

# Der natürliche Luftwechsel in Gebäuden und seine Bedeutung bei der Beurteilung von Schimmelpilzschäden

*Uwe Münzenberg*

## **Problemstellung**

Die Frage, wer die Schuld an einem Schimmelbefall hat, beschäftigt Gerichte tagtäglich. Nach wie vor treffen Sachverständige in ihren Gutachten pauschale Aussagen: „Für Feuchtigkeit und die daraus resultierenden mikrobiellen Probleme ist der Bewohner durch mangelhaftes Lüften verantwortlich.“ Die Fragestellung an den Bausachverständigen lautet in der Regel wie folgt: *Liegt ein Baumangel oder ein Fehler im Nutzerverhalten vor?* Kann kein offenkundiger Baumangel wie von außen eindringende Feuchtigkeit durch fehlerhafte Abdichtung festgestellt werden, wird häufig der einfache Schluss gezogen, dass fehlerhaftes Nutzerverhalten vorliegt. Mit dieser gutachterlichen Feststellung läuft der Wohnungsnutzer Gefahr, für die Beseitigung des Schadens die Kosten zu tragen **und** durch ein „richtiges“ Lüftungsverhalten in Zukunft dafür zu sorgen, dass der Schaden nicht wieder auftritt. Ihm wird damit möglicherweise die Bürde auferlegt, eine z.B. unzureichende Dämmung des Gebäudes durch ein aktives Nutzerverhalten auszugleichen. Denn selten wird bei einer Altbausanierung bedacht, dass die damaligen Erbauer das Gebäude für andere Nutzungsgewohnheiten konstruierten, als sie für moderne Wohnmenschen heute selbstverständlich erscheinen. Da häufig bei Teilsanierungen die komplexen bauphysikalischen Zusammenhänge über Luftführungen in Gebäuden nicht ausreichend berücksichtigt werden, wird nicht selten Feuchtigkeit in ehemals trockene Altbauten mit eingebaut.

Bis zu 40% der Mehrfamilienhäuser im Altbaubestand mit veraltetem Wärmeschutz, welche jedoch mit modernen Fenstern ausgerüstet wurden, sollen sichtbaren Schimmelpilzbefall aufweisen<sup>[1 2]</sup>. Befragungsergebnisse von 53 großen Wohnungsgesellschaften<sup>[3]</sup>, welche zusammen über 500.000 Wohnungen verwalten, geben an, dass nach dem Fensteraustausch in 70 % der Wohnungen Schimmelbefall auftrat. Insgesamt geben die Wohnungsbaugesellschaften an, dass gut 10 % aller Wohnungen, also Neubau und Altbau zusammen, einen Schimmelpilzbefall aufweisen.<sup>[4]</sup>

Diese Zahlen stammen aus Befragungen. Die Dunkelziffer könnte noch größer sein, da der Schimmelbefall von den Bewohnern erst einmal erkannt werden muss, um überhaupt erfasst werden zu können. Viele Nutzer scheuen sich, den Befall anzugeben, tun ihn als unbedeutend ab oder haben diesen hinter Möbeln noch gar nicht entdeckt.

---

<sup>1</sup> Erhorn: Schäden durch Schimmelpilzschäden im modernisiertem Mietwohnungsbau. Bauphysik 5/88, S. 129-134

<sup>2</sup> Heinz: (Institut für Erhaltung und Modernisierung von Bauwerken e.V.): Schornsteinfegerhandwerk, 9/98, S. 24-37

<sup>3</sup> Clausnitzer: Zur Notwendigkeit der Überprüfung und Reinigung von Lüftungsanlagen in Wohngebäuden. Studie des Bremer Energie-Institutes, Januar 1997.

