
Inhalt

1	Einleitung	9
1.1	Einführung und Problemstellung	9
2	Physikalische Grundlagen der Thermografie	10
2.1	Grundprinzip	10
2.1.1	Strahlungsgesetze des schwarzen Körpers	11
2.1.2	Strahlungsgesetze realer Körper	15
2.2	Einflüsse durch die Messumgebung	28
2.2.1	Einfluss der Atmosphäre	28
2.2.2	Einfluss der Umgebungs- und Hintergrundstrahlung – Auswertungsgleichung der Thermografie	31
2.2.3	Auswirkungen von Fehleinschätzungen des Emissionsgrads und der Umgebungstrahlungstemperatur	37
3	Überblick über Thermografiesysteme	46
3.1	Historische Entwicklung	46
3.2	Kameratechnik und Sensorik	47
3.2.1	Scanner-Thermografiesysteme	48
3.2.2	Focal-Plane-Array-Thermografiesysteme	51
3.3	Beurteilungskriterium zur thermischen Auflösung	54
3.4	Optische Elemente – Linsensysteme	54
3.5	Darstellung der Thermogramme, Speicherung und Verarbeitung	57
4	Vorschriften, Richtlinien und Normen	61
5	Genauigkeiten der in Thermogrammen angegebenen Temperaturen ...	63
5.1	Einfluss der Wetterrandbedingungen und der Baualtersklasse von Gebäuden	63
5.1.1	Einfluss der instationären Einwirkungen – Durchschlagen von Temperaturänderungen	69

5.1.2	Berechnung der täglichen Schwankungen der Innenoberflächentemperaturen	70
5.1.3	Einfluss von Fehlstellen in Wärmedämmungen	74
5.2	Einfluss von falsch angenommenen Emissionsgraden und Hintergrundstrahlung auf das Messergebnis	75
5.2.1	Beispiel einer Innenthermografie	75
5.2.2	Beispiel einer Außenthermografie	77
6	Anwendung der Thermografie in der Bautechnik	80
6.1	Grundprinzipien und Messvoraussetzungen	80
6.1.1	Messvoraussetzungen bei Außen- und Innenthermografien	80
6.2	Thermografie zur Lokalisierung von Wärmebrücken	83
6.2.1	Systematik der Wärmebrücken	83
6.2.2	Stoffbedingte Wärmebrücken	84
6.2.3	Geometrische Wärmebrücken	84
6.2.4	Typische Thermogramme schadenfreier Wärmebrücken	86
6.2.5	Rechnerische Untersuchungsmöglichkeiten von Wärmebrücken	92
7	Praxisbeispiele	98
7.1	Wärmebrücken	98
7.1.1	Außenwandoberfläche mit auskragender Betondecke	98
7.1.2	Ungedämmter Fenstersturz	100
7.1.3	Stahlträger ohne thermische Trennung durch Fassade geführt	101
7.1.4	Durch die Wärmedämmebene geführte massive Rundstütze	103
7.1.5	Einbauteil Rollladenkasten	104
7.1.6	Schimmelpilzbildung an einer Außenwandoberfläche – ausführliche Beurteilung ...	106
7.2	Thermografie zur Lokalisierung von Luftundichtigkeiten	114
7.2.1	Unterstützung der Thermografie mit Differenzdruckverfahren (Blower-Door)	114
7.2.2	Luftundichtigkeiten an Fenstern und Türen	119

7.3	Thermografie zur Lokalisierung von Durchfeuchtungen	120
7.3.1	Durchfeuchtungsschäden an einer Kelleraußenwand	121
7.4	Thermografie zur Lokalisierung von Konstruktionseinzelheiten	124
7.4.1	Dokumentation des Verlaufes von Heizungsleitungen im Fußboden	124
7.4.2	Außenwände mit unter Putz verlegten Heizungsleitungen	127
7.4.3	Traganker bei Dreischichtelementen	128
7.4.4	Fachwerkstrukturen	129
7.4.5	Temperaturverteilung bei Stahlträgern eines großflächig verglasten Luftgeschosses	130
7.4.6	Traganker einer hinterlüfteten Außenwandkonstruktion	131
7.4.7	Verstopfungen in Rohrleitungen	133
7.5	Thermografie zur baubegleitenden Qualitätssicherung	133
7.5.1	Untersuchungen vor und nach einer energetischen Gebäudesanierung	133
7.5.2	Überprüfung eines Gebäudes mit Wärmedämmverbundsystem	136
7.5.3	Schallbrücken bei Reihenhaustrennfugen	138
7.5.4	Fehlende Wärmedämmung und Luftundichtigkeiten an Trockenbauwänden	140
7.5.5	Fehlende Wärmedämmung an einer Fensterlaibung	142
7.6	Nutzung der Thermografiertechnik in der Forschung	144
7.6.1	Untersuchungen zur Anwendbarkeit des Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Wert) als Kenngröße für Wärmetransportvorgänge	144
7.6.2	Betonprobekörper unter zyklischer Beanspruchung	146
7.6.3	Zugversuch an einem Stahldübel	148
8	Thermografische Signaturen typischer Konstruktionen	151
8.1	Wandkonstruktionen, Gebäudehülle	151
8.1.1	Altbau, teilweise mit innenseitiger Wärmedämmung	151
8.1.2	Altbauten mit punktueller Beheizung	152
8.1.3	Hinterlüftete Außenwandkonstruktionen	153
8.1.4	Innenwandkonstruktionen mit Bekleidungen	156
8.1.5	Großflächige Verglasungen	157

8.2	Sonstige Konstruktionen/Materialien	158
8.2.1	Thermografie von Kunststoffen – kritische Betrachtung	158
8.2.2	Thermografieanwendungen außerhalb des Bauwesens	159
9	Zusammenfassung und Kurzleitfaden der Thermogrammerstellung	161
9.1	Allgemeine Voraussetzungen	161
9.2	Durchführung der thermografischen Untersuchung	161
10	Anhang	164
10.1	Nomenklatur	164
10.2	Literaturverzeichnis	167
10.3	Stichwortverzeichnis	170