

Luftdurchlässe in Wohnungen (Teil 1)

Ehrenfried Heinz

„Wenn der notwendige Luftvolumenstrom zum Feuchteschutz... den Luftvolumenstrom durch Infiltration überschreitet“, wird nach DIN 1946-6 für Wohnungen die Planung und Ausführung lüftungstechnischer Maßnahmen zur Realisierung einer nutzerunabhängigen Lüftung empfohlen. Das hat einerseits zur Folge, dass selbst bei Einhaltung der EnEV-Forderung nach „dauerhaft luftundurchlässigen wärmeübertragenden Umfassungsflächen einschließlich der Fugen“ keine Feuchteschäden in der normal genutzten Wohnung zu befürchten sind. Andererseits kann der Wohnungsnutzer durch die Realisierung solcher Maßnahmen, hier vor allem in Form von Luftdurchlässen für Außen- und Überströmluft, von der in luftdichten Wohnungen in erhöhtem Maße notwendigen Fensterlüftung weitgehend entbunden werden.

Im ersten Teil dieses Beitrags wird auf die allgemeinen Anforderungen an die Wohnungslüftung, auf gebräuchliche Lüftungssysteme sowie auf die für die Erfüllung der Anforderungen notwendigen Außenluftmengen eingegangen.

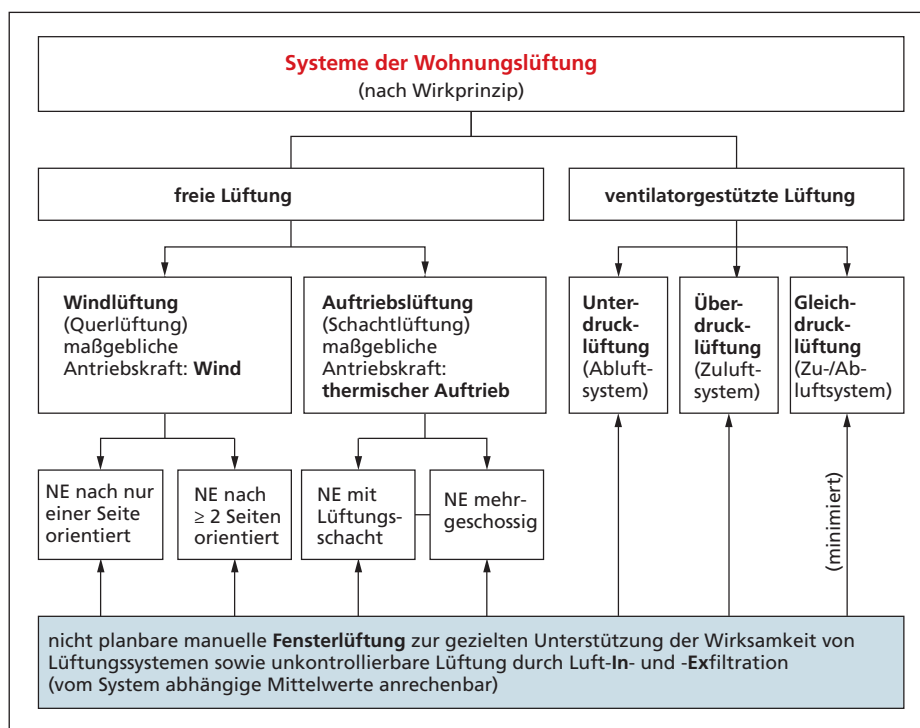
Grundlagen

Allgemeine Anforderungen an die Wohnungslüftung

- **Schutz von Mensch und Gebäude vor Schäden durch zu hohe Luftfeuchtigkeit:** Feuchtigkeitsquellen in der Wohnung sind Koch-, Back- und Bratvorgänge; alle Feuchtreinigungs- und Trocknungsprozesse (besonders freies Wäschetrocknen in den Wohnräumen), Wannen- und Duschbäder, freie Wasserflächen (z.B. Aquarien ohne Abdeckung) und Zimmerpflanzen sowie der Mensch selbst. Wie viel Feuchte in einer bewohnten Wohnung im Durchschnitt täglich an die Raumluft abgegeben wird, kann aktuell im DIN-Fachbericht 4108-8 nachgelesen werden. Während der momentanen Feuchteemissions-Vorgänge kann meist nur wesentlich weniger als die Hälfte des verdunstenden Wassers unmittelbar (direkt) abtransportiert werden. Der Rest wird vorzugsweise in der Umfassungskonstruktion und in den Einrichtungsgegenständen gespeichert und muss später ebenfalls (indirekt) abgeführt werden. Der direkte und indirekte Abtransport kann nur durch Lüftungsprozesse erfolgen. Dafür ist die Zufuhr einer dem jeweiligen

Der Autor

Dipl.-Ing. Ehrenfried Heinz,
HEINZ Lüftung+Feuchteschutz –
