



## Historische Glasfenster in Polen

### 3D-Scans zur Evaluierung von Restaurierungsmaßnahmen

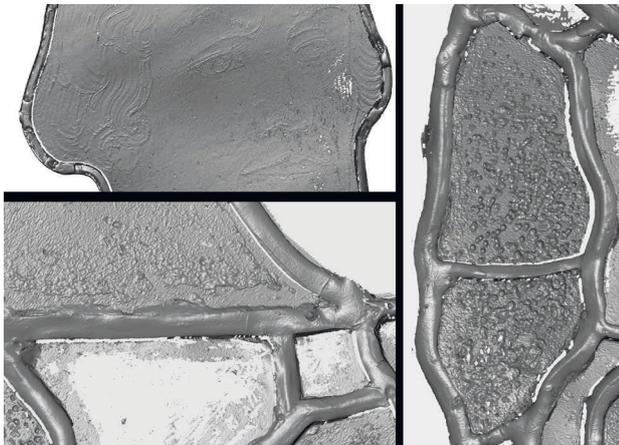


Abb. 1: In den 3D-Modellen der historischen Glas-scheiben sind sowohl die Pinselstriche der Glasmale-  
rei, als auch die Korrosionsphänomene deutlich sicht-  
bar [Rahrig 2019].

<b>Leitung:</b>	Prof. Dr. Rainer Drewello, Prof. Dr. Paul Bellendorf
<b>Bearbeitung:</b>	Max Rahrig M.A., Eva Basse M.A., Leander Pallas
<b>Partner:</b>	Bundesanstalt für Materialfor- schung und -prüfung (BAM); Glasrestaurierung Oleszczuk
<b>Laufzeit:</b>	2017 – 2020
<b>Finanzierung:</b>	Deutsche Bundesstiftung Um- welt (DBU) und Deutsch-Pol- nischen Stiftung Kulturpflege und Denkmalschutz (DPS)

Im Rahmen eines von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) und der Deutsch-Polnischen Stiftung Kulturpflege und Denkmalschutz (DPS) mit Mitteln der Bundesrepublik Deutschland geförderten Forschungsprojektes zur Ausbildung und Qualifizierung polnischer Fachkräfte für die Restaurierung von Glasmalereien, wurde unter Leitung der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM) und des KDWT unter anderem eine exemplarische, hochauflösende 3D-Dokumentation von historischen Kirchenfenstern in Polen durchgeführt. Ziel der Messungen war eine Evaluierung von Restaurierungsmaßnahmen

an Glasmalereien unterschiedlicher Zeitepochen. Hierzu wurden die Oberflächengeometrien der bemalten Gläser vor und nach ihrer restauratorischen Behandlung mittels Structured-Light-Scanning (SLS) dreidimensional erfasst. Die Scanarbeiten wurden jeweils an den ausgebauten Scheiben in der Werkstatt des polnischen Glasrestaurators Slawomir Oleszczuk bzw. in einem Fall im Pfarrhaus der Kirche in Ausschwitz durchgeführt. Die Daten wurden anschließend in Bamberg am KDWT mit einer 3D-Inspektionssoftware analysiert, um die Unterschiede in der Geometrie zwischen den beiden Scan-Kampagnen zu detektieren.

#### Die untersuchten Glasmalereien und die jeweiligen Fragestellungen an die 3D-Scans

In der Dorfkirche von Koszewko sind Glasmalereien mit den Wappen der Familie „von Küssow“ aus dem 15. Jahrhundert erhalten. Sie zeigten Korrosionsschäden durch Umwelteinflüsse, die in einem partiellen Verlust der Malschicht resultierten. Außerdem waren Schmutzauflagerungen sowie Glasbruch und Defekte an den Bleiruten festzustellen. Im Zuge der Restaurierung wurden stark verdunkelte Partien durch manuelle Reinigung aufgehellt. Auf der Grundlage von 3D-Vergleichen sollte gezeigt werden, wie behutsam die Klebung und Reparatur gebrochener Scheiben durchgeführt wurde.

