

Projekt »Vamos« – Wiener Kastenfenster reloaded

TU Wien und HFA stellen Forschungsergebnisse zur Ertüchtigung von historischen Fensterkonstruktionen mit Vakuumglas vor

Von Ulrich Pont*, Peter Schober**, Magdalena Wölzl* und Matthias Schuss*, Wien

Traditionelle Holzkastenfenster gehören zu den ausgereiftesten und schönsten Fensterkonstruktionen der europäischen Bau- und Kulturgeschichte. Ihre thermische Leistung wird heute aber oft als unzureichend bewertet. Um eine Alternative zu dem aus kulturhistorischer- und ressourcentechnischer Sicht oft kritischen Fenstertausch mit neuwertigen Mehrscheiben-Isolierglasfenstern anzubieten, haben die TU Wien und die Holzforschung Austria (HFA) das Potenzial von minimalinvasiven Kastenfenstersanierungen mit Vakuumglas untersucht.

Für das von der österreichischen Forschungsförderungsgesellschaft FFG geförderte Projekt wurden namhafte Tischler-Unternehmen sowie ein Vakuumglashersteller als Partner gewonnen und eine umfassende Testserie unterschiedlicher Kastenfenster mit Vakuumglas ertüchtigt, in realen Bauwerken eingebaut sowie einem rigorosen Performance-Monitoring über ein ganzes Jahr unterzogen.

Der Forschungsbereich Bauphysik und Bauökologie der TU Wien sowie die HFA haben sich bereits im Jahr 2014 zusammengetan, um das Potenzial von neuwertigen Vakuumgläsern für neue Fenster und die Bestandssanierung zu untersuchen. In Summe wurden vier Forschungs- und Entwicklungsprojekte – alle von der FFG gefördert – durchgeführt, die alle unterschiedlichen Zielsetzungen dienen: In den Sondierungen „Vig-Sys-Reno“ und „Motive“ wurde grundsätzlich das Potenzial der Vakuumgläser für Bestandsfenster und neue Fenster mittels State-of-the-Art-Methoden wie Simulation oder Laboruntersuchungen von Handmustern und Entwickeln ungewöhnlicher Fenstertypologien mit eingesetztem Vakuumglas untersucht.

Parallel wurden umfassende Untersuchungen an zum jeweiligen Zeitpunkt verfügbaren Vakuumgläsern hinsichtlich Dauerhaftigkeit und Gebrauchstauglichkeit sowie thermisch-energetischen Eigenschaften (Stichwort Wärmebrückenwirkung) und akustischen

Charakteristiken vorgenommen. Diese beiden Projekte dienten auch als Initialzündung der späteren Projekte „Fiva“ (Fensterprototypen mit integriertem Vakuumglas, Fokus: neue Fenster) und „Vamos“ (Vakuumglas-Kastenfenster: Performance-Monitoring in Sanierungsobjekten; Fokus: thermische Ertüchtigung von Bestandskastenfenstern). In diesem Artikel sollen die Methode, die Resultate und die Erkenntnisse aus dem Projekt „Vamos“ näher vorgestellt werden.

Grundlagen Kastenfenster

Zunächst ist festzuhalten, dass bei der Entwicklung von neuen Fenstern mit Vakuumglas und der Ertüchtigung von Bestandsfenstern mit Vakuumglas in der Regel eine unterschiedliche Zielsetzung vorherrscht: Bei neuen Fenstern erscheint es ratsam, die Fenster um die spezifischen Eigenschaften des Vakuumglases herum zu entwickeln. Die Zielsetzung ist hierbei ganz klar folgendermaßen zu umreißen: Hochwärmedämmende, architektonisch ansprechende Fenster sollen für eine möglichst breite industrielle Anwendung erarbeitet werden.

