

Hohlstellendetektion an mittelalterlichen Wandmalereien mittels aktiver IR-Thermographie

Thomas LÖTHER, Jeannine MEINHARDT-DEGEN, Stefan WEISE,
Christoph FRANZEN, Institut für Diagnostik und Konservierung
an Denkmälern in Sachsen und Sachsen-Anhalt, Dresden

Kurzfassung. Hohlstellen in Wandmalereien lassen sich mit Hilfe aktive Infrarotthermographie detektieren und dokumentieren. Dabei müssen aufgrund der Wertigkeit und Empfindlichkeit des Kunstgutes die Messparameter auch der berührungslosen Technik sensibel eingestellt werden. Die Messbildinterpretationen haben die unterschiedlichen verwendeten Pigmente und das Substratmaterial zu berücksichtigen.

1 Einführung

Viele historisch bedeutende Wandmalereien sind vom Zerfall bedroht. In einem der schwerwiegendsten Zerstörungsprozesse kommt es zunächst für den Betrachter unsichtbar zur Ausbildung von Hohlstellen, an denen sich Teile des Malereiträgers in situ von der Wand ablösen. Nach Überschreiten eines kritischen Momentes fallen ganze Schollen komplett herab und gehen unwiederbringlich verloren. Insbesondere großflächige Ablösungen stellen dabei eine große Gefahr dar. Die frühzeitige Erkennung dieser Stellen kann helfen diese großen Verluste zu vermeiden.

Wandmalereien sind bildliche Darstellungen, die direkt mit dem Bauteil, das sie trägt, verbunden sind. Für die untersuchten mittelalterlichen Wandmalereien gilt ein genereller Aufbau, der sich in etwa wie folgt darstellt: Mauerwerk, Putz, Malschicht. Mittelalterliches Mauerwerk ist zumeist unregelmäßiges Bruchsteinmauerwerk mit entsprechend unregelmäßigem Fugenverlauf und unebener Oberfläche. Der Putz gleicht die Unebenheiten der Oberfläche zu Teil aus, ist daher unterschiedlich dick über die Fläche angetragen. Die Putzschicht besteht zumeist aus mehreren Lagen. Die oberste Lage ist dabei der Malgrund. Auf oder in diesem sind die Pigmente der Malerei an der Wand fixiert. Als Hohlstellen gelten demgemäß Bereiche, in denen die kontinuierliche Abfolge vom Mauerwerk bis zur Malschicht an einer Stelle durch eine Trennschicht gestört ist. Diese Trennlage ist mit Luft gefüllt. Die Lage der Trennschicht kann an irgendeiner Stelle in der Abfolge sein. Anders ausgedrückt bedeutet das, dass die Dicke des sich lösenden Schichtpaketes unterschiedlich sein kann. Ebenso bewegen sich die Schichtdicken der Trennlage zwischen wenigen Millimetern bis mehreren Zentimetern. Die Prozesse, die zur Ausbildung einer Trennlage und schließlich zum Verlust ganzer Flächen führen, sind häufig nicht im Detail nachzuvollziehen. Hier müssen Spannungsaufbauten aufgrund hygrischer, thermischer oder/und salz – induzierter Prozesse in Betracht gezogen werden. Dabei ist weniger ein einzelnes mehr oder weniger intensives Ereignis schadverursachend, als viel mehr zyklische Wechsel, die über viele Monate und Jahre auftreten und wirken. Daher ist die Entwicklung von verborgenen Hohlstellen ein schleichender Prozess, der sich

im Verlauf von Jahren und Jahrzehnten entwickelt. Für den Betrachter sind diese Entwicklungen unsichtbar bis sich der spontane Verlust offen zeigt. Vorher kommt es nur selten zur Ausbildung einer deutlichen Aufwölbung auf der Oberfläche. Aber auch diese muss wegen der unebenen Oberfläche nicht unbedingt als Hohlstelle erkennbar sein.

