

# Normenvorschlag zur Wohnungslüftung

## Lüftung zum Feuchteschutz mit Außenluft – Teil 1



Seit der Neuausgabe der bauaufsichtlich eingeführten DIN 4108-2 [1] wird unter der Ziffer 4.2.3 nicht mehr ein durchschnittlicher Luftwechsel von 0,5 h<sup>-1</sup> während der Heizperiode gefordert. Stattdessen verweist die Norm für den ausreichenden Luftwechsel aus Gründen der Hygiene, der Begrenzung der Raumlufffeuchte sowie gegebenenfalls der Zuführung von Verbrennungsluft auf den DIN Fachbericht 4108-8 [2], welcher Planungs- und Nutzungshinweise zur Vermeidung von Schimmelpilzwachstum in Wohngebäuden gibt. Die im Fachbericht enthaltenen Empfehlungen zur notwendigen Feuchteschutzlüftung mit Außenluft sind aufgrund der getroffenen Annahmen nur eingeschränkt anwendbar. In diesem Beitrag werden die einzelnen physikalischen Größen für die Ermittlung des notwendigen Außenluftvolumenstromes näher spezifiziert und es werden Algorithmen für die Berechnung angegeben. Der Beitrag wird als Normenvorschlag beim Ausschuss für die Lüftung von Wohnungen eingereicht.

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

### Einleitung

Durch die laut Gesetzgeber gestiegene Anforderung zur Gebäudedichtheit ist das Problem entstanden, wie die im Gebäude produzierte Feuchte abgeführt wird, um Schimmelpilzbildung und Bauschäden zu vermeiden. Nach DIN 1946-6 [3] sind Lüftungstechnische Maßnahmen notwendig, wenn die notwendige Lüftung zum Feuchteschutz größer als die verbleibende Infiltration ist. Mit dem rechnerischen Nachweis hierfür wird mitunter über eine kostenintensive Investition entschieden. Es geht hierbei nicht nur darum, ob eine Lüftungstechnische Komponente größer oder kleiner ausgelegt werden muss, sondern oft auch darum, ob überhaupt eine Lüftungsanlage eingebaut werden muss. Ausgenommen hiervon sind Wohnungen mit innenlie-

genden Bädern, die nach DIN 18017-3 [4] ohnehin entlüftet werden müssen. Hier muss nur geprüft werden, ob der Volumenstrom der Anlage eventuell zu erhöhen ist, um eine Lüftung zum Feuchteschutz zu gewährleisten. Die Lüftung zum Feuchteschutz wird als minimaler Luftwechsel betrachtet, der im Normalfall nutzerunabhängig dauerhaft vorhanden sein muss. Jeder m<sup>3</sup>/h Volumenstrom, der über dem notwendigen Maß zum Feuchteschutz liegt, stellt einen Heizenergieverbrauch in der Größenordnung von 28 kWh/a dar, sofern nicht andere Gründe für eine Raumbelüftung vorliegen. Einer der Gründe könnte z. B. die Hygienelüftung sein, die aber nur bei Anwesenheit von Personen im Raum notwendig ist.

Insofern kommt der Lüftung zum Feuchteschutz eine besondere Bedeutung zu und muss daher genauer betrachtet werden, als es bislang der Fall war. Aufgrund wechselnder Außenluftzustände ergeben sich dabei besondere Probleme bei der Volumenermittlung, wenn die Lüftung mit unbehandelter Außenluft erfolgt.

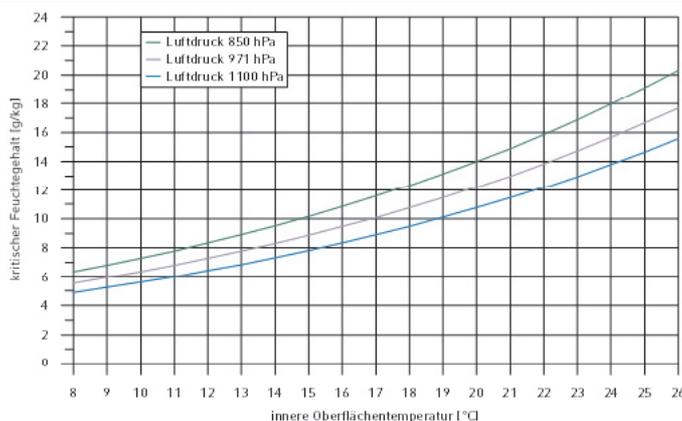
### Normative Anforderungen

Wesentliche Informationen zur Lüftung zum Feuchteschutz enthält neben dem DIN FB 4108-8 auch der europäische Fachbericht CEN/TR 14788 [5]. Aus diesen beiden Fachberichten seien folgende wichtige Anforderungen genannt:

- Nach CEN/TR 14788 sollten Entwurfsannahmen bezüglich meteorologische Außenbedingungen, Feuchteproduktionsraten in Räumen, Anzahl der Personen usw. in der Spezifikation der Anlage und in der Betriebsanleitung dokumentiert werden.
- Gemäß DIN FB 4108-8 sollten die Feuchtespitzen in Küche und Bad unmittelbar nach Anfall durch intensive Fensterlüftung abgebaut werden. Dies steht auch im Einklang mit der Rechtsprechung, wonach ein zwei- bis dreimaliges Fensterlüften am Tag zumutbar ist.
- Das Schimmelpilzkriterium des DIN FB 4108-8 besagt, dass Schimmelpilz auftreten kann, wenn an mindestens fünf aufeinanderfolgenden Tagen die relative Luftfeuchte auf der Bauteiloberfläche mindestens 12 h/d einen Wert von mehr als 80 % aufweist. Damit ist schon festgelegt, dass nur ein Berechnungsverfahren in Stundenschritten zum Nachweis der Schimmelpilzvermeidung möglich ist.

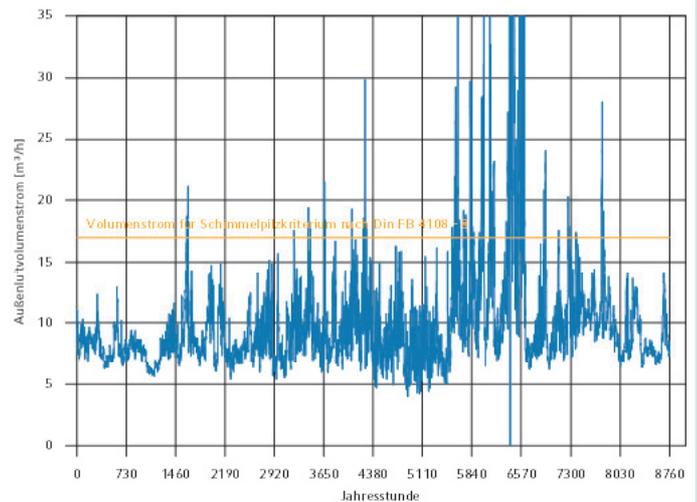
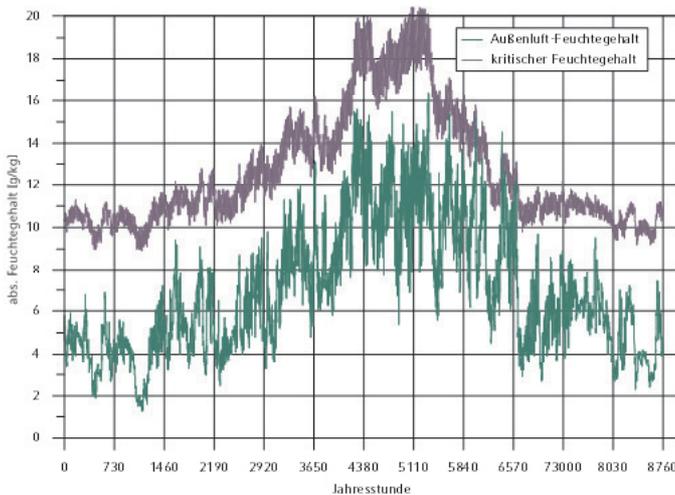
Beide Fachberichte machen nur für bestimmte Außenluftzustände Angaben zum notwendigen Außenluftvolumenstrom. So zeigt aber schon das Bild 7 im DIN FB 4108-8, dass eine große Abhängigkeit vom Außenluftzustand, Feuchtebelastung und Raumtemperatur besteht. Für die Planungspraxis sind beide Fachberichte jedoch ungeeignet.

## 1 Kritischer Feuchtegehalt in der Raumluft



Darstellung in Abhängigkeit der inneren Oberflächentemperatur und des Gesamtluftdruckes

## 2 Jahresverlauf des Außenluftvolumenstromes zum Feuchteschutz



Beispielhafte Darstellung für einen schweren Raum mit  $U_{AW} = 1,0 \text{ W/(m}^2 \text{ K)}$ , TRY13 extremer Sommer Mühldorf/Bayern:  
a) Feuchtegehalt b) Volumenstrom

Die Lüftung zum Feuchteschutz aus der Tabelle 5 der DIN 1946-6 ist im DIN FB 4108-8 nur beispielhaft als Diagramm dargestellt. Diese Werte gelten für die gesamte Nutzungseinheit (NE), wobei nur zwischen Fläche der NE und Wärmeschutz unterschieden wird.

Aus den Anforderungen der beiden Fachberichte ist jedoch abzuleiten, dass die Lüftung zum Feuchteschutz raumweise zu berechnen und zu dokumentieren ist.

Der Forschungsbericht [6] stellt die Grundlage für die DIN 1946-6 dar. Darin wurden 2 Nutzungseinheiten raumweise untersucht. Die Ergebnisse einer dynamischen Simulation mit deren Randbedingungen sind in der Tabelle 1 angegeben.

Für die Tabelle 5 der DIN 1946-6 wurden daraus die aufgerundeten Endergebnisse der Tabelle 2 verwendet. Mit diesen Endergebnissen könnte man eine raumweise Berechnung durchführen. Sie sind jedoch sehr grob aufgerundet und deren Berechnungsgrundlagen sind veraltet (vgl. Tabelle 1, Wärmeschutz, Belegungsfläche). Für Bad und Küche wurden die Feuchtespitzen eingerechnet. Außerdem wurden nur Standardräume untersucht und für die Tabelle 2 fehlen die o.g. Entwurfsannahmen, die nach [5] zu dokumentieren sind.

