



## Lüftung im Wohngebäude

Wissenswertes über den Luftwechsel  
und moderne Lüftungsmethoden



HESSISCHES MINISTERIUM  
FÜR UMWELT,  
LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN



Institut  
Wohnen und Umwelt



Energiebewußt in Hessen

# Energiesparen bei der Lüftung?!

Die Wohnungslüftung ist im Zusammenhang mit dem Energiesparen ein besonders heikles Thema: Zum einen gehen die Meinungen darüber, wie groß die mengenmäßige Bedeutung der Lüftung für den gesamten Heizenergiebedarf eines Hauses tatsächlich ist, weit auseinander; zum anderen lassen sich die Wärmeverluste durch Wohnungslüftung nicht beliebig verringern, da ein hygienisch und bauphysikalisch notwendiges Minimum an Lüftung nicht unterschritten werden

darf. Auf den folgenden Seiten wird es deshalb um etwas gehen, was manchen wie die Quadratur des Kreises anmuten wird: Nämlich ein Maximum an Raumluftqualität bei einem Minimum an Energieverbrauch zu bewerkstelligen. Eine Garantie für eine dauerhaft gute Raumluftqualität bei geringsten Lüftungswärmeverlusten bietet letztlich nur der Einsatz der kontrollierten Wohnungslüftung. Solche Lüftungsanlagen werden in der Energiesparinformation Nr. 9 beschrieben.

## Lüftungswärmebedarf - wieviel macht das aus?

Es gibt sehr viele Faktoren, die den Heizenergieverbrauch eines Hauses bestimmen - angefangen beim Wärmeschutz der Wände über die Qualität der Heizanlage, die Gebäudeform bis hin zum individuellen Verbraucherverhalten. Der relative Anteil der Lüftung am gesamten Energiebedarf hängt vom Gebäudetyp ab, wie in Abb. 1 dargestellt ist.

### Altbauten:

Unangenehme Zugerscheinungen an undichten Fenstern in Altbauten führen vielfach zu einer subjektiven Überbewertung des Luftwechsellanteils an den Gesamtwärmeverlusten. Bei nicht

sanierten Gebäuden, die bis Anfang der siebziger Jahre gebaut wurden, gehen 65 - 80 % der Wärme per Wärmeleitung (Transmission) durch luftdichte(!) Bauteile wie Wände, Dächer, Glas-scheiben etc. verloren (s. Balken 1 „Altbau“). Nur 20 - 35 % des Heizbedarfs gehen auf Kosten der Lüftung. Das heißt nicht, dass der Lüftungswärmebedarf deswegen niedriger ist, nur der Anteil ist aufgrund der hohen Transmissionsverluste geringer.

### Gebäude nach WSchVO 95:

Wohngebäude, die nach dem Mindeststandard der Wärmeschutzverordnung von 1994 erstellt worden sind, oder nachträglich vergleichbar gedämmte Altbauten (Balken II) haben zwar dichte Fenster, dennoch steigt der Anteil durch die der Lüftung zuzuordnenden Wärmeverluste auf bis zu 45 % an. Das hat zwei Gründe:

Untersuchungen in einer Vielzahl von Wohnungen haben gezeigt, dass die meisten Bewohner mit der neuen Fenstertechnik noch nicht recht umzugehen wissen. Um das Einsparpotential voll nutzen zu können, bedarf es weiterer Aufklärung, die verständlich macht, wie man sparsam lüften kann, ohne Bauschäden oder ein schlechtes Raumklima befürchten zu müssen. Dazu will diese Informationsschrift beitragen.

Der zweite Grund dafür, warum die Bedeutung der Lüftungsverluste bei Neubauten ansteigt, liegt in der besseren Wärmedämmung und der Verringerung der Wärmeverluste durch die Wände. Dies wird besonders deutlich bei „Niedrig-Energie-Häusern“.

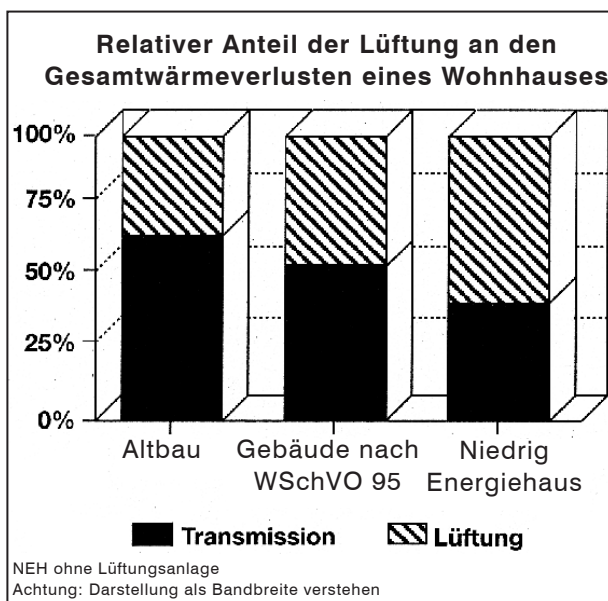


Abb. 1: Relativer Anteil der Lüftung an den Gesamtwärmeverlusten eines Wohnhauses

### Niedrigenergiehäuser:

In Niedrigenergiehäusern werden alle heute wirtschaftlich vertretbaren Wärmedämmmaßnahmen durchgeführt (s.a. Energiespar-Informationen Nr. 3 „Niedrigenergiehäuser“). Diese Häuser sind so gut gedämmt, dass nur noch 35-50% der Gesamtwärmeverluste auf die Wände entfallen. Der Lüftungswärmebedarf macht dann bis zu 2/3 aus.

Da ein Niedrigenergiehaus neben der Energieeinsparung auch einen erhöhten Wohnkomfort sowie sicheren Schutz gegen Feuchteschäden bieten soll, gehört die mechanisch betriebene Wohnungslüftung (evtl. mit Wärmerückgewinnung; siehe Energiespar-Informationen Nr. 9) zum

Konzept dieser Bauweise. Damit können die Lüftungswärmeverluste auf ein Drittel des Gesamtenergiebedarfs zurückgedrängt werden.

### Das bedeutet:

Die Lüftungswärmeverluste in Gebäuden haben schon immer eine große Rolle gespielt. Dass dagegen früher nichts getan wurde, liegt daran, dass es dichte Fenster und Rahmen einfach nicht gab, und daran, dass die sonstigen Energieverluste durch die Wände nach außen so immens hoch waren, dass es fast lächerlich gewesen wäre, sich um die Verringerung der Lüftungsverluste zu kümmern.

## Luftwechselrate und Energieverbrauch

Um die Auswirkungen des individuellen Lüftungsbedarfs auf den gesamten Energieverbrauch abschätzen zu können, interessiert den betroffenen Verbraucher natürlich besonders: Wieviel Liter Heizöl oder m<sup>3</sup> Erdgas braucht mein Haus, um die Energie für den notwendigen Luftaustausch bereitzustellen?

Die Größe, die entscheidend die Höhe des Verbrauchs bestimmt, ist die sogenannte „Luftwechselrate“. Die Luftwechselrate gibt an, wie oft pro Stunde ein kompletter Luftaustausch erzielt wird. Sie hängt davon ab, wieviel Wind bei geschlossenen Fenstern durch die Fugen pfeift, und davon, wie lange und wie oft Fenster geöffnet sind. Eine Luftwechselrate von „1“ bedeutet, dass im jeweiligen Gebäude im Mittel einmal pro Stunde, die Luft komplett erneuert wird. Beträgt die Luftwechselrate „2“ wird die Luft pro Stunde zweimal erneuert.

