

## **Schlussbericht zuhanden der Stiftung zur Förderung der Denkmalpflege**

### **Projekt „Schutzverglasungen historischer Glasmalereien und Kunstverglasungen im Spannungsfeld von Denkmalpflege und energetischer Verbesserung von Baudenkmalern“**



# Schlussbericht zuhanden der Stiftung zur Förderung der Denkmalpflege

in Zusammenarbeit mit Karim Ghazi Wakili, Bruno Binder<sup>1</sup> und Ernst Baumann<sup>2</sup>

## Projekt „Schutzverglasungen historischer Glasmalereien und Kunstverglasungen im Spannungsfeld von Denkmalpflege und energetischer Verbesserung von Baudenkmalern“

Romont, 31.10.2013

### Inhalt

- 1 Projektbeschrieb
  - 1.1 Kontext
  - 1.2 Fragen, Ziele, Methoden
  - 1.3 Partner
  - 1.4 Verwendung der Projektmittel
- 2 Ergebnisse der Bestandsaufnahme
  - 2.1 Grundlage
  - 2.2 Klassifikation und Beurteilung von Schutzverglasungen in Schweizer Kirchen
  - 2.3 Wirksamkeit von Aussenschutzverglasungen im tabellarischen Vergleich
- 3 Messungen und Berechnungen im Labor an Modellen ausgewählter Aussenschutzverglasungen
  - 3.1 Einleitung
  - 3.2 Stationäre thermische Messungen und Berechnungen
  - 3.3 Instationäre klimatische Messungen und Berechnungen
  - 3.4 Spektrale Transmission und Reflexion verschiedener Gläser
  - 3.5 Feuchtedurchlässigkeit von Kunstgläsern
- 4 Klimatische und energetische Untersuchungen an Kirchenobjekten
  - 4.1 Kirche St. Laurentius in Frauenfeld-Oberkirch
  - 4.2 Klosterkirche Fischingen
- 5 Zusammenfassung
- 6 Kommunikation, Austausch und Zugang zu Informationen und Ergebnissen – Rückblick und Ausblick
- 7 Anhang

---

<sup>1</sup> Dr. Karim Ghazi Wakili und Bruno Binder, Empa Dübendorf, Abteilung Bautechnologien:  
Karim.GhaziWakili@empa.ch, Bruno.Binder@empa.ch

<sup>2</sup> Ernst Baumann, Baumann Akustik und Bauphysik AG, Dietfurt: baumann@baumann-bauphysik.ch

# 1 Projektbeschreibung

## 1.1 Kontext

Schutzverglasungen werden seit der Mitte des 20. Jahrhunderts als eine der wichtigsten Massnahmen zur Erhaltung historischer Glasmalereien betrachtet. Der Ausbau mittelalterlicher Kirchenfenster während des 2. Weltkriegs führte dazu, dass man sich bewusst wurde, wie erheblich diese Kunstdenkmäler gefährdet waren. In ganz Europa wurden Untersuchungen eingeleitet, bei denen Umwelteinflüsse als entscheidender Faktor identifiziert wurden. Luftschadstoffe und veränderte Nutzungsansprüche der Kirchenbauten standen im Zentrum der Problematik. Rasch setzte sich die Einsicht durch, dass Schutzverglasungen die konservatorischen Bedingungen für diese ausserordentlich bedeutenden Kulturdenkmäler entscheidend verbessern können. Als indirekte präventive Massnahme ermöglichen sie zudem, dass Eingriffe an den originalen Kunstwerken auf ein Minimum beschränkt werden können. Diese Erhaltungsstrategie ist daher auch aus moderner denkmalpflegerischer Sicht sehr sinnvoll.

Mit dem Interesse an Schutzverglasungen wurde man jedoch auch darauf aufmerksam, dass solche Systeme bereits früher zur Anwendung kamen. Aus dem 19. Jahrhundert sind die ersten erhaltenen Beispiele von Glasmalereien mit zusätzlichen Aussenverglasungen bekannt. Es ist zu vermuten, dass diese einerseits bereits im Hinblick auf eine bessere Erhaltung der wertvollen Kunstverglasungen installiert wurden, andererseits aber auch, um den Komfort in den Kirchen zu erhöhen und der aufkommenden Beheizung Rechnung zu tragen. Das Prinzip der Vorfenster in Wohnbauten wird diese Initiativen beeinflusst haben. Einfache Aussen-schutzverglasungen wurden aus den beiden genannten Gründen auch bereits seit der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts als nachträgliche bauliche Verbesserungen eingebaut und stellen sich heute als denkmalpflegerisch relevante Bauelemente dar.

Diese nutzungsorientierten und energetischen Komponenten von zusätzlichen Verglasungen an Kirchenbauten erhielten in den letzten Jahrzehnten eine stetig wachsende Bedeutung und werden gegenwärtig besonders aktuell. Gleichzeitig erfährt die historistische Glasmalerei des 19. Jahrhunderts (und auch jüngere Glasgestaltungen) ihre verdiente Aufwertung, womit sich das potentiell schützenswerte Patrimonium erheblich vergrössert und auf Bauwerke der Neuzeit ausweitet. Man wird sich gleichzeitig aber auch der spezifischen Konservierungsprobleme von nachmittelalterlichen Glasgemälden bewusst. Diese beiden Faktoren haben dazu geführt, dass der Einbau von Schutzverglasungen stark zugenommen hat und diese als Globalmassnahmen propagiert werden. Selbstverständlich werden in jüngerer Zeit auch Isoliergläser in die Systeme miteinbezogen, womit sich weitere Aspekte ergeben und sich die Problematik noch zuspitzt. Denn die mit Schutzverglasungen verbundenen baulichen Massnahmen sind meist sehr erheblich und denkmalpflegerisch in vieler Hinsicht bedenklich: Es zeigen sich erste bauphysikalische und konservatorische Nachteile und Schäden, und die Nachhaltigkeit der Massnahmen wird nach heutigen Gesichtspunkten hinterfragt. Insbesondere jedoch wird man sich in der denkmalpflegerisch-konservatorischen Praxis bewusst, dass die Wirksamkeit von Schutzverglasungssystemen bei nachmittelalterlichen Verglasungen und Bauwerken sowohl aus konservatorischer wie auch aus energetischer Sicht nicht ausreichend hinterfragt, untersucht und belegt ist.

Die Schweiz zählt annähernd 5000 Kirchen. Die Mehrzahl dieser Kirchen wurde vor 1850 erbaut.<sup>3</sup> Die Bauten waren ursprünglich unbeheizt und daher auch nicht wärmeisoliert. Heute werden die meisten Kirchen während der Wintermonate beheizt, was oftmals nicht ohne Folgen für Ausstattung (Orgel, Altäre, Wandmalereien, etc.) und selbst die Bausubstanz

---

<sup>3</sup> Emil Giezendanner, Heizschäden in Kirchen, TEC21, Vol. 135 (2009), Nr. 51–52, S. 24–27.

(beispielsweise Feuchteschäden) bleibt und letztlich auch hohe Kosten für Instandhaltung und Energie bedeutet.<sup>4</sup>

In einer Studie der Baumann Akustik und Bauphysik AG wurde für die rund 5000 Kirchen ein Jahresenergiebedarf von 250 GWh ermittelt. Die Energiekennzahlen<sup>5</sup> der in der Schweiz mehrheitlich elektrisch beheizten Kirchen streuen weit um einen den Durchschnittswert von 128 kWh/m<sup>2</sup>a und entsprechen in etwa dem Heizwärmebedarf von Wohnbauten (Abb. 1).<sup>6</sup> Je nach Heizungssystem und Energieträger können die jährlichen Heizkosten bis zu 35000 CHF und im Mittel 7150 CHF betragen.<sup>7</sup> Diese Zahlen überraschen auf den ersten Blick, vor allem wenn man bedenkt, dass Kirchen im Vergleich zu Wohnbauten durchschnittlich nur zwei Mal wöchentlich für wenige Stunden genutzt werden. Nicht überraschend ist, dass die Kirchgemeinden wegen steigender Energiekosten und auch aus umweltpolitischer Verantwortung heraus versuchen, den Energieverbrauch respektive die Heizkosten in ihren Kirchen zu senken. Veränderte Nutzungs- und höhere Komfortansprüche sowie denkmalpflegerische und konservatorische Anforderungen stellen Kirchgemeinden dabei oftmals vor enorme Herausforderungen.

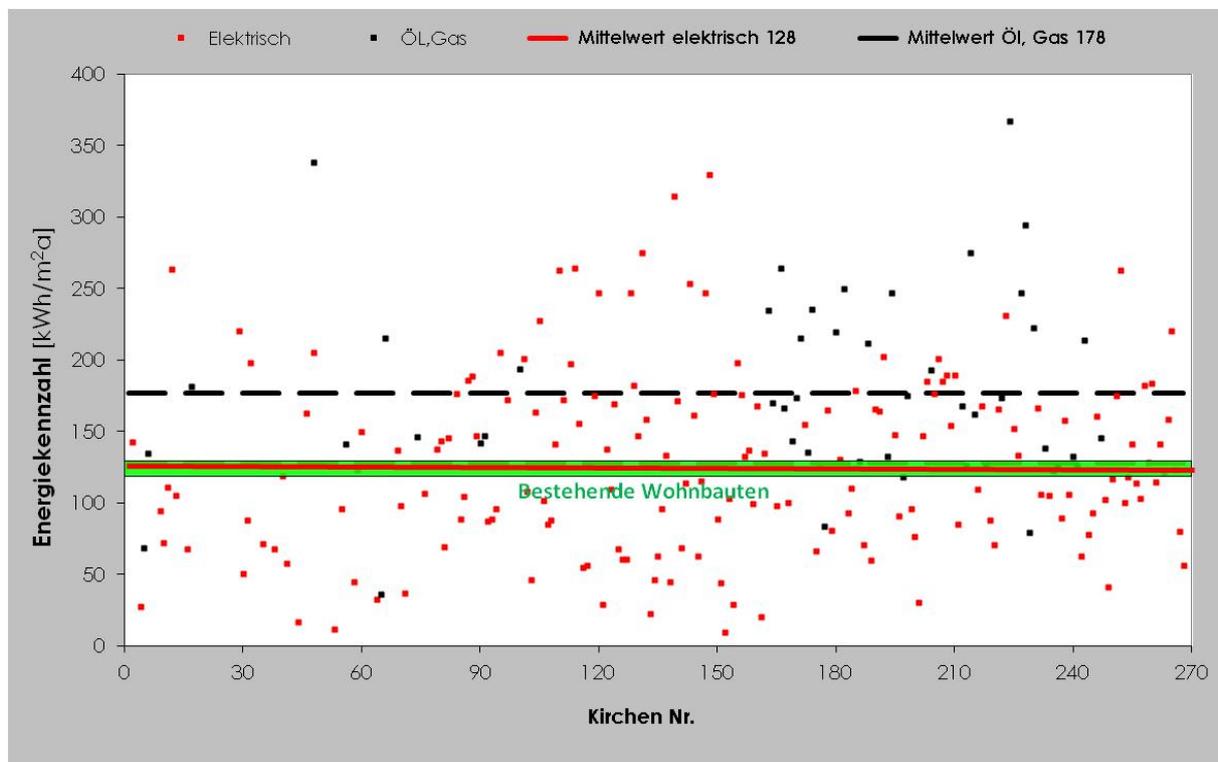


Abb. 1: Energiekennzahlen von Kirchen in der Schweiz.

Seit der Wende zur 2000-Watt-Gesellschaft werden Kirchen nicht selten als beheizte Gebäude betrachtet und demzufolge bei Sanierungen die Normanforderungen betreffend Wärmeschutz im modernen Hochbau angewendet.<sup>8</sup> In den letzten Jahren wurden jedoch auch verschiedene

<sup>4</sup> Siehe beispielsweise: Ernst Baumann, Konrad Zehnder und Thomas Rüegg, Beheizen von Kirchen. Kathedrale Chur – Komfortanspruch und Schäden, Schweizer Ingenieur und Architekt, Vol. 116 (1998), Nr. 18, S. 307–312.

<sup>5</sup> Die Energiekennzahl ist der Quotient aus Jahresenergieverbrauch [kWh] und Energiebezugsfläche EBF [m<sup>2</sup>].

<sup>6</sup> Erhebung von Energiekennzahlen von Wohnbauten. Beitrag für 15. Schweizerischen Statusseminar vom 11.12.09.08 ETH Zürich von Dettli, Bade, Baumgartner und Bleisch.

<sup>7</sup> Angaben aus Anne Bickel et al., Energie sparen und Klima schützen, Bern: oeku Kirche und Umwelt 2009 und Kurt Aufderreggen, oeku Kirche und Umwelt, Schwarztorstrasse 18, Postfach 7449, CH-3001 Bern, mündliche Mitteilung, September 2012.

<sup>8</sup> SIA Norm 380/1: 2009 Thermische Energie im Hochbau.

Leitfäden veröffentlicht, die aufzeigen, wie der Energieverbrauch in *historischen* Gebäuden und insbesondere *auch in Kirchen* gesenkt werden kann.<sup>9</sup> Massnahmen zur energetischen Ertüchtigung der Fenster sind darin meist explizit erwähnt.<sup>10</sup> Die Fenster werden oft als einer der Schwachpunkte des Gebäudes verstanden. Die Meinung, dass eine Ertüchtigung der „alten“ Fenster durch eine Schutzverglasung einen wesentlichen Beitrag zur Verminderung von Wärmeverlusten und zur Steigerung des Komforts leistet, ist weit verbreitet. Dies mag ein Grund dafür sein, dass die Verwendung von Aussenschutzverglasungen mit Isolierglas vor allem in Kontexten mit nachmittelalterlichen Kunstverglasungen in den letzten zwei Jahrzehnten in der Schweiz deutlich zugenommen hat. Wichtige Fragen werden bei diesen Massnahmen jedoch nicht immer gebührend berücksichtigt:

- Wie hoch sind die durch den Einbau einer Isolier-Aussenschutzverglasung erwarteten Energie- und Kosteneinsparungen? In welchem Verhältnis stehen Aufwand und Nutzen?
- Wie effizient sind isolierverglaste Aussenschutzverglasungen im Vergleich zu anderen Energiesparmassnahmen (z.B. eine Isolation der Gewölbe und Dachflächen oder ein veränderter Heizbetrieb)?
- Erfüllen die modernen Aussenschutzverglasungssysteme konservatorische und denkmalpflegerische Anforderungen? Wo liegen die Risiken?
- Wie schneiden die modernen Systeme im Vergleich zu den ab dem frühen 20. Jahrhundert üblichen einfachen Aussenschutzverglasungen ab?

Diese Fragen waren Ausgangspunkt für unser Projekt.

## 1.2 Fragen, Ziele, Methoden

Hauptanliegen des von der Stiftung zur Förderung der Denkmalpflege unterstützen Projekts war es, einerseits die Annahme in Frage zu stellen, dass der Einbau von Schutzverglasungen mit Isolierverglasung eine effiziente Energiesparmassnahme darstellt und andererseits, deren „automatischen“ Einbau auch aus konservatorisch-denkmalpflegerischer Sicht zu hinterfragen. Das Projektteam hat es sich daher zum Ziel gesetzt,

- die Eigenschaften und Wirksamkeit von in nachmittelalterlichen Kontexten üblichen Aussenschutzverglasungen aus konservatorisch und denkmalpflegerischer Sicht zu untersuchen und zu beurteilen *und*
- die energetische Effizienz einfach- und isolierverglaster Aussenschutzverglasungen zu untersuchen, das heisst, die thermischen Verluste über die Fenster zu bestimmen und somit auch konkrete Werte und Kennzahlen für eine gesamtenergetische Betrachtungen in Kirchen zu ermitteln.