<sup>4</sup> Bischof: Erste Ergebnisse der bundesweiten Erhebung über die Ursachen von Feuchteschäden und Schimmelpilzbildungen in Wohnungen, Schornsteinfegerhandwerk, Heft 7/2002

Häufigste Ursache für den Schimmelbefall in Wohnräumen ist die Kondensation von Luftfeuchtigkeit an kühleren Oberflächen. Bei der Frage nach Strategien gegen dieses vermeidbare gesundheitliche Risiko hat die Kenntnis über den Luftwechsel<sup>[5]</sup> in Gebäuden eine zentrale Bedeutung. Denn je geringer der Feuchtegehalt der Raumluft ist, desto weniger Feuchtigkeit fällt an kühlen Wandoberflächen an. Der notwendige Luftwechsel kann daher sehr unterschiedlich sein. Dies hängt zum einen von der Oberflächentemperatur ab und zum anderen davon, wie viel Feuchtigkeit in Abhängigkeit vom Raumvolumen „produziert“ wird. So erzeugt ein älteres Ehepaar auf 130 qm Wohnfläche eine deutlich andere „Feuchtelast“ als eine junge Familie mit zwei Kindern auf 80 qm Wohnfläche.

Schimmelpilzbefall durch Kondensation ist ein typisches Problem von Altbauten mit unzureichendem Wärmedämmstandard. Für Sanierungsempfehlungen ist es daher von entscheidender Bedeutung, Kenntnisse über den tatsächlichen natürlichen Luftwechsel zu haben. Nur wenn diese vorhanden sind, können sinnvolle Sanierungsstrategien entwickelt werden. Ohne dieses Wissen ist die häufig gegebene Empfehlung von Experten, einfach mehr zu lüften, nicht mehr als ein gut gemeinter Ratschlag.

Die Relevanz des Luftwechsels wird deutlich, wenn man sich einen Überblick über den Gebäudebestand verschafft. Hierzu führte AnBUS e.V. im Rahmen seiner gebäude-diagnostischen Tätigkeit ein Forschungsprojekt zur Bestimmung des natürlichen Luftwechsels im Altbaubestand anhand von Blower-Door-Messungen durch<sup>[6]</sup>. *[Methodik siehe Beitrag Weithaas in diesem Band]*

Ein Ergebnis dieses Projektes sind Erkenntnisse über den natürlichen Luftwechsel im Gebäudebestand anhand von 80 beispielhaften Gebäuden aus dem Altbaubestand, welche im folgenden vorgestellt werden.

### **Statistische Ergebnisse zum Luftwechsel im Gebäudebestand**

Die statistische Auswertung der natürlichen Luftwechsel (Untersuchungszeitraum: Heizperiode 2003, Ein- und Mehrfamilienhäuser meist älter als 30 Jahre) zeigt:

Der Grenzwert für die Luftdichtigkeit nach EnEV wird von 25% des Altbestandes eingehalten

Im Durchschnitt liegen die mittels Blower-Door errechneten $n_{50}$ -Werte bei	7,4 h <sup>-1</sup>
In 85 % der Wohnungen ist der natürliche Luftwechsel geringer als	0,4 h <sup>-1</sup>
90% der gemessenen natürlichen Luftwechselwerte lagen unter	0,5 h <sup>-1</sup>
50% der gemessenen natürlichen Luftwechselwerte lagen unter	0,18 h <sup>-1</sup>
In 20 % der Wohnungen liegt der natürliche Luftwechsel unter	0,1 h <sup>-1</sup>
Der Mittelwert der gemessenen natürlichen Luftwechselwerte liegt bei	0,26 h <sup>-1</sup> .

---

<sup>5</sup> Der Luftwechsel ist definiert als der Quotient aus dem je Stunde ausgetauschten Luftvolumenstrom und dem Raumvolumen.

<sup>6</sup> Weithaas, T.: Bestimmung des natürlichen Luftwechsels im Altbaubestand anhand von Blower-Door-Messungen, Korrelation zwischen dem mittels Blower-Door gemessenen Luftwechsel bei 50 Pa  $n_{50}$  und dem mittels Tracergas-Messungen ermittelten „natürlichen“ Luftwechsel, Diplomarbeit an der TH Freiberg, [www.anbus.de](http://www.anbus.de)

