Modellhafte Restaurierung und Schutz von schwer geschädigten Glasmalereien und Ornamentbleiverglasungen an bedeutenden sakralen Bauten in einer durch Umweltschadstoffe hoch belasteten Landschaftsregion Niederschlesiens

Manfred Torge
BAM Bundesanstalt für Materialforschung und –prüfung, Berlin

Anlass und Ziel der Arbeit

Deutschland und Polen haben ein gemeinsames Kulturerbe zu bewahren. Dies gilt auch für die niederschlesische Region mit ihren bedeutenden, aber gleichzeitig durch Umweltschadstoffe gefährdeten Kunstdenkmälern. Durch den Einbau von Außenschutzverglasungen wurden farbige Glasmalereifenster in der katholischen Pfarrkirche Niedersteine (Scinawka), der katholischen Kirche zu den Schutzengeln in Waldenburg (Walbrzych) und der Friedenskirche in Jauer (Jawor) modellhaft und nachhaltig vor der Einwirkung von Umwelteinflüssen geschützt. Die Restaurierung der Glasmalereifenster, der Entwurf und Einbau der Schutzverglasung erfolgten durch die Restaurierungswerkstatt Witraze Beata Oleszczuk in Breslau in enger Abstimmung mit den am Projekt beteiligten Gutachtern und den zuständigen Denkmalbehörden. Naturwissenschaftliche Untersuchungen als unmittelbare Begleitung der Restaurierung sind in allen drei durch Umwelteinflüsse geschädigten Objekten notwendig. Sie betreffen sowohl die Auswahl unbedenklicher und langzeitbeständiger Restaurierungsmaterialien als auch die Auswahl und Überprüfung von geeigneten Schutzsystemen zur langfristigen Vermeidung von Korrosionsschäden insbesondere an den empfindlichen Glasmalereien.

Außenschutzverglasungen

In der Pfarrkirche Niedersteine wurden jeweils drei Querhausfenster auf der Nord- und der Südseite ausgebaut, in der polnischen Glaswerkstatt Beata Oleszczuk - Breslau restauriert und mit einer Schutzverglasung versehen. Auf Grund der geringen Höhe der Fenster und der damit gegebenen Gefährdung gegen mechanische Beschädigung wurde als Material für die Schutzverglasung Verbundsicherheitsglas (VSG) verwendet.
Als Form für die Schutzverglasung in den ornamentalen Bereichen der Fenster war eine Rechteck- und in den figürlichen eine grobe Umrissverbleiung vorgesehen. Wegen der ungewöhnlichen Größe der Glasmalereifelder wurde die Konstruktion der Schutzverglasung und der Aufhängung der Originale dahingehend abgewandelt, dass statt der üblichen zwei Schekelhalterungen pro Feldbreite vier vorgesehen wurden.

Bild 1: Pfarrkirche Niedersteine; Außenschutzverglasung an den Fenstern nIV, nV und nVI

In der katholischen Pfarrkirche zu den Schutzengeln in Waldenburg wurden bereits 23 Fenster im Verlauf der letzten zwei Jahrzehnte restauriert und mit Schutzverglasungen versehen. Auf der Nordseite des Langhauses unterbrachen jedoch zwei große, ca. 11,50 m hohe, 2-bahnige, bisher noch nicht restaurierte Fenster das ansonsten harmonische Erscheinungsbild des Kirchenraumes. Die noch vorhandenen Schutzverglasungen mit Außenbelüftung, die den Kontakt der Glasmalereien mit Umweltbelastungen durch Schadstoffe, Feuchtigkeit und Staub nicht verringert, wurden durch ein modernes System mit Innenbelüftung ersetzt. Für diese Schutzverglasung wurde ebenfalls eine Rechteckverglasung aus Verbundsicherheitsglas verwendet.
Die beiden letzten noch nicht restaurierten Fenster nX und n XI des Langhauses boten somit innerhalb dieses Projektes auch die Möglichkeit von Schadstoff- und Klimamessungen für die Evaluierung der modernen Außenschutzverglasung.

