



Berner
Fachhochschule



Schallschutz und Luftdurchlässigkeit historischer Fenster

Der Schallschutz historischer Fenster hängt von ihrer Luftdichtheit ab. Zur Feststellung der Luftdurchlässigkeit und des Schallschutzes stehen Vor-Ort-Messverfahren zur Verfügung. Es werden wichtige Eigenschaften historischer Fenster und Randbedingungen beschrieben, welche für eine erfolgreiche Sanierung des Schallschutzes und der Luftdurchlässigkeit historischer Fenster zu beachten sind.

Inhalt

1 Bestandsaufnahme	2
2 Schallschutz historischer Fenster	4
Einfluss der Konstruktionsteile auf den Schallschutz	4
Luftdurchlässigkeit und Schallschutz	4
Hinweise für die Ausführung	4
Erreichbarer Schallschutz der Fassade	4
3 Messung der Luftdurchlässigkeit der Fenster	6
Erreichbare Luftdichtheit der Fenster	6
4 Messung des Schallschutzes der Fenster	8
5 Quellen	10

Forschungsprojekt

Im Rahmen des Forschungsprojektes «Schallschutz und Luftdichtheit historischer Fenster - Untersuchung des Einflusses der Fugendurchlässigkeit auf den Schallschutz und die Lüftungswärmeverluste historischer Fenster» der Berner Fachhochschule Architektur, Holz und Bau (BFH AHB) wurden die Schalldämmmasse der am häufigsten vorkommenden historischen Fensterkonstruktionen Einfachfenster, Kastenfenster, Vorfenster und Verbundfenster an sechs historisch wertvollen Gebäuden vor und nach einer Sanierung insitu gemessen.

Zudem wurde die Fugendurchlässigkeit der unsanierten und sanierten Fenster bestimmt. Durch einen Vergleich der Messergebnisse vor und nach der Sanierung wurde das Potenzial der Sanierungsmassnahmen an historischen Fenstern in Hinblick auf die Verbesserung der Schalldämmeigenschaften sowie Reduzierung der Lüftungswärmeverluste ermittelt.

Das Projekt wurde von der Stiftung zur Förderung der Denkmalpflege unterstützt.

Informationen zum Forschungsprojekt

Auf der Projektdatenbank der Berner Fachhochschule (BFH)* sowie der Homepage der Stiftung zur Förderung der Denkmalpflege** stehen folgende Dokumente zum Download bereit:

- Forschungsbericht
- Messberichte
- Broschüre

* <https://projektdatenbank.bfh.ch/>

** <http://stiftung-denkmalpflege.ch/>

Broschüre

Diese Broschüre fasst wichtige Erkenntnisse des Forschungsprojektes zusammen. Zum genaueren Verständnis der Zusammenhänge können die Resultate des Forschungsprojektes zudem kostenfrei von der Projektdatenbank der BFH bzw. der Homepage der Fördermittelgeberin bezogen werden.

1 Bestandsaufnahme

Wie bei jeder Sanierung kommt der Bestandsaufnahme der Fassade und seiner Einbausituation eine grosse Bedeutung zu. Offene Fugen verschlechtern den Schallschutz in hohem Masse. Daher müssen bei der Bestandsaufnahme der Fassade alle offenen Fugen und Öffnungen erfasst und später saniert werden.

Offene Bauanschlussfugen müssen sorgfältig mit einem Faserdämmstoff zur Hohlraumbedämpfung ausgefüllt, beidseitig mit elastischem Dichtmaterial verschlossen und gegebenenfalls mit Leisten abgedeckt werden. Andernfalls ist damit zu rechnen, dass die Sanierungsmassnahmen nur einen geringen oder keinen positiven Effekt auf die Schalldämmung haben.

Schäden an Fensterrahmen können ebenfalls zu einer deutlichen Verschlechterung des Schallschutzes führen. Auch auf die Luftdurchlässigkeit wirken sich Schäden an Blendrahmen und Verglasungen negativ aus. Daher müssen solche Schäden bei der Bestandsaufnahme festgestellt und im Rahmen der Sanierung behoben werden.

