

Dicke Luft im Niedrigenergiehaus

LUFTWECHSEL NICHT ZU KNAPP BEMESSEN In Niedrigenergiehäusern mit ihrer typischen luftdichten Bauweise sind mechanische Lüftungsanlagen unabdingbar, um eine hygienisch einwandfreie Umgebung sicherzustellen. Um den Energieverbrauch weiter zu verringern, ist im Rahmen der europäischen Normung eine Reduzierung der Außenluftmengen vorgesehen. Dies ist jedoch nicht zielführend und bereitet den Weg zum Sick-Building-Syndrom 2.0. Sinnvoller ist es, die erforderlichen Luftmengen mithilfe der bewährten Technik der Wärmerückgewinnung hocheffizient bereitzustellen. Prof. Dr.-Ing. Ulrich Pfeiffenberger

Bei der Lüftung von Räumen sind drei Grundaufgaben zu erfüllen: die Atemluftversorgung, das Abführen von VOC-Substanzen und die Feuchtigkeitsabfuhr zur Vermeidung von Schimmelpilzbildung.

Für eine hygienisch einwandfreie Umgebung zum Wohnen und Arbeiten genügt es nicht, die Lüftung auf die Atemluftversorgung (s. Abb. 1) zu beschränken. In Nichtwohngebäuden ist für Büronutzung ein mindestens 2-facher Luftwechsel erforderlich, d.h. dass die Luft in einem Raum in einer Stunde zweimal ausgetauscht werden muss. Für Sondernutzungsflächen, z.B. Konferenzräume, ist dieser Wert entsprechend der Belegungsdichte zu erhöhen. Für Wohngebäude sollte in den Hauptnutzungsflächen Wohnen und Schlafen ein 1-facher Luftwechsel realisiert werden. Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung stellen diese Luftmengen hocheffizient bereit. Die Reduzierung der Außenluftmengen im Rahmen der europäischen Normung ist bezüglich der Hygiene nicht zielführend.

Einflussgrößen auf die Luftqualität in Räumen

Gebäude dienen der Bereitstellung einer vom Außenklima unabhängigen Umgebung zum Wohnen, Arbeiten oder zum Produzieren von Gütern. Die anzustrebende Raumumgebung wird mit den Sammelbegriffen „Behaglichkeit“ oder „Raumkomfort“ beschrieben. Hierzu gehören die physikalisch definierten Größen

- Lufttemperatur
- Luftfeuchte

	Kat I	Kat II	Kat III
Atemluft gem. EN 15251 [m ³ /hP]	36	25,2	14,4
Fläche [m ² /P]	10	10	10
Lichte Raumhöhe [m]	2,75	2,75	2,75
Atemluftwechsel	1,31	0,92	0,52
Erwarteter Prozentsatz Unzufriedener	15 %	20 %	30 %

1 Atemluftwechsel für Nichtwohngebäude und Büronutzung

ÜBERSICHT

- 16 Luftwechsel nicht zu knapp bemessen:** Voraussetzung für eine hygienisch einwandfreie Wohn- und Arbeitsumgebung ist ein ausreichender Luftaustausch. Fehlt er, führt das zur dicken Luft im Niedrigenergiehaus.
- 22 KWL-Geräte für Nichtwohngebäude:** Die Marktübersicht stellt eine Auswahl von Systemen zur kontrollierten Lüftung mit Wärmerückgewinnung für Einsatzbereiche wie öffentliche Gebäude, Schulen oder Bürogebäude vor.
- 28 Praxiswissen:** Experten beantworten Fragen von Energieberatern zu den Themen Lüftung und Luftdichtheit.

□ GEB Dossier

Weitere Beiträge zum Thema Lüftung finden Sie in unserem Dossier unter www.geb-info.de, Webcode 1292.