Beratung, Schulung, Gutachten,
Hoppegarten bei Berlin



1 – Übersicht über die Systeme der Wohnungslüftung nach physikalischem Wirkprinzip /4/ NE: Nutzungseinheit nach DIN 1946-6, hier mit Wohnung gleichzusetzen

Feuchtigkeitsaufkommen entsprechen der Menge an Außenluft erforderlich. Diese nimmt nach ihrer Erwärmung im Raum Feuchtigkeit auf und wird als feuchte Raumluft gegen neue trockenere Außenluft ausgetauscht. Ein zusätzlich durch die (unversiegelte) Gebäudehülle (die so genannten „atmenden Wände“) diffundierender Anteil an Raumluftfeuchtigkeit ist gegenüber der Feuchtemenge, die über die Lüftung abtransportiert werden kann, vernachlässigbar klein. Die Energieeinsparverordnung (EnEV) trägt im § 6 (2) dem Stellenwert der Lüftung durch die Anforderung Rechnung:

„Zu errichtende Gebäude sind so auszuführen, dass der zum Zwecke der Gesundheit und Beheizung erforderliche Mindestluftwechsel sichergestellt ist.“ Wird die in der Wohnung befindliche Feuchtigkeit nicht in hinreichendem Maße abgeführt, kann das vorzugsweise in der Heizperiode zur Kondensation an Bauteil- und Einrichtungsoberflächen und damit zu Schäden an der Baukonstruktion führen. Das Schimmelpilz-Wachstum beginnt dabei bereits ab einer relativen Luftfeuchtigkeit an der jeweiligen Oberfläche von $\approx$ (75 bis 80) %, wenn diese Feuchte mindestens 12 h täglich über einen Zeit-

raum von mindestens fünf aufeinander folgenden Tagen anhält (/1/ und DIN EN ISO 13788).

Im Rahmen einer repräsentativen Untersuchung (/2, 3/) sind von 8.000 bundesweit zufällig ausgewählten Wohnungen 5.530 im Winterhalbjahr 2000/01 begangen und bewertet worden. Im Ergebnis musste festgestellt werden, dass

- 1.213 (21,9 %) Wohnungen von Feuchteschäden betroffen waren („Altbau“ vor 1997: 22,2 % und „Neubau“ ab 1997: 12,3 %) – entsprach hochgerechnet bundesweit ca. 8,3 Mio. Wohnungen.
- 787 (14,2 %) Wohnungen – hochgerechnet ca. 5,45 Mio. Wohnungen – wiesen lüftungsrelevante Feuchteschäden auf.
- In 513 (9,3 %) Wohnungen – hochgerechnet ca. 3,55 Mio. Wohnungen – handelte es sich um sichtbares Schimmelpilz-Wachstum.
- In 320 (5,8 %) Wohnungen – hochgerechnet ca. 2,2 Mio. Wohnungen – war das sichtbare Schimmelpilz-Wachstum lüftungsrelevant.

