

# Inhaltsverzeichnis

Vorwort zur 5. Auflage .....	10
<b>1 Einführung .....</b>	<b>11</b>
<b>2 Physikalische Grundlagen der Thermografie .....</b>	<b>12</b>
2.1 Strahlungsgesetze des schwarzen Körpers .....	13
2.2 Strahlungsgesetze realer Körper .....	18
2.2.1 Emissionsgrade realer Oberflächen .....	22
2.2.2 Abhängigkeit des Emissionsgrads von der Beobachtungsrichtung ..	29
2.2.3 Das Verhalten von Glas und Kunststoffen im Thermogramm .....	33
2.3 Einflüsse durch die Messumgebung .....	35
2.3.1 Einfluss der Atmosphäre .....	35
2.3.2 Einfluss der Umgebungs- und Hintergrundstrahlung – Auswertungsgleichung der Thermografie .....	38
2.3.3 Auswirkungen von Fehleinschätzungen des Emissionsgrads und der Umgebungsstrahlungstemperatur auf das Thermogramm .....	45
<b>3 Überblick über Thermografiesysteme .....</b>	<b>54</b>
3.1 Historische Entwicklung .....	54
3.2 Kameratechnik und Sensorik .....	55
3.2.1 Scanner-Thermografiesysteme .....	56
3.2.2 Focal-Plane-Array-Thermografiesysteme .....	60
3.3 Beurteilungskriterium zur thermischen Auflösung .....	64
3.4 Optische Elemente – Linsensysteme .....	64
3.5 Darstellung der Thermogramme, Speicherung und Verarbeitung .....	69
3.5.1 Farbskalen und Darstellungsneutralität .....	69
3.5.2 Zusammensetzen von Einzel-Thermogrammen zu Gesamtthermogrammen .....	72
3.5.3 Entzerrung des Thermogramms mit Passpunkten .....	74

4	Vorschriften, Richtlinien und Normen _____	75
5	Genauigkeiten der in Thermogrammen angegebenen Temperaturen _____	77
5.1	Einfluss der Wetterrandbedingungen und der Baualtersklasse von Gebäuden _____	77
5.1.1	Einfluss der instationären Einwirkungen – Durchschlagen von Temperaturänderungen _____	83
5.1.2	Berechnung der täglichen Schwankungen der Innenoberflächentemperaturen _____	84
5.1.3	Einfluss von Fehlstellen in Wärmedämmungen _____	89
5.2	Beispiel zum Einfluss von falsch angenommenen Emissionsgraden und Umgebungsstrahlungen auf das Messergebnis _____	90
5.2.1	Beispiel einer Innenthermografie _____	90
5.2.2	Beispiel einer Außenthermografie _____	92
6	Anwendung der Thermografie im Bauwesen _____	96
6.1	Grundprinzipien _____	96
6.1.1	Messvoraussetzungen bei Außen- und Innenthermografien _____	96
6.2	Thermografie zur Lokalisierung von Wärmebrücken _____	106
6.2.1	Systematik der Wärmebrücken _____	106
6.2.2	Stoffbedingte Wärmebrücken _____	106
6.2.3	Geometrische Wärmebrücken _____	109
6.2.4	Typische Thermogramme schadenfreier Bauteile _____	111
6.2.5	Rechnerische Untersuchungsmöglichkeiten von Wärmebrücken _____	120
7	Praxisbeispiele _____	128
7.1	Thermografie von Wärmebrücken _____	128
7.1.1	Außenwanddecke mit auskragender Betondecke _____	128
7.1.2	Ungedämmter Fenstersturz _____	132
7.1.3	Auskragender Stahlträger ohne thermische Trennung _____	135
7.1.4	Durch die Wärmedämmebene geführte massive Rundstütze _____	138
7.1.5	Einbauelement Rollladenkasten _____	139
7.1.6	Schimmelpilzbildung an einer Außenwanddecke – ausführliche Beurteilung _____	142