Aus methodischer Sicht stützt sich das Projekt auf drei Untersuchungsbereiche:

1. Bestandsaufnahme von Aussenschutzverglasungen in der Schweiz und Auswertung im Rahmen von Mandaten bearbeiteter Schutzverglasungsprojekte
2. Klimatische und energetische Untersuchungen an Kirchenobjekten
3. Messungen und Berechnungen im Labor an ausgewählten Aussenschutzverglasungssystemen.

---

<sup>9</sup> Siehe beispielsweise: Christian Dahm, *Energiesparen in Kirchengemeinden*, München: Oekom Verlag 2010 und Bernhard Furrer et al., *Energie und Baudenkmal. Empfehlungen für die energetische Verbesserung von Baudenkmalern*, Bern: Bundesamt für Energie und Eidgenössische Kommission für Denkmalpflege 2009.

<sup>10</sup> Beispielsweise Bickel et al. 2009 (s. Verweis in Fussnote 7), S. 19.

### 1.3 Partner

Die bauphysikalischen Untersuchungen wurden in enger Zusammenarbeit mit Dr. Karim Ghazi Wakili und Bruno Binder (Abteilung Bautechnologien, Empa Dübendorf) und Ernst Baumann (Baumann Akustik und Bauphysik AG, Dietfurt) durchgeführt. Bei der Bestandsaufnahme und Datenerhebung wirkten Denkmalpflegeämter, die über gezielte Umfrage von uns kontaktiert worden waren, verschiedene Kirchgemeinden, Architekten und der Verein Oeku – Kirche und Umwelt mit. Auf konservatorischer und technischer Seite wurde das Projekt vom Schweizerischen Fachverband für Glasmalerei begleitet. Für den fachlichen Austausch zu Schutzverglasungen und ihrer Wirkung steht das Vitrocentre unter anderem in Kontakt mit Prof. Dr. Sebastian Strobl (Fachhochschule Erfurt), Dr. Ivo Rauch (Sachverständiger für Glasmalereirestauration, Koblenz), Dr. Manfred Torge (Bundesamt für Materialforschung, Berlin) und Mitgliedern des „International Scientific Committee for the Conservation of Stained Glass“ (Corpus Vitrearum–ICOMOS).

Wichtige Austauschpartner waren auch Leiter und Mitarbeiter des von der Stiftung zur Förderung der Denkmalpflege unterstützten Projekts „Energetische Sanierung historisch wertvoller Fenster“ der Berner Fachhochschule – Architektur, Holz und Bau in Biel. Bei mehreren Treffen wurden Fragestellungen und Projekte gegenseitig vorgestellt und diskutiert. Zu einer engeren Zusammenarbeit kam es bisher jedoch nicht, da sich beide Seiten einig waren, dass es bezüglich der Konzepte und Durchführung beider Projekte eher parallele Fragestellungen (Wohnbauten vs Monumentalbauten; (kleine) Holzfenster vs grosse Bleiverglasungen mit Schutzverglasung; andere Nutzungsbedingungen) als Überschneidungen gibt. Der Austausch war jedoch sehr anregend und bot Gelegenheit, zukünftige gemeinsame Projekte anzudenken und zu diskutieren.

### 1.4. Verwendung der Projektmittel

Die Aufstellung über die Verwendung der Projektmittel wird in Anhang 5 präsentiert.

## 2 Ergebnisse der Bestandsaufnahme

### 2.1 Grundlage

Grundlage des Projekts bildete eine detaillierte Bestandsaufnahme, die sich auch auf zahlreiche Beratungsmandate und das Archiv des Vitrocentre stützen konnte. An nahezu 130 Kirchen in 20 Kantonen wurden projektrelevante Daten zum Bau und zur Baugeschichte, zur Schutzverglasung und – wo möglich – auch zur Heizung und zum Energieverbrauch erhoben und in einer Datenbank erfasst (siehe Objektliste in Anhang 1). Bei der Erfassung konzentrierten wir uns auf Kirchenobjekte mit vornehmlich nachmittelalterlichen Verglasungen, bei denen eine Aussenschutzverglasung, das heisst *eine nicht oder nach aussen* belüftete Schutzverglasung vorlag oder geplant war.

Die Bestandsaufnahme lieferte einen Überblick über Art und Vielfalt gängiger Schutzverglasungssysteme in der Schweiz und deren Klassifikation. Sie bildet gleichzeitig die Basis bei der konservatorischen und denkmalpflegerischen Beurteilung existierender Aussenschutzverglasungen, insbesondere bei der Identifikation sowohl gut funktionierender als auch problematischer Systeme. Die Erfassung diente auch als Grundlage bei der Auswahl der Fallbeispiele für bauphysikalische und klimatische Untersuchungen vor Ort und bei der Definition des Aufbaus und der Versuchsanordnung der im Labor zu testenden Verglasungssysteme.

## 2.2 Klassifikation und Beurteilung von Schutzverglasungen in Schweizer Kirchen

### 2.2.1 Vorbemerkung

In der präventiven Glasmalereikonserverung kommen vier grundsätzlich verschiedene Schutzverglasungssysteme zur Anwendung:

#### A Aussenschutzverglasungen

Diese Gruppe umfasst aussen vor der Glasmalerei angebrachte und in der Regel nicht oder nach aussen belüftete Schutzverglasungen. Diese Verglasungstypen liegen im Fokus unseres Projekts und werden unter Kapitel 2.2.2 eingehender behandelt.

#### B Isothermale Schutzverglasungen

Die Schutzverglasungen liegen hier ebenfalls vor der Glasmalerei. In der Regel wurden und werden isothermale Systeme bei mittelalterlichen Glasfenstern und Kirchenbauten eingesetzt. Dadurch ergibt sich wegen der besonderen Laibungsprofilierungen und wegen der Aussenansicht der Denkmäler in den meisten Fällen das Konstruktionsprinzip, dass die Glasmalereien (in technisch verschiedenster Weise) nach innen vorgehängt werden und an ihre ursprüngliche Einbaustelle im ursprünglichen Fensterfalz die Schutzverglasungen treten (Abb. 2). Der Zwischenraum zwischen der nach innen versetzten Glasmalerei und der Schutzverglasung ist hier nach innen belüftet bzw. hinterlüftet. Die Glasmalerei ist somit beidseits vom Innenklima der Kirche umgeben („isothermal“). Damit sollen für die besonders empfindlichen und gefährdeten Glasgemälde des Mittelalters die in situ bestmöglichen Erhaltungsbedingungen geschaffen werden, insbesondere bezüglich der Schadstoffbelastung und der Feuchte, sowohl durch Kondensation als auch durch die stehende Luftfeuchtigkeit.

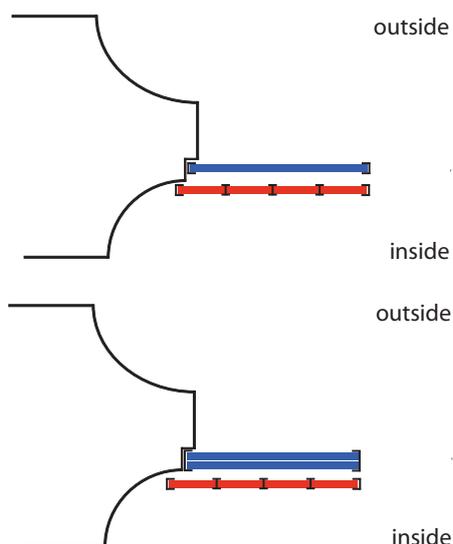


Abb. 2: Vereinfachte Darstellung isothermaler Schutzverglasungen: einfache Schutzverglasung (oben), isolierverglaste Schutzverglasung (unten).

In der Schweiz (wie mittlerweile auch in den meisten europäischen Ländern) sind nahezu alle mittelalterlichen Bestände vor Ort auf diese Weise geschützt (z. B. Rose der Kathedrale von Lausanne, Chor des Berner Münsters, Klosterkirchen Königsfelden, Hauterive FR und Kappel a. A.), wobei für die Entwicklung dieser Schutzverglasungen dem Berner Münster auch international eine wichtige Rolle als Pionierbauwerk zukommt.<sup>11</sup>

Isothermale Schutzverglasungen bildeten bisher den Schwerpunkt bauphysikalischer und konservierungstechnischer Untersuchungen, und ihre Thematik scheint für den Schweizer Denkmalbestand nicht mehr von grundsätzlicher Dringlichkeit zu sein. Wie bereits im Antrag angekündigt wurden sie deshalb in diesem Projekt nicht vertieft berücksichtigt. Dies will allerdings nicht heissen, dass diese nicht ohne Bezug zu den vorliegenden Abklärungen stünden, insbesondere weil sie gelegentlich auch zum Schutz von nachmittelalterlichen Glasgemälden eingesetzt werden und dabei oft Schwachpunkte dieser Lösungen zu tragen kommen:

- Die Versetzung der Glasgemälde aus ihrer ursprünglichen Lage bedeutet die Zerstörung eines bedeutenden originalen Kontexts, oft verbunden mit konkreten Substanzverlusten an Laibungen, Einbaumaterialien sowie Befestigungselementen wie Wind- und Quereisen.
- Ästhetische Nachteile wegen des Lichteintritts bei den Lüftungsöffnungen, Verschiebungen der Verglasungsebenen, Loslösung der Glasgemälde von der Wand.
- Starke Kondensation auf Innenseiten einfacher Schutzverglasungen

Es sind gerade diese Problempunkte, die bei einigen Aussenschutzverglasungen (A) nicht auftreten und uns darin bestärken, diesen Varianten Aufmerksamkeit zu widmen.

### *C Innenschutzverglasungen*

Hier handelt es sich um innen vor der Glasmalerei angebrachte, einfache Schutzverglasungen (oft Verbundsicherheitsglas). Solche Schutzverglasungen werden zum Schutz vor mechanischer Beschädigung meist in Kombination mit isothermaler - oder Aussenschutzverglasung angebracht. Sie kommen nur im Ausnahmefall bei sehr schützenswerten Objekten zum Einsatz, wie zum Beispiel an den Glasgemälden von Marc Chagall im Fraumünster Zürich. In anderen Fällen, etwa an den Westfenstern des Basler und des Churer Münsters, werden sie eingesetzt, um die lokalen klimatischen Bedingungen von Orgeln und Choremporen zu verbessern (Zugluft), ohne dass die Aussenansicht der Fassaden verändert werden muss. Allein betrachtet sind sie weder in konservatorischer (klimatischer) noch in energetischer Hinsicht relevant.

### *D Verglasungspakete – „Sandwichverglasungen“*

Im monumentalen Bereich recht selten sind Dreifachverglasungen, bei denen die Glasmalereien zwischen die beiden Schutzscheiben einer Isolierverglasung eingefügt werden. Solche Lösungen werden im folgenden als Sonderfälle von Aussenschutzverglasungen berücksichtigt, genauer genommen als Variante von Verbundsystemen (Kapitel 2.2.2).

---

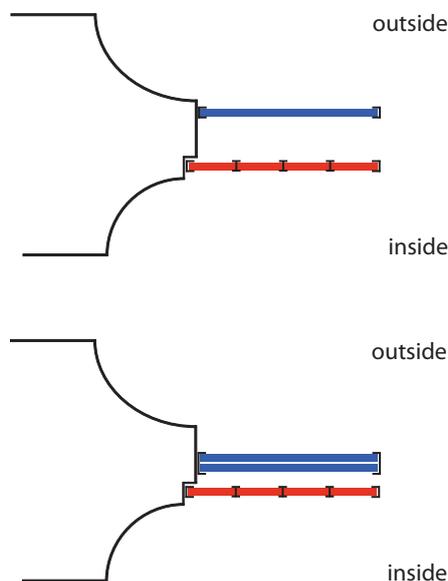
<sup>11</sup> Stefan Trümpler, Schutzverglasungen am Berner Münster: Eine Pionierlösung für die präventive Konservierung von Glasmalereien, in: Dombaumeistertagung Bern 2008. Tagungsakten, Berner Münster Stiftung / Europäische Vereinigung der Dombaumeister, Münsterbaumeister und Hüttenmeister, Bern 2009, S. 90-95.

## 2.2.2 Klassifikation und Beurteilung von Aussenschutzverglasungen

Wie bereits erwähnt bilden Aussenschutzverglasungen und ihre Untergattungen die Schwerpunkte des Projekts. Einige dieser Systeme – wie beispielsweise die vorgesetzte Aussenschutzverglasung (siehe Typ A1 wie folgt) – sind in gängigen Landkirchen häufiger anzutreffen als andere, oft als bereits seit längerem oder sogar seit der Bauzeit bestehende Elemente, mit denen sich die Denkmalpflege bei Renovationsvorhaben auseinandersetzen muss. Aufgrund der angeführten Vorteile bieten sie sich aus unserer Sicht und Erfahrung auch als interessante Alternativen insbesondere zu den isothermalen Lösungen an. Zudem ist ihre Wirkungsweise kaum bekannt und bisher selten untersucht worden. Es hat sich diesbezüglich ein eindeutiger Bedarf gezeigt, der aus neuen Entwicklungen und Sichtweisen der Denkmalpflege (sowie der Kunstgeschichte) und Konservierung entstanden ist. Reaktionen auf die ersten Präsentationen bestätigten unsere Auffassung und Ausgangslage, dass mit dem Projekt auch in dieser Hinsicht Neuland betreten wurde. In der Schweiz unterscheiden wir zwei im Aufbau und ihrer Wirkung unterschiedliche Aussenschutzverglasungen:

### *A 1 Vorgesetzte, nicht belüftete, nach aussen schwach belüftete oder hinterlüftete Aussenschutzverglasungen*

Eine Art Aussenschutzverglasung, mit der das Vitrocentre in den letzten Jahren in Zusammenhang mit Beratungs- und Monitoring-Mandaten mehrfach konfrontiert wurde, ist das sogenannte Vorfenster (Abb. 3).



*Abb. 3: Vereinfachte Darstellung vorgesetzter Aussenschutzverglasungen: einfache Schutzverglasung (oben), isolierverglaste Schutzverglasung (unten).*

Die meist in feingliedrigen Holz- oder Metallrahmen eingesetzten, einfachen Schutzgläser waren bis in die Mitte des 20. Jahrhunderts das wohl am häufigsten verwendete System (Abb. 4).



*Abb. 4: Einfache vorgesetzte Aussenschutzverglasungen  
 Bild links: in Metallrahmen in der Kapuzinerkirche in Romont (FR) von ca. 1950 mit  
 Lüftungsflügel (mitte); Bild rechts: in Holzrahmen am Chorfenster der Kirche St. Laurentius  
 in Frauenfeld-Oberkirch (TG) von ca. 1900.*

Die vor der Kunstverglasung in der äusseren Fensterlaibung angebrachten Aussenschutzverglasungen sind konstruktiv unabhängig von der Kunstverglasung, die in der ursprünglichen Lage (im originalen Fensterfalz) verbleibt. Der Zwischenraum zwischen Kunstverglasung und Schutzfenster ist – je nach der Laibungstiefe – 5 bis 30 cm breit. Bei den frühen Systemen ist der Zwischenraum meist theoretisch unbelüftet. Indirekt, über Undichtigkeiten im Anschluss von Rahmen und Laibung, über durchlässig gewordene Bleiverglasungen oder aber über Lüftungsflügel besteht in der Regel jedoch ein beschränkter Luftaustausch gegen aussen und innen (siehe Abb. 4, Bild links). Wir haben versucht, dieser Beobachtung bei der Konzeption der Untersuchungen Bewitterungskammer Rechnung (Kapitel 3.3) zu tragen.

