



# Innenraum Luftqualität

V. Meyringer\*

## Hintergrund

Während es relativ problemlos möglich ist, die Transmissionswärmeverluste eines Gebäudes durch Dämmmaßnahmen auf sehr kleine Restwerte zu vermindern (die Grenze wird hier lediglich durch betriebswirtschaftliche Überlegungen und durch energiepolitische Notwendigkeiten bestimmt), ist es nicht ohne weiteres zulässig, bei den Lüftungswärmeverlusten den analogen Weg zu gehen und durch Abdichten der Gebäudehülle den Luftaustausch soweit wie möglich zu unterbinden. Infolge der in jedem Gebäude stattfindenden normalen Stoffwechsel- und Arbeitsprozesse wird stets zumindest ein Grundbedarf an Lüftung vorhanden sein, damit die bei diesen Prozessen entstehenden Schad- und Geruchstoffe abgeführt werden können. Auf Lüftung könnte allenfalls dann verzichtet werden, wenn es gelänge, mit vertretbarem Aufwand die Raumluft technisch zu regenerieren. Weder erscheint dies aber derzeit technisch-wirtschaftlich machbar, noch kann erwartet werden, daß sich die Mehrzahl der Bewohner mit einem solchen System einverstanden erklären würde.

Von besonderer Wichtigkeit ist die Lüftung insoweit, als sie dazu dienen muß, Risikogrößen auszuschalten:

1. Schadstoffabfuhr aus hygienischen Gründen
2. Feuchteabfuhr aus bauphysikalischen Erfordernissen
3. Nachlieferung der zum sicheren Betrieb raumluftabhängiger Feuerstätten erforderlichen Verbrennungsluft.

Weitere Angaben, wie die Entfernung reiner (unschädlicher) Geruchstoffe, sind demgegenüber als nachrangig einzustufen.

## Lüftungserfordernisse zur Vermeidung von Feuchteschäden in Wohnungen

fen, und es kann hier viel eher dem Bewohner überlassen bleiben, nach eigenem Ermessen zu handeln.

Allerdings sollte in allen Fällen der Beitrag des Luftaustausches das notwendige Maß nicht überschreiten, dies vor allem im Interesse der Energieersparnis, aber auch aus Komfortgründen. Der vorliegende Beitrag beschäftigt sich mit der Frage, welcher Luftaustausch als ausreichend anzusehen ist, um Risikoaspekt 2 zu genügen, ohne dabei übermäßigen Energieverlust zu verursachen. Die Ergebnisse entstanden im Zusammenhang mit der Bearbeitung des vom BMFT finanzierten Forschungsprogrammes „Lüftung im Wohnungsbau“, das von der Dornier-System GmbH. geleitet und ausgewertet wurde.

### Lüftungswirksamkeit

Die Lüftung eines Gebäudes ist ein außerordentlich komplexer Vorgang. Beispielsweise bewirkt ein geöffnetes Fenster (von den meteorologischen Störgrößen Wind und Außentemperatur einmal ganz abgesehen) in der Gesamtheit einer Wohnung keine quantitativ annähernd genau erfassbaren Lüftungsverhältnisse: weder bewirkt es eine vollständige Durchmischung von Raumluft, noch kann es alle Verunreinigungen am Entstehungsort abführen oder gar eine Verdrängungslüftung bewirken.

Es handelt sich hier um das Problem der Lüftungswirksamkeit (ventilation effectivity): Lüftung ist in dem Maße als wirksam zu bezeichnen, in dem sie bei gegebener Gesamt-Luftaustauschrate die aus rauminternen Quellen stammenden Schadstoffe aus der Aufenthaltszone entfernt oder von ihr fernhält. Eine übliche