Bei der Bestandsaufnahme müssen alle Bauteile mit geringem Schallschutz, wie Lüfter oder Rollladenkästen oder andere Öffnungen in der Fassade, welche als Schallnebenweg agieren können, identifiziert und aufgenommen werden.

Weisen die zu sanierenden Fenster Rollladenkästen auf, so sind diese im Rahmen der Schallschutzsanierung ebenfalls zu ertüchtigen. Andernfalls ist ein Erzielen von hohen Schalldämmmassen der sanierten Fassade nicht möglich. Der Einbau von Dämmstoffen mit möglichst hohen Flächengewichten wirkt sich positiv auf den Schallschutz aus. Offene Fugen an den Rollladenkästen sind auf der Rauminnenseite abzudichten.



2 Schallschutz historischer Fenster

Der Schallschutz eines Fensters ergibt sich aus den schalltechnischen Eigenschaften seiner Bauteile: dem bewerteten Schalldämmmass des Rahmens, dem bewerteten Schalldämmmass der Verglasung und dem bewerteten Fugenschalldämmmass der Funktionsfuge zwischen Öffnungsflügel und Blendrahmen.

Einfluss der Konstruktionsteile auf den Schallschutz

Historische Fenster besitzen in der Regel einen Rahmen aus Holz. Für das bewertete Schalldämmmass des Rahmens kann ein Wert von $R_{w,R} = 39$ dB angesetzt werden [1].

Für die Verglasungen können standardisierte Werte der Schalldämmmasse nach [2] für die Berechnung angenommen werden: ein Wert von $R_{w,(C;C_{tr})} = 28(-1;-4)$ dB für eine 3 mm dicke Einfachverglasung, ein Wert von $R_{w,(C;C_{tr})} = 33(-1;-4)$ dB für ein Mehrscheiben-Isolierglas mit dem Glasaufbau (Scheibendicke/Dicke des Scheibenzwischenraums/Scheibendicke) von 4 mm/(6 - 16) mm/8 mm und ein Wert von $R_{w,(C;C_{tr})} = 32(-2;-4)$ dB für ein Mehrscheiben-Isolierglas mit dem Glasaufbau 4 mm/(6 - 16) mm/6 mm.

Aus durchgeführten Schallmessungen resultieren bewertete Fugenschalldämmmasse für die Bestandsfugen historischer Fenster ohne Dichtungen von $R_{w,FF} = 29$ dB bis 36 dB. Für die Fugen mit Dichtungen nach der Sanierung werden bewertete Fugenschalldämmmasse $R_{w,FF}$ zwischen 32 dB und 55 dB ermittelt.

Für die bewerteten Fugenschalldämmmasse dichter Fugen werden im Allgemeinen Werte von $R_{w,FF} > 50$ dB angesetzt. Dies zeigt, dass die Dichtheit einer sanierten Fuge nicht nur von der zusätzlichen Dichtung, sondern auch von der Konstruktion des Fensters und seiner Beschläge abhängt. Eine Fuge mit Dichtung erreicht nur dann ihre optimale Dichtheit, wenn die Dichtung umlaufend ausreichend stark eingepresst wird.

Luftdurchlässigkeit und Schallschutz

Wie die Luftdurchlässigkeit eines Fensters mit seinem Schallschutz zusammenhängt, zeigt die nähere Betrachtung der Formel zur Berechnung des Schallschutzes eines Fensters als bewertetes Schalldämmmass des Fensters, $R_{w,res}$. Diese lautet [1]:

$$R_{w,res} = -10 \cdot \lg \left(\frac{1}{S_{ges}} \cdot \left(S_R \cdot 10^{\frac{-R_{w,R}}{10} dB} + S_G \cdot 10^{\frac{-R_{w,G}}{10} dB} + \frac{l_{FF} \cdot S_0}{l_0} \cdot 10^{\frac{-R_{w,FF}}{10} dB} \right) \right)$$

