

Identifikation loser Putzschichten an historischen Wandmalereien durch akustische Anregung und laseroptische Detektion

G. Gülker, K.D. Hinsch, H. Joost

Angewandte Optik, Fachbereich Physik, Carl von Ossietzky Universität Oldenburg

1. Einleitung

Historische Wandmalereien sind in ihrem Bestand oft dadurch gefährdet, daß sich die bemalte Putzschicht vom Untergrund ablöst. Durch mechanische Spannungen in Folge von Temperatur- und Feuchtigkeitsschwankungen, vor allem aber auch durch Kristallisationsprozesse von eingetragenen oder im Material vorhandenen Salzen, kommt es zur Bildung von Hohlstellen zwischen Mauerwerk und Putz. Dies führt zu Beulen und Rissen und in Extremfällen zum Herabfallen ganzer Malereistücke. Bei dem Bemühen um den Erhalt und bei der Kontrolle von Reparaturmaßnahmen ist es daher häufig erforderlich, die Haftung des malereitragenden Putzes auf der darunter liegenden Wand zu kontrollieren. Üblicherweise wird dies vom Restaurator durch vorsichtiges Abklopfen der Wand durchgeführt (Perkussionsmethode). Dieses Verfahren ist zeit- und arbeitsaufwendig, subjektiv und nicht berührungslos. Mit einem neuartigen Verfahren können nun all diese Nachteile umgangen werden. Dazu wird die zu untersuchende Wand mit Schall aus einem Lautsprecher bestrahlt. Lose Schichten können so zu kleinsten Schwingungen angeregt werden, deren Existenz mit einer laser-interferometrischen Meßmethode mit hoher Empfindlichkeit nachgewiesen wird.

2. Messung kleiner Schwingungen mit Videoholografie

Bereits seit vielen Jahren werden zur Detektion von Objektschwingungen mit kleinen Amplituden holografische Meßverfahren eingesetzt, z.B. beim Aufspüren von Geräuschquellen im Automobil- und Maschinenbau. In dem hier vorgestellten Verfahren kommt die elektronische Variante der Holografie, die Videoholografie oder auch Elektronische Speckelmuster Interferometrie, ESPI, zur Anwendung. Das Meßprinzip verdeutlicht Abb. 1:

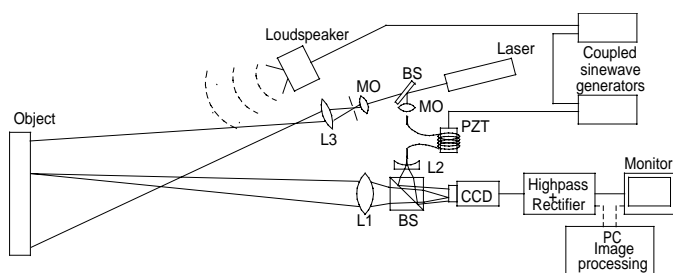


Abb. 1: Aufbau zur Detektion schwingender Hohlstellen. (MO: Mikroskopobjektiv, PZT: piezoelektrischer Zylinder, L: Linse, BS: Strahlteiler)

Eine detaillierte Beschreibung der Schwingungsmessung mit Videoholografie findet sich z.B. in [1]. Bei diesem Verfahren wird das zu untersuchende Objekt mit Laserlicht beleuchtet. Das an der Oberfläche gestreute Licht wird mit einer CCD-Kamera aufgenommen. Um eine interferometrische Empfindlichkeit zu erreichen, wird diesem Streulicht eine Referenzwelle überlagert, die in unserem Falle über eine Lichtleitfaser geführt wird. Die Intensität in der Bildebene der CCD-Kamera wird in jedem Punkt von der relativen Phase der beiden zur Interferenz kommenden Lichtwellen bestimmt. Be-

wegt sich nun die Putzoberfläche bzw. Teilbereiche der Untersuchungsfläche im Größenbereich der Laserlichtwellenlänge (hier ca. 800 nm), so ändert sich entsprechend das Interferenzmuster in der Bildebene. Bei einer Objektauslenkung, die eine Weglängenänderung von einer ganzen Wellenlänge erzeugt, durchläuft die Intensität gerade einen vollen Zyklus, z.B. vom Maximum zum Minimum und wieder zum Maximum. Treten periodische Objektbewegungen auf, wie in unserem Falle schwingende Putzbereiche mit einer Frequenz von einigen 100 Hz, so kann die Videokamera mit einer Bildrate von 25 Hz diese Intensitätsschwankungen zeitlich nicht auflösen. Während der Aufnahmezeit eines Videobildes wird demnach über variierende Intensitäten gemittelt. Aufgrund dieses Mittelungseffektes resultiert daher an den Stellen, an denen der Putz schwingt, eine geringere Intensität. Wo der Putz ruht ergibt sich dagegen die ursprüngliche Bildintensität. Besser wahrnehmbar werden die Helligkeitsunterschiede, wenn die videoelektrischen Signale vor der Darstellung auf dem Monitor einer analog-elektronischen Signalverarbeitung unterzogen werden.

