

Vakuumisolierglas

Für den Neubau das Glas der Zukunft, für die Denkmalpflege das Glas der Gegenwart

Hermann Klos

Regelmäßig finden sich – auch in staatlichen Publikationen wie zum Beispiel dem Staatsanzeiger Baden-Württemberg – irreführende und verwirrende Behauptungen, im Bereich der Denkmalpflege sei die Energiewende nicht zu erreichen, besonders das Fenster wird an den Pranger gestellt. Dabei wird übersehen, dass bereits vor sechs Jahren der Einsatz für den Erhalt und die Ertüchtigung von Fenstern mit dem Ressourceneffizienzpreis des Landes Baden-Württemberg ausgezeichnet wurden, dass diese Konzepte derzeit für den Umweltpreis für Unternehmen 2022 des Landes Baden-Württemberg nominiert sind und dass auch Institute wie zum Beispiel das Fraunhofer Institut wissenschaftlich fundiert feststellen, Erhalt und Ertüchtigung des Bestandes sei die effizienteste, nachhaltigste und ressourcenschonendste Vorgehensweise.

Ein neuer Höchststand der technischen und physikalischen Entwicklung

Seit einigen Jahren ist es mit am Markt verfügbarem Vakuumisolierglas möglich, nahezu jedes Bestandsfenster nach Niedrigenergiehausstandard mit sehr guten Wärmedurchgangskoeffizienten der Verglasung zu ertüchtigen. Gleichzeitig kann der Fugendurchgangskoeffizient der Fenster verbessert werden, und zwar dergestalt, dass es, im Rahmen eines ganzheitlichen Konzepts, nicht zu bauphysikalischen und bauhygienischen Problemen in den Gebäuden kommt. Die Anforderun-

gen der Denkmalpflege und die Erfordernisse der Ressourcenschonung, der Energieeffizienz und der Schadensfreiheit sind so tatsächlich am Bauteil Fenster erfüllbar. Es ist höchste Zeit, dass dieser auch im Baudenkmal zu erreichende Stand der Technik flächendeckend bekannt gemacht wird. 1996 wurde in Asien das erste Vakuumisolierglas (VIG) hergestellt. Seit 2019 ist nach über 20 Jahren interdisziplinärer wissenschaftlicher und praktischer Forschungs- und Entwicklungsarbeit von vielen Forschungseinrichtungen und Unternehmen nun auch Vakuumisolierglas aus europäi-



scher Produktion lieferbar. Im Vergleich zu asiatischem Vakuumisolierverglas konnte es technisch und gestalterisch verbessert werden. In Anbetracht der physikalisch definierten Rahmenbedingungen für Verglasungen können weitere Entwicklungsstufen nun keine Quantensprünge mehr sein, sondern höchstens noch Verfeinerungen.

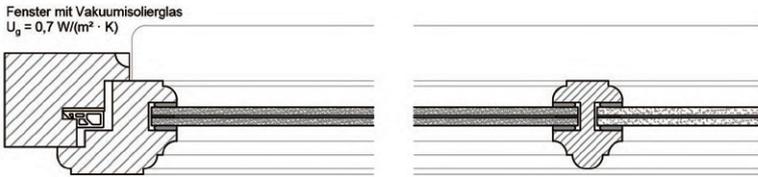
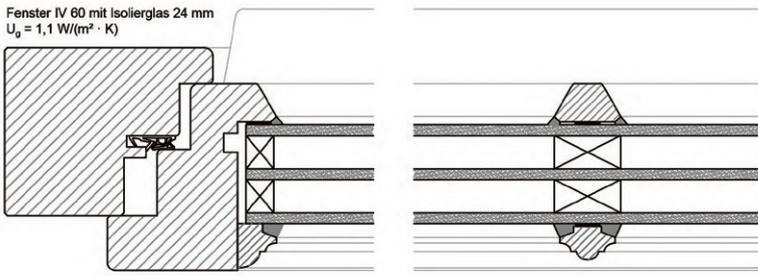
Material und technische Daten

