

Was leisten Lichtschutzsysteme in der Praxis?

Verschiedene Lösungsansätze und Ergebnisse im Langzeittest

Thomas Löther

An vielen Denkmälern und Museen ist in den letzten Jahren zu beobachten, dass bei Baumaßnahmen, an denen die Fenster aufgearbeitet bzw. erneuert werden, auch dem Thema eines verbesserten zeitgemäßen Lichtschutzes eine wichtige Rolle zugesprochen wird. Diese Verbesserung wird immer häufiger konstruktiv direkt in die Glasebene gelegt. Je nach Anforderung werden definierte Anteile der UV- und / oder IR-Strahlung des Sonnenlichtes reduziert.

Aus architektonischer Sicht stellen diese Funktionsgläser und -folien eine wunderbare Möglichkeit dar, einen gewissen Lichtschutz zu gewährleisten und auf weitere Lichtschutzsysteme nahezu ganz zu verzichten. Der Besucher kann wieder ungehindert ins Freie schauen. Für Planer, Architekten und Nutzer klingt dies sehr verlockend: eine Kommunikation zwischen Museumsraum und Außenwelt und trotzdem ein Schutz vor schädigenden Lichtbestandteilen.

Ist dies wirklich so? Verschiedene Untersuchungen in Objekten mit solchen Funktionsgläsern zeigen auf, dass ein gewisser Anteil schädigender Lichtbestandteile trotzdem noch vorhanden ist. Sollte man daher nicht doch bei der Planung auf die bewährten historischen Lichtschutzsysteme zurückgreifen? In dieser Veröffentlichung werden aktuelle Messungen aus Sachsen vorgestellt und Überlegungen zum weiteren Vorgehen abgeleitet.

What do light protection systems achieve in practice? Different approaches and results in long-term tests

In many monuments and museums, it has been observed in recent years that during construction work on which the windows are being refurbished or renewed, the issue of improved "contemporary" light protection is also assigned an important role. This improvement is increasingly being placed directly in the glass plane. Depending on the requirements, defined portions of the UV and / or IR radiation of the sunlight are reduced.

From an architectural point of view, these functional glasses and films are a wonderful way to provide a certain level of light protection while virtually eliminating the need for other light control systems. The visitor can once again look outside without hindrance. This sounds very tempting for planners, architects and users: communication between the museum space and the outside world and yet protection from harmful light components.

Is this really the case? Various investigations in objects with such functional glasses show that a certain proportion of harmful light components is still present. Shouldn't one therefore fall back on the tried and tested historical light protection systems? In this publication, current measurements from Saxony are presented and thoughts on how to proceed further are derived.

Einführung

Dem Thema Lichtschutz wird schon viele Jahre in Museen und Ausstellungen in historischen Gebäuden eine große Bedeutung zugewiesen.¹ Dieser Lichtschutz erfolgte in den zurückliegenden Jahrzehnten vor allem durch Verschattungs-

maßnahmen im Bereich der Fenster wie z. B. durch Vorhänge oder durch Verdunklung durch Klappläden oder Jalousien (Abb. 1–3).²

Lichtempfindliche Exponate und historisches Interieur wurden sorgfältig ausgewählt und möglichst nicht in Fensternähe präsentiert. Ein gewisser Lichtschutz wird durch Stoffbahnen

1

Albrechtsburg Meißen, Verdunklung der Maßwerkfenster durch Folien zur Sonderausstellung „Dom – Schatz – Glaube“ im Jahr 2017





2
Dorfkirche Altmügeln, historische Aufnahme des Innenraums mit erkennbaren Vorhängen im Chorraum



4
Kamenz, Klosterkirche St. Annen mit dem integrierten Sakralmuseum, Blick auf eine Wandvitrine mit geschlossenen Schubläden und lichthemmenden Klapptüren

oder Hussen in ungenutzten Jahreszeiten erreicht. Vitrinen für sehr empfindliche Exponate erhalten heute in vielen Ausstellungen Lichtschutzmaßnahmen in Form von beweglichen Lichtschutzelementen. Diese Bauformen können als „stan-

dardisiert“ bezeichnet werden (Abb. 4).³ Es gilt, den Einfall von direktem Tageslicht von Objekten möglichst gering zu halten. Allein oder in Verbindung mit anderen Umweltfaktoren (Temperatur, Feuchtigkeit, Verschmutzung, Erschütterung usw.) führt Licht bei einer Vielzahl von Werkstoffen zum Verblässen, zu Verfärbung und Versprödung. Ein solcher Schaden ist kumulativ und unumkehrbar: Keine Konservierungsbehandlung kann eine durch Licht veränderte Farbe oder die Festigkeit eines durch Licht beschädigten Werkstoffes wiederherstellen.⁴



3
Schloss Pillnitz, Neues Palais, Blick auf den Küchenflügel mit teilweise geschlossenen innenliegenden Holzklappläden im Sommer 2020



5
Kamenz, Klosterkirche St. Annen mit dem integrierten Sakralmuseum, Blick in den Kirchenraum mit textilen Behängen vor den Fenstern im Kirchenschiff und im Chorraum



6
Meerane, Stadtkirche St. Martin, Blick in den Chorraum mit textilen Behängen zur Reduzierung des Tageslichtes

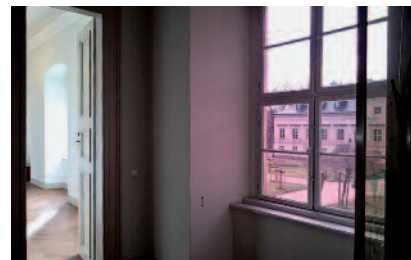
In einigen mitteldeutschen Baudenkmälern wurden in den letzten Jahren spezielle Textilien zur Reduzierung des direkten Lichteinfalls installiert, zum einen, um schädigende UV-Strahlung zu reduzieren, aber auch, um eine definierte Dämpfung des Tageslichtes (bis 100 %) in hellen Räumen zu erreichen (Abb. 5 und 6). Auf eine hohe materialbedingte Lichtbeständigkeit dieser Materialien ist jedoch zu achten. Hier bieten sich spezielle Textilien für den Sonnenschutz in Jalousien an. Viele historische bauliche Lichtschutzmaßnahmen wurden jedoch in den zurückliegenden Jahrzehnten immer weniger eingesetzt und wurden wohl auch nicht mehr als notwendig angesehen. Holzklappläden dienen in vielen Schlössern nur noch als architektonische Zutat, ohne ihre Funktion noch zu nutzen. Doch gerade im Winter mit seiner tief stehenden Sonne stellen diese Lichtschutzmaßnahmen einen wichtigen Aspekt bei der Frage zum angepassten Lichtschutz und zur Raumklimastabilisierung dar. Und auch in Kirchen finden sich noch Elemente zur Aufnahme textiler Lichtschutzvorhänge vor allem im Chorraum, die jedoch nicht mehr genutzt werden (Abb. 7). Dem Lichtschutz in historischen Gebäuden wird immer noch eine eher untergeordnete Rolle zugeschrieben. Viele Kunstwerke werden daher immer noch einer zu hohen direkten Belastung an UV-, Global- und IR-Strahlung ausgesetzt.⁵ Oft werden als ausreichender Schutz einfache Stoffvorhänge angesehen oder nachträglich aufgebrachte UV-Schutzfolien (Abb. 8). Eine Messung der tatsächlich vorhandenen UV-, Global- und IR-Strahlung hinter einem Lichtschutzsystem und deren Schädigung auf ein Objekt erfolgt derzeit noch viel zu selten.