„Sichtbares Schimmelpilz-Wachstum“ bedeutet, dass nur die zum Zeitpunkt der Inspektion sichtbaren bzw. dem Nutzer bekannten Schäden erfasst werden konnten. Schäden hinter größeren Einrichtungsgegenständen oder Wandverkleidungen sowie unter Tapeten und Fußbodenbelägen sind in die Ergebnisse nicht mit eingeflossen. „Lüftungsrelevantes Schimmelpilz-Wachstum“ ist neben unzureichender Lüftung auch auf nicht ausreichende Wärmedämmung und Heizung zurückzuführen, nicht aber auf Wasserschäden aller Art.

Die festgestellte prozentuale Verteilung des Schimmelpilzbefalls auf die einzelnen Räume der Wohnungen zeigt Tabelle 1.

• Sicherung raumlufthygienischer Erfordernisse:

Die Wohnungslüftung muss zusätzlich auch für den ausreichenden Abtransport der in der Wohnung unvermeidbar frei werdenden Schadstoffe bis auf zugelassene bzw. empfohlene unbedenkliche Werte sorgen.

Schadstoff-„Richtwerte“ für die Innenraumluft“ für einige wichtige Substanzen (Stand 12.2008) können der Tabelle 1.3 in /4/ entnommen werden.

Bezüglich des CO_2 -Gehalts der Raumluft gelten laut Bundesgesundheitsblatt-Gesundheitsforschung-Gesundheitschutz /5/ Konzentrationen von unter 1.000 ppm als unbedenklich, zwischen 1.000 und 2.000 ppm als auffällig und von mehr als 2.000 ppm als inakzeptabel. Der 1.000 ppm-Wert stimmt mit dem schon von Pettenkofer /6/ vorgeschlagenen und auch heute noch empfohlenen Wert für Wohnungen überein.

Über den Abtransport von Schadstoffen hinaus hat die Lüftung auch die Aufgabe, den Raumluftgehalt an Keimen und pathogenen Mikroorganismen (z. B. Bakterien, Pilze und Viren) sowie an allergenen Bestandteilen im Hausstaub (z. B. Milbenkot, Pilzsporen und Pollen) zu mindern und Geruchsstoffe – vorzugsweise aus Küche und Bad-/WC-Räumen – schnellstmöglich abzuführen.

Um alle Anforderungen mit möglichst geringem Energieeinsatz erfüllen zu können, ist es dabei unerlässlich, Schadstoff-

Emissionen aus Bauwerk, Einrichtungsgegenständen, Raumtextilien, Tapeten und Wandfarben sowie Fußbodenbelägen schon im Vorfeld weitestgehend einzudämmen.

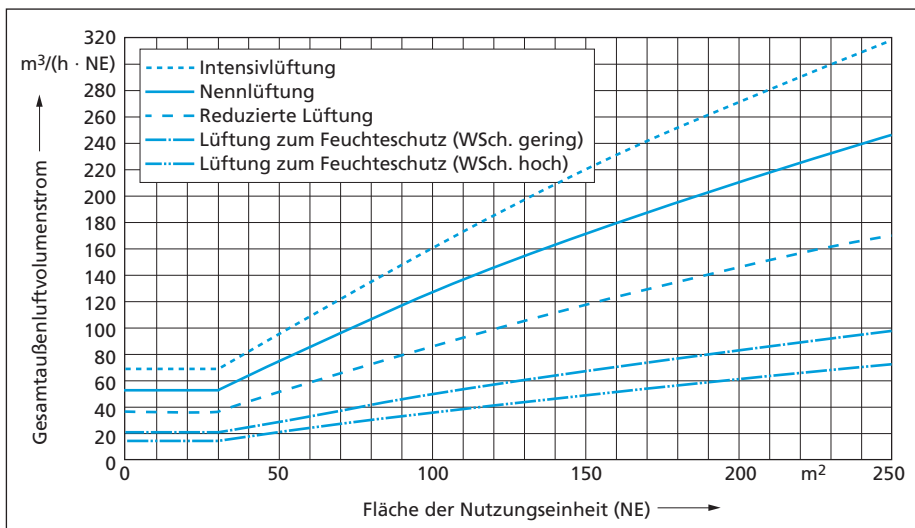
• Sicherung des Verbrennungsluftbedarfs für raumluftabhängige Feuerstätten:

Übliche raumluftabhängige Feuerstätten (z. B. Öfen, Kessel und Wasser-Durchlauferhitzer) sowie Kamine für flüssige, gasförmige oder feste Brennstoffe benötigen Luftsauerstoff zur Verbrennung. Da dessen Zuführung in all den Gebäuden gesichert werden muss, in denen Heizwärme erzeugt oder Warmwasser in derartigen Feuerstätten bereitete wird, ist die Verbrennungsluft-Zuführung ebenfalls eine Lüftungsanforderung, auch wenn sie in DIN 1946-6 nicht behandelt wird. Gelangt die benötigte Verbrennungsluft (z. B. in Gebäuden mit luftdichten Hüllkonstruktionen) nicht in ausreichender Menge in den Aufstellungsraum der Feuerstätte, entstehen durch unvollständige Verbrennung unzulässig hohe Schadstoff-Konzentrationen. Bei diesen stellen Kohlenmonoxid (CO), Stickstoffoxide (NO_x) und polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK), die vor allem bei der Holzverbrennung (Kamine) entstehen, die Hauptrisikofaktoren für akute Gesundheitsgefährdungen dar.

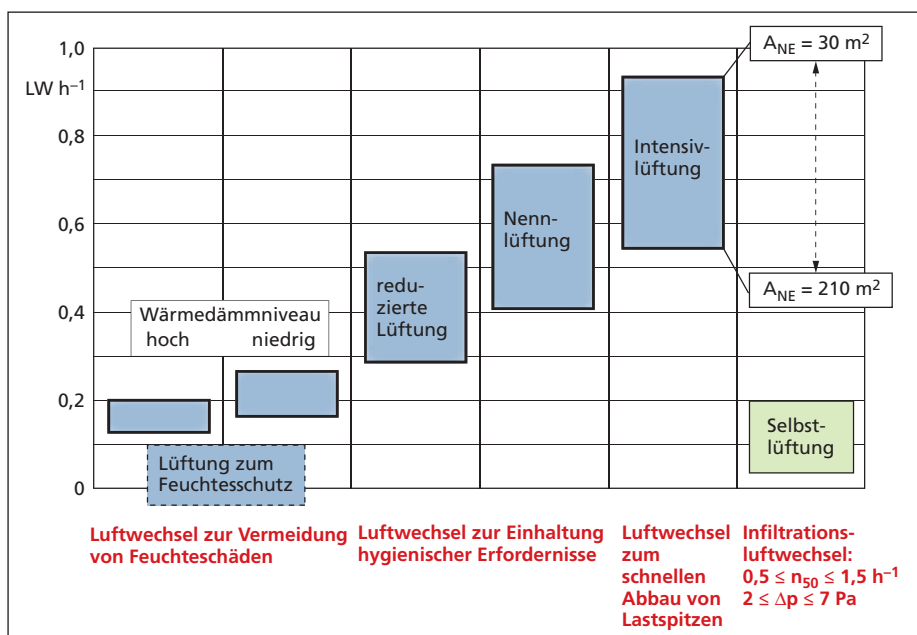
Lüftungssysteme für die Sicherstellung der Anforderungen

Bei den Lüftungssystemen wird in Systeme der freien und der ventilatorgestützten Lüftung mit weiteren Untersystemen gemäß Bild 1 unterschieden. Die im blau unterlegten Rechteck angeführte manuelle Fensterlüftung stellt ebenso wie die Luft-In- und -Exfiltration über nicht vermeidbare Undichtheiten kein eigenständiges Lüftungs-Wirkprinzip dar, auch wenn sie in der Literatur häufig in die zweite Ebene (neben Wind- und Auftriebslüftung) eingeordnet wird.