Für den Restaurator sind die hohlen Stellen ausschließlich nachweisbar im Rahmen einer haptischen Untersuchung des Objektes durch eine Perkussions-Probierprobe. Mit den Fingern oder einem geeigneten Werkzeug wird vorsichtig gegen die Malerei geklopft. Der resultierende Ton erlaubt über den akustischen Eindruck eine grobe Abschätzung über die Anbindung der Malerei am Mauerwerk an dieser Stelle. Größere hohle Stellen lassen sich von kleineren unterscheiden. Das Ergebnis wird zeichnerisch in eine Dokumentation übertragen. Die Fläche muss dabei mehrfach angeklopft werden, um ein aussagekräftiges Ergebnis zu erreichen. Eine berührungslose Technik stellt daher eine höchst interessante Alternative zur Perkussionsuntersuchung dar. Im Rahmen einer Studie wurde mit Hilfe von aktiver Infrarotthermographie berührungslos die Lage und Größe von Hohlstellen an mittelalterlichen Wandmalereien ermittelt und dokumentiert.

2 Methodik

Mit aktiver Infrarot-Thermografie wurden an zwei Pilotobjekten, in der Kirche St. Nikolai in Bad Schmiedeberg, Sachsen-Anhalt und in der Evangelischen Pfarrkirche in Kühren, Sachsen, Ausschnitte von Wandmalereien untersucht. Der Erfolg der nachfolgenden Konservierung der sensiblen Partien wurde später mit derselben Methode überprüft. Das Untersuchungsprojekt wurde ergänzt durch Labormessungen an drei Probekörpern.

Die infrarot-thermographischen Untersuchungen wurden mit einer VARIOSCAN 3021 ST der Firma InfraTec durchgeführt. Die Auswertung erfolgte mit IRBIS-professional software derselben Firma. Zur Induzierung eines Temperaturgradienten kamen zwei Halogenstrahler HAL 3000 (Fa. Master) mit je 3000 Watt Leistung zum Einsatz. Diese wurden schräg zur Untersuchungsfläche so aufgestellt, dass die bestrahlten Flächen sich überlagerten und das sichtbare Bestrahlungsfeld deutlich größer war, als der untersuchte Bildausschnitt. Die Kamera schaut zwischen den Bestrahlungseinheiten hindurch senkrecht auf die Untersuchungsfläche (Abb. 2). Die gleichmäßige und ausreichende Erwärmung einer Wandoberfläche in dieser Konstellation wurde durch Voruntersuchungen getestet. Abb. 1 zeigt zwei Infrarotstrahler an einer Laborwand.



Abb. 1 Infrarotstrahler zur Erwärmung einer Wandoberfläche, Labor

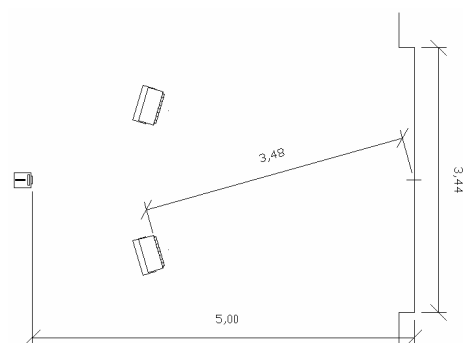


Abb. 2 Schematische Skizze zum Versuchsaufbau

3 Probekörper

Auch aufgrund der Empfindlichkeit und Wertigkeit der historischen Wandmalereien lag ein Schwerpunkt der Studie auf der Untersuchung von speziellen Probekörpern im Labor. Mit den drei Probekörpern aus Leichtbeton (Prk_1, Prk_2, Prk_3) sollte der Einfluss der Pigmente in den Farbfassungen, der Einfluss der unterschiedlichen eingesetzten Mörtel und Oberflächenrauigkeiten ermittelt, sowie die Auflösungsgrenzen der Methode eingeschätzt werden.