Im denkmalpflegerischen Bereich ist in der Praxis eine gewisse Gleichgültigkeit gegenüber Lichtschutzfragen zu bemerken, während in Museen das Thema „UV-Schutz“ seit vielen



7
Rossau Dorfkirche, historische Befestigungselemente in den Fensterlaibungen zur Anbringung von Lichtschutzelementen (siehe hierzu auch Abb. 2)

Jahren weit ernster genommen wird (Abb. 9).⁶ Allgemein bekannt ist, dass das UV-Licht zu erheblichen Schäden an empfindlichen Ausstattungsstücken wie Leinwandgemälden, Textilien, Kunststoffen und Tafelbildern führt. Des Weiteren ist aber auch die Bestrahlungsstärke der Globalstrahlung und der IR-Strahlung als Schädigungsphänomen nicht zu unterschätzen. An einigen Denkmälern und Museen in historischen Gebäuden ist in den letzten Jahren jedoch zu beobachten, dass bei Baumaßnahmen, bei denen die Fenster aufgearbeitet bzw. erneuert werden, auch dem Thema eines verbesserten zeitgemäßen Lichtschutzes eine wichtige Rolle zugeordnet wird. Diese Verbesserung wird immer häufiger konstruktiv direkt



9
Schloss Pillnitz, Neues Palais, Sonnenschutzfolien, die durch ihre Farbigkeit den Raumeindruck verändern

8
Schloss Weesenstein, Ledertapetensaal, einfache Stoffvorhänge vor historischer Raumausstattung und Figurine, die diesen Vorhang öffnet

in die Glasebene gelegt, entweder durch Folien oder durch spezielle Funktionsgläser mit einem fest verbundenen Lichtschutzsystem auf der Glasscheibe oder zwischen zwei Glasscheiben. Reduziert werden – je nach Anforderung – definierte Anteile der UV- und/oder IR-Strahlung des einfallenden Sonnenlichtes. Je nach Hersteller können diese Reduzierungen unterschiedlich stark ausfallen.⁷ Eine definierte Zielvorgabe für solche Funktionsgläser gibt es derzeit aber noch nicht.

Aus architektonischer Sicht stellen diese Funktionsgläser und Schutzfolien eine wunderbare Möglichkeit dar, einen gewissen Lichtschuttfaktor zu gewährleisten und auf weitere Lichtschutzsysteme wie Rollos, Jalousien, Klappläden oder Vorhänge zu verzichten bzw. diese so weit wie möglich zu reduzieren. Der Besucher kann wieder ungehindert ins Freie schauen oder auch von außen die Raumstrukturen, vor allem bei einer Beleuchtung im Winter, erahnen. Für Planer, Architekten und Nutzer klingt dies sehr verlockend.

Ist dies wirklich so? Verschiedene Untersuchungen des IDK⁸ in Objekten mit solchen Funktionsgläsern und Schutzfolien zeigen, dass trotz der Verwendung von Lichtschutzsystemen deutliche Verfärbungen an textilen Teststreifen (Blue Wool Standards) bereits nach einem Vierteljahr auftreten. Die erfassten Messwerte zeigen oft eine UV-Reduzierung von 90 % bis 99 % und eine IR-Reduzierung von bis zu 80 % auf.⁹ Sind dies tolerierbare Werte bzw. was sind akzeptable/ausreichende Zielwerte für UV- und IR-Werte, die durch Fenster in einen Raum gelangen dürfen? Oder sollte man nicht doch bei der Planung parallel auf die bewährten historischen Lichtschutzsysteme zurückgreifen? Und sind die veränderten Fassadenansichten durch die teilweise dunkleren bzw. leicht spiegelnden Glasscheiben tolerierbar? Diese Fragen gilt es in Zukunft zu bearbeiten.

Begriffe und Messtechnik

Das IDK hat sich zur Aufgabe gemacht, praxisnahe, objektbezogene Untersuchungen zum Thema „Licht-Schutzsysteme“, Funktionsgläser, Funktionsfolien und Lichtschutztextilien durchzuführen und eine Art Beispielsammlung anzulegen. Mit den durchgeführten Messungen können sowohl Lichtschutzmaßnahmen bewertet, als auch Vorzustandsmessungen durchgeführt werden, aus denen sich die Notwendigkeit bestimmter Schutzziele ableiten lässt.

Bemessen werden durch spezielle Sensoren der Firma Ahlborn Mess- und Regelungstechnik GmbH folgende Messgrößen:¹⁰ **UVA-Strahlung (UVA-Strahlung in W/m², Wellenlängenbereich: 310 nm bis 400 nm):**

Die langwellige UV-Strahlung erreicht nahezu ungefiltert die Erdoberfläche, bräunt die menschliche Haut und stärkt das Immunsystem.

10
Görlitz, Weinhübel, Messung der Lichtbestandteile bei einer Untersuchung durch unterschiedliche Messsensoren



11 a, b
Colditz, Schlosskapelle, Altarbild
mit geschädigten Bereichen im
eingebauten Zustand (links) und
im Vorzustand der Restaurierung
(rechts)



UVB-Strahlung (UVB-Strahlung in W/m^2 , Wellenlängenbereich: 265 nm bis 315 nm):

Der kurzwellige UV-Bereich kann irreversible Schäden hervorrufen. In der Empfehlung der CIE (DIN 5050) sind alle spektralen Wirkungsfunktionen zusammengefasst, die sich ungünstig auf die menschliche Haut auswirken können.