## Graphische Auswertung

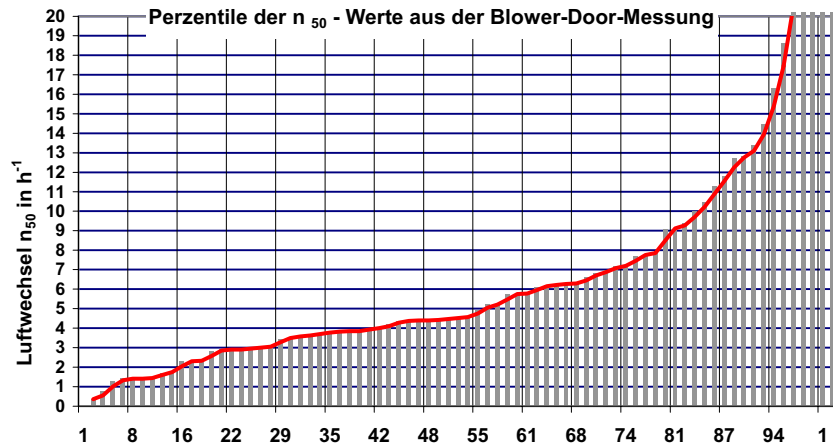


Abbildung 15: Ergebnisse der Blower-Door-Messungen bei einer Druckdifferenz von 50 Pa

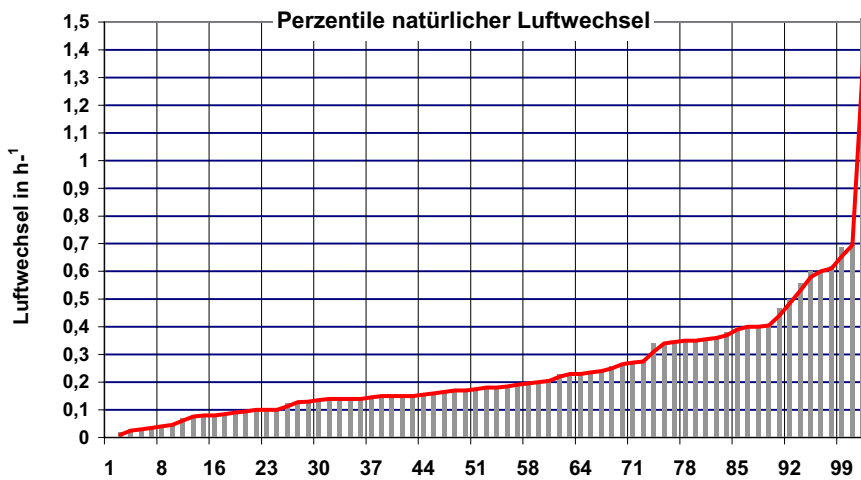


Abbildung 16: Auswertung des natürlichen Luftwechsels im Gebäudebestand

### Der hygienisch notwendige Mindestluftwechsel

Um die Ergebnisse der vorgestellten natürlichen Luftwechselraten diskutieren zu können, sind Informationen zum notwendigen Mindestluftwechsel notwendig. Welcher Luftwechsel aus innenraumhygienischen Gründen notwendig ist, wird in der Literatur sehr unterschiedlich angegeben. Die EnEV schreibt lediglich im § 5 (Dichtheit, Mindestluftwechsel) vor: „Zu errichtende Gebäude sind so auszuführen, dass der zum Zwecke der Gesundheit und Beheizung erforderliche Mindestluftwechsel sichergestellt ist.“

Die DIN 1946-6 (Raumlufttechnik Teil 6: Lüftung von Wohnungen) nennt für den gesamten Wohnbereich je nach Wohnungsgröße und Belegung einen notwendigen freien Luftwechsel (Infiltrationsluftwechsel und Fensterlüftung) von 0,45 bis 0,7 h<sup>-1</sup>.

Im Auftrag des Bundesministeriums für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau wurden von der TU Dresden Untersuchungen zur Bestimmung des notwendigen Mindestluftwechsels<sup>[7]</sup> durchgeführt. Die errechneten und im folgenden dargestellten Mindestluftwechsel orientieren sich an dem Luftwechsel, welcher notwendig ist, um unter ungünstigen Bedingungen Schimmelbildung in Wohnräumen zu vermeiden. Dabei wurde für die Wachstumsbedingungen von Schimmelpilzen folgende Annahme getroffen: 12 Stunden am Tag muss eine Wasseraktivität (a<sub>w</sub>-Wert) der Wandoberfläche von 0,8 erreicht werden. Der notwendige Mindestluftwechsel orientiert sich also an der Unterschreitung dieser Basisdaten für Schimmelpilzwachstum.