3.1 Probekörper Prk_1

Da die Absorption von Wärmestrahlung von der Farbe der Oberfläche abhängt, wurde der Einfluss von Malschichten auf die Erwärmung einer Wandoberfläche untersucht. Die Oberfläche des Probekörpers Prk_1 wurde in 15 Felder mit Abmessungen von jeweils 11 x 11 cm eingeteilt. Auf jedes dieser Felder wurde eine Oberflächenfassung aufgebracht, einige Felder wurden in sich noch einmal unterteilt (Abb. 3). Dabei wurden Pigmente und Pigmentzusammensetzungen eingesetzt, die für mittelalterliche Wandmalereien typisch sind (s. Legende Abb. 5). Zudem erfolgte im 15. Musterfeld eine Erweiterung der Auswahl durch eine Gold- und eine Silberbeschichtung. Abb. 4 zeigt eine Untersuchungsaufnahme vom Probekörper Prk_1 nach einer 15-minütigen Erwärmung. Dargestellt sind die Differenztemperaturen in K im Vergleich zum Ausgangszustand von 23°C zu Beginn des Tests. Abb. 5 gibt den unterschiedlichen Temperaturverlauf für die Pigmentfelder bei der Erwärmung wieder.



Abb. 3 Prk_1 mit verschiedenen pigmentbeschichteten Feldern

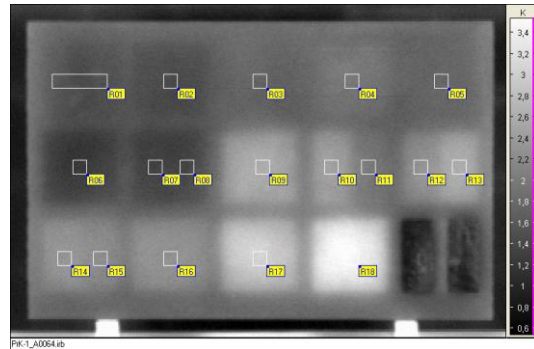


Abb. 4 IR-Aufnahme im Differenzbildmodus von Prk_1 mit eingezeichneten Messfeldern

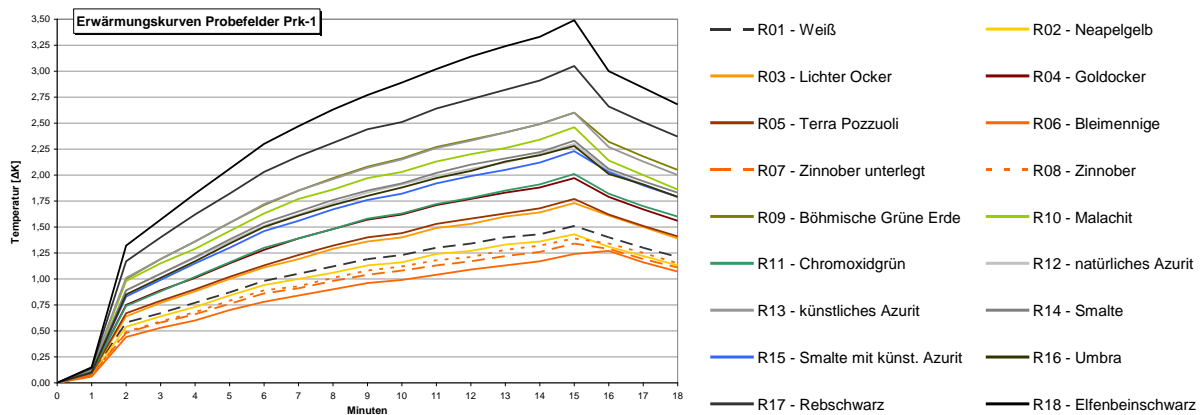


Abb. 5 Temperaturverlauf auf Probekörper Prk_1 mit verschiedenen pigmentbeschichteten Feldern

3.2 Probekörper Prk_2

Da man bei mittelalterlichen Wandmalereien auf Putz nicht immer von identischen Oberflächen ausgehen muss und die Absorption von Wärmestrahlung von der Rauigkeit der Oberfläche und vom Oberflächenmaterial abhängen kann wurde der Einfluss dieser Parameter auf die Erwärmung an unterschiedlichen Musterflächen auf einem Probekörper (Prk_2) untersucht. Auf dem Probekörper Prk_2 (Abb. 6) legte man 15 Musterflächen mit Abmessungen von jeweils 11 x 11 cm an, die sich in ihrer Zusammensetzung und ihren Oberflächenrauigkeiten unterscheiden. Es wurden Kalk-, Zement- und Gipsmörtel verwendet und unterschiedlich abgeschlossen. Abb. 7 zeigt eine Untersuchungsaufnahme im Differenzbildmodus und Abb. 8 gibt den unterschiedlichen Temperaturverlauf für die Musterflächen bei der Erwärmung wieder.