In der Romandie und vereinzelt auch in anderen Regionen der Schweiz werden diese einfachen Systeme heute noch zum Schutz nachmittelalterlicher Kunstverglasungen verwendet, beziehungsweise bei Kirchenrenovierungen beibehalten, nachgerüstet und gereinigt. Dabei wird oft auch bewusst darauf geachtet, dass so viel wie möglich an originalem Glasbestand erhalten bleibt. Denn nicht selten handelt es sich noch um gezogenes Originalglas, das bereits denkmalpflegerischen Wert hat und sich aufgrund seiner Oberflächenstruktur und manchmal auch leichter Oberflächenveränderungen vorteilhaft in die Aussenansicht der Bauwerke einfügt. An ersten Beispielen wurde erprobt, wie etwa durch einen Teilausbau oder -ersatz von Glasfeldern ganze historische Aussenverglasungen sinnvoll konserviert werden können. Im Gegensatz zu den frühen Systemen werden neue Aussenverglasungen dieses Typs jedoch gemäss bauphysikalischen Annahmen oft bewusst leicht nach aussen belüftet.

Auf eine weitere neuere Ausgestaltungsvariante von vorgesetzten Aussenverglasungen mit allseitigen Belüftungsschlitzen soll hier nicht weiter eingegangen werden (Abb. 5). Die rahmenlosen Systeme haben zwar eine gewisse konservatorische Wirkung, da sie Glasgemälde vor mechanischen und Wettereinwirkungen schützen und dazu beitragen können,

dass historische Kirchenfenster in situ und in ihrem Originalbestand erhalten bleiben können. Klimatisch und energetisch sind sie jedoch kaum relevant.



*Abb. 5: Rahmenlos angebrachte, einfache vorgesetzte Aussenschutzverglasung, Katholische Kirche in Marly (Konzept und Ausführung Daniel Stettler, Bern, 2012).*

Bei Restaurierungs- und Unterhaltsarbeiten an den Fenstern ist es von grossem Vorteil, dass diese „Vorfenster“ nicht mit der historischen Bleiverglasung verbunden sind. Die Glasmalereien können sowohl beim Einbau der Schutzverglasung als auch bei späteren Reinigungen, Reparaturen oder Konservierungsmassnahmen am Ort verbleiben. Zudem sind diese Systeme wegen der Einfachheit der Materialien (Holz, Metall, Kitt, Glas) und der Konstruktion weniger invasiv und entsprechend nachhaltiger als neuere Lösungen wie beispielsweise die im folgenden Kapitel beschriebenen Verbundsysteme.

Unter den angesprochenen Fallbeispielen solcher Verglasungen, mit deren konservierungstechnischer Wirksamkeit sich das Vitrocentre im Rahmen von Untersuchungen und Beobachtungen der letzten Jahre auseinandergesetzt hatte, soll hier vor allem auf vier Objekte hingewiesen werden: Das Chorfenster der Kirche Frauenfeld-Oberkirch (TG), der Chor des Berner Münsters und die Dorfkirchen von Vuisternens-devant-Romont und Villaraboud (FR). Allerdings können die Beispiele im vorliegenden Schlussbericht nur kurz angesprochen werden; in Publikationen<sup>12</sup> wurde bereits auf sie hingewiesen, und für Frauenfeld und Bern sind eingehende Mandatsberichte in Vorbereitung.

In Frauenfeld Oberkirch untersuchte das Vitrocentre parallel zum vorliegenden Projekt den Erhaltungszustand und die Konservierungsgeschichte des Chorfensters aus hochgotischer Zeit. Glücklicherweise beauftragte die Kirchgemeinde gleichzeitig den Projektpartner Ernst Baumann mit einer klimatischen und energetischen Untersuchung der Kirche und war damit einverstanden, dass die Fenster- und Schutzverglasungsproblematik gemäss den Frage-

---

<sup>12</sup> Stefan Trümpler, „Die Kunst der Zusammenarbeit“ als nationales Konzept der Glasmalereikonservierung. Eine zwanzigjährige Erfahrung in der Schweiz, in: The art of collaboration. Stained glass conservation in the twenty-first century. Corpus Vitrearum USA Occasional papers II, London 2010, S. 72–80.

stellungen des Projekts zusätzlich ins Untersuchungsprogramm mit aufgenommen werden (siehe Anhang 3). Aus diesem Grund kann nun die Kirche im Bericht als Fallbeispiel vorgestellt werden. Das Chorfenster von Oberkirch befindet sich in einem vergleichsweise guten Erhaltungszustand, betrachtet man es neben gleichzeitigen und recht eng verwandten Werken etwa in Königsfelden oder Kappel am Albis. Dies ist zum einen darauf zurückzuführen, dass das Glasgemälde während langer Zeit, wohl vom 16. bis ins frühe 19. Jahrhundert, in einer Vermauerung eingeschlossen war. Zum anderen vermuten wir jedoch, dass es aussergewöhnlich früh schon mit der heute noch bestehenden, einfachen Aussenschutzverglasung – einem Vorfenster – geschützt worden war (siehe Abb. 4, rechtes Bild). Obschon es sich nicht um das heute für mittelalterliche Glasmalereien übliche isothermale System handelt, lässt die phänomenologische Analyse den Schluss zu, dass diese Aussenschutzverglasung eine ausreichende Schutzwirkung hatte. Denkmalpflegerisch und konservatorisch hat diese Möglichkeit eine Bedeutung, die über den Fall dieser Kirche und seines Chorfensters hinausgeht.

In den benachbarten Dorfkirchen von Vuisternens und Villaraboud bei Romont bot sich die einzigartige Gelegenheit, den Erhaltungszustand zweier genau zur gleichen Zeit (1910/11) von demselben Atelier (Kirsch und Fleckner in Freiburg) geschaffenen Glasmalereizyklen miteinander zu vergleichen. Die Verglasung von Vuisternens war bereits ursprünglich mit einer einfachen Aussenschutzverglasung versehen worden, diejenige von Villaraboud erst vor einigen Jahren (Abb. 6). Die Glasmalereien der ersteren befinden sich in hervorragendem Zustand, während an denjenigen der zweiten schwerwiegende, auf den Einfluss von Kondenswasser zurückzuführende Schwarzlotschäden zu beklagen sind (Abb. 7).

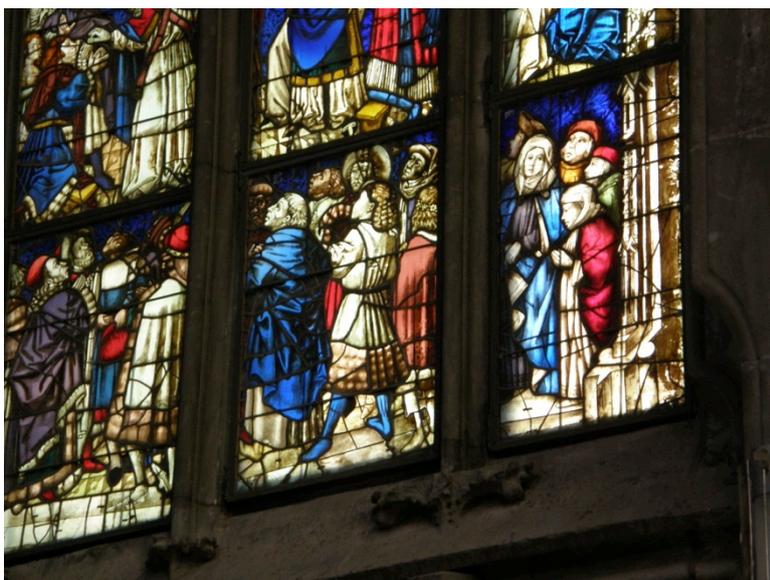


*Abb. 6: . Bild links: Aussenschutzverglasung an der Kirche in Vuisternens-devant-Romont (ca. 1910); Bild rechts: Aussenschutzverglasung an der Kirche von Villaraboud (ca. 1990).*



*Abb. 7: Bild links: Unversehrte Glasmalereien in der Kirche in Vuisternens-devant-Romont (Kirsch und Fleckner 1910); Bild rechts: Geschädigte Glasmalereien in der Kirche von Villaraboud mit deutlichen Schwarzlotablösungen (Kirsch und Fleckner 1911).*

Im Berner Münster verfolgt das Vitrocentre den Erhaltungszustand der hoch bedeutenden Glasmalereien aus den 1440-60-er Jahren im Auftrag der Münsterbaustiftung. Es konnte nachgewiesen werden, dass sich der Zustand der seit 1947 geschützten Glasmalereien im Vergleich zu früher (und zu Teilen der Verglasung in den Masswerken, die bis vor kurzem ungeschützt blieben) nicht mehr verändert hat (Abb. 8). Gewiss kann das Verglasungssystem im Berner Münsterchor – wie auch in diesem Bericht – als isothermal angesprochen werden (Abb. 9). In diesem Pionierwerk wurden die Glasgemälde in der Tat gerahmt und hinter einer Schutzverglasung angebracht, die ihren ursprünglichen Platz einnimmt. Der Zwischenraum ist auch aus dem Kircheninneren belüftet, jedoch nur seitlich und so gering, dass sich auf jeden Fall nicht die Kaminwirkung einstellt, die für die Funktionsweise isothermaler Schutzverglasungen als wesentlich erachtet wird. Wir halten es daher für sinnvoll, den Fall des Berner Münsters und besonders auch die Tatsache, dass das System nachweislich kaum kondensiert, doch auch im Zusammenhang mit wenig belüfteten Aussenschutzverglasungen mitberücksichtigt werden kann.



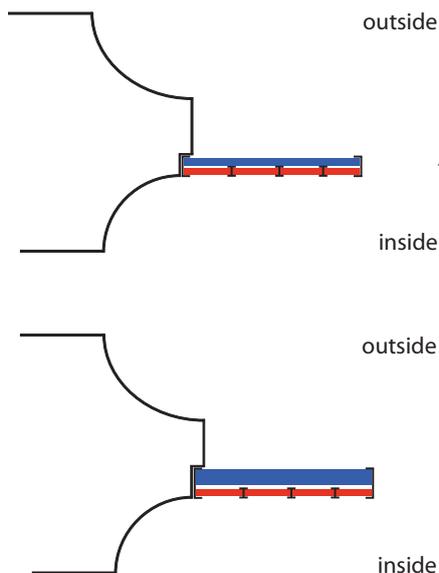
*Abb. 8: Berner Münster, Chorfenster, Schutzverglasung von 1947. In Rahmen innen vorgehängte Glasmalereien, mit knapper seitlicher Belüftung des Zwischenraums.*



*Abb. 9: Berner Münster, Chorfenster. Neue Schutzverglasungskonstruktion (vor Einbau der Glaselemente), entwickelt nach dem Vorbild der Verglasung von 1947 durch die Münsterbauleitung (Häberli Architekten).*

#### *A 2 Verbundsysteme*

Bei diesen Systemen sitzt die Aussenschutzverglasung zusammen mit den Glasgemälden in einem Metallrahmen (Abb. 10). Über längere Zeit wurden dafür besondere, zweiseitig ausgebildete Jansen-Profile verwendet. Der Zwischenraum zwischen Kunst- und Schutzverglasung ist in der Regel weniger als 2 cm tief und nicht ventiliert, das heisst weder be- noch hinterlüftet.



*Abb. 10: Vereinfachte Darstellung von Aussenschutzverglasungen im Verbundsystem: einfache Schutzverglasung (oben), isolierverglaste Schutzverglasung (unten).*

Ein grosser Nachteil dieser Systeme ist, dass bei deren Einbau die historische Bleiverglasung ausgebaut und meist sogar verkleinert werden muss, um im neuen Rahmen eingesetzt werden zu können (Abb. 11). Aus Platzmangel müssen aussen an der Kunstverglasung vorhandene, historische Bewehrungen wie Windstangen und Sturmeisen beim Einbau der Verbundverglasung meist ebenfalls entfernt werden.



*Abb. 11: Aussenschutzverglasungen im Verbundsystem (mit Isolierverglasung). Bild links: Fenster der Bühl-Kirche in Zürich; Bild rechts: Detail eines Fensters der Ref. Kirche in Zürich-Albisrieden.*

Eines der Hauptprobleme dieses Schutzverglasungstyps ist das Auftreten von Kondensation im Zwischenraum (Abb. 12). Im Winter beispielsweise kondensiert die im Zwischenraum eingeschlossene (oder durch Undichtigkeiten in der Kunstverglasung nachfliessende) Luftfeuchte an der kalten Oberfläche einfacher Schutzgläser. Wenn das sich im Zwischenraum sammelnde Wasser nicht abgeleitet wird, führt dies oft dazu, dass Rahmenelemente rosten oder sich Pilz- und Algenbewuchs bildet (siehe Abb. 12). Eisbildung im Zwischenraum zu Winterszeiten ist nicht selten.



*Abb. 12: Aussenschutzverglasungen im Verbundsystem (mit Einfachverglasung). Schutzverglasung von ca. 1970, Kirche Märwil (AG).*

Um Kondensation im Zwischenraum zu vermeiden, wurden in den letzten zwei Jahrzehnten aussen liegende Schutzverglasungen zunehmend isolierverglast. Diese Massnahme – so unsere Beobachtungen – führen jedoch in vielen Fällen nur zu einer Verlagerung des Problems: Die in der warmen Kirchenluft enthaltenen Feuchte kondensiert nun nicht mehr auf den nun wärmeren Glasflächen sondern auf den kälteren Wandflächen im Randbereich um die Fenster (Abb. 13). Das Problem ist vor allem in Kirchen sichtbar, wo „dichte“, nicht diffusionsoffene Wandanstriche verwendet wurden.



*Abb. 13: Aussenschutzverglasungen im Verbundsystem mit Isolierverglasung. Bild links: Aussenansicht eines Fensters der Kirche in Rüti; Bild rechts: Innenansicht desselben Fensters mit Schimmelpilzbefall auf der das Fenster umgebenden Wandfläche.*

Eine Untergruppe der Verbundverglasungen bilden Isolierglas-Verbundsysteme mit der Bezeichnung „DOM-Verglasung“ (Abb. 14). Dabei wurden Schutzglasscheiben und verbleite Felder (oft ornamentale Kunstverglasungen und Butzenscheiben) mittels besonderer Distanzprofile und Silikondichtungen zu Isolierglasfeldern verbunden.

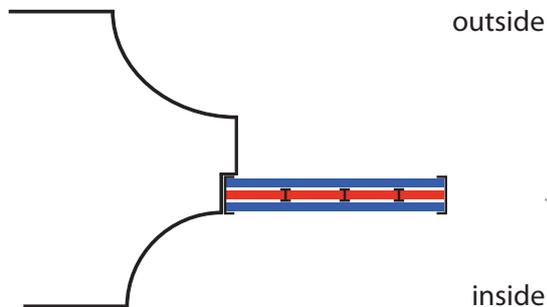


Abb. 14: Vereinfachte Darstellung einer „DOM-Verglasung“.