Im Gegensatz dazu ist im sensiblen Gebäudebestand eine andere Zielformulierung zu nennen: Kastenfenster sollen thermisch-energetisch ertüchtigt werden, aber unter bestmöglichem Erhalt der Erscheinungsform, die oftmals durch sehr zarte Sprossen und Fensterrahmen charakterisiert ist, sowie durch die zwei hintereinander geschalteten Flügelebenen auch in der Ansicht eine dreidimensionale Wirkung zu erzielen im Stande ist (Vergleiche hierzu Abbildung 1). Das bei dieser Zielsetzung vielleicht nicht die gleichen U-Werte und Wärmebrückenkennwerte zu erzielen sind, wie bei den eigens dafür konstruierten Neufenster, erscheint in Anbetracht der Balance zwischen Energieeinsparung im Bestand und Erhalt des gebauten kulturellen Erbes ein notwendiger Kompromiss. Auch hinsichtlich der schieren Zahlen vorhandener Kastenfenster und der Wirkung von Sanierungsmaßnahmen am Fenster erscheint das Vorhaben, solche Fenster mit geringem Ressourceneinsatz thermisch/energetisch fundamental zu verbessern, gut rechtfertigbar: In Österreich alleine wird von 2,5 Mio. Kastenfenstern ausgegangen – das entspricht 15 Mio. Fensterflügeln. Dabei wird bei etwa einem Drittel von der starken Notwendigkeit einer Sanierung ausgegangen, während der Rest zumindest einer thermischen Ertüchtigung harret.

Es ist anzunehmen, dass im ganzen deutschsprachigen bzw. zentraleuropäischen Bereich ein Vielfaches dieser



Abbildung 4 Messtechnik am Objekt

Zahlen an Kastenfenstern vorhanden ist. In Vorarbeiten konnte festgestellt werden, dass bei üblichen Gründerzeit-Häusern durch die Implementierung des Vakuumglases, abhängig von dem Fensteranteil in der Fassade, bis zu 10 % Energieeinsparung beim Heizwärmebedarf zu erzielen wäre – ohne weitere Maßnahmen an der Gebäudehülle.

Grundlagen Vakuumglas

Vakuumglasscheiben bestehen in der Regel aus zwei planparallelen, dünnen Glasscheiben (jeweils ab etwa 3 mm) und einem dazwischen liegenden, sehr schmalen Vakuumspalt (zumeist deutlich weniger als 0,5 mm). Durch einen vakuumdichten Randverbund (aus Glaslot, Metall oder dergleichen) kann der Zwischenraum evakuiert werden. Zur Aufrechterhaltung der Planparallelität der Scheiben ist es erforderlich, einen relativ engen Raster aus winzigen Abstandhaltern („Pillars“) zu integrieren, das Achsmaß des Rasters beträgt dabei 20 bis 40 mm.

Die Evakuierung des Zwischenraums eliminiert die Wärmetransportmechanismen Wärmeleitung und Wärmekonvektion weitgehend – beide sind auf ein Medium angewiesen. Es bleibt daher nur eine sehr geringe Wärmebrückenwirkung durch den Randverbund und die Abstandhalter erhalten. Die meisten Vakuumglasprodukte besitzen auch einen sogenannten „Getter“ – darunter wird eine Oberfläche verstanden, die im Stande ist, verbliebene Partikel aus dem Zwischenraum zu binden. Handelsübliche Produkte besitzen heute U_g -Werte von 0,47 bis 0,7 $W/(m^2K)$, die für die Systemstärken von weniger als 1 cm als äußerst gut zu bezeichnen sind. Der U_g -Wert ist unter anderem von dem Pillarabstand sowie dem Randverbund (5 bis 10 mm) abhängig. Abbildung 2 zeigt die wesentlichsten Komponenten und Terminologien von Vakuumgläsern.

