Grundlage Lüftung

In der Atmosphäre beträgt der CO_2 Anteil etwa 400ppm (0,04%).
Ein Mensch atmet 0,5 m^3 pro Stunde mit einem CO_2 Gehalt von 4% aus.

Nach Pettenkofen soll die maximale Konzentration von CO_2 im Raum nicht mehr als 1000 ppm betragen. Damit ergibt sich ein Frischluftbedarf von:

$$\frac{0{,}5\ \frac{m^3}{h} * \ 0{,}04}{0{,}001\ -\ 0{,}0004} = \ 33{,}33\ \frac{m^3}{h}$$

Der Bedarf beträgt also rund 30 m^3/h pro Person.

Daraus errechnet sich die erforderliche Luftwechselrate:

$$n\ = \frac{30\ \frac{m^3}{h}\ *\ Personenzahl}{V_{Raum}}$$

Beispiel: Wohnzimmer mit 4 Personen, 25 m^2 Fläche und 2,5 m Raumhöhe:

$$V_{Raum} = \ Länge\ x\ Breite\ x\ Höhe\ \ = \ 25\ m^2 * \ 2{,}5\ m\ \ = \ 62{,}5\ m^3$$

$$n\ = \frac{4\ Personen\ *\ \frac{30\ \frac{m^3}{h}}{Person}}{62{,}5\ m^3} = \ 1{,}92\ h^{-1}$$

Feuchteschutz

Ein normaler Haushalt mit 4 Personen produziert zwischen 10 und 17 Liter Wasserdampf pro Tag (Atmung und Feuchteabgabe durch die Haut, Waschen, Kochen, Pflanzen…).

Bei einer Lufttemperatur von 0°C kann die Luft 4,8g Wasserdampf pro m^3 aufnehmen (Sättigung = 100% rel. Luftfeuchte). Bei 20°C und 100% Luftfeuchte (Nebelbildung) sind es 17,3 g pro m^3.
Die relative Luftfeuchte im Raum sollte für ein gesundes Raumklima zwischen 30 und 55% relative Luftfeuchte liegen.

Bei einer Raumtemperatur von 20°C und einer relativen Luftfeuchte von 40% sind 8,7 g Wasserdampf pro m^3 in der Luft.

Bei einer nutzerunahhängigen Lüftung werden folgende Werte eingestellt:

- Stufe 1 - Feuchteschutz, 0,3…0,4 fache der Nennlüftung
- Stufe 2 - reduzierte Lüftung, 0,7 fache Nennlüftung
- Stufe 3 - Nennlüftung

Stufe 4 - Intensivlüftung, 1,3 fache Nennlüftung

Bei schwacher Luftbewegung (0,5 m/s, 1Bft, schwacher Wind) sind mit Fensterlüftung folgende Luftwechselraten zu erreichen:

Fenster geschlossen, 0,05…0,4 h^{-1}
Fenster gekippt, 0,8…2,5 h^{-1}
Fenster gekippt mit Querlüftung, 2…4 h^{-1}
Fenster halb offen, 4…8 h^{-1}
Fenster ganz offen, 8…12 h^{-1}
Fenster ganz offen mit Querlüftung, 25…40 h^{-1}

Die Zuordnung der Luftwechselraten

n_{50} 3,0 h^{-1} entspricht n = 0,7 h^{-1}
n_{50} 1,5 h^{-1} entspricht n = 0,6 h^{-1}
n_{50} 0,6 h^{-1} entspricht n = 0,5 h^{-1}

Lüftungskonzept

Das Lüftungskonzept soll die Notwendigkeit lüftungstechnischer Maßnahmen ermitteln. Dazu wird der erforderliche Luftwechsel für den Feuchteschutz als Maßstab genommen.
Dabei werden folgende Bezeichnungen verwendet:

FL = Lüftung zum Feuchteschutz
RL = Reduzierte Lüftung
NL = Nennlüftung
IL = Intensivlüftung

Lüftungstechnische Maßnahmen sind immer erforderlich, wenn das Luftvolumen zum Feuchteschutz $q_{V,ges,NE,FL}$ größer als der Luftvolumenstrom durch Infiltration $q_{V,inf,wirk}$ ist.

$$q_{V,ges,NE,FL} > q_{V,inf,wirk}$$

Nach DIN 1946-Bbl 2 wird der Luftvolumenstrom zum Feuchteschutz nach Gleichung ermittelt:

$$q_{V,ges,NE,FL} = f_{WS} * (-0{,}001 * {A_{NE}}^2 + 1{,}15 * A_{NE} + 20)$$

Dabei ist f_{WS} ein Faktor zur Berücksichtigung des Wärmeschutzes (0,3 für Wärmeschutz hoch ->WSchV95 und 0,4 für Wärmeschutz gering).