- Luftgeschwindigkeit
- Luftqualität
- Oberflächentemperatur von Wänden und Fenstern, aber auch eine Vielzahl von „weichen“ Faktoren, z.B.
- visueller Komfort
- akustischer Komfort
- Betriebsklima

Von besonderer Bedeutung ist der Luftaustausch mit der Umgebung. Die verbrauchte Luft muss aus den Räumen abgeführt und durch „frische“ Luft von außen ersetzt werden. Weil die Umgebungsluft vorbelastet sein kann, wird in der Lüftungstechnik anstatt „Frischluft“ der Begriff „Außenluft“ verwendet. Der vorliegende Beitrag befasst sich ausschließlich mit der Luftqualität. Sie wird durch den Gehalt an Kohlendioxid und Luftschadstoffen sowie durch Schimmelpilze beeinflusst.

CO₂-Konzentration begrenzen

Kohlendioxid (CO₂) ist ein geruchloses, unsichtbares Gas. In Räumen, in denen sich Personen aufhalten, steigt durch die Atmung der Menschen die Kohlendioxid-Konzentration. Ein zu hoher CO₂-Gehalt führt zu Kopfschmerzen, Müdigkeit, Schwindel und Konzentrationsschwäche. Leider zeigen die Angaben in der Fachliteratur über akzeptable CO₂-Konzentrationen in der Umgebungsluft des Menschen ein heterogenes Bild. In den Bekanntmachungen des Umweltbundesamtes [1] finden sich die in **Abb. 2** zusammengestellten Werte. Andere Quellen halten teilweise deutlich höhere CO₂-Konzentrationen für annehmbar.

Die EN 15251 [3] bezieht die zugelassene CO₂-Konzentration in Räumen auf die Differenz zur Außenluftkonzentration und teilt sie in drei Kategorien ein. Aus **Abb. 3** wird ersichtlich, dass die Kategorien I und II heranzuziehen sind, wenn Unzufriedenheitsraten unter 20 % angestrebt werden. Für Kategorie III gibt die Norm bereits eine Unzufriedenheitsrate von 30 % an. Bei einer Außenluftkonzentration von 400 ppm beträgt die CO₂-Konzentration der Raumluft ca. 1200 ppm und ist gemäß UBA „auffällig“.

Im Zuge der europäischen Harmonisierung der Normen wird die EN 15251 in das Normenwerk EN 16798 Teil 1-2 über-

CO ₂ -Konzentration	Bewertung des UBA
< 1000 ppm	unbedenklich
> 1000–2000 ppm	auffällig
> 2000 ppm	inakzeptabel

2 Bewertung des CO₂-Gehaltes der Raumluft durch das Umweltbundesamt [1]

Kat. gem. EN 15251	CO ₂ -Konzentration im Raum	Zu erwartende Unzufriedenheitsrate
I	Außenluftkonzentration + 350 ppm	15 %
II	Außenluftkonzentration + 500 ppm	20 %
III	Außenluftkonzentration + 800 ppm	30 %

Die CO₂-Außenluftkonzentration liegt derzeit bei 400 ppm

3 Kategorien der CO₂-Konzentration im Raum gemäß EN 15251 [3]

geführt. Dort werden deutlich höhere Raumluftkonzentrationen bis 3000 und sogar bis zu 4000 ppm CO₂ kategorisiert.

Luftschadstoffe abführen

Beim Festlegen der Außenluftstraten für Räume ist nicht nur die Atemluftversorgung, sondern auch die Abfuhr von Luftschadstoffen sicherzustellen. Viele Baumaterialien und Einrichtungsgegenstände dünst flüchtige organische Verbindungen (VOC) aus. Zu den VOC gehören z.B. Kohlenwasserstoffe, Alkohole, Aldehyde und organische Säuren. Lösungsmittel sowie organische Verbindungen aus biologischen Prozessen zählen ebenfalls dazu. Leider lässt sich für VOC-Gemische eine Beziehung zwischen Konzentration und Wirkung nicht schlüssig belegen. Aus diesem Grunde ist die in **Abb. 4** darge-

stellte Kategorisierung durch das Umweltbundesamt als hygienischer Vorsorgebereich zu verstehen [2].