Vakuumisolierverglas gehört zur Gattung der Isolierverglasungen. Diese bestehen aus zwei miteinander verbundenen Scheiben. Der Scheibenzwischenraum, in der Regel 8 bis maximal 24 mm stark, war bis in die 1980er Jahre meist noch mit Luft gefüllt. Seit den ersten Energie- und Ölkrisen und den folgenden Auflagen zur Verbesserung des Wärmedurchgangskoeffizienten wurde der Scheibenzwischenraum mit aufwendig zu gewinnenden Edelgasen wie Argon, Krypton oder Xenon gefüllt. Schrittweise wurde auch das Glas optimiert. Der aktuellen Wärmeschutzverordnung entsprechende Fenster haben in der Regel Dreischeibenverglasungen in einer Bautiefe von mindestens 40 mm mit Edelgasfüllung der Scheibenzwischenräume und Wärmedämmbeschichtungen der Scheiben. So ist ein Wärmedurchgangs-

koeffizient U_g der Verglasung (g: glass) von $0,5 \text{ W/qm} \times \text{K}$ zu erreichen. Diese energetische Optimierung der Funktionswerte von Verglasungen bedeutete mehr und dickere Scheiben (Abb. 2) mit der Folge deutlich höherer Gewichte und eines höheren Verbrauchs der begrenzten Ressourcen der Edelgase: Eine teuer erkaufte und für Bauwirtschaft und Umwelt problematische Verbesserung. Für die Baudenkmalpflege und die Baukultur bedeutete dies zudem viele ästhetische und gestalterische Einschränkungen und materielle Verluste.

Dieser Entwicklungsstand der Technik bot hohe Anreize für Innovationen. Das Ergebnis ist eindrucksvoll: Vakuumisolierverglas, mit optisch weniger wahrnehmbaren Stützen und garantierbarer Langzeitstabilität des Vakuums, lieferbar in unterschiedlichem Glasaufbau mit Float (Flachglas), ESG (Einscheibensicherheitsglas), VSG (Verbund-sicherheitsglas) oder historisch anmutendem Glas, mit einem Wärmedurchgangskoeffizienten der Verglasung U_g von $0,4 \text{ W/qm} \times \text{K}$ und einem Wärmedurchgangskoeffizienten des gesamten Fensters U_w (w: window) unter $0,8 \text{ W/qm} \times \text{K}$ mit hervorragenden schalltechnischen Eigenschaften und bester solarer Rückgewinnung.

1 Ehemaliges Hauptsteueramt in Stuttgart.



2 Querschnitt eines denkmalgerechten Fensters IV 60 mit konventionellem Isolierglas (oben) und eines Fensters mit Vakuumisolierglas (unten).

Im europäischen Raum hergestelltes Vakuumisolierglas ist ein längst überfälliges, nun aber ausgereiftes Produkt mit einer dreimal längeren Garantieleistung als bei Isolierglas. In Russland, Japan und China wird Vakuumisolierglas schon seit fast drei Jahrzehnten hergestellt, vertrieben und verbaut, im Vergleich zu dem lieferbaren europäischen Vakuumisolierglas jedoch mit einem deutlichen schlechteren U_g -Wert sowie mit auffälligen Evakuierungsstöpseln (Abb. 3) und sichtbaren Stützen zwischen den Scheiben.

Seit einigen Jahren steht ein Vakuumisolierglas aus europäischer Produktion zur Verfügung, das in seiner Grundkonstruktion aus zwei nur 3 mm dicken Glasscheiben besteht, von denen eine mit einer hauchdünnen Metallbeschichtung mit niedriger Wärmeabstrahlung, einer sogenannten Low-E-Beschichtung, versehen ist. Der Scheibenzwischenraum von nur 0,7 mm ist evakuiert, womit das Medium für den Transport von Wärme und Schall entfällt und damit zu sehr guten Isolierereigenschaften führt. Allerdings resultiert aus dem im Scheibenzwischenraum vorhandenen Vakuum ein Druck von 10 t pro qm auf den Scheiben. Die Durchbiegung der dünnen Scheiben wird durch nahezu unsichtbare, zylindrische Abstandshalter („Spacer“ oder „Micropillars“) aus Glas, Keramik oder Metall verhindert. Die beiden Scheiben sind mit einem wenige mm breiten Rand miteinander verklebt und dadurch dauerhaft dicht. Die Aufrechterhaltung des Vakuums wird vom Hersteller für mehr als 15 Jahre garantiert, dreimal länger als bei herkömmlichem Isolierglas. Diese Mindestgarantie auf die Beständigkeit des Vakuums ist durch die verwendeten Verbindungstechniken gesichert.

