Wohnkolonie Limmatstrasse, Zürich: Ergebnisse der energetischen Sanierung: Luftwechsel und Lüftungsverhalten

Autor(en): **Hartmann, Peter / Müller, Ernst A.**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizer Ingenieur und Architekt**

Band (Jahr): **102 (1984)**

Heft 12

PDF erstellt am: **15.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-75435

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Luftwechsel und Lüftungsverhalten

Von Peter Hartmann, Dübendorf, und Ernst A. Müller, Zürich

Bedeutung des Luftwechsels

Eine eingehende Beurteilung der Luftaustausch-Situation in Gebäuden vor einer Sanierung und eine fundierte Planung von Sanierungsmassnahmen hat ihre Bedeutung in folgender Hinsicht:

- Der *Raumkomfort* ist wesentlich davon abhängig, ob eine ausreichende Lufterneuerung stattfindet und ob bei dieser Lufterneuerung keine unangenehmen Luftströmungen mit zu hoher Geschwindigkeit auftreten.
- *Abdichtungsmassnahmen* sind so zu planen, dass einerseits möglichst grosse Energieeinsparungen erzielt, dass andererseits aber keine Schädigung der Baukonstruktion durch Kondensatbildung wegen zu kleinem Luftaustausch in den Räumen auftreten kann.
- Sind in den Wohnungen *Feuerstätten* vorhanden, muss während der Betriebszeit unbedingt eine genügende Sauerstoffzufuhr sichergestellt sein.

Dem Problem des Luftaustausches ist bei energetisch guten Bauten – in Folge der starken Zunahme des Anteils der Lüftungsverluste – *vermehrte Beachtung* zu schenken.

Methoden der Fensterlüftung

Im ursprünglichen Zustand der Wohnkolonie Limmatstrasse lag der klassische Fall einer vom Benutzer *von Hand betätigten Fensterlüftung* vor. Zu jenem Zeitpunkt bestanden noch keine detaillierten Studien über die Motive der Bewohner bei der Betätigung ihrer Fenster, aber auch keine klaren Beurteilungskriterien über aufwendigere Lüftungsmethoden im Hinblick auf eine besser kontrollierte Lüftung. Aus heutiger Sicht würde man wohl auch andere Methoden zur Beurteilung heranziehen, zum Beispiel:

Fensterlüftung mit Fühlern für kritische Grössen (Feuchtigkeit, evtl. CO_2) und entsprechenden Benutzer-Warnsignalen («jetzt sollst Du lüften», bzw. «geh das Fenster schliessen, denn es ist bereits 10 Minuten offen»); Fensterlüftung mit «Not-Abluftanlage» für kritische Zustände oder allenfalls kontrollierte Lüftung mit Lüftungssystem und Wärmerückgewinnung.

Der Entscheid ist damals schliesslich auf die Fenster-Lüftungs-Methode gefallen, unter Information der Bewohner über geeignetes Verhalten und unter Einbau dichter Fenster und Türen.

Messmethoden für Luftdurchlässigkeit und Luftwechsel

Kenngrössen und Parameter

Wesentlichste Beurteilungsgrösse für den Luftaustausch in den Gebäuden ist der sog. *Luftwechsel* (Einheit: h^{-1}) oder allenfalls die *Luftwechselrate* (in m^3/h und Person). Dieser Kenngrösse für den Luftaustausch unter natürlichen Bedingungen steht die Luftdurchlässigkeit als Kenngrösse für die Gebäudehülle gegenüber (Leckstrom bei einer bestimmten Druckdifferenz zwischen innen und aussen, künstlich erzeugt). Drei wesentliche Gruppen von Grössen wirken auf den Luftwechsel ein:

- die Klimaparameter
- die Baukonstruktion (und allfällige haustechnische Anlagen) und schliesslich
- das Benutzerverhalten.

Da bei dieser «Vorher-/Nachher-Studie» in erster Näherung keine Veränderung von Klimaparametern stattgefunden hat, hat man sich auf die Ermittlung der *baulich-konstruktiven Kennwerte* und ihren Einfluss auf den Luftwechsel sowie auf Beobachtungen über das *Benutzerverhalten* konzentriert.