Bild 2: Alte Schutzverglasung mit Außenbelüftung und Drahtgittern (links), moderne Außenschutzverglasung (rechts)

Ein weiteres Restaurierungsprojekt wurde in Jauer durchgeführt. Die evangelische Friedenskirche befindet sich seit 2001 auf der Welterbeliste der UNESCO und ist ein Beispiel des hoch entwickelten schlesischen Fachwerk- und Holzbaues aus dem 17. Jahrhundert. Während Außenschutzverglasungen zum Schutz von Glasmalereien in Fensteröffnungen aus Stein seit vielen Jahren Stand der Technik sind /1/, waren solche Konstruktionen in Holzkirchen bisher unbekannt. Eine Außenschutzverglasung wurde auch hier als notwendig angesehen, um die drei farbigen Ornamentfenster im Chorbereich vor Umwelteinflüssen und mechanischer Beschädigung zu schützen. Damit wird sowohl das empfindliche Schwarzlot vor Verlust geschützt als auch modellhaft zum ersten Mal eine Außenschutzverglasung an einer Holzkirche realisiert und mit Hilfe von Klimamessungen überprüft. Die statischen Voraussetzungen und technischen Details für die Installation der Außenschutzverglasung wurden vor Ort gemeinsam von Denkmalpflegern, Naturwissenschaftlern, Restauratoren und Eigentümer begutachtet und festgelegt. Berechnungen eines hinzugezogenen Statikers ergaben, dass die Belastung der Holzständer durch die Außenschutzverglasung nur um etwa 2% erhöht wird, so dass die aus Sicherheitsgründen bevorzugte Variante der Bleiverglasung mit Verbundsicherheitsglas realisiert werden konnte. Unterschiedliche Varianten der Schutzverglasung wurden anhand von Musterfeldern diskutiert. Die Anordnung der Schutzverglasung, Einzelheiten ihrer Konstruktion und die Struktur der Bleiverglasung mit

sparsamer Linienführung wurden von allen Beteiligten vor Ort festgelegt. Die Befestigung der Schutzverglasung aus VS-Glas erfolgte mit speziellen metallischen Halterungen an den Quereisen. Die über die gesamte Fensterbreite reichenden originalen Deckschienen wurden in drei Teile getrennt und mit den Schrauben der Halterungsvorrichtung befestigt. Die Originalfelder sind auf den Halterungsvorrichtungen im Abstand von etwa 5-6 cm zur Schutzverglasung angebracht.

Bild 3: Fenster I mit Außenschutzverglasung

Klimamessungen an Fenstern mit Schutzverglasungen

An ausgewählten Fenstern wurden im Projektzeitraum die Temperatur und die relative Luftfeuchtigkeit an den Innen- und Außenseiten der Originalverglasung (Pos. 1, Pos. 2) und an der Innen- und Außenseite der Außenschutzverglasung (Pos. 3, Pos. 4) gemessen. Im Spalt zwischen Original- und Außenschutzverglasung erfolgte die Messung der Luftgeschwindigkeit.

Die Klimamessungen in der Pfarrkirche Niedersteine wurden an den Fenstern nV und sV im Zeitraum vom 12.12.2012 - 09.12.2013 durchgeführt. Beide Fenster haben eine Höhe von 5,32 m, die Breite der einzelnen Felder beträgt 1,57 m. Der Abstand zwischen Original- und Außenschutzverglasung beträgt 7 cm. Am unteren Fenstersimms befindet sich eine Lufteintrittsöffnung von ca. 1-2 cm über die gesamte Breite des Glasmalereifeldes. Die Luftaustrittsöffnung am oberen Feld hat eine Breite von ca. 1 cm.

Die Klimamessungen in der Pfarrkirche Waldenburg wurden im Zeitraum vom 17.09.2012 – 26.02.2013 am Fenster nXI und vom 17.09.2012-11.12.2013 am Fenster nXII durchgeführt. Die Messungen am Fenster nXI erfolgten vor der Restaurierung mit der alten Schutzverglasung bis zum Ausbau des Fensters. Beide Fenster haben eine Höhe von ca. 11,50 m und eine Breite von 2,10 m. Die Maße der einzelnen Felder sind 90 x 90 cm. Der Abstand zwischen Original- und Außenschutzverglasung beträgt 7-8 cm. Am unteren Fenstersims befindet sich eine Lufteintrittsöffnung von ca. 3-4 cm über die gesamte Breite des Glasmalereifeldes. Die Luftaustrittsöffnung am oberen Feld hat eine Breite von ca. 1-2 cm.

