästen oder aus Stabilitätsgründen in Wänden integrierte Stahlträger, Ringanker usw.

Eine für die Wärmedämmung von Gebäuden wichtige Kennzahl ist der U-Wert (früher k-Wert). Er ist ein Maß für den gesamten Wärmedurchgang durch eine Wand und gibt den Energiefluss pro Sekunde, m² und K Temperaturdifferenz durch eine Wand an. Tabelle 2 gibt eine Übersicht über typische Werte, berechnet mit Standardwerten für den konvektiven Übergang an der Außenhaut des Gebäudes.

Eine bestmögliche Überprüfung der Gebäudehülle sollte in der Lage sein, U-Werte der Bauteile anzugeben. Dies können Thermographiedienstleister auf dem Gebäudesektor zur Zeit meist nicht leisten. Prinzipiell ist dies jedoch möglich und es gibt Ansätze, die U-Werte (bzw. die dazu reziproken in den USA gebräuchlichen R-Werte) direkt mittels Thermographie zu messen. Eine sinnvolle Anwendung – gegebenenfalls unter zusätzlicher Nutzung von Wärmeflussmessplatten - setzt allerdings ein tieferes Verständnis der Messmethode und auch genaue Kenntnisse der dem U-Wert zugrundeliegenden Physik voraus [1].

Literatur

- [1] M. Vollmer, K.-P. Möllmann, Infrared Thermal Imaging – Fundamentals, Research and Applications, Wiley-VCH, Weinheim 2010.
- [2] C. Tanner, Interpretation von Wärmebildern, Musterbilder von Gebäude-Außenaufnahmen, EMPA Akademie Dübendorf /CH, 2009. Bestellbar unter www.thech.ch.