Beim System DOM II besteht die Aussenschicht aus einem Isolierglasfeld. Das DOM-System wurde in den 1980-er Jahren von einzelnen Betrieben und in bestimmten Regionen häufig verwendet, von anderen Glasmalern und Glaserfirmen jedoch hinterfragt und abgelehnt.<sup>13</sup> In der Tat zeigt sich heute, dass sich einzelne Verglasungen dieser Art zwar offenbar bewähren, andere jedoch – zum Teil bereits früh – Trübungen im Zwischenraum aufweisen. Teilweise kommt es zu Kondensation im Zwischenraum, bei der Oxydationen der Bleiprofile die Folge sein können (Abb. 15). Möglicherweise ist dies darauf zurückzuführen, dass die Elemente undicht werden oder die verwendeten Verarbeitungsprodukte (Dichtungen, Verkittungen, Reinigungsprodukte) Veränderungen erfahren. Frühere Untersuchungen durch die EMPA konnten dazu keine klaren Aufschlüsse geben.<sup>14</sup>

Neuere Varianten von Verbundsystemen mit Bleiverglasungen zielen darauf ab, die technischen und bauphysikalischen Schwachpunkte der Vorgänger zu verbessern. Die Zwischenräume zwischen Blei- und Isolierverglasungen werden entspannt und die Halterungsrahmen thermisch besser gedichtet oder getrennt. Bestehen bleiben jedoch die grundsätzlichen Bedenken gegenüber diesen Lösungen aus denkmalpflegerischer Sicht und bezüglich Nachhaltigkeit und energetischer Bilanz.

<sup>13</sup> Martin Halter, Schutzverglasung und Restaurierung. Erfahrungen und Beispiele aus der Praxis, in: KGS Forum 7, 2005, S. 35–40.

<sup>14</sup> Siehe EMPA Prüfberichte 196'773 / 1997 und 171'739 / 1998.



*Abb. 15: DOM-Verglasung an der Kirche St. Peter in Wil (SG). Bild links: Gesamtansicht einer Verglasung; Bild rechts: Detail derselben Verglasung mit Kondensation im Zwischenraum.*

### **2.3 Wirksamkeit von Aussenschutzverglasungen im tabellarischen Vergleich**

Aus konservatorisch, denkmalpflegerischer und ästhetischer Sicht schneiden die besprochenen Systeme unterschiedlich gut ab. Tabelle 1 fasst die Vor- und Nachteile der Systeme im Bezug auf Wirksamkeit, Konstruktion und Einbau sowie Nachhaltigkeit (Pflegemöglichkeiten, Materialbeständigkeit und Kosten) zusammen. Die Beurteilung der in der Tabelle aufgeführten Einzelkriterien, insbesondere die der konservatorischen Wirksamkeit und der Lebensdauer der Schutzverglasung basieren auf empirisch ermittelten Werten.

Der auf langjährigen Beobachtungen fundierte Vergleich macht deutlich, dass im Hinblick auf konservatorische und denkmalpflegerische Anforderungen und Richtlinien<sup>15</sup> bezüglich Konservierung, Substanzerhalt und Pflege, die frühen Vorfenster-Systeme vorteilhafter, nachhaltiger und kostengünstiger sind als die „modernerer“ Verbundsysteme. Die Wirksamkeit und historische Bedeutung der Vorfenster-Systeme wird leider oftmals unterschätzt. Das Vitrocentre sieht es daher als seine besondere Aufgabe, diesen Aussenschutzverglasungen auch weiterhin besondere Aufmerksamkeit zu schenken und ihre konservatorischen Eigenschaften über Monitoring und Klimamessungen näher zu untersuchen. Erkenntnisse über die energetische Effizienz, das heisst thermische Wirksamkeit dieser Systeme sind von der Beurteilung ausgenommen. Sie werden auf Grundlage neuer Messungen in den folgenden beiden Kapiteln diskutiert.

<sup>15</sup> Siehe Richtlinien für die Konservierung und Restaurierung von Glasmalereien des Corpus Vitrearum/ICOMOS 2. Ausgabe Nürnberg 2004 (<http://www.vitrocentre.ch/de/vitrocentre/technologie/glasmalereikonservierung.html>)

Tabelle 1: Vergleich verschiedener Aussenschutzverglasungen

<b>ASVG</b> <b>Kriterien</b>	<b>Vorgesetzte ASVG</b> („Vorfenster“ Typ I)	<b>Vorgesetzte ASVG</b> („Vorfenster“ Typ II)	<b>Verbundsystem Typ I</b>	<b>Verbundsystem Typ II</b>	<b>Verbundsystem Typ III</b> („Dom-Interno“-System)
<b>Konstruktion</b>	Einfachverglasung, gerahmt; nicht belüftet bzw. schwach nach aussen belüftet; ZWR 5 – 30 cm.	Einfachverglasung, ungerahmt, hinterlüftet; ZWR 5–30 cm.	Einfachverglasung, gerahmt, im Verbund mit KVG, unbelüftet oder belüftet; ZWR < 2 cm.	Zweifache Isolierverglasung, gerahmt, im Verbund mit KVG, unbelüftet; ZWR < 2 cm.	Isolierverglasung, gerahmt, Kunstverglasung zwischen Gläsern der Isolierverglasung, Abstand Kunstglas zu Schutzglas < 0.5 cm.
<b>Einbau und Substanzerhalt</b>	Kein Ausbau der KVG; einfache Rahmenkonstruktion und Aufhängung (Scharniere) der ASVG in Fensterlaibung. Rahmen- und Aufhängekonstruktionen vielfältig.	Kein Ausbau der KVG; einfache Aufhängung (Scharniere) der ASVG in Fensterlaibung. Aufhängekonstruktionen vielfältig.	Ausbau der KVG obligatorisch; Veränderungen an Substanz (KVG, Fensterfalz, Armierungen) i.d.R. notwendig; Aufhängekonstruktion vielfältig.	Ausbau der KVG obligatorisch; Veränderungen an Substanz (KVG, Fensterfalz, Armierungen) i.d.R. notwendig; Rahmen- und Aufhängekonstruktion vielfältig.	Ausbau der KVG obligatorisch; Veränderungen an Substanz (KVG, Fensterfalz, Armierungen) i.d.R. notwendig; wenige Anbieter in CH.
<b>Ästhetik</b>	Feingliedrige Rahmengestaltung; Einbau spezieller Gläser möglich (VSG, UV-Glas, Goetheglas, etc.).	Meist durchgehende Glasfläche; nicht entspiegelte Schutzgläser teils auffällig; Einbau spezieller Gläser möglich (VSG, UV-Glas, Goetheglas, etc.).	Rahmengestaltung und -gliederung gemäss Feldteilung der KVG möglich; Rahmen meist auffällig (wenig feingliedrig). Einbau von Spezialgläsern möglich.	Rahmengestaltung und -gliederung gemäss Feldteilung der KVG möglich; wegen Isolierglaseinheiten Rahmen meist massiv. Einbau von Spezialgläsern möglich.	Meist durchgehende Glasfläche; nicht entspiegelte Schutzgläser teils auffällig; Einbau von Spezialgläsern möglich.
<b>Konservatorische Wirksamkeit / Risiken</b>	Gute klimatische Erhaltungsbedingungen für KVG, v.a. bei ZWR >10 cm: i.d.R. keine Kondensation auf den Oberflächen der KVG; guter mechanischer und UV-Schutz durch Verwendung spezieller Gläser gewährleistet.	Guter Schutz vor Umwelteinflüssen und Impact (Hagel, Steinwurf), jedoch geringe thermische Wirksamkeit: Kondensation auf Innenseite der KVG möglich.	Problematische Erhaltungsbedingungen für KVG; Kondensation auf Innenseite der Aussenschutzverglasung häufig; bei ZWR < 1 cm Kondensation auf Aussenseite KVG und Korrosion des Bleinetzes möglich. Zusätzliches Risiko: Schimmel / Algen im ZWR bei fehlender Ableitung des Kondenswassers.	Guter Schutz und gute Erhaltungsbedingungen für KVG, mit Vorbehalt: teils Kondensation auf Rahmen der ASVG bei unzureichender thermischer Trennung (Kältebrücken) oder Verlagerung der Kondensation auf kalte Wandflächen um Fenster mit Risiko von Schimmelpilzbefall.	Schutz und Erhaltungsbedingungen für KVG gewährleistet solange Elemente dicht; Verlagerung der Kondensation auf kalte Wandflächen um Fenster möglich.
<b>Materialien</b>	Glas, Holz oder Metall, Leinöl-Kitt, teils Dichtungsbänder.	Glas, Metall (Aufhängungen).	Glas, versch. Metalle, Dichtungsmaterial (z.B. Silikon oder Kitt).	Glas, versch. Metalle, Dichtungsmaterial (i.d.R. Silikone, Kunststoffe), Füllgas.	Glas, versch. Metalle, Dichtungsmaterial (i.d.R. Silikone, Kunststoffe), Füllgas.
<b>Lebensdauer der ASVG</b>	Langzeitig (>100 Jahre?)	Langzeitig (>100 Jahre?)	Mittelfristig (20 – 50 Jahre?)	Kurzzeitig (< 20 Jahre?)	Kurzzeitig (< 20 Jahre?)
<b>Restaurierung und Pflege</b>	Einfach; Ausbau oder Öffnen der ASVG	Einfach; Ausbau oder Öffnen der ASVG	Schwierig; Ausbau des Systems oder Teile des i.d.R. Systems notwendig	Schwierig; Ausbau des Systems oder Teile des Systems i.d.R. notwendig	Sehr schwierig; Ausbau des ganzen Systems erforderlich
<b>Einbaukosten</b>	Niedrig	Niedrig	Hoch	Sehr hoch	Sehr hoch

**Verwendete Abkürzungen**

- KVG: Kunstverglasungen / Glasgemälde
- ASVG: Aussenschutzverglasung
- VSG: Verbundsicherheitsglas
- ZWR: Zwischenraum zwischen Kunst- und Schutzverglasung (gemessene Tiefe in cm) i.d.R.: in der Regel

### 3 Messungen und Berechnungen im Labor an Modellen ausgewählter Aussenschutzverglasungen

#### 3.1 Einleitung

Um die verschiedenen thermischen und hygrischen Aspekte von Kunstverglasungen in Kombination mit einer Schutzverglasung zu beleuchten, wurden folgende drei Konstellationen mit Hilfe messtechnischer Versuche (Hot-Box, Bewitterungskammer) wie auch rechnerischer Methoden (2D und 3D stationäre thermische Simulationen) untersucht:

- a Kunstverglasung mit Isolierverglasung IV getrennt durch einen kleinen Zwischenraum ZWR (30 – 40 mm)
- b Kunstverglasung mit Einfachverglasung EV getrennt durch einen kleinen Zwischenraum ZWR (30 – 40 mm)
- c Kunstverglasung mit Einfachverglasung EV getrennt durch einen grossen Zwischenraum ZWR (100 – 120 mm)

Schematische und entsprechend bildliche Darstellungen der drei Konstellationen sind in Anhang 2 wiedergegeben. Das Ziel dieser Untersuchungen war es, validierte Aussagen zum energetischen (U-Werte) und thermisch-hygrischen (Temperatur und Feuchte) Verhalten der obigen drei Konstellationen bei vorgegebenen Randbedingungen und vor allem in Bezug auf die Dichtheit des Zwischenraumes zwischen Kunst- und Schutzverglasung (ZWR) nach aussen machen zu können. Die Komplementarität von Messung und Simulation erlaubt es, zwischen den gemessenen Werten zu interpolieren oder über diese hinaus zu extrapolieren. In den folgenden Untersuchungen bedeutet *undicht* nach Aussen das Öffnen von zwei 40 mm × 10 mm Grossen Schlitzen am unteren Rand des Schutzrahmens.

#### 3.2 Stationäre thermische Messungen und Berechnungen

Der stationäre Wärmedurchgangskoeffizient, der sogenannte U-Wert, wurde für 13 Konstellationen mit Hilfe von Simulationen bestimmt. Die Zusammenfassung der Randbedingungen und Resultate sind in Tabelle 2 zusammengefasst.

Fall	System	ZWR [mm]	ZWR dicht	ZWR belüftet	U <sub>w</sub> -Wert [W/m <sup>2</sup> K]
TB1	Kunstverglasung				5.8
TB2a	Kunstverglasung + EV	40	x		3.1
TB2b	Kunstverglasung + EV	40		x	3.9
TB4a	Kunstverglasung + 2-IV	40	x		1.6
TB4b	Kunstverglasung + 2-IV	40		x	1.8
TB5a	Kunstverglasung + EV	100	x		2.8
TB5b	Kunstverglasung + EV	100		x	3.8
TB5c	Kunstverglasung + 2-IV	100	x		1.5
TB5d	Kunstverglasung + 2-IV	100		x	1.8
TB3a	Kunstverglasung + EV	120	x		2.9
TB3b	Kunstverglasung + EV	120		x	3.8
TB4c	Kunstverglasung + 2-IV	120	x		1.5
TB4d	Kunstverglasung + 2-IV	120		x	1.8

Tabelle 2: Zusammenfassung der stationären thermischen Berechnungen.

Da die durchgeführten Berechnungen keine fluiddynamische Simulationen des Zwischenraumes (ZWR) beinhalten, wird dieser durch eine einfache Näherung (EN ISO 10077-2) berücksichtigt. Für den Fall der Undichtheit des ZWR wird laut dieser Norm der zweifache Wert der effektiven Wärmeleitfähigkeit der Luft in der Simulation eingesetzt. Um diesen Sachverhalt mit der Realität der hier untersuchten Fälle zu vergleichen, wurden Messungen in der Hot-Box herangezogen. Hierfür genügte es, die Messung an einer Konstellation einmal mit dichtem und ein zweites Mal mit nach aussen undichtem ZWR auszuführen. Alle anderen Parameter blieben bei den beiden Messungen identisch. Details zur Hot-Box-Apparatur und deren Messprinzip sind in Anhang 2 zusammengefasst. Der Vergleich von Messung und Rechnung (Tabelle 3) für die drei Fälle

Zweifach-Isolierverglasung + ZWR (dicht) + Kunstverglasung

Zweifach-Isolierverglasung + ZWR (belüftet) + Kunstverglasung

Zweifach-Isolierverglasung alleine

beweist die gute Übereinstimmung der Mess- und Rechenwerte innerhalb der Messgenauigkeiten.

Verglasungssystem	2-IV dicht (W/m <sup>2</sup> K)	2-IV belüftet (W/m <sup>2</sup> K)	IV allein (W/m <sup>2</sup> K)
3D-Modellrechnung	1.6	1.9	2.2
3D-Modellrechnung mit Flächenkorrektur	1.6	1.7	2.1
Messung	1.5	1.6	2.2

*Tabelle 3: Zusammenfassung der Vergleiche der Messung und Rechnung*

Die berechneten Werte liegen etwas höher als die gemessenen, was bedeutet, dass die Rechnung konservativere Werte liefert. Die Berechnungen zeigen, dass bei verschiedenen Tiefen des ZWR, ob nach aussen dicht oder belüftet, der Austausch der EV durch eine IV den U-Wert des gesamten Verglasungssystems um 50% reduziert.

Dieser Umstand kann aber nicht allein und unabhängig vom in der Realität existierenden Kirchengemäuer betrachtet werden. Um dies zu veranschaulichen, wurden Berechnungen mit einer das gesamte Fenster umgebenden Sandsteinmauer von 550 mm Dicke (U-Wert 2.32 W/m<sup>2</sup>K) unter Berücksichtigung derselben Randbedingungen wie den vorangehenden Rechnungen durchgeführt (zur Berechnung siehe Anhang 2). Dabei wurden zwei Situationen mit unterschiedlichen Fensteranteilen von 15 und 25% berücksichtigt, die für die in diesem Projekt untersuchten Kirchen als typisch gelten können. Diese Resultate sind in Tabelle 4 zusammengefasst.

