

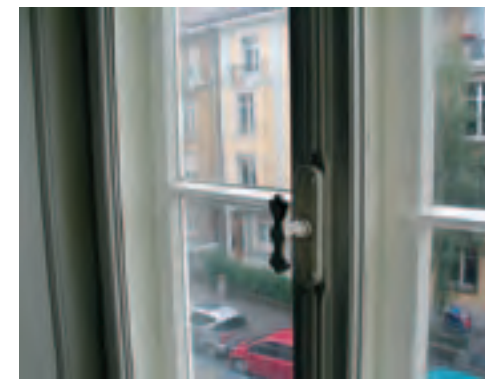
HISTORISCHE FENSTER SANIEREN: DIE RICHTIGE BAUPHYSIK

Altes Haus und neue Fenster? Oft gehen mit dieser komfortablen, finanziell geförderten und schnell gemachten Lösung der Charme und die Ausdruckskraft historischer Bauten verloren, der Gesamteindruck leidet deutlich. Mit diesem Beitrag zeigt der Holzingenieur und Bauphysiker Matthias Schmid aus Biel auf, welche technisch machbaren Lösungen es gibt, um historische Fenster zu belassen und dennoch ihre bauphysikalischen Eigenschaften zu verbessern. Die Grundlage für den folgenden Artikel liefert ein Referenzobjekt an der Mühlhauserstrasse in Basel, das für den örtlichen Heimatschutzverein untersucht wurde.

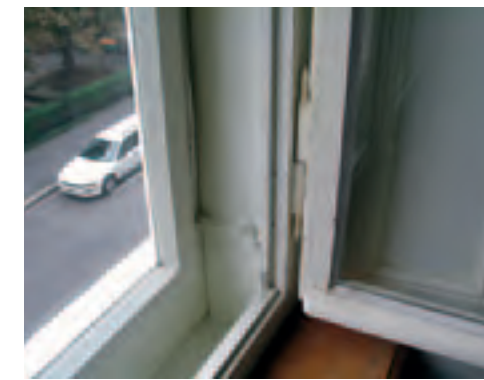
Text und Illustrationen: Matthias Schmid*



Ansicht der historischen Fassade an der Mühlhauserstrasse in Basel.



Beide Fenster, das Sommer- und das Vorfenster, werden hier im geschlossenen Zustand gezeigt.



Das Sommerfenster steht offen. Sichtbar sind die Sturmhaken für die Vorfenster. Die Vorfenster liegen hier innerhalb der Fensterleibung.



In dieser Situation wurde das Vorfenster bereits mit einer zusätzlichen Dichtung am Blendrahmen versehen.

Die Liegenschaft an der Mühlhauserstrasse 82 in Basel kann als typisches Gebäude aus der Gründerzeit bezeichnet werden. Dem leicht erhöhten Eingangsgeschoss folgen über das zentrale Treppenhause vier weitere Geschosse. Das Gebäude liegt mitten in einer Häuserzeile und hat somit nur eine Strassenseite und eine Hofseite. An diesem Gebäude befinden sich erhaltenswerte Fenster, an welchen Luftdichtigkeitstests und Berechnungen für einen umfangreichen Massnahmenkatalog durchgeführt wurden. Bei den Fenstern im vorliegenden Fall handelt es sich um sogenannte Winter- bzw. Sommerfenster, welche auch als Fenster mit Vorfenster bekannt sind.

Sanieren oder auswechseln?

