

# Anwendung der Thermografie beim Einbau von Asphaltsschichten

S. Huschek

Technische Universität Berlin (TUB), Fachgebiet Straßenwesen

R. Arndt, M. Röllig, Ch. Maierhofer

Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), Berlin

## EINLEITUNG

Anlässlich der Erprobung einer neuen Abstreutechnik für eine SMA-Deckschicht auf einer Versuchsstrecke auf der BAB A24, ist die Thermografie in Zusammenarbeit zwischen der TU Berlin und der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM Berlin) im Mai 2006 erfolgreich eingesetzt worden. Ziel der Thermografiemessungen ist ein flächiges bildgebendes Temperatur-Monitoring des Fertigungsprozesses zur Untersuchung des Einflusses der Abstreuerung und der einzelnen Walzübergänge auf den zeitlichen und örtlichen Temperaturverlauf als Indikator für den Verdichtungsprozess. Insbesondere eine Streuung der Temperatur im Querprofil sollte untersucht werden.

Ausgangspunkt der hier dargestellten Untersuchungen sind Forschungsergebnisse des „Washington State Department of Transportation“, die den maßgebenden Einfluss des Fertigers und der Durchmischung auf die Gleichmäßigkeit der Verdichtung von Asphaltdeckschichten und Folgeschäden in Millionenhöhe bei US-Amerikanischen Straßen mit ungleichmäßiger Verdichtung belegen [1]. Dort wurde die Thermografie für die Qualitätssicherung des Fertigungsprozesses eingesetzt und als ein Ergebnis der Untersuchungen Fertigungsprinzipien entwickelt, um die durch eine ungleichmäßige Verdichtung entstehenden Folgeschäden für das dortige Straßennetz zu minimieren.

Im Vorfeld der Untersuchungen zur BAB A24 stellte sich nun die Frage, ob sich die in den USA gewonnenen Erkenntnisse auf das Deutsche Straßennetz übertragen lassen und ob auch hier die Thermografie für eine Qualitätssicherung des Fertigungsprozesses sinnvoll eingesetzt werden kann.

## 1 Bedeutung der Temperatur beim Einbau

Beim Einbau von Asphaltsschichten haben die Temperatur und die Temperaturverteilung im Material sowie der Umgebung einen starken Einfluss auf den erzielten Verdichtungsgrad und somit auf die mechanischen Eigenschaften und die Gebrauchsdauer. Entsprechende Temperaturanforderungen sowohl für den Asphalt als auch für die Außentemperaturen sind deshalb in den ZTV-Asphalt festgelegt. In der Regel wird die Temperatur des Asphaltgemisches während des Einbaues mittels Infrarot-Handthermometer laufend kontrolliert. Diese punktuellen Messungen sind zwar sehr nützlich, eine umfassende Dokumentation der Temperaturverhältnisse auf der Oberfläche über die gesamte Breite eines Fertigungsabschnittes ist auf diese Weise mit vernünftigem Aufwand jedoch nicht möglich. Hier bietet die Thermografie neue Perspektiven. Sie ermöglicht eine sehr genaue und flächenhaft vollständige Erfassung der Temperaturverhältnisse bei sehr großer Messpunktdichte mit dem zusätzlichen Vorteil der raschen statistischen Auswertung über beliebige Teilbereiche des gesamten Temperaturbildes (Thermogramm). Es können neue Erkenntnisse über wichtige Bedingungen wie Homogenität der Temperaturverteilung und Abkühlungsgeschwindigkeiten gewonnen werden.

## 2 Leistungsfähigkeit der Thermografie

Die Infrarot Thermografie (IR) wird seit Jahren erfolgreich zur zerstörungsfreien Prüfung in der Werkstoffprüfung (ZfP) und im Bauwesen eingesetzt. Generell lässt sich zwischen *passiven* und *aktiven* Thermografie-Methoden unterscheiden. Dabei richtet sich die Methodik nach der Art der Fragestellung.