Die Fenster aus der Liebfrauenkirche in Liegnitz sind mit hochwertigen Glasmalereien aus den Jahren 1905/6 versehen, die in verschiedenen bekannten deutschen Glaswerkstätten hergestellt wurden: Franke, Naumburg; Müller, Quedlinburg; Geiges, Freiburg; Oetken, Oldenburg; Linemann, Frankfurt/M. Aufgrund einer fehlenden Außenschutzverglasung waren die Schwarzlotmalereien besonders gefährdet, was zu partiellen Abplatzungen der Malerei führte. Aufgrund der Schäden lag der Fokus der Restaurierung auf einer sorgfältigen Reinigung der Gläser und einer anschließenden Konsolidierung der Malerei. Die 3D-Vergleiche auf Basis der Oberflächenscans wurden durchgeführt, um festzustellen, inwieweit mit dieser Technik die manuelle Entfernung der Schmutzschichten messbar ist.

Die Glasmalereien in der Pfarrkirche von Ausschwitz stammen aus dem Jahr 1940. Sie wurden von der Firma Müller in Quedlinburg hergestellt.

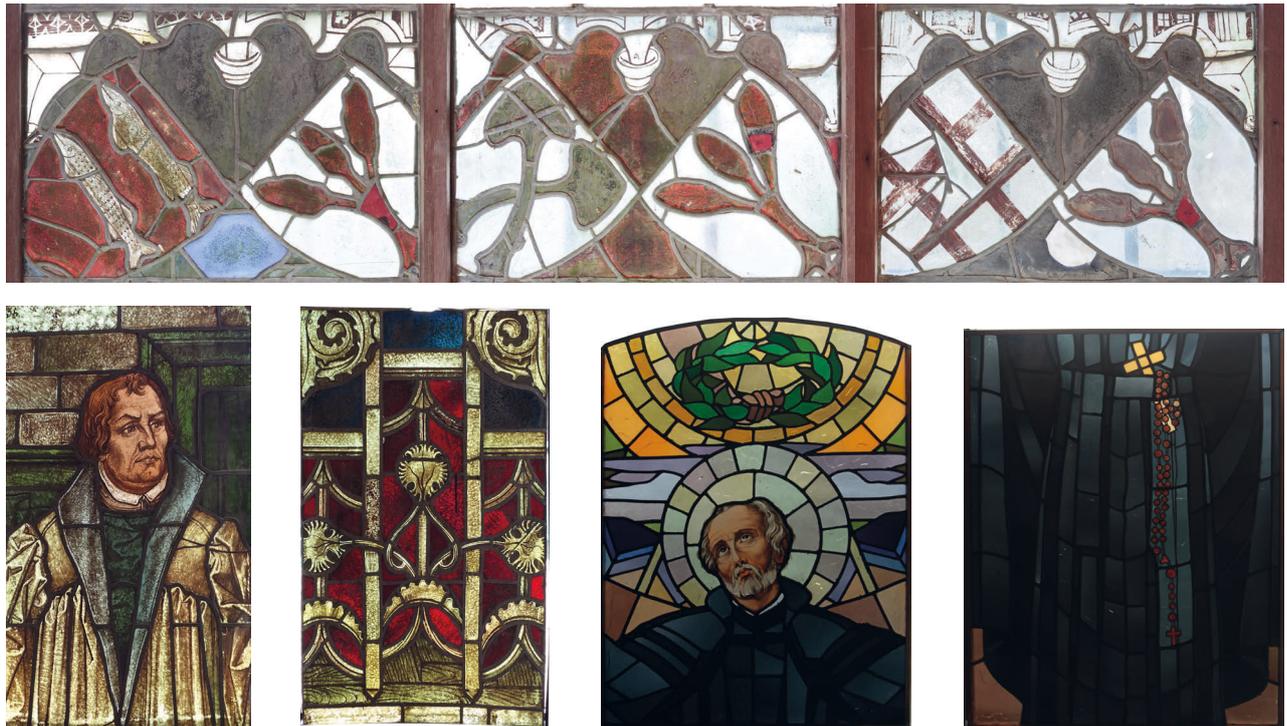


Abb. 2: Übersicht der im Projekt bearbeiteten Fensterfelder. In der oberen Reihe von links nach rechts: Koszewko nII, nIII und sIII. In der unteren Reihe: Liegnitz nx3b, nx4b und Auschwitz 3b und 2b [Oleszczuck 2017–2019].

