

# Mindestluftwechsel im praktischen Test

## Ermittlung der Bedingungen für die Schimmelpilzbildung in Räumen anhand der Kapillarkondensation

Im Zusammenhang mit den Bestrebungen, luftdichte Fenster einzubauen und Energie einzusparen sowie dem Problem der Schimmelpilzbildung und der damit verbundenen Bauschäden stellte sich die Frage des Mindestluftwechsels. Die Zusammenhänge zwischen Mindestwärmeschutz und Mindestluftwechsel wurden mit Hinweis auf deren enge Beziehung und gegenseitige Bestimmung in [1] untersucht. Eine neue Methode, anhand der Kapillarkondensation die Bedingungen für die Schimmelpilzbildung zu ermitteln, ist in [2] angegeben mit der Bestätigung der Scheinkonflikte zwischen Anforderungen der Energieeinsparung und der Substanzerhaltung. Zur Prüfung dieser aufgrund theoretischer und labortechnischer Untersuchungen ermittelten Methode auf ihre praktische Anwendbarkeit wurde von 1987 bis 1989 eine meßtechnische Erfassung und Auswertung in bewohnten Räumen durchgeführt. Dabei wurden auch z.B. die Folgerungen aus einer momentanen Disharmonie zwischen Feuchteproduktion und Luftwechsel sowie die Rolle der Feuchtigkeitsaufnahme und -abgabe der Raumbooberflächen behandelt. Nachstehend werden einige der Untersuchungs- und Meßergebnisse erläutert.

K. Balázs und Prof. Dr. A. Zöld, TU Budapest

### Theoretische Grundlagen

Gemäß den durch Laborversuche überprüften Untersuchungen wird Schimmelpilzbildung durch Kapillarkondensation in den Oberflächenschichten der inneren Raumbegrenzungssteile ausgelöst [2]. Wie die durchgeführten Messungen zeigten, erfolgt die Kondensation in einer der für die Schimmelpilzbildung gefährlichen Kapillaren, wenn die relative Feuchte der Luft bei einer Lufttemperatur, die gleich der Temperatur der Oberfläche ist, auf  $\varphi_{OF} \geq 75\%$

ansteigt. Je zwei der Größen von Feuchteproduktion, Luftwechsel und Oberflächentemperatur bestimmen den Sollwert der dritten Größe. Die Koordinierung dieser drei Faktoren ist eine wichtige Aufgabe bei der Planung und Bemessung von Wohnbauten.

Bei Erhöhung der Innentemperatur nimmt die Luft mehr Feuchte auf, d.h. der erforderliche Luftwechsel wird geringer. Dies bedeutet eine Selbstregelung: Bei gleicher Heizleistung läßt sich die gestellte For-

derung von  $\varphi_{OF} = 75\%$  entweder bei einer höheren Raumtemperatur und geringerem Luftwechsel oder bei einer niedrigeren Raumtemperatur und größerem Luftwechsel erfüllen.

Unter Istbedingungen kann nicht erwartet werden, daß der Luftwechsel zu jeder Zeit mit dem momentanen Istwert der Feuchteproduktion harmonisiert. Es wird immer Zeitintervalle geben, in denen das Kriterium  $\varphi_{OF} \leq 75\%$  nicht auftritt. Da Prozesse der Kapillarkondensation und der Schimmelpilzbildung Zeit erfordern, ist es wahrscheinlich, daß – wenn die Zeitintervalle mit  $\varphi_{OF} > 75\%$  nicht zu lang sind – zwischen zwei solchen Intervallen eine Möglichkeit zur Trocknung besteht und keine Beschädigung der Bausubstanz erfolgt.

Die relative Feuchte der Innenluft und damit der Luft, deren Temperatur gleich der Temperatur der inneren Raumbegrenzungsflächen ist, verändert sich in Abhängigkeit mehrerer Faktoren. Dabei spielt die Benutzungsart der Wohnung die größte Rolle. Eine Bewertung ist daher nur durch Dauermessungen unter Istumständen in bewohnten Räumen möglich.