### Einsatzgebiete der Thermografie im Bauwesen

Bei der *passiven* Thermografie wird ein vorhandener Temperaturgradient ausgenutzt, um z. B. Wärmebrücken, Leckagen in Fußbodenheizungen oder Regionen mit erhöhter Feuchtigkeit mittels einer im infraroten Wellenlängenbereich empfindlichen Kameraeinheit bildgebend zu detektieren [2]. Bei der *aktiven* Thermografie wird der Wärmefluss im untersuchten Bauteil gezielt beeinflusst, häufig durch Erwärmung [3]. Der anschließende Abkühlungsvorgang wird bildgebend mit einer Infrarotkamera aufgenommen, um z.B. Strukturen hinter Putz, Hohlstellen und Verdichtungsmängel im oberflächennahen Bereich von Beton und Mauerwerk zu orten und deren Geometrie zu bestimmen. Weiterhin können Ablösungen von Asphalt, Spaltplatten, CFK-Laminaten, Spritzbetonbeschichtungen von Mehrschichtsystemen über die Temperaturdifferenz zwischen gestörten und ungestörten Bereichen geortet werden (vergleiche Bild 1) [4].

Einen Sonderfall der passiven Thermografie stellt die Werkstoffprüfung in der Fertigung dar, bei dem ein durch die Fertigung bzw. Verarbeitung eines Bauteiles erzeugter Temperaturgradient für Thermografieuntersuchungen genutzt werden kann. Hier lassen sich auch Methoden der aktiven Thermografie erfolgreich einsetzen. Beispiele hierfür sind Anwendungen in der metallverarbeitenden Industrie [5].

Speziell über Thermografie-Untersuchungen beim Einbau von Asphaltsschichten zur vorbeugenden Vermeidung von Asphaltsschädigungen berichtet das „Washington State Department of Transportation“ [1]. Als unterer Schwellwert für Folgeschäden wird dort eine Temperaturstreuung von 25 F, also ca. 14 K, angegeben.

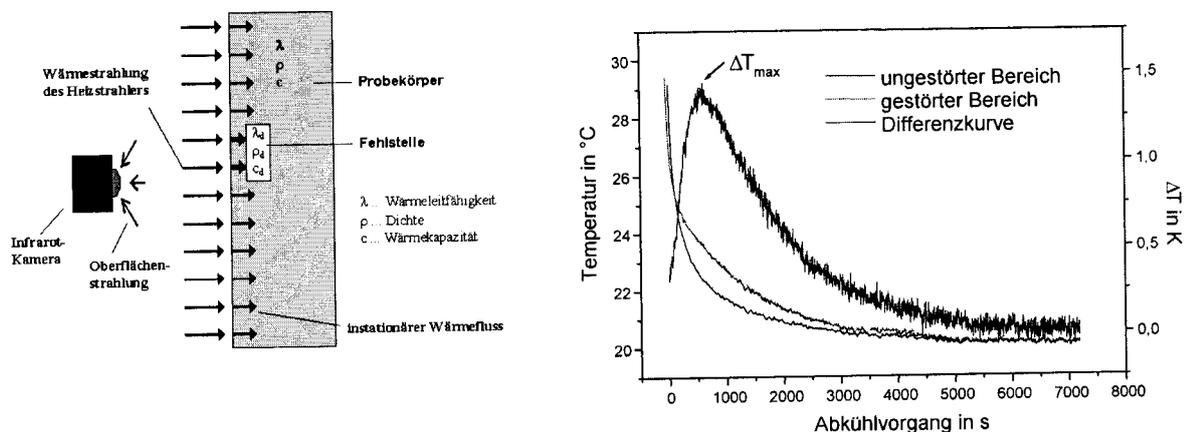


Bild 1: Prinzip der aktiven Thermografie (links) mit Fehlstellenanalyse (rechts)

## Randbedingungen

Bei thermografischen Untersuchungen ist ein optischer Sichtkontakt zwischen Bauwerksoberfläche und Untersuchungsobjekt erforderlich. Störende Einflüsse durch das Umfeld, wie Sonneneinstrahlung, Luftfeuchte, Regen und Wind, sollten möglichst minimiert und protokolliert werden.

### 3 Ergebnisse aus den Aufzeichnungen von der Versuchsstrecke auf der BAB A24

Es wurde eine Reihe von Messfeldern der BAB A24 mit einer Fläche von jeweils ca. 3,5 x 3,5 m<sup>2</sup> während der Fertigung und der Verdichtung mit der IR-Kamera erfasst. Parallel wurden die Randbedingungen der Messungen mit einer Wetterstation aufgezeichnet und protokolliert. Im Folgenden werden repräsentativ Ergebnisse von zwei Messfeldern (Felder 4 und 8) vorgestellt und diskutiert.