Methodologie

Im Projekt „Vamos“ wurden zunächst gemeinsam mit den beteiligten, auf Kastenfenstersanierung spezialisierten Tischlerunternehmen Demonstrationsobjekte in Österreich identifiziert, bei welchen eine (zum Teil zeitweilige) Ertüchtigung mit Vakuumglas denkbar und möglich erschien. Schlussendlich konnten sechs historische Bauwerke gefunden werden, bei denen unterschiedliche Kastenfenstertypologien, Einbausituationen, Nutzungen sowie verschiedene mikroklimatische Randbedingungen vorzufinden waren. Der Grad der Sanierung erstreckte sich von bloßem Glastausch über Außenfenster- oder Flügelrenewing bis zur kompletten Rekonstruktion (Neubau) der Kastenfenster. Abbildung 3 zeigt die unterschiedlichen Demonstrationsobjekte inklusive der jeweiligen Spezifika der Demonstrationsfenster. Wie bereits angesprochen, setzte „Vamos“ auf das Sondierungs-Vorprojekt „Vig-Sys-Reno“ auf. Während in „Vig-Sys-Reno“ generische Kastenfenster mittels Si-

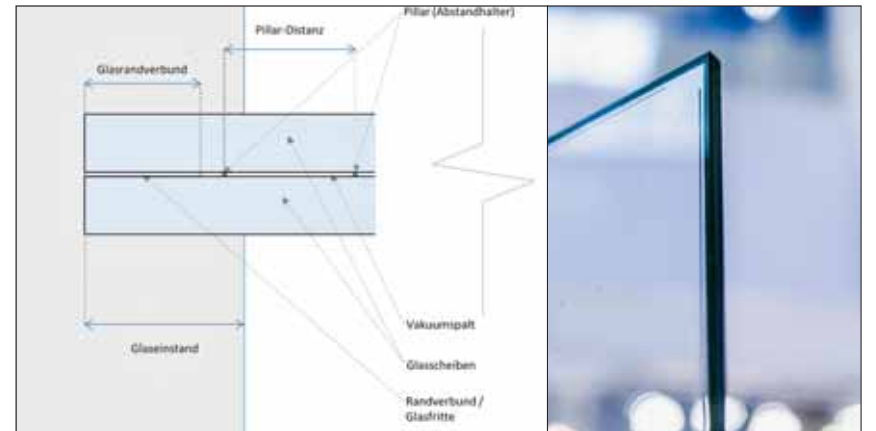


Abbildung 2 Komponenten und Terminologien von Vakuumgläsern (links, eigene Darstellung TU Wien/HFA), sowie eine Abbildung eines Vakuumglases (rechts; Fa. AGC, Interpane) Abbildungen: TU Wien und HFA (7)

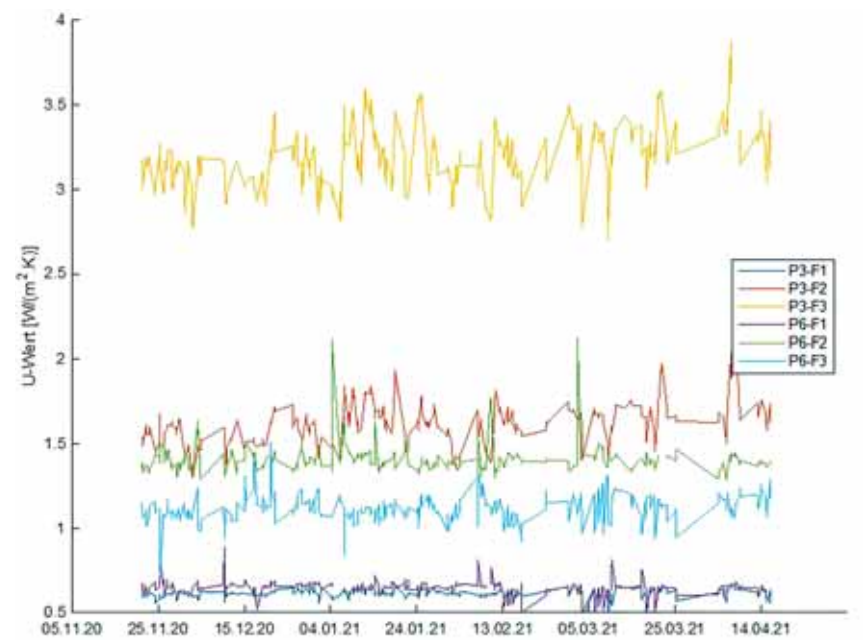


Abbildung 6 Gemessene U_w -Werte in den Objekten in Wien (P3) und Innsbruck (P6) in drei Varianten: F1 Vakuumglas innen, F2 Vakuumglas außen und F3 Originalzustand (Float-Float in P3-Wien bzw. Float-Isolierglas in P6-Innsbruck)