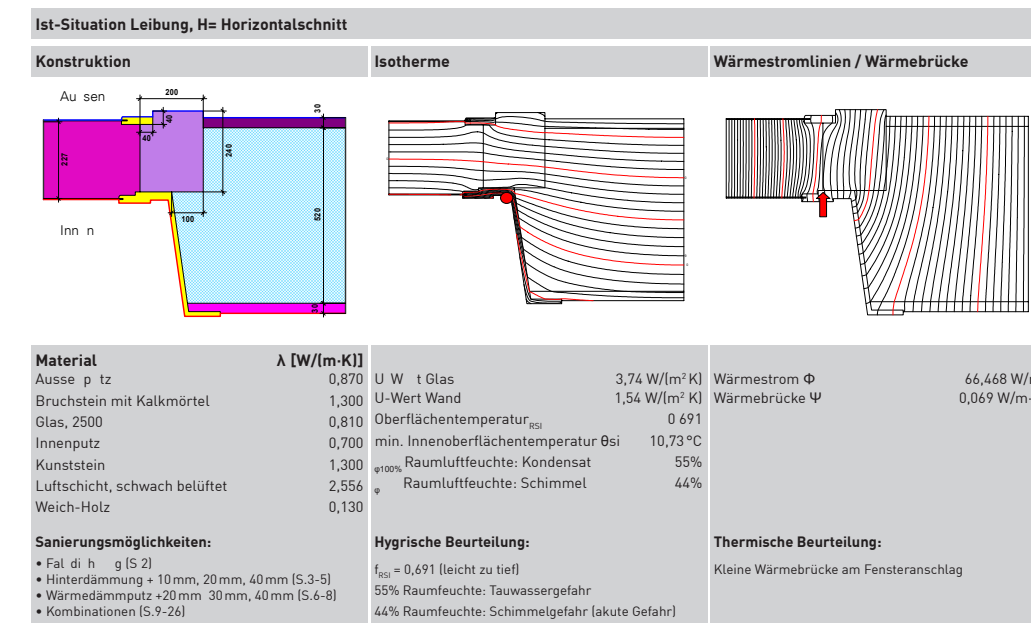
Will man die Eigenschaften von Fenstern verbessern, bietet sich grundsätzlich entweder die Sanierung durch Instandsetzung und Reparatur, also Ertüchtigung der Fenster, an oder die Modernisierung durch Auswechslung und Ergänzungen.

Ob eine Sanierung möglich ist, hängt vom Grad der Fensterzerstörung der Konstruktion ab. Zu prüfen sind Standfestigkeit, Dichtigkeit gegen Schlagregen, Verwindungsgrad von Stock und Flügel, Gängigkeit und Wirkung der Beschläge, Zustand der Kittfalze und Falzdichtigkeit aller Anschläge. Materialprüfungen beziehen sich auf den Zustand des Holzes. Pilzbefall und Holzfeuchten über 25 Prozent schliessen eine teilweise Sanierung aus.