#### Experimenteller Aufbau

Für die Durchführung der Messungen wurde die ThermoCAM SC1000 IR-Kamera von Inframetrics (FLIR System GmbH) verwendet mit einem Focal-Plane-Array (FPA) Detektor bestehend aus 256 x 256 Detektorelementen (PtSi) mit Stirling-Mikrokühler und den folgenden technischen Daten: Spektralbereich 3,4 bis 5 µm, 16 Objektiv, verwendete Bildrate 1 Hz (bei maximalen 50 Hz / PAL) Vollbild und eine Temperaturlösung von 0,07 K bei 30 °C. Weiterhin umfasste der Messaufbau einen Messrechner und eine Wetterstation zur Aufzeichnung von Windstärke und -richtung, Luftfeuchtigkeit und Sonneinstrahlung. Für die Aufnahme wurde die IR-Kamera auf dem Dach eines Busses auf dem Standstreifen montiert (siehe Bild 2).

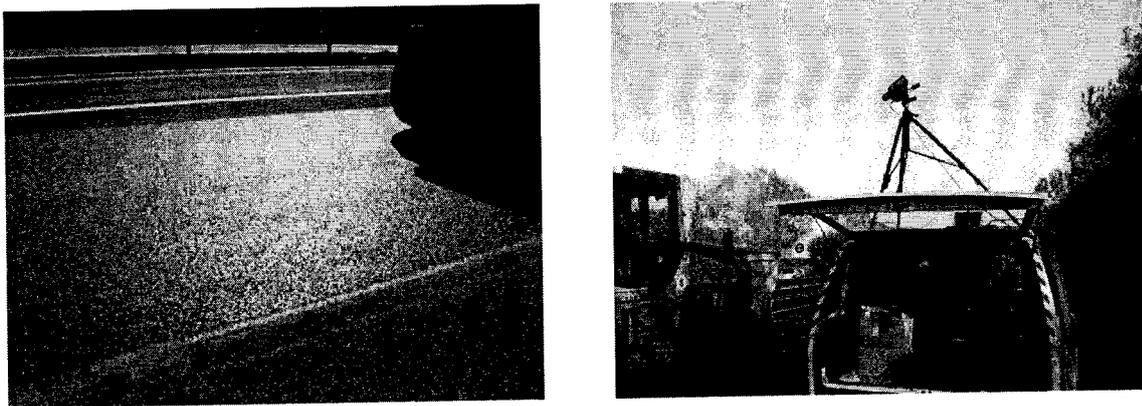


Bild 2: Foto der Fahrbahn während der Verdichtung (links) und Versuchsaufbau für die durchgeführten IR-Messungen vom Standstreifen aus (rechts)

Für die Auswertung und Darstellung der Thermogramme wurde neben der zum Messsystem zugehörigen Software ThermoCam Researcher 2000 die Softwareprodukte Origin 6.0 der Firma Microcal und PV-Wave V. 7.01 von Visual Numerics eingesetzt.

#### Temperaturverlauf infolge Abstreuerung und Walzenübergänge

In Bild 3 sind die Fertigung (links) und das zugehörige Thermogramm direkt beim Aufbringen des Asphalttes (rechts) von Feld 4 dargestellt. In dem Thermogramm ist die ungleichmäßige

Temperaturverteilung während der Fertigung gut zu erkennen. Es treten Temperaturdifferenzen bis zu 20 K und mehr auf.

