

Die Stoßlüftung von Wohnräumen aus energetischer Sicht

Von Dipl. Phys. Rolf Wiedenhoff, Remscheid



Der Verfasser vergleicht eine hygienisch ausreichende, kontinuierliche Lüftung mit der Stoßlüftung durch Berechnung der hygienisch notwendigen Außenluftmengen anhand eines Modells. Die so gewonnenen theoretischen Erkenntnisse werden unter Berücksichtigung von beobachteten Lüftungsgewohnheiten auf die Praxis übertragen und ausgewertet.

Allgemeine Lüftungsanforderungen

Die atmosphärische Luft enthält normalerweise 21 Vol.-% Sauerstoff. Die Expirationsluft enthält 16 bis 17 Vol.-% Sauerstoff. Der stündliche Sauerstoffbedarf des Menschen beträgt je nach Arbeitsleistung, Alter und Geschlecht zwischen 1,5 l (Neugeborenes) und 240 l (Erwachsener bei Schwerarbeit). Wenn der Sauerstoffverbrauch des Menschen das allein gültige Kriterium zur Bemessung der Luftzufuhr wäre, würde eine Lüfrate von etwa 5 m³/h je Person allen Anforderungen gerecht werden. Der menschliche Organismus stellt jedoch weitergehende Anforderungen an die Qualität der Raumluft. Hier sind insbesondere zu nennen:

1. geringe gas- und staubförmige Verunreinigung,
2. weitgehende Geruchsfreiheit,
3. niedrige Keimzahl,
4. behagliche Lufttemperatur und -feuchte.

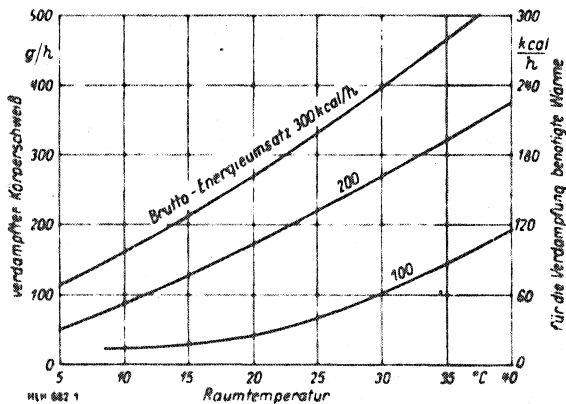


Bild 1: Feuchtigkeitsabgabe durch Schweißverdampfung
Nach Remscheid [1]

Einen beachtlichen Anteil zur Verschlechterung der Raumluft trägt der Mensch selbst allein durch seine Anwesenheit bei. Hierbei sind insbesondere die CO₂-Konzentration der Atmung, die Produktion von Geruchsstoffen durch Körperausdünstung sowie die Wasserdampfabgabe durch Schweißverdunstung und Atmung zu erwähnen. Alle drei Einflußgrößen korrelieren über die totale Wärmeproduktion des Menschen miteinander. In welchem Maße diese Komponenten im einzelnen die Raumluft verschlechtern, soll im folgenden erläutert werden.

Feuchtigkeitsabgabe

Die Wasserdampfabgabe des Menschen beruht auf der Verdunstung von Schweiß (Bild 1) und der Ausatmung von feuchter Atemluft (Bild 2) [1]. Obwohl der Wasserdampf toxisch unwirksam ist, muß er als Störgröße angesehen werden, die nach einer Erneuerung der Raumluft verlangt. Eine physiologisch verträgliche Luftfeuchte kann nur dann aufrechterhalten werden, wenn ein Gleichgewicht zwischen abgeführter und erzeugter bzw. zugeführter Wasserdampfmenge herrscht. Die dazu erforderliche Luftzufuhr V_L ergibt sich aus folgender Beziehung:

$$V_L = \frac{m_w}{\rho (v_{w,i} - v_a)} \quad (1)$$

Darin ist

m_w Masse des stündlich produzierten Wasserdampfes

$v_{w,i}$ zulässiger Wassergehalt

v_a Wassergehalt der Außenluft

ρ mittlere Dichte der Raumluft

Der Berechnung liegen folgende Eingangswerte zugrunde:

Außentemperatur (Jahresmittel)	$t_a = 8,5^\circ\text{C}$
Relative Feuchte der Außenluft	$\phi_a = 80\%$
→ Wassergehalt der Außenluft	$v_a = 5,5 \text{ g/kg}$
Raumtemperatur	$t_r = 21^\circ\text{C}$
Relative Feuchte der Raumluft	$\phi_r = 50\%$
→ Wassergehalt der Raumluft	$v_{w,i} = 7,8 \text{ g/kg}$
Wasserdampfproduktion in Ruhe	$m_w = 42 \text{ g/h je Person}$

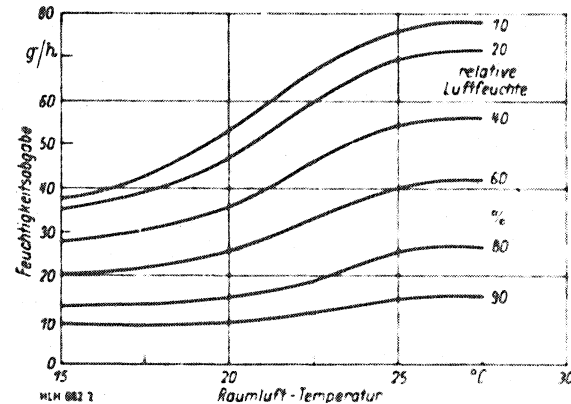


Bild 2: Feuchtigkeitsabgabe durch Atmung beim ruhenden Menschen
Nach Untersuchungsergebnissen von Rubner-Lewaschew [1]