### Berechnung des Außenluftvolumenstromes

Geht man von einer idealen Raumluftdurchmischung aus, so

errechnet sich die kritische relative Raumluftfeuchte aus

$$\varphi_{i,krit} = \varphi_{si,krit} \cdot \frac{p_{Ds}(\theta_{si})}{p_{Ds}(\theta_L)} \quad (1)$$

- $\varphi_{i,krit}$  kritische relative Raumluftfeuchte
- $\varphi_{si,krit} = 0,8$  kritische relative Bauteiloberflächenfeuchte nach DIN FB 4108-8
- $p_{Ds}(\theta_{si})$  Sättigungsdampfdruck bei innerer Oberflächen-temperatur in Pa
- $p_{Ds}(\theta_L)$  Sättigungsdampfdruck bei Raumlufttemperatur in Pa
- $\theta_{si}$  innere Oberflächentemperatur in °C
- $\theta_L$  Raumlufttemperatur °C

Bei Überschreiten dieser kritischen relativen Raumluftfeuchte ist mit einer Bauteiloberflächenfeuchte von über 80 % zu rechnen.

Den Sättigungsdampfdruck erhält man aus [2] für den Temperaturbereich  $0^\circ\text{C} \leq \theta \leq 30^\circ\text{C}$

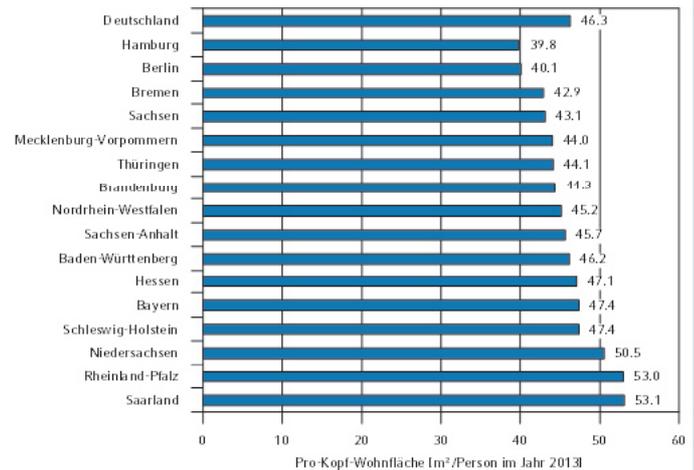
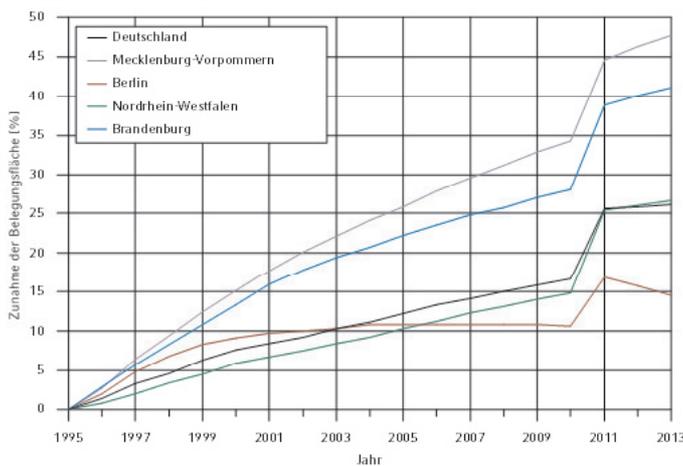
$$p_{Ds}(\theta) = 288,68 \text{ Pa} \cdot \left(1,098 + \frac{\theta}{100^\circ\text{C}}\right)^{8,02} \quad (2)$$

$p_{Ds}(\theta)$  Sättigungsdampfdruck in Pa abhängig von der Temperatur  $\theta$  in °C

Tabelle 1: Ergebnisse des Forschungsberichtes [6]

		Einfamilienhaus EFH 4 Personen, 30 m²/Person							Mehrfamilienhaus MFH 4 Personen, 17 m²/Person						
		Neubau U = 1,71 W/(m²K)			Sanierung U = 2,20 W/(m²K)				Neubau U = 1,71 W/(m²K)			Sanierung U = 2,20 W/(m²K)			
Raum- höhe in m 2.50	Raum- tem- peratur °C	Fläche m²	Volumen m³	Feuchte- last g/h	Luft- wechsel 1/h	Volumen- strom m³/h	Luft- wechsel 1/h	Volumen- strom m³/h	Fläche m²	Volumen m³	Feuchte- last g/h	Luft- wechsel 1/h	Volumen- strom m³/h	Luft- wechsel 1/h	Volumen- strom m³/h
WZ	20	20	50,0	56,5	0,15	7,5	0,20	10,0	30	75,0	76,5	0,15	11,3	0,25	18,8
SZ	16	12	30,0	47,5	0,20	6,0	0,40	12,0	20	50,0	57,5	0,30	15,0	0,60	30,0
KZ	20/16	12	30,0	72,5	0,25	7,5	0,45	13,5	20	50,0	82,5	0,35	17,5	0,70	35,0
Kü	20	9	22,5	39,6	0,20	4,5	0,35	7,9	12	30,0	39,6	0,25	7,5	0,40	12,0
Bad	22	9	22,5	56,5	0,30	6,8	0,45	10,1	12	30,0	56,5	0,45	13,5	0,60	18,0
Flur	k.A.	6	15,0	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	6	15,0	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
	Wohnung:	68	170,0	272,6		32,3		53,5	100	250,0	312,6		64,8		113,8

3 Belegungsflächen



Darstellung für verschiedene Bundesländer nach [10]:  
a) Prozentuale Zunahme der Belegungsfläche

b) Pro-Kopf-Wohnfläche in m²/Person im Jahr 2013

Setzt man die umgestellte Glg. (1) in die Gleichung für die absolute Feuchte (Feuchtegehalt) ein, so ergibt sich der kritische Feuchtegehalt zu

$$x_{krit} = 622 \cdot \frac{0,8 \cdot p_{Ds}(\theta_{si})}{p_{ges} - 0,8 \cdot p_{Ds}(\theta_{si})} \quad (3)$$

$x_{krit}$  kritischer Feuchtegehalt in der Raumluft in g WD/kg tr. Luft

$p_{ges}$  Gesamtluftdruck in Pa

Man entnimmt dem Bild 1, dass für sommerliche Verhältnisse mit höheren inneren Oberflächentemperaturen der kritische Feuchtegehalt ansteigt. Da im Sommer der Außenluftfeuchtegehalt ebenfalls ansteigt, ist i.d.R. ein positives Trocknungspotenzial noch gegeben. Anders sieht es allerdings in Kellerräumen aus. Hier folgen die inneren Oberflächentemperaturen nicht so schnell dem Außenklima, wodurch sich eine Belüftung des Kellers nachteilig auswirken kann. Aus der Abhängigkeit vom Luftdruck kann man entnehmen, dass in höheren Ortslagen (abnehmender Luftdruck) mit einem Anstieg des kritischen Feuchtegehaltes zu rechnen ist, wodurch sich ableiten lässt, dass die Berechnung für die jeweilige Klimaregion vorzunehmen ist. Der Bereich von 850 bis 1100 hPa ergibt sich aus den Testreferenzjahren (TRYs) der 15 Klimaregionen [7 und 8]. Die Raumluftfeuchte wird erhöht durch die Produktion von Feuchte im Raum, durch die Zufuhr von Feuchte über die Abluftströme aus Nachbarräumen und über Desorptionsvorgänge aus den Bauteilen im Raum

$$\dot{m}_D = \dot{m}_{D,Prod} + \sum_{NRü} [\dot{m}_{AB} \cdot (x_{AB} - x_{krit})] \quad (4)$$

- $\dot{m}_D$  Wasserdampfzufuhr im Raum (Feuchtelast) in g/h
- $\dot{m}_{D,Prod}$  Wasserdampfproduktion im Raum einschließlich Desorption in g/h
- $\dot{m}_{AB}$  trockener Abluftmassenstrom aus Nachbarraum in kg tr. Luft/h
- $x_{AB}$  Feuchtegehalt des Abluftmassenstromes aus Nachbarraum in g WD/kg tr. Luft
- NRü kennzeichnet die Summe der Abluftströme aus Nachbarräumen mittels ÜLD

Die Berücksichtigung der Abluftmassenströme aus Nachbarräumen ist besonders für Abluftanlagen relevant, bei denen eine Mehrfachnutzung der Außenluft zur Feuchteabfuhr gegeben ist (s.u.). Für reine Zulufräume entfällt dieser Term. Die Feuchtezu- bzw. -abfuhr aus der Außenluft und Zuluft von RLT-Anlagen ist nur dann zusätzlich zu berücksichtigen, wenn diese nicht zur Auslegung der Lüftung zum Feuchteschutz bestimmt sind.  $\dot{m}_D$  würde dann die Restfeuchtelast darstellen.

Den notwendigen Außenluftvolumenstrom zum Feuchteschutz erhält man durch

$$\dot{V}_{FL} = \frac{\dot{m}_D}{x_{krit} - x_{AUL}} \cdot \frac{1 + 10^{-3} \cdot x_{AUL}}{\rho_{AUL}} \quad (5)$$

$\dot{V}_{FL}$  Außenluftvolumenstrom zum Erhalt des kritischen Feuchtegehaltes in m³/h

$x_{AUL}$  Feuchtegehalt der Außenluft in g WD/kg tr. Luft

$\rho_{AUL}$  Dichte der Außenluft in kg/m³

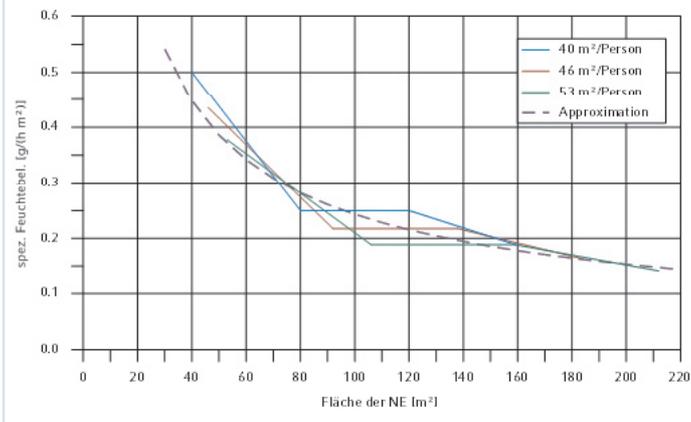
Hierin kommt deutlich das Trocknungspotenzial durch die Differenz  $x_{krit} - x_{AUL}$  zum Ausdruck. Im Extremfall ist der Feuchtegehalt der Außenluft gleich dem kritischen Feuchtegehalt, wodurch sich theoretisch ein unendlich hoher Außenluftvolumenstrom ergeben würde. Durch die Begrenzung des installierten maximalen Volumenstromes kann es demnach vorkommen, dass der kritische Feuchtegehalt zeitweise überschritten wird.

