

## 61 Qualitätskriterien für Klassenzimmerlüftungen

(2. Ausgabe: Februar 2010 - mit Erläuterungen)

Die folgenden Qualitätskriterien gelten für Schulen und Kindergärten. Im Weiteren wird aber synonym immer von „Klassenzimmerlüftung“ gesprochen. Die Qualitätskriterien gliedern sich, neben den Gebäudevoraussetzungen, in folgende fünf Hauptkategorien:

1. Gebäudevoraussetzungen
2. Allgemeine Dimensionierung
3. Ansaugung/Erdreichwärmetauscher/Fortluft (Außenbereiche)
4. Lüftungsgerät/Wärmetauscher
5. Rohrnetz

Weiters sind die Kriterien in:

(V) = Voraussetzung, (M) = Muss und (E) = Empfehlung zur Erreichung einer hochwertigen Klassenzimmerlüftung unterteilt.

Grundsätzlich sollen durch die einzelnen Kriterien die folgenden übergeordneten Ziele bei einer Klassenzimmerlüftung erreicht werden:

1. Für den Schultyp und die Klassenschülerzahl ausgelegte, aber bedarfsangepasste Luftmengen
2. Hohe Luftqualität (gefiltert, nicht von der Straßenseite, Berücksichtigung der Raumluftfeuchte,...)
3. Hoher thermischer Komfort (z.B. keine Zugerscheinungen)
4. Hoher Schallschutz (Schutz vor Außenlärm, keine innere Lärmübertragung bzw. Lärmbelastung)
5. Hohe Energieeffizienz (hohe Wärmerückgewinnung, niedriger Strombedarf)
6. Einfache Bedienung und Wartung
7. Langlebige Technik

Nachfolgend finden Sie eine Übersicht über die Qualitätskriterien. Weitere Erläuterungen und Begründungen zu den einzelnen Punkten finden Sie im Endbericht „Evaluierung Klassenzimmerlüftungen in Österreich“. Das Projekt wurde im Rahmen der Programmlinie „Haus der Zukunft“ vom Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie gefördert.

Herausgegeben von:

Gefördert durch:

# 1. Gebäudevoraussetzungen

Voraussetzung (V1)	Anforderung
Luftdichte Gebäudehülle	Maximal 1-fache Luftwechselrate nach ÖNORM EN 13829 (Blower Door Test) <b>Zielwert: 0,6-facher LW</b> Für Passivhäuser gilt der Zielwert von max. 0,6-fachem LW als Mindestanforderung.

Eine luftdichte Hülle muss schon aus bauphysikalischen Gründen bei jedem Neubau bzw. bei jeder größeren Sanierung angestrebt werden. Bei Gebäuden mit Zu- und Abluftanlagen mit Wärmerückgewinnung ist dies auch aus lüftungstechnischer Sicht von Bedeutung, um die negativen Auswirkungen einer hohen Falschluftrate auf die Energiebilanz in Grenzen zu halten. Eine undichte Gebäudehülle trägt durch den unkontrollierten Luftaustausch in der belegungsfreien Zeit zudem zu einer unerwünscht niedrigen Luftfeuchte in Klassenzimmern bei. Zur Qualitätskontrolle sollte daher für jedes Gebäude eine Messung der Luftdurchlässigkeit der Gebäudehülle (Blower Door Test) nach ÖNORM EN 13829:2001 durchgeführt werden. Mit der Umsetzung der European Building Richtlinie (EPBD) in Österreich und mit der Harmonisierung der Bauordnungen werden mit 2008 durch die OIB-Richtlinie 6, Stand April 2007, Maximalwerte für die Gebäudedichtheit vorgegeben. Gebäude mit mechanisch betriebenen Lüftungsanlagen mit oder ohne Wärmerückgewinnung dürfen lt. OIB-Richtlinie 6, für die Luftwechselrate ( $n_{50}$  Wert) den Wert 1,5 [1/h] nicht überschreiten. Laut ÖNORM EN 13779:2008 soll die Luftwechselrate ( $n_{50}$  Wert) eines Gebäudes mit Be- und Entlüftungsanlagen unter 1 [1/h] liegen. Die ÖNORM B 8110-5 gibt die maximale Luftwechselrate bei Gebäuden mit raumluftechnischen Anlagen mit 1,5 [1/h], bei Gebäuden ohne statisches Heizsystem (Passivhäuser) mit 0,6 [1/h] an. Das Österreichische Institut für Schul- und Sportstättenbau (ÖISS) gibt gemäß oben genannter Norm einen Richtwert für die Luftwechselrate ( $n_{50}$  Wert) mit 1,5 [1/h] und einen Zielwert mit 0,6 [1/h] an. Das Passivhausinstitut empfiehlt neben dem Standardwert von 0,6 [1/h] für Passivhäuser, insbesondere für Schulen, einen Zielwert von 0,3 [1/h] beim Blower Door Test.

**Anmerkung:** Die maximale Luftdurchlässigkeit wird im Normalfall für das gesamte Gebäude ermittelt. In manchen Fällen kann die Dichtheit der einzelnen Klassenzimmer deutlich von der Dichtheit des gesamten Gebäudes (inkl. Aula, Atrium) abweichen. Es macht für dezentrale und semizentrale Geräte daher eventuell Sinn, die Anforderung konkret an das Klassenzimmer bzw. den Raumverbund, der belüftet wird, zu stellen.