Ein Beispiel im Altbau mit einer angenommenen (Wohn-)fläche von 115 m^2 soll dies verdeutlichen:

$$q_{V,ges,NE,FL} = 152\ \frac{m^3}{h}$$

Der Luftvolumenstrom durch Infiltration wird nach DIN 1946 Bbl. 2 berechnet:

$$q_{V,inf,wirk} = f_{wirk,Komp} * A_{NE} * H_R * n_{50} * (f_{wirk,Lage} * \frac{\Delta p}{50})^n$$

Dabei beträgt $f_{wirk,Komp}$ bei Querlüftung durch mindestens zwei Außenfassaden 0,5 und bei nur einer Außenfassade 0,25.
$f_{wirk,Lage}$ wird vereinfachend mit 1,0 angenommen, sofern das Gebäude bis zu 4 Geschosse hat.
H_R ist die Raumhöhe (i.d.R. 2,5 m), n_{50} der Vorgabewert entweder aus einer Differenzdruckmessung oder nach Tabelle zwischen 1,0 und 4,5. Im Bestand sind Werte zwischen 1,5 (MFH mit lüftungstechnisch relevanten Änderungen) über 2,0 (EFH mit lüftungstechnisch relevanten Änderungen) bis zu 4,5 (MFH und EFH ohne lüftungstechnisch relevanten Änderungen) zu verwenden. Für Δp wird für windschwache Gebiete 2 Pa (MFH) bzw. 5 Pa (EFH) und für windstarke Gebiete 4 Pa (MFH) bzw. 7 Pa (EFH) angenommen.
Der Druckexponent n ist entweder 2/3 des Vorgabewertes oder der Messwert.

Für das Beispiel:

$$q_{V,inf,wirk} = 0{,}5 * 115\,m^2 * 2{,}5\,m * 4{,}5\,h^{-1} * (\frac{2\,Pa}{50})^{\frac{2}{3}} = 75{,}7\,\frac{m^3}{h}$$

In diesem Fall sind lüftungstechnische Maßnahmen erforderlich. Für den Feuchteschutz allein müssen 76,3 $\frac{m^3}{h}$ durch zusätzliche Lüftung sichergestellt werden.

Die Vorgehensweise zur Ermittlung der Luftmenge:

- Anlagenluftwechsel normal 0,4-fach bis 0,5-fach, maximal 1-fach
- 30 $\frac{m^3}{h}$ und Person
- Luftwechsel 1 bis 1,25 $\frac{m^3}{h}$ je m^2
- DIN 1946-6

Wärmeverluste durch Lüftung

Der Norm-Lüftungswärmeverlust eines Raumes kann wie folgt berechnet werden:

$$Q_L = V_L * \rho * c_p * (\theta_{int} - \theta_e)$$

θ_{int} - Innentemperatur des beheizten Raumes
θ_e - Norm Außentemperatur
V_L - Luftstrom
ρ = Dichte der Luft (1,2041 $\frac{kg}{m^3}$ bei 20°C, 1,2920 $\frac{kg}{m^3}$ bei 0°C und 1,3163 $\frac{kg}{m^3}$ bei -5°C)

c_p = spezifische Wärmekapazität (1,005 $\frac{kJ}{kg * K}$) mit

1 KJ = 0,2777 Wh ergeben sich 0,279166 $\frac{Wh}{kg * K}$

$\rho * c_p \approx 0{,}34 \frac{Wh}{m^3 K}$

Die Wärmeverluste durch Lüftung im Jahr sind

$$Q_L = V_L * \rho * c_p * (\Delta\vartheta * t_p)$$

Mit den Heizgradtagen $\Delta\vartheta * t_p = F_{GT}$ ergibt sich

$$Q_L = V_L * n * 0{,}34 \frac{Wh}{m^3 K} * F_{GT}$$

Die durchschnittlichen Heizgradtage F_{GT} betragen 75 $\frac{kK}{a}$ bei Nachtabsenkung bzw. 79,2 $\frac{kK}{a}$ ohne Nachtabsenkung. In der Literatur findet sich oft auch ein Wert von 66 $\frac{kK}{a}$

Für unser Beispiel ergeben sich bei Nachtabsenkung Lüftungsverluste von 3.876 $\frac{kWh}{a}$.