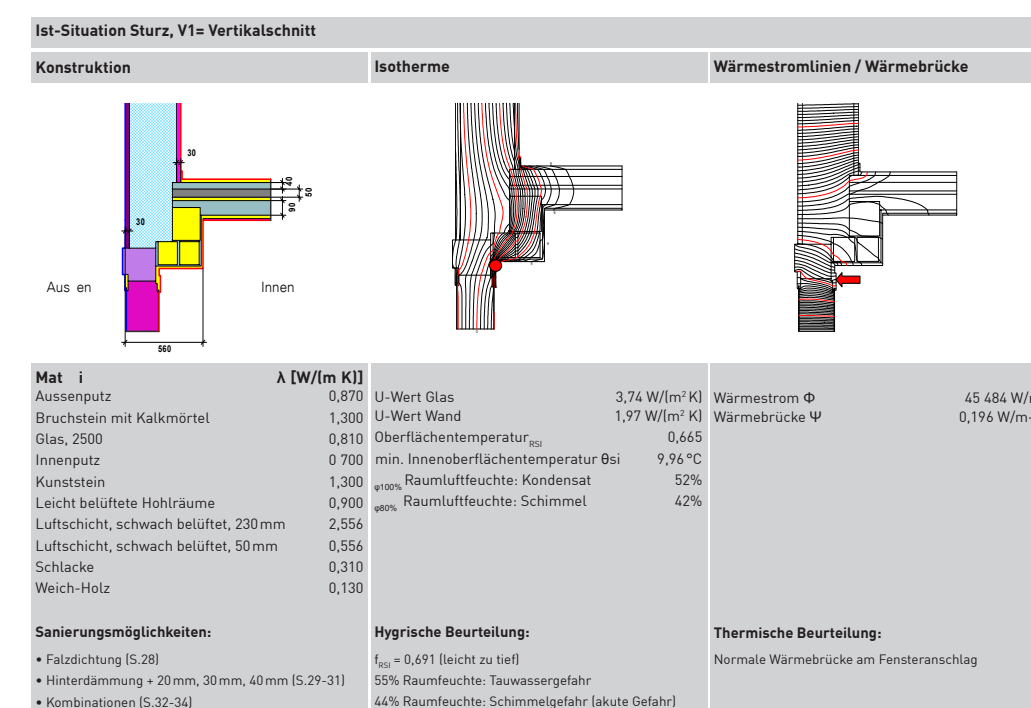
Keine Falzdichtung

Bei historischen Fenstern sind grundsätzlich keine Falzdichtungen eingebaut. Der Einbau solcher Dichtungen bringt jedoch mehrere positive Effekte mit sich. So stellen sich etwa ein höherer Komfort, niedrigere Lüftungswär-

Bauphysikalische Situation



Bauphysikalische Situation der Fenster im Horizontalschnitt (Leibung).



Bauphysikalische Situation der Fenster im Vertikalschnitt (Sturz).

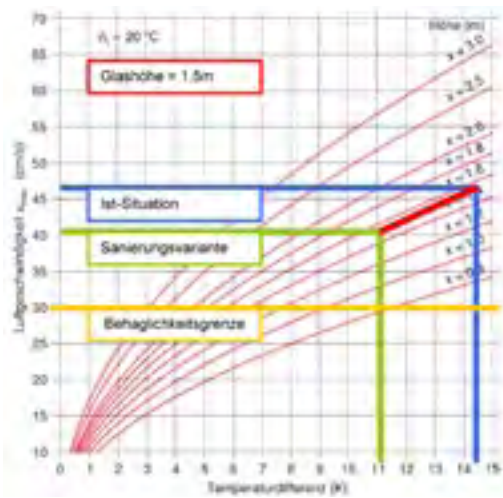


Diagramm zur Grenzschichtströmung nach SIA D 0166.

meverluste und ein besserer Schallschutz ein. Zu dichte Fenster können aber auch das bauphysikalische Gleichgewicht stören. In der Entwicklung von Fenstern war die Fugendurchlässigkeit (a-Wert) die erste messbare Grösse zur Beurteilung der Fenster. Daher wurden Versuche unternommen, diesen Wert zu verbessern. Während die innere Fensterebene gegen Luftdurchlässigkeit abgedichtet wird, was zu einer Erhöhung des Wärme- und des Schallschutzes führt, muss das Vorfenster gegen Schlagregen dicht sein. Somit werden in beiden Fensterebenen unterschiedliche Funktionen erfüllt. Der nachträgliche Einbau von Falzdichtungen kann in der Regel mit wenig Aufwand realisiert werden. Neben dem allgemeinen Zustand des Fensters sollte dabei auch die Stärke des Über-schlages beachtet werden.

Die Gläser ersetzen

Eine einfache Sanierungsmöglichkeit ist auch der Glasersatz. Heute gibt es eine Vielzahl von unterschiedlichen und leistungsfähigen Gläsern. Vor allem für die Transmissionswärmeverluste ist der sogenannte g-Wert massgebend. Er bezeichnet den Gesamtenergiedurchlassgrad durch ein transparentes Bauteil. Die Werte verschiedener Glasersatz-Varianten lassen sich mit dem Online-Tool Pilkington Spektrum bestimmen (www.pilkington.com). Die Berechnung von licht- und energietechnischen Daten wird dabei nach EN 410 durchgeführt, die Berechnung des U_g - Wertes (Wärmedurchgangskoeffizient des Glases) erfolgt gemäss EN 673.

Hinterdämmung der Leibung

Hier handelt es sich um eine Innendämmung der seitlichen Leibungen. Früher wurden die Fensterleibungen oft nur mit Holz verkleidet, welches die Unebenheiten der Leibungsarbeiten verdeckte. Indem man den Hohlraum zwischen Holz und Leibung mit Wärmedämmstoffen ausfüllt (z.B. durch Einblasen von Zelluloseflocken oder Aerogelgranulat), lassen sich Tauwasser- und Schimmelgefahr reduzieren. Zusätzlich lässt sich die Dicke dieser Hohlräume mit einer neuen oder restaurierten Holzverkleidung modifizieren, sollte die Verkleidung beschädigt sein. Dabei spielt die Versiegelung bzw. Abdichtung eine wichtige

Rolle. Die Machbarkeit dieser Sanierungsvariante ist mit dem Innenausbau abzuklären. Falls keine Holzverkleidung vorhanden ist, lässt sich auch eventuell ein Innen-Wärmedämmputz aufbringen.