Globalstrahlung (Globalstrahlung in W/m^2 , Wellenlängenbereich: 400 nm bis 1100 nm):

Die Globalstrahlung ist eine in der Umweltforschung wichtige Messgröße und stellt die gesamte auf die Erdoberfläche auftreffende diffuse und direkte Sonnenstrahlung dar. Die Messung umfasst das Sonnenspektrum im sichtbaren und kurzwelligen IR-Bereich.

Infrarotstrahlung (IR-Strahlung in W/m^2 , Wellenlängenbereich: 800 nm bis 1100 nm):

Infrarotstrahlung, auch IR-Strahlung, ist in der Physik eine elektromagnetische Strahlung im Spektralbereich zwischen sichtbarem Licht und der längerwelligen Terahertzstrahlung.

Lambdastrahlung (Lichtstärke in Lux bzw. kLux, Wellenlängenbereich: 380 nm bis 720 nm):

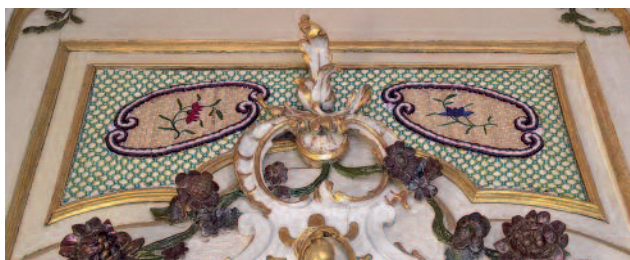
Als V-Lambdastrahlung (Beleuchtungsstärke) wird der Spektralbereich des sichtbaren Lichtes bezeichnet. Er entspricht der Empfindlichkeit des menschlichen Auges. Der gemessene Wert ist ein Maß für die empfundene Helligkeit. Der Wellenlängenbereich erstreckt sich vom Ende des UV-Bereiches bei 400 nm bis zum Anfang des IR-Bereiches bei 720 nm mit dem Maximum bei 555 nm.

Der Messtakt der Datenaufzeichnung an den Messpunkten bei einer Tagesmessung an und in einem Untersuchungsobjekt beträgt in der Regel 5 Sekunden und es werden über einen Zeitraum von mehreren Minuten das einfallende Licht gemessen und danach die Messdaten gemittelt. Diese Messungen erfolgen nahezu zeitgleich im Außen- und Innenbereich, um somit einen Vergleich der einzelnen Lichtbestandteile an den jeweiligen Messpunkten ermöglichen zu können. Bei Vergleichsmessungen erfolgt die Messung ohne eine Schutzmaßnahme und danach mit der Schutzmaßnahme (Abb. 10).

Bei einem längerfristigen Monitoring des einfallenden Lichtes beträgt der Messtakt in der Regel 15 Minuten.

Schadbilder

Das Sonnenlicht wirkt bekanntlich mit verschiedenen Wellenlängen im sichtbaren und unsichtbaren Bereich. Während das nicht sichtbare UV-Licht aggressiv und zellschädigend ist, wirkt das ebenfalls unsichtbare Infrarot-Licht auf der anderen Seite des Lichtspektrums erwärmend. Dazwischen liegt der Bereich des sichtbaren Lichtes, das ebenfalls seine Wirkung auf organische Materialien entfaltet und dessen Stärke in Lux gemessen wird. Je niedriger die Luxzahl, desto besser sind die Chancen zum Erhalt empfindlicher organischer Stoffe. Das hat natürlich Grenzen, weil man schließlich Kunstwerke auch sehen möchte und nicht alle historischen Räume verdunkeln kann. So werden im musealen Bereich gern 200 Lux als durchaus zuträgliche Grenze angesehen und Beleuchtungen so organisiert, dass möglichst energiearmes, kaltes Licht erst dann aufleuchtet, wenn es für Besu-



12 a, b
Fasanenschlösschen, Schloss Moritzburg,
vom Tageslicht ausgebleichte originale
Strohtapete (oben) und ihre farbige neu-
zeitliche Kopie (unten)

cher angezeigt ist. In Kirchen und Schlössern sind solche Lichtinszenierungen aber nur schwer umsetzbar.¹¹

Unberücksichtigt blieb bei der Betrachtung bislang häufig die Infrarotstrahlung (Wärmestrahlung). Bei der Restaurierung der Cranach-Tafel im Schloss Augustusburg zeigten sich erhebliche Temperaturunterschiede innerhalb der Malschicht,

sobald diese sonnenbeschienen war. Am Altarbild in der Schlosskapelle von Schloss Colditz (Abb. 11) heizten sich ebenso die dunklen Partien weit stärker auf, woraus erhebliche Spannungen auf Grund der Ausdehnungskoeffizienten resultierten.¹² Dies erklärt Schadensbilder auf der lichtzugewandten Seite, die sich in Form von einer starken Craquelé-bildung darstellten. Hinzu kam natürlich die zerstörerische Wirkung des UV-Lichts, das neben Pigmenten und Farbstoffen auch Auswirkungen auf die organischen Bindemittel haben kann. Im Fasanenschlösschen von Schloss Moritzburg zeigte sich dies in erheblichen Farbverlusten an Holzintarsien in den Strohtapeten (Abb. 12).

Beispiele und Messergebnisse

Im folgenden Absatz werden durchgeführte Messungen des IDK und deren Ergebnisse zum Thema Lichtschutz an UV-Schutzfolien und Funktionsgläsern vorgestellt. Ziel dieser Untersuchungen war es, erfolgte Lichtschutzmaßnahmen zu bewerten oder Vorschläge für zukünftige Maßnahmen abzuleiten. Bemessen wurden UV-Schutzfolien, UV-Schutzgläser und kombinierte UV+IR-Schutzgläser.