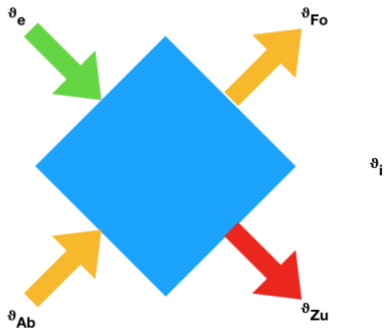
Die erforderliche Luftmenge für eine Anlagenlüftung für den Feuchteschutz ergibt sich aus:

$$q_{V,ges,NE,FL} - q_{V,inf,wirk}$$

und wäre für unser Beispiel 152 $\frac{m^3}{h}$ - 75,7 $\frac{m^3}{h}$ also 76,3 $\frac{m^3}{h}$.

Für diesen Raum mit 25 m² hatten wir für 4 Personen einen Luftwechsel von 1,92 h^{-1} ausgerechnet. Der Anlagenluftwechsel sollte nach Empfehlung maximal 1 h^{-1} betragen. Im Durchschnitt (Stand: 2014) entfallen 46,5 m² pro Person. Im Jahr 2000 waren es nur 39,5 m² pro Person.

Wärmerückgewinnung



Wärmebereitstellungsgrad nach DIN EN 13141-7:

$$\eta_{WRG} = \frac{\vartheta_{Ab} - \vartheta_{Fo}}{\vartheta_{Ab} - \vartheta_e}$$

Beispiel:

ϑ_{Ab}=ϑ_i beträgt 20°C, die Außentemperatur ϑ_e beträgt 5°C. Der Fortluftstrom ϑ_{Fo} wird mit 7,25°C gemessen. Damit wäre der Wärmebereitstellungsgrad:

$$\eta_{WRG} = \frac{20°C - 7{,}25°C}{20°C - 5°C} = 0{,}85$$

Für unser Beispielhaus ist als Bedarfsluftmenge 152 $\frac{m^3}{h}$ für den Feuchteschutz erforderlich. Durch Infiltration werden 75,7 $\frac{m^3}{h}$ ausgetauscht. Um entsprechend aussagefähigere Werte zu bekommen, wird die Luftdichtheit auf den Wert nach EnEV verbessert und die Luftwechselrate wird mit 3,0 h^{-1} angenommen. Durch Infiltration werden dann nur noch 50,4 $\frac{m^3}{h}$ ausgetauscht. Die Lüftungsanlage muss 152 $\frac{m^3}{h}$ - 50,4 $\frac{m^3}{h}$ = 101,6 $\frac{m^3}{h}$ beitragen.

Die Wärmeverluste ohne Wärmerückgewinnung sind in diesem Fall:

$$Q_L = V_L * n * 0{,}34 \frac{Wh}{m^3K} * F_{GT} = 3.876 \frac{kWh}{a}$$

Dabei entfallen

$$Q_L = 50{,}4 \frac{m^3}{h} * 0{,}34 \frac{Wh}{m^3K} * 75 \frac{kK}{a} = 1.285{,}2 \frac{kWh}{a}$$

auf die Verluste durch Infiltration.

Der Verlust der Wärmerückgewinnung φ beträgt

$$\varphi = (1 - \eta_{WRG})$$

für unser Beispiel mit $\eta_{WRG} = 0{,}85$

$$\varphi = (1 - 0{,}85) = 0{,}15$$

Die Wärmeverluste mit Wärmerückgewinnung betragen

$$q_{ANL} = V_L * (1 - \eta_{WRG})$$

$$Q_L = (q_{ANL} * \varphi + q_{inf}) * n * 0{,}34 \frac{Wh}{m^3K} * F_{GT}$$

für unser Beispielhaus:

$$Q_L = (101{,}6 \frac{m^3}{h} * 0{,}15 + 50{,}4 \frac{m^3}{h}) * 0{,}34 \frac{Wh}{m^3K} * F_{GT} = 1.673{,}2 \frac{kWh}{a}$$