Eine Luftwechselrate von „1“ in einer 75 m<sup>2</sup> Etagenwohnung bedeutet z.B. einen Heizölverbrauch von knapp 700 Liter pro Winter (siehe Abb. 2). Bei einem Einfamilienhaus (140 m<sup>2</sup>) werden bei gleicher Luftwechselrate im Mittel schon 1.250 Liter Öl pro Jahr benötigt - entsprechend dem größeren Raumvolumen. Wollte man gar Luftwechselraten von 2 und mehr pro Stunde erzielen, wie sie gelegentlich empfohlen werden, könnte der Energieverbrauch nur für die Lüftung auf über 3000 Liter pro Einfamilienhaus steigen. (Der Einfluss eines veränderten Lüftungsverhaltens auf den Energieverbrauch lässt sich aus Abb. 2 entnehmen.)

Aber... wieviel Luftwechsel ist denn nun wirklich nötig? Diese Frage wird erst im nächsten Kapitel eingehend erörtert.

Orientiert man sich an der dort genannten „Pettenkofer-Grenze“, ergibt sich daraus für einen 4-Personen-Haushalt eine notwendige Lüfterneuerung etwa alle zwei Stunden (Etagenwohnung 75 m<sup>2</sup>) bzw. alle drei Stunden im größeren Einfamilienhaus. Wie in Abb. 2 zu erkennen ist, sind dann bei beiden Wohnungstypen nur noch zwischen 250 und knapp 500 Liter Öl nötig, um den Lüftungswärmebedarf zu decken.

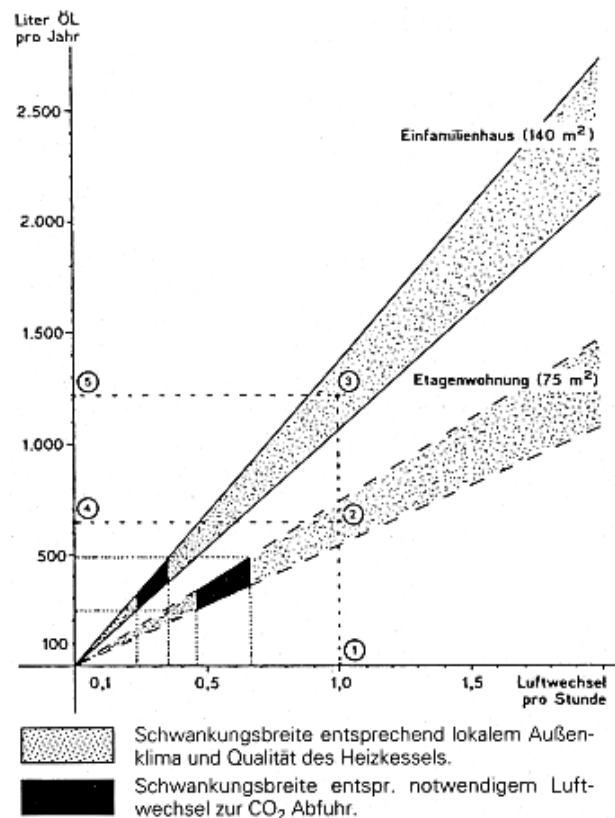


Abb. 2: Heizenergieverbrauch für die Lüftung in Abhängigkeit von der durchschnittlichen Luftwechselrate.

# W

## Wieviel Frischluft braucht der Mensch?

Wie im vorigen Kapitel bereits angedeutet wurde, sind dem Energiesparen beim Lüften natürliche Grenzen gesetzt. Die Frage ist jedoch: Welches sind die sinnvollen und hygienischen Kriterien für gute Raumluftqualität?

### Sauerstoff

Der Ruf nach dem Fensteröffnen, „weil der Sauerstoff verbraucht ist“, ist so verbreitet, wie er falsch ist. Denn bei den üblichen Betätigungen im Haushalt braucht ein Erwachsener nur zwischen 15 und 50 Liter Sauerstoff ( $O_2$ ) pro Stunde. Dem steht z. B. in einem 20 m<sup>2</sup> großen Zimmer ein Angebot von 10.000 Litern  $O_2$  in der Luft gegenüber. Also könnten sich bei einem Luftwechsel pro Stunde (theoretisch) in diesem Raum rund 200 Menschen „leicht körperlich arbeitend“ betätigen, ohne dass Sauerstoffmangel eintreten würde.

### Luftschadstoffe

Auch die - auf den ersten Blick einleuchtende - Forderung, die notwendige Mindestlüftung an der Abfuhr von Luftschadstoffen (z.B. Lösungsmittel, Formaldehyd, Radon) zu orientieren, ist bei näherem Hinsehen wenig hilfreich.

Einerseits nehmen unsere Sinnesorgane diese Verunreinigungen spät oder gar nicht wahr, weil sie entweder geruchlos sind oder schon weit unter der Riechbarkeitsschwelle bei empfindlichen Menschen allergische Reaktionen auslösen können. Andererseits ist eine einfache, laufende Messung und Überwachung von Luftschadstoffen aufgrund der Vielzahl von „Wohngiften“ praktisch unmöglich. Der wirksamste Schutz gegen gesundheitliche Risiken ist nicht das vermehrte Lüften, sondern - wie Untersuchungen in belasteten Häusern, ergeben haben - die Beseitigung oder die Abdichtung der Emissionsquellen.

### Das hilft wirklich gegen Luftschadstoffe:

- Nicht-Rauchen; keine offenen Feuerstellen
- Vermeidung von lösungsmittelhaltigen Farben und Reinigungsmitteln,
- Verwendung giftfreier Holzschutz- und Oberflächenbehandlungsmittel,
- Strenge Vorschriften bei der Produktion von Möbeln, Teppichen usw. bis hin zum Verbot der Verwendung toxischer Chemikalien,
- Einsatz von Baustoffen mit geringer Radioaktivität. (Gegen Radon aus dem Boden ist eine Abdichtung des Kellerbodens bzw. die Verwendung einer Dampfsperre wirksamer als eine erhöhte Lüftungsrate).

Doch auch wer sein Haus „biologisch“ und auf strahlenarmen Boden baut, und wer seine Wohnung gesundheits- und umweltverträglich reinigt und renoviert, d.h. wer dafür sorgt, dass Luftschadstoffe in der Wohnung gar nicht erst entstehen, muss lüften. Maßgebend hierfür sind zwei Inhaltsstoffe der Luft, die überall dort entstehen, wo Menschen sich aufhalten: Kohlendioxid und Wasserdampf. Über die Entstehung und den Umgang mit diesen „natürlichen“ Gasen geben die folgenden Abschnitte Auskunft.

### Kohlendioxid -

#### ein menschliches Problem?

Was den berechtigten Wunsch nach Frischluft auslöst, sind Gerüche von Körperausdünstungen und das mit der Atmung abgegebene Kohlendioxid ( $CO_2$ ). Bei jeder Verbrennung wird aus den kohlenstoffhaltigen Energierohstoffen durch Oxidation mit Sauerstoff Kohlendioxid ( $CO_2$ ) erzeugt. Auch bei der Energieumwandlung im Körper entsteht laufend  $CO_2$ , das hauptsächlich über die Atmung abgegeben wird.