Schimmelpilzwachstum verhindern

Als weitere Anforderung an die Lüftung tritt zunehmend das Verhindern von Schimmelpilzwachstum in den Vordergrund. Der Mensch atmet pro Stunde ca. 50 g Wasserdampf aus, der die Raumluft mit Feuchtigkeit anreichert. Weitere Feuchtigkeitsquellen sind das Kochen, Duschen, Waschen, Wäschetrocknen und die Wasserdampfabgabe von Topfpflanzen.

Trifft Luft mit hoher relativer Feuchtigkeit auf Bauteile mit niedriger Temperatur, z.B. an einer Wärmebrücke, fällt der Wasserdampf tröpfchenförmig aus und schlägt sich an diesen Stellen nieder. Das Wasser wiederum ist der ideale Nährboden für Schimmelpilze, deren Sporen stets in der Luft vorhanden sind. Schimmelpilze stellen für die Raumnutzer ein erhebliches Gesundheitsrisiko dar.

Durch Lüftungsmaßnahmen wird Feuchtigkeit aus den Räumen abgeführt. Dieser Abtransport überflüssiger Feuchte ist die dritte Grundaufgabe der Lüftungstechnik.

Niedrigenergiehäuser und Lüftung

Bei Niedrigenergiehäusern ist der Wärmebedarf für Transmission und Lüftung im Vergleich zur herkömmlichen Bauweise drastisch zurückgegangen (s. Abb. 5). Im Vergleich zum Baustandard von 1970 hat sich der Transmissionswärmebedarf bei Gebäuden in Niedrigenergie-Bauweise um ca. 80 % verringert. Erreicht wurde dies durch Wärmedämmmaßnahmen und verbesserte Fenster-Wärmedurchgangskoeffizienten.

Beim Lüftungswärmebedarf fallen die Einsparungen mit rund 40 % deutlich geringer aus, weil der erforderliche Luftwechsel sichergestellt werden muss. In herkömmlichen Gebäuden erfolgt die Lüftung zu einem erheblichen Teil durch Undichtigkeiten in der Gebäudehülle, insbesondere in den Fensterfugen. Für neue Gebäude fordert die EnEV eine luftundurchlässige wärmeübertragende Umfassungsfläche und ein Lüftungskonzept. In § 6 der EnEV 2014 werden Anforderungen an die Luftdichtheit des Gebäudes beschrieben (s. Infokasten). In Anlage 4 gibt die EnEV für Luftdichtheitsmessungen nach dem Verfahren B bei einer Druckdifferenz von 50 Pa zwischen innen und außen Werte an, die nicht überschritten werden dürfen:

- 3,0 h⁻¹ bei Gebäuden mit einem Luftvolumen bis 1500 m³ und ohne raumluftechnische Anlagen
- 1,5 h⁻¹ bei Gebäuden mit einem Luftvolumen bis 1500 m³ und mit raumluftechnischen Anlagen
- 4,5 h⁻¹ bei Gebäuden mit einem Luftvolumen über 1500 m³ und ohne raumluftechnische Anlagen
- 2,5 h⁻¹ bei Gebäuden mit einem Luftvolumen über 1500 m³ und mit raumluftechnischen Anlagen.

Die angegebenen Luftwechselzahlen stellen Maximalwerte dar, die nur bei Luftdichtheitsmessungen oder bei starkem Wind erreicht werden. Allerdings wurden bei alten Gebäuden infolge der Undichtigkeiten der Gebäudehülle höhere Luftwechselzahlen gemessen. In Wärmebedarfsberechnungen wird bei Wohngebäuden davon ausgegangen, dass ein 0,5-facher Luftwechsel zu gewährleisten ist.

