

Hygienelüftung für Wohnungen

Vergleich normativer Berechnungsvarianten



Neben der Lüftung zur Feuchteabfuhr [1] ist auch die Hygienelüftung zur Herstellung einer guten Raumluftqualität bei Wohnungslüftungsanlagen von Interesse. Die Größe dieses Volumenstromes wurde bisher in der sog. Nennlüftung der DIN 1946-6 [2] festgelegt, die sich pauschal nur nach der Wohnungsgröße richtet. Andere Festlegungen sind aber auch in der EN 15251 [3] sowie im Entwurf der Nachfolgenorm EN 16798-1 [4] enthalten. Im Beitrag soll ein Vergleich der Berechnungsvarianten vorgenommen werden und es wird eine Methode vorgeschlagen, die auf die speziellen Verhältnisse in Wohnungen angepasst ist.

Dipl.-Ing. Norbert Nadler
CSE Nadler, 16515 Oranienburg,
n.nadler@cse-nadler.de

Verfahren

Im Entwurf der EN 16798-1 werden drei verschiedene Verfahren für die Ermittlung des erforderlichen Luftvolumenstroms beschrieben:

1.) Verfahren auf der Grundlage der wahrgenommenen Luftqualität (Bino-minal-Ansatz)

Die Gesamt-Lüftungsrate wird wie auch schon in der EN 15251 durch Addition der Lüftungsrate für die Nutzung von Personen und der Lüftungsrate für Gebäudeemissionen ermittelt. Der Indikator für die biologischen Ausdünstungen der Nutzer ist i. d. R. Kohlendioxid (CO_2) und der für die Gebäudeemissionen VOC (flüchtige organische Verbindungen). D.h., der Gesamt-volumenstrom zur Auslegung der Anlage ergibt sich aus

$$\dot{V}_{\text{ges}} = \dot{V}_{\text{CO}_2} + \dot{V}_{\text{VOC}} \quad (1)$$

\dot{V}_{CO_2} Volumenstrom aus der Personenlüftrate
 \dot{V}_{VOC} Volumenstrom aus der Gebäudelüftrate
 \dot{V}_{ges} Gesamtvolumenstrom

Wäre CO_2 auch in VOC enthalten, wäre die Addition beider Lüftungs-raten akzeptabel. Ist CO_2 in VOC nicht enthalten, würde der Volumenstrom für die eine Lüftungsrate auch die Emissionen der jeweils anderen Quelle abführen. In diesem Fall müsste sich die Gesamt-Lüftungsrate aus dem Maximum statt der Addition beider Lüftungs-raten ergeben.

$$\dot{V}_{\text{ges}} = \max(\dot{V}_{\text{CO}_2}, \dot{V}_{\text{VOC}}) \quad (2)$$

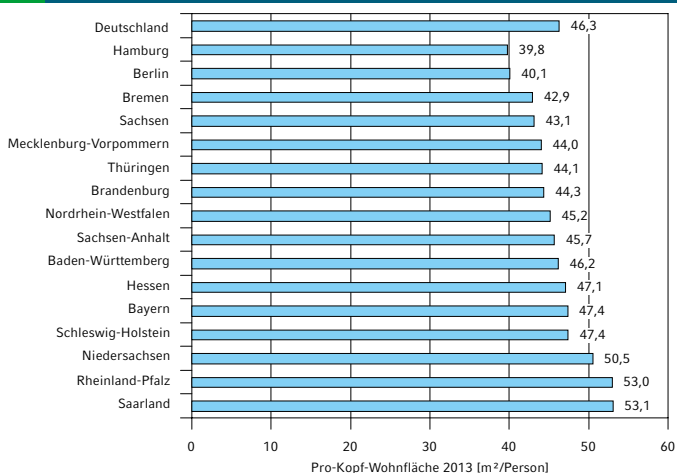
Welche Stoffe zu VOC gehören, ist nicht einheitlich geregelt [5]. Die Definitionen unterscheiden sich in den verschiedenen Ländern und Richtlinien. Die USA nehmen CO_2 explizit aus der Definition von VOC heraus. Die Beantwortung dieser Frage hat wesentlichen Einfluss auf die Investitions- und Betriebskosten der Lüftungsanlage. Der Unterschied im Volumenstrom zwischen der Additions- und der Maximalwertmethode beträgt für ein schadstoffarmes Gebäude 100 %. Auch die gleichzeitige Verwendung von CO_2 - und VOC-Sensoren in der Regelung komfortabler Anlagen ist zu hinterfragen, wenn der VOC-Sensor auch CO_2 misst. Ferner sollte berücksichtigt werden, dass die VOC-Emissionen im Laufe der Zeit abnehmen, die CO_2 -Emissionen dagegen nicht solange das Gebäude genutzt wird.