Voraussetzung (V2)	Anforderung															
Niedrige Nachhallzeit	<p>Die Nachhallzeit (T) im besetzten Zustand, berechnet nach ÖNORM EN 12354-6, sollte abhängig von der Raumgröße die empfohlenen Werte von <math>T = 0,32 \lg. V - 0,17</math> nach ÖNORM B 8115-3 nicht überschreiten.</p> <p>Beispiele:      Muttersprache:      Fremdsprache:</p> <table border="0"> <tr> <td>100 [m<sup>3</sup>]</td> <td>0,47 [Sek]</td> <td>0,38 [Sek]</td> </tr> <tr> <td>200 [m<sup>3</sup>]</td> <td>0,56 [Sek]</td> <td>0,45 [Sek]</td> </tr> <tr> <td>300 [m<sup>3</sup>]</td> <td>0,62 [Sek]</td> <td>0,50 [Sek]</td> </tr> <tr> <td>400 [m<sup>3</sup>]</td> <td>0,66 [Sek]</td> <td>0,53 [Sek]</td> </tr> <tr> <td>500 [m<sup>3</sup>]</td> <td>0,69 [Sek]</td> <td>0,55 [Sek]</td> </tr> </table> <p>Zielwert: Werte für Muttersprache minus 20% wie für Klassen mit Fremdsprachenunterricht empfohlen.</p>	100 [m <sup>3</sup> ]	0,47 [Sek]	0,38 [Sek]	200 [m <sup>3</sup> ]	0,56 [Sek]	0,45 [Sek]	300 [m <sup>3</sup> ]	0,62 [Sek]	0,50 [Sek]	400 [m <sup>3</sup> ]	0,66 [Sek]	0,53 [Sek]	500 [m <sup>3</sup> ]	0,69 [Sek]	0,55 [Sek]
100 [m <sup>3</sup> ]	0,47 [Sek]	0,38 [Sek]														
200 [m <sup>3</sup> ]	0,56 [Sek]	0,45 [Sek]														
300 [m <sup>3</sup> ]	0,62 [Sek]	0,50 [Sek]														
400 [m <sup>3</sup> ]	0,66 [Sek]	0,53 [Sek]														
500 [m <sup>3</sup> ]	0,69 [Sek]	0,55 [Sek]														

Der Schallpegel von raumluftechnischen Anlagen in einem Raum ist auch vom Absorptionsvermögen des Raumes abhängig. Eine Schallpegelsenkung ist mit einer Erhöhung der Schallabsorption und damit einer Verkürzung der Nachhallzeit möglich. Um den Schallpegel in Klassenzimmern – nicht nur aus der Sicht der Klassenzimmerlüftung – möglichst niedrig zu halten, und auch aus raumakustischen Gründen, ist eine entsprechende Nachhallzeit wichtig. Abhängig von Raumgröße und Funktion wird in der ÖNORM B 8115-3:2005 eine optimale Nachhallzeit für den besetzten Zustand ausgewiesen. Die Nachhallzeit (T) im besetzten Zustand, berechnet nach ÖNORM EN 12354-6:2004, sollte nach B 8115-3:2005 für Klassenräume bzw. für Kommunikation ca.  $T = 0,32 \lg. V - 0,17$  betragen. Für Klassenzimmer mit Fremdsprachenunterricht sollte dieser Wert um 20% abgesenkt werden. Insbesondere soll im Sprachfrequenzbereich, zwischen 250 Hz und 2.000 Hz, dieser Wert nicht überschritten werden.

Voraussetzung (V3)	Anforderung
Schadstoffarme Bauweise, schadstoffarmes Gebäude	<p>Gebäude und Einrichtungsgegenstände aus unbedenklichen, natürlichen Materialien bzw. aus Materialien, welche nach EN 15251 als sehr schadstoffarm eingestuft sind und maximal folgende Emissionen aufweisen:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• TVOC unterhalb 100 [<math>\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}</math>]</li> <li>• Formaldehyd unterhalb 20 [<math>\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}</math>]</li> <li>• Ammoniak unterhalb 10 [<math>\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}</math>]</li> <li>• Krebserrregende Verbindungen (IARC) unterhalb 2 [<math>\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}</math>]</li> <li>• Geruchloses Material (Unzufriedenheit in Bezug auf Geruch liegt unterhalb von 10%)</li> </ul> <p>Der VOC Summenparameter sollte auch ohne Einsatz der Lüftungsanlage keinen Hinweis auf Emissionsquellen im Raum geben. Max. 500 [<math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>]</p> <p>Zielwert: max. 250 [<math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>]</p>

Beschwerden über häufige Schleimhautreizungen, Kopfschmerzen, Müdigkeit etc. (Sick-Building-Syndrom) hängen einerseits mit dem Lüftungsverhalten bzw. den Lüftungsmöglichkeiten, aber auch mit den Schadstoffemissionen des Gebäudes zusammen. Ein wesentlicher Indikator für Schadstoffbelastungen in Innenräumen ist der VOC-Summenparameter (TVOC). Nach der EN 15251:2007 sind Gebäude sehr schadstoffarm, wenn alle verwendeten Stoffe sehr schadstoffarm sind und im Gebäude nicht geraucht werden darf. Sehr schadstoffarme Baustoffe sind üblicherweise natürliche Materialien wie Stein, Glas oder Metall, die als emissionsicher gelten, sowie Materialien, die folgenden Anforderungen entsprechen:

- TVOC unterhalb 0,1 [ $\text{mg}/\text{m}^2\text{h}$ ] bzw. 100 [ $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ ]
- Formaldehyd unterhalb 0,02 [ $\text{mg}/\text{m}^2\text{h}$ ] bzw. 20 [ $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ ]
- Ammoniak unterhalb 0,01 [ $\text{mg}/\text{m}^2\text{h}$ ] bzw. 10 [ $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ ]
- Krebserrregende Verbindungen (IARC) unterhalb 0,002 [ $\text{mg}/\text{m}^2\text{h}$ ] bzw. 2 [ $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ ]
- Material ist geruchlos (Unzufriedenheit in Bezug auf Geruch liegt unterhalb von 10%)