Für die meisten Niedrigenergiehäuser sind mechanische Be- und Entlüftungssysteme zur Erzeugung der erforderli-

VOC-Konzentration	UBA-Bewertung
0,2–0,3 mg/m ³	Zielwert für das Langzeit-Mittel
1–3 mg/m ³	Zielwert für Räume zum längerfristigen Aufenthalt
10–25 mg/m ³	Wert allenfalls vorübergehend täglich zumutbar
ab 8 mg/m ³	Reizungen an Auge und Nase möglich
ab 25 mg/m ³	Entzündungsreaktionen und Einschränkungen der Lungenfunktion möglich

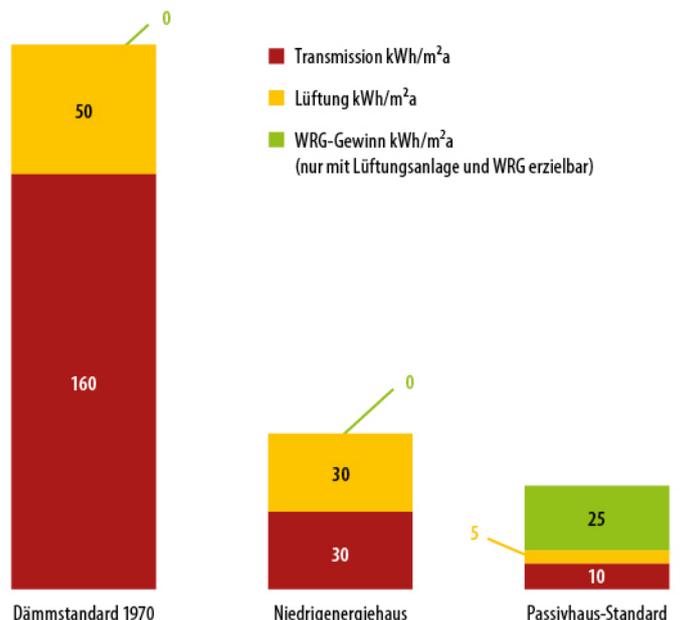
4 Kategorisierung der VOC-Konzentrationen durch das Umweltbundesamt [2]

chen Luftvolumenströme unverzichtbar. Werden Anlagen mit Wärmerückgewinnung (WRG) eingesetzt, lassen sich auch im Bereich Lüftung Energieverbrauchsreduktionen erzielen, die vergleichbar mit denen im Bereich Transmission sind.

Niedrigenergiegebäude zeichnen sich also durch einen wesentlich geringeren Transmissionswärmebedarf und eine dichtere Gebäudehülle aus. An die Bauausführung werden hohe Anforderungen gestellt, um die beabsichtigten Verbrauchsreduktionen auch tatsächlich zu gewährleisten und um Bauschäden, z.B. durch Schimmelpilzbildung, zu vermeiden.

Inzwischen wird der Themenkomplex der Lüftung energieeffizienter Gebäude auch außerhalb der Lüftungs- und Klimatechnik erörtert. Beispielhaft sei hierzu der Aufsatz „Gesund (über-)Leben in energieeffizienten Gebäuden“ [5] genannt.

Auf die Notwendigkeit, eine Lüftung für Niedrigstenergiehäuser sicherzustellen, hat jüngst die EU-Kommission hingewiesen [8]. Die schrittweise Verschärfung der Mindestanforderungen an die Gesamtenergieeffizienz sollte mithilfe geeigneter Strategien zur Verbesserung des Innenraumklimas gemeinsam vorangetrieben werden.



5 Entwicklung des Transmissions- und des Lüftungswärmebedarfs

EnEV-Anforderungen an die Luftdichtheit von Gebäuden

EnEV 2104, § 6 Dichtheit, Mindestluftwechsel

- (1) Zu errichtende Gebäude sind so auszuführen, dass die wärmeübertragende Umfassungsfläche einschließlich der Fugen dauerhaft luftundurchlässig entsprechend den anerkannten Regeln der Technik abgedichtet ist. [...]
- (2) Zu errichtende Gebäude sind so auszuführen, dass der zum Zwecke der Gesundheit und Beheizung erforderliche Mindest-Luftwechsel sichergestellt ist.