### Durch Messungen zu beantwortende Fragen

Im Zusammenhang mit einer durch das Ungarische Ministerium für Bauwesen veranlaßten meßtechnischen Erfassung und Auswertung wurden unter anderem die fol-

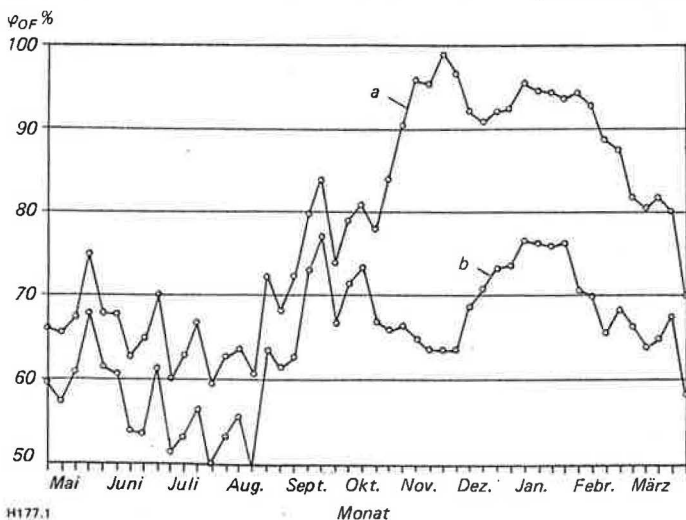


Bild 1:  $\varphi_{OF}$ -Werte a) einer von Schimmelpilz befallenen und b) einer nicht befallenen Wohnung

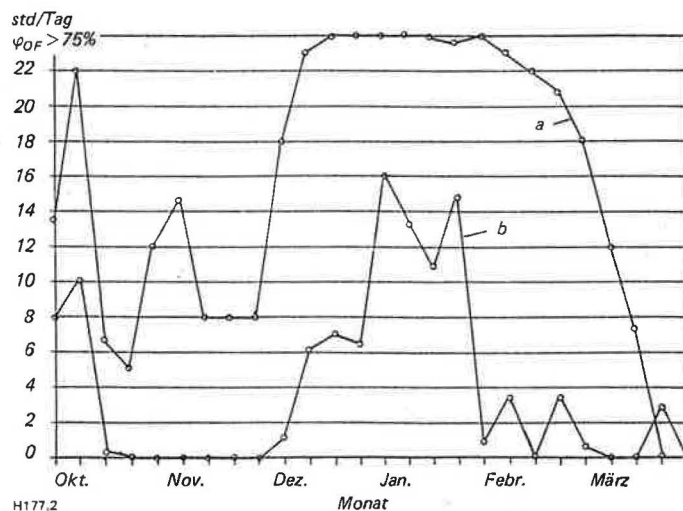


Bild 2: Wochendurchschnitt der täglichen Stunden mit  $\varphi_{OF} > 75\%$  einer von Schimmelpilz befallenen a) und einer nicht befallenen b) Wohnung

genden, mit Schimmelpilzbildung zusammenhängenden Probleme untersucht:

1. Wird das aufgrund der Kapillarkondensation abgefaßte Kriterium unterstützt?
2. Sind die in [1] angegebenen Werte der Feuchteproduktion reell?
3. Welche Häufigkeit und Intervalllänge ergibt sich bei einer Disharmonie zwischen Feuchteproduktion und Luftwechsel?
4. Für welche Zeitdauer ist das Überschreiten des Grenzwertes der relativen Feuchte ohne Beschädigung der Bausubstanz zulässig?

Die Untersuchungen wurden in zwei zehnstöckigen Paneelbauten in Kecskemét (Ungarn) durchgeführt. Jedes Gebäude war mit zwei Treppenhäusern ausgestattet und enthielt insgesamt 60 Wohnungen. Bau- und wärmetechnische Daten:

Durchschnittliche Wohnungsgrundfläche  
58 m<sup>2</sup>  
Wärmedämmung der Außenwand  
 $k = 1 \text{ W/m}^2 \text{ K}$   
Inbetriebnahme der Häuser  
vor etwa zehn Jahren  
Heizung  
durch Fernwärmeversorgung  
Lüftung  
Mechanische Abluftanlagen für die Naßräume Küche, Bad und WC (periodisch einschaltbar)  
Abluftleistung je Wohnung  
120 m<sup>3</sup>/h  
Zuluftzuführung  
durch Infiltration  
Wohnungsbelegung  
im Durchschnitt vier Personen  
Ausstattung der Küchen  
mit Gas-Kochherden

### Angewandte Untersuchungsverfahren

In je zwei Wohnungen eines jeden Hauses wurden die Mikroklimaparameter im Inneren, die Außenklimaparameter, die Treppenhaustemperaturen sowie die Schaltzeiten der mechanischen Lüftung mit Luft- und Oberflächentemperatur- und Relativfeuchtheitsfühlern gemessen und rechenstechnisch erfaßt. Die Messungen fanden minutenweise statt; das Datenerfassungssystem sammelte die Stundendurchschnitte in Tagesdateifilen.