Hierbei bezeichnet

- $R_{w,R}$ das bewertete Schalldämmmass des Rahmens in dB
- $R_{w,G}$ das bewertete Schalldämmmass des Glases in dB
- $R_{w,FF}$ das bewertete Fugenschalldämmmass der Funktionsfuge des Fensters in dB
- S_{ges} die Fensterfläche in m^2
- S_G die Glasfläche in m^2
- S_R die Rahmenfläche in m^2
- S_0 die Bezugsfläche (entspricht $1 m^2$)
- l_{FF} die Abwicklungslänge der Funktionsfuge in m
- l_0 die Bezugslänge (entspricht 1 m)

Die Formel demonstriert, dass bei einer Sanierung eines historischen Fensters der Schallschutz durch zwei Massnahmen verbessert wird: durch Austauschen der Einfachverglasung gegen eine Mehrscheiben-Isolierverglasung zur Verbesserung des Schallschutzes der Verglasung und durch Abdichten der Fuge zur Verringerung der Schallübertragung über die Fuge.

Nur wenn beide Massnahmen konsequent und fachgerecht ausgeführt werden, wird eine optimale Verbesserung des Schallschutzes des sanierten Fensters erzielt.

Hinweise für die Ausführung

Auf einen sorgfältigen Einbau der Falzdichtungen ist zu achten. Fehlende Dichtungen führen zu Einbussen bei der Schalldämmung des Fensters von bis zu 7 dB und zu erhöhten Lüftungswärmeverlusten.

Die Verriegelungsbeschläge der Fenster müssen so gestaltet werden, dass ein ausreichender Anpressdruck auch nach Einbau der Falzdichtungen im Rahmen der Sanierung erzielt werden kann. Andernfalls ist mit Einbussen beim Schallschutz und der Luftdichtheit zu rechnen.

Vorfenster tragen sowohl bei unsanierten als auch bei sanierten historischen Fenstern erheblich zum Schallschutz bei. Zum einen verbessern Sie durch den grossen Abstand von Vorfenster und Hauptfenster den Schallschutz des Fensters und zum anderen erhöhen Sie die Luftdichtheit des gesamten Fensters. Eine Weiternutzung der Vorfenster auch nach der Sanierung der Hauptfenster ist daher anzustreben.

Erreichbarer Schallschutz der Fassade

Bei fünf von sechs untersuchten Fassaden konnten nach der Sanierung der Fenster Standardschallpegel-Differenzen der Fassaden, $D_{e,tot}$ im Bereich von 35 - 38 dB erreicht werden. In einigen Fällen lagen diese oberhalb von 40 dB. Damit ist der Schallschutz der Fassaden ausreichend für die Lärmempfindlichkeitsstufe «mittel» und massgebende Beurteilungspegel L_r im Bereich von 68 - 71 dB am Tag und 60 - 63 dB in der Nacht. Er erfüllt somit die Mindestanforderungswerte für D_e an den Schutz gegen Luftschall von aussen nach SIA 181 [3].