Fasanenschlösschen Moritzburg

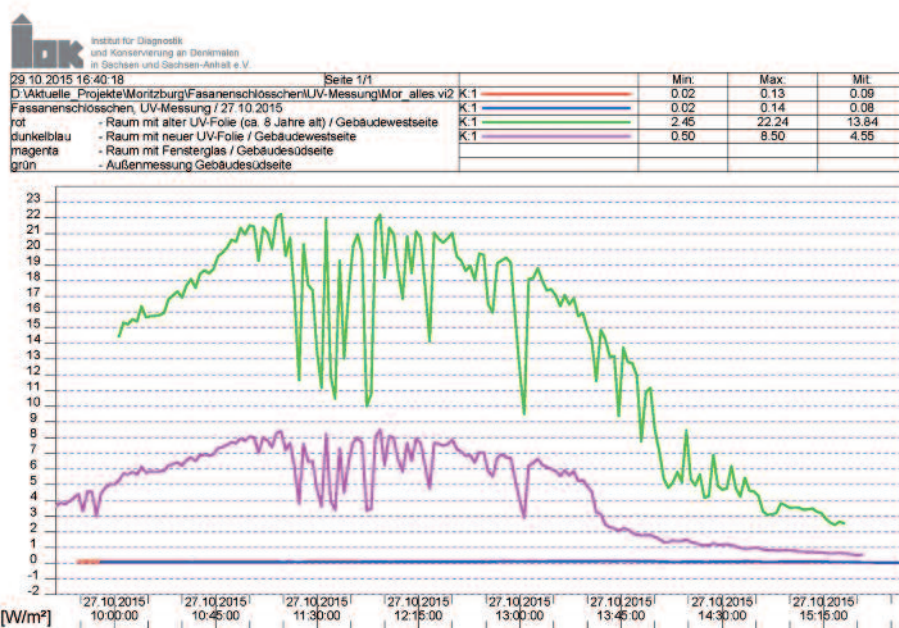
Bei auf Gläsern aufgetragenen oder vorgehangenen UV-Schutzfolien steht eine Behauptung zur Haltbarkeit dieser Folien im Raum, welche besagt, dass eine Schutzwirkung nach ca. 10 Jahren deutlich nachlässt.¹³ Dies kann zwar nicht

13
Fasanenschlösschen, Schloss
Moritzburg, Messaufbau zur
Bestimmung der vorhandenen
UV-Schutzwirkung einer Folie



14

Fasanenschlösschen, Schloss Moritzburg, Tagesmessung der UV-Strahlung an vier Messpunkten über einen Zeitraum von 9:30 Uhr bis 15:30 Uhr an einem sonnigen Tag
rot – Raum mit alter UV-Folie (ca. 8 Jahre alt) / Gebäudewestseite
dunkelblau – Raum mit neuer UV-Folie / Gebäudewestseite
magenta – Raum mit Fensterglas / Gebäudesüdseite
grün – Außenmessung Gebäudesüdseite



mit Literaturquellen belegt werden, jedoch werden diese 10 Jahre Haltbarkeit immer wieder genannt. Im Fasanenschlösschen in Moritzburg konnten vorgehangene UV-Schutzfolien unterschiedlichen Alters bemessen werden.¹⁴ Es konnten Folien mit einer über achtjährigen Hängung (die UV-Schutzfolien wurden als Rollosystem installiert) und neue Folien parallel untersucht werden (Abb. 13). Dazu erfolgte noch eine Messung hinter einer historischen Flachglasscheibe und bei direktem Sonnenlicht im Außenbereich.

Anhand der Abbildung 14 kann man an den parallel erfassten Messdaten die noch sehr hohe Wirksamkeit der älteren UV-Schutzfolien¹⁵ erkennen, die nach über acht Jahren freier Hängung noch eine nahezu 99 % Schutzwirkung aufweisen (Abb. 14). In einer weiteren Untersuchung im Schloss Rammenau konnten an aufgetragenen UV-Schutzfolien auf Flachglasscheiben diese Ergebnisse bestätigt werden.¹⁶ Auch nach einer fast 10-jährigen Aufbringung konnte kaum eine Alterung der UV-Schutzfolien festgestellt werden. Hierzu sollten jedoch regelmäßige weitere Untersuchungen fortgeführt werden.

Unbedingt zu beachten sind die Reinigungshinweise der Folienhersteller, um eine Schädigung der empfindlichen Folienoberfläche durch eine falsche Reinigung zu verhindern.

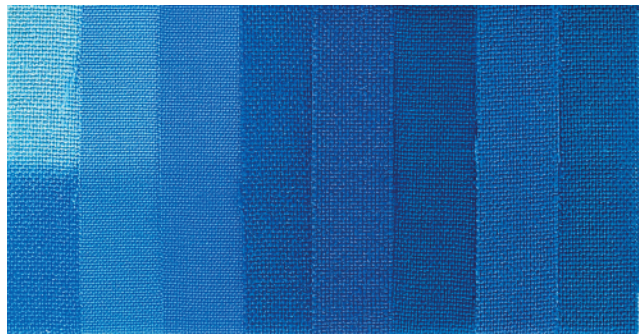
Schloss Nossen

Vor Beginn der Restaurierung des Südflügels von Schloss Nossen war es möglich, über einen längeren Zeitraum verschiedene Musterfensterkonstruktionen der südlichen Fensterfront mit Funktionsgläsern verschiedener Hersteller auf ihre UV-Reduzierung und ihre optische Wirkung zu testen (Abb. 15). Die unterschiedlichen Verbundfensterkonstruktionen wurden vom Landesamt für Denkmalpflege Sachsen (LfDS) und der PaX AG, einem Fenster- und Türenhersteller, entwickelt. Gemeinsam mit dem Staatsbetrieb Sächsisches Immobilien- und Baumanagement (SIB) wurden für die zukünftige, museale Nutzung und eine denkmalpflegerische Zielstellung auch die Optik und ein möglicher Sonnenschutz bedacht. Hierzu wurden die Konstruktion der Rahmen angepasst und das Thema eines UV-Schutzes in Form verschiedener UV-Schutzgläser aufgegriffen. Der Zeitraum für die Erfassung der Messdaten begann im Februar 2016 und endete im August 2017. In diesem Zeitraum wurden alle 15 Minuten Messdaten zum Raumklima und zur UV-Belastung hinter den Musterfenstern erfasst.

Zur Bestimmung der UV-Schutzwirkung wurden an allen Musterfenstern und an einem Bestandsfenster jeweils die einfallende UV-Strahlung und das Raumklima erfasst. Außerdem erfolgte die Auslegung eines sogenannten Blaumaßstabs (BLUE WOOL REFERENCE STANDARDS von SDC Enterprises Limited). An diesem kann recht einfach nach einer längeren, direkten Bestrahlung eine Farbveränderung abgelesen und einem Schadpotential zugeordnet werden.¹⁷ Verglichen wurde jeweils die einfallende UV-Strahlung der neuen Fenster in Bezug auf ein Bestandsfenster als Verbundfensterkonstruktion mit herkömmlicher Verglasung.



