

Zukunft Bau

KURZBERICHT

ERBE

Erfassung und Bewertung von sicherheitsrelevanten Ablösungsprozessen bei Putzen und Fassadenelementen mit zerstörungsfreien Mess- und Prüfverfahren

Anlass/ Ausgangslage

Anlass und Ziel des Projektes war die Entwicklung von Verfahren und Strategien zur zerstörungsfreien Ortung von u. U. auch sicherheitsrelevanten Schäden und Ablösungen in Fassadensystemen im Bereich der Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege. Dazu wurden Messverfahren basierend auf optischen und thermografischen Verfahren weiterentwickelt, bewertet, im Einsatz an vier verschiedenen Fallstudien erprobt und die 2D- und 3D-Datensätze fusioniert.

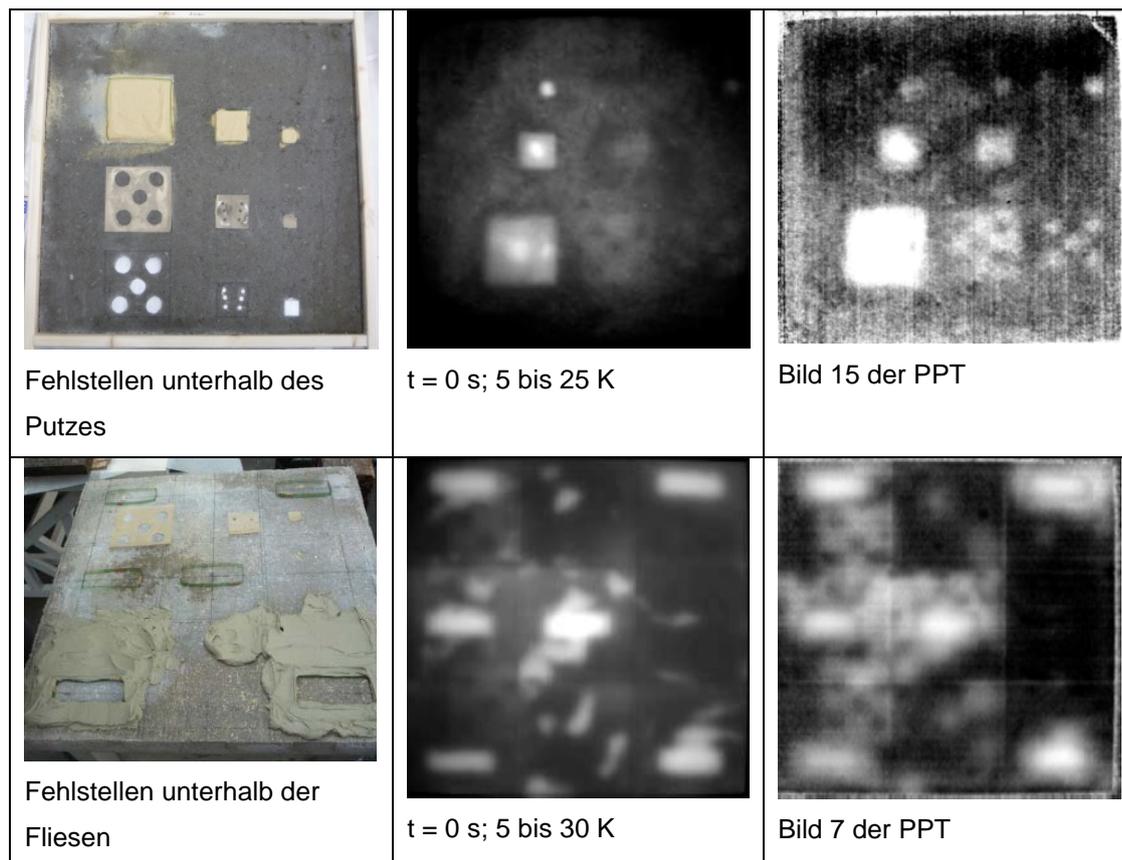


Bild 1: Darstellung der Messergebnisse der aktiven Thermografie mit Erwärmung durch einen IR-Strahler an zwei ausgewählten Probekörpern mit Putz (oben) und mit Fliesen (unten). In der Mitte sind die Thermogramme direkt nach der Erwärmung, in der rechten Spalte die aus den Sequenzen mittels Puls-Phasen-Thermografie (PPT) berechneten Phasenbilder dargestellt. In den Phasenbildern sind die meisten Fehlstellen erkennbar.