Fensteranteil %			15	15	25	25
Wärmeleitfähigkeit Wand [W/mK]			1.5	2.1	1.5	2.1
Fenstersystem		ZWR [mm]	U Total [W/m <sup>2</sup> K]			
EV	dicht	40	1.89	2.20	2.01	2.30
EV	belüftet	40	2.00	2.31	2.17	2.46
2-IV	dicht	40	1.70	2.01	1.71	2.00
2-IV	belüftet	40	1.76	2.03	1.81	2.04
EV	dicht	100	1.86	2.16	1.96	2.24
EV	belüftet	100	1.97	2.28	2.14	2.42
2-IV	dicht	100	1.69	2.00	1.70	1.99
2-IV	belüftet	100	1.73	2.04	1.76	2.05

*Tabelle 4: Zusammenstellung der berechneten U-Werte aus Modellen mit verschiedenen Fenstersystemen, Wänden und Fenster-Wand Anteilen.*

Aus den Daten wird ersichtlich, dass bei einem Fensteranteil von 15% der Gesamt-U-Wert für das 2 IV-System nur um 10% besser als derjenige des EV-Systems ist; bei einem Fensteranteil von 25% beträgt der Unterschied 20%. Dies bedeutet, dass in Anbetracht des relativ geringen Fensteranteils in Kirchen (und der vergleichsweise hohen Transmissionsverluste über das Mauerwerk), die Wahl der Schutzverglasung keinen wesentlichen Einfluss auf den totalen Wärmeverlust über die Kirchenfassade (Wand + Fenstersystem) nimmt.

Der in Tabelle 3 angegebene U-Wert für die Zweifach-Isolierverglasung (2 IV) ( $2.1 \text{ W/m}^2\text{K}$ ) mag überraschen. Der im Vergleich zu modernen Isolierverglasungen ( $<1 \text{ W/m}^2\text{K}$ ) recht hohe U-Wert ist auf die Bauweise des metallischen Rahmens zurückzuführen: Aus ästhetischen Gründen ist die Schutzverglasung durch Sprossen unterteilt. Rahmen und Sprossen wirken wegen teils unzureichender thermischer Trennung als starke Wärmebrücken (Abb. 16). Dieser „Mangel“ entspricht keiner Fehlkonstruktion sondern eher der gängigen Praxis in der Konservierung denkmalgeschützter Objekte.



*Abb. 16: In den Laborversuchen verwendete Schutzverglasung mit Isolierglas. Der Rahmen ist durch mehrere Sprossen unterteilt und weist keine vollständige thermische Trennung nach aussen auf.*

### 3.3 Instationäre klimatische Messungen und Berechnungen

Um die oben erwähnten rein thermischen Messungen mit Untersuchungen zum hygrischen Verhalten von Fenstersystemen unter variierenden Temperaturen zu vervollständigen, wurden die genannten drei Fenstersysteme in der sogenannten Bewitterungskammer der Empa untersucht. Eine schematische Anordnung der Messung ist in Abbildung 17 dargestellt.

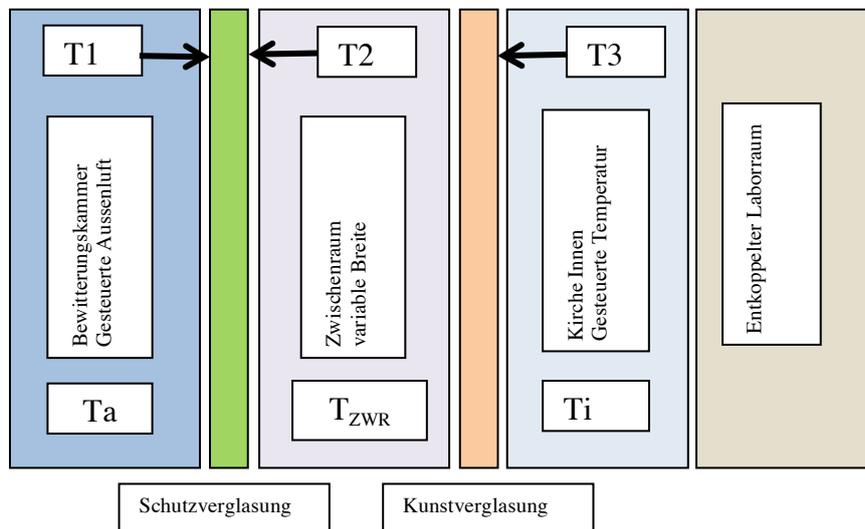


Abb. 17: Schematische (nicht massstäbliche) Darstellung der Prüfung von Fenstersystemen in der Bewitterungskammer. Es besteht eine Verbindung zwischen Aussenluft und Innenluft der Kirche, aber keine Verbindung zum Zwischenraum.

Durch die Regelung einer sinusförmigen Temperatur mit variabler Amplitude, Mittelwert und Frequenz wird in der Kammer die kalte Aussenluft und auf der Laborseite (allerdings getrennt davon) die Innenluft einer beheizten Kirche simuliert. Mit Hilfe von Sensoren werden die Temperaturen auf verschiedenen Oberflächen und die relative Feuchte in verschiedenen räumlichen Abschnitten in Abhängigkeit der Zeit (instationär) gemessen.

Dabei gilt:

$T_a$  = Die sinusförmig verlaufende Aussentemperatur

$T_1$  = Temperatur an der kalten äusseren Oberfläche der Schutzverglasung

$T_{2R}$  = Temperatur an der warmen, dem ZWR zugewandten Seite der Schutzverglasung (Rahmen). Im Falle einer Einfachverglasung können  $T_1$  und  $T_2$  als identisch approximiert werden.

$T_{ZWR}$  = Temperatur im Zwischenraum (Mitte) zwischen Kunstverglasung und Schutzverglasung.

$T_3$  = Temperatur an der kalten Oberfläche (dem ZWR zugewandt) der Kunstverglasung. Da diese eine Einfachverglasung darstellt, kann angenommen werden, dass die Oberflächentemperaturen auf beiden Seiten identisch sind.

$T_i$  = Temperatur im Inneren der Kirche.

Der Mittelwert sowie die obere und untere Grenze der gemessenen Temperaturen an verschiedenen Stellen der drei untersuchten Fenstersysteme (Konstellationen) für diverse Phasen inklusive mittlere Taupunkttemperatur im Zwischenraum (ZWR) sind in Abbildungen 18 – 20 dargestellt.

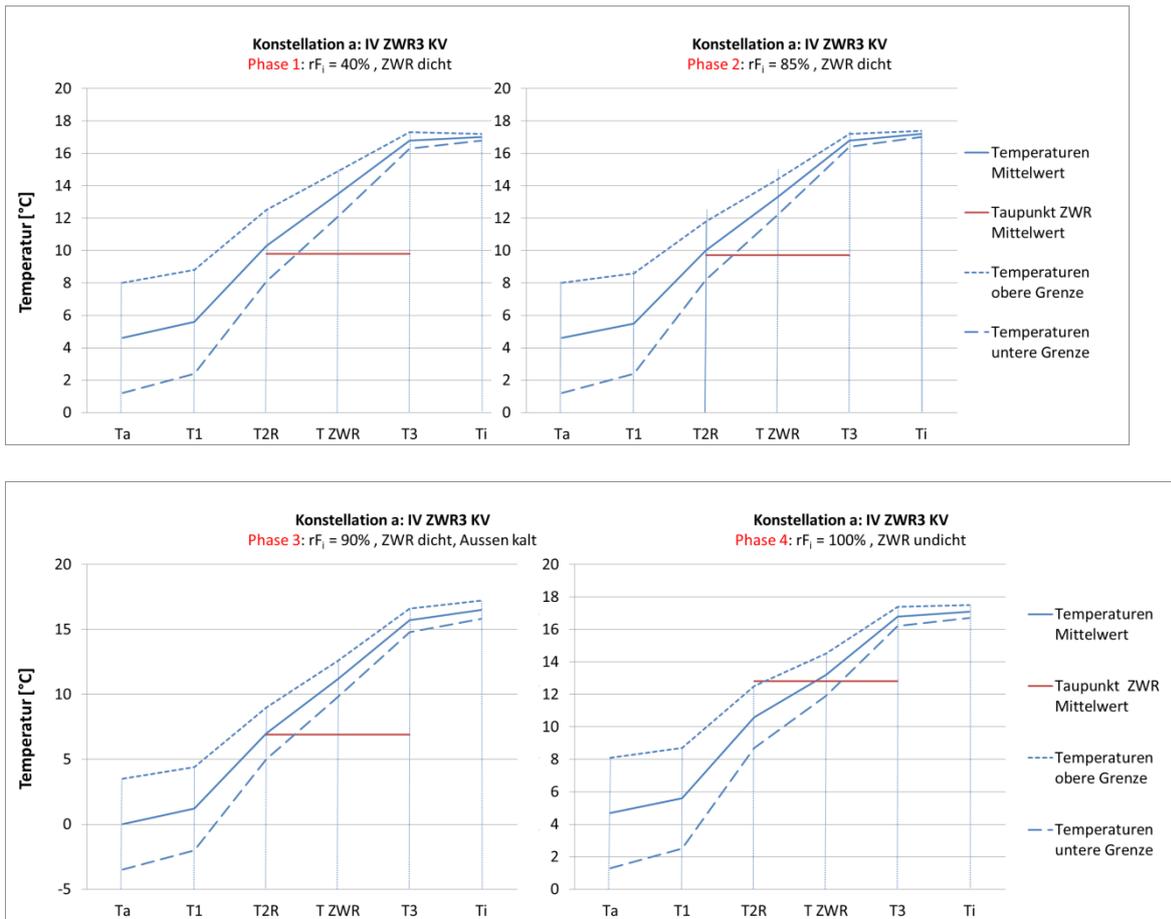


Abb. 18: Die vier Messphasen der Konstellation a: 2-IV + ZWR 3cm + Kunstverglasung. (Verschiedene y-Achsen-skalen beachten)

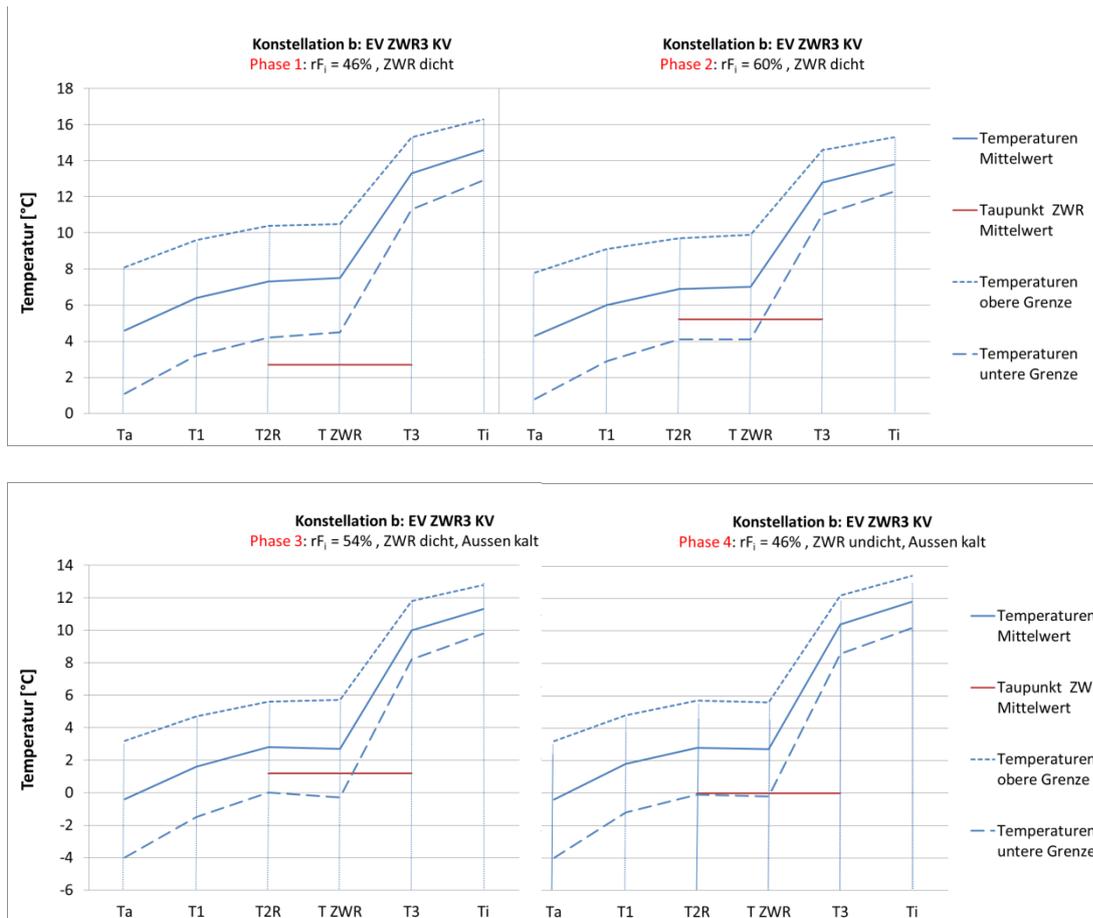


Abb. 19: Die vier Messphasen der Konstellation b: EV + ZWR 3cm + Kunstverglasung. (Verschiedene y-Achsen skalieren beachten)

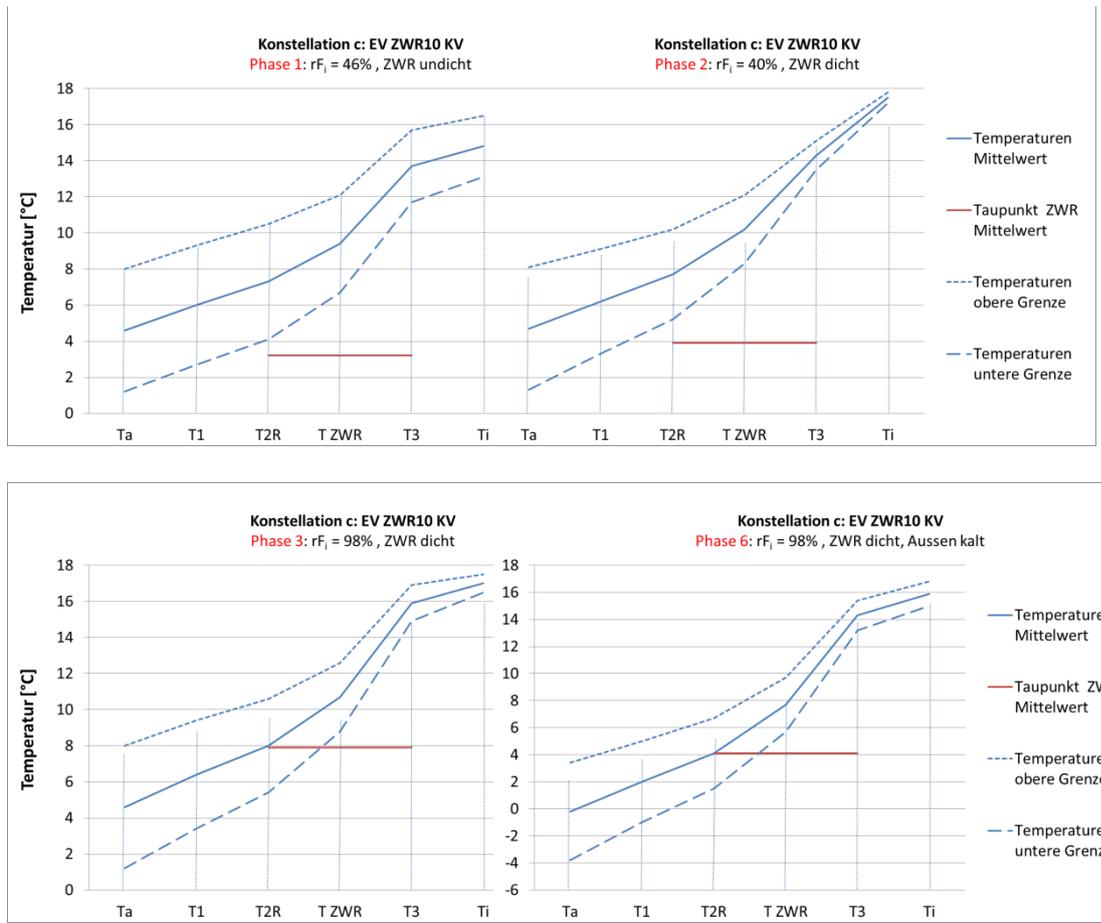


Abb. 20: Die 4 Messphasen der Konstellation c: EV + ZWR 10 cm + Kunstverglasung. (Verschiedene y-Achsen-skalen beachten)

Die drei untersuchten Fenstersysteme (Konstellationen a, b und c) verhalten sich wie folgt:

*Konstellation a: 2-IV + ZWR 3 cm + Kunstverglasung*

Für dieses Fenstersystem besteht auch bei kalter Aussenluft und hoher Luftfeuchtigkeit im Kircheninnern eine sehr geringe Kondensationsgefahr für die Kunstverglasung, hingegen ist Kondensation an dem Metallrahmen der Schutzverglasung höchst wahrscheinlich auch bei niedriger relativen Feuchte der Kirchenluft vor allem, wenn der Zwischenraum nach aussen belüftet ist.