Als Grenzwert für den TVOC kann auf die Richtlinie zur Bewertung der Innenraumluft verwiesen werden. Die Richtlinie bezeichnet Konzentrationen unter  $500 \mu\text{g}/\text{m}^3$  als durchschnittlich bzw. niedrig. Konzentrationen zwischen  $500$  und  $1.000 \mu\text{g}/\text{m}^3$  gelten als leicht erhöht. Es ist hier schon zu vermuten, dass spezifische Quellen von VOC im untersuchten Raum vorhanden sind. Werte über  $1.000 \mu\text{g}/\text{m}^3$  gelten als deutlich erhöht. In der Richtlinie wird auch darauf hingewiesen, dass der VOC Summenparameter als Indikator für die Gesamtsituation herangezogen werden kann, aber kein alleiniges Kriterium für eine gesundheitliche Bewertung ist.

Tabelle: Österreichische und deutsche Orientierungswerte „TVOC, Gesamt VOC“

Bezeichnung	Bewertung der Konzentration	Raumluftkonzentration [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	Bemerkungen
Österreichische Richtlinie zur Bewertung der Innenraumluft	Niedrig	< 250	Keine Richtwerte, keine scharfen Abgrenzungen der Bereiche, keine toxikologische Bewertung, Angabe des Messverfahrens nötig
	Durchschnittlich	250 ... 500	
	Leicht erhöht	500 ... 1.000	
	Deutlich erhöht	1.000 ... 3.000	
	Stark erhöht	> 3.000	
Schleibinger et al. (2002)	Zielwert	< 300	Keine Definition der Messmethodik, keine toxikologische Bewertung
	Richtwert	1.000	

Im Zusammenhang mit VOC ist auch auf die richtige Auswahl von schadstoffarmen Reinigungsmitteln zu achten, die ebenfalls für erhöhte VOC-Belastungen verantwortlich sein können. Unabhängige Hilfestellung für die ökologische Baustoffauswahl bietet [www.baubook.at](http://www.baubook.at) Unterstützung im Bereich Reinigungsmittel gibt es bei [www.oekokauf.wien.at](http://www.oekokauf.wien.at).

## 2. Allgemeine Dimensionierung

Qualitätskriterium 1 (M)	Anforderung
<p>Beschränkung des maximalen CO<sub>2</sub>-Gehaltes der Klassenzimmerluft</p> <p>AUL * = CO<sub>2</sub>-Außenluftwerte nach ÖNORM EN 13779:</p> <p>Land: 350 [ppm]                      Stadt: 400 [ppm]                      Stadtzentren: 450 [ppm]</p> <p>Für die 61 Qualitätskriterien und die Luftmengen von Kriterium 2 wurden 400 [ppm] als Außenluft-Ausgangswert angesetzt.</p>	<p>Der CO<sub>2</sub>-Gehalt im Klassenzimmer sollte max. 1.200 [ppm] betragen (IDA 3 mäßige Raumlufqualität – Standardwert).</p> <p>Zielwert: max. 800 - 1.000 [ppm] (IDA 2 mittlere Raumlufqualität)</p> <p>Die CO<sub>2</sub>-Werte dürfen bei einer Luftmengenreduktion aufgrund der Feuchterege lung bei Außentemperaturen unter 0°C bis max. 1.400 [ppm] ansteigen.</p> <p>Info: Raumlufqualität nach ÖNORM EN 13779:</p> <p>IDA 1: hohe Raumlufqualität &lt; 350 über AUL*                      IDA 2: mittlere Raumlufqualität + 400 bis 600 (Standardwert 500) ppm über AUL*                      IDA 3: mäßige Raumlufqualität + 600 bis 1000 (Standardwert 800) ppm über AUL*                      IDA 4: niedrige Raumlufqualität &gt; 1.000 über AUL*</p>

Eine gute Raumlufqualität zu erreichen, ist das Ziel einer Lüftungsanlage. Nach ÖNORM EN 13779:2008 bedeutet eine mittlere Raumlufqualität (IDA 2), unter Einbeziehung der Außenluftkonzentration von 400 ppm (durchschnittliche Konzentration in einer Stadt), eine CO<sub>2</sub>-Konzentration von max. 1.000 ppm. Dieser Wert deckt sich mit der Pettenkoferzahl und sollte das Ziel einer Klassenzimmerlüftung sein. Die dauerhafte Einhaltung einer „hohen Raumlufqualität“ nach DIN 13779 von max. 750 ppm (400 ppm Stadt + 350 ppm Erhöhung) ist aus heutiger Sicht sowohl aus energetischen, als auch aus feuchtetechnischen Überlegungen heraus für Schulklassen ein zu hoher Anspruch. Ausnahmen für eine CO<sub>2</sub>-Überschreitung bis zum Maximalwert der IDA Klasse 3, d.h. max. 1.400 ppm, können aufgrund der einzuhaltenden relativen Luftfeuchte gemacht werden (siehe Qualitätskriterium 2), da ansonsten nur Lüftungsanlagen mit aktiver Befeuchtung eingesetzt werden könnten. Der verpflichtende Einsatz einer Befeuchtung erscheint zum derzeitigen Zeitpunkt ebenfalls als ein zu hoher Anspruch. Weitere Informationen zum Thema CO<sub>2</sub> finden sich im Kapitel Raumlufqualität. Aufgrund unterschiedlicher Belegung, Aktivitätsgrad etc. kann es auch bei einer ordnungsgemäßen Dimensionierung zeitweise zu einer Überschreitung der CO<sub>2</sub>-Werte kommen.