15
Schloss Nossen, Südflügel, Blick auf die südliche Außenfassade mit Musterfenstern im Erdgeschoss



16
Blaumaßstab aus Raum 008 von einem Musterfenster mit UV-Schutz (Typ Verbundfenster, Außenscheibe: Restover + PVB Folie, Innenscheibe: Isolierglas), Belastungszeitraum Februar 2016 bis August 2017

Die Messwerte wurden im Zeittakt von 10 Minuten automatisch erfasst. In Tabelle 1 werden die Messwerte aus dem Zeitraum vom Februar 2016 bis zum August 2017 vorgestellt (Tab. 1). Die erfassten Messdaten können auch untereinander bewertet werden. Dazu erfolgte die Ermittlung der prozentualen Reduzierung von erfassten UV-Werten im Vergleich zu dem Bestandsfenster ohne einen UV-Schutz.

Im Rahmen der regelmäßigen Überprüfung der Messtechnik erfolgten Fotoaufnahmen der Blaumaßstäbe zur Dokumentation von Farbveränderungen als Folge der Lichteinwirkung. Um einen Vergleich mit dem Ausgangszustand des Blaumaßstabes bestmöglich zu gewährleisten, wurde der Blaumaßstab während des Messzeitraumes halbseitig mit Aluminiumfolie abgedeckt. Die Blaumaßstäbe zeigten nach dem Testzeitraum durch die Belichtung an allen Messpunkten Ausbleicheffekte. In Abbildung 16 wird ein Blaumaßstab nach Abschluss der Untersuchungen vorgestellt (Abb. 16).

Die Ergebnisse an den Blaumaßstäben zeigten, dass auch bei einer UV-Schutzverglasung der Fenster durch die eindringenden Sonnenstrahlen des Tageslichtes empfindliche Mate-

Raum Fenstertyp und UV-Schutz	UVA-Strahlung (310–400 nm) Summe	UVA-Strahlung (310–400 nm) Maximalwert	UVA-Strahlung (310–400 nm) Durchschnitt	Reduzierung um:
Raum 005 Bestandsfenster ohne UV-Schutz, Verbundfenster	5565 W/m ²	14,7 W/m ²	0,10 W/m ²	Ausgangs- datensatz
Raum 006 Musterfenster ohne UV-Schutz, normales Isolierglasfenster	650 W/m ²	0,18 W/m ²	0,01 W/m ²	88 %
Raum 008 Musterfenster mit UV-Schutz, Verbundfenster Außenscheibe: Restover + PVB Folie Innenscheibe: Isolierglas	11,5 W/m ²	0,10 W/m ²	0,00 W/m ²	99 %
Raum 009 Musterfenster ohne UV-Schutz, Verbundfenster Außenscheibe: Restover light Innenscheibe: Isolierglas	3956 W/m ²	10,12 W/m ²	0,06 W/m ²	29 %
Raum 010 Musterfenster mit UV-Schutz, Verbundfenster Außenscheibe: Restover light + PVB Folie Innenscheibe: K-Glas	53,5 W/m ²	0,12 W/m ²	0,00 W/m ²	99 %
Raum 012 Musterfenster mit UV-Schutz, Verbundfenster Außenscheibe: Lambert restauro UV Innenscheibe: K-Glas	498 W/m ²	0,07 W/m ²	0,01 W/m ²	91 %

Tab. 1
Schloss Nossen, Südflügel, Messwerte an Musterfenstern aus dem Zeitraum vom Februar 2016 bis zum August 2017 nach
ca. 12696 Stunden bzw. 529 Tagen

rialien oder Pigmente schon nach einem Vierteljahr erste Veränderungen zeigten. Hier sind vor allem Blaupigmente, empfindliche Textilien (Seide) oder Kunststoffe gemeint. Für ausreichenden Lichtschutz werden zusätzliche Sonnenschutzmaßnahmen im Bereich der Fenster empfohlen. Anhand des Beispiels Schloss Nossen lässt sich aber auch gut aufzeigen, wie die Industrie in den letzten Jahren das Thema des Lichtschutzes in Funktionsgläsern aufgegriffen und weitergeführt hat. Mittlerweile gibt es kombinierte UV- und IR-Schutzgläser in einer Glasverbundkonstruktion. Hier besteht der Wunsch, diese Gläser in Nossen in einigen Musterfenstern noch testen zu können.

Görlitz - Weinhübel, Evangelische Versöhnungskirche

In dieser kleinen Dorfkirche sind innenliegende Sonnenschutzgläser an drei Fenstern im Chorraum und im Kirchenschiff mit einem UV- und IR-Schutz angebracht worden (Abb. 17). Ziel war es, den direkten Sonneneinfall auf Oberflächen des Altars und der Kanzel zu reduzieren. Bei der Planung der Gläser wurde darauf Wert gelegt, dass sich der Raumeindruck nicht zu sehr ändert, also die Farbigkeit der Schutzgläser nicht zu störend empfunden wird und die nicht geschützten Fensterflächen farbig zu hell gegenüberstehen. Diese Bewer-

tung erfolgte anhand von kleineren Musterscheiben vor Ort. Die erzielten Messwerte der Voruntersuchung ohne Schutzgläser und der Nachuntersuchung mit innenliegenden Schutzgläsern sind in Tabelle 2 abzulesen (Tab. 2).¹⁸

17
Görlitz-Weinhübel, Evangelische Versöhnungskirche, Blick in den Kirchenraum mit den drei Fenstern, die eine innenliegende UV- und IR-Schutzverglasung erhalten haben



Messung \ Einheit	UVA [W/m ²]	UVB [W/m ²]	Globalstr. [W/m ²]	IR [W/m ²]	Lux	kLux
Messung vor Chorfenster innen Voruntersuchung	2,05	0,000	—	66,1	14.431	14,43
Messung vor Chorfenster innen Nachuntersuchung	0,01	0,000	60,0	13,5	15.583	15,58

Tab. 2

Görlitz-Weinhübel, Evangelische Versöhnungskirche, Messwerte der Voruntersuchung ohne Schutzgläser und der Nachuntersuchung mit innenliegenden Schutzgläsern

Es ergeben sich durch die innere Schutzverglasung Reduzierungen bei den Lichtbestandteilen von:

- UVA 99,5 %
- UVB 0 % (da es bereits bei der Voruntersuchung glasbedingt keine Belastung gab)
- Globalstrahlung bei der Voruntersuchung nicht gemessen
- IR 79,6 %

Für die Lux-Zahl wurde eine solche Reduzierung nicht ermittelt, da die verwendeten Schutzgläser nur eine kaum wahrnehmbare Reduzierung im sichtbaren Lichtbereich erreichten.