*Konstellation b: EV + ZWR 3 cm + Kunstverglasung*

Auch diese Konstellation zeigt weitgehend, dass die Kunstverglasung mit grosser Wahrscheinlichkeit kondensationsfrei bleibt. Eine Phase mit 90% relativen Feuchte im Innern der Kirche fehlt leider und erlaubt keinen direkten Vergleich mit der entsprechenden Phase der vorangehenden Konstellation a (Abb. 18). Dies ist nicht beunruhigend, da so hohe relative Feuchten im Kircheninnern sehr unwahrscheinlich sind beziehungsweise selten vorkommen. Hier könnte man mit instationären 3D Berechnungen gewisse Lücken füllen (zukünftiges Projekt). Die Kondensation auf der Innenseite der Einfachschutzverglasung wird sich über die ganze Fläche (Glas und Rahmen) bemerkbar machen.

*Konstellation c: EV + ZWR 10 cm + Kunstverglasung*

Diese Konstellation zeigt bei niedriger Feuchte im Kircheninnenraum eine niedrige Wahrscheinlichkeit der Kondensation auf der Kunstverglasung als auch auf der Schutzverglasung, was auf das grössere Luftvolumen im Zwischenraum zurückzuführen ist. Für hohe Feuchtigkeit der Innenluft bei tieferen Aussenlufttemperaturen und dichtem ZWR schneidet diese Konstellation gleich gut ab wie die 2-IV Schutzverglasung (Konstellation a).

### **3.4 Spektrale Transmission und Reflexion verschiedener Gläser**

Zur Ermittlung der optischen Transmission wurde in Abhängigkeit der Wellenlänge der prozentuale Anteil der durch die Probe transmittierten Strahlung (Transmission) gemessen. Die Reflexion wurde durch Messung des von der Probe reflektierten prozentualen Anteils je Wellenlänge ermittelt. Um auch diffuse Anteile zu erfassen, wurden die Messungen mit einer Ulbricht'schen Kugel durchgeführt (Anhang 2).

Folgende Glastypen wurden nach DIN 5036 und EN 410<sup>16</sup> untersucht:

-	6-Eck	2.6mm
-	ARTISTA	4.0mm
-	GOETEGLAS	4.3mm
-	FLOATGLAS	4.0mm
-	ANTI-KGLAS TRANSPARENT	2.9mm
-	ANTI-KGLAS BLAU	2.9mm
-	ANTI-KGLAS ORANGE	2.9mm
-	ANTI-KGLAS GRÜN	2.9mm
-	ANTI-KGLAS ROT	3.4mm

---

<sup>16</sup> DIN 5036 Teil 1: Strahlungsphysik im optischen Bereich und Lichttechnik und EN 410: Glas im Bauwesen - Bestimmung der lichttechnischen und strahlungsphysikalischen Kenngrößen von Verglasungen.

Die Spektren der verschiedenen Gläser weisen über den ganzen Wellenlängenbereich eine Reflexion von ca. 10% auf. Das grüne Antikglas ist im nahen Infrarot-Bereich undurchsichtig, das heisst, es hat eine Transmission von kleiner als 5% bis zu einer Wellenlänge von 1250 nm. Entsprechend hoch ist dann die Absorption (ca. 90%). Es sind keine Unterschiede in den Spektren der Vorder- und Rückseite der Fenstergläser zu erkennen.

### 3.5 Feuchtedurchlässigkeit von Kunstgläsern

Ein wichtiger Faktor bei den hygrischen Betrachtungen ist die Menge des Wasserdampfes, der durch die Kunstverglasung bei einem definierten Dampfdruckgradienten pro Zeiteinheit hindurchtreten kann. Bei konventionellen Baustoffen wird dieser Vorgang durch den Diffusionswiderstand beschrieben. Da aber die Kunstverglasung kein homogenes Material ist, sondern aus Glas, Metall (Blei) und Kitt besteht, wobei nur die Kittabdichtung je nach Zustand dampfdurchlässig ist, scheint es angebracht, den Diffusionswiderstand per Länge der Verkittungen anzugeben. Mit anderen Worten: Die Dampfdiffusion ist abhängig von der gesamten Randlänge der Verkittungen um die farbigen Glasstücke.

Für den Versuch wurden zwei kleine, fast identische Kunstverglasungen als Prüfkörper ausgewählt (Anhang 2). Der Unterschied bestand lediglich im Alter der Verkittung der Bleiverglasungen: Die Probe 1 hatte eine ursprüngliche Verkittung (von ca. 1950) und Probe 2 war frisch verkittet worden. Die Messungen erlaubten einen Vergleich des Diffusionswiderstandes der beiden unterschiedlich alten Kitte (Tabelle 5). Die Ergebnisse sind vorerst nur als Indiz dafür zu verstehen, dass eine Neuverkittung die Wasserdampfdiffusion durch die Kunstverglasung und damit das Kondensationsrisiko im Zwischenraum (auf den kalten Flächen der Schutzverglasung) verringert, sofern die Kunstverglasung dicht in die Wand eingebaut ist.

Um allgemeinere und statistisch relevante Aussagen über die Dampfdiffusion durch Kunstverglasungen mit verschiedenen Verkittungen (Zusammensetzung, Alter, Bearbeitung etc.) machen zu können, bedarf es weiterer Messungen an unterschiedlich gealterten Kunstverglasungen.

	Probe 1 Alte Verkittung	Probe 2 Neue Verkittung
Glasdicke [mm]	3	3
Probenoberfläche [mm <sup>2</sup> ]	570 x 420	570 x 420
Dampfstrom [mg/h]	408	292
Diffusionswiderstand Z [m <sup>2</sup> hPa/mg]	0.48	0.78
Diffusionswiderstandszahl m [-]	109	178
Diffusionsäquiv. Luftschichtdicke s [m]	0.33	0.53
Totale Verkittungslänge L [m]	14.3	14.3
Diffusionswiderst. per Länge m <sub>L</sub> [1/m]	0.023	0.037

*Tabelle 5: Zusammenstellung der Resultate der Dampfdiffusionsmessungen.*

## 4 Klimatische und energetische Untersuchungen an Kirchenobjekten

### 4.1 Kirche St. Laurentius in Frauenfeld-Oberkirch<sup>17</sup>

#### 4.1.1 Situation

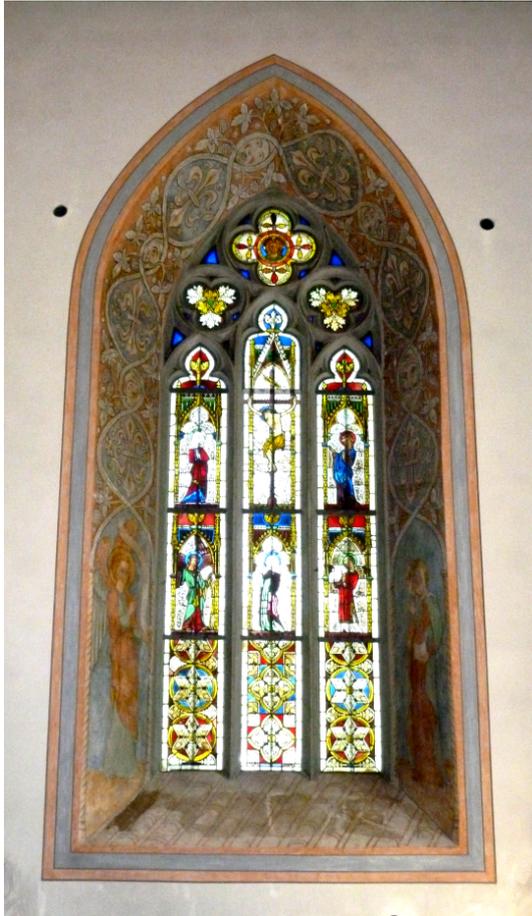
Die Kapelle ist im Besitz der evangelischen Kirchgemeinde Frauenfeld und wird von der katholischen Kirchgemeinde Frauenfeld verwaltet (Abb. 21). Im Chorfenster der Kirche sind sehr wertvolle Glasmalereien von ca. 1330 erhalten, die der Konstanzer Schule zugerechnet werden (Abb. 22). Die wertvollen mittelalterlichen Glasmalereien sind durch eine einfache Aussenschutzverglasung (Tiefe des Zwischenraums 20 cm) vor Umwelteinflüssen geschützt (Abb. 23). Das in einem feingliedrigen Holzrahmen gefasste Vorfenster stammt vermutlich aus dem frühen 20. Jahrhundert (siehe Abb. 4, Bild rechts). Die übrigen Fenster der Kirche sind mit ornamentalen Bleiverglasungen aus dem späten 19. Jahrhundert verglast und haben keine Schutzverglasung.



*Abb. 21: Südfassade der Kirche St. Laurentius in Frauenfeld-Oberkirch mit Kunstverglasung ohne Schutzverglasung.*

---

<sup>17</sup> St. Laurentiuskapelle Frauenfeld-Oberkirch. Bericht vom 05.10.2013 über Klimamessungen und Vorschläge für wärmetechnische Massnahmen. Baumann Akustik und Bauphysik AG, Dietfurt.



*Abb. 22: Mittelalterliche Glasmalerei im Chorfenster der Kirche St. Laurentius in Frauenfeld-Oberkirch; rechts Gesamtansicht, links Ausschnitt Verkündigungsel.*



*Abb. 23: Blick in den Zwischenraum zwischen Glasmalerei (Kante eines Feldes links unten) und vorgesetzter Aussenschutzverglasung im Chorfenster.*

Die Kirche zählt etwa 250–300 Sitzplätze und wird in den Wintermonaten (Oktober bis Ende März) durchgehend über die Fussbodenheizung beheizt; bei kurzzeitig auftretenden tiefen Aussentemperaturen schaltet der Sigrist während der Belegungszeiten zusätzlich die Bankheizung ein.

Die aufgrund des Stromverbrauches ermittelte Energiekennzahl der Kirche St. Laurentius beträgt momentan 201 kWh/m<sup>2</sup>a. Damit liegt ihr Energieverbrauch um 57% über dem Mittelwert übriger elektrisch beheizter Kirchen in der Schweiz (vgl. Abb. 1). Die Heizkosten sind entsprechend hoch. Um die Kosten zu senken, möchte die Kirchgemeinde daher alle Fenster der Kirche mit isolierverglasten Schutzverglasungen versehen. Vorab sollten aber noch folgende Fragen beantwortet werden:

1. Wie viel Heizenergie kann durch den Einbau von Aussenschutzverglasungen mit Isolierglas gespart werden?
2. Wie effizient sind andere energetisch wirksame Massnahmen?
3. Ist der Ersatz der einfachen Schutzverglasung am Chorfenster durch eine Isolierverglasung aus konservatorischer und energetischer Sicht sinnvoll bzw. zweckmässig?
4. Unter welchen klimatischen Bedingungen tritt an den Glasmalereien des Chorfensters und an den Kunstverglasungen im Schiff Kondensat auf?

Zur Beantwortung dieser Fragen wurden über die Dauer eines Jahres (30.09.2012 – 01.10.2013) Klimamessungen in der Kapelle durchgeführt. Um Aufschluss über die Wirksamkeit der bestehenden Schutzverglasung am Chorfenster zu erhalten, wurde das Mikroklima, insbesondere der Verlauf der Luftfeuchtigkeit und Temperatur im Zwischenraum und allfälliges Kondensationsaufkommen auf der Kunstverglasung und der Innenseite der Schutzverglasung untersucht. Weiter dienten die Messungen als Randbedingungen für eine detaillierte dynamische Heizwärmebedarfsberechnung mit dem Simulationsprogramm HELIOS.<sup>18</sup> Mit diesen Simulationen sollten das Energiesparpotential verschiedener baulicher und technischer Massnahmen berechnet werden.

#### *4.1.2 Berechnungen der Transmissionsverluste – Simulation verschiedener Szenarien*

Die mittlere Innentemperatur während der Heizperiode betrug 15.7°C bei kleiner Streuung von  $\pm 1.5^\circ\text{C}$ . Ausgehend von den gemessenen Randbedingungen und dem gegenwärtigen Heizbetrieb wurden verschiedene Energiesparmassnahmen untersucht: Absenkung der Innentemperatur, Abschaltbetrieb, Einbau Aussenschutzverglasung, Aussendämmung der Wände. Die Ergebnisse der Messungen und Simulationen zeigten, dass im Ist-Zustand (keine Schutzverglasung mit Ausnahme des Chorfensters) und bei derzeitigem Heizbetrieb, die Transmissionsverluste über die Fenster einen Anteil von 10% ausmachen. Die Transmissionsverluste über die ungedämmten Aussenwände betragen 64%. Der Rest der Transmissionsverluste von 26% verteilt sich auf Boden und Decke und natürliche Lüftungsverluste.

---

<sup>18</sup> Dynamisches 1-Zonen Simulationsmodell zur Erfassung des thermischen Verhaltens von Gebäuden. Berechnungen durchgeführt an der EMPA Dübendorf, Abteilung Bautechnologien.

	Ist-Zustand	1	2	3	4
Raumtemperatur	16°C	14°C	16°C	16°C	10–18°C
Fenster	Keine ASVG (Ausnahme Chorfenster)	unverändert	ASVG mit 2-IV	unverändert	unverändert
Aussenwände	-	-	-	Dämmung	-
Heizungsteuerung					2x pro Woche 16–18°C (12h)
Benötigte Heizenergie	53'750 kWh	43'440 kWh	49'400kWh	28'790 kWh	32'700 kWh
Einsparung	0%	19%	8%	46%	39%

Tabelle 6: Ergebnisse der rechnerischen Simulation zu Energieverlusten.