7.2	Thermografie zur Lokalisierung von Luftundichtigkeiten mit natürlichen Druckdifferenzen .....	150
7.2.1	Fehlende Luftdichtigkeit im Dachbereich .....	150
7.2.2	Trennwandanschluss in einer Industriehalle mit unterschiedlichen Temperaturbereichen .....	152
7.2.3	Außenverkleidung einer Industriehalle aus Trapezblech .....	154
7.2.4	Ausmauerungen bei Fachwerkgebäuden .....	155
7.2.5	Luftundichtigkeiten an Fenstern und Türen .....	156
7.3	Thermografie zur Lokalisierung von Luftundichtigkeiten mit Unterstützung des Differenzdruckverfahrens .....	157
7.3.1	Luftundichtigkeiten an einem Gebäude in Holzständerbauweise .....	157
7.3.2	Luftundichtigkeit am Wand-Deckenübergang bei einem Gebäude in Holzständerbauweise .....	162
7.3.3	Aufdeckung von Luftundichtigkeiten noch während der Bauausführung .....	164
7.3.4	Kühlhallenkonstruktion mit luftundichten Fugenelementen .....	166
7.4	Thermografie von Innenwärmedämmungen .....	168
7.4.1	Ertüchtigung von Außenwänden eines denkmalgeschützten Gebäudes mit Innenwärmedämmung .....	168
7.4.2	Innenwärmedämmung mit kapillaraktiven Baustoffen .....	171
7.4.3	Innenwärmedämmung mit Dampfbremse und Mineralwolle .....	173
7.5	Thermografie zur Lokalisierung von Durchfeuchtungen .....	174
7.5.1	Durchfeuchtung an einem Paneel-Element .....	175
7.5.2	Detektion von Feuchtigkeit bei Mauerwerkswänden .....	176
7.5.3	Feuchtigkeit aus Wasserrohrbruch bei Mauerwerkswänden .....	177
7.5.4	Durchfeuchtungsschäden an Kelleraußenwänden .....	179
7.6	Thermografie unter Ausnutzung natürlicher solarer Aufheizvorgänge .....	182
7.6.1	Auffälligkeiten an einem Wärmedämmverbundsystem .....	182
7.6.2	Auffinden von Holzfachwerk im Sommer .....	184
7.6.3	Temperaturverteilung an Stahlträgern eines großflächig verglasten Luftgeschosses .....	184
7.6.4	Thermografie von Flachdächern .....	186
7.7	Detektion von Fachwerk- und Rahmenstrukturen .....	189
7.7.1	Überputztes Holzfachwerk .....	189
7.7.2	Mit Naturstein bekleidete Rahmenkonstruktion aus Stahlbeton .....	190
7.7.3	Mit Mauerwerk bekleidete Stahlbetonkonstruktion .....	192
7.7.4	Historisches Kupferhaus .....	192

7.8	Thermografie zur Lokalisierung von Konstruktionseinzelheiten _____	195
7.8.1	Dokumentation des Verlaufs von Heizleitungen _____	195
7.8.2	Außenwände mit unter Putz verlegten Heizungsleitungen _____	202
7.8.3	Heizkörperanordnung auf Außenthermogrammen _____	204
7.8.4	Funktionsüberprüfung bei Deckenheizungssystemen _____	205
7.8.5	Dokumentation der Funktionsfähigkeit von beheizten Fenster- Rahmenkonstruktionen _____	206
7.8.6	Traganker bei Dreischichtelementen _____	207
7.9	Hinterlüftete Konstruktionen _____	209
7.9.1	Hinterlüftete Außenwandkonstruktion mit Mauerwerk _____	209
7.9.2	Hinterlüftete Außenwandkonstruktion mit Holzbekleidung _____	211
7.9.3	Hinterlüftete Außenwandkonstruktion mit Keramikfertigteilen _____	211
7.9.4	Innenwandkonstruktionen mit Bekleidungen _____	212
7.9.5	Traganker einer hinterlüfteten Außenwandkonstruktion _____	213
7.10	Thermografie von Verglasungen _____	216
7.10.1	Großflächige Verglasungen _____	216
7.10.2	Verglasungen mit auffälligen Abweichungen _____	219
7.11	Thermografie zur baubegleitenden Qualitätssicherung _____	221
7.11.1	Untersuchungen vor und nach einer energetischen Gebäudesanierung _____	221
7.11.2	Überprüfung eines Gebäudes mit Wärmedämmverbundsystem _____	224
7.11.3	Schallbrücken bei Reihenhaustrennfugen _____	226
7.11.4	Fehlende Wärmedämmung und Luftundichtigkeiten an Trockenbauwänden _____	229
7.11.5	Fehlende Wärmedämmung an einer Außenwanddecke _____	231
7.11.6	Fehlende Wärmedämmung an einer Fensterlaibung _____	232
<b>8</b>	<b>Nutzung der Thermografietechnik in der Forschung _____</b>	<b>235</b>
8.1	Der Wärmedurchgangskoeffizient (U-Wert) als Kenngröße für Wärmetransportvorgänge _____	235
8.2	Betonprobekörper unter zyklischer Beanspruchung _____	237
8.3	Zugversuch an einem Stahldübel _____	239
8.4	Überprüfung von Salzwasser auf gleichmäßige Temperaturverteilung in einem Wellenbecken _____	241
8.5	Untersuchungen zum Einbauverhalten von hochfestem Feinkornbeton _____	243
8.6	Untersuchungen zur feuchteinduzierten Bewuchsentwicklung auf Außenwandoberflächen _____	245

---

9	Thermografie mit Drohnensystemen	249
9.1	Drohntechnik mit Thermografie	249
10	Spezielle Anwendungsfälle von Thermografien	253
10.1	Verstopfungen in Rohrleitungen	253
10.2	Thermografie von Kunststoffen – kritische Betrachtung	254
10.3	Thermografie an PV-Anlagen	256
11	Zusammenfassung und Kurzleitfaden der Thermogrammerstellung	259
11.1	Allgemeine Voraussetzungen	259
11.2	Durchführung der thermografischen Untersuchung	259
12	Anhang	262
12.1	Nomenklatur	262
	12.1.1 Größen	262
	12.1.2 Abkürzungen	263
12.2	Danksagung	264
12.3	Literaturverzeichnis	264
12.4	Stichwortverzeichnis	271