Nun ist das Kohlendioxid ( $CO_2$ ) glücklicherweise kein Gas, das zu akuten Vergiftungserscheinungen führen kann. Andererseits gehen zu hohe  $CO_2$ -Konzentrationen in Wohnräumen mit Ermüdungserscheinungen, Konzentrationsschwierigkeiten und Empfindungen wie „miefige, stickige, verbrauchte Luft“ einher.

Aus einer Vielzahl von Raumklimauntersuchungen hat sich ein direkter Zusammenhang zwischen der  $CO_2$ -Konzentration und anderen die Raumluft verschlechternden Gerüchen, Körperausdünstungen usw. ergeben. Bei der Bestimmung der nötigen Frischluftmengen liefert daher die  $CO_2$ -Abgabe des Menschen einen guten Anhaltspunkt, um auch alle anderen durch normale Benutzung entstehenden Luftverunreinigungen zu beseitigen.

Umgekehrt bedeutet dieser Zusammenhang auch, dass durch einfaches Fensteröffnen entsprechend dem eigenen Geruchsempfinden auch das ausgeatmete, geruchlose Kohlendioxid in ausreichender Menge aus den Wohnungen entfernt wird.

Schon vor 130 (!)-Jahren hatte der deutsche Forscher Max Pettenkofer den  $CO_2$ -Gehalt der Luft als Maßstab für die Raumluftqualität erkannt. Die von ihm empfohlene maximale Konzentration von 0,1 %  $CO_2$  in der Raumluft (ein in der Bundesrepublik und anderen europäischen Staaten anerkannter Grenzwert) führt zu Frischlufttraten

abhängig von der CO<sub>2</sub>-Abgabe der Personen. Diese liegt je nach Aktivität bei Erwachsenen zwischen 10 und 75 Litern pro Stunde (s. Abb. 3).

Art der Tätigkeit	ausgeatmetes Kohlendioxid Liter/Stunde	notwendige Frischluftmenge m <sup>3</sup> /Stunde
Schlafen/Ruhen	10 - 13	17 - 21
Lesen/Fernsehen	12 - 16	20 - 26
Schreibtischarbeit	19 - 26	32 - 42
Hausfrau/-mann	32 - 43	55 - 72
Handwerker/in	55 - 75	90 - 130

Abb. 3: Kohlendioxidproduktion und notwendige Frischluftmenge erwachsener Personen bei unterschiedlicher Betätigung.

Konkret: in einem 4-Personen-Haushalt wird hier nach pro Tag eine Frischluftmenge von 2.000 bis 3.000 m<sup>3</sup> benötigt. Das bedeutet, dass z. B. in einer 75 m<sup>2</sup> Etagenwohnung im Schnitt alle eineinhalb bis zwei Stunden ein Austausch der Raumluft erforderlich wird. Im Einfamilienhaus (140 m<sup>2</sup>) reicht bei gleicher Belegung wegen des größeren Volumens eine Erneuerung alle 3 bis 4 Stunden. Selbst unter extremen Voraussetzungen (alle Bewohner sind ganztägig zu Hause, 60 % höherer CO<sub>2</sub> - Gehalt der Außenluft, z. B. Innenstadt bei „austauschärmer Wetterlage“) braucht auch in einer kleinen Etagenwohnung nur etwa einmal pro Stunde die „verbrauchte“ Luft erneuert zu werden.

## Wasserdampf - das versteckte Risiko

Wasserdampf wird in bewohnten Räumen ständig in großen Mengen produziert (s. Abb. 4). 8 bis 15 kg können in einem 4-Personen-Haushalt durchschnittlich pro Tag entstehen. Das ist soviel, als ob man den Inhalt eines Putzeimers auf dem Herd verkochen würde.

In diesem Wasserdampfgehalt der Raumluft liegt ein verstecktes Gesundheitsrisiko:

Einerseits ist Wasserdampf ein farb- und geruchloses Gas, das genauso ungiftig ist wie Wasser in flüssiger Form. Auch können Menschen eine recht weite Spannbreite von Luftfeuchtigkeiten als angenehm oder erträglich finden. Das reicht von 2 g (pro Kubikmeter Luft an klaren Wintertagen bis zu 20 g Wasserdampf (pro Kubikmeter Luft) nach einem Sommergewitter. Auch in beheizten Innenräumen (ca. 20 °C) können die relativen Luftfeuchtwerte von 35 % bis 70 % reichen, ohne dass dies direkt als unangenehm empfunden wird.

### Zu trockene Luft...

In den Randzonen dieser tolerierbaren Bereiche können aber Raumklimasituationen entstehen, die ungesund sind. Das gilt besonders für zu trockene Luft. Unterhalb von Raumluftfeuchtwerten von ca. 40 % besitzen bestimmte Bakterien und Viren, die für Bronchialerkrankungen verantwortlich sind, eine größere Überlebensdauer. Außerdem werden elektrostatische Aufladungen, die Austrocknung der Schleimhäute und das bekannte „Kratzen im Hals“ durch zu trockene Luft begünstigt (letzteres hat aber ursächlich mehr mit der Staubaufwirbelung durch zu heiße Heizkörper mit hohem Konvektionsanteil zu tun).

### ... zu feuchte Luft

Dauerhaft hohe Luftfeuchtwerte (oberhalb 60 - 65 % bei 20° C führen, wenn Kondenswasserbildung an kalten Außenwänden eintritt, zu feuchten Stellen. In Verbindung mit den organischen Bestandteilen der Wandoberfläche (Tapete, Kleister, Anstrich) entsteht dadurch der ideale Nährboden für Schimmelpilze. Die Sporen hiervon sind z.T. extrem giftig und können chronische Erkrankungen der Atemwege und Allergien auslösen.

### Abgabe von Feuchtigkeit in Wohnungen

Topfpflanzen	7 - 15 g/Stunde
mittelgroßer Gummibaum	10 - 20 g/Stunde
trocknende Wäsche 4,5 kg Trommel geschleudert	50 - 200 g/Stunde
Wannenbad	ca. 1100 g/Bad
Duschbad	ca. 1700 g/Bad
Kurzzeitgericht	400 - 500 g/Stunde Kochzeit
Langzeitgericht	450 - 900 g/Stunde Kochzeit
Braten	ca. 600 g/Stunde Garzeit
Geschirrspülmaschine	ca. 200 g/Spülgang
Waschmaschine	200 - 350 g/Waschgang
Menschen:	
- Schlafen	40 - 50 g/Stunde
- Haushaltsarbeit	ca. 90 g/Stunde
- anstrengende Tätigkeit	ca. 175 g/Stunde

Abb. 4: Abgabe von Feuchtigkeit (Wasserdampf) in Wohnungen

Bevor nun beschrieben wird, wie der richtige Wasserdampfgehalt der Luft durch Lüften erreicht werden kann, ist zunächst zu klären, was sich hinter den Begriffen „relative“ und „absolute“ Luftfeuchtigkeit versteckt.