Das zeitweise zum Lüften manuell geöffnete Fenster fungiert immer nur als temporär wirksamer Außen(wand)-Luftdurchlass, der die momentane Wirksamkeit der Lüftungssysteme verbessern helfen kann. Die Luft-In- und -Exfiltration (häufig auch als „Selbstlüftung“ bzw. „Fugenlüftung“ bezeichnet) stellt als eine über nicht vermeidbare Undichtheiten stattfindende Lüftung neben der Fensterlüftung eine räumlich unterschiedlich wirkungsvolle Ergänzung der planbaren Lüftung dar.



2 – Mindestwerte der Gesamt-Außenluftvolumenströme $q_{v,ges,NE}$ in $\text{m}^3/(\text{h} \cdot \text{NE})$ für die einzelnen Lüftungs-Betriebsstufen in Abhängigkeit von der beheizten Fläche der Wohnung als Nutzungseinheit A_{NE} nach DIN 1946-6 /4/



3 – Bereiche des Gesamt-Außenluftwechsels (LW in h⁻¹) der Lüftungs-Betriebsstufen nach DIN 1946-6 sowie des im Heizperiodenmittel zu erwartenden In- und Exfiltrations-Luftwechsels (als mögliche „Selbstlüftung“) /4/

• Freie Lüftung:

Die freie Lüftung als Wind- und Auftriebslüftung ist wegen der von Zufällen abhängigen natürlichen Einflussfaktoren Wind und Außentemperatur (bzw. Temperaturdifferenz zwischen innen und außen) hinsichtlich ihrer Lüftungswirksamkeit von den momentanen Wetterbedingungen abhängig. Sie ist damit in ihrem zeitlichen Verlauf, der sich bedingt auch an den Jahreszeiten festmachen lässt, mehr oder minder starken Schwankungen unterworfen. Diese können von geplanten Lüftungskomponenten nur dahingehend beeinflusst werden, dass zwar Spitzen abge-

baut, Senken aber nicht kompensiert werden können. Wenn vor allem in Übergangsjahreszeiten wegen der gegenüber der eigentlichen Heizperiode höheren absoluten Außenluftfeuchte die größten Luftmengen für den Feuchteabtransport aus der Wohnung benötigt werden, sind wegen der relativ hohen Außenlufttemperaturen häufig die Antriebskräfte am geringsten.

Die im zeitlichen Mittel zuverlässiger als **Windlüftung** funktionierende **Auftriebslüftung** ist in Wohnungen von mehrgeschossigen Wohngebäuden mit dem Nachteil behaftet, dass ihre Wirksamkeit

zusätzlich von der Höhenlage der jeweiligen Wohnung im Gebäude abhängt. Während mit zunehmender Geschosszuordnung wegen der gleichzeitig abnehmenden Auftriebshöhe auch die Wirkung des thermischen Auftriebs abnimmt, vergrößert er sich entsprechend in den unteren Geschossen. Das kann entweder einen Außenluft-Überschuss unten oder ein Außenluft-Defizit oben zur Folge haben.

Eine nutzerunabhängige freie Lüftung kann deshalb auch bei sorgfältigster Planung und Ausführung nur zeitlich gemittelt den zu stellenden Anforderungen genügen. Das ist zwar hinsichtlich des Risikos für das Auftreten von Schimmelpilz-Wachstum wegen des Zeitkriteriums von fünf Tagen (siehe oben) relativ unkritisch, erfordert aber hinsichtlich hygienischer Erfordernisse trotz getroffener lüftungstechnischer Maßnahmen immer auch noch die aktive Mitwirkung des Nutzers. Das betrifft besonders die Auslegung ausschließlich nach Lüftungs-Betriebsstufe „Lüftung zum Feuchteschutz“ (nach DIN 1946-6), bei der auch die Außen(wand)-Luftdurchlässe nur für diese Betriebsstufe ausgelegt zu werden brauchen.