Der Autor hat hierzu den promovierten Chemiker William K. Moberg, Ph.D. aus den USA befragt, der sich folgendermaßen äußert:

„Meiner Meinung nach berücksichtigt die vorgeschlagene Regelung, in der ein Betrag der Lüftung für eine ausreichende Entfernung von CO_2 aus der Raum-atmosphäre und ein anderer Betrag für die Entfernung von VOC errechnet wird, und diese beiden Beträge addiert werden, um einen Gesamtbetrag zu erhalten, nicht das Mischen von Gasen und kann zu einer Überschätzung führen. Jede CO_2 -Emission durch die Bewohner der Gebäude und alle VOCs aus Baumaterialien, die in die Gasphase verdampfen, werden beide voraussichtlich schnell und gleichmäßig in der Raum-atmosphäre verteilt. Somit werden in jedem Liter Raum-atmosphäre beide Komponenten enthalten sein und wenn dieses Volumen durch Belüftung entfernt wird, wird damit sowohl CO_2 , als auch die darin enthaltenen VOCs entfernt. Daher kann es sein, dass die Belüftung ausreichend ist, wenn sie nur für die Komponente mit der größeren Konzentration bemessen wird.“

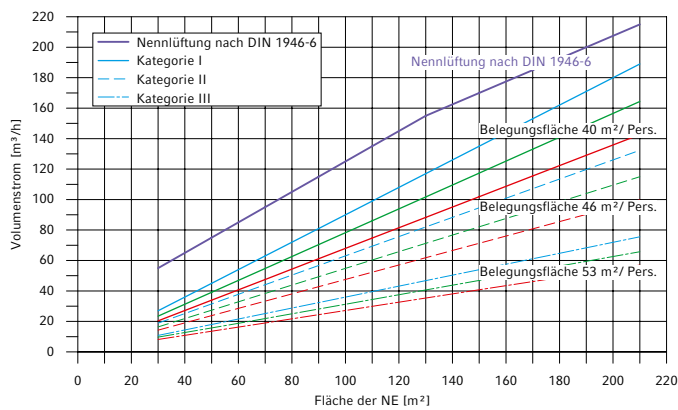
Soweit der Hintergrund bei der Glg. (1) das Geruchsempfinden ist, so ist es zweifelhaft, dass der notwendige Gesamtvolumenstrom bei verschiedenen Gerüchen in dieser linearen Form zu berechnen ist. So wird z. B. auch das Geruchsempfinden für VOC durch den Volumenstrom \dot{V}_{CO_2} gemindert. Aus Dissertationen ist bekannt, dass die Addition von Gerüchen logarithmisch – wie beim Schall – erfolgen

1 Pro-Kopf-Wohnfläche



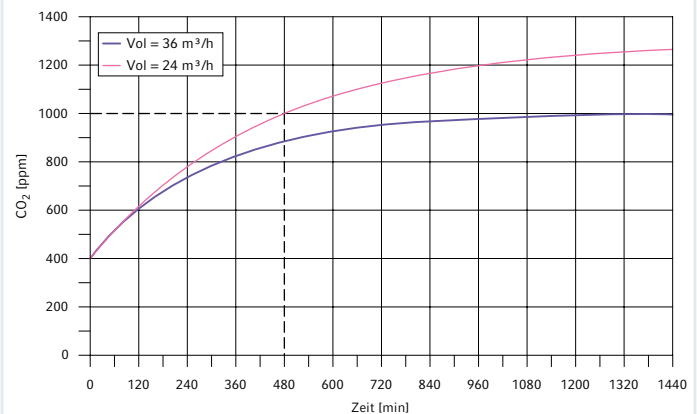
Belegungsflächen für verschiedene Bundesländer nach [7]