Definition der Lüftungswirksamkeit ( $\epsilon_v$ ) lautet (1):

$$\epsilon_v = \frac{C_f - C_a}{C_{R_i} - C_a} \quad (4.2-1)$$

$C_f$  = Schadstoffkonzentration der Fortluft

$C_{R_i}$  = Schadstoffkonzentration an einer Stelle  $i$  im Raum

$C_a$  = Schadstoffkonzentration der Zu-  
luft  
(= der Außenluft)

Für  $C_f = C_{R_i}$  an allen Stellen  $i$  im Raum (vollständige Mischung) wird  $\epsilon_v = 1$ , ein theoretischer Fall, der in Reinform in der Praxis kaum auftritt. In der Praxis kann  $\epsilon_v$  sowohl höher liegen (z. B. bei Luftabfuhr nahe den Verunreinigungsquellen, durch Frischluftzufuhr in den Aufenthaltsbereichen) als auch niedriger (Kurzschlüsse in der Luftführung, mangelhaft durchströmte Raumzonen), wenn nämlich  $C_f$  kleiner als  $C_{R_i}$  ist.

Auch bei Fensterlüftung hat es der Bewohner daher weitgehend in der Hand, durch Lüftung zum Zeitpunkt und am Ort der Feuchteproduktion die Lüftungswirksamkeit positiv zu beeinflussen. Erfahrungsgemäß nutzt er diese Möglichkeit allerdings aus Unkenntnis oder Bequemlichkeit oft nicht.

Deshalb beziehen sich die im folgenden Kapitel genannten Werte für Luftaustauschraten (sofern nicht ausdrücklich anders vermerkt) auf vollständige Durchmischung als Referenzfall ( $\epsilon_v = 1$ ), wie auch bei anderen Untersuchungen üblich. In der Praxis wird in vielen Fällen durch Vorrichtungen (z. B. Dunstabzugshauben) oder durch Eingriffe des Bewohners (z. B. Fensteröffnen beim Kochen) die Schadstoffabfuhr verbessert

\* Manuskript eingereicht im November 1985.

( $\epsilon_v > 1$ ), in anderen Fällen (z. B. bei „toten“ Raumbereichen) allerdings auch verschlechtert werden ( $\epsilon_v < 1$ ). Insgesamt aber dürfte die auf vollständige Durchmischung bezogene Lüfterneuerung einen brauchbaren Richtwert abgeben.

## Wasserdampfproduktion in Wohnungen

Im Gegensatz zur Situation bei den gesundheitlich bedenklichen Schadstoffen sind bei der Luftfeuchtigkeit die möglichen Quellen bei aller (im wesentlichen von den Bewohnergewohnheiten abhängigen) Variationsbreite des Betrages bekannt, die zu erwartenden Belastungen daher abschätzbar. Da diese Belastungen in erster Linie Personenzahl-abhängig sind, empfiehlt sich für den bauphysikalischen Risikoaspekt die Angabe eines Luftwechsel-Volumenstromes ( $m^3/h$ ) pro Bewohner und nicht die übliche raumvolumenbezogene Angabe ( $l/h$ ).

Zur Abschätzung der Feuchtebelastung wird folgender Modellfall herangezogen:

- Geschoßwohnung
- 100  $m^2$  Wohnfläche
- bewohnt von 3 Personen
- Anwesenheitsfaktor 0,7.

In Anlehnung an [2, 3, 4, 5] wird die in Tabelle 1 angeführte Feuchteabgabe angenommen. Damit ergeben sich die in Tabelle 2 dargestellten Feuchtebelastungen, insgesamt also knapp 12  $kg/d$  oder im Mittel 500  $g/h$ .