Luftwechselmessungen, durchgeführt mittels Konzentrationsabfallmessungen eines ursprünglich der Raumluft zugeführten Spurengases, sind relativ aufwendig, so dass man sich in manchen Fällen mit einfacheren Luftdurchlässigkeitsmessungen behilft. Diese Hilfs-Messwerte, allenfalls ergänzt durch optische Beobachtungen der Leckstellen, eignen sich für den Fachmann als approximative Beurteilungsgrösse für den Luftaustausch in Räumen, vgl. [1].

Messungen der Luftdurchlässigkeit und des Luftwechsels vor der Sanierung

Für das damalige Messgebäude vor der Sanierung liegen *keine Luftdurchlässigkeits-Messwerte* der Gebäudehülle vor, wohl aber für die Fenster [2]:

Mittlere *a*-Werte lagen um

$$0{,}6\ m^3/h \cdot m \cdot Pa^{2/3}$$

für ein Fenster allein, um nur etwa 10% reduziert für die Kastenfenstereinheit. Diese Werte liegen über den tolerierten Werten für neue Fenster in solchen Häusern; allerdings sind die Leckströme im Anschlagbereich der Fenster inbegriffen. Im damaligen Zustand war auch die Wohnungstüre zum Treppenhaus sehr undicht. Zum oberen und unteren Stockwerk waren Passagen vorhanden, die Aussenwand schien aber relativ dicht. Hinsichtlich des Luftwechsels in den Wohnungen liegen Untersuchungen bei verschiedenen Klima- sowie Fenster-Tür-Situationen vor (Tab. 1). Gesamthaft gesehen war damals der Luftwechsel ohne Benutzereinfluss nicht unerhört hoch, aber deutlich verbesserungsfähig.

Messungen der Luftdurchlässigkeit und des Luftwechsels nach der Sanierung

Nach der Sanierung wurden *folgende Messungen* zur Beurteilung des Luftaustausches vorgenommen:

- Detail-Leckageuntersuchungen (mit Rauch, IR-Kamera)
- Luftdurchlässigkeitsmessungen an Komponenten
- Luftdurchlässigkeitsmessungen an der Gesamthülle einer Wohnung
- Luftwechselmessungen in Einzelzimmern, bei einer gesamten Wohnung mit geschlossenen und schliesslich mit geöffneten Fenstern.

Resultate bezüglich der Luftdurchlässigkeit:

- neue Fenster:
  a-Wert = $0{,}005\ m^3/h \cdot m \cdot Pa^{2/3}$

Tabelle 1. Luftwechsel-Messwerte vor der Sanierung (im Winter)

Messeinheit	*Bedingungen für Türen, Fenster*	*Windsituation*	*Luftwechsel* [h^{-1}]
kleines Schlafzimmer mit 1 Türe	Fenster und Türen zu	wenig Wind,	0,3
kleines Schlafzimmer	Türe zu; 1 Fensterflügel innen leicht geöffnet	wenig Wind,	2,0
grosses Zimmer	Fenster und Türen zu	wenig Wind	ca. 0,5
Gesamtwohnung	Fenster zu, Zwischentüren offen	wenig Wind	0,3–0,5
		etwas stärkerer Nordwind	0,5–0,8

Tabelle 2. Luftwechsel-Messwerte nach der Sanierung (im Winter)

Messeinheit	*Bedingungen für Türen, Fenster*	*Windsituation*	*Luftwechsel* [h^{-1}]
Gesamtwohnung	Fenster zu, Zwischentüren offen	mittelmässig	0,2–0,25
Gesamtwohnung	1 Fenster in einem Zimmer wenig offen	wenig	0,6
Gesamtwohnung	1 Fenster in einem Zimmer stärker offen	wenig	1,0

Tabelle 3. Vergleich des Luftwechsels der Gesamtwohnung vor und nach der Sanierung

Luftwechsel [h^{-1}]	*bei geschlossenen Fenstern*		*unter Berücksichtigung eines mittleren Benutzereinflusses*	
	wenig Wind	starker Wind	wenig Wind oder kälter	starker Wind oder wärmer
vor Sanierung	0,3	0,6	0,5	1,0
nach Sanierung	0,2	0,3	0,35	0,5