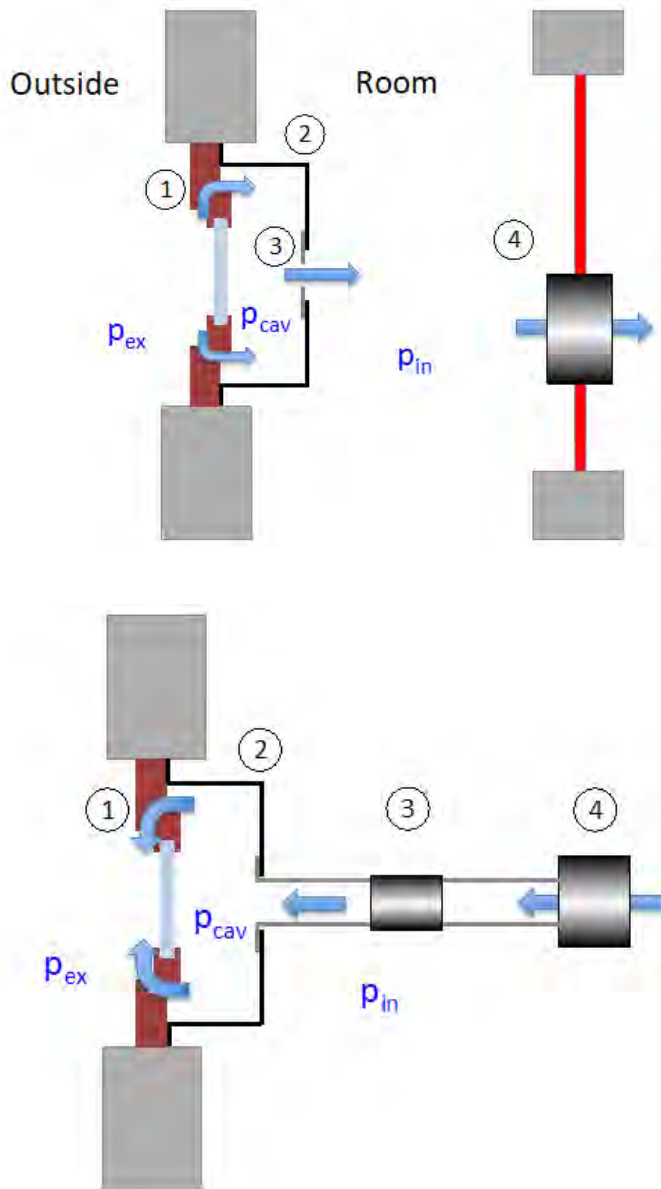


3 Messung der Luftdurchlässigkeit der Fenster

Die Messung der Luftdurchlässigkeit von Fenstern am Objekt wird entweder als Teil der Bestandsaufnahme, aber auch im Rahmen der Qualitätssicherung der Sanierung empfohlen.

- 6 Für die Messung der Luftdurchlässigkeit von Fenstern in eingebautem Zustand stehen zwei Messverfahren zur Verfügung: das «a-Wert Messsystem zur Bestimmung der Fugendurchlässigkeit von Fenstern und Bauteilen» [4] und das «Minneapolis Micro Leakage Meter (MLM) - Dichtheitsprüfung von Lüftungskanalssystemen nach DIN EN 12599» Messsystem [5], welche beide von der BlowerDoor® GmbH vertrieben werden.

Das Messprinzip beider Vor-Ort-Messmethoden ist in der folgenden Abbildungen dargestellt.



Prinzipskizzen der Vor-Ort-Messmethoden zur Bestimmung der Luftdurchlässigkeit von Fenstern.

Im oberen Bild das a-Wert Messsystem mit dem Testfenster (1), der Folie (2), der Messblende (3) und der Blower Door (4) zur Erzeugung eines Unterdrucks im Raum. « p_{in} » steht für den Innendruck, « p_{cav} » für den Druck im Hohlraum und « p_{ex} » für den Aussendruck.

Das untere Bild zeigt das MLM Messsystem mit dem Testfenster (1), der Folie (2), das Volumenmessgerät (3) und dem Ventilator (4) zur Erzeugung des Überdrucks im Hohlraum.

Die Messergebnisse beider Systeme zeigen eine gute Übereinstimmung innerhalb von 10 % des Messwertes. Beide Messverfahren sind also geeignet für die Messung der Luftdurchlässigkeit historischer Fenster.

Wie die Abbildungen zeigen, wird für beide Messmethoden mittels einer Folie ein Hohlraum vor dem Testfenster hergestellt. Die Folie wird mit einem Klebeband auf dem Blendrahmen befestigt. Hierfür muss ein ausreichend breiter Blendrahmen vorhanden sein. Bei vielen historischen Fenstern sind keine ausreichend breiten Blendrahmen vorhanden, so dass die Messungen hier nicht durchgeführt werden können.

Das Aufkleben der Folie auf dem Blendrahmen historischer Fenster ist je nach Ausführung der Beschläge und des Blendrahmens mit Schwierigkeiten und einem relativ hohen Zeitaufwand verbunden. Generell ist für die Messung von zwei Fenstern mit einem Messverfahren mit einem Zeitaufwand von ca. 6 Arbeitsstunden zu rechnen.

