

Schutzverglasungen.

Ein Leitfaden für die Erhaltung von Glasmalereien
und historischen Fenstern



Sophie Wolf

unter Mitwirkung von Ernst Baumann, Karim Ghazi Wakili, Bruno Binder
und Stephan Carl und in Zusammenarbeit mit Mitgliedern des Schweizerischen
Fachverbands für Glasmalerei

Kontext. Thema und Ziel des Leitfadens

Die Mehrheit der etwa 5000 Kirchen und viele andere Gebäude in der Schweiz sind mit Glasmalereien und kunstvollen Blei- oder Betonverglasungen ausgestattet – ein wertvolles und fragiles Kulturgut. Die Glasgestaltungen haben meistens eine doppelte Funktion: Sie sind Kunstwerke und Fenster zugleich. Dadurch erfüllen sie auch bauliche Zwecke und sind somit besonders gefährdet. Zusätzliche Verglasungen können die Werke schützen und in ihrer strukturellen und klimatischen Rolle als Fensterverschluss entlasten. Im Zuge der Bestrebungen, die Wärmeenergieverluste in historischen Bauten zu senken, sollen Schutzverglasungen zunehmend auch wärmeisolierend wirken. Der Einbau isolierverglaster Schutzfenster ist jedoch nicht immer zielführend und birgt auch Risiken.

Der vorliegende Leitfaden, der sich weitgehend auf die Ergebnisse eines Forschungsprojekts des Vitrocentre Romont stützt, gibt einerseits einen Überblick über verschiedene Schutzverglasungstypen und erläutert ihre Funktion und Wirkungsweise sowie die Vor- und Nachteile der Systeme. Andererseits widmet er sich der Frage, wie sich Schutzverglasungen mit Isolierglas auf die Senkung des Heizenergieverbrauchs in Kirchen auswirken. An einem Fallbeispiel wird vorgerechnet, wie viel Heizenergie durch den Einbau von wärmeisolierenden Schutzverglasungen eingespart werden kann und wie hoch das Einsparpotenzial bei Änderung des Heizkonzepts ist. Eine Checkliste und praktische Informationen bilden den Abschluss dieser Broschüre.

Glasmalerei. Ein bedeutendes Kulturgut

Künstlerisch gestaltete Glasfenster und Glasmalereien zählen zu den wichtigsten Kulturgütern der Schweiz. Aus dem Mittelalter sind wertvolle Werke erhalten wie die Rose der Kathedrale von Lausanne, die Glasmalereien der Klosterkirche Königsfelden und die Chorfenster des Berner Münsters. In der Renaissance und Barockzeit waren kleinformatige Glasbilder sogar eines der wichtigsten identitätsstiftenden Bildmedien der alten Eidgenossenschaft. Überall schmückten bunte Scheiben mit Stifterwappen kirchliche, öffentliche und private Gebäude. Auch im 19. Jahrhundert und in der Jugendstilzeit entstanden zahlreiche bedeutende Werke aus Glas. Die Glasmalerei hat sich in der Gegenwartskunst in vielfältiger Weise weiterentwickelt und bis heute nicht an Bedeutung verloren.

Die Schweiz gehört zu den wenigen Ländern, in denen gleich mehrere Organisationen diese Kunstform lebendig halten und bewahren: Der Schweizerische Fachverband für Glasmalerei (SFG/APSv) garantiert die staatlich anerkannte Ausbildung zur Glasmalerin und zum Glasmaler EFZ mit Eidgenössischem Fähigkeitszeugnis. In Romont (FR) widmen sich zwei Institutionen der Dokumentation, Erforschung und Erschliessung dieser Kunstgattung: Die Glasmalerei ist einer der Sammlungsschwerpunkte des Vitromusée Romont und am Vitrocentre Romont, dem Schweizerischen Forschungszentrum für Glasmalerei und Glaskunst, wird das Glasmalereierbe der Schweiz systematisch erfasst und wissenschaftlich untersucht. Die Inventare und Forschungsergebnisse werden auf vitrosearch.ch online veröffentlicht und sind so frei zugänglich.



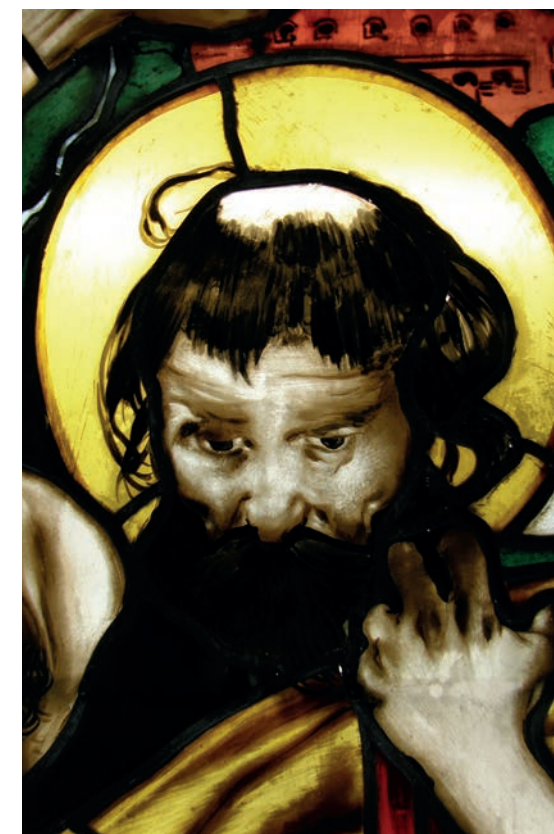
Pisces (Fische), Rundscheibe aus der Rose der Kathedrale von Lausanne (VD), 1. Hälfte 13. Jahrhundert.



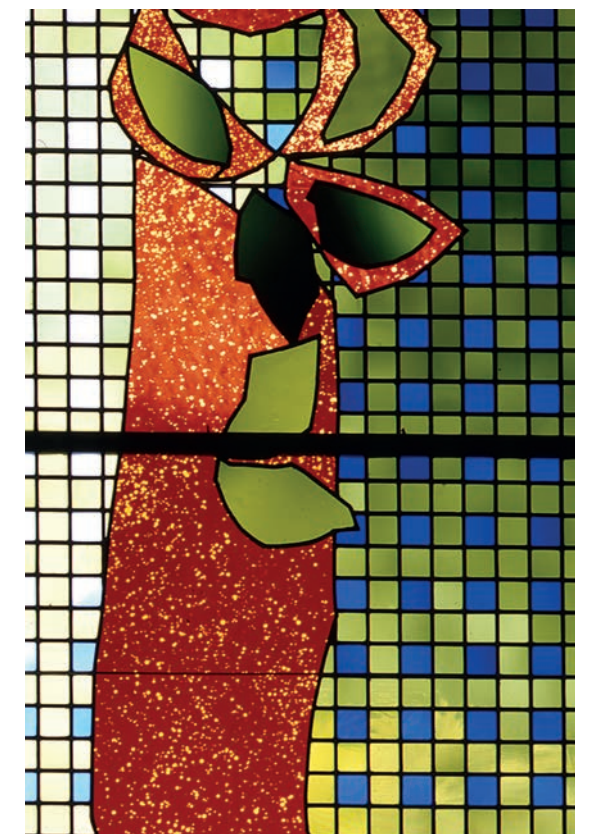
Detail der Wappenscheibe Erasmus von Hertenstein mit der Stadt Luzern, Kloster Muri (AG), Kreuzgang West (IIc), 1585. © Kantonale Denkmalpflege Aargau, Foto: Franz Jaeck.



Petrus, Glasmalerei in der paritätischen Kirche St. Martin in Basadingen (TG), 1894. Foto: Hans Fischer, Belgien.



Kopf Johannes des Täufers, Detail aus dem Apostelfenster von Józef Mehoffer, Kathedrale St. Nikolaus in Freiburg (FR), 1895–1896. Foto: Yves Eigenmann, Freiburg.