Die Einsparung (Differenz) beträgt 3.876 $\frac{kWh}{a}$ - 1.673,2 $\frac{kWh}{a}$ = 2.208,8 $\frac{kWh}{a}$
Nach EnEV ist der Lüftungswärmeverlust mit

$$\dot{Q} = 66 * H_V$$

anzusetzen. Ohne Dichtigkeitsprüfung ist

$$H_V = 0{,}19 * V_e$$

und mit Dichtigkeitsprüfung

$$H_V = 0{,}163 * V_e$$

Es werden Luftwechselraten von 0,7h^{-1} bzw. 0,6h^{-1} angenommen. V_e ist das Volumen, das von der nach Nr. 1.3.1 der EnEV ermittelten wärmeübertragenden Umfassungsfläche A umschlossen wird.

Aus V_e wird die Nutzfläche A_N berechnet:

$$A_N = 0{,}32\, m^{-1} * V_e$$

für durchschnittliche Geschoßhöhen von 2,5 bis 3 m und

$$A_N = (\frac{1}{h_g} - 0{,}04\, m^{-1}) * V_e$$

für andere Geschoßhöhen.

Dabei ist "Gebäudenutzfläche" ein recht ungeeigneter Begriff, da er meist nicht die Nutzfläche des Gebäudes ist. Ich verwende daher gerne den Begriff "Energiebezugsfläche".

Nach DIN 12831 können die Lüftungswärmeverluste vereinfacht berechnet werden:

$$\phi_{V,i} = 0{,}34 * V_{min,i} * (\theta_{int,i} - \theta_e)\ [W]$$

mit

$V_{min,i}$ der hygienisch erforderliche Mindest-Luftvolumenstrom eines beheizten Raumes in $\frac{m^3}{h}$

$\theta_{int,i}$ die Rauminnentemperatur und θ_e die Norm-Außentemperatur (-12°C für die Klimazone Frankfurt).

ergibt für unser Beispielhaus

$$\phi_{V,i} = 152 * 0{,}34 * 32 = 1.653{,}76\, W$$

Mit den Lüftungsverlusten könnten die Heizflächen im Bad nicht ausreichend sein.

Folgende Schadfaktoren sind der Hauptgrund für die Notwendigkeit einer ausreichenden Lüftung:

1. Schimmel
2. Weichmacher
3. Formaldehyd
4. VOC
5. Flammschutzmittel

Planung der Lüftung

Die Planung erfordert folgende Schritte:

- Bedarfsermittlung Außenvolumenstrom (Zuluft)
  - Anzahl der Nutzer
  - Gebäudevolumen
- Bedarfsermittlung Abluftvolumenstrom
  - Art des Abluftraums
  - Anzahl der Ablufträume
- ausgeglichene Luftmenge für Zu- und Abluft für das Gebäude
  - Toleranz höchstens bis 5% Abluftüberschuss

1. Schritt: Bedarfsermittlung

$$q_{V,ges,NE,FL} = f_{WS} * (-0{,}001 * {A_{NE}}^2 + 1{,}15 * A_{NE} + 20)$$

Das Beispielgebäude hatte $A_{NE} = 115\ m^2$ und $q_{V,ges,NE,FL}$= 152 $\frac{m^3}{h}$.
Diese Luftmenge ist einschließlich der Infiltration

$$q_{V,inf,wirk} = f_{wirk,Komp} * A_{NE} * H_R * n_{50} * (f_{wirk,Lage} * \frac{\Delta p}{50})^n$$

$f_{wirk,Komp}$= 0,5 (Querlüftung durch mindestens zwei Außenfassaden)
n_{50}= 1,0 (nach Sanierung Kategorie A)
$f_{wirk,Lage}$ = 1,0 (Vorgabewert)
Δp für Zu-/Abluftsysteme in windschwachen Gebieten 2 Pa, in windstarken Gebieten 4 Pa.
Für das Beispielgebäude ergibt sich $q_{V,inf,wirk} = 16{,}8\ \frac{m^3}{h}$.

$$q_{V,LtM,NL} = q_{V,ges,NL} - q_{V,Inf,wirk}$$

$$q_{V,LtM,NL} = 152\ \frac{m^3}{h} - 16{,}8\ \frac{m^3}{h} = 135{,}2\ \frac{m^3}{h}$$

Der Mindestzuluftbedarf beträgt 135,2 $\frac{m^3}{h}$. Der Mindestbedarf richtet sich nach der Nutzeranzahl (30 $\frac{m^3}{h}$ pro Person). Bei einem EFH mit 4 Personen sind es 120 $\frac{m^3}{h}$.