Gegenstand des Forschungsvorhabens

Die Erfassung und Bewertung von Schäden und Ablösungen an Putzen und Fassadenelementen wurde durch die Kombination der aktiven Thermografie mit Verfahren der antastenden und berührungslosen Geometrieerfassung erreicht.



Bild 2: Links: Gestell mit flexiblen Befestigungsmöglichkeiten für die Trackingkameras und mit einstellbarer Neigung. Rechts: Überlagerung eines Thermogramms (grau, Bildmitte) mit einem Foto und einem kartierten Riss (grün) am Beispiel eines Fassadenbereiches mit Referenzmarkern am Wandbild in Cobbelsdorf.

Zunächst erfolgten systematische Untersuchungen mit der aktiven Thermografie an Probekörpern, die verschiedene Fassadensysteme (Putz, Fliesen, Riemchenklinker) mit unterschiedlichen Defekten repräsentieren. Die Probekörper wurden in Zusammenarbeit mit dem Landesamt für Denkmalpflege und Archäologie Sachsen-Anhalt hergestellt. Vergleichende Messungen erfolgen mit künstlicher Erwärmung durch einen Infrarot (IR) -Strahler und mit natürlicher Erwärmung durch die Sonne, wobei der Energieeintrag durch die Sonneneinstrahlung um den Faktor vier geringer war als bei der künstlichen Erwärmung. Trotzdem konnten mit beiden Erwärmungsarten bis zu $2 \times 2 \text{ cm}^2$ große Fehlstellen geortet werden. Untersuchungen mit aktiver Thermografie bei Sonnenerwärmung an den Fassaden der Fallstudien haben gezeigt, dass sich die Sonnenerwärmung mit wechselnden Unterbrechungen durch Wolken besonders gut für die Hohlstellen- und Rissortung eignet. Dabei müssen Oberflächenreflexionen möglichst vermieden und unterschiedliche Oberflächenemissivitäten im sichtbaren und infraroten Spektralbereich berücksichtigt werden. Bei der Auswertung der Messdaten haben sich dabei die Berechnung von Differenzthermogrammen, die zu unterschiedlichen Zeiten erfasst wurden, und die Puls-Phasen-Thermografie als besonders geeignet herausgestellt.

Für das Risstrackingverfahren (3D-Erfassung von Risstopologien und weiteren Oberflächenmerkmalen) wurde für flexiblere Einsatzmöglichkeiten ein aus Aluminium-Profilen bestehendes Gestell entworfen, welches freistehend ist und flexible Befestigungsmöglichkeiten für die Trackingkameras vorsieht. Die Kameras können an dem Gestell mit einem maximalen Abstand von 1,5 m zueinander befestigt werden. Somit kann ein größerer Erfassungsbereich für das Tracking erreicht

werden. Zusätzlich wurden die Software zur Datenerfassung und -visualisierung bzgl. Bedienbarkeit und Zuverlässigkeit verbessert sowie Genauigkeitsuntersuchungen durchgeführt. Es wurde ein Konzept zur Verbesserung des antastenden Messwerkzeugs erarbeitet.