• Ventilatorgestützte Lüftung:

Im Gegensatz zur freien Lüftung kann mit allen Systemvarianten der ventilatorgestützten Lüftung (Bild 1) ein stabiler, vom Nutzer und von Witterungs- und Wittereinflüssen weitestgehend unabhängiger Lüftungsbetrieb und damit eine so genannte nutzerunabhängige Lüftung während der gesamten Heizperiode sichergestellt werden. Der Lüftungsbetrieb lässt sich darüber hinaus auch noch an

den tatsächlichen, individuell unterschiedlichen nutzerabhängigen Bedarf anpassen (**Bedarfslüftung**). Dadurch kann das Risiko für das Auftreten von Schädigungen von Mensch bzw. Gebäude durch zu hohe Luftfeuchte bzw. Luftschadstoffe minimiert werden. Die technisch machbare Behandlung der zugeführten Außenluft durch Filtern bzw. Erwärmen ermöglicht außerdem die Realisierung einer besseren Raumluftqualität bei gleichzeitiger Verminderung des Zuglufttrisikos.

Durch die Einbindung unterschiedlicher regenerativer Verfahren zur Luftvorwärmung (z. B. Erdwärmeübertrager und Sonnenkollektoren) und Nutzung der Abluftwärme (Wärmerückgewinnung mittels Wärmeübertrager und Zwischenmedium

Tabelle 1

Häufigkeitsverteilung des Schimmelpilzbefalls in 5.530 Wohnungen, in Prozent

Repräsentative Untersuchung im Winterhalbjahr 2000/01 /4/

Schimmelpilzbefall		Gesamtbefall		Befall abzüglich Sanitärzugen	
Anzahl der Wohnungen		513 (9,3 %)		428 (7,7 %)	
Wohnen/Schlafen	Schlafzimmer	19,0	42,3	22,3	48,2
	Kinderzimmer	8,9		9,7	
	Wohnzimmer	9,9		10,7	
	sonstige	4,5		5,5	
Sanitär/Küche	Bad/WC	41,8	57,7	34,6	51,8
	WC	2,3		2,4	
	Küche	11,9		13,3	
	sonstige	1,7		1,5	

bzw. Wärmepumpe) kann zudem das Energieeinspar-Potenzial gegenüber jeglicher Form der freien Lüftung vergrößert werden.

Außenluftbedarf bzw. Außenluftwechsel für die Wohnungslüftung

Der Außenluftbedarf bzw. Außenluftwechsel resultiert aus den oben aufgeführten Anforderungen an die Wohnungslüftung. Er wird national nach DIN 1946-6 und bei Vorhandensein von „Bädern und Toilettenräumen ohne Außenfenster“ zusätzlich auch nach DIN 18017-3 ermittelt (weitere Euronorm-(EN-) und American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers-(ASHRAE-)Empfehlungen siehe /4/).

Nach DIN 1946-6 setzt sich der Gesamt-Außenluftvolumenstrom $q_{v,ges}$ gemäß Gl. (1)

$$q_{v,ges} = q_{v,LtM} + q_{v,Inf,wirk} \{ + q_{v,Fe,wirk} \} \quad (1)$$

Darin sind $q_{v,LtM}$ der Luftvolumenstrom mittels freier oder ventilatorgestützter lüftungstechnischer Maßnahmen, $q_{v,Inf,wirk}$ der wirksame Luftvolumenstrom durch Luft-In- und -Exfiltration („Selbstlüftung“) und $q_{v,Fe,wirk}$ der wirksame Luftvolumenstrom durch {nicht planbares} zusätzliches manuelles Fensteröffnen.