Durch thermische Beanspruchung, vermutlich verursacht durch einen Brand, weisen die Gläser ein sehr starkes Craquelé aus Rissen und Fehlstellen auf. Zudem sind Verfärbungen im Glas detektierbar. Während der Restaurierung wurde das komplexe Rissmuster mit Acrylharz verstärkt. Mit den 3D-Vergleichen sollte geprüft werden, ob das Acrylharz nur in die Risse geflossen ist oder zusätzlich als Schicht auf der Oberfläche auflag.

### Technischer Hintergrund

Glas zeichnet sich durch seine optischen Eigenschaften als transluzentes Material aus. Aufgrund seiner Lichtdurchlässigkeit lässt sich die Glasoberfläche daher nur schwer mit optischen Messgeräten erfassen. Optische Systeme für eine 3D-Erfassung von Gläsern sind daher systembedingt deutlichen Einschränkungen ausgesetzt. Durch den denkmalpflegerischen und kunsthistorischen Wert der Fenster, in Kombination mit dem Anspruch selbst kleinste Veränderung der Glasoberfläche zu dokumentieren, war der Einsatz von Mattierungssprays oder anderen Beschichtungen zur Reduktion der Lichtdurchlässigkeit ausgeschlossen. Doch die historischen Gläser bieten im Vergleich zu modernen Gläsern einen entscheidenden Vorteil für die 3D-Erfassung mittels optischer Messtechniken. Aufgrund der zum Teil jahrhundertelangen Exposition als Trennung

zwischen Innen- und Außenraum, waren die Glasscheiben regelmäßig Wind und Wetter ausgesetzt. Hierdurch haben sich Wettersteinkrusten sowie Kalk- und Staubablagerungen auf den Oberflächen gebildet, wodurch eine hauchdünne, opake Schicht auf der Oberfläche entstanden ist. Durch die korrosionsbedingte Mattierung wird eine Erfassung der Oberflächengeometrie mit optischen Systemen möglich.

Für die Dokumentation der historischen Gläser kam der Structured-Light-Scanner (SLS) L3D der Fa. Zeiss Optotechnik des KDWT zum Einsatz. Zur Beantwortung der skizzierten Fragestellungen wurde der Scanner in zwei Konfigurationen verwendet: So wurden die Innen- und Außenseiten der gesamten Glasfelder in einer Auflösung von etwa 0,1 mm dokumentiert, zusätzlich erfolgte die Vermessung einzelner Glasscheiben mit einer Konfiguration mit einer Auflösung von etwa 45 µm. Um die Ergebnisse nicht zu verfälschen, wurden die originalen Scandaten nur sehr beschränkt nachbearbeitet. Im Datensatz wurden beispielsweise keine Löcher oder Fehlstellen geschlossen, die aufgrund der spiegelnden Oberfläche entstanden sind. Im Datensatz stellen sich diese Bereiche daher als Fehlstellen dar.

Die Hauptfragestellung zur 3D-Dokumentation der historischen Gläser lag in einem Vergleich der Oberflächen vor und nach ihrer Restaurierung.

Eine Nebeneinanderstellung der beiden Datensätze der Gläser bringt für einen optischen Vergleich aber nur wenige Aussagen. Für eine objektive Bewertung der Veränderungen bietet sich daher ein mathematischer Vergleich der 3D-Modelle mittels Inspektionssoftware an. Bei diesen Vergleichen werden die geometrischen Unterschiede zwischen den 3D-Modellen in einem Fehlfarbenbild visualisiert, siehe Abbildung 3.