Wurden bei Anwesenheit eines sitzenden Menschen zur Abführung des Wasserdampfes noch $15 \text{ m}^3/\text{h}$ je Person ausreichen, so mußte diese Lüfrate beim arbeitenden Menschen wegen der vermehrten Wärmeabgabe (Schweißproduktion) je nach Art und Schwere der Tätigkeit bereits auf Werte von $40 \text{ m}^3/\text{h}$ je Person und darüber erhöht werden. Auch kurzzeitig erzeugte erhebliche Wasserdampfmengen, wie sie im Haushalt bevorzugt beim Kochen oder Baden anfallen, bedingen eine verstärkte Außenluftzufuhr. Diese sollte wegen der diskontinuierlichen Erzeugung ausnahmsweise durch gezieltes Öffnen eines oder mehrerer Fenster erfolgen.

Produktion von Kohlendioxid und Geruchsstoffen

In Räumen, die vorwiegend dem Aufenthalt von Menschen dienen (Wohnräume, Büroräume, Versammlungsraum), ist das zeitliche Ansteigen der CO_2 -Konzentration durch Atmung nicht nur proportional zur Raumbesetzung, sondern korreliert auch mit der Produktion von Geruchsstoffen durch den Menschen. Umfangreiche Untersuchungen mit annähernd 300 Testpersonen aus unterschiedlichen sozialen Schichten sind von Yaglou [2] veröffentlicht worden. Die in Wohnräumen vertretbare Geruchsintensität fällt im Mittel aus zahlreichen Beobachtungen mit der toxisch völlig bedeutungslosen $0,1 \text{ Vol.}\%$ -Konzentration von CO_2 zusammen. Abweichungen von diesem Wert sind durch unterschiedliche Gewohnheiten in der Körperpflege und durch subjektive Geruchsempfindungen in Folge künstlicher Luftverbesserung zu erklären.

Da ohnehin bei der Lösung der hier anstehenden Aufgabe nur von einer mittleren CO_2 -Produktion ausgegangen werden kann, sind derartige Abweichungen von untergeordneter Bedeutung. Die Höhe der CO_2 -Konzentration kann daher als ein Maßstab für die Güte der Raumluft angesehen werden.

In einer zu einem früheren Zeitpunkt erschienenen Veröffentlichung [3] hat der Verfasser dargelegt, daß bei minimaler CO_2 -Produktion durch einen ruhenden Menschen eine Zulufrate von $30 \text{ m}^3/\text{h}$ je Person notwendig ist, um die CO_2 -Konzentration unter $0,1 \text{ Vol.}\%$ zu halten. Bei im Wohnbereich üblichen Tätigkeiten kann durch erhöhte CO_2 -Produktion und vermehrte Ausdünstung von Körpergerüchen eine Luftzufuhr von etwa $50 \text{ m}^3/\text{h}$ je Person für notwendig erachtet werden. Neuere Studien bzw. Gutachten über den Außenluftbedarf von Wohnräumen, die insbesondere auch das Erholungsbedürfnis des Menschen in seinen Wohnräumen berücksichtigen, kommen zu gleichen Ergebnissen [4; 5].

Bei den vorgenannten Außenluftraten und einer durchschnittlichen Wohnungsbelegung ergibt sich ein hygienisch notwendiger Luftwechsel von $0,8 \text{ h}^{-1}$. Wie in [3] und [6] dargelegt wurde, ist eine Luftzufuhr durch Selbstbelüftung der Wohnung in dieser Größenordnung, insbesondere bei Verwendung dichter Fenster, nicht zu erwarten. Eigene Messungen in einem Raum (35 m^3 , 7. Stock, freie Lage) ergaben nach Ablauf einer 8- bis 10stündigen Raumnutzung von zwei ruhenden Personen bei geschlossenem Fenster (Aluminiumfenster mit einer umlaufenden Dichtung) Konzentrationen zwischen $0,3$ und $0,45 \text{ Vol.}\%$ CO_2 . Als besonders störend wurde eine ungewöhnlich lange Einschlafzeit nach Storungen in den frühen Morgenstunden sowie dadurch bedingt eine mangelnde Leistungsfähigkeit während des Tages empfunden. Eine zusätzliche Luftzufuhr muß durch Öffnen der Fenster (Stoßlüftung) oder durch gut regulierbare Lüftungsöffnungen (Dauerlüftung) erfolgen.

Entstehung weiterer Luftverunreinigungen

Aus dem bisher Gesagten ist nicht etwa zu folgern, daß der menschliche Organismus die alleinige Quelle von luftverunreinigenden Stoffen ist. Sehr unterschiedlicher Art sind z.B. die Verunreinigungen, welche durch menschliche Aktivitäten verursacht werden. Im Wohnbereich sind es vor allem Staubaufwirbelungen bei der täglichen Arbeit, Kochgerüche und Tabakrauch. Die Bedeutung solcher „Bagatell“-Verunreinigungen wird oft unterschätzt. So können beispielsweise staubförmige Verunreinigungen zu Allergien führen; hier bestehen allerdings große individuelle Unterschiede bezüglich der Empfindlichkeit, auch bereitet die genaue Ermittlung der Ursachen oft erhebliche Schwierigkeiten [7].

Bei der Entstehung von Verunreinigungen ist die Raumausstattung nicht so bedeutungslos, wie oft angenommen wird. So sind Spanplatten, wie sie zur Aufteilung von Räumen, für Verkleidungen von Decken und in Möbeln verwendet werden, nach neueren Erkenntnissen Quellen erheblicher gasförmiger Verunreinigungen.