## Relative, absolute...

### verwirrende Feuchtigkeit

Angesichts der wachsenden Zahl von Feuchtschäden und häufigen Klagen über unbehagliches Raumklima ist es wichtig geworden, sich ein Grundverständnis des Zusammenhangs von Luftfeuchtigkeit und (Raum-)Temperatur zu verschaffen. Den wichtigsten, zunächst paradox klingenden „Merksatz“ dazu wollen wir gleich vorwegschicken:

#### Im Winter ist die Luft draußen stets trockener als in beheizten Wohnräumen.

Die Möglichkeit zur Wasserdampfaufnahme in der Luft ist begrenzt. Jeder Kubikmeter Luft kann nur eine bestimmte Menge Wasser als Dampf „verkräften“. Alles, was darüber hinausgeht, fällt wieder als Wasser in flüssiger oder fester Form, als Niederschlag, aus (z. B. Regen, Nebel, Kondenswasser, Eis, Schnee).

Die absoluten Dampfmengen, bei denen die Sättigung der Luft erreicht wird, hängen allerdings von der Lufttemperatur ab. Warme Luft kann wesentlich mehr H<sub>2</sub>O-Dampf aufnehmen als kalte. Das entspricht der Alltagserfahrung, dass man mit Wärme Nasses trocknen kann. Aber mit kalter Winterluft Räume entfeuchten?

Um dies zu verstehen, muss zunächst die Verwirrung, die die gängigen Prozentangaben oft stiften, geklärt werden: Die Bezugsgröße für die sogenannte „relative Luftfeuchtigkeit“ ist immer die bei der jeweiligen Temperatur mögliche maximale Luftfeuchte (s. Abb. 5): So kann z. B. Luft von 20° C bis zu 17 g Wasserdampf pro Kubikmeter aufnehmen. Bei diesem Sättigungswert sind 100 % relative Feuchte erreicht. (Zeigt bei dieser Temperatur ein Hygrometer 50 % relative Luftfeuchte an, so bedeutet das: Es sind 50 % von 17 Gramm, also absolut 8,5 Gramm Wasserdampf in jedem Kubikmeter Luft enthalten.) Luft von 15° C kann nur noch knapp 13 g Wasserdampf halten, ohne dass es zur Kondensation kommt.

#### Ein Beispiel:

Außen zeigt das Thermometer -5° C bei einer relativen Luftfeuchtigkeit von 80 % an. Die Luft enthält in dem Fall  $3,3 \text{ g/m}^3 \times 80 \% = 2,6 \text{ g/m}^3$  Wasserdampf. Innen herrschen 20° C bei 50 % relativer Luftfeuchte. Dies entspricht  $17,3 \times 50 \% = 8,6 \text{ g/m}^3$  Wasserdampf.

Mit jedem Kubikmeter Luft entweichen bei diesem Beispiel  $8,6 - 2,6 = 6 \text{ g}$  Wasserdampf aus dem Haus. Und genau das ist der Effekt, der durch Lüften erreicht werden soll!

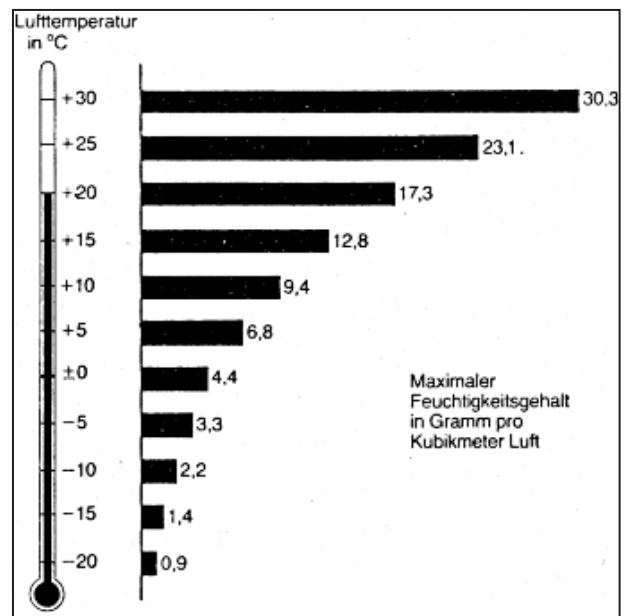


Abb. 5: Maximaler Wasserdampfgehalt (= 100 % relative Luftfeuchte) in Gramm pro m<sup>3</sup> Luft bei verschiedenen Temperaturen.

### Weglüften von Feuchtigkeit -

#### jahreszeitlich unterschiedlich

Um den überschüssigen Wasserdampf aus der Wohnung zu entfernen, sind je nach Jahreszeit recht unterschiedliche Luftwechselraten erforderlich. Denn die Menge Wasserdampf, die mit einem kompletten Luftaustausch weggeführt werden kann, hängt vom aktuell herrschenden Unterschied zwischen der absoluten Außen- und Innenluftfeuchte ab (s. vorheriger Abschnitt). Da im Winter die Außenluft selbst bei Regen, Schnee oder Nebel wesentlich trockener ist, reicht es auch in einer kleineren Etagenwohnung, höchstens alle zwei Stunden einmal durchzulüften (d.h. Luftwechselrate = 0,5/ Std.), um die relative Innenluftfeuchte nicht über 50 % steigen zu lassen (s. Abb. 6).

Bei Außentemperaturen oberhalb +5° C steigt der Lüftungsbedarf jedoch stark an, da pro Luftwechsel immer weniger Dampf abgeführt werden kann. Bei +10° C ist gesättigte Außenluft schon absolut feuchter als Raumluft von 20° C mit 50 % relativer Feuchte. D. h. an Tagen mit relativ mildem, aber feuchtem Wetter muss 2 - 3 mal häufiger gelüftet werden als, an kalten Wintertagen. Wer im Wohnzimmer ein Hygrometer hängen hat, wird zu dieser Zeit einen Anstieg der relativen Raumluftfeuchte auf Werte über 60 % beobachten können.

Die vielfach befürchteten Feuchteschäden (Taufwasserbildung, Schimmelflecken etc.) sind jedoch zu dieser Jahreszeit nicht zu erwarten: Bei Temperaturunterschieden von bis zu 15° C zwischen drinnen und draußen sind die Wandoberflächen auch an den kritischen Stellen warm genug (s.a. Energiespar-Informationen Nr. 4 „Wärmebrücken“ und S. 10 dieses Infos, Frage 5). Ausnahme: unbeheizte und falsch gelüftete Schlafzimmer! (siehe Frage 6 und 10).

Kritisch und schadensträchtig sind jedoch Situationen mit Außentemperaturen in Gefrierpunktnähe bei gleichzeitig hoher Raumluftfeuchte (über 65 %). Bei ungedämmten Außenwänden kann dann im Bereich von Wärmebrücken (Außenecke, Deckenanschluss, Fensterlaibung u. ä.) die raumseitige Oberflächentemperatur schon so niedrig sein, dass sich über einen längeren Zeitraum Kondenswasser bildet.

Abhilfe schafft bei diesem Problem:

1. Dämmung der tauwassergefährdeten Stellen oder besser noch: lückenlose Außendämmung für das gesamte Haus (siehe Energiespar-Informationen Nr. 2, 3 und 4).
2. Kontrollierte und bewusste aktive Lüftung, die die Raumluftfeuchte in der kritischen Zeit nicht über 50 - 55 % ansteigen lässt.

