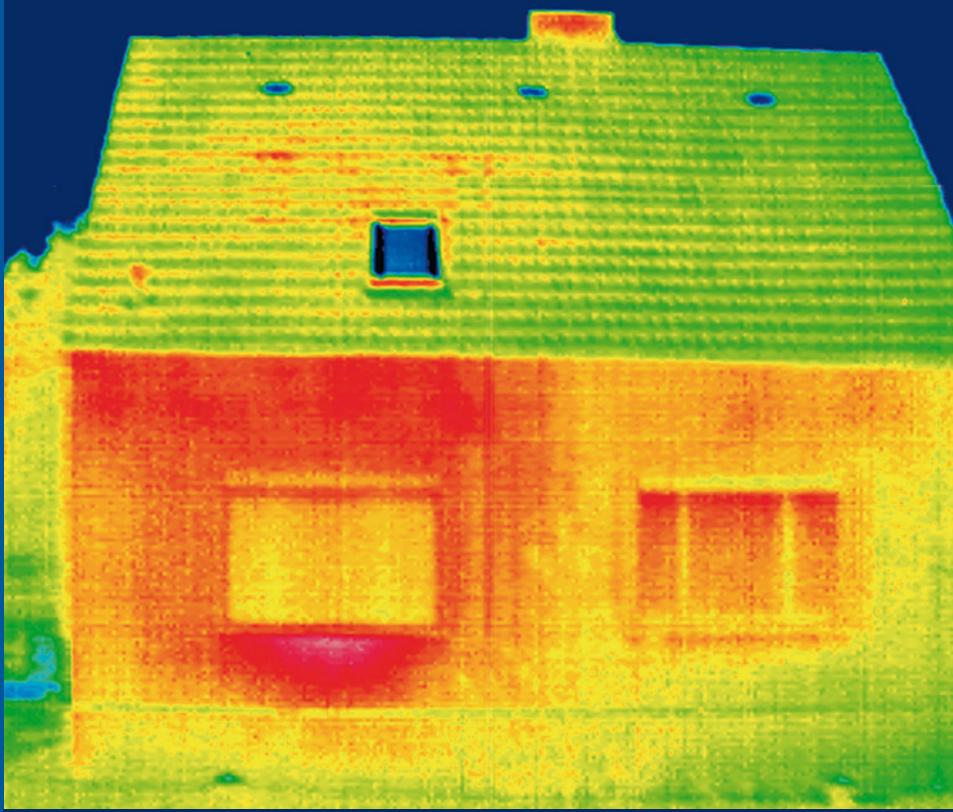
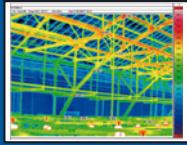
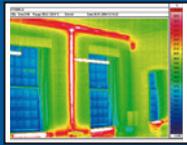
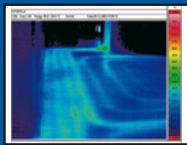
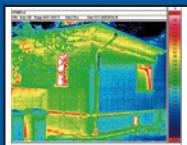


Nabil A. Fouad | Torsten Richter

# Leitfaden Thermografie im Bauwesen

Theorie, Anwendungsgebiete, praktische Umsetzung

4., überarbeitete und erweiterte Auflage



Fraunhofer IRB Verlag

Nabil A. Fouad | Torsten Richter

## Leitfaden Thermografie im Bauwesen



Nabil A. Fouad | Torsten Richter

# Leitfaden Thermografie im Bauwesen

Theorie, Anwendungsgebiete, praktische Umsetzung

4., überarbeitete und erweiterte Auflage

Fraunhofer IRB Verlag

## **Bibliografische Informationen Der Deutschen Bibliothek**

Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über ><http://dnb.ddb.de>< abrufbar.  
ISBN 978-3-8167-8456-2

Layout: Georgia Zechlin

Umschlaggestaltung: Martin Kjer

Druck: Konrad Tritsch Print und digitale Medien GmbH, Johannes-Gutenberg-Straße 1-3,  
97199 Ochsenfurt-Hohestadt

Für den Druck des Buches wurde chlor- und säurefreies Papier verwendet.