Die Klimamessungen in der Friedenskirche Jauer erfolgten nach der Restaurierung der drei Chorfenster und dem Einbau von Schutzverglasungen exemplarisch am Fenster sII im Zeitraum vom 10.12.2013 – 19.08.2014. Das Fenster hat eine Höhe von ca. 3,50 m und eine Breite von 1,26 m. Die Maße der einzelnen Felder sind ca. 120 x 70 cm. Der Abstand zwischen Original- und der neuen Außenschutzverglasung beträgt 5-6 cm. Am unteren Fenstersims befindet sich eine Lufteintrittsöffnung von ca. 2-3 cm über die gesamte Breite des Glasmalereifensters. Die Luftaustrittsöffnung am oberen Feld hat eine Breite von ca. 1-2 cm. Die Ergebnisse der Klimamessungen sind im Abschlussbericht in Diagramm- und Tabellenform detailliert dargestellt.

Klima, Luftschadstoffe und Außenschutzverglasung

Temperatur und relative Luftfeuchtigkeit sind entscheidende Einflussfaktoren für den Erhaltungszustand von historischen Glasmalereien, denn bei vielen chemischen Reaktionen führt eine Erhöhung der Temperatur um 10K schon zu einer Verdoppelung der Reaktionsgeschwindigkeit. Zudem können rasche Temperaturänderungen Spannungen in Materialkombinationen mit unterschiedlichen Ausdehnungskoeffizienten hervorrufen, die zu Materialverlusten führen. Sowohl in Niedersteine auf der Nord- und Südseite als auch am Nordfenster in Waldenburg liegen die am häufigsten gemessenen Temperaturen zwischen 0 und 20°C. Fenster auf der Südseite erreichen durchaus Spitzenwerte über 30°C und mit steigender Höhe des Fensters nehmen diese Temperaturen zu. Daher sind die Glasmalereien in größerer Höhe eher durch hohe Temperaturen und Temperaturwechsel gefährdet als die in der untersten Reihe. Durch die Außenschutzverglasung kommt es außerdem zu einer Temperaturerhöhung im Spalt, die sich auch auf die Temperatur der Außenseite der Originalverglasung auswirkt. An Südfenstern wurden bis zu 8 K höhere Temperaturen an der Außenseite der Originalverglasung gemessen als an der Außenseite der Außenschutzverglasung. Schnelle Temperaturänderungen am Original sind jedoch nahezu ausgeschlossen, da die direkte Einwirkung von plötzlich einsetzenden Wetteränderungen (wie z. B. Schlagregen) durch die Außenschutzverglasung verhindert

wird. Die Temperaturänderungen verlaufen daher langsamer als unmittelbar an der Außenschutzverglasung. Im Winter bewirkt die Außenschutzverglasung, dass ein Temperaturgradient von außen nach innen gemessen wird. Außen ist es stets kälter als an der Originalverglasung. So wurden in Waldenburg an der Innenseite der Originalverglasung Werte von bis zu -4,5°C gemessen bei Außentemperaturen von etwa -10°C. Das Zusammenwirken von Temperatur und relativer Luftfeuchtigkeit kann zu Schädigungsprozessen durch Eis- oder Kondenswasserbildung auf bemalten Glasoberflächen führen. Die Höhe der relativen Luftfeuchtigkeit hat einen Einfluss auf die Entstehung von Feuchtigkeitsfilmen auf Materialoberflächen und damit einhergehende Diffusionsprozesse, die einen Ionenaustausch in oberflächennahen Bereichen bewirken und als Beginn einer Korrosion auch bei Gläsern beobachtet werden. Daher sollte die relative Luftfeuchtigkeit an den Originalen 80 % nicht überschreiten. Dieser Idealwert wird allerdings an keinem der untersuchten Fenster dauerhaft eingehalten. Die im Jahresverlauf am häufigsten gemessenen Werte lagen zwischen 70 und 80 % r. F., bis zu einem Drittel der Messzeit jedoch auch zwischen 80 und 90 % r. F. an der Originalverglasung. Nur selten wurden auch Werte knapp über 90 % gemessen, so dass eine Tauwasserbildung ausgeschlossen werden kann. An der Außenschutzverglasung hingegen wurden an Pos. 3 und 4 Maximalwerte der relativen Luftfeuchtigkeit bis zu 100 % registriert. Insbesondere am Südfenster in Niedersteine wurde ablaufendes Kondenswasser an der Innenseite der Außenschutzverglasung beobachtet. Ohne Schutzverglasung würde die hohe Luftfeuchtigkeit der äußeren Umgebungsbedingungen und auch Niederschläge direkt auf die Außenseite der Originalverglasung einwirken.