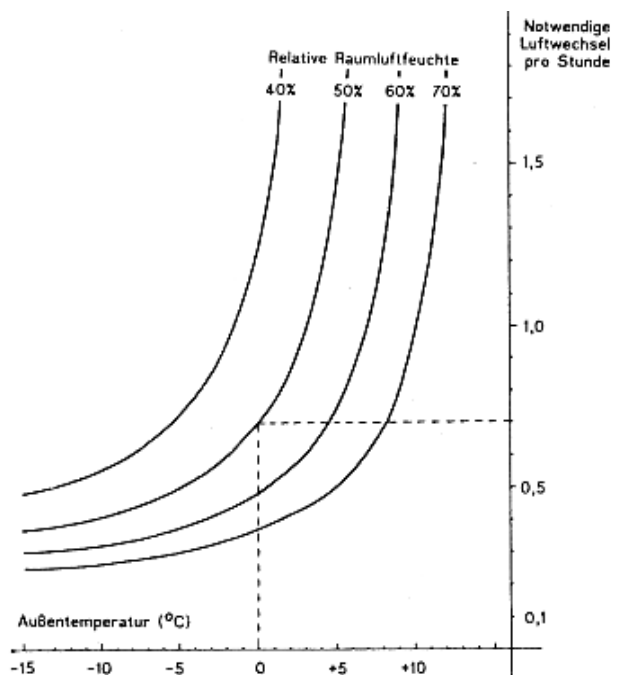


Abb. 6: Notwendige Luftwechselraten zur Wasserdampfabfuhr in Abhängigkeit von der Außentemperatur. (Rahmendaten: Relative Luftfeuchtigkeit außen = 100 %, Wasserdampfproduktion in der Wohnung 500 g/Stunde, Etagenwohnung 75 m<sup>2</sup>).

Ablesebeispiel: Um bei einer Außentemperatur von 0° Celsius die relative Raumluftfeuchte nicht über 50 % (Schnittpunkt mit der Kurve) steigen zu lassen, ist - bei den obigen Rahmenbedingungen eine Luftwechselrate von mindestens 0,7 pro Stunde erforderlich.

## Lüften mit Fenster

Wie kann man ein gesundes und behagliches Raumklima mit einer möglichst energiesparenden Fensterlüftung bewerkstelligen? Wie lange sollen die Fenster wie weit geöffnet werden? Zu diesen Fragen gibt es keine für alle möglichen Witterungssituationen einheitliche Antwort. Die Kunst des optimalen Wohnungslüftens ist jedoch erlernbar, wenn folgendes beachtet wird:

### Selbstlüftung

Kein Haus ist ganz dicht. Selbst Massivbauten mit neuen, gedichteten Fenstern haben - ohne Fenster- und Türenöffnen - noch einen durchschnittlichen Luftaustausch von mindestens 2 bis 3 mal am Tag. Bei Häusern mit einer Leichtbau-Gebäudehülle (Holzständer- oder Holzrahmenbauweise, Fertighäuser und vor allem bei Dachgeschossausbauten) können wegen der vielen hundert Meter Bauteilfugen Selbstlüftungsraten auftreten, die im Mittel schon über dem raumhygienisch Notwendigen liegen.

Erste wissenschaftliche Untersuchungen an typischen Dachdämmungssystemen lassen die Hochrechnung zu, dass ein großer Teil der bundesdeutschen Dachausbauten der letzten 10 bis 20 Jahre natürliche Luftwechselraten hat, die einem ein bis zweifachen mittleren, stündlichen Luftaustausch entsprechen. Solche hohen Leckraten werden u. U. auch bei alten Häusern mit zugigen Fenstern erreicht.

**Das heißt allerdings noch lange nicht, dass derartig undichte Wohnungen nicht mehr aktiv gelüftet werden müssen. Denn je nach Witterung können die Antriebskräfte (z. B. Wind, Auftrieb) für die Selbstlüftung nicht nur oft viel zu hoch, sondern auch manchmal viel zu niedrig sein, um eine ausreichende Frischluftversorgung zu gewährleisten (siehe Abb. 7).**

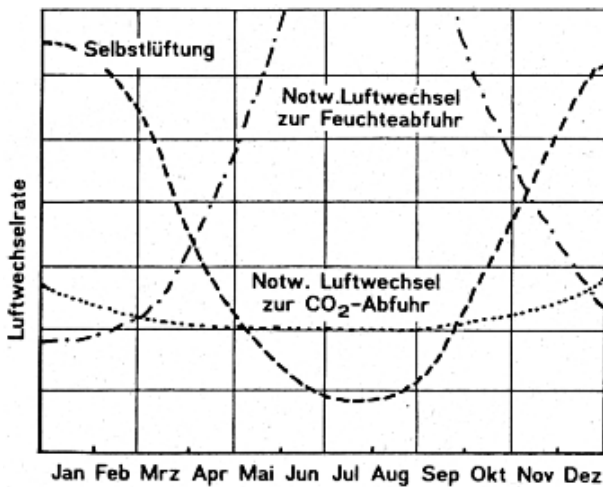


Abb. 7: Qualitativer, jahreszeitlicher Verlauf der Selbstlüftung bei Fenstern ohne Fugendichtung im Vergleich mit der notwendigen Luftwechselrate (ohne Berücksichtigung des Windeinflusses).

### Einfluss von Thermik

Der natürliche Auftrieb von warmer Luft ist die wichtigste und gleichzeitig am meisten unterschätzte Antriebskraft für die Lüftung. Das gilt einerseits für den Luftaustausch am offenen Fenster, als auch für Fugen und Ritzen. Dieser schleichende aber meist nur bei sehr kaltem Wetter fühlbare Luftstrom macht, weil er praktisch ständig mehr oder weniger stark stattfindet, den Hauptbestandteil der Lüftungswärmeverluste aus.






Die für die angegebenen Lüftungszeiten besonders zutreffenden Monate	Ungefähre Lüftungszeit in Abhängigkeit von der Außentemperatur
Dezember, Januar, Februar	4 bis 6 Minuten 
März, November	8 bis 10 Minuten 
April, Oktober	12 bis 15 Minuten 
Mai, September	16 bis 20 Minuten 
Juni, Juli, August	25 bis 30 Minuten 

Abb. 8: Notwendige Lüftungsdauer für einen Luftwechsel bei Stoßlüftung (ganz geöffnetes Fenster bei Windstille) je nach jahreszeitlicher Außentemperatur.

Je größer der Temperaturunterschied zwischen drinnen und draußen ist, desto stärker ist das Bestreben der warmen Zimmerluft beim Fensteröffnen, nach draußen aufzusteigen. Die notwendige Öffnungsdauer, um einen kompletten Lüftaustausch im Raum zu erzielen, ist daher im Winter erheblich kürzer (ca. 5 min. bei ganz geöffnetem Fenster) als in der Übergangszeit (15min., s. Abb. 8).

### Windeinflüsse

Dass auch schon ein mäßiger Wind (5 m/s) z.B. am gekippten Fenster den Verlust gegenüber Thermik verdoppeln kann (s. Abb. 9), und dass solche und höhere Windstärken auch im Binnenland immerhin zu 30 - 50 % des Winterhalbjahres vorkommen, dürfte weniger bekannt sein.