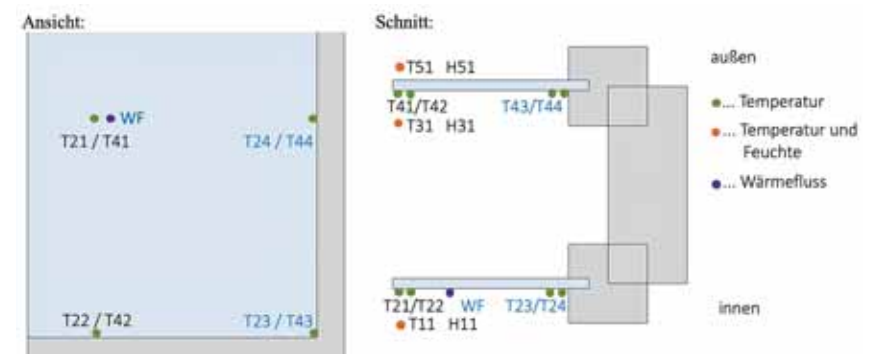


Abbildung 5 Schematisch die Positionen der Messfühler

mulation und Prüfstand-Labortests hinsichtlich fundamentaler Eigenschaften untersucht worden waren, flossen nun die Tischleraufmaße der konkreten Fenster ein. Labortests an entsprechenden „Zwillingen“ fanden neben entsprechenden Simulationen dennoch statt, da es hier auch um das Verstehen des grundsätzlichen thermischen Verhaltens der unterschiedlichen Fenstertypologien, auch hinsichtlich der Ergänzung von Fensterdichtungen. Die Detailentwicklung der Sanierungen – z.B. hinsichtlich Fräßgeometrien für entsprechende Glaseinstände und auch die Wirkung von unterschiedlichen Glaseinbausituationen – erfolgte in iterativer Optimierung und Abgleichen mit Simulationen und teilweise mit den Labortests.

In allen Objekten wurden jeweils drei Fenster ausgewählt, die jeweils so ähnlich wie möglich sein sollten in Bezug auf Orientierung, Zustand, gleicher Raum/gleiche Nutzung im Raum dahinter, (Nicht-)Vorhandensein von Heizkörpern unterhalb des Fensters usw. Während ein Fenster als „Kontrollfenster“ von Sanierungsmaßnahmen unberührt blieb – d.h. im jeweiligen „Originalzustand“ – wurden die anderen beiden Fenster mit Vakuumglas ertüchtigt, wobei in der Regel bei einem Fenster das Vakuumglas im Innenflügel appliziert wurde, während das andere das Vakuumglas im Außenflügel eingebaut bekam. Alle drei Fenster wurden mit

identischer Monitoringinfrastruktur ausgestattet. Diese Messfühler (Temperatur, relative Luftfeuchtigkeit, zum Teil Wärmestrom) wurden an neuralgischen bzw. kritischen Punkten an Innen- und Außenflügel sowie im Innenraum, im Kastenfensterzwischenraum und im Außenbereich montiert (Abbildung 4). Die Sensorik und die jeweilige Datenspeicherung wurden angepasst an die Erfordernisse des Projekts entwickelt. Die Messdaten wurden nicht nur über W-Lan an entsprechende Datenbankstrukturen an die TU-Wien in Echtzeit übertragen, sondern auch lokal gespeichert, sodass die Gefahr von Datenverlusten minimiert werden konnte. Abbildung 5 zeigt schematisch die Positionen der Messfühler.