Detail der Glasmalerei von Brian Clarke im Chor der Abtei La Fille-Dieu in Romont (FR), 1996. © 2022, ProLitteris, Zürich, Foto: Jean Mülhauser, KUB Freiburg, Sammlung Johann und Jean Mülhauser.

Gefährdung und Erhaltung. Wirksame Massnahmen

Glasmalereien sind ein gefährdetes Kulturgut und stark geprägt von ihrer Doppelfunktion als Bildwerk und Bauteil. Neben den Umweltfaktoren, denen sie als Fenster ausgesetzt sind, hat auch ihre Materialität und Herstellungstechnik einen wesentlichen Einfluss auf ihre Erhaltung. Schwachpunkte von Glasmalereien können – ganz abgesehen von ihrer Zerbrechlichkeit – die instabile und wenig witterungsbeständige Zusammensetzung historischer Gläser oder auch Herstellungsmängel wie etwa schwach eingebrannte Schwarzlotbmalungen sein, beides Faktoren, welche die Werke besonders gegenüber langanhaltender Feuchte anfällig machen. Auch die Struktur- und Einbauelemente der Verglasungen – bestehend aus Blei, Stahl, armiertem Beton oder Holz – werden stark von Umwelteinflüssen beeinträchtigt.

Gute Klimabedingungen am Fenster und eine regelmässige Kontrolle und Wartung sind daher für die Erhaltung von Glasmalereien entschei-

dend. Zu vermeiden sind insbesondere häufige Kondensation auf den Glasoberflächen, starke Temperaturwechsel und hohe Luftfeuchtigkeit. Auch Hagel, Schlagregen und hoher Winddruck können die Werke beschädigen. Äussere Schutzverglasungen haben sich hier als wirkungsvolle präventive Konservierungsmassnahme erwiesen. Sie übernehmen die bautechnische Funktion des Fensters, bewahren die zerbrechlichen Werke vor mechanischer Beschädigung und schaffen in der Regel günstige klimatische Erhaltungsbedingungen. Selbst die Pflege und Restaurierung dieser Kulturgüter können sie erleichtern. Doch nicht alle Glasmalereien bedürfen einer Schutzverglasung! In vielen Fällen bieten vor dem Fenster angebrachte Gitter ausreichenden Schutz vor mechanischen Schäden, etwa durch Hagel oder Vandalismus. Seit dem Mittelalter geläufig, können Gitter eine nach wie vor wirksame und unauffällige Alternative zum gläsernen Schutzfenster sein.

Detail aus dem Masswerk des Chorfensters s II im Berner Münster von 1868; bis 2008 ohne Schutzverglasung. Zunahme von kondensationsbedingten Schäden an Bmalungen im Zeitraum zwischen 1997 (links) und 2008 (rechts). Fotos: Alexander Gempeler, Bern.



Schutzgitter vor dem Totentanzfenster im Berner Münster. Foto: Daniel Stettler, Bern.

Schutzverglasungen. Geschichte und Beobachtungen

Schutzverglasungen sind keine neue Erfindung. Schon zu Beginn des 20. Jahrhunderts wurden historische Verglasungen durch ein zusätzliches Vorfenster vor Witterung geschützt. Der Wiedereinbau der während des 2. Weltkriegs ausgelagerten Glasmalereien hat zur Entwicklung eines besonderen Schutzverglasungssystems geführt, bei dem die Kunstwerke aus Glas in den Innenraum versetzt und an ihrer Stelle das Schutzfenster eingebaut wird. Ein wichtiges Beispiel für diese von innen hinterlüftete Konstruktion ist die Schutzverglasung im Chor des Berner Münsters von 1947, offenbar eine der ersten dieser Art überhaupt. In jüngerer Zeit wurden Systeme entwickelt, die neben dem Schutz der Glasmalerei auch die Funktion der Wärmedämmung übernehmen. Dieser Umstand hat zur deutlichen Zunahme von Schutzverglasungen geführt.

Langjährige Beobachtungen haben bestätigt, dass sich der Einbau von Schutzverglasungen in der Regel günstig auf die Erhaltung von Glasmalereien auswirkt. Dies gilt insbesondere für das erwähnte von innen hinterlüftete System und für die schon früh verwendeten Vorfenster. Die neuen wärmedämmenden Systeme erweisen sich hingegen oft als problematisch: An vielen Orten zeigt sich, dass sich konservatorische, denkmalpflegerische und energetische Anforderungen nicht leicht miteinander vereinbaren lassen. Die notwendige und meist kostspielige Veränderung der Fensterkonstruktion kann die Glasmalereien gefährden, ihre Pflege und Wartung erschweren und sogar das Raumklima in historischen Gebäuden ungünstig beeinflussen. Die Langzeitbeobachtungen haben auch gezeigt, dass zahlreiche künstlerisch gestaltete Fenster, die nur durch Gitter geschützt sind, keine Schäden aufweisen und somit keinen zusätzlichen Schutz benötigen.



Die mittelalterlichen Glasmalereien im Chor des Berner Münsters, 1441–1455. Foto: Yves Eigenmann, Freiburg.

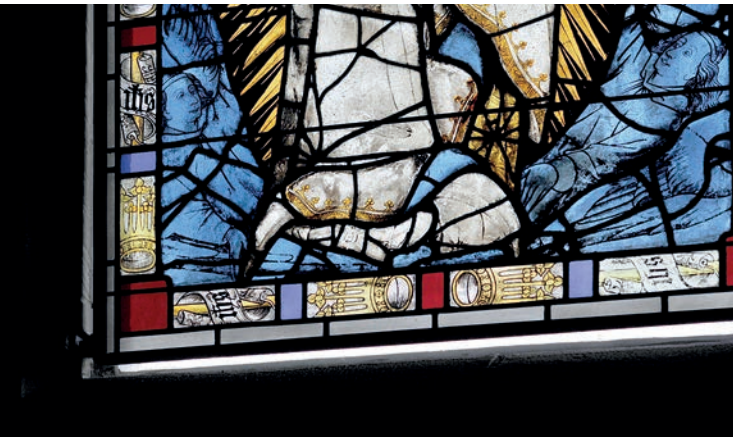


Aussenschutzverglasung mit 2-fach Isolierglas (oben); Schimmelbildung auf der inneren Wandfläche (unten), Kirche Rüti (ZH). Fotos: Stefan Trümpler, Romont.

Eine Ansichtssache. Schutzverglasungen im baulichen Kontext

Beim Einbau von Schutzverglasungen müssen nicht nur konservatorische, denkmalpflegerische und bauphysikalische Anforderungen, sondern auch ästhetische Kriterien berücksichtigt werden, denn der Schutz und Substanzerhalt des historischen Fensters ist ebenso wichtig wie die Integration der zusätzlichen Verglasung in das bauliche Umfeld. Folgende Fragen gilt es im Vorfeld zu beachten:

- Wird die ursprüngliche Einbausituation des historischen Fensters durch den Einbau der Schutzverglasung zerstört?
- Welche Auswirkung hat die Schutzverglasung auf das Raumklima und die Belüftung des Gebäudes?
- Besteht die Gefahr, dass durch den Einbau das Kondensationsrisiko auf die Wände verlagert wird?
- Beeinträchtigt die Schutzverglasung die Aussenansicht des Gebäudes?
- Verursachen die Lüftungsschlitze bei von innen hinterlüfteten Schutzverglasungen unerwünschten Lichteinfall?
- Wirken Rahmen und Befestigungselemente im Innenraum störend?



Störender Lichteinfall an einem nach innen vorgehängten Glasmalereifeld, Stiftskirche von Romont (FR).
Foto: Katrin Kaufmann, Romont.



Patiniertes Glas der Aussenschutzverglasung der Kathedrale von Chur (GR). Foto: Stefan Trümpler, Romont.