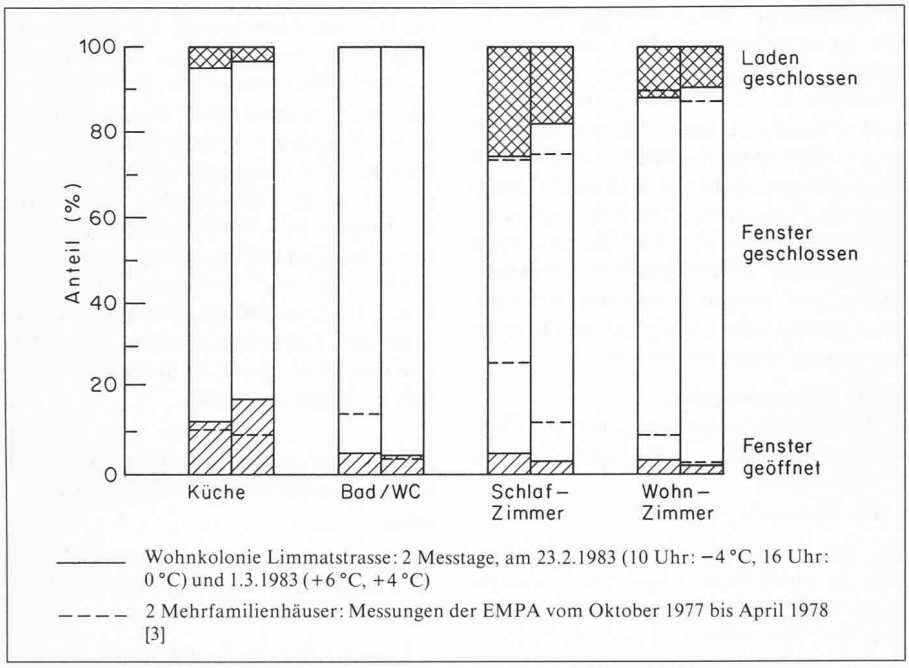

Bild 1. Vergleich der Beobachtungen an der Wohnkolonie Limmatstrasse mit Untersuchungen an 2 Mehrfamilienhäusern über das Lüftungsverhalten der Mieter

- Türe und altes WC-Fenster: *a*-Wert um 1,3 $m^3/h \cdot m \cdot Pa^{2/3}$
- Wohnungshülle: Messwert weit über jenen Limiten, wie sie in Schweden für energetisch günstige Bauten festgelegt sind; die Gesamtleckage ist etwa 12fach höher als jener Volumenstrom, der sich für die Fenster- und Türfugen allein errechnet.

Die oben genannten Resultate lassen erwarten, dass in grösserem Umfang andere Leckagen als bei Fensterfugen vorhanden sind. Entsprechende Infrarot-Aufnahmen bei Unterdrucksituation zeigten grössere Luftdurchtritte unter Fensterbrettern und bei der Fensterleibung.

Tab. 2 zeigt in gleicher Art *gemessene Luftwechsel nach der Sanierung*. Die sich bei geschlossenen Fenstern einstellenden Luftwechsel nach der Sanierung sind akzeptabel. Eine hermetische Abdichtung aller Anschlussfugen um die Fenster, aber auch gegenüber den oben- und untenliegenden Wohnungen würde wohl in Zeiten ohne Fensterlüftung einen zu geringen Luftaustausch zur Folge haben.

Beobachtungen und Messungen über das Lüftungsverhalten

Das *Lüftungsverhalten der Mieter* in der Wohnkolonie Limmatstrasse wurde vor und nach der Sanierung untersucht und der Einfluss auf den Luftwechsel berechnet. Damit konnten die Verbesserungen des Luftwechsels durch die Sanierung einerseits ohne und anderseits mit Berücksichtigung des Benutzereinflusses abgeschätzt werden.

Vor der Sanierung wurde das Lüftungsverhalten mit photographischen Sequenzaufnahmen an einem ausgewählten Wintertag, mit sporadischen Zählungen der Fensterpositionen und mit einer Detailbefragung der Bewohner analysiert. – *Nach der Sanierung* wurde das Lüftungsverhalten durch Beobachtung und manuelle Auswertung der Fenster- und Ladenstellung an 100 Wohnungen an 2 typischen Wintertagen 1983 jeweils um 10 und 16 Uhr und durch halbstündige Sequenzaufnahmen an 20 Wohnungen an einem «Minimallüftungstag» 1983 ermittelt.