Für Auslegung und Betrieb wird in folgenden Lüftungs-Betriebsstufen unterschieden:

- **Lüftung zum Feuchteschutz:** „*Notwendige Lüftung zur Sicherstellung des Bautenschutzes (Feuchte) unter üblichen Nutzungsbedingungen bei teilweise reduzierten Feuchtelasten; z. B. zeitweilige Abwesenheit der Nutzer und kein Wäschetrocknen in der Nutzungseinheit*“ (Minimalbetrieb Feuchte)
- **Reduzierte Lüftung:** „*notwendige Lüftung zur Sicherstellung der hygienischen Mindestanforderungen sowie des Bautenschutzes (Feuchte) unter üblichen Nutzungsbedingungen bei teilweise reduzierten Feuchte- und Stofflasten; z. B. infolge zeitweiliger Abwesenheit von Nutzern*“ (Minimalbetrieb Hygiene)
- **Nennlüftung:** „*Notwendige Lüftung zur Sicherstellung der hygienischen Anforderungen sowie des Bautenschutzes bei Anwesenheit der Nutzer (Normalbetrieb)*“
- **Intensivlüftung:** „*zeitweilig notwendige Lüftung mit erhöhtem Luftvolumenstrom zum Abbau von Lastspitzen (Lastbetrieb)*“.

Die Ermittlung von $q_{v,ges}$ (einschließlich der jeweiligen Luft-In- und -Exfiltrations-

werte) für eine Wohnung bzw. Nutzungseinheit ($q_{v,ges,NE}$) erfolgt für die Lüftungs-Betriebsstufe Nennlüftung mit $f_{BS,NL} = 1$ in Abhängigkeit von der beheizten Wohnfläche A_{NE} in m^2 nach Gl. (2):

$$q_{v,ges,NE,NL} = f_{BS} (-10^{-3} \cdot A_{NE}^2 + 1,15 \cdot A_{NE} + 20) \quad (2)$$

Die jeweilige Menge Außenluft für die weiteren Lüftungs-Betriebsstufen wird nach DIN 1946-6 durch die Faktoren für die Lüftungsbetriebsstufen f_{BS} wie folgt bestimmt (siehe auch Bild 2):

• Lüftung zum Feuchteschutz (LF):

$f_{BS,FL} = 0,3$ (Wärmeschutz des Gebäudes hoch, d. h. mindestens nach WSchV95)

$f_{BS,FL} = 0,4$ (Wärmeschutz gering, entspricht nicht modernisiertem Bestandsgebäude)

• **Reduzierte Lüftung (RL):** $f_{BS,RL} = 0,7$ und

• **Intensivlüftung (IL):** $f_{BS,IL} = 1,3$.

Unterhalb von $A_{NE} = 30 m^2$ bleibt dabei der Gesamt-Außenluftvolumenstrom unabhängig von der Fläche konstant, oberhalb von $A_{NE} = 210 m^2$ darf er „in geeigneter Weise“ an die geplante Nutzung, z. B. nach Gl. (2), angepasst werden.

Der für den Betrieb von raumluftabhängigen Feuerstätten erforderliche Verbrennungsluftbedarf wird in DIN 1946-6 nicht geregelt und findet deshalb in Gl. (2) auch keine Berücksichtigung.

Weil mit wachsender Größe der Wohnungen selten auch vergleichbar mehr Personen mit Außenluft versorgt werden müssen, sind alle Beziehungen für den Luftvolumenstrom nach Gl. (2) keine Geraden (mehr), sondern weisen eine leichte Abflachung auf (Bild 2). Das hat den gewünschten Effekt, dass die Vorgaben für den Luftwechsel nicht mehr konstanten Werten entsprechen. Sie nehmen mit zunehmender Größe der Wohnung ab und betragen z. B. bei Nennlüftung für Wohnungen mit $A_{NE} = 210 m^2$ nur noch $n_{NE} = 0,41 h^{-1}$ gegenüber $n_{NE} = 0,54 h^{-1}$ bei $A_{NE} = 70 m^2$ (Bild 3).