Qualitätskriterium 2 (M)	Anforderung														
<p>Mindestluftmengen pro Schüler für die Auslegung (ergeben sich aus der max. CO<sub>2</sub>-Anforderung von Kriterium 1)</p> <p>Es ist zulässig, diese Werte im Betrieb zur Feuchteregelung zu unterschreiten.</p> <p>Hinweis: Bei einer zentralen Anlage, insbesondere mit einer Anpassung der Luftmenge an den Bedarf, kann die erforderliche Gesamtluftmenge des zentralen Lüftungsgerätes unter der Summe der einzelnen Klassenzimmer liegen (Gleichzeitigkeitsfaktor, Teilbelegung).</p>	<p>Altersabhängige Rate:</p> <table border="0"> <tr> <td>für ca. 1200 [ppm]</td> <td>für Zielwert ca. 1000 [ppm]</td> </tr> <tr> <td>0–6      19 [m<sup>3</sup>/h]</td> <td>25 [m<sup>3</sup>/h] (z.B. Kindergarten)</td> </tr> <tr> <td>6–10     19 [m<sup>3</sup>/h]</td> <td>25 [m<sup>3</sup>/h] (z.B. Volksschule)</td> </tr> <tr> <td>10–14    23 [m<sup>3</sup>/h]</td> <td>30 [m<sup>3</sup>/h] (z.B. Hauptschule)</td> </tr> <tr> <td>14–19    24 [m<sup>3</sup>/h]</td> <td>33 [m<sup>3</sup>/h] (z.B. AHS, BHS)</td> </tr> <tr> <td>über 19   25 [m<sup>3</sup>/h]</td> <td>34 [m<sup>3</sup>/h] (z.B. FH, UNI,..)</td> </tr> <tr> <td>Lehrperson</td> <td>28 [m<sup>3</sup>/h]    37 [m<sup>3</sup>/h]</td> </tr> </table>	für ca. 1200 [ppm]	für Zielwert ca. 1000 [ppm]	0–6      19 [m <sup>3</sup> /h]	25 [m <sup>3</sup> /h] (z.B. Kindergarten)	6–10     19 [m <sup>3</sup> /h]	25 [m <sup>3</sup> /h] (z.B. Volksschule)	10–14    23 [m <sup>3</sup> /h]	30 [m <sup>3</sup> /h] (z.B. Hauptschule)	14–19    24 [m <sup>3</sup> /h]	33 [m <sup>3</sup> /h] (z.B. AHS, BHS)	über 19   25 [m <sup>3</sup> /h]	34 [m <sup>3</sup> /h] (z.B. FH, UNI,..)	Lehrperson	28 [m <sup>3</sup> /h]    37 [m <sup>3</sup> /h]
für ca. 1200 [ppm]	für Zielwert ca. 1000 [ppm]														
0–6      19 [m <sup>3</sup> /h]	25 [m <sup>3</sup> /h] (z.B. Kindergarten)														
6–10     19 [m <sup>3</sup> /h]	25 [m <sup>3</sup> /h] (z.B. Volksschule)														
10–14    23 [m <sup>3</sup> /h]	30 [m <sup>3</sup> /h] (z.B. Hauptschule)														
14–19    24 [m <sup>3</sup> /h]	33 [m <sup>3</sup> /h] (z.B. AHS, BHS)														
über 19   25 [m <sup>3</sup> /h]	34 [m <sup>3</sup> /h] (z.B. FH, UNI,..)														
Lehrperson	28 [m <sup>3</sup> /h]    37 [m <sup>3</sup> /h]														

Grundsätzlich ist es natürlich aufgrund der unterschiedlichen Gegebenheiten problematisch, konkrete Empfehlungen für die Mindestluftmengen auszusprechen. Die Projektgruppe hat sich dennoch dazu entschlossen, um für die Planung eine Größenordnung anzugeben, bei der in den meisten Fällen das CO<sub>2</sub>-Ziel erreicht wird und keine Überdimensionierung vorliegt. Es ist jedem Planungsteam zu raten, entsprechend den tatsächlichen individuellen Verhältnissen, insbesondere der Lüftungseffektivität und der Außenkonzentration an CO<sub>2</sub>, die Luftmengen zur Zielerreichung individuell zu bestimmen.

Die Anforderung der personenbezogenen Frischluftmenge für eine Klassenzimmerlüftung ergibt sich primär aus der Anforderung der CO<sub>2</sub>-Konzentration der Raumluft und ist insbesondere abhängig von folgenden Faktoren:

- geforderte Luftqualität bzw. CO<sub>2</sub>-Gehalt im Aufenthaltsbereich bzw. im Kopfbereich der SchülerInnen
- Qualität der Außenluft (CO<sub>2</sub>-Außenluftkonzentration Land: 350 ppm, Stadt: 400 ppm, Stadtzentren 450 ppm nach EN 13779:2008)
- Anzahl, Alter, Gewicht bzw. Hautoberfläche der SchülerInnen
- Aktivitätsgrad bzw. methabolische Wärmeproduktionsrate
- Raumvolumen
- Falschluftrate des Gebäudes bzw. des Klassenzimmers
- Zeit bis zur nächsten Möglichkeit der zusätzlichen Fensterlüftung
- Lüftungseffektivität

Insbesondere der Aktivitätsgrad, die Falschluftrate des Gebäudes und die Lüftungseffektivität unterliegen in der Praxis großen Schwankungsbreiten. Auch die Möglichkeit der zusätzlichen Fensterlüftung kann sich durch zusätzliche Vorgaben, z.B. „Fenster dürfen aus Sicherheitsgründen nicht mehr ganz geöffnet werden“, rasch ändern.