Der Jahresverlauf des Außenluftvolumenstromes zum Feuchteschutz in Bild 2a zeigt beispielhaft, dass in einigen Stunden des Jahres das Trocknungspotenzial sehr klein werden kann, wodurch ein sehr hoher Volumenstrom notwendig wäre (s. Bild 2b). Aufgrund der zulässigen Zeitspanne für eine Feuchteüberschreitung im Schimmelpilzkriterium ist jedoch ein deutlich geringerer Volumenstrom erforderlich (hier 17 m³/h). Solch ein Ergebnis erhält man allerdings nur durch eine instationäre thermische Jahressi-

Tabelle 2: Aufgerundete Endergebnisse für die Lüftung zum Feuchteschutz nach [6]

Raum	Volumenstrom in m³/h	
	Neubau	Sanierung
Wohnzimmer	10	18
Schlafzimmer	10	18
Kinderzimmer	10	18
Küche	5	8
Bad	8	12

#### 4 Spezifische Feuchtebelastung durch Pflanzen



mulation des Raumes, bei der die innere Oberflächentemperatur eines Außenbauteils für die Verwendung in Glg. (3) ermittelt wird.

#### Wasserdampfproduktion

Die Wasserdampfung im Raum geht gem. Glg. (5) direkt proportional in die Berechnung des Volumenstromes ein. D.h., wenn sich die Wasserdampfproduktion um z. B. 15 % ändert, ändert sich auch der notwendige Volumenstrom zum Feuchtschutz um 15 %. Geht man von einer Wasserdampfproduktion für einen Raum von 60 g/h aus, so bewirkt eine Änderung von mehr als 9 g/h „kaum tolerierbare Abweichungen der Luftvolumenströme von bis zu 15 %“ [9]. Der Unterschied in der Lüftung zum Feuchtschutz zwischen Wärmeschutz gering zu Wärmeschutz hoch nach der DIN 1946-6 liegt minimal bei -17 %. Das belegt, dass der Normenausschuss eine Rechengenauigkeit in dieser Größenordnung anstrebt. Für die Volumenströme der Zulufräume in Tabelle 2 bedeutet dies, dass sie auf 1-3 m³/h genau zu bestimmen sind.

Bildet man mit der Glg. (5) das Verhältnis zweier unterschiedlicher Feuchtebelastungen, so errechnet sich der geänderte Volumenstrom aus

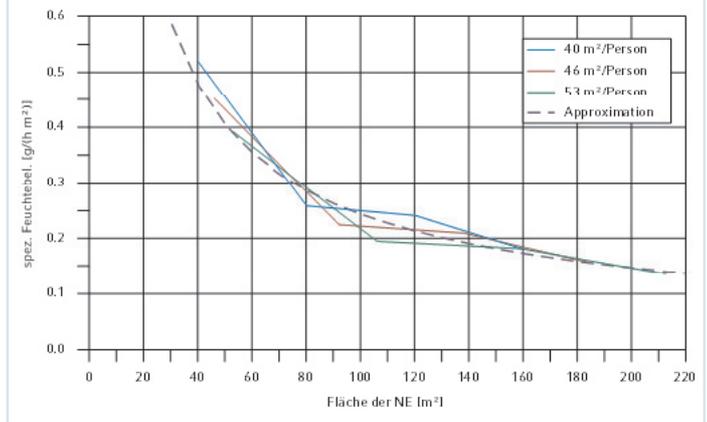
$$\dot{V}_{FL,2} = \dot{V}_{FL,1} \cdot \frac{\dot{m}_{D,2}}{\dot{m}_{D,1}} \quad (6)$$

Voraussetzung hierfür ist, dass sich der Außenluftzustand dabei nicht wesentlich ändert. Diese Gleichung eröffnet die Möglichkeit, Volumenströme aus einer Simulationsrechnung für eine bestimmte Wasserdampfproduktion zu vertafeln und auf eine projektbezogene Feuchtebelastung umzurechnen.

Projektbezogene Produktionsraten, die von den Standardproduktionsraten abweichen, können sehr vielfältig sein, z. B.:

- Freies Wäschetrocknen  
In manchen Mietverträgen ist freies Wäschetrocknen verboten oder es werden Trockner bereitgestellt. Sollte dies nicht der Fall sein, ist der Volumenstrom entsprechend zu erhöhen. In der DIN 1946-6 wird dieser Umstand durch die erhöhte „Reduzierte Lüftung“ berücksichtigt.
- Gasherd in der Küche  
Die Wasserdampfproduktionsrate für Verbrennungsgeräte liegt nach CEN/TR 14788 bei 100 bis 150 g/(h·kW Leistung).
- Hauswirtschaftsraum  
Hier ist die Belegungszeit der Personen sehr gering. Pflanzen sind in solchen Räumen auch nicht vorhanden. Evtl. liegt auch eine niedrige Raumtemperatur vor.
- Flur, Treppenhaus im EFH, Windfang  
Diese Räume gelten als Überströmräume, welche sehr

#### 5 Sonstige spezifische Feuchtebelastung



unterschiedliche Größenverhältnisse und damit Ausstattung aufweisen. Sie können daher ihre eigene Feuchtebelastung (auch durch die Luftströmung aus angrenzenden Räumen) und Raumtemperatur haben, weshalb sie separat behandelt werden sollten.

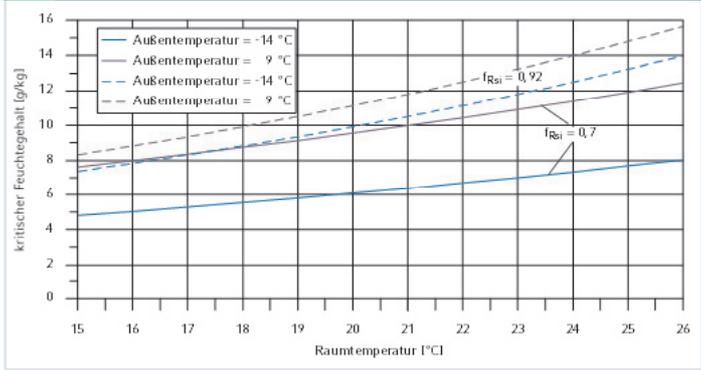
- Hobbyraum (geringe Belegungszeit)
- Saunaraum (hohe Feuchte)
- Fitnessraum  
Hier ist mit einer erhöhten Aktivität und damit Feuchteabgabe der Personen zu rechnen.
- Kellerlüftung
- Kriechboden (oder sonstiger Hohlraum) unter einer Erdgeschosswohnung [5]
- Erhöhte Pflanzenaufstellung bzw. Pflanzenwände. Z. B. im Arbeitszimmer zur Beeinflussung der Raumluftfeuchte und Luftqualitätsverbesserung, Wintergärten, Erker.
- Abfuhr der Baufeuchte.  
Wenn vom Bauherrn erwünscht und kein Bautrockner aufgestellt wird.  
Die Berücksichtigung dieser individuellen Produktionsraten setzt die Kenntnis der zu erwartenden Raumnutzung voraus. Bei Neubauten gibt der Architekt i.d.R. in den Grundrissplänen die Nutzung an oder man spricht sie mit dem Bauherrn ab, vergleichbar der Festlegung von Innentemperaturen. Die Grundrisspläne

sind verbindliche Planungunterlagen. Bei der Sanierung von Altbauten könnte man die vorhandene Nutzungsart erfragen und zugrunde legen. Sind derartige Informationen nicht verfügbar, kann man von der Zimmergröße auf die Nutzung schließen. So wird das Wohnzimmer i.d.R. das größte Zimmer (evtl. mit Balkon) sein. Für die Kinder-, Schlaf-, Gäste- oder Arbeitszimmer sind dann Standardfeuchtebelastungen anzunehmen. Bei einer 2-Zimmerwohnung kann man davon ausgehen, dass der größere Raum das Wohnzimmer und das andere Zimmer das Schlafzimmer sein muss. Hauswirtschaftsräume erkennt man ebenfalls an der Größe. Auch in der DIN 1946-6 geht man von einer Kenntnis der Raumnutzung aus.

Durch die große Vielfalt in den Raumnutzungsarten mit ihren unterschiedlichen Feuchtebelastungen lassen ebenfalls den Schluss zu, dass eine raumweise Betrachtung notwendig ist.

Angaben für typische Feuchteproduktionsraten finden sich in [2] und [5]. In [2] ist auch eine Zusammenstellung von fünf Beispielszenarien für die tägliche Feuchteabgabe bei üblichem Wohnverhalten enthalten. Anhand dieser Beispielszenarien für eine Wohnung wird im Folgenden begründet, wie eine Feuchteproduktionsrate für einen Raum abgeleitet werden kann, wobei beispielhaft das freie Wäschetrocknen mit aufgenommen ist.

**6 kritischer Feuchtegehalt in der Raumluft**



Darstellung in Abhängigkeit der Raum- und Außentemperatur sowie der Wärmedämmung (Gesamtluftdruck 1013 hPa)

**Personen**

Für die Feuchteabgabe von Personen spielt die Belegungsfläche (m<sup>2</sup>/Pers.) der Wohnung eine bedeutende Rolle, vor allem in großen Wohnungen. Aus [10] geht hervor, dass sich die Belegungsflächen in den letzten Jahren stark erhöht haben und dass es große Unterschiede zwischen den einzelnen Bundesländern gibt (vgl. Bild 3). Die höchsten Zunahmen verzeichnen dabei die neuen Bundesländer. Zwischen Hamburg und Saarland liegt im Jahr 2013 ein Unterschied von 33 % vor. Der sprunghafte Anstieg im Jahr 2011 lässt sich auf den Zensus 2011 zurückführen.