Die in dieser Studie berechneten Mindestluftwechselraten gelten für „normale“ Nutzungsverhältnisse. Sie können nicht angesetzt werden, wenn z. B. in den Wohnräumen Wäsche getrocknet wird. Aus innenraumhygienischen Aspekten (Kohlendioxidkonzentration) oder um Schadstoffe im Innenraum zu reduzieren, sind in der Regel höhere Mindestluftwechsel notwendig. Außerdem können die individuellen Verhältnisse stark schwanken. In der Regel ist dieser wiederum von der Anzahl der Nutzer im Verhältnis zum Raumvolumen stark abhängig.

Der notwendige Mindestluftwechsel wird differenziert angegeben: für Einfamilien- und Mehrfamilienhäuser, Neubau und Altbau. Zusätzlich wird nach unterschiedlichen Nutzungen der Räume unterschieden.

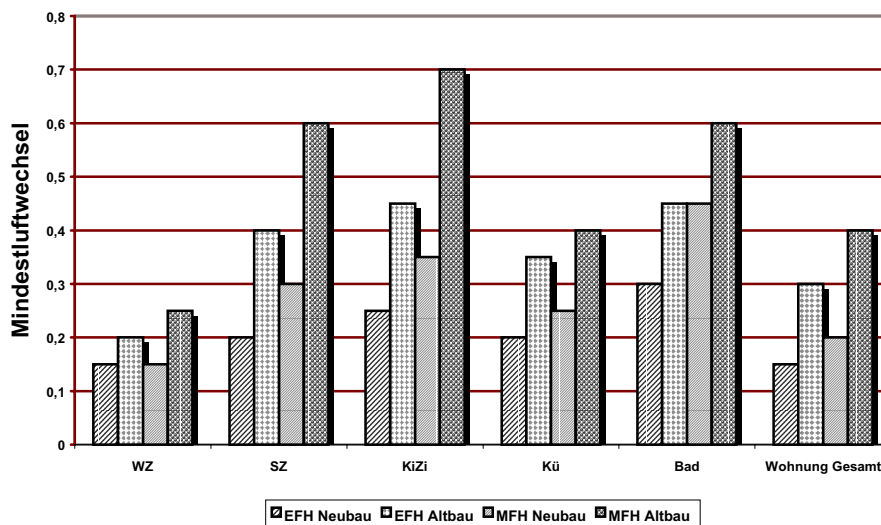


Abbildung 17: Angaben des notwendigen Mindestluftwechsel nach Nutzung unterteilt

<sup>7</sup> Richter, Hartmann, Kremonke, Reichel (TU Dresden) Gewährleistung einer guten Raumluftqualität bei weiterer Senkung der Lüftungsverluste; Ressortforschungsvorhaben RS III 4-6741-97.118

Vergleicht man die Luftwechselraten der untersuchten Wohnungen (AnBUS-Studie) mit dem von der TU Dresden angesetzten Mindestluftwechsel einer Wohnung im Altbaubestand, erreichen 15 % der Wohnungen diese Anforderung auch ohne weitere Fensterlüftung durch die Nutzer.

Bei 85% der Wohnungen besteht jedoch ohne weitere Lüftungsmaßnahmen die Gefahr von Schimmelpilzbildung. Es ist also für über 70 % der Wohnungen im Altbaubestand notwendig, sich Gedanken über Lüftungsstrategien zu machen. Entscheidend für eine richtige Lüftungsstrategie ist, welchen tatsächlichen Einfluss die Fensterlüftung auf den effektiven Luftaustausch hat.

### ***Einfluss der Fensterlüftung auf den Luftwechsel***

Im Rahmen der AnBUS-Studie wurden experimentell in alltäglichen Situationen Luftwechselraten für Fensterlüftungen bestimmt. Beispielhaft sind zwei typische Bedingungen in nachfolgender Tabelle wiedergegeben.