In der Siedlung wohnten vor der Sanierung – im Gegensatz zu den Verhältnissen nach der Sanierung – sehr viele alte Leute und einige junge Leute. Nach der Sanierung stieg der Anteil von Mietern mit Familien und Kindern sehr stark an. Eine grössere Zahl der Wohnungen war zudem gegen den Sanierungstermin hin unterbelegt oder nicht mehr bewohnt. Diese zwei Faktoren könnten dazu geführt haben, dass vor der Sanierung weniger oft gelüftet wurde als nach der Sanierung. Hingegen dürfte die Einzelofenfeuerung das Lüftungsverhalten wieder in die entgegengesetzte Richtung beeinflusst haben.

Das Lüftungsverhalten vor und nach der Sanierung

Die Beobachtungen über das Lüftungsverhalten vor der Sanierung zeigten eine recht *starke Streuung* [2]. Es reichte von Bewohnern, die zu «Dauerlüften» neigten, zu solchen mit vernünftiger Bedarfslüftung, bis hin zu solchen, die kaum je ein Fenster (und Laden!) öffneten. Dieses Resultat wurde durch andere Studien bestätigt [3, 4]. Aufgrund der genannten Messungen und Beobachtungen wurden *folgende Werte* über den Luftwechsel ermittelt: Für die Gesamtwohnungen betrug vor der Sanierung der *Luftwechsel mit Benutzereinfluss* 0,6–1,0 h^{-1} (oberer Wert bei höherem Wind und höherer Temperatur).

Bei den halbstündigen Sequenzaufnahmen nach der Sanierung an einem kühlen Wintertag (23.2.1982) bei starkem Wind und dauerndem Nassschneefall wurde nur minimal gelüftet. Im Mittel waren nur 1,5–5% der beobachteten Fenster geöffnet, welche den Luftwechsel im Vergleich zum geschlossenen Zustand von 0,25 h^{-1} lediglich auf etwa 0,30 h^{-1} erhöhten. – An den beiden anderen Beobachtungstagen nach der Sanierung standen jeweils um 10 und 16 Uhr 6,5% der Fenster bei den 100 Wohnungen offen, sowohl am 23.2.1983, an einem schönen kalten Wintertag

(−4 °C, 0 °C) wie auch am 1.3.1983, an einem regnerischen kühlen Tag (+6 °C, +4 °C). Die *Nutzungsart des Raumes* hatte bei allen Beobachtungen einen dominierenden Einfluss auf die Lüftungshäufigkeit, daneben auch die Orientierung nach der Strasse oder dem Hof und die Tageszeit (Bild 1). In der Küche standen am Morgen und am Nachmittag jeweils am meisten Fenster offen, wobei die Kippflügel in der Küche eventuell zu einem häufigeren Lüften verleiteten.

Das Lüftungsverhalten der Mieter *im Haus mit dem modularen Regelsystem* wurde separat ausgewertet und mit dem Verhalten von Mietern ohne dieses System verglichen. Bei den 10 Wohnungen mit dem modularen Regelsystem waren durchschnittlich nur 3,6% der Fenster, also nur etwa halb so viele Fenster wie bei den Wohnungen ohne Regelsystem, offen. Das ergibt einen mittleren Luftwechsel von 0,3–0,35 h^{-1}. Bei grösserem Anfall von freier Wärme z.B. durch Wärme vom Kochherd oder von der Sonneneinstrahlung wird die Wärmeabgabe der Radiatoren durch das Regelsystem reduziert, so dass einer Übererwärmung in den einzelnen Räumen nicht mehr durch Fensterlüften begegnet werden muss. Ob über diesen Effekt das Regelsystem das Lüftungsverhalten der Mieter tatsächlich verbessert wird, müssen angesichts der kleinen bisherigen Stichprobenzahl weitere Untersuchungen zeigen.