Für eine leichte Aktivität wird im DIN FB 4108-8 eine Produktionsrate von 50 g/(h Person) angegeben. Je nach Nutzung des Raumes ist eine ganzzahlige Personenanzahl und eine Belegungszeit festzulegen, die auf den Tag durchschnittlich verteilt wird. Für ein Schlafzimmer empfiehlt CEN/TR 14788 eine Belegungszeit (Emissionsdauer) von 10 Stunden und für ein Wohnzimmer 4 Stunden. Im DIN FB 4108-8 wird im Beispielszenarium für den 1-Personenhaushalt 12 h/d angenommen und für den 2- bis 4-Personenhaushalt 17 h/d. Um auch Urlaubszeiten und die nicht arbeitende Bevölkerung zu berücksichtigen, sollte dagegen für die gesamte Wohnung von einer 24-stündigen Anwesenheitszeit aller Personen ausgegangen werden. Die Wasserdampfproduktion in einem Raum durch Personen errechnet sich somit aus

$$\dot{m}_{D,Pers.} = n_{Pers.} \cdot \frac{t_{Bel.}}{24h} \cdot \mu_{D,Pers.} \quad (7)$$

- $\dot{m}_{D,Pers.}$  Wasserdampfproduktion im Raum durch Personen in g/h
- $n_{Pers.}$  Anzahl der Personen im Raum, die sich aus der Belegungsfläche ergibt
- $t_{Bel.}$  tägliche Belegungszeit der Personen in h
- $\mu_{D,Pers.}$  spezifische Wasserdampfproduktion einer Person in g/(h Pers.)

**Pflanzen**

Je größer die Wohnung, desto mehr Pflanzen sind zu erwarten. Da der Aufstellungsort der Pflanzen in der Planung nur bedingt bekannt ist, muss die Feuchtebelastung gleichmäßig auf die NE verteilt angenommen werden. Allerdings ist zu beachten, dass in Räumen, in denen geschlafen wird (Schlafzimmer, Kinderzimmer), aus gesundheitlichen Gründen keine Pflanzen aufgestellt werden sollten. Für drei verschiedene Belegungsflächen würden sich aus den Beispielszenarien die spezifischen Feuchtebelastungen in Bild 4 ergeben.

Mit einer Approximation erhält man hieraus

$$\dot{m}_{D,Pfl.} = \mu_{D,Pfl.} \cdot A_{Raum} = 5,2 \cdot A_{NE}^{-0,665} \cdot A_{Raum} \quad (8)$$

- $\dot{m}_{D,Pfl.}$  Wasserdampfproduktion im Raum durch Pflanzen in g/h
- $\mu_{D,Pfl.}$  spezif. Wasserdampfproduktion der Pflanzen in g/(h m<sup>2</sup>)
- $A_{Raum}$  Fußbodenfläche des Raumes in m<sup>2</sup>
- $A_{NE}$  Fußbodenfläche der Nutzungseinheit in m<sup>2</sup>

**Sonstiges**

Die sonstigen Feuchtebelastungen aus den Beispielszenarien des DIN FB 4108-8 können analog zu den Pflanzen berechnet werden. Mit einer Approximation erhält man

$$\dot{m}_{D,Sonst.} = \mu_{D,Sonst.} \cdot A_{Raum} = 6,82 \cdot A_{NE}^{-0,722} \cdot A_{Raum} \quad (9)$$

- $\dot{m}_{D,Sonst.}$  Wasserdampfproduktion im Raum durch sonstige Feuchtebelastungen in g/h
- $\mu_{D,Sonst.}$  spezifische Wasserdampfproduktion durch sonstige Feuchtebelastungen in g/(h m<sup>2</sup>)

**Bad**

Entsprechend dem DIN FB 4108-8 wird die Feuchtebelastung durch Duschen oder Wannenbad durch unmittelbares Fensterlüften abgeführt und geht daher in die Berechnung nicht ein. Ansonsten müsste hier ein instationäres Rechenverfahren angesetzt werden, welches auch die Raumgröße und die Beschaffenheit der Raumumschließungsflächen berücksichtigt. Somit verbleibt nur noch das Abtrocknen der Handtücher und Waschlappen mit 70 g/Vorgang. Sorptions- und Desorptionsvorgänge werden in einem gefliesten Bad auch gering sein. Die Feuchtebelastung wird auf den Tag verteilt und für jeden Vorgang wird eine Person angenommen

$$\dot{m}_{D,Bad} = \mu_{D,Bad} \cdot n_{Pers.} = \frac{70}{24} \cdot n_{Pers.} \quad (10)$$

- $\dot{m}_{D,Bad}$  Wasserdampfproduktion im Bad durch Abtrocknen in g/h
- $\mu_{D,Bad} = 2,9$  g/(h Pers.) spezifische Wasserdampfproduktion im Bad durch Abtrocknen in g/(h Pers.)

**Küche**

Ähnlich wie im Bad verhält es sich mit den Kochvorgängen. Entsprechend den Beispielszenarien wird nur einmal am Tag ein Geschirrspüler mit 100 g/Vorgang betrieben

$$\dot{m}_{D,GS} = \mu_{D,GS} = \frac{100}{24} \text{ g/h} \quad (11)$$

- $\dot{m}_{D,GS}$  Wasserdampfproduktion in der Küche durch Geschirrspülen in g/h
- $\mu_{D,GS} = 4,2$  g/h spezifische Wasserdampfproduktion in der Küche durch Geschirrspülen in g/h

**Wäschetrocknen**

Der DIN FB 4108-8 gibt 0,25 Waschvorgänge je Person und Tag an. Für einen Waschvorgang entsteht eine Feuchtebelastung von 2500 g bzw. 104 g/h, wenn man das freie Wäschetrocknen auf den Tag verteilt annimmt. Daraus ergibt sich eine durchschnittliche Belastung von 26 g/(h Pers.). Wenn der Ort des Wäschetrocknens in der Planungsphase nicht bekannt ist, wird die Belastung auf die Fläche der Nutzungseinheit verteilt. Ausgenommen hiervon sind die Räume, die vermutlich nicht zum Wäschetrocknen benutzt werden, z. B. Küche, Flur, Windfang.

Die Wasserdampfproduktion im Raum durch Wäschetrocknen ergibt sich aus

**Tabelle 3: Beispiel für die Feuchtebelastung einer Wohnung im Mehrfamilienhaus**

Allgemeine Daten										
Wohnungsgröße: 64.0 m <sup>2</sup> Belegungsfläche: 40 m <sup>2</sup> /Personen max. Personenzahl: 2 Personen			Raum:		Wohnen	Schlafen	Kind	Flur	Bad	Küche
			Fläche in m <sup>2</sup> :		18,4	13,7	13,4	5,0	5,5	8,0
			Personenanzahl:		1	1	1	2	2	1
spezifische Feuchtebelastungen			Belegung in h/d:		13	8	22	1	1	1
Art der Belastung	spezifisch	Einheit	Summe in g/h	in g/d	g/h	g/h	g/h	g/h	g/h	g/h
Personen	50	g/(h Pers.)	100	2400	27	17	46	4	4	2
Pflanzen	0,33	g/(h m <sup>2</sup> )	9	228	6	0	0	2	2	0
Sonstiges	0,34	g/(h m <sup>2</sup> )	22	520	6	5	5	2	2	3
Wäschetrocknen	1,02	g/(h m <sup>2</sup> )	52	1248	19	14	14	0	6	0
Bad (nur Abrocknen)	2,9	g/(h Pers.)	6	139	0	0	0	0	6	0
Küche (nur Geschirrspüler)	4,2	g/(h Vorg.)	4	101	0	0	0	0	0	4
			193	4636	58	35	64	8	19	9

$$\dot{m}_{D,WM} = \mu_{D,WM} \cdot A_{Raum} = \frac{26 \cdot n_{Pers.}}{A_{NE} - \sum_{NW} A_{Raum}} \cdot A_{Raum} \quad (12)$$

$\dot{m}_{D,WM}$  Wasserdampfproduktion im Raum durch freies Wäschetrocknen in g/h

$\mu_{D,WM}$  spezifische Wasserdampfproduktion durch freies Wäschetrocknen in g/(h m<sup>2</sup>)

$\sum_{NW} A_{Raum}$  Summe der Fußbodenflächen derjenigen Räume, die voraussichtlich nicht zum freien Wäschetrocknen benutzt werden.

**Beispiel**

Tabelle 3 zeigt eine Beispielrechnung für die Ermittlung der raumweisen Wasserdampfproduktion in einer Wohnung. Aus der Belegungsfläche ergibt sich die Personenanzahl in der Wohnung. Die Höhe der Belegungsfläche gem. obigen Ausführungen hat durch die Aufrundung auf eine ganzzahlige Personenanzahl bei dieser Wohnungsgröße jedoch keinen Einfluss. Die Personen sowie deren Belegungszeit werden sinnvoll auf die Räume verteilt. Dabei sollte die Bedingung

$$\frac{\sum_{Räume} (n_{Pers.} \cdot t_{Bel.})}{\sum_{Räume} n_{Pers.}} = 24 \text{ h} \quad (13)$$

erfüllt sein. Pflanzen und Wäschetrocknen sind nur für die Räume angenommen, die eine solche Belastung erwarten lassen.

Bei diesem Beispiel zeigen sich deutliche Unterschiede in den Zulufräumen. Der geringeren Belastung im Schlafzimmer kommt der Umstand zugute, dass hier i.d.R. eine niedrigere Temperatur anzunehmen ist. Gegenüber dem 2-Personen-Haushalt im DIN FB 4108-8 ergibt sich hier aufgrund der anders getroffenen Annahmen (ohne Feuchtelastspitzen, dafür aber 24 h/d Belegung) eine um 11 % geringere Belastung.

**Innere Oberflächentemperatur**

Um die physikalischen Zusammenhänge zu veranschaulichen, wird hier – wie in [2] – die stationäre Berechnung der inneren Oberflächentemperatur beschrieben

$$\theta_{si} = f_{Rsi} \cdot (\theta_i - \theta_e) + \theta_e \quad (14)$$

$f_{Rsi}$  dimensionsloser Temperaturfaktor  
 $\theta_i$  Innentemperatur (operative Raumtemperatur) in °C.  
 $\theta_e$  Außentemperatur in °C. Anmerkung: Bei erdreichberührten Flächen die Erdreichtemperatur in der jeweiligen Tiefe

In der Außentemperatur kann die Außenlufttemperatur, die Absorption der Sonnenstrahlung und die langwellige Abstrahlung

an das Himmelsgewölbe bei klarem Himmel berücksichtigt werden (s. [11]). Um eine Verschattungsrechnung zu vermeiden und für den Zweck einer Auslegungsbedingung, empfiehlt sich mindestens die Annahme eines vollständig bedeckten Himmels, bei dem nur die Diffusstrahlung auf das betrachtete Bauteil wirksam wird. Damit entfällt auch die Abstrahlung an das Himmelsgewölbe.