In Dänemark wurden bei Untersuchungen [7] in mehrheitlich neueren Wohnräumen Formaldehydkonzentrationen zwischen $0,05$ und 2 ppm gemessen (MAK-Wert 1 ppm Formaldehyd). Zwei bis drei Jahre nach der Erstellung ergaben die Messungen von Andersen, Aarhus, immer noch Formaldehydkonzentrationen bis zu 1 ppm [8]. Vier bis sechs Wochen nach der Eröffnung von dreieinhalb in Betrieb genommenen Kölner Gesamtschulen nahm die Zahl der Erkrankungen von Lehrern und Schülern überdurchschnittlich zu. Die Symptome waren ähnlich: Kopfschmerzen, Übelkeit, Augen- und Rachenreizung. Zudem häuften sich die Klagen über Geruchsbelästigungen. Nach einem Jahr ergaben Messungen in den betroffenen Räumen Formaldehydkonzentrationen zwischen $0,3$ und $0,9 \text{ ppm}$; in einer Schule lag die durchschnittliche Konzentration in fast allen Räumen über der zur Zeit geltenden maximalen Arbeitsplatzkonzentration von 1 ppm [8]. Diese Tatsachen verdeutlichen, daß eine Lüftung ständig erfolgen muß, auch wenn die Nutzung des Raumes zeitlich begrenzt ist.

Berechnung der hygienisch notwendigen Zuluftmengen

Der folgende Vergleich soll zeigen, ob die Stoßlüftung energetische Vorteile hat, wie vielfach behauptet wird. Die Ausgangsdaten für die vergleichende Betrachtung sind in der folgenden Aufstellung zusammengefaßt.

Wohnung	
Grundfläche	$A = 80 \text{ m}^2$
Raumvolumen	$V_R = 200 \text{ m}^3$
Personenzahl	$n_p = 4$
Mensch	
Atemvolumen	$\dot{V}_A = 0,6 \text{ m}^3/\text{h}$ je Person
CO_2 -Konzentration in der Atemluft	$K_A = 4,4 \text{ Vol.}\%$
Umwelt	
CO_2 -Konzentration in der Außenluft	$K_a = 0,033 \text{ Vol.}\%$

Zu dem angegebenen Atemvolumen eines Menschen ist anzumerken: Der angenommene geringe Wert ist speziell auf die Ruhephase des Menschen abgestimmt. Während der täglichen Arbeit ist mit einem größeren Atemvolumen

zu rechnen. In der Regel wird dies jedoch ausgeglichen durch eine geringere Anzahl anwesender Personen, so daß die absolute CO₂-Produktion über den Tag gemittelt in der angenommenen Größenordnung zutreffend sein wird.

Kontinuierliche Lüftung

Als hygienisch physiologisch ausreichend wird von namhaften Hygienikern und Instituten ein 0,8facher Luftwechsel angesehen. Auch DIN 4108 „Wärmeschutz im Hochbau“, Beiblatt, Ausgabe November 1975, nennt für den hygienischen Mindestluftwechsel einen Rechenwert von 0,8 h⁻¹.

Aus der Bilanz:

Produktion + Zuführung = Speicherung + Abführung

$$V_M \cdot K_M + \dot{V}_a \cdot K_a = V_R \cdot \frac{dK_R}{dt} + \dot{V}_R \cdot K_R$$

läßt sich durch Integration ableiten:

$$K_z = \frac{1}{V_R} \left[V_M \cdot K_M + \dot{V}_a \cdot K_a - (V_M \cdot K_M + \dot{V}_a (K_a - K_0)) e^{-\frac{1}{V_R} \cdot p} \right] \quad (2)$$

Darin ist:

$\dot{V}_a$ Volumenstrom der zugeführten Luft in m³/h

K_0 CO₂-Konzentration der Raumluft zum Zeitpunkt z_0 in Vol.-%

K_z CO₂-Konzentration der Raumluft zum Zeitpunkt z in Vol.-%

p Zeitraum zwischen den Zeitpunkten z_0 und z in h.

Die restlichen Größen in dieser Gleichung sind zuvor erläutert worden.

Bei Zugrundelegung eines 0,8fachen Luftwechsels, basierend auf den Ausgangsdaten, ergibt sich eine asymptotische Annäherung des CO₂-Gehaltes der Raumluft an die 0,1-Vol.-%-Marke (Pettenkoferzahl). Die asymptotische Annäherung bedeutet für die Praxis, daß auch auf längere Sicht die Pettenkoferzahl nicht überschritten wird. Für das gewählte Modell bedeutet ein 0,8facher Luftwechsel eine kontinuierliche Luftzufuhr $\dot{V}_{k,kt} = 160$ m³/h. Die Indizierung soll die hygienisch ausreichende kontinuierliche Lüftung kennzeichnen.

Stoßlüftung

Wenn die kontinuierliche Lüftung auf hygienisch nicht ausreichende Werte reduziert wird, muß in bestimmten zeitlichen Abständen zusätzlich Außenluft zugeführt werden (Stoßlüftung). In der Rechnung werden für die reduzierte kontinuierliche Lüftung Luftwechselzahlen n_R zwischen 0,1 h⁻¹ und 0,4 h⁻¹ angenommen. Es soll davon ausgegangen werden, daß die Stoßlüftung bei Überschreiten der Pettenkoferzahl 0,1 Vol.-% CO₂ einsetzt. Diese Annahme stimmt mit der Auffassung zahlreicher Hygieniker bezüglich der maximalen CO₂-Konzentration für Wohnräume überein.