Bestimmung der erforderlichen Luftmengen

Zur Bemessung der Lüftung können die EN 15251 [3] sowie die DIN 1946-2 [6] herangezogen werden. Während für Luftmengenbemessungen in Wohngebäuden beide Normen gelten, kann für Nichtwohngebäude nur EN 15251 angewendet werden. **Abb. 6** zeigt personenbezogene Luftmengen sowie die erforderliche Luftmenge zur Schadstoffabfuhr (VOC). Zur Bestimmung der erforderlichen Außenluftmenge sind die berechneten Einzelmengen zu addieren.

In **Abb. 7** sind Berechnungsergebnisse für das Beispiel eines Bürogebäudes mit einer Person je 10 m² und der lichten Raumhöhe 2,75 m dargestellt. Mit einer für Bürogebäude typischen Bemessungs-Luftmenge von 6 m³/hm² bzw. einer Luftwechselzahl 2 h⁻¹ ist demnach eine Unzufriedenheitsrate von weniger als 20 % zu erwarten. In der Praxis ist die Unzufriedenheitsrate jedoch geringer. Hauptgrund dürfte die tatsächlich geringere Belegungsichte

von ca. 12 bis 15 m²/Person in Verbindung mit den Reinigungsmaßnahmen in den Räumlichkeiten sein, die die schadstoffarme Umgebung in Richtung sehr schadstoffarm verschieben können.

Eine alternative Möglichkeit zur Luftmengenbestimmung ist die Massebilanz der Schadstoffe, für die oft der CO₂-Gehalt als Kriterium zugrunde gelegt wird. Durch die kontinuierliche Messung der CO₂-Konzentration im Raum kann die zugeführte Außenluftmenge auf das Mindestmaß begrenzt werden, man spricht dann von Bedarfslüftung. Besser als CO₂-Sensoren sind Mischgassensoren geeignet, um die Bedarfslüftung auf die tatsächlich entstehenden Schadstoffe ausrichten zu können.

Bei der Wohnungslüftung wird die unterschiedliche Wertigkeit der Räume hinsichtlich des Anspruchs an die Luftqualität berücksichtigt: Die Frischluft wird in die Wohn- und Schlafräume eingebracht, die Abluft wird aus den Nassräumen (Bäder, Küche, Toiletten) abgesaugt. Die Nennluftmengen gemäß DIN 1946-6 beziehen sich auf die gesamte Fläche einer Wohnung bzw. eines Hauses. Die Luftwechselzahlen liegen bei 0,5 h⁻¹. Daraus ergibt sich eine personenbezogene Luftmenge, die mit dem Wert für Nichtwohngebäude vergleichbar ist. Der Bürobelegungsichte von ca. 10 m²/Person steht im Wohnbereich eine Fläche von ca. 45 m²/Person gegenüber.¹⁾ Bei der Wohnungslüftung unterscheidet man

- Lüftung zum Feuchteschutz: Der Luftvolumenstrom zum Feuchteschutz befördert die mindestens erforderliche Außenluftmenge in die Räume, erfüllt jedoch nicht das Kriterium der ausreichenden Luftzufuhr für die Wohnungs-

1) Laut Statistischem Bundesamt betrug 2014 die durchschnittliche Wohnfläche 46,5 m²/Person, 1991 lag sie noch bei 34,9 m²/Person.

Kategorie	Luftmenge je Person (NWG und WG)	Luftmenge für Verunreinigungen durch Gebäudeemissionen (NWG)			Erwarteter Prozentsatz Unzufriedener
		sehr schadstoffarme Gebäude	schadstoffarme Gebäude	nicht schadstoffarme Gebäude	
	m ³ /hP	m ³ /hm ²	m ³ /hm ²	m ³ /hm ²	%
I	36,00	1,80	3,60	7,20	15
II	25,20	1,26	2,52	5,04	20
III	14,40	0,72	1,44	2,88	30

Die personenbezogene Luftmenge gilt auch für Wohngebäude, allerdings nur für Wohn- und Schlafzimmer (Zuluft)

6 Luftmengen für Personen in Nichtwohngebäuden (NWG) und Wohngebäuden (WG) sowie aufgrund der Gebäudeemissionen (in NWG) nach EN 15251