Der dimensionslose Temperaturfaktor beinhaltet sowohl die Wärmedämmeigenschaft des Bauteils als auch die Wärmeübergangsbedingungen.

$$f_{Rsi} = 1 - (U + \Delta U_{WB}) \cdot R_{si} \quad (15)$$

$U$  Wärmedurchgangskoeffizient in W/(m<sup>2</sup> K)  
 $\Delta U_{WB}$  Wärmebrückenzuschlag in W/(m<sup>2</sup> K)  
 $R_{si}$  innerer Wärmeübergangswiderstand in m<sup>2</sup> K/W

Der Wärmebrückenzuschlag liegt in der Größenordnung von 0,02 bis 0,1 W/(m<sup>2</sup> K), je nachdem, ob er detailliert berechnet wird oder ob er pauschaliert angenommen wird. Der innere Wärmeübergangswiderstand sollte nach [2] 0,25 m<sup>2</sup> K/W betragen. Damit soll die Behinderung des Wärmeüberganges durch leichte Gardinen und in der Raumkante Berücksichtigung finden. Dieser Wert ist aber kritisch zu sehen, da selbst bei Vernachlässigung des konvektiven Wärmeüberganges ( $\alpha_k = 0$ ) immer noch ein Strahlungswärmeübergang vorhanden ist, der in der Größenordnung von  $\alpha_s = 5 \text{ W/(m}^2\text{K)}$  liegt. Damit

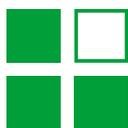
würde sich ein innerer Wärmeübergangswiderstand von  $R_{si} = 0,20 \text{ W/(m}^2\text{K)}$  ergeben. Für den Ansatz eines Wärmeübergangswiderstandes hinter Schränken müsste der Aufstellungsort des Schrankes bereits in der Planungsphase bekannt sein. Außerdem ist ein solcher Ort von der Lüftung nicht erreichbar. Unter den Klimarandbedingungen der DIN 4108-2 [1] ist mindestens  $f_{Rsi} \geq 0,7$  einzuhalten. Glg. (14) gilt für Leichtbauteile, bei denen die Wärmespeicherung vernachlässigbar ist und für langfristige Mittelwerte speicherbehalteter Bauteile (s. [12]).

Bild 6 zeigt für diesen Fall den Einfluss der Parameter Raumtemperatur, Außentemperatur und Wärmedämmung auf den kritischen Feuchtegehalt bei einem Gesamtdruck von 1013 hPa. Der Einfluss der Raumtemperatur nimmt mit besserer Wärmedämmung zu. Dagegen nimmt der Einfluss der Außentemperatur ab. Unter dem Aspekt, dass ein positives Trocknungspotential angestrebt werden sollte, ist der Einfluss der Raumtemperatur nicht zu vernachlässigen. In der Übergangsjahreszeit, in der evtl. die Heizung nicht in Betrieb ist, erschwert dieser Einfluss die Berechnung, weshalb die Überprüfung des Schimmelpilzkriteriums für einen gegebenen Außenluftvolumenstrom nur mithilfe einer thermischen und feuchtetechnischen Jahressimulation des gesamten Raumes möglich ist.

**Der Beitrag wird in der kommenden Ausgabe fortgesetzt.**

# Normenvorschlag zur Wohnungslüftung

## Lüftung zum Feuchteschutz mit Außenluft – Teil 2



Seit der Neuausgabe der bauaufsichtlich eingeführten DIN 4108-2 [1] wird unter der Ziffer 4.2.3 nicht mehr ein durchschnittlicher Luftwechsel von 0,5 h<sup>-1</sup> während der Heizperiode gefordert. Stattdessen verweist die Norm für den ausreichenden Luftwechsel aus Gründen der Hygiene, der Begrenzung der Raumlufftfeuchte sowie gegebenenfalls der Zuführung von Verbrennungsluft auf den DIN Fachbericht 4108-8 [2], welcher Planungs- und Nutzungshinweise zur Vermeidung von Schimmelpilzwachstum in Wohngebäuden gibt. Die im Fachbericht enthaltenen Empfehlungen zur notwendigen Feuchteschutzlüftung mit Außenluft sind aufgrund der getroffenen Annahmen nur eingeschränkt anwendbar. Der zweite Teil des Beitrags ergänzt die vorgeschlagene Berechnungsmethode und gibt ein Auslegungsbeispiel an.

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

### Thermische und feuchte-technische Simulation

Für die Durchführung einer Jahressimulation bietet sich in der Planungspraxis ein Kühllastprogramm an, welches nach der Richtlinie VDI 2078 [13] rechnet. Diese Algorithmen sind auch für eine instationäre Heizlastberechnung und für die Ermittlung der sich einstellenden Raumlufft- und Strahlungstemperatur geeignet. Für die Überprüfung des Schimmelpilzkriteriums sind die Algorithmen jedoch um folgende Punkte zu erweitern:

- Mit den raumseitigen Eingangsrößen Raumlufft- und Strahlungstemperatur ist eine parallele Simulation ausgewählter Bauteile durchzuführen, um die innere Oberflächentemperatur zu ermitteln.
- Für jede Jahresstunde ist eine Feuchtebilanz im Raum vorzunehmen. Die Sorptions- und Desorptionsvorgänge in den Bauteilen können vereinfacht berechnet werden. Mit diesen Gleichungen erhält man die sich einstellende Raumlufftfeuchte.
- Die Algorithmen für die Last- bzw. Temperaturermittlung in der VDI 2078 bzw. VDI 6007-1 sind dahingehend zu erweitern, dass die feuchte Kühl- bzw. Heizlast temperaturabhängig Berücksichtigung finden.

Im Programm KLSim wurden diese Erweiterungen für 3 verschiedene Rechenverfahren

zur Kühllastberechnung umgesetzt:

- Erweitertes und korrigiertes EDV-Verfahren der (noch gültigen) VDI 2078 [13 und 14].
- Zweikapazitätenmodell der VDI 6007-1 [15] auf welches der Entwurf der neuen VDI 2078 [16] verweist.
- Gewichtsfaktorenmethode mit der Summenzeitkonstante (SZK-Verfahren)

Diese 3 Verfahren wurden in [17] validiert und dort näher beschrieben. In den folgenden Berechnungen des notwendigen Außenluftvolumenstromes wurden diese 3 Verfahren stichpunktartig ausgewählt. Dabei ergaben sich Unterschiede in der Größenordnung von 1 bis 2 m<sup>3</sup>/h.

### Variation der Betriebsweise der Anlage

Die Raumtemperatur wird beeinflusst durch die Betriebsweise der Anlage und durch die Baukonstruktion. Daher erfolgen zunächst Variationsrechnungen, welche die Einflüsse der Betriebsweise näher quantifizieren. Der neue Typraum der VDI 2078 [16] bildet die Grundlage in Geometrie und Bauteilaufbau der Berechnungen. Raum: 17,5 m<sup>2</sup>, Außenwand nach Süden,  $U_{AW} = 0,37 \text{ W/(m}^2 \text{ K)}$ , Variation 1 mit schwerer Bauart (S), Variation 2 ohne Wärmespeicherung (KS), Flur konstant 20 °C, ansonsten adiabater Raum. Anlage: Heiz- und Kühlanlage mit 60 % Konvektivanteil, Sollwert ist die Raumluffttemperatur.

Außenklima: Testreferenzjahr (TRY) aus [8] für Klimaregion 3, 4, und 13 mit Annahme eines vollständig bedeckten Himmels. Innenlasten: ganzjährig nur feuchte Last für 60 g/h und 120 g/h Feuchteproduktion.

Tabelle 4 fasst die Ergebnisse für den notwendigen Außenluftvolumenstrom zum Feuchteschutz (VoIFL) zusammen. Um eine ungefähre Aussage über den kritischen Zeitraum einer Schimmelpilzbildung zu bekommen, wurde das letzte Datum der Schimmelpilzbildung im Jahresverlauf angegeben, wenn VoIFL um 1 m<sup>3</sup>/h verringert wird. Dabei kann das Schimmelpilzkriterium vor diesem Datum mehrmals überschritten worden sein. Außer im Falle einer Kühlung (Variation x.4 und x.5) liegt der kritische Zeitraum im September bis November. Beachtenswert ist, dass der Zeitraum auch vor Beginn der Heizperiode liegen kann. Für diesen Fall sind die Raumtemperaturen frei schwingend und können somit als Bezugsgröße für das Ergebnis nicht verwendet werden.