3 Zürich, Kantonsschule, Parking, 2016: Fenster mit Evakuierungsstöpsel.

Vakuumisolierglas wird in verschiedenen Varianten angeboten. Bei einer Scheibendicke von 7,7 mm ist ein U_g -Wert von 0,7 W/qm × K erreichbar. In Kombination mit einer beschichteten Gegendusche und einem weiteren Scheibenzwischenraum können sogar U_g -Werte von 0,4 W/qm × K realisiert werden. Möglich ist ebenso eine Kombination von Sonnenschutz- und Sicherheitsglas wie die Verwendung von Scheiben mit historischer Anmutung. Nun steht damit ein Glas zur Verfügung, das den hohen Anforderungen an die Verwendung in Bestandsgebäuden, oftmals auch im Kontext der Denkmalpflege – und hier insbesondere im Rahmen einer Restaurierung mit Ertüchtigung sowie filigraner Neuanfertigung – gewachsen ist.

Idee, Entwicklung und Herstellung

Die Markteinführung des ersten Vakuumisolierglases aus europäischer Produktion erfolgte 2019. Entwickelt wurde es jedoch bereits 1913. Alfred Zoller konzipierte damals ein Vakuumisolierglas mit zwei evakuierten, hohlen Kammern. Für diese „Hohle Glasscheibe“ erhielt er damals auch das Patent (Abb. 4).

Verfahrens- und herstellungstechnisch waren alle Komponenten und Parameter entwickelt, die zur seriellen Herstellung dieses Isolierglases notwendig gewesen wären. Aufgrund der beiden Weltkriege sowie einer Verschiebung der Schwerpunkte in Forschung, Entwicklung und Produktion geriet Zollers Idee jedoch in Vergessenheit





5 Zürich, Kantonsschule, Parking, 2016.

äußeren Flügel ein U_w -Wert von $1,00 \text{ W/qm} \times \text{K}$ und beim Einbau eines $7,7 \text{ mm}$ dicken Vakuumisolierverglases sogar ein U_w -Wert von $0,94 \text{ W/qm} \times \text{K}$ zu erreichen. Das heißt, mit beiden Verglasungen ist ein sehr gutes Niedrigenergiefenster realisierbar, ohne dabei die optische Erscheinung der Filigranität der Rahmengeometrie zu verändern. Bei der Reparatur, Restaurierung und Ertüchtigung bestehender Fenster wurde sehr häufig dünnes Sonderisolierverglasung eingebaut, häufig mit einem silbrigen, perforierten Randverbund und leicht flüchtigen Gasfüllungen. Je dünner die Scheiben gewählt wurden, desto schlechter war der Wärmedurchgangskoeffizient, sodass die nur geringe energetische Verbesserung der Fenster die Frage nach der Notwendigkeit eines Verlustes von originalen Verglasungen aufgeworfen hat. Mit Vakuumisolierverglasung können Bestandsfenster hingegen so ertüchtigt werden, dass sie eine noch nach Jahrzehnten befriedigende Energiebilanz aufweisen und damit die häufige Behauptung, mit Fenstern im Baudenkmal sei keine Nachhaltigkeit zu erreichen, widerlegen. Auch der bau-

physikalisch motivierte Einwand, Fenster dürften nicht zu dicht sein, ist obsolet, denn die bauphysikalischen Probleme hängen nicht mit einem guten oder sehr guten Wärmedurchgangskoeffizienten der Materialien zusammen, sondern mit dem Fugendurchgangskoeffizienten sowie dem Lüftungs- und Nutzungsverhalten. Vollständige Luftdichtheit kann auch bei mit Dichtungen nachgerüsteten Bestandsfenstern nicht erzielt werden. Ein gemeinsames Forschungsprojekt „Schallschutz und Luftdichtheit historischer Fenster – Untersuchung des Einflusses der Fugendurchlässigkeit auf den Schallschutz und die Lüftungswärmeverluste historischer Fenster“ mit der Fachhochschule in Bern kam zu genau diesem Ergebnis. Eine ausreichende Luftdichtheit, die Behaglichkeit garantiert und unangenehme Zugscheinungen verhindert, ist zu erreichen durch den Einbau eines auf die Falzgeometrie abgestimmten Dichtungsprofils sowie das Einstellen und Feinjustieren der Beschläge, um den Anpressdruck zwischen Flügel und Rahmen zu optimieren.