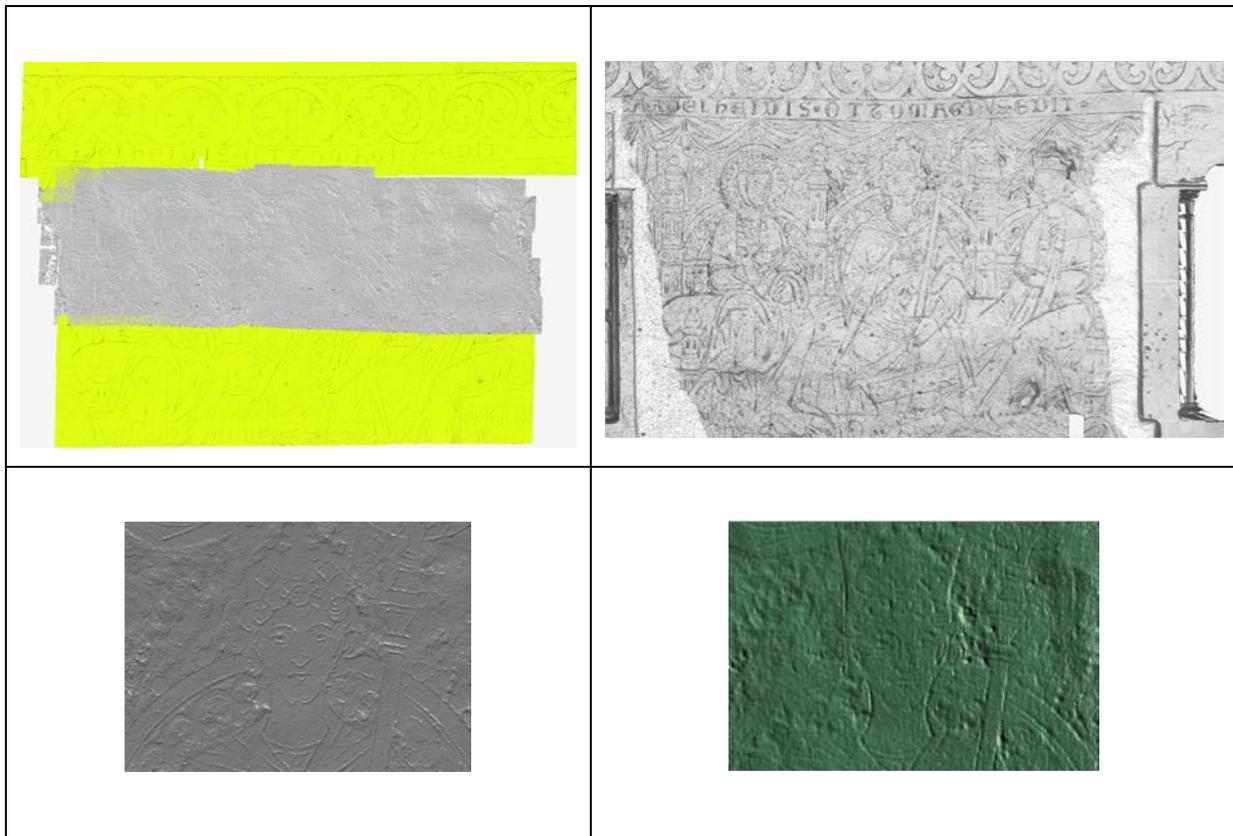


Bild 3: Vergleich der Ergebnisse der 3D-Erfassung der Putzritzungen im Magdeburger Dom mit dem Stereosensor (links) und einem kommerziellen Laserscanner (rechts). Oben ist das vollständige Zentralbild dargestellt, unten sind Teilausschnitte zu sehen. Diese Teilausschnitte zeigen eine deutlich bessere Auflösung in den Daten des Stereosensors.

Für das Stereophotogrammetriesystem wurde eine Sensorhalterung mit einem festen Schlitten entwickelt, so dass die erforderlichen Einzelaufnahmen jetzt mit einem konstanten Überlappungsbereich und schneller als vorher erfasst werden können. Damit wurden die schon vorhandenen Messungen am Zentralbild der Putzritzungen erweitert. Zusätzlich zu den Messungen mit dem Stereosystem wurden die gesamten Putzritzungen mit einem Laserscanner erfasst. Diese Messdaten ermöglichten eine Korrektur der Ausrichtung der Einzelmessbereiche des Stereosensors zueinander in z-Richtung (Tiefe). Die Referenzdaten des Laserscanner haben eine geringere Ortsauflösung und tragen zur Verbesserung des Registrierungsverfahrens des Stereosensors bei.

Wesentlicher Schwerpunkt im Projekt war die Zusammenführung der erfassten Messdaten aus unterschiedlichen Domänen, um auf dieser Basis oberflächennahe Schadensmerkmale besser beurteilen zu können. Es wurden dazu verschiedene Verfahren entwickelt sowie vorhandene Tools eingesetzt, die eine Fusion dieser Daten ermöglichen. So konnten 3D-Punktwolken mit 2D-Thermogrammen, 3D-Rissdaten mit 2D-Bildern und mehrere 2D-Bilder miteinander fusioniert werden.