Fensterstellung	Raum	Witterung	Luftwechsel h <sup>-1</sup>
Kippstellung	Schlafzimmer	-3 ° C / windstill	1,2 h <sup>-1</sup>
Stoßlüftung	Schlafzimmer	-5 ° C / windstill	8,8 h <sup>-1</sup>

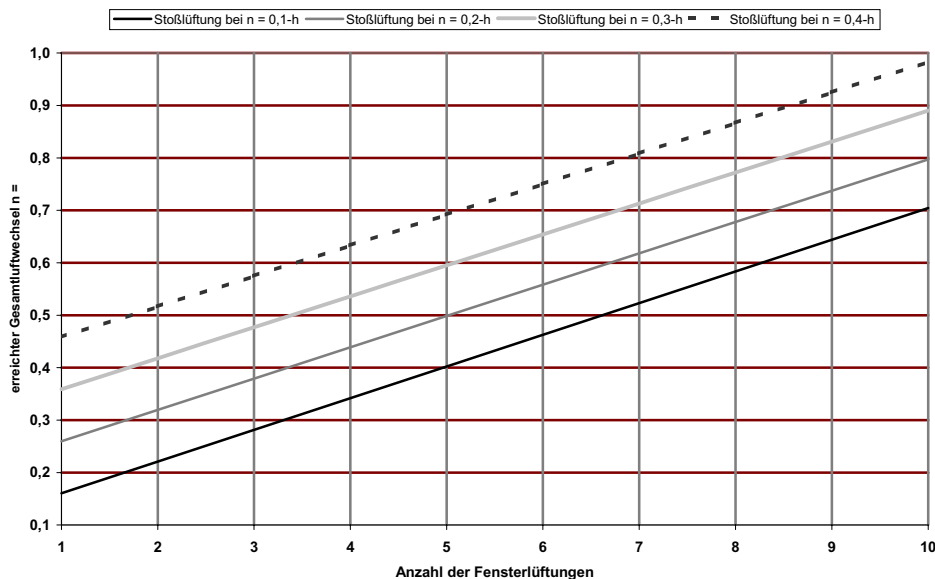
Anhand folgender Gleichung kann der Anteil des Luftwechsels der Fensterlüftung über den Tag vereinfacht ermittelt werden:

$$n_{\text{Gesamt}} = \frac{(n_{\text{nat}} \cdot t_{\text{nat}}) + (n_{\text{Fensterlüftung}} \cdot t_{\text{Fensterlüftung}})}{t_{\text{nat}} + t_{\text{Lüftungsdauer}}}$$

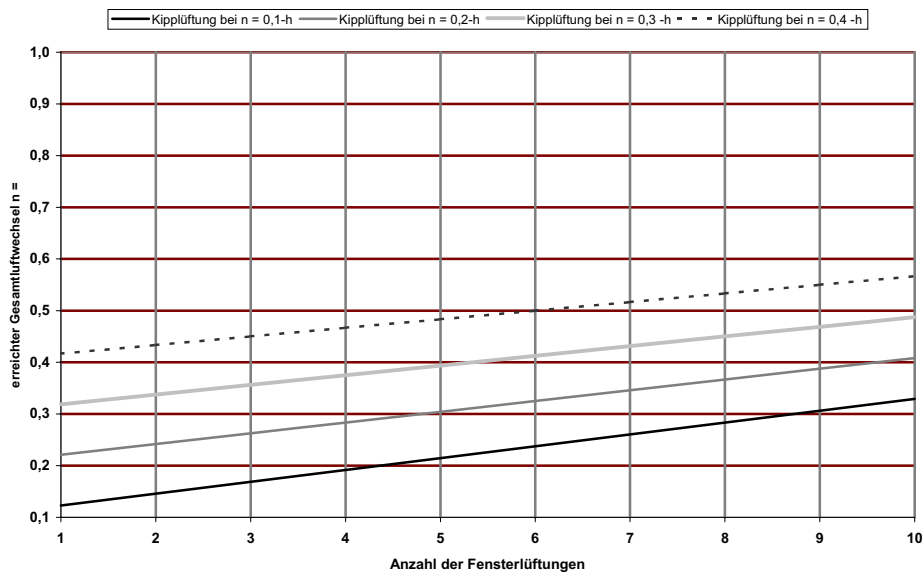
Jetzt ist es möglich, anhand dieser Daten verschiedene Lüftungsszenarien beispielhaft zu betrachten:

Zur Erläuterung folgen einzelne Berechnungen über den Einfluss der Fensterlüftung auf den erreichbaren Gesamtluftwechsel bei unterschiedlichem Infiltrationsluftwechsel.