Für die Berechnung nach den angeführten Formeln der Luftmengen pro Schüler bzw. Schülerin wurden daher folgende Festlegungen getroffen:

- Die Werte sind so ausgelegt, dass bei diesen Außenluftvolumenströmen eine CO<sub>2</sub>-Konzentration von ca. 1.200 ppm bzw. als Zielwert 1.000 ppm erreicht wird.
- 25 Schüler anwesend + eine Lehrperson
- CO<sub>2</sub>-Ausstoß pro Schüler lt. Gleichungen des Kapitels Raumluftqualität
- 25 Schüler (12 weiblich 13 männlich) + eine Lehrperson
- Als Außenluftqualität wurde der CO<sub>2</sub>-Gehalt von 400 ppm für den Stadtbereich angesetzt.
- Metabolische Wärmeproduktionsrate der Schüler von 70 W/m<sup>2</sup> (analog Vorschlag ÖNORM H 6039, Stand 9.1.2008). Für den Kindergarten ist eine erhöhte Wärmeproduktionsrate von 90 W/m<sup>2</sup> (Aktivität: zwischen sitzen und gehen) und für die Lehrperson 80 W/m<sup>2</sup> (analog Vorschlag ÖNORM H 6039, Stand 9.1.2008) angesetzt. Bei Aktivität steigen die Wärmeproduktionsrate und auch der CO<sub>2</sub>-Ausstoß aber stark an, sodass nicht in allen Schulsituationen mit diesen Außenluftmengen die geforderten CO<sub>2</sub>-Werte eingehalten werden können. Die meiste Zeit sollten sich aber mit den angegebenen Luftmengen die angestrebten Werte von 1000 bzw. 1200 ppm einhalten lassen.
- 200 m<sup>3</sup> Raumvolumen. Dies entspricht einer typischen österreichischen Klasse nach ÖISS mit einer Fläche von 62,5 m<sup>2</sup> mit einer Raumhöhe von 3,2 m.
- Dichtes Gebäude, d.h. vernachlässigbare Falschlufte über Fugen und Ritzen. Auch wenn dies derzeit nicht bei allen Gebäuden gegeben ist, muss man damit rechnen, bzw. hoffen, dass bei einer zukünftigen Sanierung diese Dichtigkeit erreicht wird. Sehr oft wird argumentiert, dass man für Schulgebäude keine so dichte Hülle benötigt, da man ja sowieso lüften muss. Es ist aber aus bauphysikalischen Gründen unbedingt notwendig eine dichte Hülle anzustreben. Außerdem führt eine undichte Gebäudehülle zu einer unerwünschten Austrocknung der Luft während der ungenutzten Zeit, sodass das Problem der niedrigen Luftfeuchten in Klassenzimmern deutlich verstärkt bzw. dadurch geschaffen wird.
- Die Luftmengen wurden ohne unterstützende Fensterlüftung in den Pausen berechnet, da sich die Verhältnisse leicht ändern können; z.B. durch neue sicherheitstechnische Vorgaben, die eine ausreichende Zusatzlüftung nicht mehr ermöglichen. Der Einfluss der Fensterlüftung wird, wie bei den Modellvariationen gezeigt, oft überschätzt, da der Zeitraum ohne Fensterlüftung zumindest mit einer Doppelstunde (1,5 Std.) anzusetzen ist.
- Für die Lüftungseffektivität wurde eine vollständige Durchmischung angesetzt. Bei der zu bevorzugenden Quelllüftung ergeben sich zumindest theoretisch bessere Verhältnisse bzw. etwas kleinere Luftmengen. Aufgrund der Verwirbelungen durch die Personen, die Heizung und die solare Einstrahlung ergibt sich in einem Klassenzimmer auch bei einer Quelllüftung meist jedoch auch eine fast vollständige Durchmischung. (Hinweis: Auch im REHVA-Guidebook Nr. 2 wird davon abgeraten, bei einer Quelllüftung die Luftmengen für die Auslegung zu reduzieren.)
- Zusätzliche Luftmengen für die Abfuhr von Schadstoffen wurden nicht berücksichtigt.

Die Berechnungen der Außenluftmengen erfolgt nach den angeführten Formeln der EN 13779:2008, die Berechnung der Körperoberfläche bzw. des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes von Personen nach den angeführten Formeln von Ruch und Patton (1965). Die Werte passen mit den meisten Richtwerten der verschiedenen Normen (siehe Kapitel Raumlufthqualität) gut zusammen, bzw. liegen gesamt gesehen im „Mittelfeld“.

Qualitätskriterium 3 (M)	Anforderung
Ausreichende Luftfeuchte auch im Winter, bzw. bei sehr niedrigen Außentemperaturen	<p>Anzustrebender Bereich: 30 bis 45% r.F.</p> <p>Es ist sicherzustellen, dass auch bei sehr kalten Außentemperaturen folgende relative Luftfeuchtigkeiten nicht unterschritten werden:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Von 0 °C bis -10 °C Tagesmitteltemperatur dürfen die 30% r.F. pro °C unter Null °C um 1% unterschritten werden.</li> <li>• unter 20% soll die relative Feuchte nicht abfallen.</li> </ul>

Die untere Grenze des optimalen Behaglichkeitsbereichs ist in der DIN 1946-2:1998 bzw. EN 13779:2008 mit 30% relativer Feuchte angegeben. Nach Leusden und Freymark (Leusden, Freymark) gilt der Bereich bis zu einer relativen Luftfeuchte von 20% als „noch behaglich“. 20% Luftfeuchte sollten nicht unterschritten werden, da es sonst zu Reizungen der Schleimhäute und zu Beschwerden über trockene Augen kommen kann (insbesondere KontaktlinsenträgerInnen). Auch für Parkettböden, Möbel etc. bedeuten Feuchtigkeiten unter 30% r.F. teilweise einen Verfall der Gewährleistung bzw. Garantieleistung.