2 Flächen und Volumenströme



Vergleich der Volumenströme für unaufgerundete Personenanzahlen

3 CO₂-Belastung



CO₂-Anstieg in Abhängigkeit der Zeit und Volumenstrom

sollte. Für Geruchsgemische aus Bauprodukten und menschliche Ausdünstungen liegen noch keine Forschungsergebnisse vor.

2.) Verfahren unter Anwendung von Kriterien für die Verunreinigungskonzentration

Gem. EN 16798-1 ist für dieses Verfahren die Stofflast im Raum für die kritischste oder maßgebendste Verunreinigung (oder Gruppe von Verunreinigungen) abzuschätzen. D.h., man geht hier davon aus, dass ein Maximalwert für den Volumenstrom aus verschiedenen Schadstoffkomponenten ermittelt wird!

Wird CO₂ als eine repräsentative Verunreinigungsquelle der Personen angenommen, gilt für die stationäre CO₂-Bilanz in einem Raum

$$\dot{V}_{ZU,stat} = \frac{\dot{V}_{Prod} \cdot 10^3}{C_{end} - C_{ZU}} \cdot \frac{1}{\epsilon_v} \quad (3)$$

$\dot{V}_{ZU,stat}$ stationärer Zuluftvolumenstrom zur Abfuhr von CO₂ in [m³/h]

\dot{V}_{Prod} CO₂-Produktion im Raum durch die Personen in [l CO₂/h]

C_{end} CO₂-Endkonzentration in [ppm]

C_{ZU} Konzentration von CO₂ in der Zuluft in [ppm]

ϵ_v Lüftungseffektivität (= 1 bei vollständiger Durchmischung im Raum)

Die Verwendung von VOC als Verunreinigungsquelle in der Glg. (3) bzw. [4, Glg. (2)] scheiterte bislang daran, dass die Produktionsraten in der Planungspraxis nicht ermittelbar sind.

3.) Verfahren auf der Grundlage vorgegebener Lüftungsraten

Bei diesem Verfahren werden Lüftungsraten direkt vorgegeben, z.B. Luftwechselraten in ach [h⁻¹]. Lüftungsraten für Wohngebäude werden in der EN 16798-1 gleich mit drei verschiedenen Auswahlkriterien zur Ermittlung des notwendigen Volumenstroms angeboten

- Luftwechselraten,
- Personenluftraten (wie Verfahren 1, jedoch ohne Gebäudeluftraten),
- Binominal (Verfahren 1, nur mit reduzierten Raten für Personen und Gebäude).

Die reduzierten Raten gelten für angepasste Personen, welche sich an die schlechte Luftqualität gewöhnt haben und sie nicht mehr als schlecht empfinden. Die Reduktion liegt bei 60 bis 70 % für Personen und bei 40 bis 50 % beim Gebäude. Fraglich ist, ob auch eine Gewöhnung an VOC überhaupt möglich ist und eine Reduzierung der Lüftungsrate hierfür gesundheitlich zuträglich ist.

Bewertung und Auswahl für die Wohnungslüftung

Das Verfahren unter 1.) wird hier nicht zum Vergleich herangezogen, da einerseits die Lüftung nicht die Aufgabe haben soll, kontaminierte Materialemissionen abzuführen und andererseits die von den Nut-

zern der Wohnung eingesetzten Materialien bei der Planung nicht bekannt sind. Außerdem müsste bei der Addition einer Gebäudeluftrate unter dem Aspekt abnehmender VOC-Emissionen auch eine bedarfsgeführte Lüftung mit einem VOC-Sensor vorgeschrieben werden. Die Abfuhr von Gebäudeemissionen in der Wohnungslüftung sollte nach Hartmann [6] nur dann erfolgen, wenn sich ein Schadstoffeintrag nicht durch andersartig geeignete Maßnahmen vermeiden lässt.