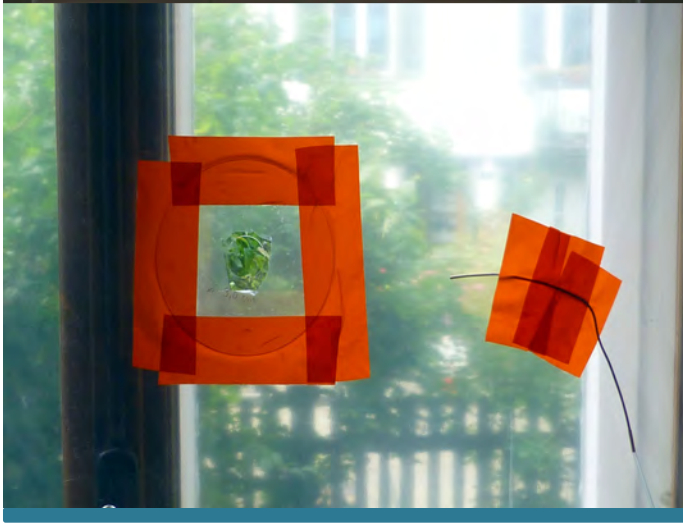
Auch kommt es manchmal beim Abziehen des Klebebandes zur Fixierung der Kunststoffolie am Blendrahmen zu Schäden an der Lackierung. Die Bauherr-schaft ist daher vor der Messung auf das Risiko möglicher Schäden an der Lackierung hinzuweisen.

Der kleinere Ventilator der MLM Messausrüstung ist handlicher als der grosse Ventilator für die a-Wert Messung. Zudem kann bei der MLM Messung auf den Einbau des Prüfrahmens in einer Zimmertüre verzichtet werden.

Erreichbare Luftdichtheit der Fenster

Die Bestandsfenster weisen ein grosse Streubreite von Luftdurchlässigkeiten auf. Die Streubreite reicht von sehr undichten Fenstern, deren Luftdurchlässigkeit so gross ist, dass sie nicht nach EN 12207 [6] klassifiziert werden können, bis zu Fenstern, die bereits ohne Sanierung die Luftdurchlässigkeitsklasse 2 erreichen.

Die Luftdurchlässigkeit der sanierten Fenster ist meist deutlich geringer: hier werden Luftdurchlässigkeitsklassen zwischen 2 und 4, der höchsten Dichtigkeitsstufe, erreicht.

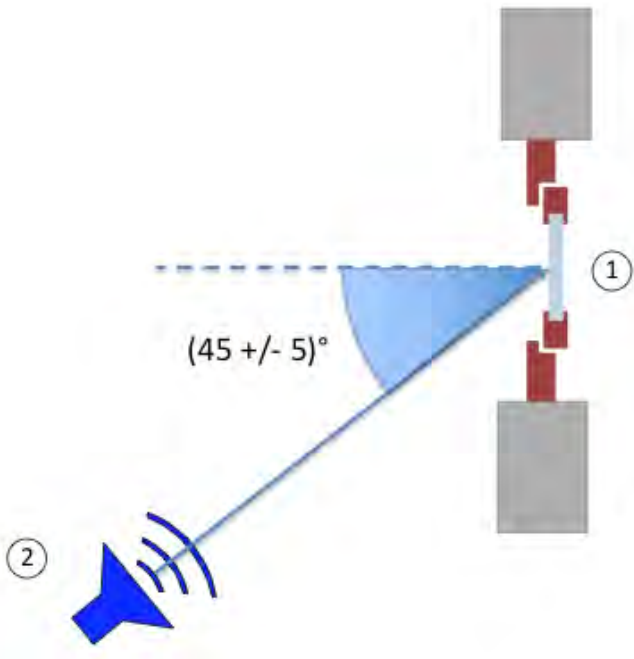


4 Messung des Schallschutzes der Fenster

Die Luftschalldämmung der Fenster wird vor Ort in der Regel mit dem sogenannten Bauteil-Lautsprecher-Verfahren nach EN ISO 16283-3 [7] bestimmt.