Spiegelnde Glasflächen der Aussenschutzverglasung am Chor des Fraumünsters Zürich (ZH).

Glasklar. Wahl des Fensterglases

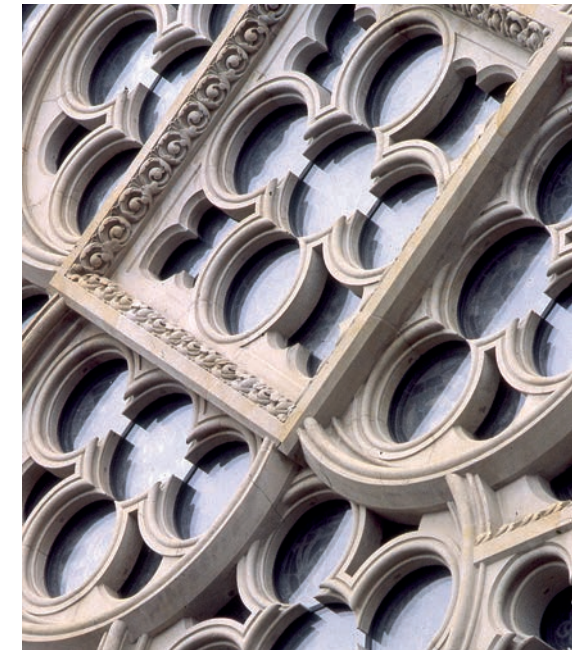
Die Wirkung von Schutzverglasungen auf die Aussenansicht von Gebäuden hängt stark von der Wahl des Fensterglases ab. Doch neben ästhetischen und denkmalpflegerischen Ansprüchen können auch die bauliche Situation und Sicherheitsbestimmungen bei der Auswahl des Glases entscheidend sein. Die Verwendung von mundgeblasenem «Antikglas» oder von Ziehglas, deren Oberfläche leicht bewegt ist und nur wenig spiegelt, kann die Integration ins bauliche Umfeld erleichtern. Für sehr unauffällige Lösungen können die Gläser von Schutzverglasungen durch thermische Überformung, Patinierung oder Oberflächenätzung an die historische Verglasung und die Architektur angepasst werden. Besondere Sicherheitsauflagen lassen sich durch den Einbau von gehärtetem Glas, Verbundsicher-

heitsglas oder auch Brandschutzglas erfüllen. Wenn der Schutz der Innenausstattung vor Infrarot- und UV-Strahlung im Vordergrund steht, sind Gläser mit entsprechenden Filtern eine Option. Seit einiger Zeit gibt es mundgeblasenes und gezogenes Fensterglas mit diesen spezifischen Eigenschaften.

Die Erfüllung mehrerer Ansprüche kann die Kombination mehrerer Glasarten erfordern. Dies führt jedoch unweigerlich zu einer Gewichtszunahme der Verglasung. Diese macht wiederum konstruktive Veränderungen notwendig und ist daher nicht immer unproblematisch. In den meisten Fällen lohnt es sich, die Glasauswahl durch eine Bemusterung an der Fassade zu testen.



Aussenschutzverglasung mit mundgeblasenem Antikglas, Stiftskirche von Romont (FR).
Foto: Stefan Trümpler, Romont.



Aussenschutzverglasung mit Floatglas, Rose der Kathedrale von Lausanne (VD). Foto: Stefan Trümpler, Romont.

Schutzverglasungssysteme. Eine Übersicht

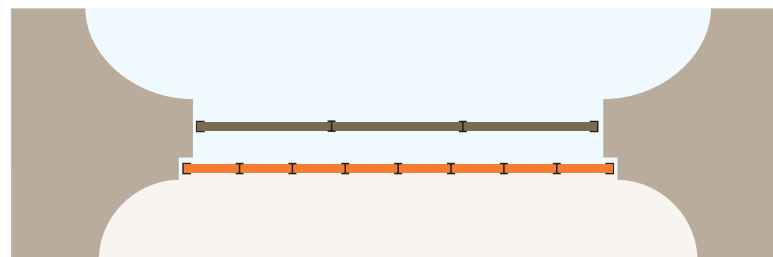
Es gibt Schutzverglasungen verschiedener Bauart und unterschiedlichen Aussehens. Die Wirksamkeit einer Schutzverglasung hängt im Wesentlichen von deren Hinterlüftung ab. Es erscheint daher sinnvoll, die verschiedenen Systeme nach deren Belüftungsprinzip zu unterteilen:

- A schwach hinterlüftete Systeme
- B von innen hinterlüftete Systeme
- C dichte Systeme
- D von aussen hinterlüftete Systeme



Vorfenster mit Metallrahmen, einfach verglast, leicht hinterlüftet. Kapuzinerkirche in Romont (FR), ca. 1950.

Schematische Darstellung einer leicht hinterlüfteten Aussenschutzverglasung. Glasmalerei im Fensterfalz (orange), Aussenschutzverglasung in der äusseren Laibung (grau).



Vorfenster mit filigran unterteilter Holzrahmung, einfach verglast, leicht hinterlüftet. Chor der Kirche St. Laurentius in Frauenfeld-Oberkirch (TG), ca. 1900.



Detail der Innenseite des mittelalterlichen Chorfensters von St. Laurentius, ca. 1320. Das ausgebaute Glasmalereifeld gibt den Blick auf das Schutzgitter und die äussere Schutzverglasung frei.

A Schwach hinterlüftet. Vorfenster

Einfache Vorfenster werden getrennt vom Glasmalereifenster in der äusseren Fensterlaibung angebracht. Der Abstand zur Glasmalerei kann sehr unterschiedlich sein. Vorfenster dieser Art waren bis in die Mitte des letzten Jahrhunderts häufig. Eine Hinterlüftung war bei den älteren Systemen in den meisten Fällen nicht vorgesehen, jedoch ist der Zwischenraum wegen undichter Anschlüsse zwischen Rahmen und Laibung oftmals schwach von aussen belüftet. Für einen vorteilhaften Luftaustausch sorgen zudem die leicht durchlässigen Verbleiungen der Glasmalereien.

Frühe Beispiele haben profilierte Holzrahmen oder Rahmen aus dünnen Metallprofilen; die Fenster sind teils durch Sprossen feingliedrig unterteilt. Nicht selten enthalten sie noch mundgeblasenes oder gezogenes Glas, das sich wegen seiner unregelmässigen Oberfläche vorteilhaft in die Aussenansicht der Bauwerke einfügt und der historischen Schutzverglasung zusätzlichen denkmalpflegerischen Wert verleiht. Oftmals lassen sich über Öffnungsflügel in beiden Fensterebenen der Fensterzwischenraum und das Gebäudeinnere lüften.

Die Wirksamkeit und die historische Bedeutung alter Vorfenster sollte nicht unterschätzt werden. Messungen haben gezeigt, dass das Luftpolster im Zwischenraum isolierend wirkt und die leichte Undichtigkeit gute Erhaltungsbedingungen für die Glasmalerei schafft. Da Kondensation auf der Glasmaleroberfläche jedoch nicht ganz ausgeschlossen werden kann, sind regelmässige Kontrollen unabdingbar.