### Beispiel 1: Lüftung über Stoßlüftung eines Fensters über jeweils 10 Minuten



### Beispiel 2: Lüftung über Kippstellung eines Fensters über jeweils 30 Minuten



Nimmt man als Beispiel den geforderten Mindestluftwechsel aus der DIN 1946-6 von rund  $0,5 \text{ h}^{-1}$  so wird deutlich, dass dieser bei Wohnungen mit einem niedrigen natürlichen Grundluftwechsel mittels Fensterlüftung nur durch ein engagiertes Lüftungsverhalten der Nutzer zu erreichen ist. Wird ein Fenster nur gekippt, selbst bei einer jeweiligen Lüftungsdauer von 30 Minuten, sind die Chancen für einen ausreichenden Luftwechsel in vielen Fällen noch nicht gegeben. Besser würden die Diagramme „aussehen“, wenn für die einzelnen Fensterlüftungen ein höherer Luftwechsel eingesetzt würde. Dies ist bei entsprechendem Winddruck oder höheren Temperaturdifferenzen

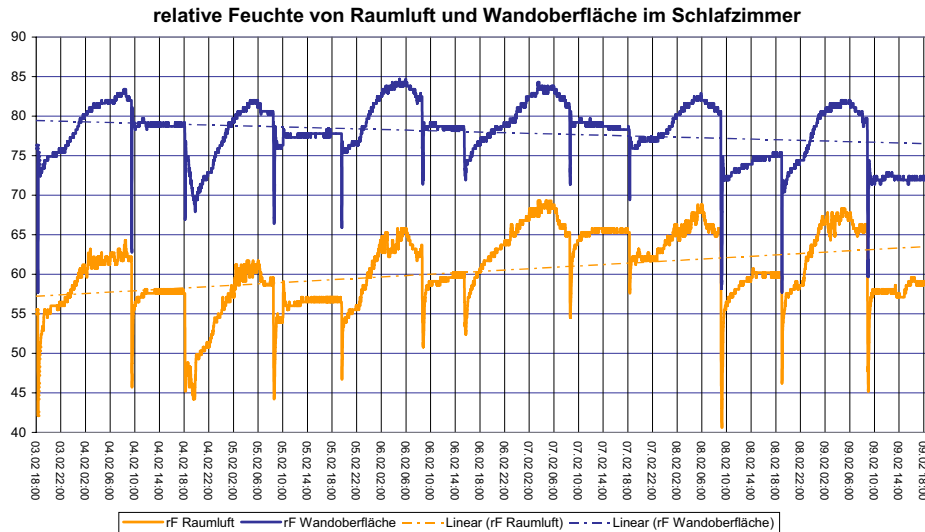
sicher der Fall. Hierbei sollte jedoch bedacht werden, dass sich in diesen Fällen auch die Lüftungsdauer durch die Nutzer automatisch verkürzen würde.

**Bei der Fensterlüftung von Wohnräumen ist außerdem zu beachten:**

Der Einfluss der Nutzergewohnheit auf den Feuchtigkeitshaushalt wird bei der Fensterlüftung besonders deutlich, wenn stoßgelüftet wird. Dies beruht auf dem Pufferungseffekt der in einem Wohnraum vorhandenen großen Oberflächen (Sorptionsverhalten der Oberflächen). Die Oberflächen geben die gespeicherte Feuchtigkeit an die frische trockene Luft ab, der Feuchtegehalt der Raumluft wird dadurch ausgeglichen.