Wärmedämmputz

Das Anbringen eines Wärmedämmputzes kann sowohl innen als auch aussen erfolgen. In den meisten Fällen wird dieser als Zusatzdämmung (Wärmeleitfähigkeit: 0,05–0,20 W/mK) bei Altbauten angebracht, da auf diesem Weg der U-Wert der bestehenden Wand auf sehr einfache Weise verbessert werden kann. Die allgemeinen Eigenschaften eines mineralisch gebundenen Isolier- und Wärmedämmputzes sind:

- die Wärmedämmung ist fugenlos
 - sie ist wasserdampfdiffusionsoffen (dadurch trockenes Mauerwerk)
 - sie ist schwer entflammbar
 - Minimierung von Untergrundrissen (kleines Elastizitätsmodul, daher nachgiebig)
 - Ausgleich von Unebenheiten im Untergrund
- Mit dem zusätzlichen Wärmedämmputz wird die Feuchtebelastung des Mauerwerks reduziert und ausgeglichener. Die Temperaturschwankungen an den Innenoberflächen sind geringer. Bei einer Sanierung ist zu klären, ob damit die Ansprüche an das Fassadenbild eingehalten werden können.

Komfort nach der Sanierung

Fensterflächen haben innenseitig eine niedrige Oberflächentemperatur, da sie nur eine geringe Dämmwirkung aufweisen. Kommt warme Luft aus dem Raum an die kälteren Oberflächen, wird diese abgekühlt und sinkt ab, da die kältere Luft schwerer ist als warme. Dadurch entsteht eine Luftströmung (Kaltluftabfall), welche infolge einer Zugscheinung als unbehaglich empfunden wird. Mit Heizkörpern wird dieser Unbehaglichkeit oftmals versucht entgegenzuwirken. Die sich maximal einstellende Luftgeschwindigkeit v_{max} in m/s ist bei der Beurteilung massgebend. Die Raumtemperatur wird mit 20 C° angenommen.

Im Folgenden wird die Ist-Situation mit der effizientesten Sanierungsvariante (Nr. HAB40C40) verglichen. Sanierungsvariante: mit Falzdichtung, 40 mm Hinterdämmung der Leibung und

40 mm Wärmedämmputz. Die Fensterhöhe liegt bei 1,65 m, die Glashöhe (Fensterhöhe minus Rahmen) bei 1,5 m. Die Glasoberflächentemperatur der Ist-Situation beträgt 5,22 °C, die Glasoberflächentemperatur der Sanierungsvariante 8,66 °C. Daraus ergibt sich bei einer Raumlufttemperatur von 20 °C bei der Ist-Situation eine Temperaturdifferenz von 14,78 °C; bei der Sanierungsvariante dagegen eine Temperaturdifferenz von 11,34 °C. Die abgelesenen maximalen Luftgeschwindigkeiten sind dann:

v_{max} der Ist-Situation	4,7 m/s
v_{max} der Sanierungsvariante	4 1 m/s

Das bedeutet, dass bei der Ist-Situation die Werte einer optimalen Luftgeschwindigkeit um 1,7 m/s und bei der Sanierungsvariante um 1,1 überschritten sind. Damit ist die Behaglichkeit in dieser Umgebung nicht gegeben.

Lüftungswärmeverluste

Die Fugenlänge des Innenfensters spielt nicht nur bei der Messung des a- Wertes eine wichtige Rolle. Diese ist ebenso für die anschließende Berechnung des Wärmeverlustes infolge des Luftwechsels ausschlaggebend.

Luftdichtigkeits tests ergeben, dass die Effektivität einer Dichtung in der inneren Fensterebene höher ist als in der äusseren. Die aussen liegende Fensterebene sollte zudem aus bauphysikalischer Sicht nicht abgedichtet werden, um einen Luftaustausch zwischen dem Innenraum des Fensters mit der Aussenluft zu gewährleisten. Wäre die äussere Fensterebene ebenfalls dicht verschlossen, könnte die Feuchtigkeit der Luft nicht mehr abtransportiert werden und die Gefahr von Kondensat am Vorfenster wäre hoch.