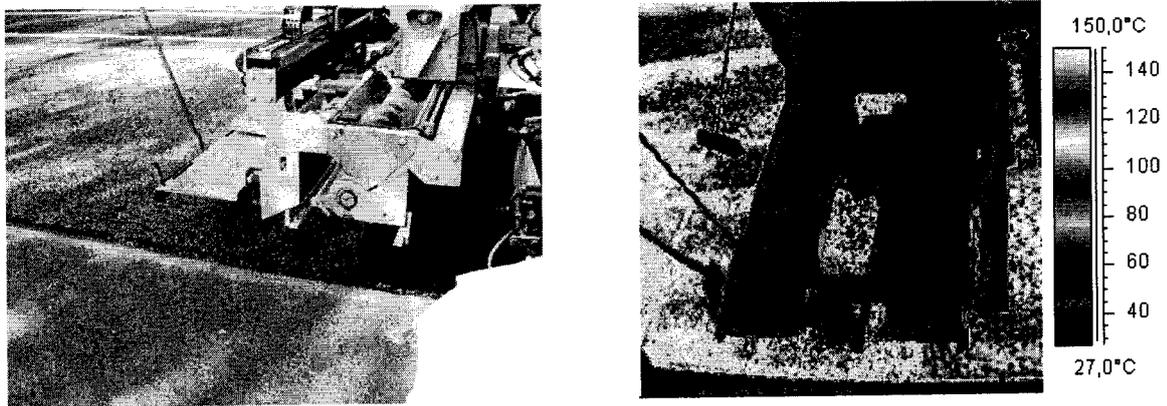
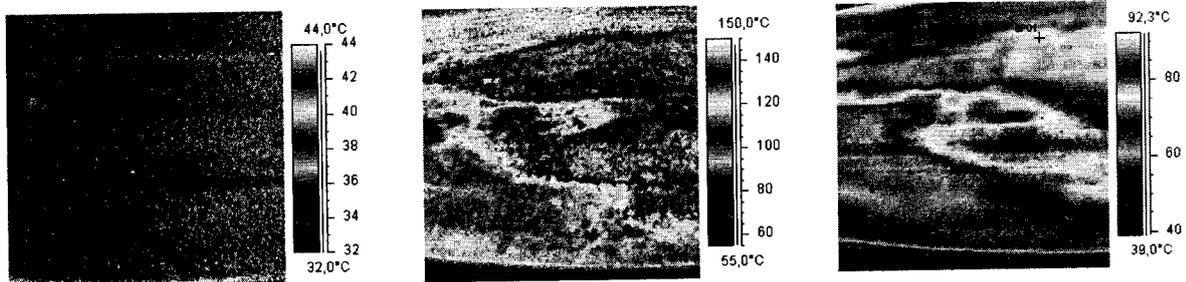


Bild 3: Foto (links) und Thermogramm (rechts) des Fertigers während der Fertigung



Vor der Fertigung

100 s nach Fertigerfahrt  
Bild 4: Temperaturentwicklung in Feld 4

1800 s nach Fertigerfahrt

Den Abkühlvorgang für Feld 4 zeigt die Bilderfolge in Bild 4.

In Bild 5 ist das Abkühlverhalten von Feld 4 an drei ausgewählten Punkten dargestellt. Die Temperatursprünge zeigen eine Störung des Sichtfeldes der IR-Kamera durch einen Walzenübergang oder einen Bauarbeiter an. Es ist deutlich zu erkennen, dass die Temperaturdifferenzen auch während des betrachteten Abkühlungszeitraums und nach mehreren Walzenübergängen erhalten bleiben.

In Bild 6 sind beispielhaft zwei Thermogramme von Feld 4 direkt vor und direkt nach einem Walzübergang abgebildet.

Es wird deutlich, dass eine ungleichmäßige Temperaturverteilung während der Fertigung nur bedingt durch die Verdichtung verändert wird. Die ungleichmäßige Verteilung der Temperatur und damit auch der ursprüngliche Materialdichte und -festigkeit bleibt erhalten. Es sind lokale Folgeschäden in diesen Bereichen wahrscheinlich, da die Temperaturstreuung teilweise deutlich über dem in [1], S.27 angegebenen Schwellwert von ca. 14 K liegt.