Die Verdoppelung der Feuchtebelastung hat nicht immer eine Verdoppelung des Volumenstromes zur Folge. Die Nachtabstimmung hat nur einen geringen Einfluss. Dagegen ist der Einfluss der Soll-Raumtemperatur nicht zu vernachlässigen, besonders nicht bei der Repräsentanzstation Hamburg. Variation x.7 zeigt den Fall, dass die Raumtemperaturen ganzjährig frei schwingen, z. B. in einem

**Tabelle 4: Notwendiger Außenluftvolumenstrom zum Feuchteschutz für verschiedene Variationen der Betriebsweise und Standorte. Anm.: Datum Schimmelpilzbildung gilt für VolFL-1 m<sup>3</sup>/h.**

Variation Nr.	Speichertyp	Heizung von bis Datum	Nachtabsch. von bis Uhr	Sollwert Heizung °C	Kühlung von bis Datum	Sollwert Kühlung °C	Feuchtebelastung g/h	Potsdam		Mühdorf/Bayern		Hamburg	
								VolFL ganzjährig m <sup>3</sup> /h	Datum Schimmelpilzbildung	VolFL ganzjährig m <sup>3</sup> /h	Datum Schimmelpilzbildung	VolFL ganzjährig m <sup>3</sup> /h	Datum Schimmelpilzbildung
1.1	S	1.10. – 31.04.	–	20	–	–	60	11	03.10.	14	29.09.	10	13.09.
1.2	S	1.10. – 31.04.	–	20	–	–	120	22	01.10.	36	28.09.	24	21.09.
1.3	S	1.10. – 31.04.	22 – 6	20	–	–	60	11	03.10.	14	29.09.	11	24.11.
1.4	S	1.01. – 31.12.	–	20	1.01. – 31.12.	20	60	43	12.08.	81	01.07.	19	20.07.
1.5	S	1.01. – 31.12.	–	22	1.01. – 31.12.	24	60	14	15.08.	13	02.07.	10	21.09.
1.6	S	1.10. – 31.04.	–	15	–	–	60	16	19.11.	19	24.11.	21	23.11.
1.7	S	–	–	–	–	–	60	20	30.11.	19	24.11.	24	22.11.
1.8	S	1.01. – 31.12.	–	20	–	–	60	11	07.10.	14	29.09.	10	13.09.
2.1	KS	1.10. – 31.04.	–	20	–	–	60	9	08.10.	10	25.11.	10	23.11.
2.2	KS	1.10. – 31.04.	–	20	–	–	120	17	07.10.	19	24.11.	20	23.11.
2.3	KS	1.10. – 31.04.	22 – 6	20	–	–	60	8	17.11.	8	14.11.	9	21.11.
2.4	KS	1.01. – 31.12.	–	20	1.01. – 31.12.	20	60	45	12.08.	79	01.07.	19	25.07.
2.5	KS	1.01. – 31.12.	–	22	1.01. – 31.12.	24	60	16	15.08.	15	02.07.	11	26.07.
2.6	KS	1.10. – 31.04.	–	15	–	–	60	15	01.12.	17	25.11.	17	23.11.
2.7	KS	–	–	–	–	–	60	21	03.12.	19	11.11.	20	28.11.
2.8	KS	1.01. – 31.12.	–	20	–	–	60	9	18.09.	11	30.09.	10	23.11.

unbeheizten Schlafzimmer. Im Gegensatz dazu ist in der Variation x.8 ganzjährig eine Heizung in Betrieb, die eine Mindesttemperatur von 20 °C garantiert. Die beiden Variationen mit Kühlung belegen die Empfindlichkeit einer Schimmelpilzbildung, wenn für eine Kühlung eine zu niedrige Soll-Raumtemperatur gewählt wird. Im TRY 13 erhöht sich der Volumenstrom bei Übergang von 24 auf 20 °C um das 6fache. Bei Kühldecken wird nach oben hin die Soll-Raumtemperatur durch ihren Taupunkt und durch die Vorlauftemperatur begrenzt. D.h. bei Kühldecken, z. B. in Komfortwohnungen, sind

die Auslegungstemperaturen mit besonderer Sorgfalt zu wählen.

Die schwere Bauweise erfordert i.d.R. die höheren Volumenströme. Wird einmal die kritische Oberflächentemperatur unterschritten, bleibt sie bei der schweren Bauweise länger erhalten, als bei der leichten

Bauweise, wodurch die 12 h/d des Schimmelpilzkriteriums eher erreicht werden.

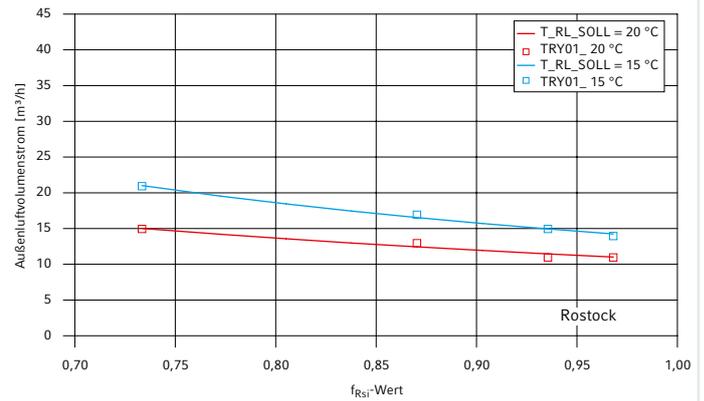
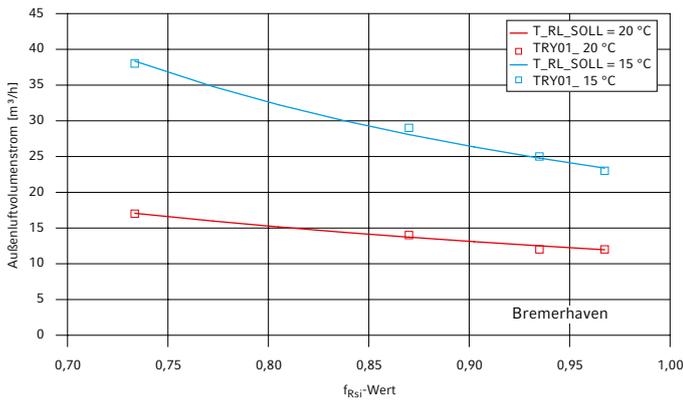
#### Variation der Wärmedämmung

Für ein Rechenverfahren mit definierten Randbedingungen wird bei dieser Variation der

**Tabelle 5: Notwendiger Außenluftvolumenstrom zum Feuchteschutz für verschiedene Variationen der Wärmedämmung und Standorte. Anm.: Datum Schimmelpilzbildung gilt für VolFL-1 m<sup>3</sup>/h.**

Variation Nr.	U+λ UWB AWVS W/(m <sup>2</sup> K)	Sollwert Heizung °C	Feuchtebelastung g/h	Bremerhaven TRY2007_01_Sommer		Rostock TRY2007_02_Sommer	
				VolFL ganzjährig m <sup>3</sup> /h	Datum Schimmelpilzbildung	VolFL ganzjährig m <sup>3</sup> /h	Datum Schimmelpilzbildung
7.1	0,25	20	60	12	21.09.	11	30.09.
7.2	0,25	20	120	26	20.09.	22	29.09.
7.3	0,25	15	60	23	22.11.	14	29.11.
7.4	0,25	15	120	46	22.11.	29	09.11.
7.5	0,50	20	60	12	12.09.	11	30.09.
7.6	0,50	20	120	28	20.09.	23	29.09.
7.7	0,50	15	60	25	22.11.	15	29.11.
7.8	0,50	15	120	48	22.11.	30	09.11.
7.9	1,00	20	60	14	21.09.	13	30.09.
7.10	1,00	20	120	30	20.09.	25	30.09.
7.11	1,00	15	60	29	22.11.	17	29.11.
7.12	1,00	15	120	54	22.11.	34	09.11.
7.13	2,05	20	60	17	12.09.	15	30.09.
7.14	2,05	20	120	35	20.09.	31	30.09.
7.15	2,05	15	60	38	22.11.	21	29.11.
7.16	2,05	15	120	72	22.11.	43	09.11.

## 7 Notwendiger Außenluftvolumenstrom zum Feuchteschutz



Darstellung für zwei Standorte und 60 g/h Feuchtelast  
a) TRY2007\_01\_Sommer

b) TRY2007\_02\_Sommer

Wärmedämmung von einer Sockeltemperatur von 20 °C und 15 °C ausgegangen. Das bedeutet, dass ganzjährig eine Heizung in Betriebsbereitschaft ist bzw. dass ein Unterschreiten der Sockeltemperatur durch andere Wärmequellen verhindert wird.

Die Ergebnisse der dynamischen Simulation in der Tabelle 5 zeigen beispielhaft für 2 Standorte, dass hier die Proportionalität bei Verdoppelung der Feuchtelast mit geringen Abweichungen zutrifft. Aus der Spalte „Datum Schimmelpilzbildung“ kann man ablesen, dass der kritische Zeitraum im September bis November liegt. Eine grafische Darstellung der Ergebnisse für die Feuchtebelastung 60 g/h ist im Bild 7 enthalten.

Die Punkte im Bild 7 stellen die Simulationsergebnisse dar. Die durchgezogenen Linien haben sich durch eine Approximation der Punkte mit den o.g. Algorithmen und dem Außenklimazustand in der Tabelle 6 ergeben.

Die Kurven für die Sockeltemperatur 20 °C liegen in beiden Standorten sehr nahe beieinander. Dagegen wird für die Sockeltemperatur 15 °C deutlich, dass eine regionale Betrachtung notwendig ist. Aus denen in Tabelle 6 angegebenen Mittelwerten für das Außenklima geht diese Erscheinung jedoch nicht hervor. Die Approximationswerte zeigen, dass sie im Rahmen der Mittelwerte für September bis November liegen.

Damit liegen alle notwendigen Daten fest, um eine Auslegung mit den o.g. Algorithmen vorzunehmen.

### Auslegungsbeispiel

Die Tabelle 7 zeigt ein Berechnungsbeispiel in Microsoft Excel für die Bestimmung der Lüftung zum Feuchteschutz mit Außenluft. Der Außenluftvolumenstrom und der kritische Feuchtgehalt gilt für den Standort Rostock. Für die Wärmedämmung wurde ein U-Wert entsprechend Neubausituation gewählt, der mit dem o.g.  $R_{si}$ -Wert korrigiert wird. Bei der Wahl der Innentemperatur ist nicht nur der Auslegungswert, sondern auch der Betriebswert zu untersuchen, der von der eingestellten Heizkurve und dem üblichen Wohnverhalten abhängt. Den Räumen Schlafen und Flur werden daher 15 °C zugeordnet.

Gemäß obigen Ausführungen ergeben sich dadurch unterschiedliche Annahmen für den zugrunde zu legenden Außenluftzustand. Für den innenliegenden Flur wird die äußere Temperatur eines Hausflurs mit 15 °C angenommen.

Bei den teilweise sehr niedrigen Volumenströmen ist zu beachten, dass sie auch mit den sehr geringen Werten der Infiltration verglichen werden.

Tabelle 8 zeigt den Vergleich der Ergebnisse mit verschiedenen Berechnungsverfahren und für die gesamte NE. Für den Fall „mit Wäschetrocknen“ muss in der Tabelle 5 der DIN 1946-6

die „Reduzierte Lüftung“ gewählt werden, da die „Lüftung zum Feuchteschutz“ das Wäschetrocknen ausschließt (s. [3, Kap. 3.1.37]). Diese enthält allerdings auch hygienische Mindestanforderungen. Die Ergebnisse der Tabelle 7 sind daher deutlich geringer. Im Fall „ohne Wäschetrocknen“ stimmen die Ergebnisse der Tabelle 7 mit der DIN 1946-6 fast überein. Das Ergebnis der Tabelle 2 belegt, dass ein pauschaler Ansatz für die einzelnen Räume nicht geeignet ist.