**Tabelle 1:** Feuchtequellen in Wohnungen

Person, ruhend	40 g/h
Person, wohnungsübliche Tätigkeit	90 g/h
Topfpflanze (mittelgroß)	10 g/h
Koch- und Feuchtreinigungsprozeß	1000 g/h
Waschmaschine	300 g/Lauf
Duschbad	2600 g/h
Freie Wasseroberflächen	200 g/hm <sup>2</sup>

**Tabelle 2:** Feuchteanfall in der 3-Personen-Modellwohnung

24 Personenstunden, ruhend	960 g/d
27 Personenstunden, tätig	2 430 g/d
15 Topfpflanzen	3 600 g/d
3 Stunden Kochen und Feuchtreinigen	3 000 g/d
0,5 Waschmaschinenläufe	150 g/d
15 min Duschbad	650 g/d
1000 $cm^2$ freie Wasseroberflächen	480 g/d
Sonstige Einträge (z. B.) regennasse Kleidung	200 g/d
<b>Summe</b>	<b>11 470 g/d</b>

## Kritische Gebäudeoberflächen

Die bauphysikalisch relevante Seite des Lüftungsproblems liegt in der Bildung von Tauwasser an der Oberfläche von Bauteilen. Gertis und Erhorn haben in [6] das thermische Verhalten besonders tauwassergefährdeter Raumgeometrien (zwei- und dreidimensionale Raumecken) untersucht. Es wurde ermittelt, daß bei der ungünstigsten Geometrie, nämlich einer dreidimensionalen Ecke unter einem Flachdach, gebaut nach der (inzwischen überholten) Wärmeschutzverordnung von 1981 ( $k_{Wand} = 1,4 W/m^2K$ ,  $k_{Dach} = 0,8 W/m^2K$ ), die Oberflächentemperatur in der Ecke um ca. ein Drittel der Differenz zwischen Raumtemperatur und Außentemperatur absinkt (bei  $+2^\circ C$  Außentemperatur und  $20^\circ C$  Raumtemperatur also z. B. auf  $14^\circ C$ ). Nach der gleichen Quelle ergeben sich bei Altbauten mit  $k_{Wand} = 1,5 W/m^2K$  bereits in eindimensionalen Raumecken ähnliche Verhältnisse (Flachdächer kommen dort selten vor). In der Praxis können sich die in (6) beschriebenen Verhältnisse besonders durch zwei relativ häufig anzutreffende Einflüsse noch verschlechtern:

- Behinderung des Wärmeüberganges auf die Außenflächen, z. B. durch Zubauen oder Zustellen mit (Einbau-) Möbeln
- intermittierende Beheizung, wodurch die Außenflächentemperatur nicht den auf beheizten Zustand bezogenen stationären Wert erreicht.

Auch hier hätte es der Bewohner allerdings meist in der Hand, durch entsprechendes Verhalten die Situation zu entschärfen, wenn ihm nur die Zusammenhänge klar wären.

## Mindestluftwechsel zur Feuchteabfuhr

Die bauphysikalische Mindestforderung lautet: Der Raumlüftungswechsel ist mindestens so groß zu wählen, daß er die Raumlüftungsfeuchte auf einen Wert reduziert, der auch bei der niedrigsten zu erwartenden Oberflächentemperatur noch zu keinem Tauwasserausfall führt. Für einige repräsentative Fälle wurde der Mindestluftwechsel unter dieser Bedingung ermittelt. In Tabelle 3 ist für die 3-Personen-Modellwohnung für vier typische jahreszeitliche Verhältnisse (kalter Wintertag, Durchschnitts-Wintertag, Tag in der Übergangszeit, Tag an der Heizgrenze) und unter der Bedingung stets gleicher, hoher Außenluftfeuchte (80 %) dargestellt, wie groß die Raumlüftungsfeuchte maximal sein darf und welche Luftaustauschrate zum Abtransport der in der Wohnung erzeugten Feuchte mindestens zu fordern ist. Es wurden die kritischen Gebäudegeometrien nach (6) zugrunde gelegt.