### 3D-Vergleich von Fensterfeldern

Historische Glasfenster bestehen in der Regel aus einzelnen bunten und/oder bemalten Glasscheiben mit unregelmäßiger Geometrie, die mittels Bleistege zu einem größerem, z.B. rechteckigem, Verbund, so genannten Feldern, zusammengefasst werden. Beim 3D-Vergleich von Feldern haben sich deutliche Abweichungen zwischen den 3D-Daten des Vor- und Nachzustandes gezeigt. Diese sind jedoch nicht auf die Restaurierung zurückzuführen, sondern zeigen vielmehr die Bewegung zwischen den festen Einzelscheiben und den flexiblen Bleiruten. Dennoch lassen sich im virtuellen 3D-Vergleich der Felder bestimmte Veränderungen ablesen. So werden bspw. Verstärkungen der Randpartien in den Scans sichtbar. Dabei wurden Rahmen aus Kupferblech um die Fenster gesetzt, um ihnen mehr Stabilität zu geben und den Wiedereinbau in der Kirche zu erleichtern. Aber auch Änderungen im Bleinetz, wie Ergänzungen, Austausch oder Entfernungen, können damit nachverfolgt werden.

### 3D-Vergleich von Einzelscheiben

Zur Dokumentation der relativ dünnen Korrosionsschichten wurden, zusätzlich zu den Scans von Fensterfeldern, ausgewählte Scheiben mit einer höheren Auflösung von bis zu 45 µm dreidimensional erfasst. In den hochauflösenden 3D-Vergleichen der Einzelscheiben lassen sich diverse Informationen zu den unterschiedlichen Arbeitsschritten der Restaurierung fassen. Abbildung 4 zeigt den 3D-Vergleich der Innen- und Außenseite einer Einzelscheibe der Wappendarstellung von Fenster nII aus Koszewko. Die Scheibe zeigt einen der beiden Fische des Wappens. Da die Scheibe mittig gebrochen war, wurde die Ausrichtung der Scandaten des Vor- und Nachzustands nur auf eine der beiden Teilscheiben, nämlich den vorderen Teil des Fisches, gerechnet. An den 3D-Vergleichen lassen sich fünf restauratorische Maßnahmen ablesen. Bei einer Betrachtung der Außenseite ist zunächst auffällig, dass die hintere Teilscheibe extreme Veränderungen aufweist. Sie verlaufen von über - 1 mm im unteren Bereich der Scheibe (blaue Bereiche) bis zu + 0,6 mm im oberen Bereich (rot eingefärbte Bereiche). Hier fand also eine deutliche Verkipfung der Teilscheibe statt. Die Bewegung ist auf ein Zusammenkleben der beiden Teilscheiben zurückzuführen. Im Vorzustand waren die Teilscheiben, gesichert durch ein Reparaturblei, noch deutlich zueinander verkippt. Nach der Restaurierung bilden sie eine einheitliche Ebene. Zum Kleben der Teilscheiben war es notwendig,