Mit dem Luftdurchlässigkeitskoeffizienten sowie dem a-Wert [$m^3/h \cdot m \cdot Pa^{2/3}$] kann der Wärmeverlust durch Luftwechsel in den folgenden drei Schritten ermittelt werden.

1. Spaltströmungsformel

Übliche Strömungen für Fensterfugen liegen im Zwischenbereich von laminaren und turbulenten Strömungen. Als Ansatz hat sich deshalb folgende Spaltströmungsformel durchgesetzt

$$V = a \cdot l \cdot \Delta p^{2/3} \quad [m^3/h]$$

V zu- resp. abströmendes Luftvolumen m³/h
a Luftdurchlässigkeitskoeffizient m³/h*m*Pa
l Fugenlänge m
Δp Druckdifferenz Pa

2. Luftwechsel

Der Luftwechsel n zeigt das Verhältnis zwischen dem abströmenden Luftvolumen V und dem zugehörigen Raumvolumen V_R .

$$n = \frac{V}{V_R} \quad \text{oder} \quad n_{L50} = \frac{V}{V_R} \quad [h^{-1}]$$

n_{L50} Luftwechsel bei einer Druckdifferenz von 50 PA m³/h

3 Wärmeverlust infolge Luftwechsel

$$Q_L = n \cdot V \cdot p \cdot c_p \cdot (\theta_i - \theta_a) \quad [W]$$

oder

$$Q_L = n \cdot V \cdot p \cdot c_p \cdot HGT \cdot \frac{24}{1000} \quad [kWh]$$

n Luftwechsel h⁻¹
V Inneres Gebäudevolumen m³
HGT Heizgradtage K*d
p*c_p Auf das Volumen bezogene Wärmekapazität der Luft Pa

Die auf diese Weise ermittelten Werte ergeben das Ergebnis der Energie Q_L in kWh.

Die Wärmeverluste infolge Luftwechsel in Abhängigkeit des a- Wertes verhalten sich folgendermassen:

- Unabhängig von der Raumgrösse verbessert eine Abdichtung des Innenfensters die Ausgangssituation um circa 50 Prozent.
- Bei einer kleineren Raumfläche ist die Effektivität einer neu eingebauten Dichtung höher. Grund hierfür ist das kleinere Raumvolumen.

Schlussfolgerungen

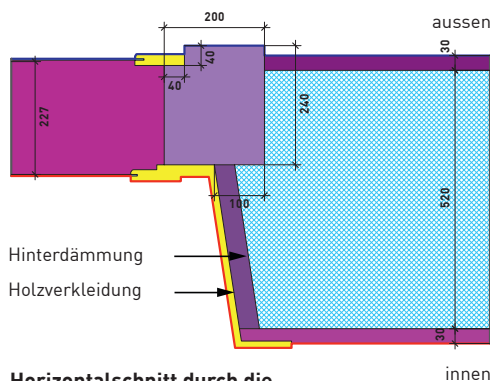
Aus der Studie geht hervor, dass historisch wertvolle Fenster durchaus effizient ertüchtigt werden können. So lassen sich mit relativ



Luftdichtigkeitsprüfung.

Wärmeverluste infolge Luftwechsel Q_L .

Situation	Volumenstrom [m ³ /h]		a-Wert [m ³ /mhPa ^{2/3}]		Klasse 4-1	Wärmeverlust [kWh]	
	50 Pa	4 Pa	50 Pa	4 Pa		Q_{L50}	Q_{L4}
Originalzustand Fenster	11,5	4,7	1,3	0,5	2	20481	655
Vorfenster (aussen) abgedichtet	6,3	1,2	0,7	0,1	3	11028	167
Innenfenster abgedichtet	4,4	0,9	0,5	0,1	3	7877	125
Vor- und Innenfenster abgedichtet	3	0,6	0,3	0,1	4	4726	84



Horizontalschnitt durch die Fensterleibung nach der Sanierung.

einfachen Massnahmen, wie beispielsweise einem Einbau nachträglicher Dichtungen, bereits spürbare Verbesserungen erzielen. Voraussetzung dafür ist jedoch die Standfestigkeit des Fensters.