Der Luftwechsel in einem gegebenen Zeitpunkt wurde mit dem Tracergasmeßverfahren untersucht. Aus den vielen Luftwechsellmessungen je Wohnung wurde eine Regressionsfunktion abgeleitet, die den wahrscheinlichen Luftwechsel in Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit, der Außentemperatur und des Betriebs der mechanischen Lüftung ergab. Auf diese Weise wurde der Luftwechsel geschätzt, wo keine Messung erfolgte. Außer diesen Untersuchungen wurde eine Vielzahl von lokalen Beobachtungen, Kurzzeituntersuchungen und kontinuierlichen thermohygrographischen Ergänzungsmessungen sowie Fragebogenaktionen in den übrigen Wohnungen der Häuser durchgeführt.

### Erfahrungen aus den gewonnenen Meß- und Untersuchungswerten

Die Feuchteproduktion in den Wohnungen wurde aus der Feuchtebilanz des Luftwechsels bestimmt. Die Erfahrungen stimmen mit den Angaben in [1] gut überein.

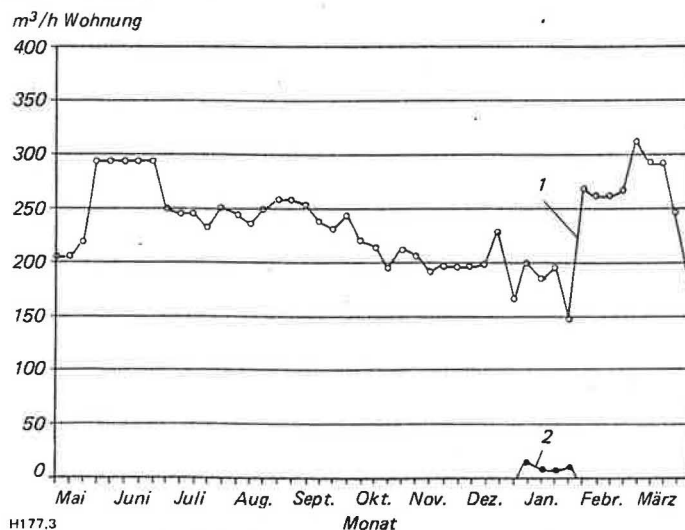
Die Innenflächen der Außenwände lassen sich mit einer normierten Temperatur  $\Theta = 0,65$  beschreiben. In den untersuchten

Wohnungen ist die typische Vorkommensstelle der Schimmelpilzbildung ein ungefähr 10 cm breiter Abschnitt der Außenwand von der äußeren Wandecke an gesehen. Die an diesen Stellen einer mit Schimmelpilz behafteten und in einer nicht behafteten Wohnung gemessenen  $\varphi_{OF}$ -Werte sind in Bild 1 dargestellt. Die angegebenen Daten sind Wochendurchschnittswerte. Wochendurchschnitte der täglichen Stunden mit  $\varphi_{OF} > 75\%$  während der Heizperiode sind in Bild 2 enthalten.

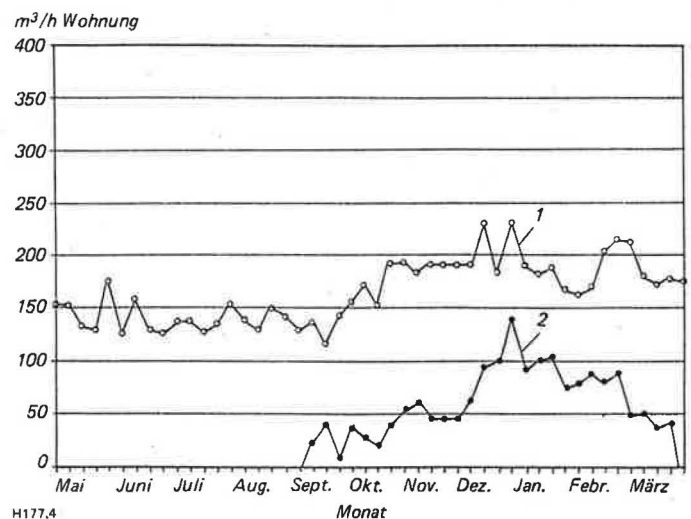
Der Istwert des Außenluftwechsels und seine Unterschreitung im Verhältnis zum für den zur Erhaltung der Bausubstanz erforderlichen Luftwechsel ist in Bild 3 für eine von Schimmelpilz behaftete und in Bild 4 für eine nicht behaftete Wohnung angegeben. Die meßtechnische Erfassung der Grenzwerte zur Verhinderung der Kapillarkondensation ( $\varphi_{OF} = 75\%$ ) allein durch Lüftung geschah durch drei besondere Zähler.

