

Adaption der Puls-Phasen-Thermografie für die quantitative zerstörungsfreie Prüfung im Bauwesen

Ralf ARNDT, Christiane MAIERHOFER, Mathias RÖLLIG, BAM Berlin

Kurzfassung: Seit einigen Jahren wird die Puls-Phasen-Thermografie (PPT) als Werkzeug der zerstörungsfreien Werkstoffprüfung in der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung zur Bauwerksdiagnose oberflächennaher Strukturen eingesetzt und für die besonderen Anforderungen im Bauwesen weiterentwickelt.

Es wurden zahlreiche Machbarkeitsstudien im Labor und vor Ort zur Ortung von Hohlstellen und Kiesnestern in Beton bis zu einer Betondeckung von 10 cm, von Hohlstellen und Ablösungen von Beschichtungen (z. B. CFK-Lamine auf Beton, Putz auf Beton oder Mauerwerk), von Fehlstellen und Ablösungen hinter Spaltklinkern (Auskleidung von Tunnelinnenwänden) und von unverfüllten Fugen in Mauerwerk in oberflächennahen Bereichen durchgeführt. Dabei konnten die aus der Literatur bekannten Vorteile der Phasenauswertung gegenüber der Temperatursauswertung im Zeitbereich und der Amplitudenauswertung im Frequenzbereich bestätigt werden. Dies sind die Reduzierung des Einflusses von Oberflächeninhomogenitäten und ungleichmäßiger Erwärmung sowie die Erhöhung der Nachweisempfindlichkeit besonders bei tief liegenden Fehlstellen. Auch die Möglichkeit einer quantitativen Tiefenbestimmung von Inhomogenitäten und Schichtdicken konnte bestätigt werden. Allerdings war die Adaption der in der Werkstoffprüfung verwendeten quantitativen Ansätze über die thermische Eindringtiefe μ und die Blindfrequenz f_b bzw. die scheinbare Blindfrequenz f_b' gerade für tief liegende Fehlstellen in vielen Fällen nur bedingt erfolgreich. Häufig lassen sich weder f_b noch f_b' eindeutig bestimmen.

Aus diesem Grund wurde in der BAM ein neuer quantitativer Ansatz auf Grundlage der charakteristischen Frequenz des minimalen Phasenkontrastes f_{ch} entwickelt, der sich speziell für die langen Erwärmungs- und Aufnahmezeiten im Bauwesen eignet. Im Rahmen dieses Beitrages wird das neue quantitative Konzept eingeführt und seine Wirksamkeit anhand von systematischen Untersuchungen an Probekörpern aus Beton mit und ohne Beschichtung für Tiefen zwischen 1 und 10 cm demonstriert.

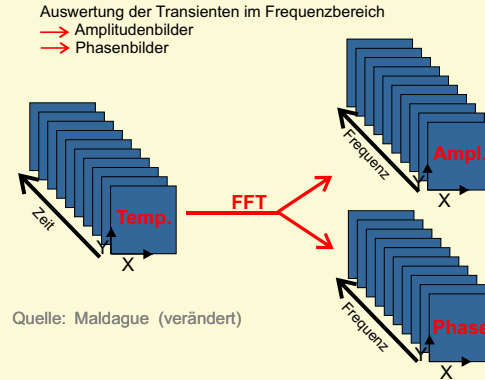
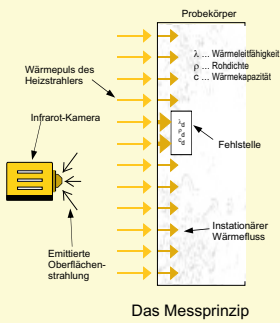
Einführung

Von der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung wird die Puls-Phase-Thermografie für die besonderen Anforderungen im Bauwesen weiterentwickelt und zur Bauwerksdiagnose oberflächennaher Strukturen eingesetzt. Hier erfolgt die Erwärmung mit einem rechteckförmigen Wärmeimpuls einer Dauer von 1 bis 30 min zur Untersuchung von Bauteilstrukturen einer Dicke von 1 bis 10 cm bei einer Aufnahmezeit zwischen 5 und 120 min.