Alle Rechte vorbehalten

Dieses Werk ist einschließlich aller seiner Teile urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die über die engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes hinausgeht, ist ohne schriftliche Zustimmung des Fraunhofer IRB Verlages unzulässig und strafbar. Dies gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen sowie die Speicherung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von Warenbezeichnungen und Handelsnamen in diesem Buch berechtigt nicht zu der Annahme, dass solche Bezeichnungen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und deshalb von jedermann benutzt werden dürfen.

Sollte in diesem Werk direkt oder indirekt auf Gesetze, Vorschriften oder Richtlinien (z. B. DIN, VDI, VDE) Bezug genommen oder aus ihnen zitiert werden, kann der Verlag keine Gewähr für Richtigkeit, Vollständigkeit oder Aktualität übernehmen. Es empfiehlt sich, gegebenenfalls für die eigenen Arbeiten die vollständigen Vorschriften oder Richtlinien in der jeweils gültigen Fassung hinzuzuziehen.

© by Fraunhofer IRB Verlag, 2012

Fraunhofer-Informationszentrum

Raum und Bau IRB

Nobelstraße 12, 70569 Stuttgart

Telefon (0711) 9 70-25 00

Telefax (0711) 9 70-25 08

E-Mail: [irb@irb.fraunhofer.de](mailto:irb@irb.fraunhofer.de)

<http://www.baufachinformation.de>

---

# Inhalt

<b>1</b>	<b>Einleitung .....</b>	<b>9</b>
1.1	Einführung und Problemstellung .....	9
<b>2</b>	<b>Physikalische Grundlagen der Thermografie .....</b>	<b>10</b>
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 Umgebungsstrahlungstemperatur .....	37
<b>3</b>	<b>Überblick über Thermografiesysteme .....</b>	<b>46</b>
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
<b>4</b>	<b>Vorschriften, Richtlinien und Normen .....</b>	<b>61</b>
<b>5</b>	<b>Genauigkeiten der in Thermogrammen angegebenen Temperaturen ...</b>	<b>63</b>
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	<b>Einfluss von falsch angenommenen Emissionsgraden und Hintergrundstrahlung auf das Messergebnis .....</b>	75
5.2.1	Beispiel einer Innenthermografie .....	75
5.2.2	Beispiel einer Außenthermografie .....	77
<b>6</b>	<b>Anwendung der Thermografie in der Bautechnik .....</b>	<b>80</b>
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
<b>7</b>	<b>Praxisbeispiele .....</b>	<b>98</b>
7.1	Wärmebrücken .....	98
7.1.1	Außenwandecke 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 Außenwandecke – 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

---

<b>7.3</b>	<b>Thermografie zur Lokalisierung von Durchfeuchtungen</b>	120
7.3.1	Durchfeuchtungsschäden an einer Kelleraußenwand	121
<b>7.4</b>	<b>Thermografie zur Lokalisierung von Konstruktionseinzelheiten</b>	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
<b>7.5</b>	<b>Thermografie zur baubegleitenden Qualitätssicherung</b>	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
<b>7.6</b>	<b>Nutzung der Thermografietechnik in der Forschung</b>	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
<b>8</b>	<b>Thermografische Signaturen typischer Konstruktionen</b>	151
<b>8.1</b>	<b>Wandkonstruktionen, Gebäudehülle</b>	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
<b>9</b>	<b>Zusammenfassung und Kurzleitfaden der Thermogrammerstellung ....</b>	<b>161</b>
9.1	Allgemeine Voraussetzungen .....	161
9.2	Durchführung der thermografischen Untersuchung .....	161
<b>10</b>	<b>Anhang .....</b>	<b>164</b>
10.1	Nomenklatur .....	164
10.2	Literaturverzeichnis .....	167
10.3	Stichwortverzeichnis .....	170