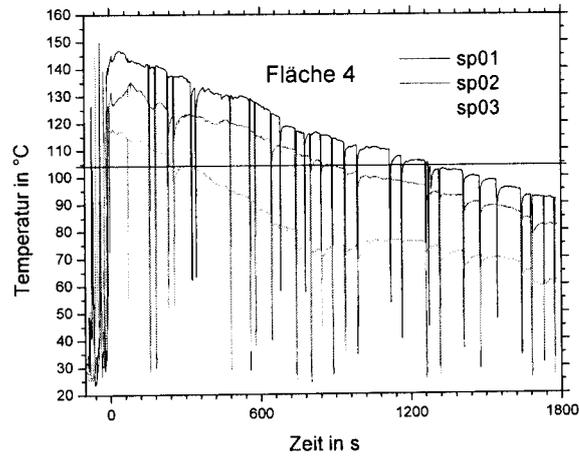


Bild 5 Abkühlungskurven in den Punkten SP01, SP02 und SP03 von Feld 4

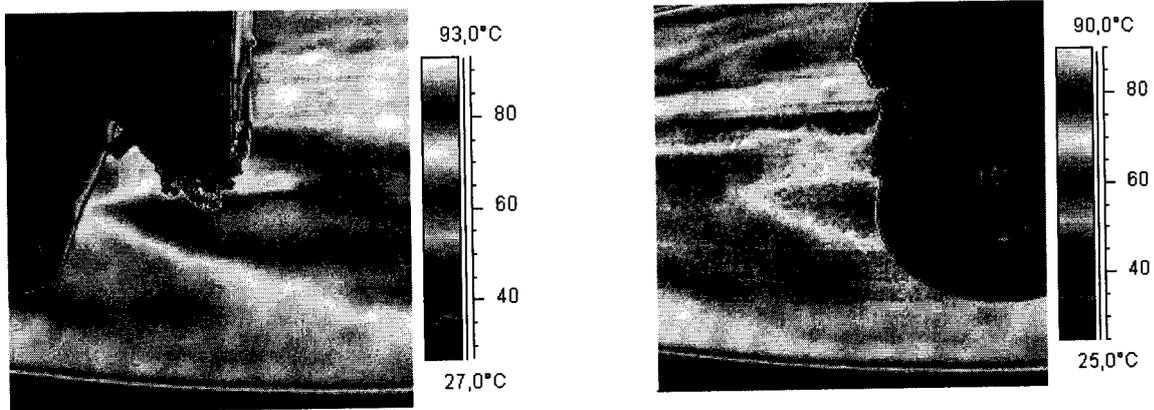


Bild 6: IR-Aufnahme von Feld 4 direkt vor (links) und direkt nach einem Walzenübergang (rechts) ca. 1800 s nach der Fertigung

Anders verhält sich Feld 8. Hier liegt bereits zu Beginn der Fertigung eine gleichmäßige Temperatur- und Dichteverteilung vor, die über den gesamten Verdichtungsvorgang erhalten bleibt (vergleiche Bild 7).

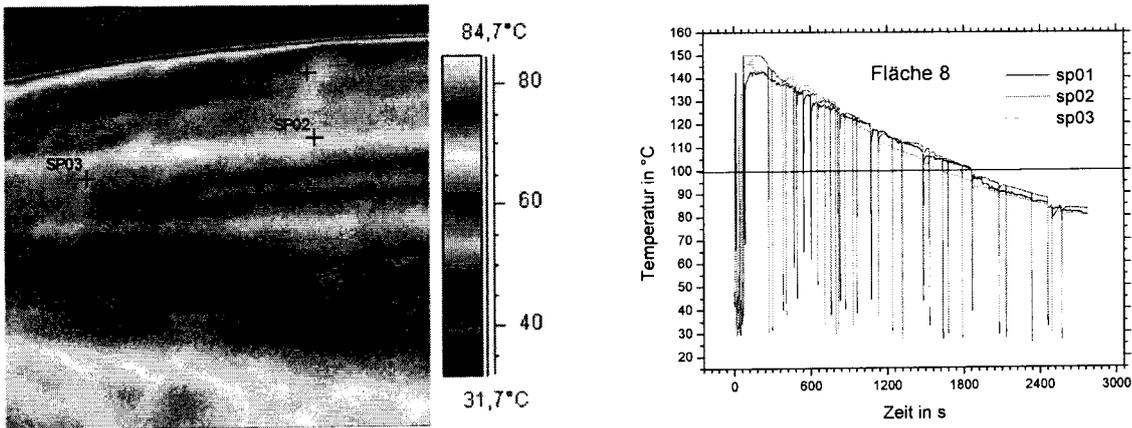


Bild 7: Thermogramm nach ca. 2400 s (links) und Abkühlungskurven (rechts) in Feld 8

### Temperaturprofile

Um eine einfache, statistische Aussage zu erhalten, ist je Messfeld ein rechteckiges Temperaturprofil von ca. 0,20 x 3,5 m<sup>2</sup> in Querrichtung ausgewertet worden. Die Auswertung liefert einen Durchschnittswert und eine Standardabweichung der Temperatur zu einem bestimmten Zeitpunkt über die ausgewählte Fläche (vergleiche Bild 8). Die Auswertung der Sequenz zum Zeitpunkt 0s beginnt immer nach Aufbringung des Asphalt. Der zeitliche Abstand zwischen zwei Auswertungen beträgt 10 min.

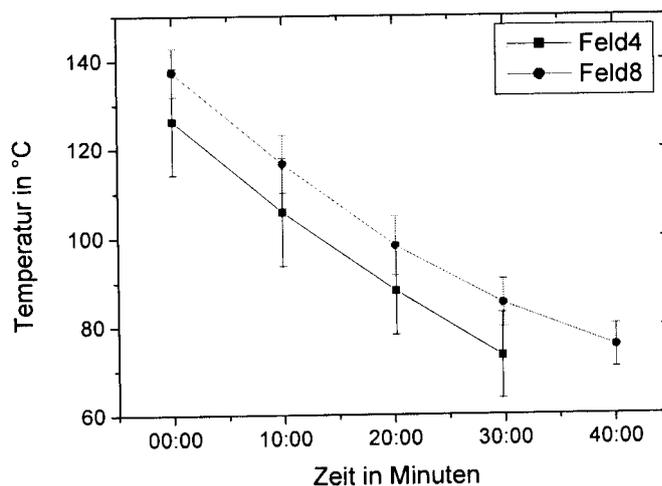


Bild 8: Abkühlungsverhalten mit Standardabweichung im Querprofil von Feld 4 und Feld 8