Die Anwendung von Luftwechselraten gemäß Verfahren zu 3.) ist nicht zu empfehlen, da sich die Luftwechselrate auf das Raumvolumen bezieht und somit auch von der Raumhöhe abhängig ist, welche für Wohnungen zwischen 2,50 m und 3,30 m liegen kann. In der Volumenstrombestimmung würde sich dadurch bei gleicher Luftwechselzahl und Fußbodenfläche ein Unterschied von über 30 % ergeben. Die Schadstoffproduktion von Personen ist jedoch unabhängig von der Raumhöhe. Außerdem beinhalten die Werte im Anhang B2 der EN 16798-1 auch einen Beitrag für die Infiltration durch Gebäudeugen.

Aus gesundheitlichen Gründen darf der Mindest-Volumenstrom den Wert von 14,4 m³/h/Person nicht unterschreiten, damit die Werte der WHO-Leitlinie erfüllt sind (s. [4]). Im Verfahren 3c ist das jedoch in der Kategorie III und einem 10 m² großen Büro mit einer Person der Fall.

Vernachlässigt man die Abfuhr der Gebäudeemissionen, so liegen für das Verfahren unter 2.) mit CO₂ als Verunreinigungsquelle keine Bedenken vor. Das würde auch dem Verfahren 3b entsprechen, wenn man die empfohlenen Grenzwerte der Kategorien übernimmt (s. Tabelle 1). Die Auslegung der Hygienelüftung nach dem CO₂-Gehalt hat sogar folgende Vorteile:

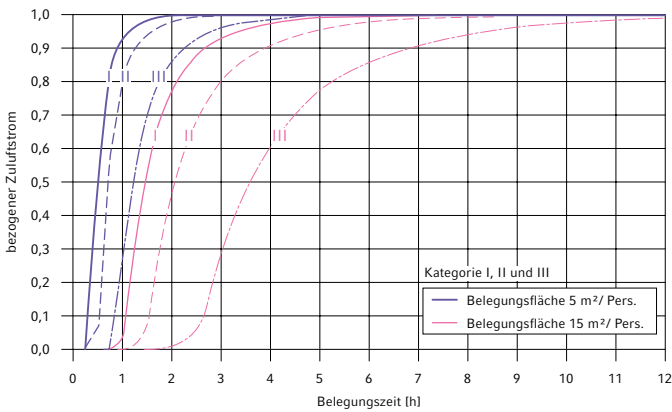
Die Außenluftqualität kann näherungsweise berücksichtigt werden. Für die Außenluft als Zuluft wird im Normalfall ein Wert von 400 ppm zugrunde gelegt. In verkehrsreichen Gebieten empfiehlt sich ein Wert von 600 ppm zu verwenden.

Bei der raumweisen Betrachtung kann die Mehrfachnutzung der Außenluft bei der Überströmung der Luft in andere Räume, wie es bei Abluftanlagen der Fall

Tabelle 1: Kategorien für die Raumluftqualität, Personenluftrate und CO₂-Differenz zur Zuluft für Erwachsene in Ruhe

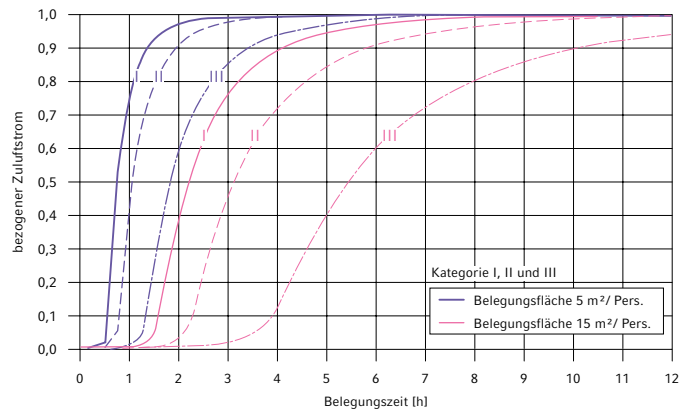
Kategorie	PD %	Personenluftrate m ³ /h/Pers.	ΔCO ₂ ppm
I	15	36,0	603
II	20	25,2	861
III	30	14,4	1507
IV	40	9,0	2411