Alle Räume in denen sich die Nutzer längere Zeit aufhalten werden als Zulufträume definiert:

Zulufträume:
- Wohnzimmer
- Esszimmer
- Kinderzimmer
- Schlafzimmer

Die Aufteilung der Zuluftvolumenströme erfolgt gemäß DIN 1946-6. Dazu wird mit einem Faktor $f_{R,ZU}$ multipliziert.

Wohnzimmer $f_{R,ZU} = 3 (\pm 0{,}5)$
Kinderzimmer, Schlafzimmer $f_{R,ZU} = 3 (\pm 1{,}0)$
Esszimmer, Arbeitszimmer, Gästezimmer $f_{R,ZU} = 1{,}5 (\pm 0{,}5)$

Aufteilung der Zuluftströme

Zuluftraum	Aufteilung
Wohnen	3 Teile
Essen	1,5 Teile
Schlafzimmer	2 Teile
Kinderzimmer	2 Teile
Summe	8,5 Teile

Der Luftbedarf wird durch die Anzahl der Teile dividiert. Für unser Beispielhaus:

$$\frac{135{,}2\frac{m^3}{h}}{8{,}5} = 15{,}9\ \frac{m^3}{h}$$

1 Teil = 15,9 $\frac{m^3}{h}$

Zuluftraum	Aufteilung
Wohnen	(3 Teile) 47,7 $\frac{m^3}{h}$
Essen	(1,5 Teile) 23,85$\frac{m^3}{h}$
Schlafzimmer	(2 Teile) 31,8 $\frac{m^3}{h}$
Kinderzimmer	(2 Teile) 31,8 $\frac{m^3}{h}$
Summe	135,2 $\frac{m^3}{h}$

Die Aufteilung kann auch nach Raumgröße und Belegung bemessen werden.

Bestimmung der Ablufträume

Ablufträume sind gemäß DIN 1946-6 z.B.: Küche, WC, Bad, Hauswirtschaftsraum, Technikraum

Gemäß DIN 1946-6 Tabelle 7 gelten folgende Gesamt-Abluftvolumenströme für einzelne Räume mit und ohne Fenster:

Raum	Gesamt-Abluftvolumenströme für einzelne Räume mit und ohne Fenster
Hausarbeitsraum Kellerraum, z.B. Hobbyraum WC	25 $\frac{m^3}{h}$
Küche, Kochnische Bad mit/ohne WC	45 $\frac{m^3}{h}$

Duschraum	
Sauna bzw. Fitnessraum	100 $\frac{m^3}{h}$ $(abhängig\ von\ der\ Nutzung)$

Alle Werte sind einschließlich Infiltration.

Für das Beispielhaus:

Abluftraum	**Gesamt-Volumenstrom (DIN 1946-6 Tabelle 7)**
Küche	45 $\frac{m^3}{h}$
WC	25 $\frac{m^3}{h}$
Bad	45 $\frac{m^3}{h}$
Hauswirtschaftsraum	25 $\frac{m^3}{h}$
Summe	140 $\frac{m^3}{h}$

Die Abluftmenge muss mit der Zuluftmenge ausbalanciert werden.

Anpassung der Abluftvolumenströme (Berücksichtigung der Infiltration)

Infiltration 16,8 $\frac{m^3}{h}$ / 140 $\frac{m^3}{h}$ = 0,12

Abluftraum	**Gesamt-Volumenstrom (DIN 1946-6 Tabelle 7)**
Küche	45 $\frac{m^3}{h}$ - 5,4 $\frac{m^3}{h}$ = 39,6 $\frac{m^3}{h}$
WC	22 $\frac{m^3}{h}$
Bad	39,6 $\frac{m^3}{h}$
Hauswirtschaftsraum	22 $\frac{m^3}{h}$
Summe	123,2 $\frac{m^3}{h}$

Von den Gesamt-Abluftvolumenströmen wird die Infiltration bilanziert auf die Anschlüsse abgezogen.

Kontrolle der Luftmenge:

Zuluft: 135,2 $\frac{m^3}{h}$, Abluft 123,2 $\frac{m^3}{h}$

Muss ausbalanciert werden -> Abluftmenge erhöhen.