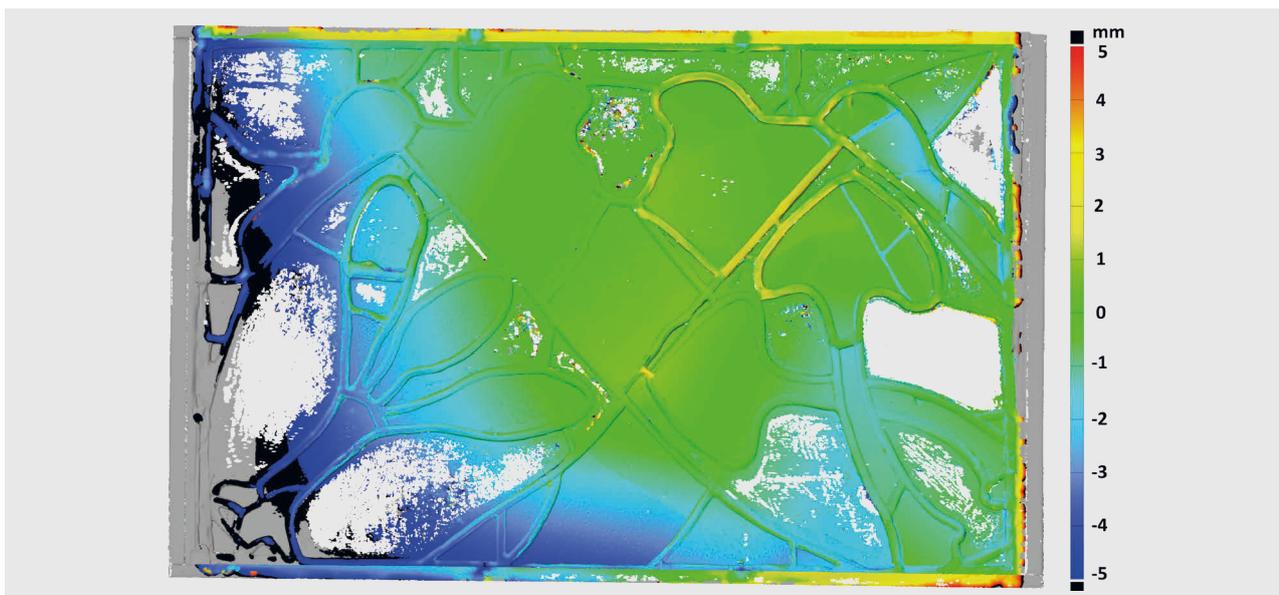


Abb. 3: 3D-Oberflächenvergleich der Außenseite des Fensterfeldes Koszewko nIII. Gezeigt werden die geometrischen Veränderungen zwischen dem Zustand vor und nach der Restaurierung. Es ist deutlich der Austausch von historischen Reparaturbleien durch eine Klebung der gebrochenen Einzelscheiben, die Verstärkung der Ränder sowie eine transportbedingte, schüsselförmige Verformung des Fensterfeldes sichtbar [Rahrig 2019].

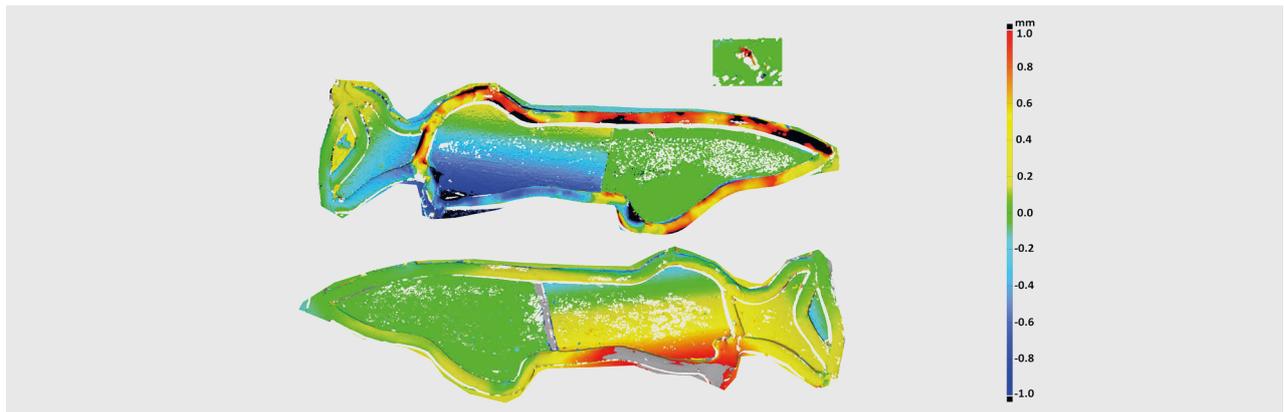


Abb. 4: 3D-Oberflächenvergleich einer Einzelscheibe von Koszewko nIII. Oben: Vergleich der Außenseite. Unten: Vergleich der Innenseite. Die Veränderungen der Bleiruten im Zuge der Klebung der Einzelscheibe sind deutlich zu erkennen, ebenso Reste des Fensterrahmens (Detail oben rechts) [Rahrig 2019].

