

Entwicklung eines Echtzeit - Detektionssystems zur Identifizierung von Lack- und Farbschichten auf Betonoberflächen

Andreas PESTEL¹, Sven ECKART¹, Hartmut KRAUSE¹

¹ Institut für Wärmetechnik und Thermodynamik, TU Bergakademie Freiberg, Freiberg

Kontakt E-Mail: andreas.pestel@iwtt.tu-freiberg.de

Kurzfassung

In dieser Arbeit wird ein in der Entwicklung befindliches Messsystem vorgestellt, mit welchem eine bildgebende Echtzeitüberwachung des lasergestützten Abtrages von organischen Beschichtungen von Betonoberflächen ermöglicht wird. Das Verfahren wird im Rahmen eines FORKA - Projektes des BMBF entwickelt, bei welchem eine laserbasierte Dekontaminationstechnologie für den Einsatz im nuklearen Rückbau qualifiziert wird. Dabei erfolgt die optische Kontrolle des Dekontaminationsprozesses mittels aktiver Thermografie. Das gewählte Verfahren basiert auf der Bestimmung des zeitlichen Verlaufes von Eigenstrahlung und Reflexionen im infraroten (IR) Strahlungsspektrum. Zur Entwicklung des Verfahrens wurden unterschiedliche Beschichtungsmaterialien auf Epoxidharz-Basis und das Basissubstrat vermessen. Die Messdaten wurden numerisch ausgewertet und mehrere Verfahrensvarianten evaluiert. Die einzelnen Bereiche der dekontaminierten Oberfläche konnten durch die Erstellung des daraus resultierenden Temperaturprofils eindeutig charakterisiert werden.

Durch die systematische Klassifizierung der Stoff- und Prozessparameter wird im Rahmen dieses Projektes eine Heuristik erstellt, welche die optimale Auswertung der Messdaten in Echtzeit ermöglicht. Abschließend soll eine miniaturisierte Sensortechnik in einen Arbeitskopf integriert werden, um die In-Situ-Überwachung der Oberflächenbeschaffenheit nach abgeschlossener Laserbearbeitung zu ermöglichen. Die visuell aufbereiteten Sensordaten werden in Echtzeit für das Bedienpersonal ausgewertet, um den vollständigen Abtrag der Beschichtung zu gewährleisten.

Hintergrund

- Auf den Oberflächen von kerntechnischen Anlagen werden grundsätzlich Schutzanstriche aufgebracht, um das Eindringen von radioaktiver Strahlung oder Staub zu verhindern.
 - Bis in die 1980er enthielten diese Anstriche i.d.R. Polychlorierte Biphenyle (PCB) als Weichmacher
 - Seit 1989 bzw. 1996 ist die Produktion und der Einsatz von PCBs in Deutschland bzw. der Europäischen Union verboten
 - Somit ist eine gesonderte Behandlung der Farbanstriche beim Rückbau notwendig
- Seit 2002 Entwicklung einer laserbasierten Dekontaminationstechnologie
 - Farbanstriche werden durch Laserstrahlung direkt auf Substratoberfläche verbrannt
 - Einhausung des Prozesses in einen Arbeitskopf, in welchem die Abgase direkt abgesaugt werden
 - Der Laserarbeitskopf wird über ein Glasfaserkabel mit dem außerhalb des Kontrollbereiches stehenden Generator verbunden, so dass nur wenig Ausrüstung in den Kontrollbereich eingebracht werden muss
- Um diese Technologie für den praktischen Einsatz im nuklearen Rückbau zu qualifizieren, wird im FORKA-Projekt LaDECO unter anderem ein Detektionssystem zur Bestimmung der Reinigungsgüte des lasergestützten Abtrages von Schutzanstrichen auf Betonuntergründen entwickelt.