Vorteile

- Gute klimatische Erhaltungsbedingungen für die historische Verglasung: keine Benetzung / kein Regen auf der Aussenseite der Glasmalerei, geringeres Kondensationsrisiko auf der Innenseite
- Erhaltung der historischen Einbausituation
- Kein Ausbau der Glasmalereien notwendig: Geringes Beschädigungsrisiko
- Einfache Wartung und Restaurierung, da Schutzverglasung und Glasmalerei konstruktiv voneinander unabhängig sind
- Belüftung der Kirche über bestehende Lüftungsflügel möglich
- Reduktion der Wärmeverluste über die Fenster
- Lange Lebensdauer bei Einfachverglasung, kürzere bei Isolierverglasung
- In der Regel einfachste und günstigste Variante

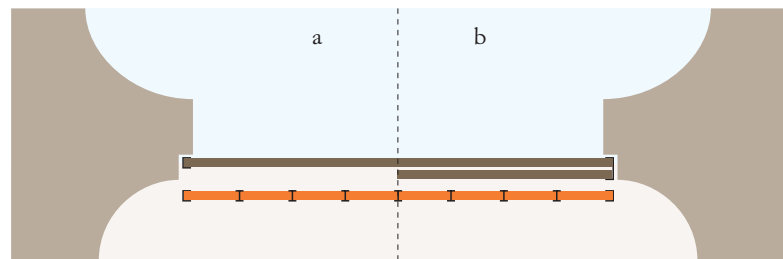
Nachteile

- Für feinprofilierte Fenster mittelalterlichen Typs weniger geeignet
- Je nach Wahl der Gläser und der Konstruktionsart von aussen gut sichtbar

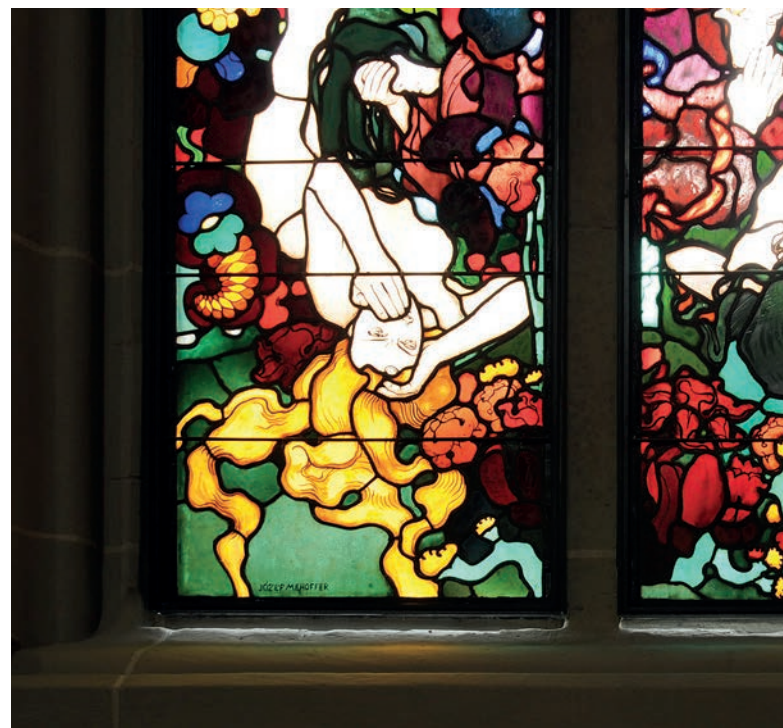


Aussenschutzverglasung mit 2-fach Isolierglas, von innen hinterlüftet. Kathedrale St. Nikolaus in Freiburg (FR). Foto: Stefan Trümpler, Romont.

Schematische Darstellung einer von innen hinterlüfteten Aussenschutzverglasung. Vorgehängte Glasmalerei (orange), Schutzverglasung im Fensterfalz (grau). Mit Einfachverglasung (a); mit 2-fach Isolierglas (b).



Konstruktionsdetail der Aussenschutzverglasung der Kathedrale St. Nikolaus in Freiburg (FR). Foto: Stefan Trümpler, Romont.



Gerahmte und nach innen vorgehängte Felder der Glasmalerei von Józef Mehoffer, Kathedrale St. Nikolaus in Freiburg (FR). Foto: Stefan Trümpler, Romont.

B Von innen hinterlüftet. «Isothermale» Schutzverglasung

Das künstlerisch gestaltete Fenster wird ausgebaut, die einzelnen Felder werden gerahmt und einige Zentimeter nach innen versetzt. Im Fensterfalz wird stattdessen die Schutzverglasung eingebaut. Die historischen Einbauelemente (Quer- und Windeisen, etc.) können erhalten werden. Die Verglasung ist gegen aussen dicht; der Zwischenraum zwischen der Glasmalerei und dem Schutzfenster wird über Lüftungsschlitze vom Innerraum her belüftet. Damit stellt sich im Umfeld der Glasmalerei ein ähnliches Klima wie im Innenraum ein, deshalb der Begriff «isothermal». Die klimatischen Bedingungen an den Glasmalereien werden jedoch durch die Ausrichtung der Fenster, die Grösse und Lage der Belüftungsöffnungen sowie die Tiefe des Zwischenraums wesentlich beeinflusst. So können an nach Süden orientierten Fenstern die Lufttemperatur und die Oberflächentemperatur der Glasgemälde hinter den Schutzverglasungen stark ansteigen, während sich an Nordfenstern im Zwischenraum Mittelwerte zwischen Aussen- und Innentemperatur einstellen.

Beobachtungen und Messungen der letzten Jahrzehnte haben gezeigt, dass solche Schutzverglasungen trotz dieser Einschränkungen wirksam sind und die Erhaltungsbedingungen von Glasmalereien erheblich verbessern. Je nach Art der Verglasung – einfach oder doppelt – sind jedoch Unterschiede feststellbar: Im Falle einer Einfachverglasung kondensiert die Luftfeuchte bei Unterschreitung des Taupunkts auf der Innenseite des Schutzglases; das ablaufende Schwitzwasser kann in einer Schwitzwasserrinne aufgefangen und abgeleitet werden. Bei Verwendung von Mehrscheibenisolierverglasung verringert sich das Risiko von Kondensationsfeuchte auf dem Schutzfenster, die Kondensationsfeuchte sammelt sich nun jedoch vermehrt auf den kühleren Fensterlaibungen, Rahmungen und Wandteilen, was zu Feuchteschäden führen kann. Zudem macht die beschränkte Lebensdauer von Isoliergläsern nach ein paar Jahrzehnten einen Vollersatz der Schutzverglasung notwendig.

Aufgrund der hohen Kosten wie auch der technischen, konservatorischen und baulichen Herausforderungen ist dieses Systems hauptsächlich bei stark gefährdeten und besonders empfindlichen Glasmalereien zu empfehlen. Da selbst bei diesem System ein geringes Kondensationsrisiko auf der Glasmalerei bestehen bleibt, sind fachliche Vorabklärungen und regelmässige Kontrollen äusserst wichtig.

Vorteile

- Gute klimatische Erhaltungsbedingungen für die historische Verglasung: keine Benetzung / Regen auf der Aussenseite der Glasmalerei, geringeres Kondensationsrisiko auf der Innenseite
- Einfache Wartung und Restaurierung, da die Schutzverglasung und das Glasgemälde konstruktiv voneinander unabhängig sind und die Glasmalereien in der Regel leicht ausgebaut werden können
- Lange Lebensdauer bei Einfachverglasung, kürzere bei Isolierverglasung

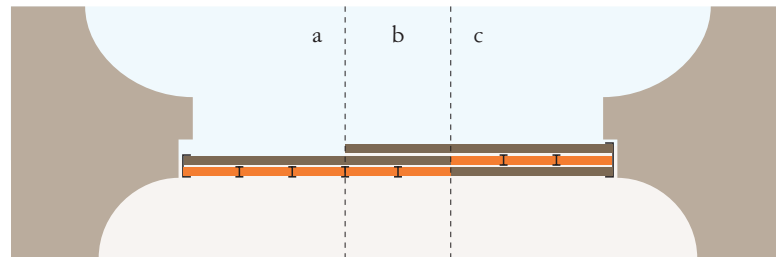
Nachteile

- Die Glasmalereien müssen ausgebaut werden: Beschädigungsrisiko
- Verlust der originalen Einbausituation
- Es müssen neue Rahmungen und Befestigungsstrukturen geschaffen werden
- Die Innenansicht der Fenster verändert sich teils merklich
- Die Belüftung des Innenraums über die Fenster wird erschwert
- Aufwändig, teuer



Verbundsystem mit Isolierverglasung, Bühlkirche Zürich (ZH).