die Scheiben auszubauen. Dazu mussten die äußeren Bleiruten vorsichtig geöffnet werden. Hierdurch entstanden Verformungen der Bleiruten. Die untere wurde dabei aufgebogen, wodurch Veränderungen bis  $\pm 1$  mm entstanden. Das obere Blei wurde hingegen ausgetauscht, womit sich die deutlich stärkeren Veränderungen erklären lassen. Der Vergleich der Innenseite zeigt zudem eine starke Veränderung im Übergang zwischen den beiden Teilscheiben, die sich ebenfalls auf die erfolgte Klebung zurückführen lassen.

Es lässt sich noch eine weitere Anomalie der Oberfläche greifen. Auf der rechten Teilscheibe (Abb. 4, Außenseite, Detail) findet sich nahe der oberen Bleirute ein Bereich in dem es einen Auftrag der Oberfläche im Vergleich zum Vorzustand gab. Hierbei handelt es sich offenbar um einen Rückstand der Kittmaße. Der Zwischenraum zwischen Glasscheibe und Bleirute wird zur Abdichtung mit Fensterrahmensfüllung gefüllt. Im Vergleich der Scans wird ein nicht entfernter Rest des Kitts offensichtlich.

#### Fazit

Innerhalb des Forschungsprojektes konnte gezeigt werden, dass die dreidimensionale Dokumentation historischer Glasscheiben mit einem handelsüblichen Structured Light Scanner möglich ist, ohne dass hierzu Sonderkonstruktionen, Modifikationen am Scanner oder die Beschichtung der historischen Glasoberflächen nötig ist. Die hochauflösende Betrachtung der Gläser kann hilfreiche Aussagen zur Arbeitsweise der Glasmanufaktur und zu Schadensphänomenen liefern.

Die großflächige Berechnung von 3D-Oberflächenvergleichen der historischen Fenster vor und nach ihrer Restaurierung oder für eine zeitliche versetzte, wiederkehrende Beobachtung für

Zwecke des Monitorings gestaltet sich jedoch problematisch. Das flexible Bleinetz bietet zu großen Bewegungsspielraum. In den Vergleichen der Felder sind demnach nur extreme Veränderungen oder Eingriffe detektierbar. Bspw. können Veränderungen des Bleinetzes und Hilfskonstruktionen wie Verstärkungen am Rand der Fenster detektiert werden. Darüber hinaus lässt sich indirekt die Veränderung der Lichtdurchlässigkeit der Gläser erfassen, etwa durch die Reinigung im Rahmen der Restaurierung.

Die Betrachtung von 3D-Vergleichen einzelner Glasscheiben liefert jedoch eindrucksvolle Ergebnisse zum Verlauf der Restaurierung. Hier lassen sich sowohl kleinteilige Veränderungen an den Bleiruten, aber auch die behutsamen restauratorischen Maßnahmen an den Glasoberflächen hochauflösend dokumentieren. Hierbei können sowohl die Entfernung von Korrosionsprodukten, das Kleben von Rissen aber auch Spuren der Fixierung der Einzelscheiben mit Fensterrahmensfüllung erfasst werden.

(Max Rahrig, Paul Bellendorf)

---

RAHRIG, Max / TORGE, Manfred: *3D Inspection of the Restoration and Conservation of Stained Glass Windows using High Resolution Structured Light Scanning*, in: *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, XLII-2/W15, 2019, 965–972.

---

RAHRIG, Max / TORGE, Manfred: *3D Inspection of the Restoration and Conservation of Stained Glass Windows using High Resolution Structured Light Scanning*, Vortrag im Rahmen des 27th International CIPA Symposium „Documenting the past for a better future“, Avila, Spanien 02.09.2019.