Verdeutlichen soll diesen Effekt die Darstellung der nachfolgenden Raumklimateaufzeichnung eines Schlafzimmers im Altbauzustand:

Die Daten der relativen Feuchtigkeit an der Wandoberfläche und der Raumluft beschreiben den Feuchteverlauf bei einer typischen Fensterlüftung. Nach dem Lüftungsvorgang (deutlich am Einbruch der Feuchtigkeit zu erkennen) steigt die Feuchtigkeit schnell wieder auf eine für das Gebäude typische Ausgleichsfeuchte an. Dieser schnelle Wiederanstieg ist durch die Pufferwirkung der Oberflächen zu erklären. Deren Feuchtigkeitsgehalt steht im Gleichgewicht mit dem durchschnittlichen Feuchtigkeitsgehalt der Raumluft. Bei erhöhter Luftfeuchtigkeit wird die Feuchte von den Oberflächenmaterialien aufgenommen, bei erniedrigter Luftfeuchtigkeit wird sie bis zum erneuten Einstellen des Gleichgewichtes abgegeben. Die gebäudespezifische Höhe der Ausgleichsfeuchte resultiert aus dem Verhältnis der Quellfeuchtigkeit (Eintrag von Feuchtigkeit durch Nutzung und Bausubstanz) zum Raumvolumen und dem durchschnittlichen Luftwechsel der letzten Stunden.



**Abb 1:** Raumklimateaufzeichnung der relativen Luftfeuchte mit Fensterlüftung im Vergleich zur Feuchte der Wandoberfläche

Ein Austausch der feuchten Raumluft gegen kalte Außenluft ist nur dann sinnvoll, wenn diese anschließend auch erwärmt wird. Bei einer hypothetisch angenommenen, einmaligen Lüftung über mehr als eine Stunde müssten die Raumtemperaturen über den gesamten Lüftungszeitraum konstant gehalten werden, ansonsten kann der austrocknende Effekt der

trockeneren Außenluft nicht wirken, und es kommt zu einem gegenteiligen Effekt: die Umgebungsflächen kühlen aus und Kondensat fällt an.

Auch wenn theoretisch mit einer zweimaligen, langen Stoßlüftung der notwendige Luftwechsel zum Abtransport der Feuchte für einen Tageszyklus erreicht werden könnte, ist diese Art der Lüftung ungeeignet, da baubiologisch relevante Schadstoffe sich in den Pausen zwischen den Lüftungen stark anreichern können. So wird z. B. in einem durchschnittlichen Schlafzimmer mit zwei Personen und einem typischen Luftwechsel von  $0,2 \text{ h}^{-1}$  die Pettenkoferzahl von  $1000 \text{ ppm CO}_2$  bereits nach einer Stunde erreicht.

Sind die Lüftungszeiten zu kurz, so ist der Luftaustausch nicht vollständig und die Feuchtigkeitsaufnahme der sich wieder erwärmenden Raumlufte nicht optimal.

Eine Alternative stellen ein oder mehrere Fenster in Dauer-Kippstellung dar. Jedoch muss die Heizleistung ausreichend sein, um ein Abkühlen der Wandoberflächen zu verhindern.

Wird nur ein Raum mittels Fenster gelüftet, muss beachtet werden, dass es zu Überstromeffekten von feuchter Luft in andere Wohnräume kommen kann. Wird z.B. das Wohnzimmer mittels Kippstellung der Fenster gelüftet und das Schlafzimmer befindet sich in der windabgewandten Seite der Gebäudehülle, strömt warme und feuchte Luft in das Schlafzimmer.

Aufgrund der genannten Erkenntnisse zur notwendigen Lüftungsfrequenz und den möglichen Fehlern beim Lüften durch die Nutzer ist fraglich, ob in Etagenwohnungen in Altbauten mit ungenügender Wärmedämmung und neuen Fenstern der erforderliche Mindestluftwechsel über Fensterlüftung erreicht werden kann.