Neben der Datenaufnahme über die Messfühler wurden bei den Objekten ein Beobachtungsprotokoll hinterlegt, in welches die Gebäudenutzer gebeten wurden, besondere Vorkommnisse, insbesondere das Auftreten von Kondensat auf Innen- oder Außenflügel, zu verzeichnen.

Ergebnisse

Bei fünf der sechs Demonstrationsobjekte konnte neben der fundamentalen Verbesserung des U-Wertes der mit Vakuumglas ertüchtigen Fenster auch festgehalten werden, dass kein Kondensat

* Die Autoren sind Mitarbeiter der Technischen Universität Wien, Forschungsbereich Bauphysik und Bauökologie E259.3
** Der Autor ist Abteilungsleiter im Bereich Bautechnik der Holzforschung Austria (HFA)



Abbildung 1 Kastenfenster in einem Gebäude in Salzburg. Die zarte Fenstergeometrie ist in beiden Stockwerken zu sehen, die untere Fensterreihe ist mit Vakuumglas ertüchtigt.

Foto: M. Wölzl/TU Wien/Projektteam „Vamos“

Objekt	Schloss	Villa	TU Wien	Stift	Architekturbüro	Amtshaus
Ort	Wels	Wien	Wien	Wilhering	Salzburg	Innsbruck
Bauart	Rahmenstock	Pfostenstock	Pfostenstock	Doppelrahmen	Pfostenstock	Rahmenstock
Pos. in d. Wand	in der Leibung	außenbündig	außenbündig	außenbündig	außenbündig	in der Leibung
Öffnungsrichtung	innen öffnend	außen öffnend	außen öffnend	innen öffnend	außen öffnend	innen öffnend
Teilung	2-flg. + 20berlicht	2-flg. + Oberlicht	2-flg.	2-flg.	2-flg.	2-flg.
Nutzung	Wohnraum	Wohnung	Büroraum	leer	Büroraum	Büroraum
Besonderheit	Glastausch	Außenfenster neu Flügel neu	Flügel neu	Neufenster mit Steingewände	Neufenster	Neufenster

Abbildung 3 Demonstrationsbauwerke in Österreich inklusive Detailinformation

Projekt »Vamos« – Wiener Kastenfenster reloaded

Fortsetzung von Seite 861

auftritt. In diesen Objekten war jeweils ein Heizkörper unter dem Fenster montiert. Die Räumlichkeiten wurden zudem überwiegend in ihrer üblichen Nutzung verwendet. Beim sechsten Objekt wurden starke Kondensatneigungen festgestellt. Diese sind jedoch darauf zurückzuführen, dass die Messperiode noch in eine komplette Bauphase fiel, in welcher das Objekt nicht beheizt wurde und darüber hinaus auch die in den Räumlichkeiten entstehende Baufeuchte (Estricharbeiten, Malerarbeiten) nicht abgelüftet wurden. Die vorhandene Fußbodenheizung war nicht in Betrieb, und es sind auch Ausführungsfehler bei den Dichtungen der Fenster festgestellt worden.

Im Gegensatz zu den rein rechnerischen U-Werten, die im Vorprojekt zugrunde gelegt wurden, konnte bei den Demonstrationsprojekten folgendes festgehalten werden: Bei Applikation der Vakuumglasscheibe im Innenflügel konnte in der Regel der niedrigste gemessene U_w-Wert festgestellt werden –

mit allen Abstrichen einer messtechnischen Annäherung an einen eindimensionalen Normwert. Bei Applikation im Außenflügel waren die gemessenen U-Werte in der Regel etwas höher, aber noch immer viel besser als bei einer reinen Float-Float-Kombination.