In den Grafiken ist der Durchschnittswert der Temperatur als Punkt und ihre Standardabweichung als Fehlerbalken angegeben. Die Standardabweichung bei Feld 4 ist fast doppelt so groß wie bei Feld 8. Auch hier wird deutlich, dass durch die Walzverdichtung die Streuung der Temperaturen nur geringfügig verändert wird und im Wesentlichen von der anfänglichen Temperaturverteilung des aufgetragenen Asphalt abhängt.

## 4 Zusammenfassung und Ausblick - Künftige Anwendungsgebiete

Die Thermografie ist ein geeignetes Werkzeug zum Monitoring des Fertigungsprozesses zur Untersuchung des Einflusses der Abstreifung und der einzelnen Walzübergänge auf den Temperaturverlauf und damit den Verdichtungsprozess beim Asphalteinbau.

Die Untersuchungsergebnisse belegen den aus US-amerikanischen Untersuchungen bekannten [1] maßgebenden Einfluss des Fertigers und einer guten Durchmischung auf eine gleichmäßige Verdichtung von Asphaltdeckschichten und dass die anschließende Walzverdichtung nur noch einen geringen Einfluss darauf hat.

Um die durch eine ungleichmäßige Fertigung entstehenden Folgeschäden für das deutsche Straßennetz zu minimieren, erscheint der Einsatz der Thermografie für eine Qualitätssicherung des Fertigungsprozesses die geeignete Methode zu sein.

Auch im Rahmen der Energieeinsparung bei immer weiter steigenden Energiekosten scheint ein Einsatz der IR bei der Optimierung der Fertigung vielversprechend, trotz des hohen Anschaffungspreises von IR-Kameras im Vergleich zu Handthermometern (IR-Kameras mit dem erforderlichen Anforderungsprofil sind momentan im Handel ab ca. 12.000 € erhältlich, im Vergleich zu Handthermometern, die ca. 100 € kosten).

Für genauere Aussagen sind weiterführende Untersuchungen erforderlich.

### DANKSAGUNG

Wir danken dem Landesbetrieb Straßenwesen Brandenburg für die Unterstützung und die Bereitstellung des Prüfobjektes. Gerda Baumgarten und Maria Böck vom Fachgebiet Straßenwesen der Technischen Universität Berlin danken wir für ihre tatkräftige Unterstützung.

### LITERATUR

- [1] Muench, S. and K. Willoughby: Preventing Pavement Failure Caused by Hot-Mix Asphalt Temperature Differentials – Washington State's Systematic Approach. TR News 246 (2006) 9/10, pp. 26-28. Ein vollständiger Bericht ist unter <http://depts.washington.edu/trac/bulkdisk/pdf/476.1.pdf> und eine Kurzfassung unter <http://www.wsdot.wa.gov/biz/mats/Pavement/Technotes/CyclicDensitySpec2004.pdf> frei erhältlich.
- [2] Fouad, N. und T. Richter: Leitfaden Thermografie im Bauwesen - Theorie, Anwendungsgebiete, praktische Umsetzung. Fraunhofer IRB Verlag (2006).
- [3] Maierhofer, Ch., Brink, A., Hillemeier, B., Rieck, C., Röllig, M. und H. Wiggerhauser: Struktur- und Feuchteuntersuchung in Betonstrukturen mit der Impuls-Thermografie. Bauphysik 25 (2003) 1, S. 22-26.
- [4] Arndt, R., Hillemeier, B., Maierhofer, Ch., Rieck, C., Röllig, M. und A. Walther: Zerstörungsfreie Ortung von Fehlstellen und Inhomogenitäten in Bauteilen mit der Impuls-Thermografie. Bautechnik 81 (2004) 10, S. 786-793, Ernst & Sohn.
- [5] Maldague, X. (Technical ed.), Moore, P. O. (ed.): Nondestructive Testing Handbook, Third Edition: Volume 3, Infrared and Thermal Testing (2001) 732 p., American Society for Non Destructive Testing (ASNT) Press.