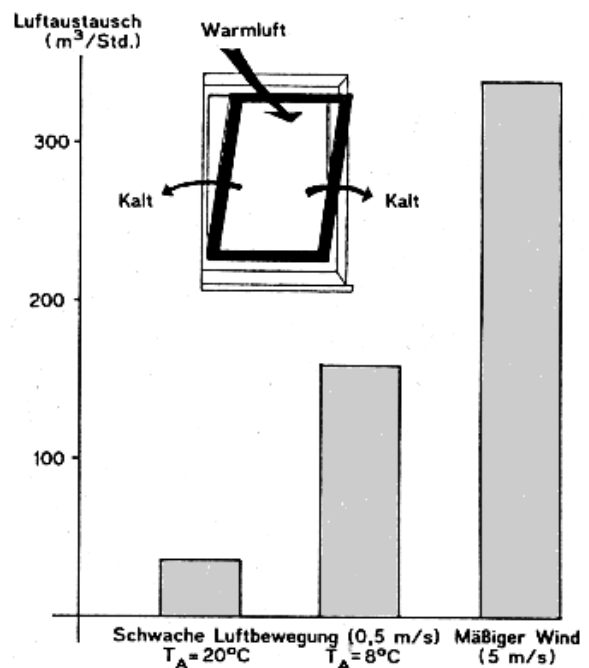


Abb. 9: Luftaustausch an einem gekippten Fenster durch Thermik und Windeinfluss.

In ähnlicher Weise wirkt sich natürlich der Wind auch auf den ständigen, unkontrollierbaren Luftaustausch durch Fugen und Ritzen aus. Dabei kommt der Windrichtung eine nicht zu unterschätzende Bedeutung zu: Auf der windzugewandten Seite herrscht ein starker Überdruck, der sich auch in Form von eindringender Kaltluft bemerkbar macht (s. Abb. 10). Auf allen anderen Seiten entsteht durch die vorbeiströmende Luft ein (schwächerer) Unterdruck, der aber weniger fühlbar ist, da hier warme Luft nach außen gesogen wird. D.h. die Fugenlüftung durch Windeinfluss führt zu einer sehr ungleichmäßigen Frischluftzufuhr (auf der LUV-Seite viel zu viel, auf den LEE-Seiten eher zu wenig)

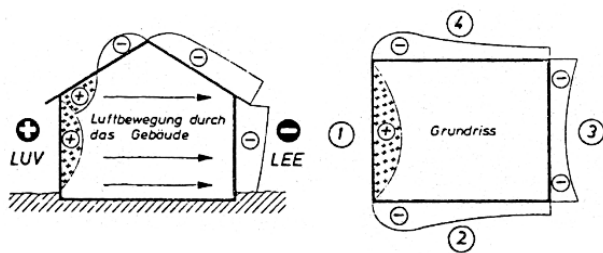


Abb. 10: Winddruck und -sog bei einem freistehenden Gebäude

Der Versuch, dies durch Offenlassen der Zimmertüren auszugleichen, führt zu noch höheren Wärmeverlusten (Querlüftung!) und hilft bei der Verbesserung der Luftqualität nur begrenzt, da die Räume auf der windabgewandten Seite ihre Zuluft hierbei nach wie vor aus den Nachbarräumen und nicht als Frischluft von außen bekommen.

## Lüften nach Bedarf: Wie geht das am besten?

Die energiesparendste Art, Wohnungen zu lüften, orientiert sich am tatsächlichen, momentanen Frischluftbedarf.

Dafür lassen sich folgende einfache Regeln aufstellen:

Nur raumweise lüften. Bei Querlüftung durch mehrere Zimmer reichen max. 3 Minuten zum kompletten Luftaustausch.

Nur aktiv lüften, wenn Zimmer benutzt werden. In nicht belegten Räumen reicht die Selbstlüftung durch Fugen zur Lufterneuerung.

Die am weitesten verbreitete Lüftungsart (gekipptes Fenster) führt meist zu mehrfach überhöhten Luftwechselraten, weil die einströmenden Luftmengen unterschätzt werden. Zur Dauerlüftung ist die Kippstellung nur von Mai bis September sinnvoll. Im Winterhalbjahr braucht ein Fenster aus hygienischen Gründen im Mittel nicht mehr als 7 - 20 Min. pro Stunde gekippt sein (Thermik!).

Die vielfach empfohlene sogenannte „Stoßlüftung“ durch ein ganz geöffnetes Fenster ist im Winter nur dann energiesparend, wenn dies sehr „diszipliniert“ und kurzzeitig geschieht (max. nur 4 - 7 Minuten!).

Beste Ergebnisse können auch bei bequemer Dauerlüftung durch regulierbare Lüftungsspalte (Dosierlüfter) erzielt werden. Ihr maximaler Luftaustausch liegt bei 10 - 20 % des gekippten Fensters und kann stufenlos weiter reduziert werden. Ein solches Element pro Raum reicht für alle normalen Situationen.

Bei allen Arten der Bedarfslüftung muss die Dauer des Fensteröffnens am Außenklima orientiert werden. Abgesehen von der Berücksichtigung des Windinflusses gilt folgende Faustregel: Je kälter es draussen wird, desto kürzer müssen die Lüftungszeiten werden (wegen der verstärkten Thermik). Dies darf auch so sein, weil die Notwendige Wasserdampfabfuhr um so besser funktioniert, je kälter d. h. je (absolut) trockener die Außenluft ist.

Luftwechsel bei verschiedenen Lüftungsarten		
	Luftwechselrate (1/Stunde)	Öffnungsdauer für 1 Luftwechsel
Fenster und Türen dicht	0,1 - 0,3	
Undichte Häuser (i. M.)	bis 2,0	
Regulierbare Lüftungsspalte (Dosierlüfter)	0,2 - 0,8	75 - 300 Min
Fenster gekippt:		
- ohne Querlüftung	0,8 - 2,5	24 - 75 Min
- mit Querlüftung	2 - 4	15 - 30 Min
Fenster ganz offen:		
- ohne Querlüftung	9 - 15	4 - 7 Min
- mit Querlüftung	>20	bis 3 Min

Abb. 11: Luftwechsel bei verschiedenen Lüftungsarten.

## **1. Ist zuwenig Lüften gesundheitsschädlich?**

Ja, aber...

Wer auf weitgehende Natürlichkeit und/oder Umweltfreundlichkeit bei der Ausstattung seiner Wohnung und bei der Verwendung von Putzmitteln usw. achtet, kann ruhig nach der eigenen Nase gehen. D. h. sparsames Lüften, das sich am empfundenen Frischluftbedarf orientiert, ist dann allemal ausreichend, um ein gesundes Raumklima zu schaffen (siehe S. 4/5). Voraussetzung ist allerdings auch, dass die Bausubstanz soweit „in Ordnung“ ist, dass die sich einstellende Raumluftfeuchtigkeit nicht zu Schimmelbildung führt (siehe auch Energiesparinformation 4).

## **2. Müssen Außenwände „atmungsfähig“ sein?**

Nein!

Wenn man unter „Atmung“ versteht, dass Luft oder insbesondere Wasserdampf gut durch die Außenwand diffundieren können muss, kann diese Frage eindeutig mit „Nein“ beantwortet werden. Beim Gebrauch des Begriffs der „atmenden Wände“ wird oftmals der Eindruck erweckt, dass ein großer Teil des Luftaustausches zwischen drinnen und draußen über die Wände stattfindet. Auch bei einem bekanntermaßen gut „atmungsfähigen“ Ziegelmauerwerk macht die Wasserdampfdiffusion jedoch nur 2 - 5 % der über normale (Fenster-)Lüftung abgeführten Feuchtigkeitsmenge aus.

Um im Bild zu bleiben: Der „Wandatmung“ eine größere Bedeutung für die Raumluftqualität beizumessen, als ihr nach diesen Prozentzahlen zusteht, ist genauso töricht, wie sich Mund und Nase zuzuhalten, um dann die Körperatmung der Haut zu überlassen.