Anlaß zu Stoßlüftungen sind in den meisten Fällen wahrnehmbare Geruchsstoffe in der Raumluft. In der Regel muß davon ausgegangen werden, daß bei einem CO₂-Gehalt in der Raumluft von 0,1 bis 0,15 Vol.-% Leistungsbeeinträchtigungen oder Belästigungen auftreten, die durch Begleitstoffe der Atmung und durch Körperaus-

dunstung hervorgerufen werden. Da dem Wohnbereich in der heutigen Zeit in zunehmendem Maße eine Erholungsfunktion zugeordnet wird, ist die Annahme einer maximalen CO₂-Konzentration von 0,1 Vol.-% ausreichend begründet.

Die durch unterschiedliche Geruchssinne der Menschen stets subjektive Beurteilung der Luftqualität soll in den Modellrechnungen durch Variation der unteren CO₂-Konzentration objektiv berücksichtigt werden. Bei vorgegebener maximaler CO₂-Konzentration ist die angestrebte untere CO₂-Konzentration ausschlaggebend für die Dauer und die Intensität der Stoßlüftung. Die durch Stoßlüftung zusätzlich zu einer kontinuierlich einströmenden Luftmenge zuzuführende Außenluft berechnet sich nach der Beziehung:

$$\dot{V}_{st} = \dot{V}_R \cdot \ln \frac{K_0 - K_a}{K_0 - K_R} \quad (3)$$

Darin ist:

$\dot{V}_R$ Raumvolumen

K_0 CO₂-Konzentration der Raumluft bei Beginn der Stoßlüftung

K_R CO₂-Konzentration der Raumluft bei Beendigung der Stoßlüftung

K_a CO₂-Konzentration in der zugeführten Außenluft

Diese Luftzufuhr durch Stoßlüftung muß unter der Annahme gleichmäßiger Luftverschlechterung periodisch erfolgen. Die Dauer p einer solchen Lüftungsperiode (Zeitraum zwischen dem Beginn einer und dem Beginn der darauffolgenden Stoßlüftung) ergibt sich durch Umformung von Gl. (2):

$$p = \frac{1}{n_R} \ln \frac{K_M \cdot \dot{V}_M + (K_a - K_0) \cdot \dot{V}_a \cdot n_R}{K_M \cdot \dot{V}_M + (K_a - K_R) \cdot \dot{V}_R \cdot n_R} \quad (4)$$

Es wird ausdrücklich darauf hingewiesen, daß die Dauer p einer Lüftungsperiode nicht identisch ist mit der Dauer der einzelnen Stoßlüftung.

Die im Zeitraum p kontinuierlich einströmende Luftmenge der Dauerlüftung $\dot{V}_{Dl}$ errechnet sich zu:

$$\dot{V}_{Dl} = \dot{V}_R \cdot n_R \cdot p \quad (5)$$

Die insgesamt zur Erhaltung hygienischer Raumluftzustände in der Lüftungsperiode benötigte Außenluftmenge $\dot{V}_{st,1}$ setzt sich zusammen aus den Anteilen der Stoßlüftung $\dot{V}_{st}$ und der hygienisch nicht ausreichenden Dauerlüftung $\dot{V}_{Dl}$:

$$\dot{V}_{st,1} = \dot{V}_{st} + \dot{V}_{Dl} \quad (6)$$

Ein direkter Vergleich der Luftmengen $\dot{V}_{st,1}$ und $\dot{V}_{k,kt}$ ist nur dann möglich, wenn die einströmenden Luftmengen in gleichen Zeiträumen betrachtet werden. Da der Energiebedarf für die Erwärmung der einströmenden Außenluftmenge direkt proportional zu dem Volumen ist, kann ein Faktor f_L errechnet werden, der den Mehrbedarf der Stoßlüftung an Wärmeenergie, bezogen auf eine hygienisch einwandfreie kontinuierliche Lüftung, darstellt:

$$f_L = \frac{\dot{V}_{st,1}}{\dot{V}_{k,kt} \cdot p} \quad (7)$$

Der Lüftungswärmebedarf stellt jedoch nur eine Komponente des Gesamtwärmebedarfs eines Gebäudes dar. Überschlägige Berechnungen ergeben, daß im üblichen

Wohnungsbau der Anteil des hygienisch notwendigen Lüftungswärmebedarfs am Gesamtwärmebedarf zwischen 23 % (Einfamilienhaus: Umfassungsfläche/Volumen $\approx 1,0 \text{ m}^2/\text{m}^3$) und 38 % (Hochhaus: Umfassungsfläche/Volumen $\approx 0,3 \text{ m}^2/\text{m}^3$) beträgt, wenn das Gebäude den Anforderungen nach DIN 4108, Beiblatt, Ausgabe November 1975, hinsichtlich des mittleren Wärmedurchgangskoeffizienten k genügt. Der prozentuale Mehrverbrauch an Heizenergie f_h , bezogen auf den Gesamtwärmebedarf Q , der Wohnung, wird unter der Annahme errechnet, daß der Anteil des Lüftungswärmebedarfs $Q_L/30$ des Gesamtwärmebedarfs beträgt. Diese Relation entspricht in der Praxis einem Reihenhaushaus mit einem Verhältnis der Umfassungsfläche F zum Volumen V von 0,55. Der Mehrverbrauch f_h in % wird nach der Beziehung

$$f_h = (f_h - 1) \cdot \frac{Q_L}{Q} \cdot 100 \quad (8)$$

berechnet.