Die Mieter der Wohnkolonie Limmatstrasse lüfteten an den beiden Beobachtungstagen insgesamt *wesentlich weniger häufig* als die Mieter in zwei von der EMPA intensiv untersuchten Mehrfamilienhäuser [3] mit etwa gleicher Wohnungsgrösse in einer Vorortsgemeinde (Bild 1). Ob dabei das Rundschreiben bei den Mietern in der Wohnkolonie Limmatstrasse mit einem Aufruf zum sinnvollen Lüften oder eine Bewusstseinsbildung im Laufe der Sanierung oder die besseren Reguliermöglichkeiten der Radiatoren oder andere Lebensgewohnheiten der Mieter oder sogar eine unzureichende Vergleichbarkeit der beiden Messmethoden die Resultate beeinflussten, kann noch nicht abschliessend beurteilt werden. Die Fensterläden wurden hingegen bei den zwei Objekten etwa gleich häufig geschlossen (Bild 1). Die Mieter in der Wohnkolonie Limmatstrasse befolgten die Anleitungen des Rundschreibens bezüglich Ladenpositionen nicht, wodurch Heizenergie-Einsparungen von 1 bis 2% durch mögliche Gewinne aus der Sonneneinstrahlung nicht realisiert wurden.

Gemäss Messungen der EMPA liegt die Luftwechselzahl bei einer Gesamtwohnung in der Siedlung Limmatstrasse ohne Benutzereinfluss an einem mittleren Wintertag bei 0,25 h^{-1}. Durch das beobachtete Lüftungsverhalten steigt die Luftwechselzahl im Mittel bei den 100 Wohnungen auf 0,38 h^{-1}. Die Benutzer erhöhen also den Luftwechsel um den Faktor 1,5. In den 10 Wohnungen mit dem modularen Regelsystem steigt der Luftwechsel unter Benutzereinfluss nur um den Faktor 1,3 auf 0,33 h^{-1}.

Luftwechsel vor und nach der Sanierung, unter Benutzereinfluss

Der *Luftwechsel einer Gesamtwohnung* der Wohnkolonie Limmatstrasse konnte durch die Sanierung mittels konstruktiver Massnahmen bei relativ niedriger Windgeschwindigkeit um rund einen Drittel reduziert werden (Tab. 3). Bei stärkerem Wind steigen die Verbesserungen durch die Sanierung sogar noch an und reduzieren den Luftwechsel auf rund die Hälfte des Wertes vor der Sanierung. Diese Verbesserungen wurden sowohl bei geschlossenen Fenstern als auch unter Berücksichtigung des Benutzereinflusses festgestellt. Auch unter Berücksichtigung, dass der Luftwechsel in der Nacht und in der Übergangszeit etwas höher ist als an den beobachteten Zeitpunkten, darf der Luftwechsel und das Lüftungsverhalten der Mieter in der sanierten Wohnkolonie Limmatstrasse als *zufriedenstellend* beurteilt werden, im Haus mit dem modularen Regelsystem

Literatur

[1] *Baumgartner, T.; Hartmann, P.; Mühlebach, H.*: «Lüftungsverluste, wie sind sie messtechnisch erfassbar». Heizung-Lüftung, Nr. 2, 1981

[2] Eidg. Materialprüfungs- und Versuchsanstalt: «Umbau Wohnkolonie Limmatstrasse, Bericht Messperiode I (Winter 1976/77)». EMPA-Bericht 36 433, Dübendorf-Zürich, 1981

[3] EMPA: «Fenster-Lüftungsverhalten der Bewohner zweier Mehrfamilienhäuser in Abhängigkeit vom Aussenklima». EMPA-Bericht 39 400 b, Dübendorf-Zürich, April 1981

[4] *Voss, K.-F.*: «Lüften und Heizenergieeinsparung, empirische Untersuchungen über die Ursachen für übermässiges Lüften als Zeichen einer Störung des Lernprozesses der Bewohner bei der Einsparung von Heizenergie». Bericht Nr. BI5-80 01 78-140 des BMBau, Bonn, Oktober 1980

Der ausführliche Schlussbericht über die hier vorgestellte Studie kann unter dem Titel «Sanierung der Wohnkolonie Limmatstrasse» bei der Eidg. Materialprüfungs- und Versuchsanstalt (Dr. Jürg Gass) in Dübendorf bestellt werden.

Adressen der Verfasser:
C.U. Brunner, dipl. Arch. ETH/SIA (Projektleiter), und *E.A. Müller*, dipl. Geograph, c/o Büro C.U. Brunner, Planung & Architektur & Energie, Lindenhofstr. 15, 8001 Zürich, und Dr. *J. Gass* (verantwortlich für Messtechnik) und Dr. *P. Hartmann*, c/o Eidg. Materialprüfungs- und Versuchsanstalt (EMPA), Abt. Bauphysik, Überlandstr. 129, 8600 Dübendorf.