Ohne Effekt wurde die Tagesstundenzahl bei einem Außenluftzustand von  $t_a > 20^\circ$  und einer relativen Feuchte von  $\varphi_a \geq 75\%$  genannt. Unter diesen Voraussetzungen ist der Außenluftzustand selbst schimmelbildend. Mit ohne Hoffnung wurden die Tagesstunden, in denen der obige Zustand herrscht – mit an einer oder mehreren Oberflächen  $\varphi_{OF} \geq 75\%$  –, also bei Gegebenheiten, wo das Lüftungsvolumen keine Hilfe leistet und bei der Unterbrechung des Heizbetriebes keine Wärmeabgabe in den Wohnungen erfolgt, gekennzeichnet. Mit Naßluft wurden die Tagesstunden definiert, in denen die Außenluft eine Feuchtelast in die Wohnungen einbringt ( $x_a > x_i$ ).

Die wichtigste Lehre aus der Untersuchung dieser kritischen Phasen war, daß die vorerwähnten Fälle nicht während der Hauptbetriebszeit der Heizung, sondern



H177.3  
Bild 3: Istwert des Außenluftwechsels (1) und seine Unterschreitung (2) im Verhältnis zum für den zur Erhaltung der Bausubstanz erforderlichen Luftwechsel in einer nicht befahrenen Wohnung



H177.4  
Bild 4: Istwert des Außenluftwechsels (1) und seine Unterschreitung (2) im Verhältnis zum für den zur Erhaltung der Bausubstanz erforderlichen Luftwechsel in einer von Schimmelpilz befallenen Wohnung

nur zwischen Ende Februar und Anfang November vorkommen (durchschnittlich zwei bis vier Stunden am Tag und nur in einigen Fällen 10 bis 12 Stunden). Damit ist die Schimmelbildung nicht nur ein Problem der Heizsaison und besonders nicht der kältesten Monate.

## Wirkung von Schwankungen in der Feuchteproduktion

Unter Istbedingungen wird das Gleichgewicht zwischen der Raumluft und den Oberflächen aufgrund der Erhöhung der relativen Feuchte gestört, da der Feuchtegehalt der Bausubstanz geringer ist als der der zur erhöhten relativen Feuchtigkeit gehört. Infolge des dabei entstehenden Potentialunterschiedes beginnt die Feuchteaufnahme der Raumbegrenzungsflächen (bzw. der Flächenschichten). Diese Feuchteaufnahme bindet einen Teil der Feuchteproduktion und verhindert dadurch die Zunahme der relativen Feuchte, z.B. bei einer Erhöhung der Feuchteproduktion. Dieser Vorgang erfordert jedoch Zeit. Verändert sich die Feuchteproduktion in der Zeit gemäß einer Sprungfunktion, so wird die Funktion der relativen Feuchte voraussichtlich von exponentiellem Charakter sein ( $1 - e^{-x}$ ) und da der Potentialunterschied anfänglich höher ist, wird er mit der Zeit aufgrund der Wasseraufnahme geringer werden.

Dieser Wasseraufnahmeprozess kann sowohl gefährlich als auch von Vorteil sein. Gefährlich ist er, wenn er in der Kapillarkondensations-Sektion der Sorptionsisothermen liegt und sich die für die „Hypha“ (Wurzel des Schimmelpilzes) nutzbaren (Hypha-Durchmesser < Kapillar-Durchmesser) Kapillardiameter mit Wasser füllen. Von Vorteil ist er, wenn er in der polymolekularen Sektion der Sorptionsisothermen erfolgt, wo die Kapillaren, deren Diameter für die „Hypha“ nutzbar sind, noch nicht und nur die der kleineren Diameter sich mit Wasser füllen.