Ergebnisse und Auswertung der Berechnungen

Die Ergebnisse der Berechnungen sind auf Bild 3 dargestellt. Die Berechnung liefert eine Vielzahl von theoretischen Ergebnissen, die für die Praxis nicht alle von gleich großer Bedeutung sind. Als Auswahlkriterium bietet sich eine Betrachtung der Dauer p einer Lüftungsperiode an.

Ein durchschnittlich energiebewußter Mensch wird sich sicher nicht der Mühe unterziehen, stündlich mehrmals kurzzeitig das Fenster zu öffnen oder zu schließen. Es ist daher wenig realistisch, wenn bei der Abschätzung des Mehrverbrauchs an Heizenergie bei Stoßlüftung Lüftungsperioden mit einer geringeren Dauer p als 1 h berücksichtigt werden. Ist die Produktion an luftverunreinigenden Stoffen sehr groß oder die Selbstlüftung so gering,

so daß Lüftungsperioden von weniger als 1 h Dauer unvermeidbar sind, kann in der Regel davon ausgegangen werden, daß eine permanente Lüftung durch geöffnete Fenster vorgenommen wird. Selbst bei geringen Windgeschwindigkeiten (1 bis 3 m/s) ist mit einem 2,5fachen Luftwechsel je Stunde zu rechnen, wenn der Spalt an der Oberkante eines gekippten Fensters nur 10 cm beträgt. Bei voll geöffnetem Fenster erhöht sich die Luftwechselzahl auf $n = 7,5 \text{ h}^{-1}$. Allen Messungen lag eine Temperaturdifferenz zwischen Raumluft und Außenluft von etwa 15 °C zugrunde [9].

Angesichts dieses großen Schwankungsbereichs der Luftwechselzahlen bei geöffnetem Fenster ist es nicht möglich, den Lüftungswärmeverlust bei ständig geöffnetem Fenster exakt zu beziffern. Bei zunehmender übermäßiger Dichte der Fenster findet aber gerade die unkontrollierte Lüftung durch das ständig geöffnete Fenster, insbesondere während der Nachtstunden, immer mehr Anwendung. Auf diese Weise kann der Lüftungswärmeverlust zum dominierenden Anteil des Gesamtwärmeverlustes werden. Auf die dadurch entstehenden technischen Schwierigkeiten sowohl bei der Auslegung als auch beim Betrieb konventioneller Heizanlagen soll in diesem Zusammenhang nicht näher eingegangen werden.

Bei Berücksichtigung der menschlichen Bequemlichkeit sollte man davon ausgehen, daß die einzelnen Stoßlüftungen sehr intensiv sind, so daß die Dauer p einer Lüftungsperiode bei mindestens 1 h liegt. Unter der Voraussetzung der einmal stündlich durchgeführten exakten Stoßlüftung und der Einhaltung des Pettenkofer Wertes 0,1 Vol.-% CO_2 ergibt sich ein Mehrverbrauch an Heizenergie, der sich anhand von Bild 3 je nach Stärke der verbleibenden Selbstlüftung auf Werte zwischen 9,4 und 21,5 % abschätzen läßt. Ein zeitlicher Aufschub der Stoßlüftung um $1/4$ Stunde, ermöglicht durch eine vorangegangene intensivere Lüftung, führt zu einer weiteren ausgeprägten Erhöhung des Energieverbrauchs. Auf Bild 3 wird dies für das Beispiel eines reduzierten Luftwechsels mit $n_R = 0,3 \text{ h}^{-1}$ gezeigt. Der Mehrverbrauch erhöht sich von 13,1 % (bei $p = 1 \text{ h}$) auf 21,5 %, wenn die Dauer p einer Lüftungsperiode auf $1 1/4 \text{ h}$ verlängert wird.

Von einem gesteuerten Einsatz der Stoßlüftung kann jedoch nur während der Tagesstunden ausgegangen werden. Da während der nächtlichen Ruhephase einerseits jegliche Beeinflussung des Lüftungsvorganges durch den Menschen selbst auszuschließen ist, andererseits zahlreiche über längere Zeiträume geöffnete Fenster zu beobachten sind, ist zu befürchten, daß die rechnerisch ermittelten Werte für den Mehrverbrauch deutlich zu niedrig liegen, da die unkontrollierte Fensterlüftung nicht berücksichtigt ist. Für eine Abschätzung können jedoch mit Einschränkung die folgenden Beobachtungen dienlich sein.

Anlaßlich der Wärmeverbrauchsmessung an einem Wohnhochhaus [10] wurde auch der Anteil der über längere Zeit geöffneten Fenster in Abhängigkeit von der Himmelsrichtung ermittelt. Der Anteil der geöffneten Fenster mit West/Nord-West-Orientierung lag um 25 %, bei Ost/Süd-Ost-Orientierung um 50 % und bei Süd/Süd-West-Orientierung über 60 %. Offenbar wurde von den Bewohnern bei Sonneneinstrahlung die übermäßige Wärmefuhr durch verstärkte Fensterlüftung statt durch Drosselung der Heizkörperventile korrigiert. Die Außentemperaturen lagen bei den Beobachtungen zwischen -1°C und $+11^\circ\text{C}$, die Innentemperaturen zwischen 18°C und 26°C . Der maximale Anteil der tagsüber länger geöffneten Fenster betrug, bezogen auf das gesamte Gebäude, 52 %.