Wie ersichtlich, ist bei Temperaturen unterhalb der Heizgrenze zur Feuchteabfuhr aus der Modellwohnung eine Luftaustauschrate

$$\dot{V}_{\min F} = 85 m^3/h$$

oder ca. 30  $m^3/h$  pro Person ausreichend. Bei der Modellwohnung (100  $m^2$ ) entspricht das einem Luftwechsel von 0,34/h, bei einer gleich belegten 70- $m^2$ -Wohnung wäre ein Luftwechsel von 0,5/h ausreichend. Der im Tagesverlauf ungleichmäßige Feuchteanfall stellt wegen der erheblichen Speichereigenschaft der Gebäudemassen und Einrichtungsgegenstände (Puffereffekt) in größeren Raumvolumina oder bei offenen Innentüren normalerweise kein Problem dar, so daß davon

**Tabelle 3:** Mindestluftwechsel zur Feuchteabfuhr aus der Modellwohnung

	Symbol	kalter Wintertag	Durchschnitts-wintertag	Übergangszeit	Tag an der Heizgrenze
Außentemperatur	$T_a$	$-4^\circ C$	$5^\circ C$	$11^\circ C$	$14^\circ C$
relative Außenluftfeuchte	$\varphi_a$	80 %	80 %	80 %	80 %
Raumtemperatur	$T_i$	$20^\circ C$	$20^\circ C$	$20^\circ C$	$20^\circ C$
resultierende Oberflächentemperatur an besonders gefährdeten Gebäudestellen, nach (53)	$T_o$	$12^\circ C$	$15^\circ C$	$17^\circ C$	$18^\circ C$
zulässige Raumlüftungsfeuchte, so daß bei $T_o$ noch keine Kondensation erfolgt durch die Außenluft nach Aufheizen auf $T_i$ und bei Anreichern auf $\varphi_{zul}$ transportierbare Feuchte	$\varphi_{zul}$	60 %	73 %	82 %	88 %
täglicher Feuchteanfall in der 3-Personen-Modellwohnung (nach Tabelle 4.3-2)	$\Delta_x$	6,5 g/kg	6,4 g/kg	5,6 g/kg	4,9 g/kg
	$m_{H_2O}$	12 000 g/d	12 000 g/d	12 000 g/d	12 000 g/d
Erforderliche Luftaustauschrate, zum Abtransport der in der Wohnung anfallenden Feuchte (vollständige Durchmischung der Raumluft)	$\dot{V}_{\min F}$	64 $m^3/h$	65 $m^3/h$	75 $m^3/h$	85 $m^3/h$

auszugehen ist, daß auch bei reiner Grundlüftung in der angegebenen Höhe die Feuchte abgeführt werden kann. Generell steigt der erforderliche Luftwechsel mit der Außentemperatur an. Wichtig ist daher, daß außerhalb der Heizzeit die Lüftung verstärkt wird, was insofern zwar unproblematisch ist, als dann keine Lüftungswärmeverluste mehr entstehen und auch Zugerscheinungen durch geöffnete Fenster wegen der höheren Außentemperaturen eine geringere Rolle spielen. Auf der anderen Seite zeigt jedoch die Erfahrung, daß gerade in der Übergangszeit am ehesten Kondensationsprobleme auftreten, vermutlich weil dann kaum mehr thermische Kräfte vorhanden sind, die die Lüftung antreiben, und weil die Bewohner versuchen, durch Geschlossenhalten der Fenster aus Energiespargründen möglichst lange ohne Beheizung auszukommen.

### Schlußbetrachtungen

Man darf den aufgezeigten Modellfall wohl als repräsentativ ansehen für einen großen Teil des Wohnungsbestandes. Bei in den letzten Jahren errichteten, wesentlich stärker gedämmten Gebäuden ergeben sich deutlich geringere Werte für  $\dot{V}_{\min F}$  für tiefe Außentemperaturen, in der Übergangszeit sind die Unterschiede gering. Die Annahme, daß die ermittelten Werte für die Feuchteabfuhr unter normalen