Abb. 6 Prk_2 mit verschiedenen Mörteln

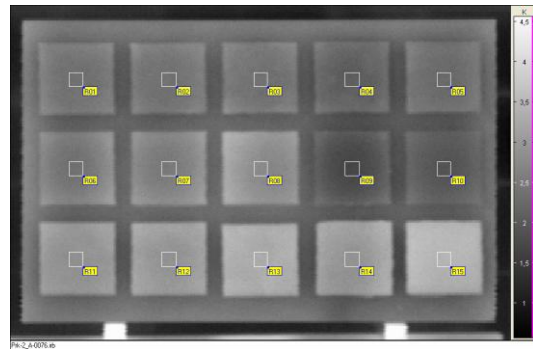


Abb. 7 IR-Aufnahme im Differenzbildmodus von Prk_2 mit einzeichneten Messfeldern

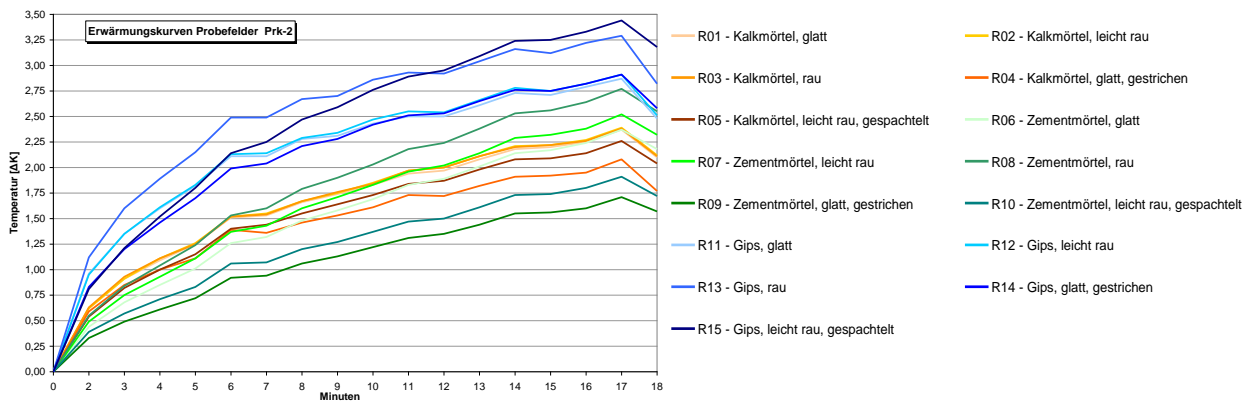


Abb. 8 Temperaturverlauf auf Prk_2

3.3 Probekörper Prk_3

Um die Auflösungsmöglichkeiten der Untersuchungsmethode einschätzen zu können, wurde ein Probekörper mit definiert angelegten Hohlstellen untersucht. Diese befinden sich im Probekörper in genau definierten Tiefenbereichen.

Es zeigt sich deutlich, dass die Temperaturunterschiede an der Probekörperoberfläche, die durch die Hohlstellen hervorgerufen werden (Abb. 10), Temperatureffekte in derselben Größe, wie die Einflüsse durch Beschichtung und Substrat ergeben. Flach liegende Hohlstellen werden deutlich abgebildet. Hohlstellen, die tiefer als etwa 2,5 cm eingebettet sind, werden nicht detektiert.