Da bei sehr kalten Außenlufttemperaturen und bei Lüftungsanlagen ohne Befeuchtungsmöglichkeit die Luftfeuchte mit dem CO<sub>2</sub>-Gehalt der Luft konkurriert, ist für einen begrenzten Zeitraum ein Kompromiss aus CO<sub>2</sub>- und Feuchteanforderung zu finden. Bei hohen Ansprüchen bezüglich der Luftfeuchte ist eine hygienisch einwandfreie Feuchterückgewinnung vorzusehen. Bei einer zu garantierenden relativen Luftfeuchte über 30% ist eine aktive Befeuchtung notwendig. Wesentlich für die Erreichung des Zielbereiches ohne aktive Befeuchtung ist eine optimale Anpassung der Luftmengen an die Anwesenheit bzw. die Klassenbelegung, da die SchülerInnen die wesentlichen Feuchtequellen darstellen.

Bei undichten Gebäudehüllen bzw. nicht an den Bedarf angepassten Lüftungszeiten kommt es ohne Befeuchtung unweigerlich zu einer sehr trockenen Raumlufth, da sich in den unterrichtsfreien Zeiten, abhängig von Außentemperatur und Außenluftfeuchte, ein entsprechender Feuchtegehalt der Raumlufth einstellt. Hier kann auch eine Feuchterückgewinnung nur bedingt eine Milderung verschaffen. Ohne Feuchteeintrag ergeben sich je nach Außenluftbedingungen folgende Raumlufthfeuchten bei 20 °C:

Tabelle: Rel. Raumlufffeuchte bei 20°C ohne Belegung (Feuchteeintrag) abhängig von Außentemperatur und Außenfeuchte

Außentemperatur [°C]	Relative Feuchte [r.F.]	Raumfeuchte ohne Feuchteeintrag bei 20°C [r.F.]
+3	80%	27%
0	80%	22%
-5	80%	20%
-10	80%	11%
-15	80%	8%
-20	80%	5%

Voraussetzungen für ausreichende Feuchtwerte:

- Dichte Gebäudehülle
- Anpassung der Luftmenge an Bedarf (Anwesenheit; ev. Schülerzahlen; gemessene Luftqualität)

Lösungsmöglichkeiten zur Erhöhung der Feuchtwerte:

- Erhöhter Feuchteeintrag in der Klasse (z.B. durch Pflanzen) – jedoch Problematik der erhöhen Feuchte in den warmen Monaten und der Betreuung in den Ferien
- Hygienisch einwandfreie Feuchterückgewinnung
- Hygienisch einwandfreie aktive Befeuchtung (direkt in der Klasse oder mit der Lüftung)

Qualitätskriterium 4 (M)	Anforderung
<p>Geringer A-bewerteter Schalldruckpegel <math>L_{A,eq}</math> und Beschränkung des tieffrequenten Anteiles im Klassenzimmer, sowie geringe Schallbelastung im Außenbereich</p> <p>*Achtung: Werte liegen über der B 8115-2 und bedürfen bei zentralen Anlagen einer besonderen vertraglichen Fixierung.</p>	<p>a) Im Klassenzimmer:</p> <p>Max. 25 [dB(A)] bei sehr hohen Anforderungen (z.B. Musikräume)</p> <p>Max. 30* [dB(A)] bei hohen Anforderungen (gute Eignung für Wahrnehmung schwieriger oder fremdsprachlicher Texte – z.B. Klassenräume)</p> <p>Max. 35* [dB(A)] bei mittleren Anforderungen (nur bedingte Eignung für Wahrnehmung schwieriger oder fremdsprachlicher Texte – z.B. Werkräume)</p> <p>Max. 30* [dB(A)] für Lehrerzimmer</p>
	<p>b) Zur Beschränkung der tieffrequenten Anteile darf die Differenz zwischen A- und C-Bewertung nicht mehr als 20 [dB] betragen.</p>
	<p>c) Beschränkung der Schallbelastungen im Außenbereich gemäß ÖNORM S 5021 bzw. ÖAL Richtlinie 3.</p>

Die ÖNORM B 8115-2:2006 verlangt für haustechnische Anlagen grundsätzlich A-bewertete Schalldruckpegel von max. 25 dB(A), bezogen auf eine Nachhallzeit von 0,5 s, für gleich bleibende oder intermittierende Geräusche in Bereichen mit längerem Aufenthalt von Menschen. Ausdrücklich gilt die Norm auch für Schulen. Die Norm nimmt aber auch die der jeweiligen Nutzungseinheit ausschließlich

zugeordneten haustechnischen Anlagen von diesen Forderungen aus. Genau genommen gilt die Anforderung daher nur für zentrale Anlagen, da eine dezentrale Anlage direkt der Nutzungseinheit bzw. dem Klassenzimmer zuzuordnen ist.

Nach der ÖNORM EN 13779:2008 liegt der empfohlene Bereich des maximalen A-bewerteten Schalldruckpegels von Lüftungsanlagen für Schul- und Kindererziehungseinrichtungen zwischen 35 und 45 dB(A).

Der Vorschlag der ÖNORM H 6039 Stand 9.1.2008 orientiert sich an der EN 13779:2008 und legt für Klassenzimmer max. 35 dB(A) und für Musikzimmer max. 30 dB(A) fest.