Anhand der durchgeführten Lichtmessungen kann festgestellt werden, dass die eingebauten inneren Schutzverglasungen eine hohe Lichtschutzfunktion im Bereich der UV- und IR-Belastung haben.

Aus aktuellen Erfahrungen von Lichtmessungen an anderen Objekten muss jedoch darauf hingewiesen werden, dass nicht nur die Lichtbestandteile UV-Strahlung und IR-Strahlung eine schädigende Wirkung auf empfindliche Oberflächen ausüben. Auch dem sichtbaren Licht muss ein gewisser Schädigungsgrad zugeschrieben werden, der messtechnisch in der Nachuntersuchung auch festgestellt wurde (siehe hierzu

Messwerte der Globalstrahlung in Tabelle 2). Es wurde festgestellt, dass helle Funktionsgläser, die den Raumeindruck nicht verdunkeln (Abb. 18), weiterhin einen schädigenden Eintrag liefern. Die schädigende Belastung daraus kann jedoch nicht benannt werden. Zur weiteren Reduzierung kann nur auf altbekannte Verdunklungsmaßnahmen wie Vorhänge oder andere Verdunklungsmethoden verwiesen werden. Im Folgenden werden noch zwei aktuelle Objekte vorgestellt, bei denen neu entwickelte UV- und IR-Schutzgläser modellhaft als Musterlösung eingebaut wurden. Da diese aktuellen Messungen noch nicht abgeschlossen und bewertet wurden, können nur erste Anmerkungen dazu gemacht werden.

Schloss Augustusburg

Durch neue Fragestellungen zum Lichtschutz in der Schlosskapelle Augustusburg konnte eine 8 mm starke VSG-Scheibe vom Glashersteller Schott mit integrierter IR- und UV-Schutzfolie musterhaft an einem Fenster montiert werden (Abb. 19).¹⁹ In der Durchsicht wirkte die Eigenfarbe des Glases nicht störend, da das historische Glas, als „Wald-Glas“ bezeichnet, ebenfalls leicht grün war und das menschliche

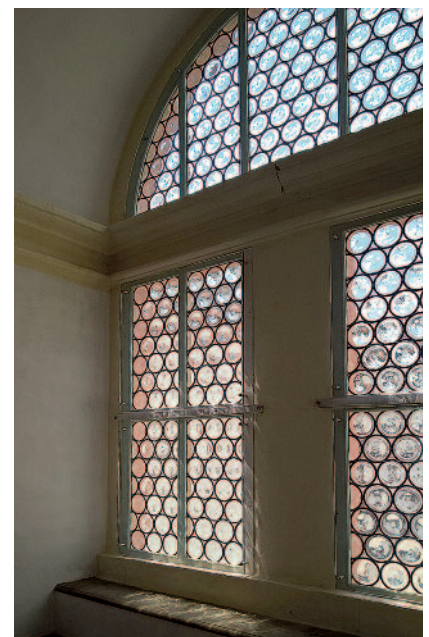
18

Görlitz-Weinhübel, Evangelische Versöhnungskirche, Blick in den Chorraum mit den lichtschutztechnisch aufgewerteten Fenstern



19

Schloss Augustusburg, Schlosskapelle mit innenliegender UV- und IR-Schutzverglasung



Auge leichte Farbdifferenzen kompensiert und nur im direkten Vergleich bemerkt. Bei der zum Einsatz gekommenen VSG-Scheibe war die Glasoberfläche leicht bewegt. Die Glaselemente wurden mit Abstandhaltern innen vorgesetzt. Bei einer nachfolgenden Bewertung wurde die Eigenfarbe als keinesfalls störend empfunden.

Die auf ein Jahr angelegten messtechnischen Erfassungen²⁰ der Lichtbestandteile (UV, Globalstrahlung, IR, Lux) werden an zwei benachbarten Fenstern erfasst, zum einen am Fenster mit dem innenliegenden Schutzglas und zum anderen an einem Fenster ohne eine Schutzverglasung. Erste Ergebnisse zeigen bei dieser innenliegenden Schutzverglasung eine sehr hohe Reduzierung bei der UV- und IR-Strahlung.²¹ Die Globalstrahlung wird jedoch auch hier nur minimal reduziert und stellt weiterhin eine Belastung für die von der Sonne beschienenen Oberflächen dar.

Diese bauliche Lösung bedeutet jedoch für einen historischen Raum nur einen minimalen Eingriff in die Bausubstanz und wirkt weder von innen noch von außen störend.

Radebeul, Kurfürstliches Lusthaus Hoflößnitz

Das Lusthaus besteht aus einem massiven Untergeschoss mit einem Fachwerkobergeschoss. Im Inneren des Fachwerkobergeschosses befinden sich fünf komplett ausgemalte Räume mit bemalten Holzdecken (Abb. 20). Durch die dünne Fachwerkkonstruktion stellten die beiden letzten sehr warmen und trockenen Jahre eine erhebliche, raumklimatische Belastung dar. Im Obergeschoss des Lusthauses werden daher verschiedene Konstruktionen von Funktionsgläsern durch das IDK messtechnisch begleitet, um die Auswirkung eines gezielten IR-Schutzes zu ermitteln.



21

Radebeul, Kurfürstliches Lusthaus Hoflößnitz, Blick auf zwei Musterfenster, die mit unterschiedlichen Funktionsgläsern in den einzelnen Fensterflügeln ausgestattet wurden. Erkennbar ist auch die Messtechnik zur Erfassung von Temperaturwerten an den einzelnen Musterscheiben.

Zu berücksichtigen war, dass der Licht- und Wärmeschutz, anders als gemeinhin praktiziert, nicht der Energieeinsparung im Winter dient. Die Hoflößnitz ist unbeheizt und im Winterhalbjahr ist das Museum geschlossen. Vielmehr dienen die behutsamen Veränderungen an den Bestandsfenstern dem Verzicht auf eine preisintensive Kühlung und ebenso dem Verzicht auf eine denkmalpflegerisch und bauklimatisch kaum sinnvoll einzuordnende Klimaanlage. Es wurden grundsätzlich die im energiebewussten Fensterbau üblichen Kon-

20

Kurfürstliches Lusthaus Hoflößnitz, Blick in den Festsaal im Obergeschoss



22

Eine Auswahl unterschiedlicher Lichtschutzgläser mit einem UV-Schutz oder einem kombinierten UV- und IR-Schutz



strukturen, wie Kastenfenster, Verbundfenster und Isolierglasfenster bis hin zu Vorsatzfenstern berücksichtigt. Neben diesen Konstruktionen sollten verschiedene Gläser getestet werden, die sich in der Effizienz der Absorption schädigender Lichtbestandteile, der Optik, Verarbeitbarkeit und letztlich auch im Preis unterscheiden.