## **Fazit**

Aktive Fensterlüftung leistet für den Luftaustausch und den Feuchtigkeitsabtransport weniger als allgemein angenommen wird. Auf den gesamten Luftaustausch hat die Fensterlüftung im Altbaubestand nach unseren Untersuchungen nur wenig Einfluss. Untersuchungen, die bereits Ende der 80er Jahre in Österreich durchgeführt wurden, bestätigen dies. *Panzhauser* zeigt die Veränderung der Luftwechselzahlen in Abhängigkeit vom Baujahr und dem Status der Modernisierung der Altbauten. Darüber hinaus belegt er, dass der Anteil der Fensterlüftung am tatsächlichen Luftwechsel nur bei rund 10 % liegt, wobei eine dreifache Querlüftung pro Tag zugrundegelegt wird.<sup>[8]</sup>

Fensterlüftungen als Stoßlüftung eignen sich jedoch gut zum Ablüften von kurzzeitigen Feuchtigkeitslasten, wie sie durch z. B. Kochen, Duschen oder Waschen entstehen. Mit Fensterlüftung ist der notwendige Mindestluftwechsel zur Vermeidung von Schimmelpilzbefall nicht in jeder Wohnung zu gewährleisten.

Können bei einem Schimmelbefall keine Leckagen oder von außen eindringende Feuchtigkeit nachgewiesen werden, so schließen Sachverständige häufig auf ein falsches Nutzerverhalten. Wenn hierbei die Erhebung der bauphysikalischen Tatsachen unvollständig ist, so können diese Schlussfolgerungen entsprechend fehlerhaft sein.

---

<sup>8</sup> Panzhauser et. al.: Die Luftwechselzahlen in Österreichischen Wohnungen; Technische Universität Wien im Auftrag des Österreichischen Bundesministeriums für Bauten und Technik (undatiert)



Die Erstellung eines Lüftungskonzeptes zur Vermeidung von Schimmelpilzbefall ohne Kenntnis des vorliegenden natürlichen Luftwechsels halten wir daher für riskant. Wichtige Erkenntnisse über den natürlichen Luftwechsel lassen sich nach den Ergebnissen unseres Forschungsprojektes auch aus einem Blower-Door-Test ziehen.

## **Literatur**

Bischof: Erste Ergebnisse der bundesweiten Erhebung über die Ursachen von Feuchteschäden und Schimmelpilzbildungen in Wohnungen, Schornsteinfegerhandwerk, Heft 7/2002.

Clausnitzer: Zur Notwendigkeit der Überprüfung und Reinigung von Lüftungsanlagen in Wohngebäuden. Studie des Bremer Energie-Institutes, Januar 1997.

Erhorn: „Schäden durch Schimmelpilzschäden im modernisiertem Mietwohnungsbau“, in: Bauphysik 5/88, S. 129-134.

Heinz: (Institut für Erhaltung und Modernisierung von Bauwerken e.V.): Schornsteinfegerhandwerk, 9/98, S. 24-37.

Laussmann, D. u. Braun P.: „Luftwechselbestimmung mittels CO<sub>2</sub>“, in: Umwelt, Gebäude & Gesundheit, Hrsg. Arbeitsgemeinschaft ökologischer Forschungsinstitute (AGÖF), Springe-Eldagsen 2001.

Panzhauser et. al.: Die Luftwechselzahlen in Österreichischen Wohnungen; Technische Universität Wien im Auftrag des Österreichischen Bundesministeriums für Bauten und Technik (undatiert).

Reinhold J. (1985/86): Aufbau und praktischer Einsatz einer Luftwechsel-Messapparatur nach der Tracergasmethode. Diplomarbeit, Fachhochschule Stuttgart.

Richter, Hartmann, Kremonke, Reichel (TU Dresden): Gewährleistung einer guten Raumlufthqualität bei weiterer Senkung der Lüftungsverluste; Ressortforschungsvorhaben RS III 4-6741-97.118 des Bundesministeriums für Raumordnung und Städtebau.

Schmidt, P., Energiedepesche 1995.

Weithaas, T.: Bestimmung des natürlichen Luftwechsels im Altbaubestand anhand von Blower-Door-Messungen, Korrelation zwischen dem mittels Blower-Door gemessenen Luftwechsel bei 50 Pa  $n_{50}$  und dem mittels Tracergas-Messungen ermittelten „natürlichen“ Luftwechsel, Diplomarbeit an der TH Freiberg.

VDI 4300: Bestimmung von Luftwechselzahlen in Innenräumen.