- 8 Für dieses Messverfahren wird ein Lautsprecher so vor dem zu messenden Fenster aufgestellt, dass die von ihm erzeugte Schallwelle unter einem Winkel von $(45 \pm 5)^\circ$ gegenüber der Flächennormale des Fensters einfällt.

Folgende Abbildung zeigt eine Skizze des Messprinzips.



Messprinzip des Bauteil-Lautsprecher-Verfahrens nach EN ISO 16283-3.

Der Lautsprecher (2) wird aussen so aufgestellt, dass die Schallwelle unter einem Winkel von 45° auf das Fenster (1) fällt.

Da der Lautsprecher auch in einer Entfernung von mindestens zweimal der Flächendiagonale aufzustellen ist, benötigt man vor der Fassade ausreichend Platz für die Messung. Falls die örtlichen Gegebenheiten keine Aufstellung des Lautsprechers unter 45° erlauben, kann der Schallschutz der Fenster unter anderen Winkeln gemessen werden. Allerdings kann die Messung dann nur noch in Anlehnung an die Norm SIA 181 durchgeführt werden, da diese einen Winkel von $(45 \pm 5)^\circ$ vorschreibt.

Für die Durchführung der Schallmessungen ist ausreichend Zeit einzuplanen. Die Verwendung von Teleskopstützen, an welchen das Mikrophon zur Erfassung der Schallpegel direkt vor der Verglasung befestigt werden kann, erleichtert die Durchführung enorm. Ausserdem verhindert sie eine Verfälschung der Messungen durch das Befestigen einer Masse am Glas. Zudem ist die Verwendung eines Abstandhalters zum Einstellen des Abstands von 3 mm zwischen Mikrophon und Verglasung sehr hilfreich.

Hinter dem Fenster muss ein Raum vorhanden sein, welcher durch eine Tür gegenüber den übrigen Räumen im Gebäude abgetrennt werden kann. Auch diese Bedingung schränkt die Auswahl der Fenster für eine Messung vor Ort ein.



5 Quellen

[1] Überarbeitung von DIN 4109, Beiblatt 1, Tabelle 40, Institut für Fenstertechnik Rosenheim, Juni 1999

[2] EN 12758 Glas im Bauwesen- Glas und Luftschalldämmung- Produktbeschreibungen und Bestimmung der Eigenschaften,
10 Ausgabe 2011 Schweizer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich

[3] SIA 181 Schallschutz im Hochbau, Ausgabe 2006-09, Schweizer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich

[4] a-Wert MessSystem zur Bestimmung der Fugendurchlässigkeit. BlowerDoor GmbH, Springe 2012

[5] Minneapolis Micro Leakage Meter, Dichtheitsprüfung von Lüftungskanalssystemen nach DIN EN 12599, BlowerDoor GmbH, Springe 2016

[6] SN EN 12207:2016 Fenster und Türen - Luftdurchlässigkeit - Klassifizierung, Ausgabe 2016-10, Schweizer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich

[7] EN ISO 16283-3 Akustik-Messung der Schalldämmung in Gebäuden und von Bauteilen am Bau - Teil: Fassadenschalldämmung, Ausgabe 2016, Schweizer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich





Projektförderung:

Stiftung zur Förderung der Denkmalpflege

Projektverantwortung:

Prof. Dr. Christoph Geyer

Projektumsetzung:

Barbara Wehle (Projektleitung)

Amabel Melián Hernández

Kontakt:

Barbara Wehle (barbara.wehle@bfh.ch / Tel: +41(0) 32 344 02 54)

Berner Fachhochschule

Architektur, Holz und Bau
Institut für Holzbau, Tragwerke und Architektur
Solothurnstrasse 102, Postfach 6069
CH-2500 Biel 6

Telefon +41 (0) 32 344 02 02

fe@bfh.ch
www.ahb.bfh.ch