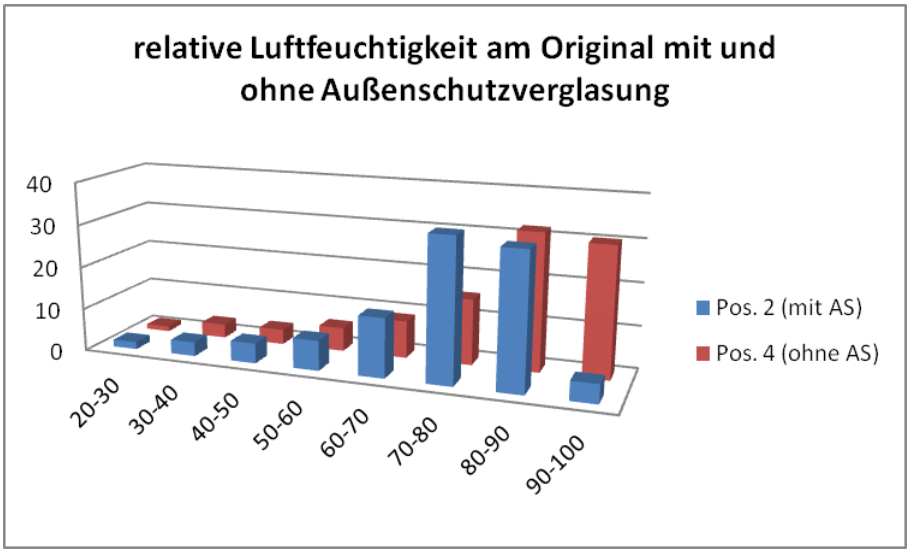

Bild 4: Pfarrkirche Niedersteine; Häufigkeit in % der Messzeit von Bereichen der relativen Luftfeuchtigkeit am Feld sV1, Pos. 2 (mit AS), Pos. 4 (ohne AS)

Der Nutzen der Außenschutzverglasung hinsichtlich der Verbesserung der relativen Luftfeuchtigkeitswerte lässt sich ermitteln, wenn man die Bereiche der gemessenen relativen Luftfeuchtigkeit über einen Jahresverlauf auf der Außenseite der Außenschutzverglasung (Pos. 4) mit denen auf der Außenseite des Originals (Pos. 2) vergleicht.

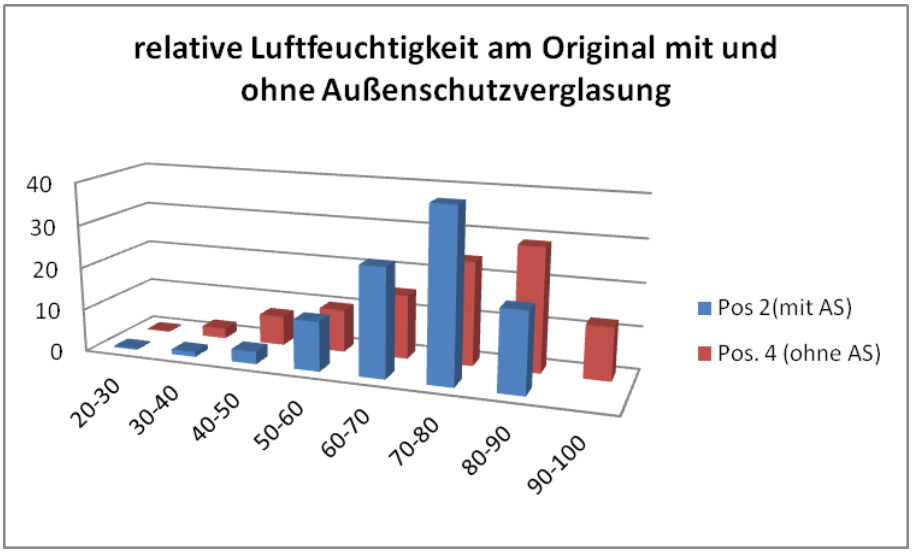

Bild 5: Pfarrkirche Waldenburg, Häufigkeit in % der Messzeit von Bereichen der relativen Luftfeuchte am Feld nXI1b