Bedingungen ausreichen, wird erhärtet durch Beobachtungen darüber, daß in vielen Wohnungen Luftwechselraten unter 0,5/h vorherrschen dürften. Läge die zu fordernde Luftaustauschrate wesentlich über den ermittelten Werten, dann müßten in den meisten dieser Wohnungen Tauwasserprobleme beobachtet werden. Tatsächlich treten solche zwar in relativ großer Zahl, aber in der Regel erst dann auf, wenn zusätzliche Belastungen eingebracht werden wie:

- Absenken der Raumtemperatur (Schlafzimmer)
- intermittierende Beheizung
- erheblicher zusätzlicher Feuchteeintrag (Wäschetrocknen)
- Verwendung von Luftbefeuchtern
- Verschlechterung des Wärmeübergangs von der Raumluft auf kritische Außenwandteile (z. B. Zustellen mit Möbeln)
- hydraulische Isolierung belasteter Räume von der Wohnungsgesamtheit (Innentüren geschlossen).

Allerdings erscheint es nicht sinnvoll, die Luftaustauschraten so hoch anzusetzen, daß auch alle Extremsituationen mit berücksichtigt werden. Da sie zumeist durch falsches Benutzerverhalten entstehen, sollten vielmehr durch Aufklärungsmaßnahmen der Bewohner die Ursachen beseitigt werden. Nachgegangen werden müßte in diesem Zusammenhang auch der Beobachtung, daß Feuchteschäden bei der gleichen Gebäudesubstanz we-

sentlich häufiger in von Mietern als in von Eigentümern bewohnten Wohnungen auftreten.

Abschließend sei angemerkt, daß die Betrachtungen in diesem Beitrag – da unter dem Aspekt der Raumhygiene behandelt – sich auf Tauwasserbildung an der Oberfläche von Bauteilen beschränken. Bei ungünstigem Aufbau (keine, ungenügende oder falsch angebrachte dampfsperrende Schichten) kann Kondensation im Innern von Bauteilen in einem Maße auftreten, das das Bauteil in seiner Funktion oder Haltbarkeit beeinträchtigt.

### Literaturangaben

- [1] Sandberg M.: What is ventilation efficiency? Building and Environment Vol. 16, No. 2 (1981)
- [2] Fanger P. O.: Thermal Comfort, New York (1972)
- [3] Recknagel-Sprenger: Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik, München (1983)
- [4] Altenhoff K., Botzenhardt K., Holz B., Maier B., Tesche B., Voss K.-F., Werner H.: Erprobung und Vergleich verschiedener Lüftungssysteme im Solarhaus Freiburg, Forschungsbericht BMFT-FB-T 83-260
- [5] Bley H.: Innenküche. Untersuchung über Feuchte- und Temperaturverhalten von fensterlosen Innenküchen, Dissertation Dortmund (1983)
- [6] Gertis K.: Wohnfeuchte und Wärmebrücken, HLH 36, Nr. 3 (1985)

**KWK Aktuell Kälte Wärme Klima**

Heinz E. Steinacher

**Theorie und Praxis der VVS-Anlagen**

Klimaanlagen mit variablem Volumenstrom



**Verlag C. F. Müller Karlsruhe**

108 Seiten, zahlr. Abb.,  
Berechnungsbeispiele,  
kart. DM 42,-  
ISBN 3-7880-7168-0



**Fachwissen  
Lüftungstechnik**



**Verlag  
C. F. Müller GmbH  
Karlsruhe**

*In diesem Fachbuch, das bis in alle Einzelheiten diesen Bereich der Technik von Klimaanlagen behandelt, werden grundlegende wie auch praxisbezogene Überlegungen und Erkenntnisse berücksichtigt. Es gibt dem Wissenschaftler und Studenten eine eingehende Beschreibung des VVS-Systems, dem planenden Ingenieur wird es unentbehrlich bei der Berechnung und Planung von energiesparenden Klimaanlagen sein.*

**Verlag C. F. Müller GmbH · Amalienstr. 29 · 7500 Karlsruhe 1 · Tel. (0721) 2 09 09 · Telex 7 825 909**

© KI Klima – Kälte – Heizung 2/1986

51