Zum Schutz der historischen Substanz müssen im Fall der akustisch induzierten Putzschwingungen die Amplituden derart klein sein, daß sich trotz Vorverarbeitung nur sehr geringfügige Verminderungen der Bildhelligkeit einstellen würden. Das Verfahren muß daher weiter sensitiviert werden. Dazu bedient man sich des folgenden Tricks: die optische Weglänge des Referenzlichts wird mit der gleichen Frequenz moduliert, mit der der Putz angeregt wird [2]. Dies geschieht durch ein Dehnen der optischen Faser, die zu diesem Zweck auf einen piezoelektrischen Zylinder gewickelt ist. Diese periodische Weglängenänderung wirkt wie eine, real nicht vorhandene, Schwingung der gesamten beobachteten Putzschicht. Man gibt also eine künstliche Untergrundschwingung vor, so daß die Bildhelligkeit insgesamt etwa auf die Hälfte herabgesetzt wird. An den Hohlstellen kommt nun bei akustischer Anregung die Schwingung des Putzes hinzu. In der praktischen Realisierung wird die größte Empfindlichkeit des Systems erreicht, wenn die Weglänge des Referenzlichtes bei einer geringfügig gegenüber der Putzschwingung verschobenen Frequenz moduliert wird, wenn sich also die beiden Frequenzen um einige Hz unterscheiden. In dem Fall erfolgen Weglängenmodulation und Putzschwingung abwechselnd gleich- und gegenphasig. Dies macht sich in leicht wahrnehmbaren Helligkeitsschwankungen im Ausgangsbild bemerkbar. Auf dem Monitor sind daher die Stellen, an denen der Putz aufgrund fehlender Haftung zum Schwingen angeregt wird, sehr deutlich durch flackernde Helligkeiten zu erkennen. Dieses Flackern ist bereits bei Schwingungsamplituden von 3-4 nm visuell zu beobachten und außerdem relativ leicht von Störsignalen aufgrund von Einflüssen aus vor-Ort Messungen zu unterscheiden.

3. Anwendungsbeispiele und Test des Verfahrens

In einer ersten Meßkampagne wurde das Verfahren in der kleinen Friedhofskirche St. Just in Kamenz, Sachsen, erprobt. Diese Kirche trägt in ihrer Apsis eine reichhaltige Bemalung aus dem 14. Jahrhundert, die jedoch zu einem erheblichen Teil geschädigt ist. Abb. 2 zeigt eine Fotografie des Kircheninnenraumes mit Blickrichtung in die Apsis.



Abb. 2: Blick in die St. Just Kirche in Kamenz, Sachsen.

In Zusammenarbeit mit der Hochschule für Bildende Künste in Dresden wurden nun einige Teilgebiete der Apsis mit dem neuen Verfahren untersucht. Unabhängig von dieser Messung wurden die Testflächen mit der Perkussionsmethode untersucht und die Befunde aus den beiden Verfahren miteinander verglichen. In Abb. 3 sind beide Resultate in einer Umrißskizze eines etwa drei Meter langen Teils der Nordwand eingezeichnet, wobei die senkrechte Schraffur die Ergebnisse der videoholografischen Messung angibt, schräge Schraffur die der Perkussionsmethode. Es ist deutlich zu erkennen, daß beide Verfahren eine sehr gute Übereinstimmung liefern.

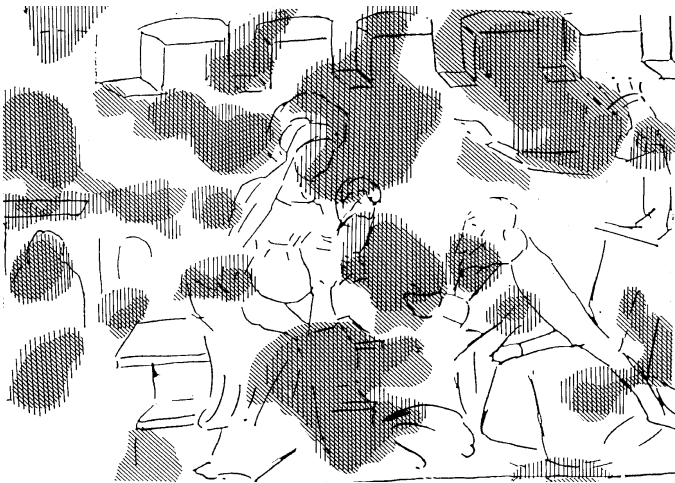


Abb. 3: Umrißzeichnung der Meßfläche in der Apsis. Diagonale Schraffur: Befund Perkussionsmethode, senkrechte Schraffur: Befund Videohografie.