Der Wirksamkeit der Außenschutzverglasung liegt eindeutig darin, dass Bereiche hoher relativer Luftfeuchtigkeit (90-100 %) an Pos. 2 gar nicht mehr erreicht werden bzw. deutlich kürzer sind als ohne Schutzverglasung und damit Kondenswasserbildung auf den Originalen ausgeschlossen ist. Dieser Effekt konnte eindeutig mit Hilfe der durchgeführten Klimamessungen nachgewiesen werden.
Schadstoffmessungen mit Hilfe von Passivsammlern zeigen, dass eine gut funktionierende Außenschutzverglasung in der Lage ist, Umweltbelastungen durch Luftschadstoffe (SO_2, NO_x) von den Glasmalereien fern zu halten. Die hohen Schadstoffkonzentrationen im Außenbereich sind innen deutlich reduziert. In der Kombination mit einer geringeren Luftfeuchtigkeit im Vergleich zum Außenbereich ist das Schädigungspotential der Umgebungsbedingungen als deutlich geringer einzuschätzen als ohne Vorhandensein einer Schutzverglasung.

Durch den Einsatz von Glasdosimetern können komplexe korrosive Belastungen an Baudenkmälern bzw. Objektteilen ortsspezifisch und quantitativ erfasst werden /2/. Glasdosimeter sind seit Jahrzehnten in der Denkmalpflege etabliert und können dort eingesetzt werden, wo eine vergleichende Bewertung komplexer Umgebungsbelastungen im Hinblick auf die Verwitterung von Gläsern gefragt ist, so dass frühzeitig auch Maßnahmen zu ihrer Erhaltung ergriffen werden können. Das Wirkungsprinzip beruht darauf, dass

Veränderungen an empfindlichen Glasoberflächen infolge ihrer Exposition mit Hilfe der IR-Spektroskopie qualitativ und quantitativ erfasst werden können. Durch die Messung vor und nach der Exposition wird im Bereich der Bande bei 3350 cm^{-1} die Extinktionsdifferenz (ΔE-Wert) bestimmt, die ein Maß für das zu erwartende Schädigungspotential der komplexen Umgebungsbedingungen darstellt. Je größer der ΔE-Wert ist, umso höher ist das Schädigungspotential zu bewerten.

Die Glasdosimeter wurden vom Fraunhofer-Institut für Silicatforschung Würzburg, Außenstelle Bronnbach hergestellt und ausgewertet. Ihre Exposition erfolgte in Waldenburg am Fenster nXII und in Niedersteine an den restaurierten Fenstern nV und sV. Für die Untersuchungen wurden Glasdosimeter des Typs MI eingesetzt und über einen Zeitraum von 12 Monaten exponiert. Sie wurden an der Glasinnenseite (Original-Pos.1, an der Außenseite der Originalverglasung (Pos. 2) sowie an der Außenseite der Schutzverglasung (Pos. 4) befestigt. Die Exposition erfolgte von Dezember 2012 bis Dezember 2013.