4 Bezogener Zuluftstrom $\dot{V}_{ZU}/\dot{V}_{ZU,stat}$



Darstellung in Abhängigkeit der Belegungszeit, Belegungsfläche im Raum und Kategorie für Erwachsene in Ruhe, 2,5 m Raumhöhe

5 Bezogener Zuluftstrom $\dot{V}_{ZU}/\dot{V}_{ZU,stat}$



Darstellung in Abhängigkeit der Belegungszeit, Belegungsfläche im Raum und Kategorie für Kinder (7 bis 9 Jahre) in Ruhe, 2,5 m Raumhöhe

ist, berücksichtigt werden. Als Zuluftkonzentration ist dann in Glg. (3) im Überströmmaum die Abluftkonzentration des angeschlossenen Raumes einzutragen. Dadurch könnten Zuschläge im Zulufttraum erforderlich werden, um im angeschlossenen Raum den vereinbarten CO₂-Gehalt zu gewährleisten. Die Ermittlung des zur Kategorie (s.u.) und zum Raum gehörigen CO₂-Wertes sind für die Reglereinstellung im Falle einer bedarfsgeführten Regelung mit CO₂-Sensor ohnehin notwendig. D.h., am Regler kann man das einstellen, was mit dem Bauherrn auch vereinbart wurde.

Kategorien

Die Lüftungsraten in [3 und 4] sind nach Kategorien I bis IV eingeteilt, welche mit dem Auftraggeber zu vereinbaren sind. Für die Einteilung wurden Klassen aus dem erwarteten Prozentsatz der Unzufriedenen (Percentage of Dissatisfied, PD) gebildet. Aus PD ergibt sich die Personenluftrate und daraus die CO₂-Differenz zur Außenluft. Tabelle 1 gibt die zugehörigen Werte für Erwachsene in Ruhe an. Die CO₂-Differenz errechnet sich aus Angaben des niedersächsischen Landesgesundheitsamtes (hier 21,7 l CO₂/h/Pers.). Es sind noch weitere Angaben in Abhängigkeit vom Alter und der Aktivität verfügbar. Für die Tabelle B2.1.4.2 in der EN 16798-1 wurden für Personen in Ruhe 20 l CO₂/h/Pers. im Wohnzimmer und 13,6 l CO₂/h/Pers. im Schlafzimmer zugrunde gelegt. Da der Wert von 13,6 l

CO₂/h/Pers. den Minimalwert des Landesgesundheitsamtes unterschreitet, wird angenommen, dass für das Schlafzimmer eine Wichtung mit der Belegungszeit erfolgt ist. Für die Berücksichtigung der Belegungszeit ist aber ein flexibleres Verfahren möglich (s.u.). Die Kategorie IV gilt nur für Sonderfälle und wird im Folgenden nicht weiter betrachtet.

Belegungsflächen

Nach Angaben des Statistischen Bundesamtes [7] unterscheiden sich die Belegungsflächen von Wohnungen innerhalb Deutschlands um über 30 % (Bild 1).

Der Minimalwert (ca. 40 m²/Pers.), der Mittelwert (ca. 46 m²/Pers.) und der Maximalwert (ca. 53 m²/Pers.) wird für die Berechnung der Anzahl der Personen entsprechend der Fläche der NE (Nutzungseinheit) verwendet. Dabei wird unterschieden zwischen auf ganzzahlige Werte gerundete Personenanzahlen und unaufgerundeten Anzahlen. Bei sehr großen Wohnungen (> 210 m²) sollte die aus der Belegungsfläche errechnete Personenanzahl begrenzt werden.