Das sogenannte „Atmen“ der Wand findet nur in den ersten 1-2 cm der Wandinnenseite statt (s. nächste Frage), eine Außendämmung (z.B. Thermohaut) beeinflusst daher das Raumklima nur insofern als dadurch die Wände wärmer werden, was als behaglich empfunden wird.

## **3. Verschlechtern absperrende Oberflächen das Raumklima?**

Jein!

Von Oberflächen, die mit der Raumluft in Verbindung stehen, können „überschüssige“ Mengen an Luftschadstoffen aufgenommen werden. Diese sogenannte Sorptionsfähigkeit ist bei Naturfasern (Teppiche, Vorhänge, Polster), Papier (Tapeten, Bücher) und porösen Holzweichfaserplatten am besten, bei unbehandeltem oder diffusionsoffen lasiertem Holz gut und bei mineralischen Kalk- und Lehmputzen zufriedenstellend.

Ungünstig wirken sich aus: Lack- und Ölfarbenanstriche, alle Kunststoffoberflächen, Oberflächen aus synthetischen Textilien, keramische Fliesen und Zementputze. Dies gilt insbesondere für die Abpufferung von Feuchtigkeitsspitzenwerten in Küche und Bad und bei starker Belegung von Wohnräumen.

**ABER:** Die aufgenommenen Dämpfe werden (wenn auch evtl. zeitverzögert) wieder an den Raum abgegeben. Auch die Hoffnung, dass die absorbierte Feuchtigkeit von Außenwänden „weggeatmet“ werden könnte, ist trügerisch (s. Frage 2). Die hier behandelten Sorptionsprozesse spielen sich nur zwischen Raumluft und den ersten 10 - 20 mm der Wandstärke ab, so dass man allenfalls von einer Art „Oberflächenatmung“ sprechen kann. Richtig „durchatmen“ kann auch ein „Biohaus“ nur durch Lüften.

## **4. Was tun, wenn die Luft zu trocken ist?**

Zuerst: Hygrometer kaufen (z.B. Kaufhaus, Optikerladen) und überprüfen, ob und wann die relative Luftfeuchte unter 40 % sinkt. Ist das besonders bei sehr kaltem und / oder windigem Wetter der Fall, dann hilft am besten:

Abdichten von Fenster- und Türfugen (bei ausgebauten Dachgeschossen können erhebliche zusätzliche Undichtigkeiten in der Wandverkleidung und der Dämmung auftreten!)

Generell führt eine Absenkung der Raumtemperatur um 1 - 2° C zu einer Erhöhung der relativen Luftfeuchte um bis zu 10 Prozentpunkte (siehe S. 6/7). Wenn dies durch eine Absenkung der Heizwassertemperatur geschieht, wird außerdem die Staubumwälzung durch den Auftrieb am Heizkörper reduziert. Dies trägt ebenfalls dazu bei, dass Schleimhautreizungen u. ä. Beschwerden des „Trocken-Luftsyndroms“ vermieden werden.

Hygienisch bedenkliche und in ihrer Wirksamkeit umstrittene Luftbefeuchter werden durch die oben beschriebenen Maßnahmen überflüssig.

## **5. Schimmelflecken nach Einbau neuer Fenster! Sollte man die Fugendichtung wieder rausreißen**

Nein!

Feuchteschäden dieser Art haben zwei Hauptursachen: Anstieg der Luftfeuchtigkeit und zu kalte Oberflächentemperaturen an den Außenwänden. Sind die feuchten Stellen von begrenzter Ausdehnung (Wärmebrücken!), dann reicht zur Schadensbeseitigung oft schon eine 1,5 - 3 cm starke Innendämmung, um die Oberflächentemperatur auf ein unkritisches Niveau anzuheben (s.a. Energiesparinformationen 4 und 11).

**ACHTUNG:** Wird die Innendämmung im betroffenen Bereich zu knapp ausgeführt, wird die Schimmelbildung nur an den Rand der Dämmung verschoben.

Damit es nicht hinter der Dämmung weiter „gammelt“, müssen die entsprechenden Dämmplatten entweder

- aus relativ dampfdichtem Material sein (extrudiertes Polystyrol, erkennbar an hellgrüner oder blauer Einfärbung)
- oder mit einer Auftapezierbahnen Dampfbremse überklebt werden.

(In manchen Fällen ist auch die Verwendung eines kapillarwasserleitfähigen Dämmstoffs, z.B. Holzfaserdämmplatten, ausreichend, in jedem Fall ist eine fachliche Beratung zu empfehlen.)

Auf keinen Fall sollte man den Schimmelsymptomen auf chemische Weise zu Leibe rücken, ohne die Schadensursache zu beheben. Das hilft nur kurze Zeit und vergiftet die Raumluft.

Sind solche - oder besser noch - weitergehende Maßnahmen (durchgehende Außenwanddämmung) nicht (kurzfristig) umsetzbar, dann hilft solange nur ein bewusstes und wohldosiertes Mehr an Heizung und aktiver Lüftung, insbesondere bei Außentemperaturen unter +5° C.

Eine einfache Beseitigung der Fugendichtung führt in bestimmten Zeiten zu übermäßig großen Luftwechselraten, ohne sicher gewährleisten zu können, dass einmal vorhandene Schäden auch rasch wieder austrocknen. Die bessere Lösung ist in solchen Fällen oft der Einbau einer einfachen Entlüftungsanlage.

## **6. Feuchteschäden im Schlafzimmer:**

### **Besser doch mehr heizen?**

Es ist unter Energiespargesichtspunkten vernünftig, Schlafzimmer weniger zu beheizen, d. h. die Heizung in der Regel auszulassen. Niedrige Raumlufttemperaturen bedeuten aber auch niedrigere Oberflächentemperaturen der Außenwände.

Besonders ungünstig wirkt sich deshalb die weitverbreitete Unsitte aus, in der kalten Jahreszeit die Tür zu den Wohnräumen zu öffnen, um das Schlafzimmer etwas zu „temperieren“. Dabei strömen große Luftfeuchtemengen ein, die von der kühleren Schlafzimmerluft nicht aufgenommen werden können, sondern an den Außenwänden kondensieren. Auch in diesem Fall ist Wärmedämmung der kalten Flächen die beste und sicherste Lösung (siehe Frage 5).

Wer nachts bei geschlossenem Fenster schläft, muss außerdem folgendes beachten: Pro Nacht geben zwei Personen allein durch Atmen ca. 500 g Feuchtigkeit ab. Der größte Teil dieses Wassers bleibt nicht in der Luft, sondern wird durch saugfähige Oberflächen (Textilien, Holz, Tapeten) im Raum absorbiert (s.a. Frage 3).

Diese sogenannten „Sorptionen“ haben allerdings einen Haken: Sie verlaufen so langsam, dass eine einfache morgendliche Stoßlüftung nicht ausreicht, um den Feuchtigkeitspuffer wieder zu entladen.

Folgende Verhaltensregel hilft da weiter: Nach dem Aufstehen erst kurz lüften, um frische Luft in den Raum zu bekommen. Dann den Raum bei wieder geschlossenem Fenster 5 - 10 min. anheizen (Heizkörper wieder abdrehen!). Erst etwa eine Stunde später (z. B. nach dem Frühstück) kurz und kräftig durchlüften. Dadurch verdunstet auch die in Bettzeug und Matratze gespeicherte Feuchtigkeit (Bettedecke zurückschlagen!). Bei hoher Luftfeuchte und ungünstiger Witterung muß dieser Vorgang (bei geschlossener Schlafzimmertür!) einige Male wiederholt werden. So kann auch bei sparsamem Heizen der Muff im Schlafzimmer verhindert werden.