Vorteile

- ▶ Tiefere Proben unter der Oberfläche
- ▶ Geringerer Einfluss von Oberflächeneffekten (z. B. unterschiedliche Emissivitäten oder inhomogene Erwärmung)
- ▶ Quantitative Bestimmung der Tiefe von Fehlstellen

PPT im Bauwesen

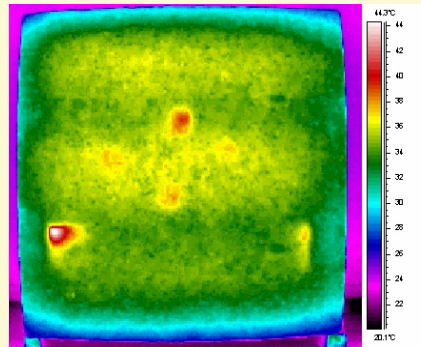
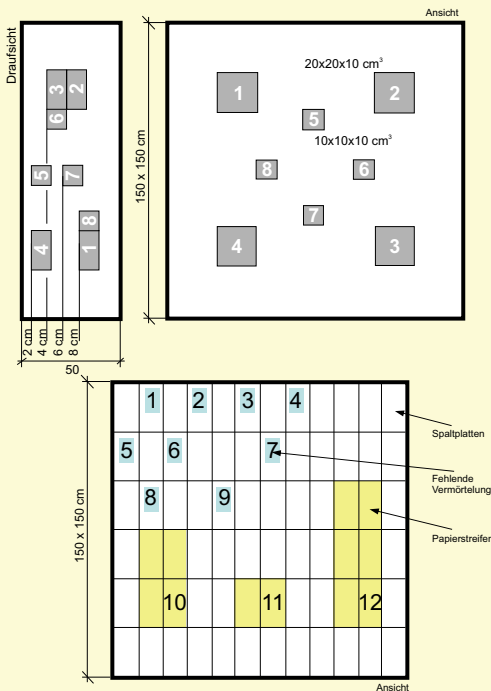


Quantitativer Ansatz zur Tiefenauswertung bei Rechteckimpuls-Erwärmung:

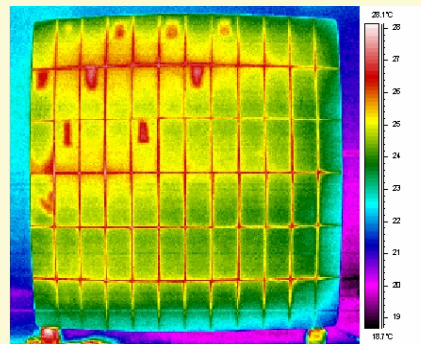
$$z = f \left(\sqrt{\frac{\alpha}{f_{ch}}} \right) = k_c \cdot \sqrt{\frac{\alpha}{f_{ch}}}$$

z Tiefe eines Defektes in m
 f_{ch} Charakteristische Frequenz des maximalen Phasenkontrastes (Fehlstelle F- Referenz R) in Hz
 α Temperaturleitfähigkeit in m^2/s
 k_c Korrekturfaktor

Untersuchte Probekörper



Betonprobekörper A mit beim Betonieren aufgeschwommenen künstlichen Polystyrolfehlstellen F1 bis F8 und dazugehörigem erstem Thermogramm nach 15 Minuten Erwärmung. Die Lage der Fehlstellen wurde mit Radar bestimmt. F3 und F4 liegen an der Oberfläche und wurden deswegen nicht untersucht.

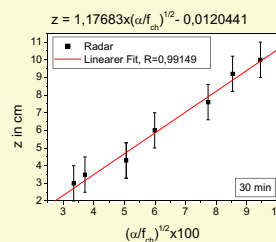


Probekörper B mit den Maßen 1,00 x 1,00 x 0,30 m³ ist hier nicht dargestellt. Untersucht wurden die Polystyrolfehlstellen F1 und F2 mit einer Betondeckung von 10 und 6 cm.

Probekörper C mit künstlichen Fehlstellen unter der Spaltklinkerbeschichtung (1,0-1,5 cm) und der Vermörtelung (3,0-3,5 cm), daneben das Thermogramm nach 6 min Erwärmung.

Ergebnisse

Korrelationsgerade nach der oben angegebenen Gleichung für Messungen an Probekörper A und B mit für $\alpha=8,75 \times 10^{-7} m^2/s$ nach 30 min Erwärmung mit einem IR-Strahler und für 120 min Aufnahme.



Fehlstelle	$\sqrt{\frac{\alpha}{f_{ch}}} \times 100$ in cm	Bauteildicke in cm
C / F8	1,28	1,25 ± 0,25
C / F9	1,28	1,25 ± 0,25
C / F10	3,52	3,25 ± 0,25
C / F11	3,52	3,25 ± 0,25
C / F12	3,52	3,25 ± 0,25

Ergebnisse für ausgewählte Fehlstellen von Probekörper C mit 6 min Erwärmung und 30 min Beobachtung für $\alpha \approx 6,0 \times 10^{-7} m^2/s$ und $k_c=1$.

Zusammenfassung

Neben den oben genannten Vorteilen der Puls-Phasen-Thermografie liefert die Quantifizierung der Einbautiefe über die Quadratwurzel aus dem Quotienten von Temperaturleitfähigkeit und der charakteristischen Frequenz gute Ergebnisse für ein- und mehrlagige Bauteile mit Bauteildicken zwischen 1 und 10 cm.