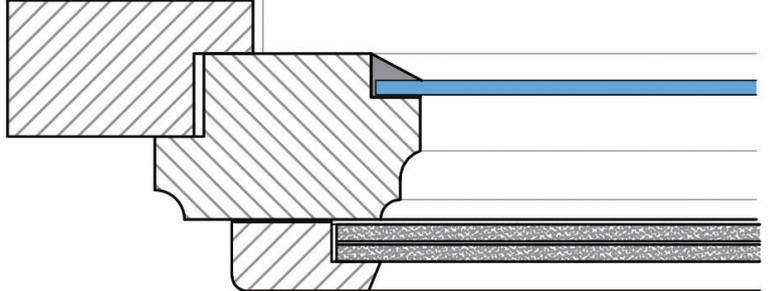
Die Sanierung der Fenster am 1897 als königliches Steuerkollegium und Hauptsteueramt erbaute Gebäude ist die bisher größte Maßnahme in Baden-Württemberg mit der Verwendung von Vakuumisolierverglasung (Abb. 1). Der Gesamtbestand der eingebauten originalen, wiederaufbauzeitlichen Fenster ist grundsolide. Der in der ursprünglichen Planung vorgesehene Einbau eines Standardisolierverglases, aufgrund der noch fehlenden Erfahrung mit dieser relativ „neuen“ Vakuumisolierverglasung, konnte ad hoc beim Projektstart zugunsten der besseren Ausführung geändert werden.

Mit dem Einbau der Vakuumisolierverglasung verbessert sich der zu erreichende Faktor der energetischen Ertüchtigung um den Faktor 2, und vor allen Dingen die Eingriffstiefe in den Bestand ist deutlich geringer. Generell wird es mit dem Einbau einer Vakuumisolierverglasung die plakativen „Vorher-nachher Bilder“ nicht mehr geben, da es nach der Maßnahme genauso aussehen wird wie vorher. Die beim VIG häufig ins Spiel gebrachten sichtbaren Abstandshalter zwischen den Scheiben sind in aller Regel, auch für mit dem Projekt Vertraute, kaum zu identifizieren. Und nicht zuletzt: Mit dem physikalisch kaum noch zu verbessernden U_g -Wert $0,6 \text{ W/qm} \times \text{K}$

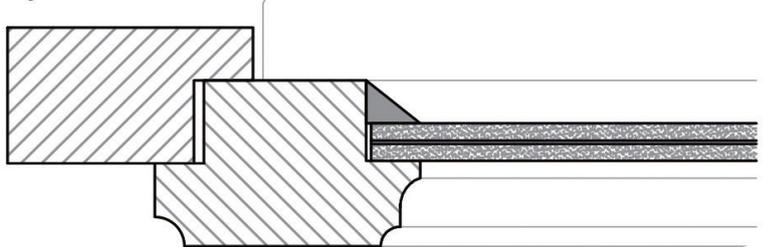
gewähren auch diese Fenster, die nach 70 Jahren den Test der Zeit überstanden haben, bereits dies, was für zukünftige Produkte generell erreicht werden soll: Eine lebenslange Garantie. Auf Betreiben der Züricher Denkmalpflege wurden bereits 2013 an der Kantonsschule am Parkring in Zürich (Abb. 5) die bestehenden Kastenfenster aus dem Jahr 1880 restauriert, repariert und ertüchtigt. Die energetische Verbesserung erfolgte durch den Ersatz der inneren Scheibe durch ein zu der Zeit noch aus China geliefertes Vakuumisoliertglas mit den beschriebenen Nachteilen deutlich sichtbarer Stützen und Evakuierungsöffnungen (Abb. 3) sowie eines gegenüber heutigem Vakuumisoliertglas schlechteren U_g -Wertes. Möglicher Kondensatausfall an der äußeren, jetzt sehr kalten Scheibe wurde durch eine ausreichende Belüftung des Scheibenzwischenraums verhindert.