Schematische Darstellung einer nicht hinterlüfteten Aussenschutzverglasung. Glasmalerei (orange) und Aussenschutzverglasung (grau) im Fensterfalz. Einfache Schutzverglasung (a); mit 2-fach Isolierglas (b); Glasmalerei zwischen zwei einfachen Schutzgläsern (c).



Verbundsystem mit Einfachverglasung, Kirche Märwil (TG). Foto: Stefan Trümpler, Romont.



Verbundsystem mit Isolierverglasung, Kirche Albisrieden, Zürich (ZH).

C

Nicht hinterlüftet. Verbundsysteme

Zu den Verbundsystemen zählen Schutzverglasungen, bei denen das Schutzglas (Einfach- oder Isolierglas) und die Glasmalerei zusammen in einen Rahmen montiert werden. Für den Rahmen werden oft zweiseitig ausgebildete Metallprofile verwendet, seltener sind ein- oder zweiteilige Holzrahmen. Die Distanz zwischen Schutzglas und Bleiverglasung ist gering, der Zwischenraum ist nicht belüftet. Meist wird das «Scheibenpaket» im Fensterfalz eingebettet, es kann aber auch als Fensterflügel ausgearbeitet sein. Bei einer speziellen neueren Variante des Verbundsystems werden die Bleiverglasungen «im Sandwich» zwischen zwei Schutzglasscheiben gesetzt und mit diesen zu drei- oder vierschichtigen, rundum abgedichteten Verglasungen verarbeitet. Da die Glasmalerei und das Schutzglas bei beiden Varianten konstruktiv miteinander verbunden sind, ist ihre Wartung und Restaurierung schwierig. Durch die meist massive Rahmenkonstruktion werden die Fenster oftmals grösser als die ursprüngliche Verglasung. Dies kann dazu führen, dass entweder die originalen Glasmalereien beschnitten oder die Fensteröffnungen vergrössert werden müssen.

Verbundsysteme senken Wärmeverluste über die Fenster, aber für die Erhaltung empfindlicher Glasmalereien sind sie mit Vorbehalt anzuwenden. Die dichten Verglasungspakete können sich bei direkter Sonneneinwirkung stark erhitzen und mit der Zeit undicht werden. Im Zwischenraum gestaute Feuchte kann die Bildung von Mikroorganismen begünstigen und die Kunstwerke angreifen. Es besteht zudem die Gefahr einer zu starken Abdichtung des Gebäudes und Verlagerung der Kondensation auf die die Fenster umgebenden Wandflächen. Bei neueren Systemen werden Schwachpunkte dieser Konstruktionen berücksichtigt und verbessert, die möglichen denkmalpflegerischen, wartungs- und lüftungstechnischen Nachteile sind damit aber nicht behoben.

Vorteile

- Gute klimatische Erhaltungsbedingungen für die historische Verglasung: keine Benetzung / kein Regen auf der Aussenseite der Glasmalerei, geringeres Kondensationsrisiko auf der Innenseite
- Reduktion der Wärmeverluste über die Fenster
- Geringe Tiefe des Verglasungssystems

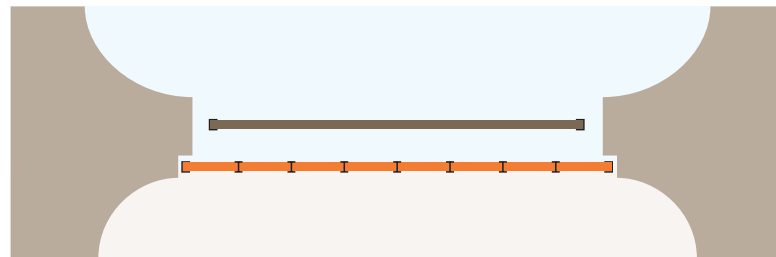
Nachteile

- Die Glasmalereien müssen ausgebaut werden: Beschädigungsrisiko
- Verlust der originalen Einbausituation
- Die Montage als Verglasungspaket führt oft zu einem Verlust an historischer Substanz
- Wartung und Restaurierung sind erschwert: vollständiger Ausbau erforderlich, da Schutzverglasung und Glasmalerei konstruktiv miteinander verbunden sind
- Risiko der Verlagerung der Kondensation von Glasflächen auf Wandteile, mit Folgeschäden wie Schimmelbildung
- Belüftung der Räume über die Fenster erschwert
- Veränderung der Innenansicht (Spiegelungen) bei «Sandwich-Variante»
- Aufwändig, teuer

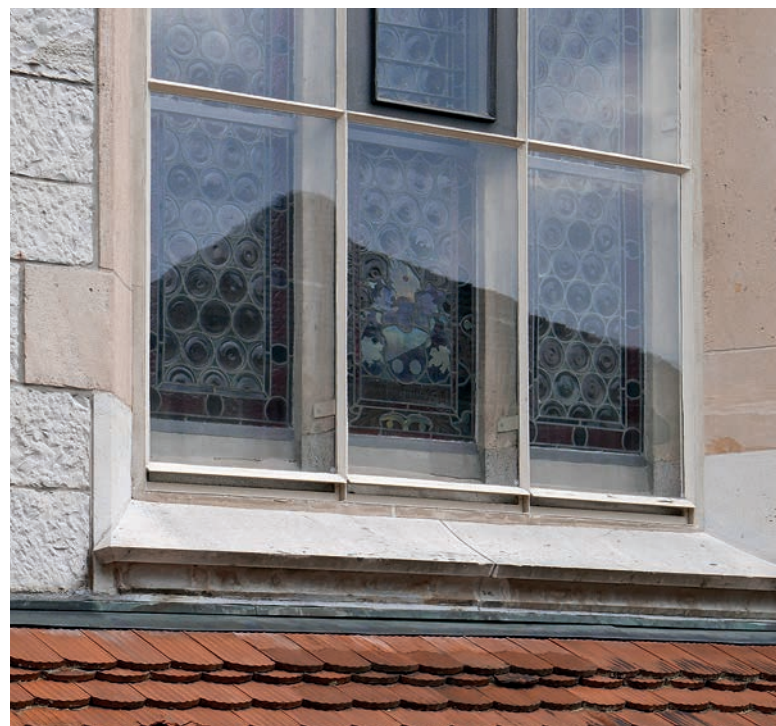


Rahmenlose, von aussen hinterlüftete Schutzverglasung der Kirche von Carouge (GE). © APAS (Association pour la Promotion de l'Art Sacré), Genève. Foto: Cyrille Girardet, Veyrier.

Schematische Darstellung einer von aussen hinterlüfteten Aussenschutzverglasung. Glasmalerei im Fensterfalz (orange) und Schutzglas in der äusseren Laibung (grau).



Detail der Aussenschutzverglasung der Kirche von Carouge (GE). © APAS (Association pour la Promotion de l'Art Sacré), Genève. Foto: Cyrille Girardet, Veyrier.



Von aussen hinterlüftete Aussenschutzverglasung der Kirche St. Otmar in St. Gallen (SG). Foto: Katrin Kaufmann, Romont.

D

Von aussen hinterlüftet. Äussere Schutzscheibe

Bei diesem System werden Schutzgläser in einem gewissen Abstand aussen vor den Glasmalereien in die Fensterlaibung gesetzt. Oft sind es Scheiben aus Sicherheitsglas, die ohne Rahmung mit Metallhalterungen befestigt werden. Die Anschlüsse sind nicht abgedichtet und der Zwischenraum zwischen Schutzglas und Glasmalerei ist belüftet. Solche Verglasungen dienen in erster Linie als Schutz vor mechanischer Beschädigung wie Steinwurf oder Hagel. Im Vergleich zu Gittern schützen sie auch vor Regennässe und Sturmböen, aber sie sind in der Regel auffälliger als diese. Äussere Schutzgläser haben nur beschränkten Einfluss auf die Kondensation an den Glasmalereien und kaum Dämmwirkung. Hingegen können durch den Einsatz spezieller Gläser mit UV- oder IR-Filtern wertvolle licht- und wärmeempfindliche Objekte in den Innenräumen ohne grossen Aufwand geschützt werden.