An vier Fallstudien wurden diese Verfahren in unterschiedlichen Kombinationen eingesetzt:

- Putzritzungen am Magdeburger Dom: Ortung von Hohlstellen und Rissen und Visualisierung der Putzritzungen (aktive Thermografie, Stereophotogrammetrie, Laserscanner, Fotos)
- Wandbild in Cobbeisdorf: Untersuchung der Putzanbindung an die Metallträger und Ortung und Verlauf der Risse (aktive Thermografie, Risstracking, Fotos)
- Fliesenbilder in Halle-Neustadt: Ortung von Fehlstellen und Ablösungen der Fliesen (aktive Thermografie, frühere manuelle Schadenkartierung, Fotos)
- EffizienzhausPlus in Berlin: Ablösungen der an der senkrechten Fassade angebrachten Dünnschichtsolarmodule konnten nicht nachgewiesen werden (aktive Thermografie)

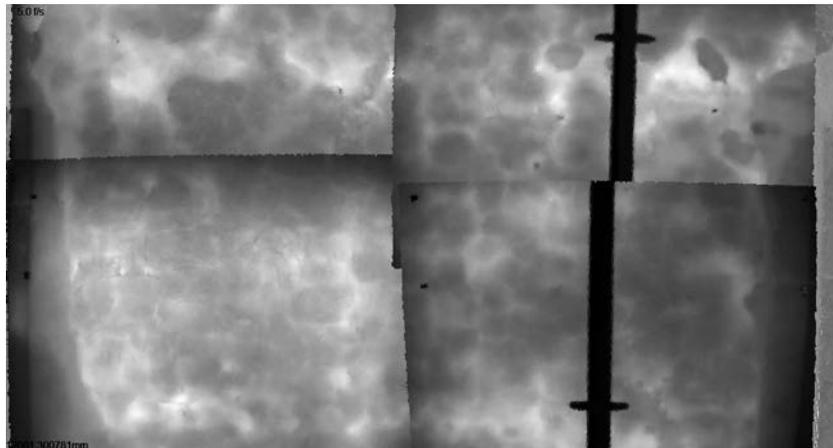


Bild 4: Fusion von vier Einzelthermogrammen des Zentralbilds der Putzritzungen am Magdeburger Dom mit einem 3D-Datensatz. Die Thermogramme wurden jeweils direkt nach einer Erwärmung von 5 min mit einem IR-Strahler aufgenommen. Die überlappenden Bereiche wurden nicht korrigiert. Wärmere (helle) Bereiche deuten auf Hohlstellen hin.

Für den Einsatz der Messverfahren sowie für die Bedienung des Fusionstools wurden insgesamt fünf Merkblätter als Anhang zum Forschungsbericht erstellt.

Fazit

Ziel des Projektes war die Entwicklung von Verfahren und Strategien zur zerstörungsfreien Ortung von Schäden und Ablösungen in Fassadensystemen.

Dazu wurden die aktive Thermografie (u. a. Ausnutzung der Sonnenerwärmung), das Risstrackingverfahren (Anpassung des Messsystems an verschiedene Situationen vor Ort, Verbesserungen der Genauigkeit und Bedienbarkeit) und die Stereophotogrammetrie (u. a. Schienensystem für eine schnellere Datenerfassung) erfolgreich weiterentwickelt. Tools zur Fusion der verschiedenen 2D- und 3D-Messdaten ermöglichten objektive Vergleiche und Interpretationen der Messergebnisse (Risse, Ablösungen, Hohlstellen) an den vier Fallstudien.