**Tabelle 6: Mittelwerte des Außenklimas für die Klimaregion 1 und 2 und Ergebnisse der Approximation in Bild 7**

#### a) Referenzstation Bremerhaven

Monat	Außenklima für TRY2007_01_Sommer		
	Außenlufttemp. °C	Außenfeuchtegehalt g/kg	Gesamtdruck hPa
Sep	15.5	8.5	1018
Okt	7.6	5.5	1012
Nov	7.3	5.9	1014
Mittel	10.1	6.6	1015

#### Approximation

Raumtemp. °C	Außenlufttemp. °C	Außenfeuchtegehalt g/kg	Gesamtdruck hPa
20	12.4	7.4	1015
15	8.4	6.3	1015

#### b) Referenzstation Rostock

Monat	Außenklima für TRY2007_02_Sommer		
	Außenlufttemp. °C	Außenfeuchtegehalt g/kg	Gesamtdruck hPa
Sep	14.4	7.5	1016
Okt	7.7	5.2	1008
Nov	5.4	5.0	1008
Mittel	9.2	5.9	1011

#### Approximation

Raumtemp. °C	Außenlufttemp. °C	Außenfeuchtegehalt g/kg	Gesamtdruck hPa
20	12.7	7.1	1011
15	6.0	5.0	1011

**Tabelle 7: Beispiel für die Bestimmung der Lüftung zum Feuchteschutz mit Außenluft**

Raumbezeichnung:	Wohnen	Schlafen	Kind	Flur	Bad	Küche
U-Wert [W/(m² K)]:	0,25	0,25	0,25	1,00	0,25	0,25
R <sub>si</sub> [m² K/W]:	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13
R <sub>se</sub> [m² K/W]	0,04	0,04	0,04	0,13	0,04	0,04
R <sub>Lam</sub> [m² K/W]	3,83	3,83	3,83	0,74	3,83	3,83
R <sub>si</sub> [m² K/W]	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
U <sub>korr</sub> [W/(m² K)]:	0,243	0,243	0,243	0,893	0,243	0,243
f <sub>Rsi</sub> [-]:	0,939	0,939	0,939	0,777	0,939	0,939
T <sub>Innen</sub> [°C]:	20	15	20	15	22	20
Feuchteproduktion [g/h]:	58	35	64	8	19	9
T <sub>Aussen</sub> [°C]:	12,7	6,0	12,7	15,0	12,7	12,7
x <sub>Aussen</sub> [g/kg]:	7,1	5,0	7,1	0,0	7,1	7,1
Luftdruck [hPa]:	1011	1011	1011	1011	1011	1011
T <sub>si</sub> [°C]:	19,6	14,5	19,6	15,0	21,4	19,6
x <sub>krit</sub> [g/kg]:	11,4	8,2	11,4	8,5	12,8	11,4
VolFL [m³/h] aufgerundet:	12	9	13	0	3	2

**Tabelle 8: Vergleich der Lüftung zum Feuchteschutz mit verschiedenen Berechnungsverfahren**

Berechnungsverfahren	mit Wäschetrocknen m³/h	ohne Wäschetrocknen m³/h
nach Tabelle 7	39	28
nach DIN 1946-6 Tab. 5	62 (Reduzierte Lüftung)	29 (Lüftung zum Feuchteschutz, Wärmeschutz hoch)
nach Tabelle 2	k.A.	43 (Neubau)

Dieses Beispiel macht deutlich, dass Abweichungen von den Standardfeuchtelasten (hier Wäschetrocknen) zu ganz anderen Volumenströmen führen kann, als sie in der DIN 1946-6 angegeben sind.

Die Berechnung erfolgte hier allerdings noch ohne die Berücksichtigung der Feuchteübertragung in andere Räume.

### Mehrfachnutzung der Außenluft

Bei Anlagen zur freien Lüftung, Abluftanlagen und Zu-/Abluftanlagen, bei denen die Abluft aus anderen Räumen entnommen wird, als die Zuluft eingebracht wurde, liegt eine Mehrfachnutzung der Außenluft vor. Einfachstes Beispiel für eine Doppelnutzung sind die Überströmräume (Flure) und Ablufträume (Bad, Küche) bei Abluftanlagen. Teilweise wird aber die Luft auch über mehr als zwei Räume transportiert, z. B. im Einfamilienhaus aus dem oberen Geschoss zu einem Abluftraum im Erdgeschoss mit Zentralventilator. Oder die Durchströmung Wohnen → Essen → Küche → Bad. Die Überströmung belasteter Luft aus anderen Räumen kann zur Erhöhung der erforderlichen Außenluftmenge im betrachteten Raum führen.

Die Glg. (4) zeigt, dass der Abluftmassenstrom aus Nachbarräumen nur dann zu einer zusätzlichen Feuchtelast führt, wenn  $x_{AB,NR} > x_{krit}$  ist. Werden alle Räume der NE für den gleichen kritischen Feuchtegehalt ausgelegt, z.B. für die gleiche Wärmedämmung und Raumtemperatur, ist die Mehrfachnutzung der Außenluft bezüglich der Lüftung zum Feuchteschutz unproblematisch. Strömt die Luft aber von einem wärmeren in einen kälteren Raum, z. B. vom Wohnzimmer in ein Schlafzimmer oder Flur, liegt eine zusätzliche Feuchtelast durch den geringeren kritischen Feuchtegehalt im kälteren Raum (vgl. Bild 6) vor, die bei der Volumenstrombestimmung zu berücksichtigen ist.

Es ist also eine zusätzliche raumweise Prüfung notwendig, ob trotz Mehrfachnutzung der kritische Feuchtegehalt nicht überschritten wird. Weitere Parameter können bei einer solchen Prüfung bewertet werden, wenn man auch den Volumenstrom

für die Hygienelüftung mit einbezieht. Damit können folgende Fragen beantwortet werden bzw. man erhält für den weiteren Planungsablauf notwendige Informationen:

- Wird der kritische Feuchtegehalt überschritten?
- Wird bei hohem Volumenstrom die Luft zu trocken?
- Ist der Luftwechsel im Raum so hoch, dass mit Zugerscheinungen zu rechnen ist?

Günstig wären hier Richtwerte für den max. Luftwechsel gewichtet mit der Eintrittstemperatur, ausgehend von einer optimalen Luftführung im Raum.

- Wird der maximal zulässige CO<sub>2</sub>-Gehalt bei der Hygienelüftung durch die bereits belastete Luft aus anderen Räumen überschritten?
- Für die Heiz- und Kühllastberechnung erhält man die Eintrittstemperaturen und Volumenströme aus Nachbarräumen.
- Bei einer solchen Berechnung kann bei Anlagen mit Zu- und Abluftkanälen gleichzeitig die Eintrittstemperatur in die Wärmerückgewinnung, die sich aus der Mischung unterschiedlicher Temperaturen und Volumenströme ergibt, zur Dimensionierung ermittelt werden.

Gegebenenfalls kann bereits eine veränderte Luftführung in der NE eine Über- bzw. Unterschreitung der genannten Parameter verhindern.

Der Ist-Feuchtegehalt in der Raumluft ergibt sich aus einer stationären feuchten Massenbilanz

$$x_{Ist} = \frac{\dot{m}_{D,Prod} + \sum_{NRü} (\dot{m}_{AB} \cdot x_{AB}) + \dot{m}_{AUL} \cdot x_{AUL} + \dot{m}_{ZU} \cdot x_{ZU}}{\sum_{NRü} \dot{m}_{AB} + \dot{m}_{AUL} + \dot{m}_{ZU}} \quad (16)$$

- $x_{Ist}$  Ist-Feuchtegehalt in der Raumluft in g WD/kg tr. Luft
- $\dot{m}_{AUL}$  Massenstrom der tr. Luft aus der Außenluft in kg tr. Luft/h
- $x_{AUL}$  Feuchtegehalt der Außenluft in g WD/kg tr. Luft
- $\dot{m}_{ZU}$  Massenstrom der tr. Luft aus RLT-Anlage in kg tr. Luft/h
- $x_{ZU}$  Feuchtegehalt der Luft aus RLT-Anlage in g WD/kg tr. Luft

**Tabelle 9: Beispiel für die Untersuchung der Mehrfachnutzung der Außenluft.**

1011: Gesamtdruck in hPa  
 6.0: Außenlufttemperatur in °C  
 5.0: abs. Feuchtegehalt der Außenluft in g WD/kg tr. L.  
 2.55: Mittlere Raumhöhe in m  
 30: Minimale Raumlufftfeuchte für zu trockene Luft in %  
 4: Maximaler Luftwechsel für Zugerscheinungen in 1/h  
 Bewertung S:  $x_{Ist} > x_{krit}$ , tr: zu trockene Luft, Zug: zu hoher Luftwechsel

Raumbezeichnung	Raum Nr.	Fläche m <sup>2</sup>	Anschl. Raumnr.	TRaum °C	mD g/h	x <sub>krit</sub> g/kg	VoIAUL m <sup>3</sup> /h	ÜLD-Anschluss				Kanalanschluss				φIst %	Bewertung			
								VoINR m <sup>3</sup> /h	TNR °C	xNR g/kg	VoIAB m <sup>3</sup> /h	TAB °C	xAB g/kg	xIst g/kg	S		tr	Zug		
Wohnen	1	18,40	-4	20	58	11,4	12						13	20,0	8,9	8,9	61			
Schlafen	2	13,70	-4	15	35	8,2	9						9	15,0	8,1	8,1	76			
Kind	3	13,40	-4	20	64	11,4	13						14	20,0	8,9	8,9	61			
Flur	4	5,00	-5	15	8	8,5	0	36	18,7	8,7			35	15,0	8,9	8,9	83	X		
Bad	5	5,50		22	19	12,8	3	37	15,3	8,9			41	22,0	9,0	9,0	54			
Küche	6	8,00	-5	20	9	11,4	2						2	20,0	8,6	8,6	59			

Damit erhält man die rel. Raumlufftfeuchte zu

$$\phi_{Ist} = \frac{100 \% \cdot x_{Ist} \cdot p_{ges}}{p_{DS}(\theta_L) \cdot (622 + x_{Ist})} \quad (17)$$

φ<sub>Ist</sub> relative Ist-Raumlufftfeuchte in %

Diese sollte einen Wert von 30 % nicht unterschreiten.