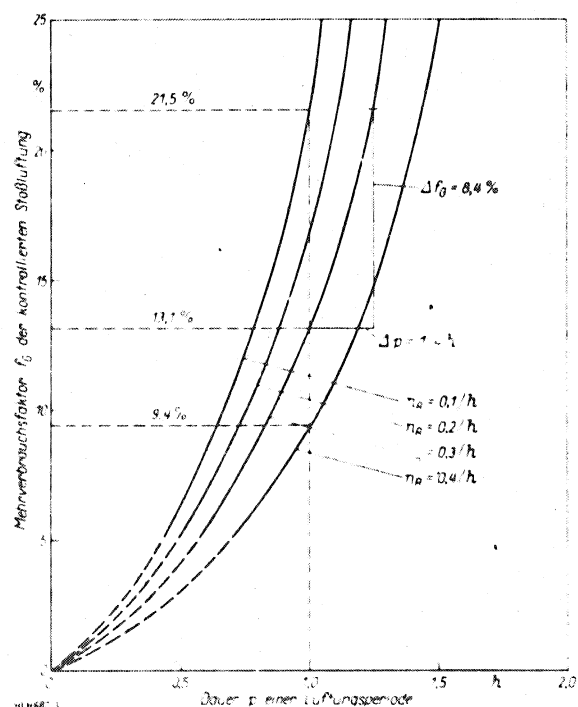


Bild 3: Mehrverbrauch bei Stoßlüftung in Abhängigkeit von der Dauer p einer Lüftungsperiode und des reduzierten Luftwechsels n_R

In den Jahren 1948 bis 1950 wurden in Großbritannien umfangreiche Studien über den Luftungswärmebedarf von Wohnhäusern gemacht [11]. Diese Untersuchungen sind äußerst interessant, da eine Aussage über den Luftwechsel in den Häusern sowohl bei geschlossenen Fenstern und Türen (unbewohnter Zustand) als auch bei teilweise geöffneten Fenstern und Türen (bewohnter Zustand) gemacht wurde. In geschützter Lage betrug die Luftwechselzahl n bei unbewohnten Häusern $n = 0,88 \text{ h}^{-1}$, bei bewohnten Häusern zwischen $n = 1 \text{ h}^{-1}$ und $n = 3 \text{ h}^{-1}$. In freier Lage betrug die Luftwechselzahl bei unbewohnten Häusern schon $n = 1,51 \text{ h}^{-1}$. Für bewohnte Häuser in freier Lage wurden Luftwechselzahlen n zwischen 1,6 und $3,1 \text{ h}^{-1}$ registriert. Es ist offensichtlich, daß der durchschnittliche Außenluftbedarf der Bewohner einem 2- bis 2,5fachen Luftwechsel entspricht, den die Bewohner durch Öffnen von Fenstern herbeiführen. Eine bessere Abdichtung der Gebäude würde also zwangsläufig zu längeren Öffnungszeiten der Fenster und dadurch höheren Wärmeverlusten führen. Der auch nach Meinung des Verfassers recht hohe Außenluftbedarf ist wahrscheinlich auf das typische britische Inselklima mit seiner hohen relativen Luftfeuchtigkeit zurückzuführen. Für unser mehr kontinental geprägtes Klima kann von einem etwas geringeren physiologisch notwendigen Außenluftbedarf ausgegangen werden. Noch nicht ausgewertete Beobachtungen der Luftungsgewohnheiten in der Schweiz könnten in diesem Zusammenhang von großer Bedeutung sein, da in der Schweiz und in Deutschland ähnliche klimatische Bedingungen vorherrschen.

In kleinerem Umfang können Beobachtungen dieser Art natürlich auch bei uns täglich gemacht werden. Sie zeigen, daß eine Begrenzung der Luftungswärmeverluste eines Wohngebäudes nicht durch Festschreibung von Fugendurchlässigkeiten der Fenster und Außentüren erreichbar ist. Entscheidende Bedeutung hat letztlich das Verhalten der Bewohner. Berücksichtigt man diesen Einfluß, so lassen erste Abschätzungen erwarten, daß der Mehrverbrauch sich auf mindestens 20 bis 30% beläuft. Dieser Abschätzung liegt eine zeitliche Aufteilung der Luftungsvorgänge eines Tages in 60% gesteuerter Stoßlüftung und 40% unkontrollierter Fensterlüftung zugrunde. Weiterhin wurden nur geringe Windgeschwindigkeiten berücksichtigt. Es hat sich nämlich gezeigt, daß die Bewohner bei zunehmender Windgeschwindigkeit weniger Fenster öffnen und so einen gleichmäßigen Luftwechsel herbeizuführen versuchen [12].

In der Bundesrepublik Deutschland sind ausführliche Studien über die Luftungsgewohnheiten der Bewohner leider bisher nicht gemacht worden. Auch anläßlich des Bauwettbewerbs 1974 „Therma“ des Bundesministeriums für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau beschränkte man sich lediglich darauf, eine rechnerisch bessere Wärmedämmung zu erreichen. In dem zur Sanierung anstehenden Altbau in Ratzeburg wurden im Rahmen dieses Wettbewerbs die rechnerischen Luftungswärmeverluste von 32% des Gesamtwärmeverlustes im Ist-Zustand auf knapp 8% des Gesamtwärmeverlustes im Soll-Zustand gesenkt [13]. Die theoretische Betrachtung des Wärmeverlustes wurde jedoch nicht durch Messung und Vergleich des Wärmeverbrauchs vor und nach der Sanierung ergänzt. Letztlich entscheidend für eine tatsächliche Energieeinsparung ist nicht die Senkung des theoretischen Wärmeverlustes eines Gebäudes, sondern die Verringerung des Wärmeverbrauchs unter gleichen meteorologischen Bedingungen. Was nutzt also die Senkung des Luftungswärmeverlustes auf 8% des Gesamtwärmeverlustes, wenn der Wärmebedarf für eine hygienisch notwendige

Luftung wesentlich höher liegt? Zweifellos hat eine auf dieser theoretischen Basis beruhende Amortisationsrechnung schon manchen modernisierungswilligen Hausbesitzer nachträglich enttäuscht...