## **7. Soll man Badezimmer sicherheitshalber dauernd lüften?**

Bloß nicht!

In Bädern entstehen, besonders bei häufigem Duschen, die größten Feuchtigkeitsbelastungen in der ganzen Wohnung. Da Bäder in der Regel jedoch gut geheizt werden, ist die Gefahr der Kondensation an kalten Oberflächen meist wesentlich geringer als z. B. in Schlafzimmern. Faustregel: Wenn ständiges Beschlagen der Innenseite der Fensterscheibe im Bad vermieden wird, dann ist auch im Bereich von Wärmebrücken kaum mit einer dauerhaften Taupunktunterschreitung zu rechnen.

Wesentlich kritischer ist allerdings die Feuchtabsorption in porösen Oberflächen (Putz, Holz, Handtücher) zu bewerten (siehe Frage 3 und 6). Dies gilt besonders dann, wenn die relative Luftfeuchtigkeit über längere Zeit auf 80 % und mehr ansteigt.

Da hilft nur eines: Sofort nach dem Duschen oder Baden lüften, damit der Feuchtigkeit möglichst wenig Zeit bleibt, um zu tief in die Materialien einzudringen. Denn: Je länger die Eindringzeit, desto länger dauert es auch, bis das aufgenommene Wasser wieder verdunstet. Die Zeit, die der Luftfeuchtigkeit zum Einwirken gelassen wird, entspricht in etwa auch der anschließend notwendigen Lüftungsdauer.

Dauerlüftung führt zu unnötig starker Auskühlung des Raums und erhöht die Gefahr der Tauwasserbildung.

## 8. Wie soll man Kellerräume richtig lüften?

Für die winterliche Kellerbelüftung gelten im Prinzip die gleichen Regeln wie für Wohnräume: Je kälter es draußen ist, desto besser wirkt die Entfeuchtung durch Lüftung.

Die kritischste Zeit beginnt für die Kellerbelüftung im späteren Frühjahr, dann, wenn in den Kellerwänden noch die Winterkälte steckt, draußen aber schon recht warmes Wetter mit entsprechend hoher absoluter Luftfeuchtigkeit herrscht. Dann setzt sich die Feuchtigkeit an den Kellerwänden ab. Im Sommer gilt für Keller, aber auch andere kühle Nebenräume (z. B. Speisekammern): Am besten nur nachts lüften, dann ist die Außenluftfeuchte am geringsten.

## 9. Lohnt es sich, bei Regen zu lüften?

Im Winter fast immer.

Raumluft hat z. B. bei 20° C und 60 % rel. Luftfeuchte einen absoluten Wasserdampfgehalt von 10,2 g/m<sup>3</sup> (siehe S. 7). Bei einer Temperatur von weniger als +12° C ist auch „gesättigte“ Außenluft (100 % rel. Luftfeuchte) absolut trockener als die Raumluft im Beispiel. Zwar wäre der Wassergehalt in der Außenluft eigentlich noch höher, wenn man die Regentropfen mitzählen würde, aber solange es beim Lüften nicht hereinregnet, ist dies für den Dampfaustausch unerheblich.

## 10. Ist „Schlafen bei offenem Fenster“ Energieverschwendung?

Nein, wenn...

man auch „baupsychologische“ Probleme ernst nimmt, dann sollte kein Energieberater jenem Drittel der Bevölkerung, die für einen ruhigen Nachtschlaf ein zumindest leicht geöffnetes Fenster brauchen, dies ausreden wollen. Die mit dieser Dauerlüftung unbestritten erhöhten Wärmeverluste lassen sich in Grenzen halten, wenn folgendes beachtet wird:

- Es sollte Durchzug vermieden werden, d. h. die Schlafzimmertür muss geschlossen bleiben und am besten mit einer Fugendichtung versehen werden (siehe S. 9).
- In der Heizperiode ist auch bei Windstille maximal ein gekipptes Fenster nötig, um den Gehalt des „Leitschadstoffs“ für schlechte Luft, das Kohlendioxid, unter der altbewährten „Pettenkofer-Grenze“ (siehe S. 4/5) zu halten.
- Je kälter es draußen wird, desto kleiner braucht die Fensteröffnung zu sein, um den gleichen Effekt zu erzielen (zunehmende Thermik!). In Haushaltsgeschäften gibt es für ein paar Euro Feststeller, mit denen sich der Kippgrad des Flügels stufenlos einstellen lässt!

Ein Vorteil dieser wohldosierten nächtlichen Dauerlüftung besteht darin, dass kritische Feuchtigkeitsansammlungen in Wänden usw. von vornherein vermieden werden (siehe Frage 6.)

## 11. Dürfen Räume mit Ofenheizung eine Fugendichtung haben?

Nur dann, wenn...

die Feuerstätte eine raumluftunabhängige Luftzuführung hat. Bei Gaseinzelöfen mit Außenwandanschluss und Gasetagenheizungen ist dies heute die Regel, bei neuen Kachel- und Kaminöfen sollte man einen Zuluftschacht unbedingt einplanen.

Die für alte Miethäuser typischen Kohle- und Ölöfen holen sich jedoch immer ihre Verbrennungsluft aus dem Raum. Bei Zuluftmangel wird die Verbrennung schlechter, und es entsteht in großem Maße giftiges Kohlenmonoxid (CO nicht verwechseln mit dem ungiftigen Kohlendioxid CO<sub>2</sub>). Alleine hierauf sind alle bisher bekannt gewordenen, tragischen Todesfälle zurückzuführen, die nach Einbau abgedichteter Fenster passiert sind.

Aber das Problem der Dichtigkeit von Feuer- und Ofentür sollte auch nicht unterschätzt werden. Bei bestimmten Wetterlagen und bei zu geringem Auftrieb im Kamin können Öfen erfahrungsgemäß „niederschlagen“. Deshalb sollten in Schlafräumen - wenn überhaupt - gerade auch ausbrennende Öfen nur bei geöffnetem Fenster betrieben werden. In zentral beheizten Wohnungen sind lebensbedrohende CO<sub>2</sub>-Konzentrationen in Folge von Fugendichtung unmöglich.

Impressum:

Herausgeber: Hessisches Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft und Forsten

Referat Öffentlichkeitsarbeit

Postfach 3109, 65021 Wiesbaden

wiss. Betreuung: IWU, Institut Wohnen und Umwelt, Annastraße 15, 64285 Darmstadt

Texte: Robert Borsch-Laaks

Grafiken: Robert Borsch-Laaks, Marlies Ante, RWE-Bauhandbuch, H. Hebgen, BINE, Stiftung Warentest, Fa. Strulik, Fa. Fresh, Arbeitsgemeinschaft der Verbraucher, K. Mährlein

Foto: Bärbel Högner

Gestaltung: Harms & v. Ketelhodt

Austraße 7, 61440 Oberursel/Taunus

Ausgabe: 02/99

Überarbeitung: 12/01

Nachdruck und Vervielfältigung auch in Auszügen nur mit Genehmigung des Herausgebers.

ISBN 3-89274-095-X