Vergleich

Tabelle 2 zeigt den Vergleich der Volumenströme berechnet mit der Personenluftrate der Tabelle 1 für aufgerundete Personenanzahlen in Abhängigkeit der Wohnungsgröße, Kategorie und Belegungsfläche. Es zeigt sich, dass die Volumenströme der Nennlüftung nach DIN 1946-6 alle Volumenströme der EN 16798-

1 (Verfahren 3b) übersteigen. D.h., mit heutigen Belegungsflächen, die in der Prognose noch zunehmen werden, ist die Nennlüftung der DIN 1946-6 zu hoch. Bild 2 für unaufgerundete Personenanzahlen verdeutlicht, dass die Wahl der Kategorie und die Größe der Belegungsfläche nicht zu vernachlässigen sind, wenn man überdimensionierte Lüftungsanlagen vermeiden will.

Belegungsfreie Zeit

Für die Zeit ohne Personenbelegung empfiehlt die EN 16796-1 zur Verdünnung der Gebäudeemissionen einen spezifischen Volumenstrom von 0,36 bis 0,54 m³/h/m². Um eine Größenordnung über die Höhe der Volumenströme in Wohnungen zu erhalten, enthält Tabelle 3 für verschiedene Wohnungsgrößen die entsprechenden Werte.

Diese Tabellenwerte sollten mit der Lüftung zum Feuchteschutz verglichen werden, welche auch in Nicht-Wohngebäuden vorhanden sein müsste. Aus der Forderung nach einem reduzierten Volumenstrom in der belegungsfreien Zeit lässt sich ableiten, dass die Lüftung bedarfsorientiert geführt werden muss.

Belegungszeit

Betrachtet man den Anstieg des CO₂-Gehaltes mit der Zeit (Bild 3), dann stellt man fest, dass der stationäre Endwert u.U. erst nach mehreren Stunden erreicht wird. Für Räume, deren zeitliche Belegung begrenzt ist (z. B. Schlafzimmer, Arbeitszimmer), könnte der Volumenstrom geringer ausfallen, wenn man den zeitlichen Verlauf des CO₂-Gehaltes berücksichtigt. Durch die begrenzte Belegungszeit in einem Raum ergibt sich automatisch auch eine in anderen Räumen. Z. B., wenn sich zwei Personen acht Stunden in einem Schlafzimmer aufhalten, können für die gleichen Personen im Wohnzimmer max. 16 Stunden angesetzt werden. Das Beispiel in Bild 3 zeigt, dass der Volumenstrom um 33 % reduziert werden kann, wenn ein max. CO₂-Gehalt von 1000 ppm vereinbart wurde, die Person sich nur 8 Stunden im Raum aufhält und vor der Belegung der Raum gut mit Außenluft durchspült wurde. Der notwendige Volumenstrom für eine vorgegebene Belegungszeit kann nach Glg. (4) berechnet werden, wenn die Anfangskonzentration gleich der Zuluftkonzentration ist.

$$\dot{V}_{ZU} = \dot{V}_{ZU,stat} \cdot \left(1 - e^{-\frac{\dot{V}_{ZU} \cdot \Delta\tau}{V_R}} \right) \quad (4)$$

- \dot{V}_{ZU} instationärer Zuluftvolumenstrom zur Abfuhr von CO₂ in m³/h
 - $\dot{V}_{ZU,stat}$ stationärer Zuluftvolumenstrom nach Glg. (3) in m³/h
 - $\Delta\tau$ Belegungszeit in h
 - V_R Raumvolumen in m³
- D.h., vor der Belegung muss der Raum vollständig mit Zuluft