Kategorie	Personenbezogene Luftmenge	Luftmenge für NWG 10 m ² /Person und schadstoffarmes Gebäude	Summe der Luftmengen = erforderliche Luftmenge für 10 m ²	flächenbezogene Luftmenge	Luftwechselzahl bei der lichten Raumhöhe 2,75 m	Erwarteter Prozentsatz Unzufriedener
	m ³ /h	m ³ /h	m ³ /h	m ³ /hm ²	1/h	%
I	36,0	36,0	72,0	7,2	2,6	15
II	25,2	25,2	50,4	5,04	1,8	20
III	14,0	14,4	28,8	2,88	1,0	30

7 Beispiel einer Luftmengenberechnung für ein Nichtwohngebäude (NWG) mit 10 m²/Person und einer lichten Raumhöhe von 2,75 m

nutzer. Gebäude mit gutem Wärmeschutz (ab Baujahr 1995) benötigen einen geringeren Luftvolumenstrom zur Feuchtigkeitsabfuhr als ältere Gebäude mit ungenügendem Wärmeschutz (s. Abb. 8).

- Infiltrationslüftung: Der Infiltrationsluftvolumenstrom ergibt sich aus dem Winddruck auf das Gebäude, der Dichtheit der Fensterfugen und der Bauart ein- oder mehrgeschossig. Bei mehrgeschossigen Wohneinheiten ist er höher als bei eingeschossigen.
- Nennlüftung: Die Nennluftmenge dient zur Bemessung des Lüftungssystems.

In Abb. 9 sind Volumenströme für verschiedene Wohnungsgrößen dargestellt. Das Diagramm zeigt die Streubreite der Infiltrationsluftmengen, die sich aus den genannten Einflussgrößen ergeben sowie den enormen Unterschied zwischen der Nennluftmenge und dem erforderlichen Volumenstrom zum Feuchteschutz bei hohem Wärmeschutz.

Zur Sicherstellung einer hygienisch ausreichenden Luftversorgung sollte wie bereits erwähnt bei Nichtwohngebäuden ein 2-facher und bei Wohngebäuden ein 0,5-facher Außenluftwechsel, jeweils bezogen auf die Hauptnutzungsflächen nicht unterschritten werden. Bei einem Anteil der Wohngebäude-Hauptnutzungsfläche von 50 % ist somit ein 1-facher Luftwechsel für diese Räume vorzusehen.

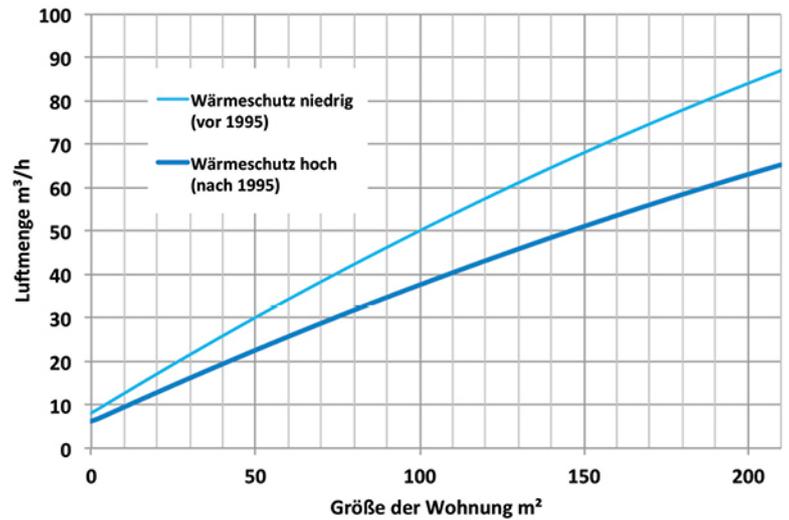
Mechanische Lüftung oder freie Lüftung

Die Entscheidung für eine „Mechanische Lüftung“ oder die „Freie Lüftung“ ist für Wohngebäude mithilfe des Entscheidungsbaumes des Beiblattes 2 der DIN 1946-6 [6] zu treffen.