So streng die Werte der ÖNORM B 8115-2:2006 sind, so gering erscheint der Anspruch der ÖNORM EN 13779:2008. Hier wurde für die 61 Qualitätskriterien ein Ausgleich angestrebt und ein Mittelweg beschrieben, da der Grundschallpegel (Ruheschallpegel) im normalen Schulbetrieb mit den Schülern nur selten unter 25 dB(A) liegt. Ausnahmen bilden aber Prüfungssituationen bzw. Arbeiten in kleinen Gruppen. Eine Unterscheidung in zentrale und dezentrale Anlagen wurde nicht vorgenommen, da es für die Nutzer nicht von Bedeutung ist ob die Lärmbelastung von einer zentralen oder dezentralen Lüftungsanlage kommt. Es bedarf daher bei zentralen Anlagen einer gesonderten vertraglichen Vereinbarung über den zulässigen Schallpegel, wenn man Werte über den 25 dB(A) der ÖNORM B 8115-2:2006 zulassen möchte.

Ein weiterer, bisher oft zu wenig beachteter Problembereich ist der Dauerschallpegel in tiefen Frequenzen (ca. 10 bis 100 Hz). Er wird durch den Betrieb einer Lüftungsanlage im Nutzungsbereich häufig um ca. 10 bis 15 dB angehoben. Ursache ist vor allem der Betrieb von Ventilatoren und raumluftechnischen Geräte mit mangelhafter Vibrationsdämpfung. Die Ausbreitung erfolgt einerseits als Luftschall über die Luft führenden Wege, andererseits auch als Körperschall über mitschwingende Bauelemente. Zu einer nennenswerten Lärmbelastung kommt es dabei selten.

Zahlreiche Verdachtsmomente in der einschlägigen Literatur weisen jedoch darauf hin, dass die Langzeitbelastung (ca. 3–8 Std.) mit tieffrequentem Dauerschall bereits knapp oberhalb der Wahrnehmungsschwelle unspezifische Befindensstörungen wie Ermüdung, Konzentrationsstörungen, Benommenheit und Kopfschmerzen hervorrufen (Recknagel et al, 2007/2008).

Die ÖNORM B 8115-2:2006 berücksichtigt diesen Aspekt und der C-bewertete Schallpegel darf nicht mehr als 20 dB über dem Grenzwert für den A-bewerteten Schallpegel liegen. Für die Schallbelastung nach außen sind die ÖNORM S 5021:1998 „Schalltechnische Grundlagen für die örtliche und überörtliche Raumplanung und Raumordnung“, sowie die ÖAL Richtlinie Nr. 3 Blatt 1 „Beurteilung von Schallimmissionen im Nachbarschaftsbereich“, zu beachten.

<b>Qualitätskriterium 5 (M)</b>	<b>Anforderung</b>
Temperatur beim Einströmventil auf Behaglichkeitsniveau	a) Minimale Zulufttemperatur: max. 3°C unter der Raumtemperatur und mindestens 19°C
	b) Maximale Zulufttemperatur bei Nacherwärmung: Raumtemperatur

Die Forderung einer minimalen Zulufttemperatur dient der Verhinderung von Zugerscheinungen und von Kaltluftseen bei Quellluftsystemen. Über die Raumtemperatur hinaus sollte die Luft nicht erwärmt werden. Unter Berücksichtigung

der Temperaturanhebung der Außentemperatur (z.B. durch den Erdwärmetauscher, bzw. den Frostschutzregister), der Ablufttemperatur beim Lüftungsgerät (Achtung: kann deutlich von der Raumlufttemperatur abweichen), der Temperaturanhebung durch die Ventilatoren und die Wärmerückgewinnung, kann ermittelt werden, ob eine zusätzliche Nacherwärmung notwendig ist oder nicht.

Qualitätskriterium 6 (M)	Anforderung
Geringes Zugluftrisiko im Aufenthaltsbereich	Zugluftrisiko im Aufenthaltsbereich von max. 15% nach EN ISO 7730, bzw. 0,13 [m/s] bei 20°C Raumtemperatur im Aufenthaltsbereich nach ÖNORM EN 13779  Zielwert: max. 10% nach EN ISO 7730, bzw. max. 0,10 [m/s] bei 20°C Raumtemperatur

Die ÖNORM EN 13779:2008 gibt die mittlere Luftgeschwindigkeit im Aufenthaltsbereich (Messung über 3 Minuten) lt. der folgenden Tabelle an. Die Standardwerte beziehen sich auf ein Zugluftrisiko von 15% nach EN ISO 7730:2006. Die minimale Raumtemperatur von Klassenräumen und Betreuungsräumen liegt nach unterschiedlichen Vorschriften bei zumindest 20°C. Es darf daher eine mittlere Luftgeschwindigkeit von 0,13 m/s nicht überschritten werden. Insbesondere bei Quellluftauslässen ist jedoch zu beachten, dass die lokale Temperatur (zwischen Zuluft- und Raumtemperatur) für die Bemessung anzusetzen ist.

Tabelle: Auslegungswerte für die Luftgeschwindigkeit nach ÖNORM EN 13779:2008 für ein Zugluftrisiko von 15%

Lokale Lufttemperatur [°C]	Üblicher Bereich [m/s]	Standardwert [m/s]
20	0,10–0,16	0,13
21	0,10–0,17	0,14
22	0,11–0,17	0,15
24	0,13–0,21	0,17
26	0,15–0,25	0,20

Qualitätskriterium 7 (M)	Anforderung
Keine Einbeziehung problematischer Abluft in die Klassenzimmerlüftung	a) Keine Abluft aus Dunstabzugshauben von Schulküchen, problematischen Laborbereichen bzw. Experimentalbereichen (z.B. Physik-Chemiesälen)
	b) Zentral: Einbeziehung von Werkräumen und Sanitärräumen nur bei Lüftungsgeräten mit geringen internen Leckraten (unter 3%)  b) Dezentral: Keine Relevanz

Hoch belastete Abluft aus Schulküchen und die Abluft aus den Experimentalbereichen von Physik- bzw. Chemiesälen sollte nicht in zentrale

Lüftungsanlagen einbezogen werden, um Geruchsbelastungen auszuschließen. Allgemeine Werkräume und Sanitärräume sind bei dichten Wärmetauschern (Plattenwärmetauschern) unproblematisch. Bei Rotationswärmetauschern sind nur Geräte mit geringen internen Leckagen bzw. entsprechender Frischluftspülung der Tauscherkammern zu achten. 3% Leckagen werden von der Geruchsseite als unproblematisch angesehen.