Aus der Simulation der verschiedenen baulichen und technischen Massnahmen zur Senkung des Energieverbrauchs ergeben sich folgende Schlussfolgerungen (Tabelle 6):<sup>19</sup>

Die effizienteste Methode der Senkung der Energiekosten wäre eine Dämmung der Aussenwände der Kirche durch Aufbringen eines Dämmputzes. Hiermit könnten Einsparungen von bis zu 46% erreicht werden. Ebenfalls sehr wirksam und in der Umsetzung günstiger wäre eine Umstellung des praktizierten Heizbetriebes auf Ein- und Absenkbetrieb mit einer Grundtemperatur von 10°C im Winter; der Heizenergieverbrauch könnte hiermit um 39% gesenkt werden. Die sicherlich einfachste Massnahme ist die Absenkung der durchschnittlichen Innentemperatur um 2°C von rund 16°C auf 14°C. Mit dieser Massnahme könnten 19% Heizenergie gespart werden. Auf die Innentemperatur während der Gottesdienste hätte dies keinen Einfluss (eine Komforttemperatur von 18°C kann beibehalten werden). Am schlechtesten schneidet die Anbringung einer Aussenschutzverglasung ab: Bei Anbringung einer Aussenschutzverglasung mit zweifachem Isolierglas betrüge das Sparpotential nur 8%, selbst wenn von einem idealen U-Wert für die Fenster von 1.0 W/m<sup>2</sup>K ausgegangen wird. Die mit dem Einbau einer einfachen Aussenschutzverglasung verbundene Einsparung an Heizenergie betrüge 5% (nicht in Tabelle 6 aufgeführt). Aus rein energetischer Sicht würden sich diese Lösungen also kaum rechnen.

Die Ergebnisse dieser Berechnungen müssen jedoch unter dem Vorbehalt betrachtet werden, dass jede dieser Massnahmen Auswirkungen auf das Innenraumklima und damit auf das Kondensationsrisiko an den Fenstern hat (siehe dazu Kapitel 4.1.5). Allen Beteiligten muss daher deutlich gemacht werden, dass eine Umsetzung einer oder mehrerer Massnahmen nur nach bauphysikalischen und klimatischen Abklärungen erfolgen kann. Eine an die speicherprogrammierte Heizungssteuerung gekoppelte Lüftungsregelung kann das Innenklima jedoch ganzjährig günstig beeinflussen und Schäden vermeiden helfen.

#### 4.1.3 Messungen an der Aussenschutzverglasung am Chorfenster

Die Klimamessungen am Chorfenster haben gezeigt, dass während der Heizperiode und an Frühlingstagen der Taupunkt weder im Zwischenraum noch auf der Innenseite der Kunstverglasung unterschritten wurde (siehe Anhang 3). Demnach kam es weder an der Schutzverglasung noch auf den beiden Oberflächen der Kunstverglasung zu Kondensation. Kondensat auf Innen- oder Aussenseite der Kunstverglasung würde erst auftreten, wenn die relative Feuchte bei gleicher Innentemperatur (durchschnittlich ca. 16°C) 85% erreichen würde.

<sup>19</sup> Ohne Berücksichtigung einer zusätzlichen Deckendämmung, welche eine Energieeinsparung von 4% bewirken würde.

Im Zwischenraum wurde im Mittel 58% relative Feuchte gemessen. Das relativ trockene Klima weist darauf hin, dass die Kunstverglasung recht luftdicht ist und keine (warme und feuchte) Kirchenluft in den Zwischenraum strömt. Weiter ist daraus zu folgern, dass die Luftdichtigkeit der Kunstverglasung gegen die Kirche grösser ist als diejenige der Schutzverglasung gegen das Aussenklima. Zudem tragen breite Zwischenraum von 20 cm und das darin eingeschlossene Luftvolumen zur Verringerung des Randeinflusses (kalte Fensterlaibungen) bei.

#### 4.1.4 Untersuchungen an Kunstverglasungen ohne Schutzverglasung

Die Taupunkttemperatur wurde auch an den ornamentalen Bleiverglasungen der Fenster im Schiff (ohne Schutzglas) nie erreicht. An den exponierten Fenstern der Südfassade beispielsweise wurde während der Heizperiode eine mittlere Oberflächentemperatur von 10.5°C mit einer Streuung von 4.0 °C gemessen (siehe Anhang 3). Die tiefste Oberflächentemperatur wurde nach der Heizungsabschaltung registriert und betrug 3.4°C. Zum Vergleich: An den Glasmalereien des Chorfensters betrug die Minimaltemperatur auf der Oberfläche 7.4°C. Die Lufttemperatur im Chor lag dann bei 11.4°C (8°C vor Wiedereinschalten der Heizung). Der berechnete Taupunkt der Innenluft am Chorfenster lag bei einer gemessenen tiefen relativen Luftfeuchte von 37% bei 4.4°C. An Tagen mit direkter Sonneneinstrahlung wurden Höchsttemperaturen von 39°C auf der Oberfläche des Südfensters gemessen.

#### 4.1.5 Schlussfolgerungen

Die Untersuchungen haben klar gezeigt, dass eine Ertüchtigung der Kirchenfenster in St. Laurentius durch Aussenschutzverglasungen aus *energetischer* wie auch *wirtschaftlicher*<sup>20</sup> Sicht nicht sinnvoll ist, da sie ein weit geringeres Energiesparpotential hat als andere Massnahmen. Auch aus konservatorischer Sicht gäbe es *beim derzeitigen Heizbetrieb* keine Notwendigkeit für den Einbau einer Aussenschutzverglasung: Die Untersuchungen beweisen, dass selbst bei extremen Aussenklimabedingungen der Taupunkt an den Kunstverglasungen im Kirchenschiff (ohne Schutzverglasung) nie unterschritten wurde und somit kein Kondensat auf den Fenstern auftrat. Die durch den durchgehenden Heizbetrieb hervorgerufene interne Luftumwälzung führt zu einem steten oberflächennahe Luftstrom (auch nachts) und zu einer Erwärmung der Glasoberflächen. Vor allem auch die tiefe relative Luftfeuchte und niedrige Taupunkttemperatur im Kircheninnern sind auf das durchgängige Heizen im Winter zurückzuführen. Die andauernde Austrocknung der Bausubstanz und der Austausch der feuchteren Innenluft mit trockener Aussenluft beginnt mit Heizstart im Herbst und hört im Sommer nach Abschalten der Heizung auf. So lässt sich begründen, wieso auch in den Tagen nach Abschaltung der Heizung keine Taupunktunterschreitung an den Kunstverglasungen auftrat. Die raumumschliessenden Materialien (Innenputz, Holzdecke und Innenausstattung) wiesen zu diesem Zeitpunkt eine der relativen Luftfeuchte entsprechende geringe Materialfeuchte auf und führten der Innenluft somit keine Feuchte mehr zu. Der momentane Heizbetrieb mag Kondensation an den Kunstverglasungen vermeiden helfen, ist jedoch für die Bausubstanz und Ausstattung schädlich und führt zudem – wie die Messungen gezeigt haben – zu einem hohem Heizenergieverbrauch.

---

<sup>20</sup> Die Kosten für den Einbau einer Aussenschutzverglasung mit Isolierverglasung liegen in Abhängigkeit von Grösse und Anzahl der Fenster zwischen CHF 50'000 und CHF 300'000. Angaben basierend auf den Offerten von fünf durchschnittlichen Kirchen in der Schweiz.

Für die Verglasungen aus bauphysikalischer Sicht kritisch wird die Situation, wenn der Heizbetrieb aus energetischen und wirtschaftlichen Gründen umgestellt wird: Eine Absenkung der mittleren Innentemperatur mittels speicherprogrammierter Heizregulierung auf rund 12°C würde – bei gleichbleibenden Komfortbedingungen während der Belegungszeiten – infolge geringerer Konvektionsströmung zu tieferen Oberflächentemperaturen der Kunstverglasung und höheren relativen Luftfeuchten im Innenraum führen. Unter diesen Bedingungen wäre bereits bei einer Aussentemperatur von etwa 0°C Kondensat auf der Innenseite der Bleiverglasungen ohne Schutzverglasung zu erwarten.

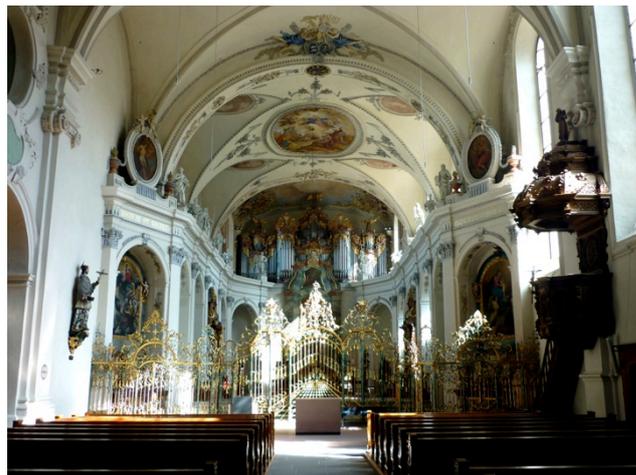
Aus bauphysikalischer Sicht wäre einhergehend mit dieser neuen Heizungsregelung der Rat zum Einbau einer Aussenschutzverglasung verständlich. Mit einer der Kunstverglasung vorgesetzten einfachen Schutzverglasung könnte auch bei einer relativen Luftfeuchte von 70 – 80% im Kircheninnern Kondensat an den Schiffenstern vermieden werden – falls dies als wünschenswert erachtet wird. Aus Sicht des Vitrocentre ist eine Aussenschutzverglasung bei den Bleiverglasungen des Kirchenschiffs in Frauenfeld-Oberkirch jedoch nicht notwendig. Diese beständigen Glasmalereien sind im Gegensatz zum Glasgemälde des Chors durch Kondensat nicht gefährdet. Die Kondensation an den Fenstern kann im Gegenteil sogar als sinnvolle Entfeuchtung betrachtet werden. Notwendig hingegen ist die Überprüfung des Vorhandenseins und der Funktionstüchtigkeit der historisch meist vorgesehenen „Schwitzwasserrinnen“, die für eine Ableitung des Kondenswassers sorgen.

Betreffend die Erhaltung des *Chorfensters* lassen die bisherigen Beobachtungen und Messungen den Schluss zu, dass es bei derzeitigem Heizbetrieb weder aus konservatorischer noch aus energetischer Sicht einen Grund für eine Veränderung oder einen Ersatz der bestehenden einfachen, ästhetisch ansprechenden und historisch wertvollen Schutzverglasung gibt. Erste Berechnungen zeigen, dass sich die bisherige Schutzverglasung auch bei einer Umstellung des Heizbetriebs, das heisst bei Herabsetzung der durchschnittlichen Innenraumtemperatur um 2°C, ebenso bewährt wie bisher.

## 4.2 Klosterkirche Fischingen

### 4.2.1 Situation

Die zum Benediktinerkloster gehörende Klosterkirche wurde 1685–1687 gebaut und um 1704–1708 durch die Iddakapelle und ab 1753 durch den Oberen Chor erweitert. Die Kirche gilt als eine der schönsten Zentralbauten des schweizerischen Hochbarocks (Abb. 24). Aus Sicherheitsgründen entschied man sich, die Klosterkirche im Winter nur noch tagsüber mit einer elektrischen Bankheizung zu beheizen. Bei sonntäglichen Gottesdiensten und kalter Witterung erreichte man auf diese Weise nur noch 8°C. Die Iddakapelle blieb unbeheizt, was grosse Kaltluftumwälzungen und ein im Bereich der Sitzplätze unverträgliches Klima zur Folge hatte. Mit der Planung eines neuen Nutzungskonzeptes, das eine intensivere Nutzung und höhere Komfortanforderungen vorsah, sollten die Probleme behoben werden. Aus betriebswirtschaftlichen und ökologischen Gründen konnte der Heizenergiebedarf nach dem neuem Konzept nicht mehr wie bisher nur mit Elektroenergie gedeckt werden.



*Abb. 24: Klosterkirche Fischingen. Aussenansicht mit Blick auf Iddakapelle (Bild links) und Innenansicht gegen den Chor (Bild rechts).*

Bei der 2008 abgeschlossenen Renovation wurde die Kirche deshalb über einen Wärmeverbund an die klostereigene Holzschnitzelfeuerung angeschlossen. Seither wird die Kirche zu etwa 20% mit Elektrizität und zu etwa 80% umweltfreundlich mit Holz beheizt. Die Wärmeabgabe im Kirchenschiff erfolgt über Konvektoren unter den Bänken, im Chor und in der Iddakapelle über eine Fussbodenheizung. Weiterhin elektrisch beheizt wird das Chorstühl des oberen Chores. Zur Verminderung des Kaltluftstromes im Fensterbereich und auf den Lisenen der Iddakapelle wurden elektrische Heizbänder angebracht. Als weitere wärmetechnisch besonders relevante Massnahme wurden neben dem Heizungsumbau auch die Gewölbe gedämmt. Entgegen der üblichen Vorgehensweise, nämlich die Wärmedämmung direkt auf die Gewölbe zu verlegen, wurde aus Gründen der steten Einsehbarkeit des Gewölbes eine Pufferzone zwischen Gewölbe und der neuen Dämmebene bestehend aus dem Estrichboden und den Dachschrägen geschaffen. Zudem erhielten die Fenster mit erneuerten Bleiverglasungen barocken Ursprungs eine einfache Aussenschutzverglasung mit Floatglas. Die historischen Bleiverglasungen wurden während der Renovation innen und aussen gereinigt, zum Teil neu verkittet und *zusammen mit dem Schutzglas (Verbundsystem)* in die gereinigten Stahlrahmen gesetzt (Abb. 25). Die südorientierten Fenster im Schiff wurden im Glaszwischenraum mit elektrischen Heizbändern versehen; im Bereich der Chorfenster wurden elektrische Fensterheizkörper angebracht (Abb. 26).



Abb. 25: Klosterkirche Fischingen: Bleiverglasung im Kirchenschiff (Fenster gegen Süden).

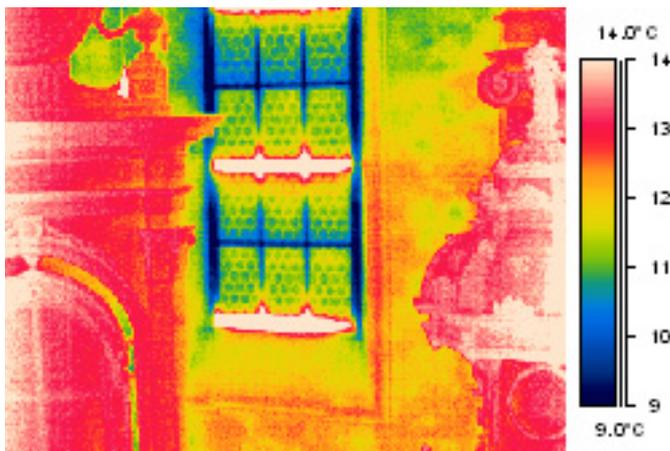


Abb. 26: IR- Aufnahme der Fenster gegen Süden mit elektrischen Heizbändern im Zwischenraum zwischen Kunst- und Schutzverglasung (helle horizontale Linien).

#### 4.2.2 Erfolgskontrolle

Das neue Heizkonzept hat verschiedene Vorteile, wie beispielsweise die Verbesserung des Wirkungsgrades der Wärmeerzeugung, jedoch auch den Nachteil, dass die Kirche im Winter nun durchgehend beheizt werden muss, damit zu Zeiten der Belegungen die erwünschte Komforttemperatur innert nützlicher Frist erreicht werden kann. Die Auswirkung des durchgehenden Heizbetriebs auf die Bausubstanz und die Ausstattung sowie andere klima-relevante Faktoren (Komfort, Kosten, etc.) wurden daher nach erfolgter Innenrenovation über detaillierte Raumklimamessungen sowie Messungen mit einem Komfortanalyser an einem Standort im Bankfeld untersucht. Zusätzlich bot sich die Gelegenheit, dem als lästig empfundenen Auftreten von Kondensat an den Fenstern auf den Grund zu gehen (Abb. 27). Zu Anfang der Heizperiode, in der Mitte und nach Abschluss der Messungen wurde dafür jeweils an

drei aufeinander folgenden Tagen untersucht, unter welchen klimatischen Randbedingungen sich Kondensat im Zwischenraum zwischen Kunstverglasung und Schutzverglasung bildet.