Die Auslegung von Lüftungsanlagen bzw. -geräten erfolgt nach DIN 1946-6 auf der Basis von Luftvolumenströmen. Zur Information und zu Vergleichszwecken vermittelt Bild 3 zusätzlich einen Überblick über den entsprechenden Luftwechsel für den Flächenbereich von $(30 \leq A_{NE} \leq 210) m^2$ bei $h_{R,m} \approx 2,5 m$ mittlerer Raumhöhe. Auch der im (Heizperioden-)Mittel zu erwartende In- und Exfiltrations-Luftwechsel für den Bereich der Gebäudedichtheit entsprechend $(0,5 \leq n_{50} \leq 1,5) h^{-1}$ bei den natürlichen (Antriebs-)Differenzdrücken infolge Wind-

und thermischer Auftriebswirkung im Bereich von $(2 \leq \Delta p \leq 7) Pa$ ist dargestellt. Die untere Bereichsgrenze des Luftwechsels durch „Selbstlüftung“ gilt dabei für $\Delta p = 2 Pa$ bei $n_{50} = 0,5 h^{-1}$ und die obere für $\Delta p = 7 Pa$ bei $n_{50} = 1,5 h^{-1}$. Der durch „Selbstlüftung“ im Mittel erzielbare Außenluftwechsel liegt damit wie zu erwarten überwiegend unterhalb des zur Vermeidung von Feuchteschäden erforderlichen.

Für die nutzerunabhängige Sicherstellung der Wohnungslüftung mit Hilfe der freien Lüftung oder der ventilatorgestützten Unter- bzw. Überdrucklüftung sind im Außenwand-/Fensterbereich Lüftungskomponenten in Form von Außen(wand)-Luftdurchlässen als so genannte „lüftungstechnische Einrichtungen zur freien Lüftung“ bzw. als Nach- bzw. Abströmmöglichkeiten für die ventilatorgestützte Lüftung notwendig. Solcherart lüftungstechnische Maßnahmen sorgen dafür, dass die „früher“ gewährleistete **Undichtigkeit** der Gebäude insgesamt mit ihrer zwischen den einzelnen Räumen stark differierenden „Selbstlüftung“ durch eine definierte, raumbezogene **Luftdurchlässigkeit** ersetzt werden kann.

Im zweiten Teil (Juni-Heft) wird sowohl auf diese Art von Lüftungskomponenten im Außenwand- und Fensterbereich als auch auf solche zwischen den einzelnen Räumen eingegangen.



Literatur

- /1/ Hartmann, Th.; Reichel, D.: Schimmelpilzbefindiger Mindestluftwechsel – Ergebnisse einer Studie zur Raumluftqualität. In: Bauphysik 24 (2002), Nr. 1, S. 41 – 44
- /2/ Brasche, S.; Heinz, E.; Hartmann, Th.; Richter, W.; Bischof, W.: Vorkommen, Ursachen und gesundheitliche Aspekte von Feuchteschäden in Wohnungen. In: Bundesgesundheitsblatt – Gesundheitsforschung – Gesundheitsschutz 2003, 46, S. 683 – 693
- /3/ Heinz, E.; Brasche, S.; Hartmann, Th.; Richter, W.; Bischof, W.: Feuchtigkeitschäden einschließlich Schimmelpilzwachstum in deutschen Wohnungen. In: AIRtec 02 (2004) 1, S. 6 – 15 und Moderne Gebäudetechnik 58 (2004) 11, S. 24 – 30
- /4/ Heinz, E.: Wohnungslüftung – frei und ventilatorgestützt. 2., vollständig überarbeitete und erweiterte Auflage 2011. Beuth Verlag Berlin, Wien, Zürich
- /5/ Bundesgesundheitsblatt – Gesundheitsforschung – Gesundheitsschutz 2008, 51, S. 1358 – 1365
- /6/ Pettenkofer, M.: Besprechung allgemeiner auf die Ventilation bezüglicher Fragen. In: Über den Luftwechsel in Wohngebäuden, S. 69 – 126 – J. G. Cottasche Buchhandlung, 1858