Unter den in Baden-Württemberg in jüngster Vergangenheit realisierten und konzipierten öffentlichen und privaten Baumaßnahmen, zu denen auch größere Projekte gehören, steht zum Beispiel die Mörikeschule in Backnang kurz vor der Umsetzung. Dort werden Bestandsfenster in den Treppenhäusern mit weitgehend noch vorhandener bauzeitlicher Verglasung mit additiv auf den Bestand aufgebrachten Zusatzflügeln verbessert (Abb. 6 oben), bei den anderen Fenstern wird das Glas durch ein Vakuumisoliertglas ersetzt

Bestandsverglasung,
zusätzlicher Aufsatzflügel innen
mit Vakuumisoliertglas
 $U_g = 0,58 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$



Umbau, Ersatz Bestandsverglasung
durch Vakuumisoliertglas
 $U_g = 0,7 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$



(Abb. 6 unten), da die historische Verglasung überwiegend schon ausgetauscht wurde. In beiden Fällen werden die Fenster energetisch um den Faktor 5 verbessert.

Ein weiteres Beispiel ist das Haus Frey, eine 1935 von Hermann Baur errichtete Villa in Riehen bei Basel, für die Schweiz ein herausragendes Gebäude des Neuen Bauens (Abb. 7). Hierbei handelt

6 Backnang, Mörikeschule: Querschnitte der Sanierungsfenster mit Einbau eines Vakuumisoliertglases in den Aufsatzflügel (oben) und bei Ersatz der Bestandsverglasung durch ein Vakuumisoliertglas (unten).



7 Weit offene Süd- und Westfassade des Hauses Frey in Basel, 2020.

| Verglasung | Wärmedurchgangskoeffizient (Ug-Wert) in W/qm x K | Gesamtenergiedurchlassgrad (g-Wert) | Lichttransmission τV in Prozent | Energiebilanz in W/qm x K | |
|---|--|-------------------------------------|---------------------------------|---------------------------|-------|
| | | | | Süd | Nord |
| Zweischeibenwärmeschutzverglasung, Füllung: Argon | 1,1 | 0,62 | 0,80 | -0,39 | 0,51 |
| Dreischeibenwärmeschutzverglasung, Füllung: Argon | 0,7 | 0,51 | 0,72 | -0,52 | 0,22 |
| Vakuumisolierverglasung | 0,5 | 0,54 | 0,73 | -0,80 | -0,01 |

es sich um eines von drei, in diesem Fall vor allem wegen der sorgfältigen Renovation der Fenster von der Denkmalpflege Basel 2022 ausgezeichneten Projekten.

Die nach Süden und Westen hin geöffneten Fassaden sind mit filigranen, aufwendig detaillierten Fenstern in Baubronze geschlossen.

96 Prozent der Fensterfläche sind aus Glas, zur Einhaltung der hohen Schweizer Anforderungen an Energieeffizienz musste daher ein Vakuumisolierverglasung eingebaut werden, denn nur dieses kann die Kältebrücken der nicht thermisch getrennten Rahmenprofile in einem ausreichenden Maße kompensieren. Ein Auge lacht, ein Auge weint, immerhin konnten die selten Rahmenprofile erhalten werden. Das Ziel ist aber erst erreicht, wenn auch die bestehenden Verglasungen Teil der Lösung sind.

Holzisolierverglasung

Immer mehr rücken die Baudenkmale der ersten und zweiten Nachkriegsgeneration in den Fokus der Denkmalpflege. Hier findet sich in der Regel die ab den 1950er Jahren verbaute Isolierverglasung der Marken „Thermopane“, „GADO“ und „CUDO“. Durch den Austausch der Verglasungen und den Einbau eines Vakuumisolierverglasung kann auch bei diesen Fenstern ein U_w -Wert bis zu $1,0 \text{ W/qm} \times \text{K}$ erreicht werden. Ein Ergänzen der Bestandsverglasung, sofern diese auch nach 50–70 Jahren noch ohne Beeinträchtigung durch Kondensat und Verschmutzungen erhalten ist, mit einem Vakuumisolierverglasung führt zu einem U_w -Wert von $0,9 \text{ W/qm} \times \text{K}$ (Abb. 8).

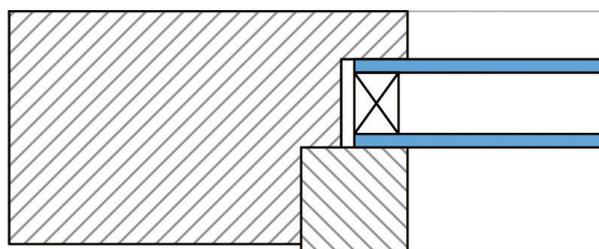
Das Verbesserungspotenzial gegenüber konventionellen Wärmeschutzverglasungen bei Verwendung von Vakuumisolierverglasung zeigt im Vergleich die Tabelle. Aufgeführt werden hier die thermischen und optischen Kenndaten unterschiedlicher Verglasungen mit sehr guten Wärmedämmwerten bei gleicher Low-E-Beschichtung (Tabelle).