Vorteile

- Schutz vor äusseren Umwelteinflüssen und mechanischer Beschädigung
- Erhaltung der historischen Einbausituation
- Kein Ausbau der Glasmalereien notwendig: Geringes Beschädigungsrisiko
- Einfache Wartung und Restaurierung, da Schutzverglasung und Glasmalerei konstruktiv voneinander unabhängig sind
- Belüftung der Kirche über bestehende Lüftungsflügel möglich
- Einfacher Schutz der Inneneinrichtung vor UV- und Wärme-Strahlung durch Einsatz von Schutzgläsern mit entsprechenden Filtern
- Lange Lebensdauer
- Einfache und kostengünstige Variante

Nachteile

- Kondensationsrisiko auf der Innenseite der Glasmalereien
- Beschränkte Dämmwirkung
- Je nach Wahl der Gläser und der Konstruktionsart von aussen gut sichtbar

Sonderfall. Innere Schutzscheibe

In seltenen Fällen werden innen vor der Glasmalerei Verglasungen angebracht, manchmal in Kombination mit einer Aussenschutzverglasung. In der Vergangenheit wurden Innenschutzverglasungen eingebaut, um Orgel- und Choremporen zusätzlich gegen aussen klimatisch abzudichten oder um den Komfort in häufig benutzten Klosterkirchen zu verbessern. Heute werden sie meist nur bei besonders schützenswerten und wertvollen Kunstwerken wie den Glasmalereien von Marc Chagall im Fraumünster in Zürich installiert. In solchen Fällen sind sie mit Verbund-sicherheitsglas ausgestattet und in die innere Fensterlaibung montiert. Die Aussenansicht der Fassaden wird durch ihren Einbau nicht beeinträchtigt.



Innenschutzverglasung am Fenster «Himmlisches Jerusalem» (Ausschnitt) im Chor des Fraumünsters Zürich, 1970. © Glasmalerei von Marc Chagall in Zusammenarbeit mit Charles Marq / 2022, ProLitteris, Zürich.

Bilanz. Schutzverglasungen im Vergleich

Aus konservatorischer und denkmalpflegerischer Sicht sind von innen hinterlüftete Schutzverglasungen (B) die erste Wahl, wenn es um den Erhalt besonders empfindlicher Glasmalereien geht. Schon die einfach verglaste Variante bietet ausreichenden Schutz, und was Lebensdauer und Kosten angeht ist sie dem isolierverglasten System vorzuziehen. Klimamessungen an den Schutzverglasungen im Berner Münster haben jedoch gezeigt, dass es bei Einfachverglasungen zu Taupunktunterschreitungen und Kondensation auf den Glasmaleroberflächen kommen kann. Eine regelmässige Kontrolle der Glasmalereien – im Rahmen eines Wartungsplans – ist daher auch bei diesem erprobten System unabdingbar, um Schadensrisiken frühzeitig zu erkennen und den langfristigen Erhalt der Werke zu gewährleisten.

Langzeitbeobachtungen bezeugen, dass auch schwach hinterlüftete Vorfenster-Systeme (A) gute Erhaltungsbedingungen für Glasmalereien schaffen. Gegenüber der von innen hinterlüfteten Lösung (B) haben sie den Vorteil, dass die historische Verglasung unberührt bleibt. Beide Systeme schneiden besser ab als die dichten Ver-

bundsysteme (C), die trotz konstruktiver Verbesserungen aus konservatorischer und denkmalpflegerischer Sicht sowie in Bezug auf die Nachhaltigkeit mit Fragezeichen behaftet bleiben. Von aussen hinterlüftete Schutzfenster (D) bieten vor allem mechanischen und Witterungsschutz. Im Gegensatz zu den bereits früh verwendeten Schutzgittern ist ihre Aussenansicht jedoch oftmals markant.

Noch ein Wort zur Frage der Komfortverbesserung durch den Einbau von Schutzverglasungen: Undichte und einfach verglaste Bleiverglasungen werden oftmals allein für unangenehme Zuglufterscheinungen in historischen Bauten verantwortlich gemacht. Die Montage zusätzlicher Verglasungen scheint daher die logische Konsequenz zu sein, wenn eine Erhöhung des Komforts angestrebt wird. Das Problem wird dadurch jedoch meist nicht gänzlich behoben, da auch die Abkühlung der Raumluft an den kalten Wandflächen historischer Gebäude unbehagliche Luftbewegungen hervorruft. In der Regel lässt es sich eher durch Wartung der Glasmalereifenster und Änderung des Heizkonzepts in den Griff bekommen als durch den Einbau zusätzlicher Fenster.

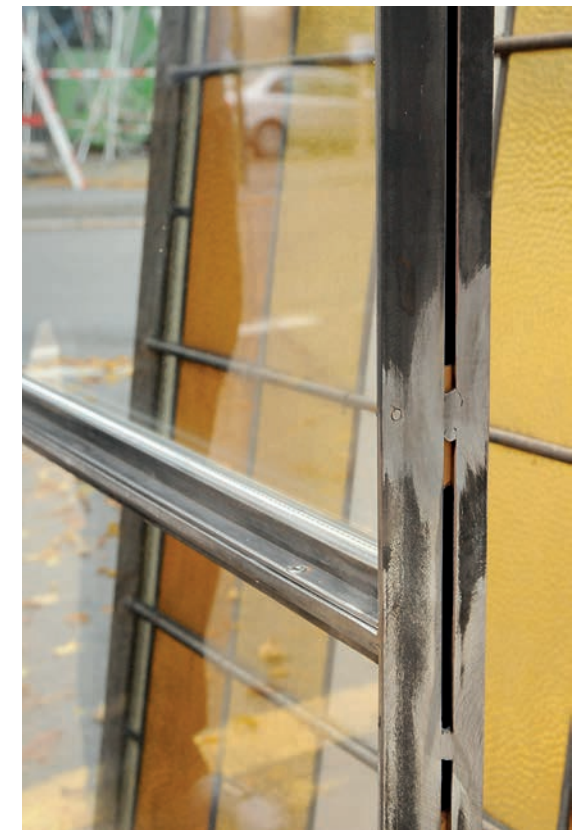
Energetische Effizienz. U-Werte von Schutzverglasungssystemen

Die Annahme, dass sich der Einbau von Schutzverglasungen in der energetischen Bilanz eines Gebäudes niederschlägt und zur Senkung der Heizkosten beiträgt und man damit gleichzeitig auch noch etwas für die Erhaltung der Glasmalereien tut, ist weit verbreitet. Sie kann jedoch zu denkmalpflegerisch, energetisch und ökonomisch fragwürdigen Unternehmungen führen. Im Rahmen eines Forschungsprojekts des Vitrocentre Romont wurden konkrete Anhaltspunkte und Daten zu dieser Thematik gesammelt. Ziel des Projekts war es, einerseits die langjährigen Beobachtungen und Erfahrungen zur Wirksamkeit

der in der Schweiz gängigen Schutzverglasungstypen zusammenzutragen, andererseits die energetischen Eigenschaften der unterschiedlichen Fenstersysteme zu berechnen und im Labor zu verifizieren. Die Ergebnisse sind aufschlussreich (siehe Tabelle auf der folgenden Seite):



Testfenster für Laborversuche: Bleiverglasung und Aussenschutzverglasung mit Isolierglas in mehrfach unterteiltem Metallrahmen.