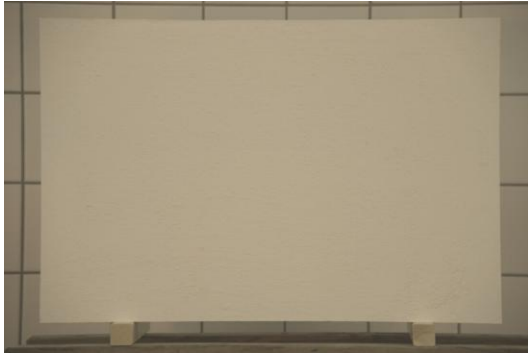


Abb. 9 Prk_3 mit definierten Hohlstellen

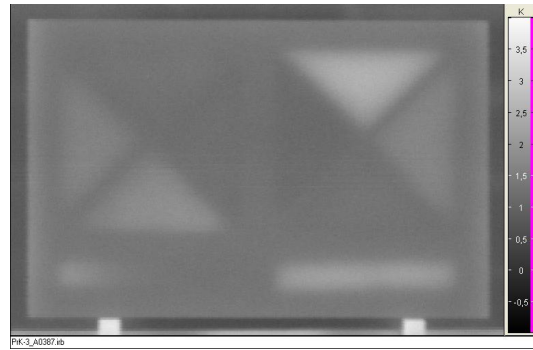


Abb. 10 IR-Aufnahme im Differenzbildmodus von Prk_3 mit sich deutlich abzeichnenden Hohlstellen

4 Pilotobjekte

4.1 Bad Schmiedeberg

In der Stadtkirche St. Nikolai in Bad Schmiedeberg, Sachsen-Anhalt, sind die Wandmalereien aus der 2. Hälfte des 15. Jahrhunderts seit einigen Jahren unter kontinuierlicher restauratorischer Beobachtung. An einem Bereich der Darstellung einer thronenden Muttergottes, für den eine Perkussionskartierung vorlag, wurde eine aktive IR-Thermographie durchgeführt.



Abb. 11 Gekennzeichnete Messfelder auf den Wandmalereien in St. Nikolai, Bad Schmiedeberg

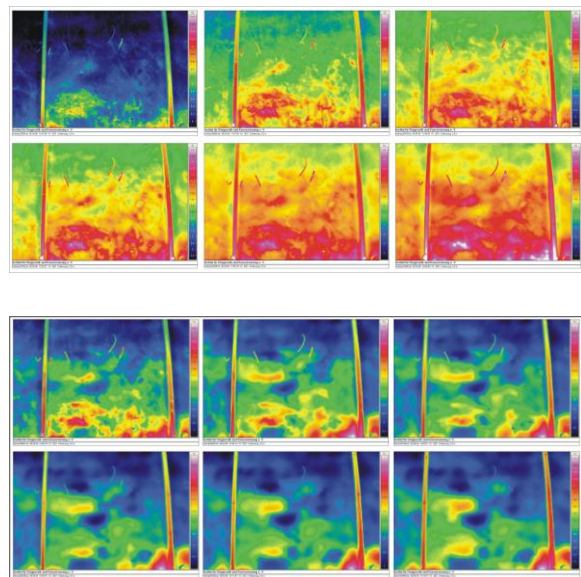


Abb. 12 Aufheizvorgang (oben) und Abkühlungsphase des Messfeldes 2

Es gibt eine generelle Übereinstimmung der Kartierung mit auffälligen Aufheizungen bei der aktiven IR-Thermographie. Zudem zeigen die IR-Aufnahmen ein weitaus differenzierteres Bild von Inhomogenitäten nahe der Oberfläche.

4.2 Kühren

Der mittelalterliche Wandmalereizyklus von 1430 in der evangelischen Pfarrkirche in Kühren ist der größte zusammenhängende Wandmalereizyklus in Sachsen. Der Kalkmörtelputz mit freskal gebundener Malerei auf Bruchsteinmauerwerk steht an vielen Stellen hohl. In einem ausgewählten Bildausschnitt (Abb. 14) mit der Darstellung des Hl. Christophorus wurden Thermographieuntersuchungen durchgeführt. Die Ergebnisse der Thermographie haben eine gute, aber nicht perfekte Übereinstimmung mit der Kartierung mittels Perkussionsmethode.

Insbesondere an diesem Objekt wurden noch weitere wichtige Ergebnisse gewonnen. Das thermographische Abzeichnen der Hohlstellen erfolgt über ein Zeitintervall der Aktivierung. Insbesondere an dünn geputzten Stellen paust sich während der Untersuchung das Bruchsteinmauerwerk deutlich im Thermographiebild durch. Das Zeitfenster für die Detektierung von Hohlstellen wird daher sehr eng. Hohlstellen, die festgestellt werden, lassen sich in ihrer Lage und Größe sehr genau zuordnen.