8 Darmstadt, Künstlerkolonie: Querschnitt der Bestandsverglasung (oben), der Bestandsverglasung mit einem zusätzlichen Vakuumisolierverglasung innen (Mitte) sowie eines umgebauten Fensters mit Ersatz der Bestandsverglasung durch ein Vakuumisolierverglasung (unten).

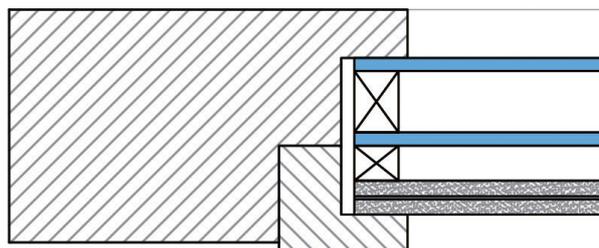
Vakuumisolierverglasung – das Glas der Zukunft

Es ist absehbar, dass konventionelle Isolierverglasungen Auslaufprodukte sind. Das Ende der Verbesserungsmöglichkeiten dieser Verglasung ist physikalisch bedingt erreicht. Die zuletzt erzielten Verbesserungen der Funktionswerte sind teuer erkauft, da der Scheibenzwischenraum mit Edelgasen gefüllt ist. Krypton und Xenon stehen am Markt nicht mehr ohne Weiteres zur Verfügung. Der seitens der Bauherrschaft oftmals gewünschte Einsatz einer Dreischeibenverglasung geht mit sehr hohen Gewichten und großen Materialstärken einher und ist daher für Bestandsfenster ungeeignet. Doch auch wenn sie bei Fensterneubauten zur Verwendung kommen soll, ist aufgrund der immer massiver gewordenen Rah-

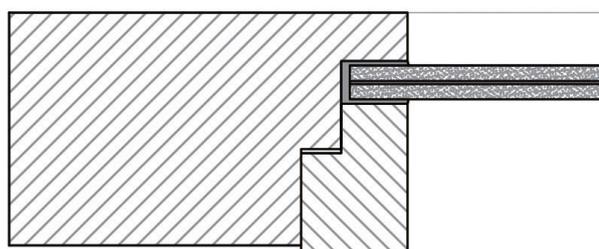
Bestandsverglasung
 $U_g = 3,0 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$



Bestandsverglasung, zusätzliches Vakuumisolierverglasung innen
 $U_g = 0,5 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$



Umbau, Ersatz Bestandsverglasung durch Vakuumisolierverglasung
 $U_g = 0,7 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$



Glossar

Unter **Cradle to Cradle** versteht sich eine konsequent durchgängige Kreislaufwirtschaft, vorhandene Ressourcen werden wiederverwendet. Die Bezeichnung stammt aus dem Englisch für „von der Wiege zur Wiege“. Es geht also darum, Materialien und Nährstoffe endlos zirkulieren zu lassen.

Literatur

Ernst Heiduk: Ermittlung des Verbesserungspotenzials für die Bauteilenergiebilanz durch den Einsatz von VG und VIG für die Fenstermodernisierung, Anhang 2 zu Ulrich

Pont et al.: Sondierung von Fenstersystemen mit innovativen Gläsern, speziell Vakuum-Isoliergläsern, zur Gebäudesanierung. VIG-SYS-reno, hg. v. Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, Wien 2018.

Produktionstechniken für Vakuum-Isolierglas (ProVIG). Abschlussbericht zum Verbund, Red.: Siegfried Glaser, hg. v. d. Grenzbach-Maschinenbau GmbH u. a., Asbach-Bäumenheim u. a. 2012.
Siegfried Glaser: Vakuumisoliertes Glas – Eine Alternative zum Dreifachglas? Stand der Entwicklung und der Verfügbarkeit, in: Ihr

Konjunkturpaket 2010: Energieeffizienz, Behaglichkeit, Komfort. Rosenheimer Fensterstage am 15. und 16. Oktober 2009. ift Rosenheim, hg. v. ift Rosenheim, Rosenheim 2009, S. 63–67.