Der U-Wert historischer Bleiverglasungen liegt bei rund 6 W/m²K. (Der U-Wert oder Wärmedurchgangskoeffizient ist ein Mass für den Wärmeverlust über ein Bauteil. Je höher der Wert, desto schlechter ist die Wärmedämmung). Durch den Einbau einer Schutzverglasung mit Einfachglas (System A) kann der Wärmeverlust über das Fenster um etwa ein Drittel bis zur Hälfte gesenkt werden (U-Wert 2.9–3.9 W/m²K). Dichte Systeme schneiden etwas besser ab als leicht hinterlüftete. Der Einbau einer Schutzverglasung mit Isolierglas (System C) senkt den Wärmeverlust um rund 75% (U-Wert 1.5–1.6 W/m²K). Tiefe U-Werte von unter 1 W/m²K, wie sie bei Isolierverglasungen in Neubauten üblich sind, können bei einer Schutzverglasung mit Isolierglas in historischen Gebäuden jedoch kaum erreicht werden, da die Rahmen, Unterteilungen und die Anschlüsse an die Wände der konstruktiven Situation angepasst und denkmalpflegerischen Bedingungen genügen müssen.



Bestimmung des Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Wert) in der «Hot-Box» im Labor der Empa Dübendorf.

GM = Glasmalerei oder einfache Bleiverglasung
SV EV = Schutzverglasung mit Einfachglas
IV = Isolierglas (2-fach)
SV IV = Schutzverglasung mit Isolierglas (2-fach)

Fenstersystem	Hinterlüftung	Zwischenraum in mm	U-Wert berechnet in W/m²K	U-Wert gemessen in W/m²K
GM (ohne Rahmen)			5.8	
GM (in Metallrahmen)			6.1	
IV (in Metallrahmen)			2.1	2.1
GM + SV EV (System A)	dicht	40	3.1	
GM + SV EV (System A)	leicht hinterlüftet	40	3.9	
GM + SV EV (System A)	dicht	120	2.9	
GM + SV EV (System A)	leicht hinterlüftet	120	3.8	
GM + SV IV (System C)	dicht	40	1.6	1.6
GM + SV IV (System C)	dicht	120	1.5	

Berechnete und gemessene U-Werte für unterschiedliche Fenstersysteme.

Aufs Ganze betrachtet.
Eine realistische Sicht

Die im Laborexperiment ermittelten U-Werte spiegeln den Wärmeverlust über ein einzelnes Fenster wider, lassen aber die Tatsache unberücksichtigt, dass in historischen Bauten oft nur ein kleiner Teil der Wärmeenergie über die Fenster verloren geht. Verluste über Decken, Wände und Böden sowie über natürlichen Luftaustausch fallen meist stärker ins Gewicht. Die Bedeutung der Fenster wird oft nur schon durch ihren beschränkten Anteil an den Wandflächen relativiert.

Um diesen Umstand zu veranschaulichen, wurden die U-Werte für eine ganze Fassade bestehend aus Mauern und Fenstern berechnet (siehe Tabelle). Die grosse Bandbreite architektonischer und technischer Eigenheiten im tatsächlichen Baubestand wurde auf zwei Varianten reduziert: Fensteranteile von 15% bzw. 25% und zwei unterschiedliche Werte für die Wärmeleitfähigkeit einer 60 cm dicken und verputzten Bruchsteinmauer aus Sandstein (1.5 W/mK und 2.1 W/mK).

Bei einem Fensteranteil von 15% und einer Wärmeleitfähigkeit des Mauerwerks von 1.5 W/mK liegt der U-Wert der Fassade mit Glasmalerei oder einfacher Bleiverglasung ohne Schutzverglasung bei 2.29 W/m²K. Der Einbau einer Schutzverglasung mit Einfachglas (System A) verringert den U-Wert um durchschnittlich 15% (1.89–

2.00 W/m²K). Durch den Einbau einer Schutzverglasung mit Isolierglas (System C) fällt der Wert um 25% auf 1.70 W/m²K. Bei einem höheren Fensteranteil von 25% und einer höheren Wärmeleitfähigkeit des Mauerwerks von 2.1 W/mK liegt der U-Wert der Fassade mit einfacher Bleiverglasung ohne Schutzverglasung bei 2.91 W/m²K. Der Einbau einer Schutzverglasung mit Einfachglas (System A) verringert den U-Wert um maximal 23% (2.24–2.46 W/m²K). Durch den Einbau einer Schutzverglasung mit Isolierglas (System C) sinkt der Wert um 31% (etwa 2.00 W/m²K). Weder die Art der Hinterlüftung (System A) noch die Tiefe des Zwischenraums fallen dabei stark ins Gewicht.

In Bezug auf den Gesamtbau sind die durch Schutzverglasungen erreichten Energieeinsparungen noch geringer. In Anbetracht der hohen (Folge-)Kosten und Risiken, die der Einbau neuer Fenstersysteme nach sich zieht, wird deutlich, dass sich eine derartige Dämmung der Fenster weder aus energetischer noch aus wirtschaftlicher Sicht lohnen. Im nachfolgenden Fallbeispiel wird gezeigt, dass beispielsweise eine Anpassung des Heizkonzepts wirksamer ist.

Fensteranteil %			15	15	25	25
Wärmeleitfähigkeit Sandsteinwand in W/mK			1.5	2.1	1.5	2.1
Fassade mit unterschiedlichen Fenstersystemen	Hinterlüftung	Zwischenraum in mm	U-Wert berechnet in W/m²K			
GM (in Metallrahmen)			2.29	2.60	2.62	2.91
GM + SV EV (System A)	dicht	40	1.89	2.20	2.01	2.30
GM + SV EV (System A)	leicht hinterlüftet	40	2.00	2.31	2.17	2.46
GM + SV EV (System A)	dicht	100	1.86	2.16	1.96	2.24
GM + SV EV (System A)	leicht hinterlüftet	100	1.97	2.28	2.14	2.42
GM + SV IV (System C)	dicht	40	1.70	2.01	1.71	2.00
GM + SV IV (System C)	dicht	100	1.69	2.00	1.70	1.99

Berechnete U-Werte für Wände mit unterschiedlichen Fensteranteilen und -systemen.

Heizenergie sparen.
Fallbeispiel

Am Beispiel der gotischen Kirche St. Laurentius in Frauenfeld-Oberkirch wurde das Einsparpotential durch Anpassung des Heizkonzepts rechnerisch simuliert. Die Ergebnisse der Berechnungen zeigen auf, dass sich durch eine vollständige Automatisierung des Heizbetriebs grosse Einsparungen erzielen liessen (siehe Tabelle): Bei einer angenommenen Grundtemperatur von 10°C und einer Höchsttemperatur von 18°C während der Nutzungszeiten könnte der Heizenergieverbrauch um fast 40% gesenkt werden (Variante 1). Bei der versuchsweisen Umsetzung dieser Massnahme stellte sich jedoch heraus, dass sich die Grundtemperatur aus technischen Gründen nur auf 14°C senken liess und somit das Einsparpotential geringer als erwartet ausfiel (Variante 2).



Der Heizenergieverbrauch lag immerhin noch 19% unter demjenigen des Ist-Zustands. Im Vergleich zu diesem einfachen Energiesparansatz, bei dem der Heizbetrieb automatisiert und der effektiven Nutzung des Kirchenraums angepasst wird, schneidet der kostspielige Einbau von Schutzverglasungen mit Isolierglas schlecht ab (Variante 3). Das Sparpotential betrüge nur 8%, selbst wenn man von einem idealen U-Wert für die Fenster von 1.0 W/m²K ausgeht.

Diese Werte lassen sich natürlich nicht ohne Weiteres auf andere Objekte übertragen. Sie veranschaulichen aber, dass sich eine energetische Aufrüstung der Fenster in diesem Fall nicht rechnet und sich zusätzliche Abklärungen lohnen.