Ein dicht schließendes Fenster mag aus vielen Gründen sinnvoll sein: ein zwar dicht schließendes, aber aus Gründen einer hygienisch notwendigen Lüfterneuerung häufig geöffnetes Fenster ist aus energetischer und schallschutztechnischer Sicht sicherlich nicht sinnvoll. Besondere in das Fenster integrierte Belüftungseinrichtungen ermöglichen aufgrund eines gut regulierbaren, kleineren Öffnungsquerschnittes sowohl eine hygienisch einwandfreie als auch energetisch optimale Lüftung. Lösungen dieser Art sind in der Vergangenheit in Form von klappbaren Oberlichtern oder Teilung eines Fensterflügels in mehrere Scheiben mit einer separat zu öffnenden Scheibe Stand der Technik gewesen. Zweifellos kann dies heute in technisch vollkommenerer und optisch ansprechenderer Weise gelöst werden.

Befürworter der Stoßlüftung führen immer wieder an, daß bei Abwesenheit der Bewohner nicht gelüftet werden müsse und dadurch Energie eingespart werden würde. Geht man von einem mittleren Mehrverbrauch der Stoßlüftung gegenüber der hygienisch ausreichenden kontinuierlichen Lüftung von 20% bezogen auf den Gesamtwärmeverbrauch, und einer mittleren Luftwechselzahl $n_a = 0,25 \text{ h}^{-1}$ aus, so ergibt sich als notwendige Zeit für die Abwesenheit aller Bewohner ein Wert von knapp 12 h/d. Erst wenn sämtliche Haushaltsmitglieder 12 h/d oder mehr abwesend und während dieser Zeit alle Fenster geschlossen waren, könnte durch Abdichten der Fenster Energie gespart werden. Sicherlich sind solche Fälle in der Praxis denkbar, jedoch dürfte statistisch gesehen der Anteil der Haushalte, für die dies zutrifft, äußerst gering sein. Eine sinnvolle und größere Energieeinsparung läßt sich bei einer derart langen Abwesenheitszeit sicher durch Absenken der Raumtemperatur erreichen. Der Vorteil dieser Maßnahme ist im zusätzlichen Einfluß auf den anteilsohnehin größeren Transmissionswärmebedarf begründet. Bei der dezentralen Heizung ist eine vollautomatische Absenkung über die gleiche Schaltuhr möglich, die auch die Nachtabsenkung regelt. Bei der zentralen Anlage kann eine Absenkung der Raumtemperatur durch Verstellen der thermostatischen Heizkörperventile ebenfalls prinzipiell erfolgen; nur muß der Individualismus und die Einsparung durch einen höheren Bedienungsaufwand erkauft werden.

Man sollte daher über die Begrenzung der Luftungswärmeverluste erneut nachdenken. Eine Festschreibung der maximalen Fugendurchlaßkoeffizienten auf dem Papier bringt auch nur eine Energieeinsparung auf dem Papier. Maßgebend für eine tatsächliche Energieeinsparung, die wohl alle wünschen, ist der Mensch selbst. Sein Verhalten und seine Entscheidung wird unter anderem von dem Spielraum geprägt, der ihm aufgrund der Technik seiner Umwelt verbleibt. Man sollte ihn daher nur mit guten technischen Lösungen konfrontieren und ihn selbst, und nicht eine Hausgemeinschaft, für die auch dann immer noch möglichen Energieverluste aufkommen lassen.

Zusammenfassung

Die Modellrechnungen zeigen, daß eine Energieeinsparung durch Stoßlüftung in Wohnräumen bei üblicher Nutzung nicht erreichbar ist. Die energetisch optimale Lösung ist die hygienisch gerade ausreichende, kontrollierte Luftzufuhr. Jeder Verringerung der Selbstlüftung unter das

hygienisch erforderliche Minimum hat einen Mehrverbrauch an Heizenergie zur Folge, da sich die Bewohner den notwendigen Luftwechsel durch Öffnen der Fenster verschaffen werden.

Der Mehrverbrauch durch Stoßlüftung wird um so größer, je häufiger sie durchgeführt werden muß bzw. je intensiver die einzelne Stoßlüftung ist. Selbst wenn man eine Überlüftung bewußt vermeidet, muß mit einem etwa 10 bis 20% höheren Heizenergieverbrauch gerechnet werden. Während der Nacht offenstehende Fenster führen jedoch in der Regel zu einer Überlüftung. Der dadurch bedingte Mehrverbrauch an Heizenergie läßt sich auf insgesamt etwa 20 bis 30% beziffern. Um diesen Mehrverbrauch auszugleichen, müßte die tägliche gleichzeitige Abwesenheit aller Wohnungsbewohner in der Größenordnung von 12 h d liegen.