Tabelle 9 zeigt ein Berechnungsbeispiel in Microsoft Excel für die Untersuchung der Mehrfachnutzung der Außenluft. Die Untersuchung beschränkt sich hier nur auf die Lüftung zum Feuchteschutz, um etwaige Zuschläge nur für diesen Bereich darzustellen. Der Außenluftvolumenstrom, der kritische Feuchtegehalt und einer der Außenluftzustände sind der Tabelle 7 entnommen. Die Volumenstromberechnung erfolgte unter Berücksichtigung der jeweiligen Temperatur- und Feuchteverhältnisse, wodurch sich unterschiedliche Dichten der Luft ergeben.

Für die Berechnung der Volumenstromverteilung in der NE muss nur die Anschlussraumnummer eingetragen werden, wobei beliebige Anschlussarten möglich sind. In Tabelle 9 sind Raum 1 bis 3 an den innenliegenden Flur angeschlossen. Von dort aus geht die Luft in den Abluftraum Bad. Die Küche ist mit dem Bad direkt über ein ÜLD verbunden.

Für die Volumenströme aus Nachbarräumen sollte man un-

terscheiden, ob der Anschlussraum über einen Kanalanschluss oder über ein ÜLD angeschlossen wird. Letzteres wird durch ein negatives Vorzeichen in der Spalte „AnschIRaumnr.“ gekennzeichnet und berücksichtigt somit die Feuchteübertragung in den Anschlussraum. Die ggf. aus mehreren Räumen gemittelten Daten der Nachbarräumzuströmung in den 3 Spalten unter „ÜLD-Anschluss“ werden für die Heiz- und Kühllastberechnung und für die Ermittlung der Ist-Raumlufftfeuchte benötigt. Die über einen „Kanalanschluss“ erfolgte Zuströmung wirkt sich nur durch Mischung mit der Raumlufft auf den Abluftzustand aus. Dabei wird vorausgesetzt, dass sich die Luft im durchlaufenden Kanal nicht erwärmt oder abkühlt.

Im Falle einer Zu- und Abluftanlage erhielte man aus dem Abluftzustand eine Dimensionierungsgrundlage für die WRG.

Durch die Zuströmung der 36 m<sup>3</sup>/h Luft aus den Räumen 1-3 mit einer gemittelten Temperatur von 18,7°C und einem Feuchtegehalt von 8,7 g/kg in den kälteren Flur mit 15°C ist durch die hohe Feuchtezufuhr aus den Nachbarräumen ein Schimmelpilzrisiko gegeben. Da der Flur innenliegend ist, muss ein zusätzlicher Außenluftvolumenstrom sinnvoll auf die am Flur angeschlossene Räume verteilt werden. Bei einem Zuschlag von 4 m<sup>3</sup>/h im Raum

Schlafen besteht kein Schimmelpilzrisiko mehr im Flur. Diese Berechnung kann man aber erst vornehmen, wenn die Verteilung der Volumenströme in der NE bekannt ist.

Erfolgt die Auslegung für die Hygienelüftung, sind ähnliche Zuschläge denkbar. Berücksichtigt die Untersuchung der Mehrfachnutzung auch den CO<sub>2</sub>-Gehalt in der Bewertung, erübrigt sich die Frage, ob für das Maximum zwischen Lüftung zum Feuchteschutz und Hygienelüftung oder für die Summe aus beiden auszuliegen ist.

**Fazit**

Der vorliegende Beitrag orientiert sich an den beiden Fachberichten [2 und 5], gibt aber konkrete Rechenvorschriften für eine projektbezogene Planung an. In den Algorithmen sind die wesentlichen physikalischen Einflussgrößen berücksichtigt. Als besondere Merkmale haben sich die regionale Abhängigkeit, die Feuchtelast und die Raumtemperatur erwiesen. Aus den letzten beiden ergibt sich die Notwendigkeit einer raumweisen Betrachtung, wie sie auch bei der Heiz- und Kühllastberechnung üblich ist. Zusammenfassend liegen bei dieser Berechnungsart folgende Vorteile vor:

- Die Dokumentationsanforderungen des europäischen Fachberichtes CEN/TR 14788 werden erfüllt.
- Die unterschiedlichen Raumtemperaturen in den einzelnen Räumen einer NE können berücksichtigt werden, wodurch sich ein individuelles Lüftungsfordernis ergibt.
- Genauso kann die notwendige Lüftung in Nebenräumen mit anderer Nutzung und damit mit anderen Feuchtelasten bestimmt werden.
- Die Untersuchung der Mehrfachnutzung der Außenluft mit der Übertragung von Stofflasten auf andere Räume ist möglich. Für Lüftungstechnische Maßnahmen sind hier evtl. Zuschläge oder eine optimierte Luftführung notwendig.
- Die Verteilung der Gesamt-Außenluftvolumenströme mit dem Aufteilungsfaktor f<sub>Rzu</sub> gem. DIN 1946-6 für Zulufträume könnte entfallen. Für Nebenräume finden sich in der Tabelle 14 der Norm keine Angaben.
- Ebenso könnte die Verteilung auf die Ablufträume gem. DIN 1946-6 entfallen. Diese Aufteilung gilt ohnehin nur für Nutzungseinheiten mit einem Überströmraum (Flur), von dem aus der Gesamt-Außenluftvolumenstrom auf ein oder mehrere Ablufträume verteilt wird. Sind mehrere Ablufträume vorhanden, die nicht über einen zentralen Sammelpunkt

versorgt werden, so ist die Zuordnung der zugehörigen Zulufräume in der Norm nicht vorgesehen. Dadurch ergibt sich eine widersprüchliche Verteilung der Zu- und Abluftströme.

Die Approximation der Simulationsergebnisse zur Bestimmung des anzusetzenden Außenluftzustandes konnten jedoch nur unter der Einschränkung gewonnen werden, dass ganzjährig eine bestimmte Sockeltemperatur aufrecht erhalten bleibt. Bei wechselnden Raumtemperaturen kann der Nachweis zur Lüftung zum Feuchteschutz nur über eine Simulation erfolgen. Diese Option sollte in der Norm offen gehalten werden.

Dieser Beitrag ist ein Normenvorschlag für die neu zu überarbeitende DIN 1946-6. Mit einem Leserbrief an den Autor bzw. an die Redaktion hat die Fachwelt frühzeitig die Möglichkeit, mit ihrer Meinung am Normungsprozess teilzunehmen.

#### Literatur

- [1] DIN 4108-2:2013-02: Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Teil 2: Mindestanforderungen an den Wärmeschutz.
- [2] DIN-Fachbericht 4108-8:2010-09: Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Teil 8: Vermeidung von Schimmelwachstum in Wohngebäuden
- [3] DIN 1946-6:2009-05: Raumluftechnik – Teil 6: Lüftung von Wohnungen – Allgemeine Anforderungen, Anforderungen zur Bemessung, Ausführung und Kennzeichnung, Übergabe/Übernahme (Abnahme) und Instandhaltung.
- [4] DIN 18017-3:2009-09: Lüftung von Bädern und Toilettenräumen ohne Außenfenster – Teil 3: Lüftung mit Ventilatoren
- [5] CEN/TR 14788:2006-10: Lüftung von Gebäuden – Ausführung und Bemessung der Lüftungssysteme von Wohnungen
- [6] Richter, W., Hartmann, T., Kremonke, A., Reichel, D.: Gewährleistung einer guten Raumlufqualität bei weiterer Senkung der Lüftungswärmeverluste. Endbericht zum Forschungsprojekt des Bundesministeriums für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen, Heft 105, 2001.
- [7] Christoffer, J., Deutschländer, T., Webs, M.: Testreferenzjahre von Deutschland für mittlere und extreme Witterungsverhältnisse, Deutscher Wetterdienst, Abteilung Klima- und Umweltberatung, Offenbach am Main, 2004.
- [8] Testreferenzjahre von Deutschland für mittlere, extreme und zukünftige Witterungsverhältnisse, Bundesamtes für Bauwesen und Raumordnung (BBR), Datensätze von 2011.
- [9] Hartmann, T.: Wie viel Luft muss es sein? Mindestanforderungen an die Lüftung von Wohnungen – Teil 1: Luftwechsel contra Luftvolumenstrom, Notwendigkeit der Lüftung. IKZ-Fachplaner 01/2015, S. 20-23.
- [10] Statistisches Bundesamt: Fortschreibung des Wohngebäude- und Wohnungsbestandes – Lange Reihen. GENESIS-Online, Stand: Oktober 2014.
- [11] Nadler, N.: Kombinierte Außentemperatur mit langwelligen Reflexionen an der terrestrischen Umgebung. Gesundheits-Ingenieur 118 (1997) Nr. 6, Seite 310 – 315.
- [12] Nadler, N.: Neue Außenlufttemperaturen für die Heizlastberechnung. Gesundheits-Ingenieur 133 (2012) Nr. 1, Seite 1 – 12.
- [13] VDI 2078:1994-10: Berechnung der Kühllast klimatisierter Räume. (VDI-Kühllastregeln).
- [14] Nadler, N.: Korrekturvorschläge zum EDV-Verfahren der VDI 2078. Teil 1a: Algorithmen. HLH Bd. 54 (2003) Nr. 8, S. 59-66
- [15] VDI 6007 Blatt 1 Ausgabe März 2012: Berechnung des instationären thermischen Verhaltens von Räumen und Gebäuden – Raummodell –.
- [16] VDI 2078 Entwurf März 2012: Berechnung der Kühllast und Raumtemperaturen von Räumen und Gebäuden (VDI-Kühllastregeln).
- [17] Nadler, N.: C.A.T.S.-Kühllastberechnung. Validierung des Raummodells anhand der neuen VDI 6007-1. TAB 12/2012, S. 42-50.

# Adiabatische Kühl- und Lüftungssysteme von Colt

Dank effizienter Technik erfüllt das adiabatische Kühl- und Lüftungssystem „CoolStream“ höchste Anforderungen in puncto Wirtschaftlichkeit und Umweltschutz. Der CoolStream zeichnet sich durch niedrige Investitions- und äußerst geringe Betriebskosten aus, Verdunstungskühlung ist bis zu Zehnmal günstiger wie herkömmliche Systeme. Das ist unser Beitrag für energieeffizientes und nachhaltiges Bauen.

[www.colt-info.de](http://www.colt-info.de)

**COLT**