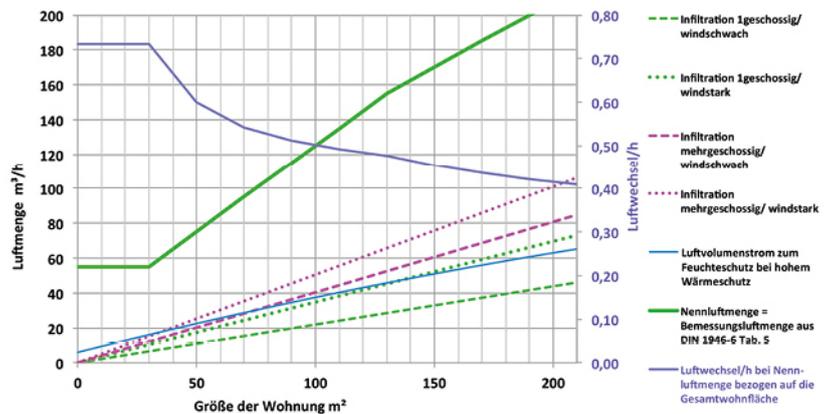
Wenn der Infiltrationsvolumenstrom größer ist als der Volumenstrom zum Feuchteschutz, ist die freie Lüftung möglich. Allerdings muss der Gebäudenutzer dann zur Sicherstellung einer ausreichenden Luftversorgung regelmäßig die Fenster öffnen. Dies ist die energetisch ungünstigste Luftversorgung. Mit einer für den Nennvolumenstrom bemessenen Lüftungsanlage wer-

den die genannten Anforderungen an die Luftqualität erfüllt. Das Gebäude kann dichter gebaut werden und die Notwendigkeit des Fensteröffnens erübrigt sich.

Leider gibt es für Nichtwohngebäude keine mit der DIN 1946-6 vergleichbare Verfahrensanweisung. Die einschlägigen Normen- und Regelwerke zur Lüftung gelten erst, nachdem die Entscheidung für eine mechanische Lüftung gefallen ist. Zur Überprüfung, ob bei einem Nichtwohngebäude eine mechanische Lüftung er-



8 Luftmenge für den Feuchteschutz von Wohnungen gemäß DIN 1946-6



9 Luftmenge für Wohngebäude gemäß DIN 1946-6

System	Kriterium 1	Kriterium 2	Kriterium 3
	Maximal zulässige Raumtiefe bezogen auf die lichte Raumhöhe (h) [m]	Öffnungsfläche zur Sicherung des Mindestluftwechsels	
		für kontinuierliche Lüftung [m²/anzwesende Person]	für Stoßlüftung [m²/10 m² Grundfläche]
System I: einseitige Lüftung	Raumtiefe = 2,5 x h (bei h>4 m: max. Raumtiefe 10 m) (angenommene Luftgeschwindigkeit im Querschnitt = 0,08 m/s)	0,35	1,05
System II: Querlüftung	Raumtiefe = 5,0 x h (bei h>4 m: max. Raumtiefe 20 m) (angenommene Luftgeschwindigkeit im Querschnitt = 0,14 m/s)	0,2	0,6

Die angegebenen Öffnungsflächen sind die Summe aus Zu- und Abluftflächen

10 Prüfen der Notwendigkeit von Lüftungsanlagen für Nichtwohngebäude gemäß ASR 3.6

forderlich ist, liefert nur die Technische Regel für Arbeitsstätten ASR A3.6 Hinweise [7]. Diese sind in **Abb. 10** zusammengestellt.

Schließlich ist noch auf einen wichtigen Vorteil der mechanischen Lüftung hinzuweisen. Durch entsprechend positionierte und ausgebildete Zu- und Abluftdurchlässe kann eine gleichmäßige Luftverteilung und damit eine gleichmäßig hohe Luftqualität in den Aufenthaltszonen der Räume erreicht werden. Mit der freien Lüftung besteht diese Möglichkeit nur sehr eingeschränkt, da die Luftmengen und deren Verteilung wesentlich von den Windverhältnissen und damit vom Zufall abhängen.