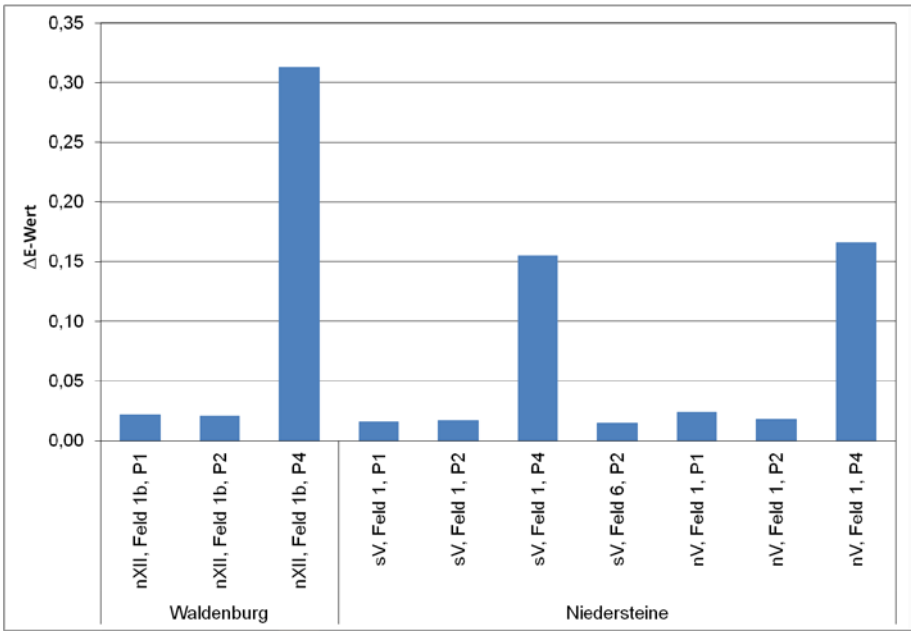

Bild 6: Ergebnisse der Glasdosimeterstudie an Außenschutzverglasungen

Die Untersuchungen zeigen, dass die Glasdosimeter sehr sensitiv auf Umwelteinflüsse reagieren und signifikante Daten zur Bewertung des Schädigungspotentials liefern. Die fachgerechte Installation einer Außenschutzverglasung führt in allen untersuchten Fällen zu besseren Umgebungsbedingungen für die Glasmalereifenster.

Zusammenfassung

Die Wirksamkeit der Außenschutzverglasung liegt eindeutig darin, dass Bereiche hoher relativer Luftfeuchtigkeit (90-100 %) an der Außen- und Innenseite der Originalverglasung nahezu nicht mehr auftreten und damit Kondenswasserbildung auf den Originalen ausgeschlossen ist. Chemische Korrosionsprozesse, zu denen bei den Glasmalereien dieser drei Kirchen vor allem die Malschichten neigen sind nur zu befürchten, wenn bei hoher Luftfeuchte gleichzeitig eine starke Belastung durch saure Luftschadstoffe gegeben ist. Die Schadstoffmessungen zeigen, dass eine gut funktionierende Außenschutzverglasung in der Lage ist, Umweltbelastungen durch Luftschadstoffe (NO_x, SO_2) von den Glasmalereien fern zu halten. Die hohen Schadstoffkonzentrationen im Außenbereich sind im Kircheninneren deutlich geringer. Durch den Einsatz von Glasdosimetern konnten komplexe korrosive Umwelteinwirkungen ortsspezifisch und quantitativ erfasst werden. Die Dosimeter an den Innenseiten der Originale wiesen sowohl IR-spektroskopisch als auch mikroskopisch nur Anzeichen einer sehr geringen Belastung auf, die der Außenseite hingegen zeigten schon eine deutliche Glaskorrosion.
Mit Hilfe von Außenschutzverglasungen ist es möglich Verluste an wertvollem Kulturgut zu vermeiden und es nachhaltig für die Zukunft zu sanieren. Modellprogramme dieser Art geben durch sachgemäße naturwissenschaftliche Untersuchungen und beispielgebende praktische Ausführungen einen Anreiz zur Fortführung der begonnenen Sanierungsmaßnahmen.

Das Gesamtprojekt wurde durch die Deutsch-Polnische Stiftung Kulturpflege und Denkmalschutz in Görlitz als Maßnahmenträger mit Mitteln der Deutschen Bundesregierung, der Deutschen Bundesstiftung Umwelt in Osnabrück und der Erika Simon Stiftung, Rinteln ermöglicht.

Literatur:

/1/ Stefan Oidtman; „Die Schutzverglasung eine wirksame Schutzmaßnahme gegen die Korrosion an wertvollen Glasmalereien“ Verlag M. Brimberg, Aachen, 1994

/2/ VDI 3955 Blatt 2 „Exposition von Glassensoren“, 1993