Tabelle 2: Vergleich der Volumenströme in m³/h für aufgerundete Personenanzahlen

Fläche der NE in m ²		30	50	70	90	110	130	150	170	190	210
Nennlüftung nach DIN 1946-6 Tab. 5		55	75	95	115	135	155	170	185	200	215
Verfahren 3b) nach EN 16798-1 Entwurf 2015-07	Kategorie										
Belegungsfläche 40 m ² /Pers.	I	36	72	72	108	108	144	144	180	180	216
	II	25	50	50	76	76	101	101	126	126	151
	III	14	29	29	43	43	58	58	72	72	86
Belegungsfläche 46 m ² /Pers.	I	36	72	72	72	108	108	144	144	180	180
	II	25	50	50	50	76	76	101	101	126	126
	III	14	29	29	29	43	43	58	58	72	72
Belegungsfläche 53 m ² /Pers.	I	36	36	72	72	108	108	108	144	144	144
	II	25	25	50	50	76	76	76	101	101	101
	III	14	14	29	29	43	43	43	58	58	58

gelüftet werden. Als Konzentration gegenüber der Zuluft C_{end} ist in Glg. (3) der vereinbarte stationäre Endwert einzutragen. Die Glg. (4) kann durch eine einfache Fixpunktiteration gelöst werden. Die Auswertung der Glg. (4) ist in Bild 4 dargestellt.

Bei der Variation einiger Parameter hat sich gezeigt, dass das Raumvolumen nur einen geringen Einfluss ausübt, wenn man annimmt, dass in größeren Räumen auch mehr Personen anwesend sind. Daher ist in Bild 4 die Belegungsfläche des Raumes statt das Raumvolumen als Parameter aufgenommen. Eine signifikante Reduzierung des stationären Zuluftvolumenstroms durch die Belegungszeit ist nur bei sehr kurzen Belegungszeiten, geringer Belegungsichte und mäßig vereinbarter Kategorie zu erwarten. Für 2 Erwachsene in einem größeren Schlafzimmer mit einer Belegungszeit von 8 Stunden ist nur bei der Kategorie III mit einer Reduzierung in der Größenordnung von 5 % zu rechnen. Für 2 Kinder (7 bis 9 Jahre) beträgt die Reduzierung aber schon 20 %, wie Bild 5 zeigt. Allerdings könnte durch die Reduzierung der in der EN 16798-1 vorgegebene Mindest-Volumenstrom von 14,4 m³/h/Person unterschritten werden, was besonders bei der Kategorie III zu beachten ist. Derzeit ist dem Autor nicht bekannt, ob dieser Mindest-Volumenstrom auch für kurze Belegungszeiten gilt.

Lüftungsstufen

Die Kategorie bzw. die stationäre CO₂-Endkonzentration für die Hygienelüftung ist mit dem Auftraggeber zu vereinbaren. Sie stellt einen reinen Komfortanspruch dar, weil sie auch durch Fensterlüftung realisiert werden kann. Insofern kann man diesen Anteil in den Lüftungsstufen der DIN 1946-6, z.B. bei der ventilatorgestützten Lüftung, nicht vorschreiben, sondern nur empfehlen. Eine Ausnahme besteht allerdings, wenn die Fenster aus anderen Gründen, z. B. Schallschutz an einem Flughafen oder Bahnstrecke, nicht geöffnet werden können.

Abgesehen vom Verbrennungsluftbedarf für Feuerstätten in Wohngebäuden gibt es demnach nur 2 Lüftungsstufen für die Auslegung einer ventilatorgestützten Anlage:

- Lüftung zum Feuchteschutz als unterste Stufe, die nutzerunabhängig vorhanden sein muss. Optional auch die Gebäudeluftrate, wenn die Gebäudeemissionen unvermeidbar und bekannt sind. Nutzerunabhängig bedeutet jedoch nicht, dass diese Stufe nicht

abschaltbar ist. Das kann z. B. aus Brandschutzgründen oder in Urlaubszeiten erforderlich sein.

- Hygienelüftung als zusätzliche Außenluftmenge, deren Höhe i.d.R. frei vereinbart wird. Hier könnten auch einzelne Räume ausgespart werden.