Neben den bauklimatischen und lichtschutztechnischen Messungen muss ein weiteres Monitoring erfolgen. Dazu zählt die Kontrolle auf mögliches Schimmelwachstum. Ebenso muss eine Kontrolle auf humantoxische Schadstoffe vorgenommen werden. Durch frühere umfangreiche Holzschutzmaßnahmen ist das Objekt stark belastet. Aktuelle Messungen belegen, dass die Raumluftwerte in den Museumsräumen tolerabel sind. Durch eine zweite Glasebene wird der natürliche Luftwechsel durch die bisherigen historischen, „undichten“ Fensterkonstruktionen reduziert und Schadstoffe werden nicht so schnell abgeführt. Eine durchgeführte Messung des natürlichen Luftwechsels im Festsaal ergab einen Luftwechsel pro Stunde von ca. 1,3.²² Dieser Wert würde sich durch dichtere Fensterkonstruktionen deutlich verringern. Insgesamt konnten in mehreren Bestandsfenstern 10 unterschiedlich konstruierte Fensterflügel mit Schutzgläsern eingesetzt werden. Auch in zwei der neu gebauten Musterfenster wurden zusätzliche Schutzgläser integriert. An allen einzelnen Schutzgläsern (UV- und/oder IR-Schutzgläser) werden auf der Innenseite Lufttemperaturwerte und Oberflächentemperaturwerte über einen Jahreszeitraum erfasst (Abb. 21). An sonnigen Tagen werden dazu noch Einzelmessungen zu den Lichtbestandteilen UVA, UVB, Globalstrahlung, IR, Lux durchgeführt und ein Datenblatt für jedes Fenster und jedes Glas erarbeitet.

Fazit und Ausblick

Das Thema der Funktionsgläser im Denkmal ist noch recht jung. Folgende Erkenntnisse und Fragen konnten aus den

oben genannten Untersuchungsobjekten abgeleitet werden: Auch ältere UV-Schutzfolien erreichen einen hohen UV-Schutz. Um eine Abnahme der Wirkung zu beurteilen, müssten jedoch regelmäßige Messungen an den verbauten Folien durchgeführt werden. Dies ist zeitlich und organisatorisch nicht aufwendig und sollte bei Folien mit einem Alter von 10 Jahren circa alle zwei Jahre durchgeführt werden.

Eine ausreichende Schutzwirkung für den UV- und IR-Bereich kann durch die Nutzung von Funktionsgläsern erreicht werden. Hier sind jedoch die zum Teil recht großen Glasstärken und die unterschiedlichen Farbtönungen durch die verwendeten Gläser und Schutzfolien zu beachten.

Für den Globalstrahlungsbereich kann noch keine akzeptable Reduzierung festgestellt werden. Hier sind die derzeitigen, „normalen“ Verbund-/Funktionsgläser zu hell. Eine Reduzierung der Globalstrahlung würde nur durch den Einsatz von dunkleren Glasscheiben erreicht werden. Dies wird jedoch im Denkmalsbereich nicht ohne weiteres möglich sein.

Derzeit sind bei Funktionsgläsern herstellungsbedingt sehr viele unterschiedliche Farbtöne erhältlich (Abb. 22).

Aktuell kann noch keine Aussage über die Langlebigkeit der Verbund- und Funktionsgläser gemacht werden. Beispiele von Entlaminierungen von Verbundgläsern sind in der Praxis bekannt. Diese Fälle sollten untersucht werden, um genauere Erkenntnisse zu den Ursachen zu gewinnen.

Die Außenwirkung von Funktionsgläsern muss vorab getestet werden, um störende Veränderungen durch zu dunkle oder farbige Gläser an der historischen Fassade zu vermeiden (Abb. 23 und Abb. 24).

Zu den durchgeführten Untersuchungen kann zum Abschluss noch auf diese Anmerkung aus der DIN CEN/TS 16163²³ verwiesen werden:

„Der photochemische Effekt (aus Licht) ist kumulativ und steht in engem Verhältnis zu der gesamten Strahlung, die vom Exponat absorbiert wird. Unter gewöhnlichen Museumsbedingungen ist der rein photochemische Effekt auf



23
Radebeul, Kurfürstliches Lusthaus Hoflößnitz, Blick auf die Musterfenster mit ihren unterschiedlich wirkenden Glasfarben



24
Dresden, Residenzschloss, Georgenbau, links Installation von Mustergläsern mit hoher Lichtschutzwirkung, rechts historisches Flachglas der Bestandsfenster

Exponate das Ergebnis der Gesamtbelichtung. Mit anderen Worten: wichtig ist der kumulative Effekt, der auf ein Exponat während seiner Lebensdauer einwirkt. Um die Gesamteinwirkung von Licht auf ein Exponat zu beurteilen, muss die jährliche Belichtung betrachtet werden (ausgedrückt als $lx \cdot h$ je Jahr).“

Dieser Hinweis soll noch einmal verdeutlichen, dass nicht nur die UV-Strahlung als Schadpotential betrachtet werden sollte. Vielmehr ist die gesamte Beleuchtung aus Tageslicht und künstlicher Beleuchtung in die Betrachtung der präventiven Konservierung einzubeziehen.