Abbildungsnachweis

1-3, 5-9 Holzmanufaktur Rottweil

4 Ulrich Pont et al.: Sondierung von Fenstersystemen mit innovativen Gläsern, speziell Vakuum-Isoliergläsern, zur Gebäudesanierung. VIG-SYS-reno, hg. v. Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, Wien 2018, S. 43

menmaterialien der Fenster und der daraus resultierenden Belastung für die Konstruktionen, hier vor allem für die Beschläge, eine nicht sehr hohe Langlebigkeit und Nutzungsdauer dieser Fenster zu prognostizieren.

Vakuumisoliertes Glas hingegen ist eine dünne Verglasung von 7,7 statt 42 mm Dicke. Es ist ressourcenschonend, da im Scheibenzwischenraum keine wertvollen Gase mehr verarbeitet werden sowie eine Scheibe weniger benötigt wird. Der Einbau von Vakuumisoliertes Glas ist auch bei sehr alten und wertvollen Bestandsfenstern, sofern er dort zulässig ist, eine nutzerfreundliche Variante, mit diesen Fenstern einen Niedrigenergiehausstandard zu erreichen. Im Bereich der Neuanfertigung ist es möglich, Fenster wieder so filigran herzustellen, wie dies über Jahrhunderte der Fall war. Und es gilt bei diesen Fenstern: Je geringer der Rahmenanteil, desto besser die Energieeffizienz.

Ein weiterer Mehrwert ist die hundertprozentige Wiederverwertbarkeit der Scheiben, sie können vollständig recycelt werden und entsprechen den zunehmenden Bemühungen der Bauwirtschaft, nach dem „Cradle to Cradle“-Prinzip zu arbeiten. Zudem stehen die Rohstoffe für die Produktion von Vakuumisoliertes Glas aus regionaler Provenienz zur Verfügung.

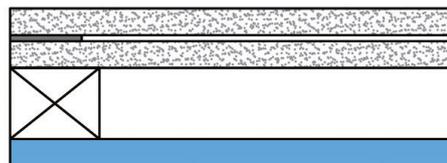
Ausblick

Das Weiterbauen im Bestand wird, bedingt durch Energiekrisen, Ressourcenknappheit und die Notwendigkeit, nachhaltig zu wirtschaften, zu einem Prinzip der Bauwirtschaft werden. Zumindest in der Politik und bei den Architekten ist angekommen, dass es keinen Sinn ergibt, immer mehr, immer schneller, immer billiger zu bauen. Gefragt ist es heute, solide, nachhaltig und, wie früher üblich, „für die Ewigkeit“ zu bauen. Für die Fens-

ter bedeutet dies, dass sie nicht alle 15 bis 20 Jahre ausgetauscht werden dürfen, nur, weil sich die Funktionsansprüche ändern. Die Fenster müssen künftig ressourceneffizient die sich ändernden Funktionsansprüche durch Ergänzen des Bestehenden adaptieren können. Vakuumisoliertes Glas ist das Glas der Zukunft. Der Materialeinsatz bei den Scheiben, den Rahmenmaterialien und den notwendigen Beschlägen ist deutlich geringer als bei herkömmlichen Fenstern. Auch in der Baudenkmalpflege ist es bereits jetzt sinnvoll, Vakuumisoliertes Glas zu verarbeiten, wo dies denkmalfachlich möglich ist. Vakuum-Hybridgläser, bei denen man die Bestandsscheibe um ein Vakuumisoliertes Glas ergänzt, werden bereits heute realisiert. Ein noch größerer Mehrwert für das Baudenkmal und die Umwelt wird aber möglich sein, wenn es gelingt, Vakuumisoliertes Glas unter Wiederverwendung, bzw. Beibehaltung des Bestandsglases zu produzieren (Abb. 9). Wenn dies erreicht ist, ist Vakuumisoliertes Glas ein wichtiger Baustein, das Credo der Baudenkmalpflege „Erhalten durch Pflege, Reparatur, Restaurierung und bei Bedarf Ertüchtigung“ in die Praxis umzusetzen. ◀

Bestands-VIG Hybridglas

$$U_g = 0,5 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$



Glas Desiderat Bestands-VIG

$$U_g = 0,7 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$



9 Querschnitte eines Hybridglases (oben) und eines Bestands-Vakuumisoliertes Glases (unten).