Innenansicht der Kirche St. Laurentius in Frauenfeld-Oberkirch (TG); Südfassade der Kirche mit historischer Verglasung ohne Schutzverglasung (rechts oben); Innenansicht der durch ein einfaches Vorfenster geschützten Glasmalerei, ca. 1320 (rechts unten). Fotos: Christoph Gysin, icona basel, Basel.

	Ist-Zustand	Variante 1	Variante 2	Variante 3
Grundtemperatur Heizperiode	16°C	10°C	14°C	16°C
Raumlufttemperatur bei Belegung	18°C	18°C	18°C	18°C
Fenster	Keine Schutzverglasung (Ausnahme Chorfenster)	unverändert	unverändert	Schutzverglasung mit Isolierglas (2-fach) auf allen Fenstern
Benötigte Heizenergie	53'750 kWh	32'700 kWh	43'440 kWh	49'400 kWh
Einsparung	0%	39%	19%	8%

Berechneter Heizenergieverbrauch für verschiedene Energiespar-Optionen zur der Senkung der Wärmeenergieverluste in der Kirche.



St. Laurentius in Frauenfeld-Oberkirch

Der mittelalterliche Bau besteht aus einem einfachen Langhaus mit geradem Chorabschluss. Mit Ausnahme des Chorfensters, das durch ein einfaches Vorfenster geschützt ist, haben die Fenster keine Schutzverglasung. Die Kirche zählt etwa 150 Sitzplätze und wird zwei bis drei Mal wöchentlich für Gottesdienste und Trauerfeiern genutzt. Zum Zeitpunkt der Untersuchung wurde der Raum von Oktober bis April durchgehend über die Fussbodenheizung beheizt; während der Anlässe wurde zusätzlich die Bankheizung eingeschaltet. Im Winter 2012/2013 lag die mittlere Raumtemperatur bei 16°C und der Heizenergieverbrauch mit einer Energiekennzahl von 201 kWh/m²a fast 60% über demjenigen elektrisch beheizter Kirchen in der Schweiz.



Checkliste.
Relevante Fragen für die Praxis

Beurteilung der Situation

- In welchem Zustand sind unsere gestalteten Fenster?
- Welchen Gefährdungen sind sie ausgesetzt?
- Sind die Klimabedingungen im Kircheninnern, insbesondere im Umfeld der Fenster bekannt?
- Sind präventive Schutzmassnahmen erforderlich?
- Ist der Einbau einer Schutzverglasung notwendig und zielführend?
- Haben wir den Grundsatz «So viel wie nötig und so wenig wie möglich» im Umgang mit Bau- und Kunstdenkmälern beachtet?
- Haben wir die richtigen Fachleute und wenn nötig die Denkmalpflege beigezogen?

Festlegung der Ziele und Wahl des Systems

- Welche Anforderungen muss die Schutzverglasung erfüllen?
- Welche Art von Schutzverglasung eignet sich am besten?

Abwägungen und Anpassungen

- Wie lässt sich die zukünftige Wartung und konservatorische Betreuung der Glasmalereien sinnvoll gewährleisten?
- Wie lässt sich die Schutzverglasung in das architektonische Umfeld integrieren?
- Kann der Raum über die Fenster belüftet werden?
- Erfordert der Einbau der Schutzverglasung ein neues Belüftungskonzept?
- Welchen Einfluss hat der Einbau der Schutzverglasung auf das Innenraumklima und wie können eventuelle negative Auswirkungen auf das Raumklima (Kondensation, Feuchteschäden, etc.) verhindert werden?

Energiefragen

- Wie viel Wärmeenergie kann durch den Einbau der Schutzverglasung eingespart werden?
- In welchem Verhältnis stehen die Kosten des Einbaus zum erwarteten Nutzen?
- Wurden die Kosten für den Einbau realistisch berechnet und dabei insbesondere auch die Nachhaltigkeit der Massnahme (Dauerhaftigkeit, Reparaturfähigkeit, Rezyklierbarkeit, etc.) mitberücksichtigt?
- Gibt es bauliche, betriebliche oder heiztechnische Massnahmen, mit denen der Wärmeenergiebedarf effizienter gesenkt werden kann als mit dem Einbau von Schutzverglasungen?

Praktische Informationen.
Fachberatung, Richtlinien und Links

Schweizerischer Fachverband für Glasmalerei
SFG/APSV
www.glasmalerei-schweiz.ch

Vitrocentre Romont
www.vitrocentre.ch

Kantonale und städtische Denkmalpflegestellen
<https://denkmalpflege.ch/kant-staedtische-fachstellen.html>

Eidgenössische Kommission für Denkmalpflege
EKD
<https://www.bak.admin.ch/bak/de/home/baukultur/ekd.html>

Grundsatzdokumente und Leitsätze zur Denkmalpflege in der Schweiz
<https://www.bak.admin.ch/bak/de/home/baukultur/ekd/grundsatzdokumente-leitsaetze.html>

La fenêtre, un patrimoine en danger, Collection éléments du patrimoine VD no. 001, hrsg. vom Kanton Waadt, Section monuments et sites, Lausanne 2012
https://www.vd.ch/fileadmin/user_upload/themes/culture/patrimoine_bati/fichiers_pdf/MS_fenetre_patrimoine_en_danger.pdf
(zuletzt aufgerufen am 3.10.2022)

Internationale Richtlinien für die Konservierung und Restaurierung von Glasmalereien (Corpus Vitrearum/ ICOMOS)
www.vitrocentre.ch

Autorin

Sophie Wolf, Dr. sc. nat., wissenschaftliche Mitarbeiterin des Vitrocentre Romont, sophie.wolf@vitrocentre.ch

Dank

Die vorliegende Publikation geht aus einem Forschungsprojekt hervor, das von Dr. phil. Stefan Trümpler, ehemaliger Direktor des Vitrocentre und des Vitromusée Romont, initiiert und geleitet wurde. Seine Erkenntnisse aus langjähriger Praxiserfahrung sind in diesen Leitfaden eingeflossen. Die Autorin ist Stefan Trümpler für die massgebliche Mitwirkung am Leitfaden, die Durchsicht des Manuskripts und die wertvollen Kommentare zu grossem Dank verpflichtet. Die vorgestellten Untersuchungen zur energetischen Effizienz von Schutzverglasungen wurden in enger Zusammenarbeit mit Ernst Baumann (Bauphysiker, Experte für das Bundesamt für Kultur und Konsulent der Eidgenössischen Kommission für Denkmalpflege) und der Abteilung Bautechnologien der Empa durchgeführt; die Modellverglasungen für die Laborversuche wurden von der Firma Glas Mäder in Rüschlikon bereitgestellt. Die Autorin dankt Bruno Binder, Stephan Carl und Karim Ghazi Wakili (Empa) sowie Urs Rickenbach (Glas Mäder) für ihr grosses Engagement. Die Inhalte dieses Leitfadens beruhen zudem auf einer langjährigen Zusammenarbeit mit Mitgliedern des Schweizerischen Fachverbands für Glasmalerei (glasmalerei-schweiz.ch). Für den fruchtbaren Austausch gebührt diesen Fachpersonen besondere Anerkennung und Dank. Das Projekt wurde von der Stiftung zur Förderung der Denkmalpflege, Zürich, finanziell unterstützt. Die vorliegende Broschüre kann auf vitrocentre.ch heruntergeladen werden.

Bildnachweis

Wenn nicht anders vermerkt, stammen die Abbildungen von der Autorin und den Mitwirkenden.

Lektorat

Gerry Fässler, Katrin Kaufmann, Vitrocentre Romont

Layout

Katrin Kaufmann, Vitrocentre Romont

© 2022 Vitrocentre Romont



Rue du Château 108b
CP 225
CH-1680 Romont
T +41 (0)26 652 18 34
info@vitrocentre.ch
www.vitrocentre.ch