Schrifttum

- [1] *Reinders, H.* Mensch und Klima. Düsseldorf: VDI Verlag 1969.
- [2] *Yaglou, C. P., Riley, E. C., Coggins, D. I.* Ventilation Requirements. ASHVE Transactions 42 (1936) S. 133-58.
- [3] *Wiedenhoff, R.* Die Selbstbelüftung von Wohnungen aus hygienischer Sicht. Gas Wärme International 25 (1976) Nr. 7, S. 382-86.
- [4] *Battelle Institute V.* Untersuchungen über den Frischluftbedarf von Wohnräumen. Theoretische Studien. Frankfurt 1977. Unveröffentlicht.
- [5] *Mauer-Limmroth, W.* Allgemeine Lüftungsanforderungen an Wohnungen aus hygienischer, physiologischer und bakteriologischer Sicht. Guteschriften. München 1977. Unveröffentlicht.
- [6] *Reinders, H.* Energieeinsparung durch Anwendung von Erkenntnissen der Bauphysik. HLH 28 (1977) Nr. 4, S. 135-40.
- [7] *Wanner, H. U.* Verunreinigungen der Raumluft. Neue Zürcher Zeitung Nr. 34 (1976) S. 55-56.
- [8] *Medical Tribune.* Kongreßbericht. Zuviel Formaldehyd in neuen Schulen. Medical Tribune Nr. 47 (1976) S. 56.
- [9] *Borgetti, S., Hartmann, P., Pfiffner, I.* Messung des natürlichen Luftwechsels in nicht klimatisierten Wohnräumen. Schweizerische Bauzeitung 95 (1977) H. 14.
- [10] *Knoll, D.* Wärmeverbrauchsmessungen an einem 17geschossigen Wohnhochhaus. Stadt- und Gebäudetechnik 31 (1977) Nr. 3, S. 68-71.
- [11] *Dick, J. B., Thomas, D. A.* Ventilation Research in Occupied Houses. Inst. Heating Ventilating Eng. 19 (1951) S. 306-26.
- [12] *Arens, E. A., Williams, P. B.* The Effect of Wind on Energy Consumption in Buildings. Energy and Buildings 1 (1977) Nr. 1, S. 77-84.
- [13] *Fantl, K.* Thermische Qualität von Bauwerken. Tagungsbericht. Rationelle Energieverwendung im Wohnungsbau. Battelle Institut, Frankfurt 1977. [11682]

Verwaltungsgebäude mit Einrichtungen für die Einschränkung oder Ausnutzung der Sonneneinstrahlung durch die Fenster je nach der Jahreszeit

Ein kürzlich errichtetes Bürogebäude mit 26 Geschossen, die sog. Southwark Towers in der Nähe der London Bridge in London, hat man mit einem neuartigen System der Fensteranordnung versehen, bei dem die Sonneneinstrahlung im Sommer abgeschwächt, im Winter dagegen voll ausgenutzt wird, so daß diese Fensteranordnung das ganze Jahr über zur Senkung der Kosten für die Klimatisierung (im Sommer) und für die Heizung (im Winter) beiträgt. Zum Erzielen einer möglichst großen Außenwandfläche innerhalb der Baulinien des Gebäudes hat man dem Gebäudegrundriß die Form von drei schmalen Flügeln in Propelleranordnung gegeben, die an einen dreieckigen Mittelteil angrenzen, der die Aufzüge, die Toiletten und eine Akkumulatoranlage enthält. Die Flügel sind verschieden hoch, so daß sich eine abgestufte Silhouette ergibt. Die Büro- und Nutzfläche beträgt je Geschöß et-

was mehr als 1300 m². Die vier untersten Geschosse enthalten Empfangsräume, Speisesäle, Lagerräume, ein Schwimmbad und zwei Spielhallen.

Die besondere Wirkung der Fensteranordnung beruht auf zwei Komponenten. Einmal sorgen raumhohe Doppelglasscheiben (sog. Multiglass-Scheiben der Firma Multiglass Ltd. London, bestehend aus 5 mm dicken, klaren Floatglasscheiben mit 8 mm Luftzwischenraum) für eine gute Wärmedämmung sowie für ein Maximum an Tageslicht und Ausblick. Zum anderen Mal bilden bronzefarbene getönte Sonnenschutzgläser, die als Brüstung an den vor den Fenstern durchlaufenden Balkonen befestigt sind, eine Sonnenblende für das obere Drittel der Doppelscheibenverglasung der jeweils darunter liegenden Geschößebene. Bei hochstehender Sonne im Sommer, also bei sommerlichen Einfallswinkeln, schirmen die Blenden einen großen Teil der Sonne ab, entziehen also dem Sonnenlicht Strahlungsenergie, bevor es die klarsichtigen Doppelglasscheiben durch-

dringt. Es wird also weniger Energie zum Kühlen mittels der Klimaanlage benötigt. Im Winter dagegen läßt der niedrigere Stand der Sonne ihre Strahlung ungehindert in die Büroräume gelangen, da die Blenden nun kaum abschirmend wirken. Weitere Vorteile sind, daß die Fenster von den Balkonen aus leicht zu reinigen sind, gleißendes Sonnenlicht gedämpft wird sowie durch Reflexion und Dämmung von Straßen- und Eisenbahnlärm ruhige Arbeitsbedingungen aufrecht erhalten werden. Der winterliche Wärmeverlust durch die raumhohen Doppelglasscheiben bleibt niedrig. Die sommerliche Wärmezufuhr an Sonneneinstrahlung wird durch die Sonnenblenden und zusätzlich durch Streifenvorhänge mit lotrecht verstellbaren Lamellen in jedem Büroraum begrenzt. Das Gebäude ist vollklimatisiert; jeder Büroraum hat einen Gebläsekonvektor mit Regeleinrichtungen. Ein Rechnersystem überwacht die Klimaanlage und die übrigen haustechnischen Einrichtungen.

Information durch Multiglass Ltd. London.
Nach EIBIS Press Information.

Hah [4703]