In bewohnten Räumen wird man daher sowohl mit einer gefährlichen wie auch mit einer vorteilhaften Erscheinung zu rechnen haben, da die Raumluft mit Oberflächen von Bauteilen mit verschiedenen hohen Temperaturen in Berührung kommt. Die Oberflächentemperaturen der inneren Bausubstanz und der Möbel unterscheiden sich wenig von der Raumlufttemperatur, und die relative Feuchte der sie berührenden Luft ist kaum höher als die Feuchte für die gegebene Raumlufttemperatur. Dabei besteht die Wahrscheinlichkeit, daß die Feuchteaufnahme im ungefährlichen Bereich liegen wird. Die Feuchte, die diese Innenflächen aufnehmen – und das ist die Mehrzahl der Flächen in einem normalen Wohnraum – entlastet die Raumluft und mittelbar auch die Oberflächen der Außen-

wände um einen beträchtlichen Feuchteanteil, der mehrere hundert Gramm ausmachen kann. Gefährliche Erscheinungen können in der Nähe von Wärmebrücken auftreten, wo die die Oberfläche berührende Luft eine höhere relative Feuchte hat. Die Gefahr ist geringer, wenn das von den wärmeren Innenflächen gebundene Wasser die Erhöhung der relativen Feuchtigkeit verhindert.

Hieraus ist erkennbar, daß die Feuchteaufnahme im Raum im allgemeinen von den inneren Raumbegrenzungsflächen und den Einrichtungsgegenständen und ihrer Feuchtigkeitsaufnahme-fähigkeit bestimmt wird.

Dies stimmt auch mit der traditionellen Bewertung der „atmenden“ Konstruktionen überein, daß eine hohe Feuchteaufnahme-fähigkeit die Oberflächenkondensation bei besonders hoher Feuchteproduktion verhindert.

Die Entwicklung der Kapillarkondensationsbedingungen in einigen Bereichen der Oberfläche bedeutet freilich noch keine unmittelbare Schädigung. Der Schädigungsvorgang selbst erfordert Zeit. Inzwischen kann die Feuchteproduktion jedoch zurückgehen und aufgrund der entgegengesetzten Potentialdifferenz werden daraufhin die Raumbegrenzungsbauteile Feuchte an die Raumluft abgeben, wodurch der Feuchtegehalt der Bausubstanz verringert wird. Diese Erscheinung zeigt eine gewisse Analogie zum Prinzip der Wärmeabsorption. Für die Entwicklung eines entsprechenden Raumkennwertes oder einer Klassifizierung von Räumen kann diese Hypothese eine wertvolle Hilfe leisten, wie auch aus den bisherigen Ergebnissen der von G. Hauser durchgeführten Versuche hervorgeht.

## Schlußfolgerungen

Durch die in diesem Beitrag beschriebenen Messungen wurde die Richtigkeit der als Bemessungsgrundlage benutzten Daten der Feuchteproduktion [1] bewiesen. In bezug auf die Schimmelpilzbildung sind die Monate vor und nach der Heizsaison am gefährlichsten.

In Räumen, wo aufgrund der Disharmonie zwischen Feuchteproduktion und Lüftung die Tagesstundenzahl für  $\varphi_{OF} > 75\%$  von durchschnittlich 8 bis 12 unterschritten wurde, oder wo nicht mehr als drei Tage nacheinander mehr als 12 Stunden mit  $\varphi_{OF} > 75\%$  vorkamen, traten keine Schäden auf.

In allen Räumen mit Schimmelpilzbildung ergab sich an mehr als fünf Tagen nacheinander mit mehr als 12 Stunden ein Wert von  $\varphi_{OF} > 75\%$ .

Diese Feststellungen unterstützen das sich aufgrund der Kapillarkondensation ergebende Kriterium. Sie geben auch Aus-

kunft über die sich aus der Instationarität der Vorgänge ergebende Reserve.

Bei den in der Zeit veränderlichen Vorgängen setzt die hohe Feuchteaufnahme-fähigkeit der inneren Raumbegrenzungsflächen und der Einrichtungsgegenstände das Risiko der Schimmelpilzbildung herab.

[H 177]

## Literaturangaben

- [1] Gertis, K., Erhorn, H.: Wohnfeuchte und Wärmebrücken. HLH 36 (1985) Nr. 3, S. 130/35.
- [2] Zöld, A.: Energieeinsparung und/oder Feuchtigkeitsschutz. HLH 39 (1988) Nr. 12, S. 545/46.