Dipl.-Ing. (FH) Thomas Löther
wissenschaftlicher Mitarbeiter
IDK e.V.
Schloßplatz 1
01067 Dresden
loether@idk-denkmal.de

Anmerkungen

- 1 HILBERT ET AL. 1996
- 2 LÖTHER 2012 (2) und LÖTHER ET AL. 2013
- 3 LÖTHER 2015 (1)
- 4 DIN CEN/TS 2014
- 5 HILBERT ET AL. 1996
- 6 HILBERT ET AL. 1996
- 7 LÖTHER 2020 (2)
- 8 Institut für Diagnostik und Konservierung an Denkmälern in Sachsen und Sachsen-Anhalt e.V. (IDK)
- 9 LÖTHER 2017 (3); LÖTHER 2017 (1)
- 10 Angaben zu den Sensoren aus ALMEMO® 2020
- 11 EISBEIN/LÖTHER 2019
- 12 LÖTHER 2017 (2)
- 13 Technisches Datenblatt zu einer UV-Schutzfolie Typ e-Lite 70, Spezialfolienbau Machold, Dresden, Garantiedauer bei einer senkrechten Verlegung: 7 Jahre, www.sonnenschutzfolie.de/ zuletzt aufgerufen am 11.01.2021
- 14 LÖTHER 2015 (2)
- 15 Angaben zur UV-Schutzfolie Typ e-Lite 70: Reduktion des UV-Anteils um 99,9 %
- 16 LÖTHER 2020 (4)
- 17 LÖTHER 2017 (3)
- 18 LÖTHER 2020 (1)
- 19 LÖTHER 2020 (3)
- 20 Die Lichtbestandteile wurden mit Hilfe von Sensoren der Firma Ahlborn Messtechnik GmbH in einem 15-minütigen Zeitintervall erfasst.

- 21 Die Messdaten deuten auf eine nahezu 100%ige Reduzierung der UV-Strahlung und eine Reduzierung der IR-Strahlung von 60–70 %.
- 22 LÖTHER 2012 (1)
- 23 DIN CEN/TS 2014

Literatur

- ALMEMO® 2020: ALMEMO® Handbuch für alle ALMEMO® Messgeräte und Sensoren, Ausgabe 1/2020, Herausgeber AHLBORN Mess- und Regelungstechnik GmbH, <https://www.ahlborn.com/download/Handbuch/de/Hb2020.pdf>, zuletzt aufgerufen am 10.01.2020
- DIN 2014: DIN-Taschenbuch 409, Erhaltung des kulturellen Erbes, Berlin 2014
- DIN CEN/TS 2014: DIN CEN/TS 16163, DIN SPEC 11524:2014-07, Erhaltung des kulturellen Erbes – Leitlinien und Verfahren für die Auswahl geeigneter Beleuchtung für Innenausstellungen, deutsche Fassung CEN/TS 16163:2014
- EISBEIN/LÖTHER 2019: Manfred Eisbein, Thomas Löther, Lichtschutz für Kunst- und Kulturgut im denkmalpflegerischen Bereich in Zeiten des Klimawandels. In: Denkmalpflege in Sachsen, Jahrbuch 2019, Mitteilungen des Landesamtes für Denkmalpflege Sachsen, Dresden 2020, S. 140–148
- HILBERT ET AL. 1996: Günter S. Hilbert, Barbara Fischer, Klaus Bleker, Sammlungsgut in Sicherheit: Beleuchtung und Lichtschutz, Klimatisierung, Sicherungstechnik, Brandschutz, Berliner Schriften zur Museumskunde, Band 1, Berlin 1996
- LÖTHER 2012 (1): Thomas Löther, Bericht DD 30/2012, Radebeul, Lust- und Berghaus – Hoflößnitz, Raumklimauntersuchung – 3. Zwischenbericht, Bestimmung des Luftwechsels zwischen Raumluft Festsaal und Außenluft, 2012
- LÖTHER 2012 (2): Thomas Löther, unveröffentlichter Abschlussbericht DD 50/2012, Schloss Wildenfels, Blauer Salon, Raumklimauntersuchung, 2012
- LÖTHER 2015 (1): Thomas Löther, unveröffentlichter Bericht DD 50/2015, Kamenz, Klosterkirche St. Annen, Raumklimauntersuchung, 2015
- LÖTHER 2015 (2): Thomas Löther, unveröffentlichte Untersuchung 2015, Diagramme zur UV-Messung, Fasanenschlösschen, 2015

- LÖTHER 2017 (1): Thomas Löther, unveröffentlichter Bericht DD 07/2017, Augustusburg, Cranach-Altar, Kartierung des Lichteinfalls auf den Cranach-Altar und die Kanzel in der Schlosskapelle von Schloss Augustusburg, 2017
- LÖTHER 2017 (2): Thomas Löther, unveröffentlichter Abschlussbericht DD 32/2017, Schloss Colditz, Schlosskirche, raumklimatische Untersuchungen, 2017
- LÖTHER 2017 (3): Thomas Löther, unveröffentlichter Bericht DD 59/2017, Schloss Nossen, Südflügel, UV-Messung an Musterfenstern, 2017
- LÖTHER 2020 (1): Thomas Löther, unveröffentlichter Bericht DD 15/2020, Görlitz-Weinhübel, Evangelische Versöhnungskirche, Lichtmessungen zum UV- und IR-Anteil neuer Schutzgläser, 2020
- LÖTHER 2020 (2): Thomas Löther, unveröffentlichter Bericht DD 79/2020, Pillnitz, Neues Palais, Küchengang, Erfassung von Lichtbestandteilen und Bewertung von innenliegenden Sonnenschutzgläsern, 2020
- LÖTHER 2020 (3): Thomas Löther, unveröffentlichter Bericht DD 84/2020, Schloss Augustusburg, Schlosskapelle, Lichtmessung 2019–2020, 2020
- LÖTHER 2020 (4): Thomas Löther, unveröffentlichter Bericht DD 85/2020, Schloss Rammenau, Erdgeschoss und Chinesisches Zimmer, raumklimatische Untersuchungen, Lichtmessungen an UV-Schutzfolien, 2020
- LÖTHER/EISBEIN 2019: Thomas Löther, Manfred Eisbein, Ergebnisse der Langzeitbetreuung am Cranachaltar auf Schloss Augustusburg zum Thema der präventiven Konservierung. In: Arbeitshefte des Landesamtes für Denkmalpflege und Archäologischen Landesmuseums, Nr. 55, Entwicklungen in der präventiven Konservierung – Schützen, Pflegen und Erhalten, 2019, S. 50–60
- LÖTHER ET AL. 2013: Thomas Löther, Olaf Freytag, Christian Schaufel, Nachträgliche Verbesserung von Kirchenfenstern durch Einsatz von Stoffbahnen. In: Denkmalpflege in Sachsen, Jahrbuch 2013, Mitteilungen des Landesamtes für Denkmalpflege Sachsen, Dresden 2013, S. 125–130

Abbildungsnachweis

- Abb. 1, 3–11a, 12–14, 16–24: Thomas Löther, IDK
- Abb. 2, 11b, 15: Fotoarchiv des Landesamts für Denkmalpflege Sachsen