In einer zweiten Anwendung wurde das Verfahren im 'Neuen Museum Berlin' eingesetzt. Ziel dieser Untersuchungen war die berührungslose Kartierung abgelöster Bereiche an mehrschichtig aufgebauten Wandputzen der Nordkuppel. Neben der bloßen Identifizierung sollte versucht werden, eine tiefenabhängige Lokalisierung der losen Partien durchzuführen und den Erfolg einer durchgeführten Reparaturmaßnahme, der punktuellen Hinterfüllung des Putzes durch Injektion eines Fixierungsmittels, zu überprüfen.

In Vorversuchen an sehr geschädigten Wandpartien, die einen direkten Zugang zu der untersten Putzschicht erlaubte, konnte festgestellt werden, daß lose Stellen im unteren Putz deutlich tiefere Resonanzfrequenzen aufweisen, als die Ablösungen der oberen Putzschicht. Diese Vorinformation wurde im weiteren Verlauf für die Ergebnisinterpretation ausgenutzt. In Abb. 4 ist

eine Meßfläche im Bereich der nordöstlichen Wand dargestellt. Dieser Bereich, der relativ gut erhalten schien, ist in einer einheitlich grünlichen Farbe ausgemalt, so daß in dem Bild keine malereibedingten Strukturen zu erkennen sind. Es sind jedoch einige helle Injektionseinstiche zu erkennen, die aus der punktuellen Festigungsprozedur stammen. In der Abb. 4 sind diese Punkte zur besseren Kennung zusätzlich markiert. Bei der Vermessung dieser Fläche konnten zunächst bei Frequenzen zwischen etwa 300 und 800 Hz großflächige Teilbereiche des Untersuchungsgebietes zu Schwingungen angeregt werden, die deutlich sichtbar über die erkennbaren Injektionspunkte hinausgingen. Hier müssen also aufgrund der tieferen Resonanzfrequenzen Ablösungen zwischen der unteren und der mittleren Putzschicht vorliegen, die durch die Hinterfüllungsmaßnahme keine Festigung erfahren haben. Bei höheren Frequenzen oberhalb von 800 Hz konnten mehrere kleine Teilgebiete der Meßfläche zu Schwingungen angeregt werden, die aufgrund der Resonanzfrequenzen zwischen der mittleren und der oberen Putzschicht lokalisiert sein müssen. Diese sind in der Abb. 4 schraffiert eingezeichnet.

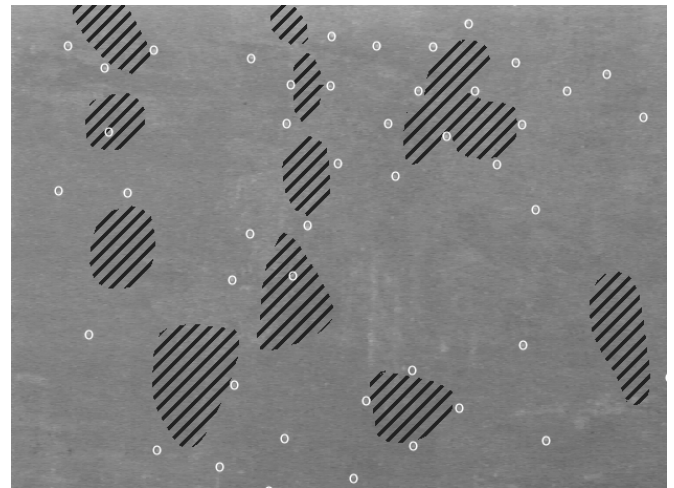


Abb. 4: Meßfläche und Befund im Neuen Museum Berlin.

Es ist zu erkennen, daß die losen Bereiche fast immer zwischen den Injektionspunkten gefunden wurden. Einige schwingende Bereiche werden regelrecht umrandet von Injektionseinstichen, was eine klare Bestätigung für die punktuelle Refixierung dieser Schichten durch die Reparaturmaßnahme ist. Jedoch ist ebenfalls zu erkennen, daß an einigen wenigen Stellen die Wiederbefestigung fehlgeschlagen ist.

4. Zusammenfassung

Es wurde ein neuartiges Verfahren auf Grundlage der Videohografie entwickelt, mit dem sich abgelöste Bereiche in historischen Wandmalereien detektieren lassen. Der Vergleich mit den Befunden aus der herkömmlichen Perkussionsmethode belegt die Verlässlichkeit des Verfahrens. Die Auswertung der Resonanzfrequenzen ermöglicht in bestimmten Fällen zudem eine Tiefenzuordnung von Hohlstellen. Das Verfahren hat sich bewährt und kann für viele Untersuchungen herangezogen werden, bei denen Schwingungen zerstörungsfrei detektiert und lokalisiert werden müssen.

Literatur

- 1 O.J. Løkberg: J. Acoust. Soc. Am., 75 (1984), 1783-1791
- 2 Fricke-Begemann, T.; Gülker, G.; Hinsch, K.D.; Joost, H., Proc. SPIE Vol. 3411 (1998) 431-438