Abb. 27: Kondensat im Zwischenraum zwischen Kunst- und Schutzverglasung (roter Pfeil).

#### 4.2.3 Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Die Innenraumtemperatur während der Heizperiode 2008–09 (nach Abschluss der Renovation) betrug im Mittel  $13.8 \pm 1.1^\circ\text{C}$ ; die mittlere relative Luftfeuchte schwankte um  $51 \pm 8\%$ . An sonnigen Wintertagen führte Sonneneinstrahlung zu einer Erhöhung der Innentemperatur um bis zu  $1^\circ\text{C}$ . In Tabelle 7 sind für die Beobachtungszeit „Mitte der Heizperiode“ die Mittelwerte des Innen- und Aussenklimas, die absolute Luftfeuchte, die Taupunkttemperatur des Innenklimas und der Dampfdruckunterschied zwischen Innen und Aussen dargestellt.

Messstandorte	Während Heizperiode Mittelwerte Periode 1.12.08 - 3.12.08				
	Temperatur [°C]	Rel. Feuchte [%]	abs. Feuchte [g/m <sup>3</sup> ]	Taupunkt [°C]	Dampfdruck [Pa]
Schiffmitte	15.0	49	6.2	4.3	832
Aussen	0.2	89	4.3	-1.5	547
Unterschied Innen – Aussen	14.8	-40	1.9	5.8	285

Tabelle 7: Mittelwerte der Messergebnisse 1.12.–3.12.2008

Energetisch betrachtet kann die Umstellung des Heizbetriebs als erfolgreich gelten: Verbrauchsdatenerhebungen und Berechnungen ergaben eine Energiekennzahl für Heizen und Beleuchtung  $114 \text{ kWh/m}^2\text{a}$  bei einer mittleren Innentemperatur um  $14^\circ\text{C}$  bei durchschnittlich 51% relativer Feuchte. Die Zahl liegt damit 10% unter dem für beheizte Kirchen ermittelten Durchschnittswert (vgl. Abb. 1).

Das Auftreten von Kondensation auf den Innenseiten der Schutzverglasung (mit zeitweiliger Eisbildung) wird jedoch als störend empfunden. Aus den Klimamessungen geht hervor, dass die Kondensation vor allem vom vorherrschenden Dampfdruckunterschied bzw. der Dauer und Grösse des Temperaturunterschieds zwischen Aussen und Innen beeinflusst wird: Zu Beginn der Heizperiode bei einem mittleren Dampfdruckunterschied von 100 Pa war nur an einem nordseitigen Fenster Kondensat festzustellen. In der Mitte der Heizperiode bei einem rund zweieinhalbfach höheren Dampfdruckunterschied von 285 Pa waren alle Fenster beschlagen. Am Ende der Heizperiode, bei praktisch ausgeglichenem Dampfdruck zwischen Innen und Aussen, war Kondensation nur noch an einem südorientierten Fenster festzustellen. An der Nordseite hingegen waren mehr als die Hälfte der Felder zweier Chorfenster angelaufen. Interessant war die Beobachtung, dass bei ähnlichen relativen Luftfeuchten und einer Temperaturdifferenz von 6–7°C zwischen Innenraum und Aussenklima praktisch kein Kondensat auftrat, sich bei doppeltem Temperaturunterschied jedoch sehr viel Kondensat im Zwischenraum zwischen Kunstverglasung und Schutzglas bildete.

Gemäss Aussage der mit der Restaurierung der Fenster betrauten Firma<sup>21</sup> wurden die neuen Verbundverglasungen an den Fenstern im Schiff im Sommer und diejenigen der Iddakapelle im Winter eingebaut. Dieser Umstand ist möglicherweise für das unterschiedliche Auftreten von Kondensat an den Fenstern im Kirchenschiff verantwortlich: Der in der warmen Sommerluft enthaltene hohe Wassergehalt wurde beim Einbau der Schutzverglasungen in den Zwischenräumen eingeschlossen und kann nicht mehr entweichen. Die im Zwischenraum feldweise eingeschlossene Luftfeuchte schlägt sich beginnend an den kältesten Stellen nieder, sobald die Taupunkttemperatur auf der Glasoberflächen der Schutzverglasung oder des Rahmens unterschritten wird und dies trotz Fenster- und Begleitbandheizungen an den Schutzverglasungen. Dies gilt besonders für Felder, in denen Verkittungen und Anschlüsse besonders dicht sind, da sich die Luftfeuchte dort weder nach aussen und noch weniger nach innen entspannen kann. Dass einzelne Felder zu unterschiedlichen Zeiten und unterschiedlich stark beschlagen waren, weist auf lokale Undichtigkeiten an den historischen Bleiverglasungen hin.

Die Gründe und Bedingungen, unter denen sich Kondensat im Zwischenraum bildet, sind nun bekannt. Offen aber bleibt die Frage, wie sich das Kondensataufkommen bei derzeitigem Heizregime technisch reduzieren lässt. Möglicherweise kann nur ein Komplettausbau (Ausglasen und erneutes Einglasen bei trockenem Klima) das Kondensationsrisiko auf dem Schutzglas vermindern. Nach Meinung der bereits erwähnten Kunstglaserei ist Kondensatbildung an der Innenseite einfach verglaster Schutzverglasung in beheizten Kirchen ein „ganz normales“ Phänomen. Bei unempfindlichen Kunstverglasungen wie denjenigen in der Klosterkirche Fischingen ist Kondenswasser lästig, aber nicht weiter bedenklich.

---

<sup>21</sup> Stefan Mathies AG St. Gallen

## 5 Zusammenfassung

Die Untersuchungen bestätigten bisherige Kenntnisse<sup>22</sup> über Innenklimavorgänge in Schweizer Kirchen, führten aber vor allem hinsichtlich Energiemanagement sowie Transmissionsverlusten und Kondensationsvorgängen an historischen Fenstern mit Aussenschutzverglasung zu wichtigen neuen Erkenntnissen:

### *Besseres Energiemanagement durch rationelles Heizen*

Die Simulationen in Frauenfeld-Oberkirch illustrieren, dass der durchschnittliche Heizenergieverbrauch beim steten Beheizen einer Kirche auf eine hohe Innentemperatur (um 16°C) bis zu 40% höher ist als im „Absenkbetrieb“ (d.h. 2°C niedrigere durchschnittliche Innenraumtemperatur ohne Komfortverlust in Nutzungszeiten). Erfahrungen zeigen, dass im Einzelfall durch einen rationellen Heizbetrieb mit einer speicherprogrammierten Heizungsregelung sehr effizient und ohne Komfortverluste während der Nutzung Heizenergie gespart werden kann. Eine solche Massnahme ist auch bei einer trägen Wärmeabgabe über den Fussboden sinnvoll.

Beide Fallbeispiele beweisen, dass der praktizierte Heizbetrieb nicht nur den grössten Einfluss auf den Heizenergiebedarf von Kirchen hat, sondern auch das Auftreten von Kondensat an den Fenstern mitsteuert. Zur Vermeidung von Kondensat sind eine flinke Wärmeabgabe mit grossem konvektivem Anteil (z.B. elektrische Bankheizung) oder eine Warmluftheizung von Vorteil. Damit kann ausserhalb der Belegungszeiten ein substanzverträgliches Klima mit möglichst tiefer Innentemperatur und – daraus resultierend – eine ausgeglichene relative Luftfeuchte erreicht werden. Die durch die Belegungen verursachten Veränderungen des Raumklimas sind weit weniger problematisch als das ständige Durchheizen auf zu hohem Temperaturniveau, da die Schäden vor allem durch das Beheizen und nicht durch das Nichtbeheizen verursacht werden. Das ständige Temperieren hält auch eine stete Kaltluftumwälzung im Gang, was beispielsweise auch die Bildung von Verschwärzungen durch den Abbrand von Kerzen fördert.

### *Transmissionsverluste über die Fenster*

Beim Vergleich des Heizwärmebedarfes von Wohnbauten mit demjenigen von Kirchen stellt man ähnliche mittlere Energiekennzahlen fest, obwohl Kirchen nur wenige Stunden wöchentlich genutzt werden und die durchschnittlichen Innentemperaturen dort weit unter denjenigen von Wohnbauten liegen. Anhand der Messungen im Labor und am Objekt konnte aufgezeigt werden, dass die Gründe hierfür in der Hauptsache an den hohen Wärmeverlusten über die Aussenwände liegen und nur zu einem geringen Prozentsatz den Transmissionsverlusten über die Fensterflächen zuzuschreiben sind.

Eine weitere Quintessenz unseres Projekts ist, dass die berechneten und gemessenen U-Werte für eine in der denkmalpflegerischen Praxis übliche Aussenschutzverglasung mit Isolierglas (Verbundsystem) nicht die thermische Wirksamkeit einer modernen Isolierverglasung erreichen. Die Untersuchungen haben auch deutlich gemacht, dass vorge setzte einfache Aussenschutzverglasungen (Vorfenster) mit Zwischenraumtiefen von 10 – 30 cm bezüglich

---

<sup>22</sup> Bisherige Kenntnisse umfassen Untersuchungen der Baumann Akustik und Bauphysik AG an mehreren Hundert Kirchen. Siehe auch: Ernst Baumann, Untersuchungen an Kirchen in der Schweiz, in: Denkmalpflege Architektur Energieoptimierung, herausgegeben vom Internationalen Städteforum Graz, 2012 (ISBN 978-3-200-02666-7).

Wärmeverlusten annähernd gleichwertig mit isolierverglasten Aussenschutzverglasungen (dicht und mit kleinem Zwischenraum) sind.

### *Wirksamkeit früher Aussenschutzverglasungen im Vergleich mit modernen Systemen*

Nicht zuletzt bestätigen die Projektergebnisse unsere bisherige Hypothese, dass einfache Aussenschutzverglasungen (Typ Vorfenster) sowohl aus denkmalpflegerischer als auch wirtschaftlicher Sicht gegenüber den moderneren Systemen (Verbundsysteme) viele Vorteile besitzen und nachhaltiger sind was Materialien und Lebensdauer angeht. Die Messungen im Labor und am Objekt beweisen zudem, dass die einfachen Aussenschutzverglasungen günstige klimatische Bedingungen für Kunstverglasungen schaffen und insbesondere das Kondensationsrisiko auf der Innenseite der Glasmalereien deutlich vermindern. Sie untermauern somit unsere Untersuchungen an geschützten und ungeschützten Glasmalereien, dass diese frühen Systeme als präventive konservatorische Massnahme für nachmittelalterliche Glasmalereien, bei denen die Hauptgefährdung oft in fragilen Bemalungsschichten auf der Innenseite besteht, grundsätzlich geeignet sind. Spezifische Abklärungen sind jedoch in jedem Einzelfall nötig.

## **6 Kommunikation, Austausch und Zugang zu Informationen und Ergebnissen – Rückblick und Ausblick**

Auf den Webportalen des Vereins Oeku Kirche und Umwelt und der Energieagentur Nordrhein-Westfalen, der eigenen Webseite sowie an Tagungen<sup>23</sup> wurde über das Projekt berichtet und versucht, die Kirchgemeinden, Architekten und Denkmalpfleger für das Thema zu sensibilisieren. Zahlreiche Rückmeldungen auf die dort veröffentlichten Beiträge<sup>24</sup> sowie die positive Resonanz auf einen ersten Tagungsbeitrag (Anhang 4)<sup>25</sup> bewiesen die grosse Bedeutung des Projektthemas; sie zeigten aber auch klar auf, dass in der Praxis adäquate Lösungsansätze oftmals fehlen, vor allem was die energetische Ertüchtigung der Kirchenfenster angeht. Wenn auch denkmalpflegerische und konservatorische Anliegen bei der Planung und Umsetzung baulicher Massnahmen an den Fenstern sehr ernst genommen werden, so können wir aufgrund bisheriger Rückmeldungen feststellen, dass Aufwand, Nutzen und Risiken einer Ertüchtigung insbesondere der Fenster meist nicht bekannt sind bzw. nicht abgeschätzt werden, einerseits weil Erfahrungen fehlen und andererseits, weil Fachpublikationen teils schwer „zugänglich“ beziehungsweise die Ergebnisse nicht leicht in die Praxis umsetzbar sind. In der Breite wenig bekannt ist zudem, dass Fachberatungen durch Bundesexperten auf Antrag kostenfrei in Anspruch genommen werden können. Auf

---

<sup>23</sup> Teilnahme an der ökumenischen Baufachtagung „Bewahrung der Schöpfung konkret“ in Rapperswil (8.9.2012) und an der internationalen Fachtagung „Recent Advances in Glass, Stained-glass, and Ceramics Conservation“ in Amsterdam (7. – 10. Oktober 2013).

<sup>24</sup> Siehe: oeku-Nachrichten Nr. 4 (2012), S. 5 (<http://www.oeku.ch/de/oeku-nachrichten.php>), Webportal der Energieagentur NRW (<http://www.energieagentur.nrw.de/kirche/willkommen-auf-unserer-themenseite-energie-in-kirchengemeinden--6455.asp>) und Webseite Vitrocentre (<http://www.vitrocentre.ch/de/vitrocentre/recherche/laufende-forschungen/schutzverglasungen.html>)

<sup>25</sup> Sophie Wolf, Stefan Trümpler, Karim Ghazi Wakili, Bruno Binder und Ernst Baumann, Protective glazing: The Conflict between Energy-saving and Conservation requirements, in: Hannelore Roemich und Kate van Lookeren Campagne (Hg.), Recent Advances in Glass, Stained-glass, and Ceramics Conservation, Zwolle, NL: Spa Uitgevers, 2013.

Ein weiterer Fachbeitrag (z.B. Journal of Cultural Heritage) und eine Informationsbroschüre sind in Vorbereitung.

Grundlage bisheriger Projektergebnisse und in Zusammenarbeit mit Spezialisten und Fachleuten aus den Bereichen Glasmalereikonservierung, Denkmalpflege und Bauphysik erarbeitet das Vitrocentre deshalb derzeit eine Informationsbroschüre, die Kirchengemeinden, Architekten und Denkmalpfleger bei der ganzheitlichen Beurteilung verschiedener Energiesparoptionen unterstützen und ihnen helfen soll, angemessene und nachhaltige Lösungen zum Schutz der historischen Fenster und Glasmalereien zu finden. Auf konkrete Fallbeispiele gestützt – und im Sinne einer Empfehlung für die Praxis – sollen darin Potentiale wie auch Risiken einer energetischen Verbesserung von Kirchenfenstern aufgezeigt und diese anderen Optionen der energetischen Verbesserung am Gebäude gegenübergestellt werden. Nicht zuletzt soll jedoch auch an die konservatorisch relevanten Eigenschaften von Schutzverglasungen erinnert werden.

## **7 Anhang**

- Anhang 1: Liste der Objekte
- Anhang 2: Bericht der Abteilung Bautechnologien, Empa Dübendorf
- Anhang 3: Bericht Baumann Akustik und Bauphysik AG, Dietfurt
- Anhang 4: Tagungsbeitrag
- Anhang 5: Aufstellung über Verwendung der Projektmittel
- Anhang 6: Projektresümee für die Webseite der Stiftung