Schlussbemerkungen

Um eine hygienisch einwandfreie Wohn- und Arbeitsumgebung zu erreichen, genügt es nicht, die Atemluftversorgung von 3,6 l/s/Person bzw. 14,4 m³/h sicherzustellen. In den Haupt-Aufenthaltsbereichen von Büro- und Wohngebäuden sollten Außenluftwechselzahlen von 2,0 h⁻¹ bzw. 1,0 h⁻¹ vorgesehen werden.

Im Zuge der europäischen Normung gibt es Bestrebungen, zur Reduzierung des Energieeinsatzes geringere Werte zuzulassen. Der erfahrene Lüftungsfachmann erinnert sich noch an das Sick-Building-Syndrom (SBS), das hauptsächlich durch zu geringe Außenluftmengen verursacht wurde. Eine Entwicklung, die sich in diese Richtung bewegt, ist im Hinblick auf die Hygiene kritisch zu hinterfragen und aus energetischer Sicht nicht erforderlich.

Höhere Außenluftmengen können hocheffizient mit Lüftungsanlagen in Verbindung mit Wärmerückgewinnungseinrichtungen bereitgestellt werden. ■

Literaturverzeichnis

- [1] „Gesundheitliche Bewertung von Kohlendioxid in der Innenraumluft“, Bekanntmachung des Umweltbundesamtes im Bundesgesundheitsblatt – Gesundheitsforschung – Gesundheitsschutz 2008, S. 1358-1369, www.bit.ly/geb1215
- [2] Seifert, B.: „Richtwerte für die Innenraumluft – Die Beurteilung der Innenraumluftqualität mit Hilfe der Summe der flüchtigen organischen Verbindungen (TVOC-Wert)“, Umweltbundesamt im Bundesgesundheitsblatt – Gesundheitsforschung – Gesundheitsschutz 1999, S. 270–278, www.bit.ly/geb1273
- [3] EN 15251: „Eingangsparameter für das Raumklima zur Auslegung und Bewertung der Energieeffizienz von Gebäuden – Raumluftqualität, Temperatur, Licht und Akustik“, Mai 2007
- [4] EN 16798-1 Draft 9: „Guideline for using indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings“, Mai 2016 (Entwurf)
- [5] Wiesmüller, G. A. und J. Hurraß: „Gesund (über-)Leben in energieeffizienten Gebäuden – über die Bedeutung des Luftwechsels“, DIB/Deutsches Ingenieurblatt, Mai 2016, S. 6.2–6.5
- [6] DIN 1946-6: „Lüftung von Wohnungen – Allgemeine Anforderungen, Anforderungen zur Bemessung, Ausführung und Kennzeichnung, Übergabe/Übernahme und Instandhaltung, Mai 2009 und Beiblatt 2: Lüftungskonzept“, Februar 2013
- [7] ASR A3.6: „Technische Regeln für Arbeitsstätten, Lüftung“, 2012, www.bit.ly/geb1274
- [8] EU-Kommission: „Empfehlung (EU) 2016/1318 vom 29. Juli 2016 über Leitlinien zur Förderung von Niedrigstenergiegebäuden und bewährten Verfahren, damit bis 2020 alle neuen Gebäude Niedrigstenergiegebäude sind“, Amtsblatt der Europäischen Union L208/46 vom 2. August 2016, www.bit.ly/geb1275

Prof. Dr.-Ing. Ulrich Pfeiffenberger

ist Inhaber der Ingenieurgesellschaft Pfeiffenberger mbH in Neu-Isenburg. Sein Arbeitsschwerpunkt liegt in der Konzeption, Bemessung und Bauüberwachung von Lüftungs- und Klimaanlage. Er ist Vorstandsvorsitzender des Fachverbandes Gebäudeklima FGK, der das Ziel der Verbesserung des Raumklimas in Wohn- und Arbeitsräumen verfolgt.