Motivation

- Die Schutzanstriche in kerntechnischen Anlagen unterliegen theoretisch einem fest definierten Schichtaufbau und sollen 80 µm dick sein
 - In Praxis können die Schichtdicken aufgrund von Reparaturarbeiten oder Abnutzung deutlichen Schwankungen unterliegen (bis 2 mm dicke Schichten vorgefunden)
- Anforderungen an Parameter der Laser-Dekontamination
 - Kompletter Abtrag der Schutzanstriche ist sicher zu stellen
 - Keine Verglasung der Betonoberfläche durch zu hohen Energieeintrag, da sonst in den Beton eingedrungene PCBs nicht mehr ausgasen können
- Somit ist eine konservative Einstellung der Laser-Parameter notwendig
 - Anschließende Bewertung der Reinigungsgüte
 - Bei Bedarf mehrfache Laser-Dekontamination der detektierten Bereiche
- Anforderungen an ein Detektionssystem zur Bewertung der Reinigungsgüte
 - Berührungslos und echtzeitfähig
 - Bildgebende Kontrastdarstellung von Anstrichresten zu Beton für Bediener
 - Konzept sollte für Automatisierung geeignet sein

Winkelverhältnis zwischen IR-Strahlungsquelle, Probe und IR-Kamera

- Es wurden drei Winkelvariationen mit einer Bestrahlungsdauer von 2 s bei 2,5 kW Leistung betrachtet
 - Probe senkrecht zur Kamera ausgerichtet (siehe Abb. 3)
 - Die linke Seite der Probe erscheint wärmer aufgrund des kürzeren Strahlenganges
 - Beton erscheint wärmer aufgrund besserer Reflexion
 - ✓ Starker Kontrast zwischen Beton und Schutzanstrich
 - Probe senkrecht zur IR-Strahlungsquelle ausgerichtet (siehe Abb. 5)
 - Verzerrung des Kamerabildes, da die Kamera um ca. 30° zur Normalen der Probe versetzt ist
 - Die rechte Seite der Probe erscheint wärmer aufgrund des kürzeren Strahlenganges
 - Beton erscheint wärmer aufgrund besserer Reflexion
 - ✓ Starker Kontrast zwischen Beton, Schutzanstrich und Thermoband
 - Probe zur Normalen von Kamera und IR-Strahlungsquelle jeweils 15° versetzt (siehe Abb. 6)
 - Geringe Verzerrung des Kamerabildes, da die Kamera um ca. 15° zur Normalen der Probe versetzt ist
 - Die linke Seite der Probe erscheint weiterhin wärmer aufgrund des kürzeren Strahlenganges
 - Schutzanstrich erscheint wärmer als Thermoband und Teile des Betons
 - Betonflächen erscheinen unterschiedlich warm
 - ✗ Keine Eindeutige Zuordnung von Beton und Schutzanstrich
- Fazit
 - Sehr starker Einfluss des Winkelverhältnisses auf Kontrastgebung
 - Varianten 1) und 2) sind für das Detektionssystem geeignet**

Methodik

- Ausnutzung der unterschiedlichen Stoffeigenschaften von Schutzanstrichen und Betonsubstrat sowie des Wärmeeintrages durch eine IR-Strahlungsquelle bzw. des Dekontaminationslasers, z.B.
 - Reflexions- und Emissionsgrad
 - Wärmekapazität, Wärmeleitfähigkeit und Wärmeübergang
- Wärmefluss-Thermografie (siehe Abb. 1)
 - Pulsförmige Anregung mittels IR-Strahler oder Halogenlampe
 - Nutzung der verschiedenen Reflexions- und Erwärmungseigenschaften der Schichten
 - Nutzung der Restwärme durch Laser-Dekontamination angestrebt

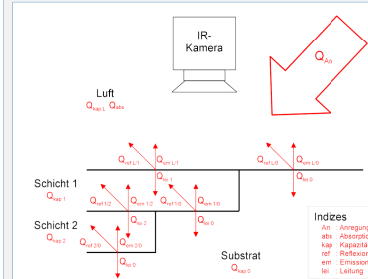


Abb. 1: Schema der Wärmefluss-Thermografie für Substrat mit zwei aufgetragenen Schichten