Bei Applikation im Innenflügel wurden U_w-Werte bis zu 0,62 W/(m²K) erzielt, bei Applikation im Außenflügel verschlechterte sich der U-Wert etwas. Es ist an dieser Stelle aber nochmals darauf hinzuweisen, dass dies gemessene Daten sind, die stark von der Ausprägung der Dichtungen in Innen- und Außenflügel sowie dem konvektiven Wärmetransport im Zwischenraum abhängig sind. Zur Einordnung der o. g. Messwerte: Die reine Floatglas-Floatglas-Kombination erzielte sehr hohe gemessene U_w-Werte (um 2,80 W/(m²K)). Abbildung 6 illustriert die gemessenen U_w-Werte in den Objekten in Wien (P3) und Innsbruck (P6). Hinsichtlich der Fragestellung, ob nun Vakuumglas im Innen- oder Außenflügel verbaut wer-

den soll, kann festgehalten werden: Bei Pfostenstockfenstern (das sind „Altwiener Kastenfenster“ mit nach außen öffnenden Außenflügel) sowie im Falle von stark leitendem Gewändematerial (z. B. Steingewände) ist das Vakuumglas jedenfalls innen zu positionieren, was in der Regel auch zu einem niedrigeren, gemessenen U-Wert führt. Bei nach innen öffnenden Kastenfenstern ist die Positionierung sowohl innen, wie auch außen möglich. Eine Positionierung außen heißt ein stark verringertes Oberflächenkondensat- bzw. Vereisungsrisiko auf der Innenseite der Außenscheibe. Abbildung 7 illustriert den Wärmetransport durch ein Kastenfenster mit innen- bzw. außen appliziertem Vakuumglas sowie der Flanke bzw. der Wärmebrücke im Gewändebereich.

Schlussfolgerung

Das Projekt „Vamos“ hat gezeigt, dass ein Einsatz von Vakuumglas für die thermisch-energetische Ertüchtigung sowohl aus handwerklicher, wie auch aus bauphysikalisch-hochbautechnischer Sicht sinnvoll erscheint. Eine detaillierte Planung, welche folgende

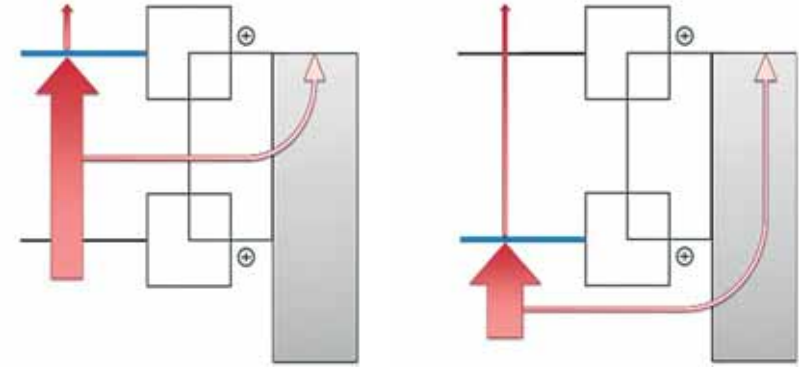


Abbildung 7: Wärmetransport – links: Vakuumglas im Außenflügel (resultiert in wärmeren Zwischenraum), rechts: Vakuumglas im Innenflügel (resultiert in geringerem Wärmetransport)

Aspekte berücksichtigt, ist aber in jedem Fall erforderlich:

- ◆ Positionierung von Heizkörpern am/ unter dem Fenster,
- ◆ Sanierungszustand der Fenster,
- ◆ Qualität der inneren Dichtebene,
- ◆ Feuchteeintrag auf der Raumseite (Nutzung),
- ◆ Orientierung der Fenster und
- ◆ mikroklimatische Bedingungen im direkten Umfeld des Fensters.

Darüber hinaus muss erwähnt werden, dass die Vakuumgläser einen wichtigen Baustein der thermischen Performance der Fenster darstellen. Jedoch sind weitere bedeutsame Aspekte: das Vorhandensein bzw. der Zustand von Dichtungen, der allgemeine Zustand der Fenster (Anpressdruck im geschlossenen Zustand), die Positionierung und Materialität in der Fensternische bzw. der Einbausituation in der Hanswand.