Aufgrund der Ergebnisse lassen sich folgende Fakten zusammentragen:

- Durch einen Glasersatz (Wärmeschutzglas) und den Einbau einer Dichtung des Sommerfensters, werden die Transmissionswärmeverluste über die Fenster um circa 40 bis 50 Prozent reduziert.
- Durch den Glasersatz (Wärmeschutzglas), den Einbau einer Dichtung und einer Hinterdämmung der Leibung steigt der Komfort spürbar im Innenbereich. Die Oberflächentemperaturen erhöhen sich im Fensterbereich sich um circa 2°K.
- Bezogen auf den gesamten Heizenergieverbrauch wird dadurch eine Einsparung von circa sieben bis zehn Prozent erzielt (Fensteranteil 15 % bis 20 %).
- Die Effizienz von nachträglich fachgerecht eingebauten Falzdichtungen entspricht dem Standard eines neuen modernen Fensters (Luftdurchlässigkeit Klasse 3).
- Die vorgeschlagenen Sanierungsmassnahmen sind mit einem relativ geringen Aufwand auszuführen und tragen somit zum Erhalt des historischen Fassadenbildes bei.
- Voraussetzung für eine schadensfreie Sanierung bzw. Ertüchtigung ist die Abstimmung einzelner Massnahmen untereinander. Ein Fensterersatz provoziert unter Umständen ein erhöhtes Schimmelrisiko an den unsanierten Aussenwänden.

Aufgrund dieser Tatsachen kann man entnehmen, dass es grundsätzlich erstrebenswert sein sollte, bevorstehende Fenstersanierungen auf eine Ertüchtigung zu prüfen. Zudem sollte eine Betrachtung aller Bauteile der betroffenen thermischen Gebäudehülle erfolgen, um die Bauteile mit den grössten Transmissionswärmeverlusten zu eruieren.

Diese Punkte führen dazu, dass auch bei einer Fenstersanierung ein gesamtheitliches und durchdachtes Sanierungskonzept über die thermische Gebäudehülle erfolgen sollte. Nur so lassen sich langfristig Bauschäden vermeiden und Heizenergie nachhaltig einsparen. ■

Literaturhinweise sowie Hinweise auf Normen und Richtlinien finden sich unter dem Webcode 20736 auf www.architektur-technik.ch



Der Autor: Matthias Schmid ist Dipl. Ing. FH/MSc, Geschäftsleiter Bauphysik und Mitinhaber der Prona AG Umwelt, Sicherheit in Biel. Von 2002 bis 2009 war er wissenschaftlicher Mitarbeiter der Berner FH mit dem Lehr- und Forschungsschwerpunkt Bauphysik.

Dieser Beitrag basiert auf einem Vortrag, der anlässlich der fünften Edition der «Windays 2011», einer Veranstaltung der Berner Fachhochschule BFH, gehalten wurde. Er ist das Ergebnis einer Studie für den Heimatschutz Basel. Der Verein setzt sich mit einer Kampagne dafür ein, dass historisch wertvolle Fenster grundsätzlich erhalten bleiben, aber mit gezielten Sanierungsmassnahmen trotzdem energetisch optimiert werden. (Bezugsquellen der Studie: www.prona.ch/dienstleistungen/bauphysik oder www.heimatschutz.ch/basel) Mit den «Windays» bietet die BFH Kaderleuten der Fenster- und Fassadenbranche, deren Zuliefererindustrie sowie interessierten Personen aus den Gebieten Architektur und Planung einen Einblick in die neuesten Entwicklungen der Branche. Das Ziel der Veranstaltung ist es, den wissenschaftlichen Erfahrungsaustausch zu fördern, einen umfassenden Einblick in den Markt zu geben und eine Plattform für Diskussionen rund um das Thema Fenster und Fassade zu schaffen. Die nächsten «Windays» finden am 14. und 15. März 2013 wiederum im Kongresshaus in Biel statt. www.windays.ch