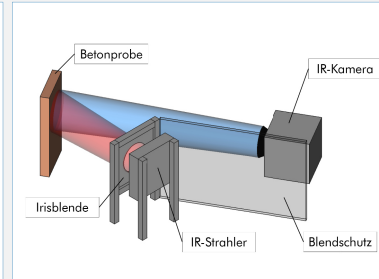


Abb. 2: Versuchsaufbau für die Detektion von Farbschichten auf Betonsubstraten

- Aufbau eines Versuchsstandes (siehe Abb. 2)
 - Erwärmung der Probenoberfläche durch einen IR-Strahler mit 2,5 kW Leistung
 - Durch eine Irisblende wird die Einstrahldauer bei voller Leistung geregelt
 - Ein Blendschutz verhindert diffuse Strahlung vom IR-Strahler zur IR-Kamera
 - Mit einer IR-Kamera vom Typ VarioTHERM head II (JENOPTIK) mit 256 x 256 Pixeln wird das Temperaturprofil der Probe aufgezeichnet
- Auswertung der Thermografie-Aufnahmen
 - Erstellung eines Temperaturprofils für jedes Pixel der Infrarot-Aufnahme
 - Berechnung des Integrals von Temperatur-Zeit-Kurve (Aufteilung in Reflexions- und Eigenstrahlungsphase möglich)
 - Darstellung des Temperaturprofils in 3D-Surface-Plot für eine teilweise mittels Laser-Dekontamination bearbeitete Beton-Probe (siehe Abb. 3 und 4)
- Vorteile der Methodik
 - Unterscheidung der Oberflächen auch ohne Kenntnis von Stoffwerten und Schichtdicken möglich
 - Kein Einfluss der Oberflächentemperatur vor Beginn der Messung aufgrund der Betrachtung von Temperaturdifferenzen
 - Robust und echtzeitfähig
 - Kein Einfluss von Rußspuren auf der Oberfläche
 - Automatisierung möglich (Integration in Robotertechnik, Heuristik für Entscheidung über Reinigungsgüte etc.)

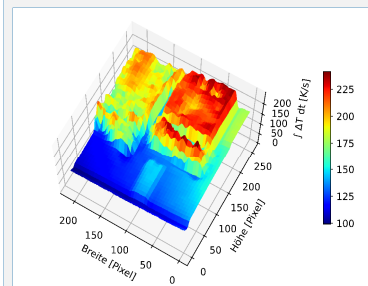


Abb. 3: Temperaturprofil bei senkrecht zur Kamera ausgerichteter Probe (2 s Anregung mit 2,5 kW)



Abb. 4: Ausschnitt einer mittels Laser-Dekontamination teilweise bearbeitete Beton-Probe

Ergebnisse und Ausblick

- Die mit dieser Methodik erstellten Temperaturprofile zeigen bereits in den Vorversuchen gute Kontrastverhältnisse zwischen Beton und Schutzanstrich
- Die Grenzbereiche bedürfen noch einer detaillierteren Untersuchung
 - Randbereiche der Dekontamination (Schutzanstrich – Beton)
 - Abgeplatzter bzw. verglaster Beton
 - Sehr dünne Reste des Schutzanstriches
- Zukünftige Punkte für die Weiterentwicklung der Methodik
 - Optimierung des Winkelverhältnisses zwischen Strahlungsquelle, Probe und IR-Kamera
 - Test verschiedener Strahlungsquellen und die Möglichkeit der Restwärmenutzung des Laserprozesses
 - Systematische Vermessung der möglichen Probenkombinationen (Farbtönen, Schichtdicken, Schichtsysteme etc.)
 - Weiterentwicklung der Auswertungssoftware (Probendrehung und Strahlengang herausrechnen, Berechnung der Schichtdicken etc.)
 - Erstellung einer Entscheidungsmatrix für die automatisierte Bewertung der Oberflächengüte

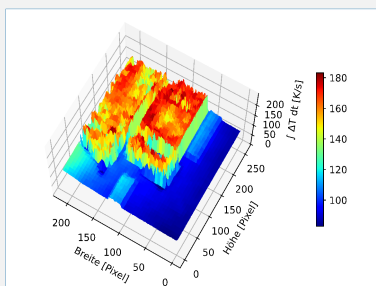


Abb. 5: Temperaturprofil bei senkrecht zur IR-Strahlungsquelle ausgerichteter Probe

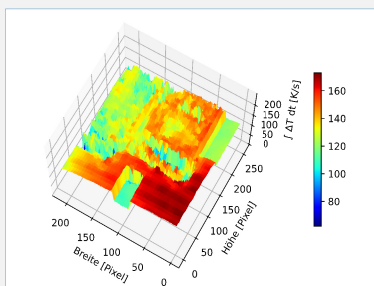


Abb. 6: Temperaturprofil bei jeweils 15° Versatz von Kamera/Strahlungsquelle zur Normalen der Probe