Aus Energiespargründen sollten diese Lüftungsstufen raumweise regelbar sein. Der Auslegungs-Volumenstrom des Raumes ergibt sich aus dem höchsten Wert zwischen diesen Stufen abzüglich verbleibender Infiltration durch Gebäudefugen. Der Auslegungs-Volumenstrom der Zentrale in der NE ergibt sich aus der Summe der Auslegungs-Volumenströme der angeschlossenen Zulufräume. Hier könnte evtl. eine Gleichzeitigkeit noch Berücksichtigung finden.

Fazit

Als Verfahren zur Auslegung der Hygienelüftung erweist sich die Berechnung mit vereinbartem CO₂-Gehalt (Verfahren 2) als besonders vorteilhaft. Der Entwurf der EN 16798-1 gibt Kategorien an, die sich am Prozentsatz Unzufriedener orientieren und mit dem Bauherrn zu vereinbaren sind. Für diese Kategorien enthält die Norm auch Personenlüftungsraten für Erwachsene in Ruhe, womit ein

Zusammenhang mit Verfahren 2 gegeben ist (Tabelle 1). Die Lüftungsraten für unangepasste Personen sind identisch mit den Angaben in der EN 15251. Die Berechnung mittels CO₂-Vorgaben kann auch entsprechend Aktivität und Alter der Person sowie unter Berücksichtigung der Außenluftqualität in Zulufräumen bzw. der Zuluftqualität in Überströmräumen vorgenommen werden. Weiterhin ist mit Glg. (4) die Möglichkeit gegeben, eine begrenzte Belegungszeit in die Berechnung einzubeziehen. Damit ist eine projektorientierte Auslegung nicht nur für Wohnungen durchführbar. Der Vergleich der Nennlüftung der DIN 1946-6 mit den unangepassten Personenluft-raten zeigt, dass die Nennlüftung bei heutigen Belegungsflächen in den Wohnungen zu hoch ist und damit die Lüftungsanlagen überdimensioniert werden, wenn die Aufgabe zur Abfuhr von Gebäudeemissionen entfällt.

Literatur

[1] Nadler, N.: Normenvorschlag zur Wohnungslüftung. Lüftung zum Feuchteschutz mit Außenluft. Teil 1: tab 04/2015, S. 40-45, Teil 2: tab 05/2015, S. 44-49.
 [2] DIN 1946-6: 2009-05: Raumlufttechnik – Teil 6: Lüftung von Wohnungen – Allgemeine Anforderungen, Anforderungen zur Bemessung, Ausführung und Kennzeichnung, Übergabe/Übernahme (Abnahme) und Instandhaltung.
 [3] DIN EN 15251: 2012-12: Eingangsparameter für das Raumklima zur Auslegung und Bewertung der Energieeffizienz von Gebäuden – Raumluftqualität, Temperatur, Licht und Akustik.
 [4] DIN EN 16798-1: 2015-07 (E): Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden – Teil 1: Eingangsparameter für das Innenraumklima zur Auslegung und Bewertung der Energieeffizienz von Gebäuden bezüglich Raumluftqualität, Temperatur, Licht und Akustik.
 [5] Wikipedia: https://de.wikipedia.org/wiki/Flüchtige_organische_Verbindingungen
 [6] Hartmann, T.: Wie viel Luft muss es sein? Teil 1: IKZ-Fachplaner 01/2015, S. 20-23, Teil 2: IKZ-Fachplaner 02/2015, S. 20-25
 [7] Statistisches Bundesamt: Fortschreibung des Wohngebäude- und Wohnungsbestandes – Lange Reihen. GENESIS-Online, Stand: Oktober 2014.

Tabelle 3: Minimal- und Maximalwerte der Volumenströme in der belegungs-freien Zeit gem. Empfehlung der EN 16796-1 (Entwurf).

Fläche der NE in m ²	30	50	70	90	110	130	150	170	190	210
Minimalwert in m ³ /h	11	18	25	32	40	47	54	61	68	76
Maximalwert in m ³ /h	16	27	38	49	59	70	81	92	103	113