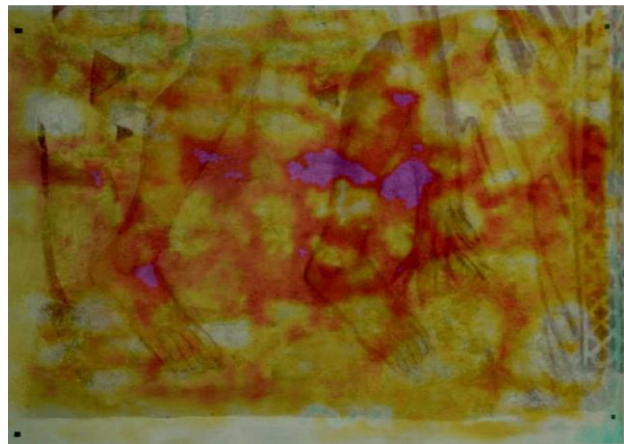
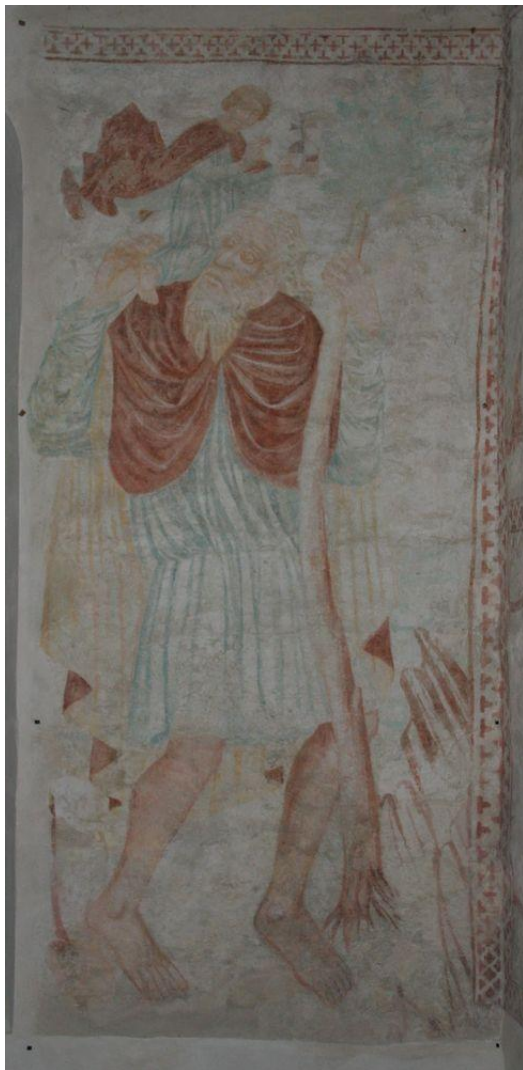


Abb. 13 Kombinierte Foto-IR-Aufnahme aus dem unteren Ausschnitt des Hl. Christophorus

Abb. 14 (links) Darstellung des Hl. Christophorus in der Pfarrkirche in Kühren. Die schwarzen Punkte im unteren Bereich des Bildes markieren das in Abb. 13 dargestellte Messfeld

5 Schlussfolgerungen

Die Studie zeigt, dass die zerstörungsfreie aktive IR-Thermographie sehr gut in dem sehr sensiblen Feld der Restaurierungsuntersuchungen eingesetzt werden kann. Aktive IR-Thermographie ist eine ausgezeichnete Chance, die Risiken der Perkussionsuntersuchung zu umgehen. Die Randbedingungen durch unterschiedliche Adsorptionseigenschaften unterschiedlicher Pigmente und unterschiedliche Mörtel in den Wandmalereien, sowie die Grenzdefinitionen der abgelösten Schollen stellen den Anwender aber vor Herausforderungen. Hier besteht weiterer Forschungsbedarf, bevor diese viel versprechende Messtechnik 'ready to use' eingesetzt werden kann.

Das Forschungsprojekt wurde gefördert durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt, AZ 21045.