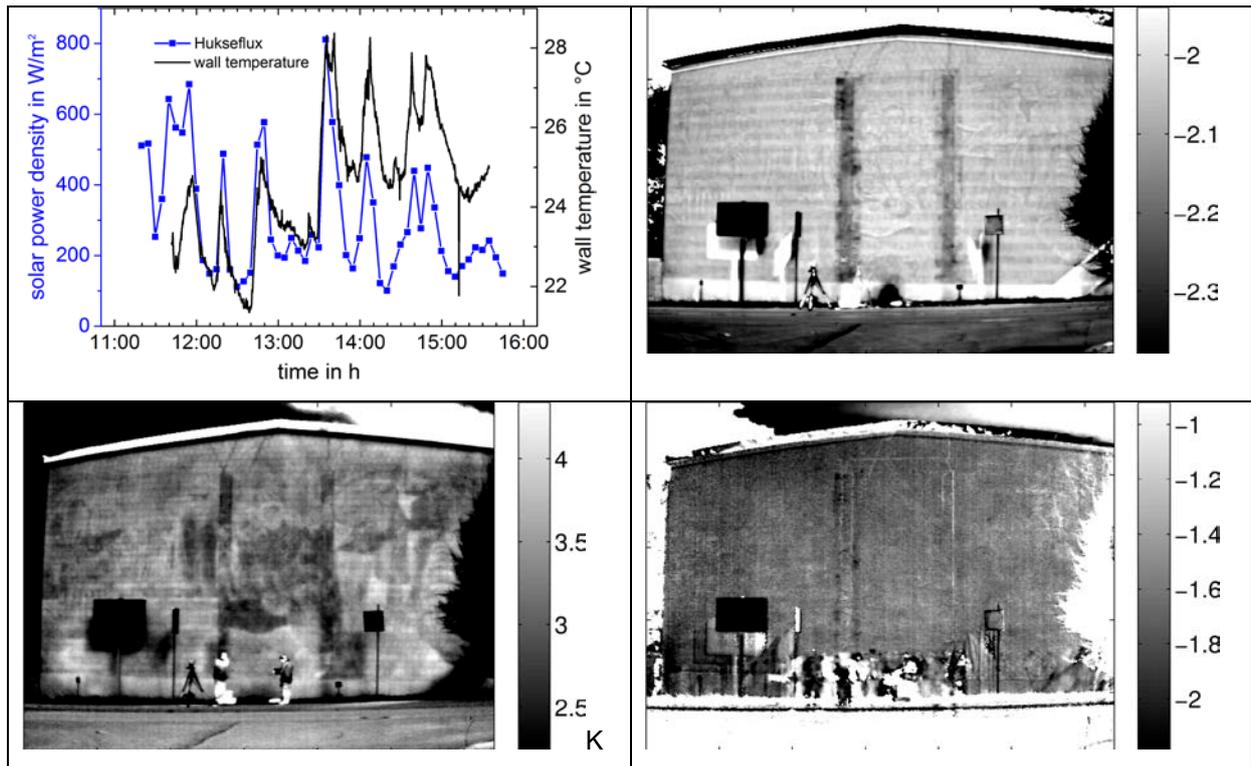


Bild 5: Ergebnisse der Untersuchung an dem Wandbild in Cobbelesdorf mit aktiver Thermografie mit Sonnenerwärmung an einem Tag mit einem Wechsel von Sonne und Wolken. Oben links: Strahlungsflussdichte der Sonne und mittlere Wandtemperatur als Funktion der Messzeit. Unten links: Differenzthermogramm um 13:56 Uhr zu einem Thermogramm, das um 11:40 Uhr erfasst wurde; die beiden Metallträger in der Bildmitte sind als kühlere (dunklere) Bereiche erkennbar. Oben rechts: 2. Phasenbild der Sequenz, die Metallträger sind noch deutlicher sichtbar als im Thermogramm. Unten rechts: 10. Phasenbild der Sequenz, die Risse unterhalb des Daches und neben den Metallträgern werden erkennbar.

Eckdaten

Kurztitel: ERBE

Forscher / Projektleitung:

Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), Berlin

Dr. Christiane Maierhofer, Projektleiterin

M.Eng. Mathias Röllig

Dipl.-Ing. Henrik Steinfurth

Dipl.-Phys. Sven Augustin,

Fraunhofer Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung (IFF), Magdeburg

Dr. Rüdiger Mecke

Dipl.-Ing. Michael Schiller

Dipl.-Ing. Alexa Kernchen

Institut für Diagnostik und Konservierung an Denkmalen in Sachsen und Sachsen-Anhalt e.V. (IDK), Halle

Dipl.-Ing. Uwe Kalisch

Dr. Jeannine Meinhardt

Dr. Christiane Hennen, Bauforschung – Denkmalpflege, Wittenberg

Dipl.-Rest. Ernst Thomas Groll, Restaurator, Magdeburg

Dipl.-Rest. Torsten Arnold, Landesamt für Denkmalpflege und Archäologie Sachsen-Anhalt,
Halle

Gesamtkosten: 252.229,70 €

Anteil Bundeszuschuss: 175.711,07 €

Projektlaufzeit: 21.11.2013 bis 21.11.2015