Qualitätskriterium 8 (M)	Anforderung
Rechtzeitige Festlegung der Anforderungen an andere Gewerke für eine kostenoptimierte Umsetzung	a) Rechtzeitige Festlegung des Platzbedarfes, der Wanddurchbrüche, notwendige Höhen der Bodenaufbauten, Leitungsführung in tragenden Elementen, EWT, Elektro- und Steuerleitungen, Kondensatablauf, Überströmöffnungen, ...
	b) Einrechnung der Wärmerückgewinnung in die Heizlast des Gebäudes entsprechend der EN 12831
	c) Maßnahmen gegen eine Verschmutzung der Anlage bzw. Luftleitungen in der Bauphase

Eine frühzeitige Entscheidung für eine Lüftungsanlage und die frühzeitige Einbindung in den Gesamtplanungsprozess (integrale Planung) führt zu einer kostenoptimierten Lösung. Für Schulklassen ohne mechanische Lüftung wird die Heizlast nach der ÖNORM EN 12831:2002 mit einem geringeren Luftwechsel als für Schulklassen ohne mechanische Lüftungsanlage berechnet. Die genaue Festlegung der Auswirkungen bzw. Anforderungen auf andere Gewerke (z.B. Erdbauer, Baumeister, Statiker, Tischler/Innenausbauer, Elektriker, Regelungstechniker, ...) und Vorkehrungen zur Vermeidung von Verschmutzung der Anlage in der Bauphase sparen Ärger und Kosten.

Qualitätskriterium 9 (M)	Anforderung
Genauer Verlegungsplan und nachvollziehbare Anlagenausführung bzw. Anlagendetails	a) Verlegungsplan mit Rohrquerschnitten, Luftmengen, Luftgeschwindigkeiten, ....
	b) Fotodokumentation der Rohrleitungen bzw. der später nicht sichtbaren Anlagendetails

Aufgrund der großen Rohrquerschnitte ist eine frühzeitige Planung der Rohrführung notwendig. So können Durchbrüche, Ausnehmungen, etc. schon bei den Baumeisterarbeiten berücksichtigt werden. Dies gilt besonders auch beim EWT.

**Planungsregel:** Luftleitungen gehen vor Wasserleitungen und diese wiederum vor Elektroleitungen. Für die Abnahme bzw. die später einmal notwendige Anlagenreinigung, sowie für die Adaptionen bei einem Umbau der Räumlichkeiten sollten die tatsächliche Luftleitungsführung und die zugehörigen Details auch bildlich dokumentiert werden.

Qualitätskriterium 10 (M)	Anforderung
Nachweis der vollständigen Gebrauchsfähigkeit der Gesamtanlage	Inbetriebnahmeprotokoll, bzw. Prüfungen nach ÖNORM EN 12599

In ÖNORM EN 12599:2000 werden die Prüfungen, Prüfverfahren und Messgeräte zur Feststellung der Gebrauchstauglichkeit von eingebauten Anlagen zum Zeitpunkt der Übergabe geregelt (Vorschlag ÖNOROM H 6039:Stand 9.1.2008).

Qualitätskriterium 11 (M)	Anforderung
Nachweisliche Sicherstellung der geplanten Luftmengen	Nachvollziehbares Einregulierungsprotokoll für die einzelnen Klassen/Räume bzw. Kontrolle der Luftmengen bei bedarfsgeregelten Luftmengen bzw. Konstantvolumenstromregelungen

Um in den einzelnen Räumen die geplanten Luftmengen sicherzustellen, bedarf es einer gewissenhaften Einregulierung mit Einregulierungsprotokoll bzw. der Verwendung von (Konstant)-Volumenstromreglern. Ansonsten kommt es zu einer Unterversorgung bzw. zu einer Überversorgung einzelner Räume. Die Stellung der einzelnen Einstellvorrichtungen sollte gekennzeichnet und dokumentiert werden. Bei automatisch geregelten Luftvolumenströmen sollten die Luftmengen zumindest stichprobenweise nachgeprüft werden.

Qualitätskriterium 12 (M)	Anforderung
Übergabe der Anlage, der Betriebs- und Instandhaltungsanleitung, des Inbetriebnahmeprotokolls, sowie der gesamten Anlagendokumentation an den Auftraggeber	Unbedingt notwendig – Nachvollziehbare Übergabe

Zur Übergabe der Lüftungsanlage gehören auch die Aushändigung von Betriebs- und Wartungsanleitungen, des Inbetriebnahmeprotokolls sowie der gesamten Anlagendokumentation (aktualisierte Bestandszeichnungen, Fotodokumentationen) der Anlage.

Qualitätskriterium 13 (M)	Anforderung
Einweisung jeder (neuen) Schulbetreuung in die Funktion und Bedienung der Anlage sowie Übergabe einer Kopie der Betriebs- bzw. Wartungsanleitung	Unbedingt notwendig – Nachvollziehbare Dokumentation der Einweisung

Das Einweisen des Betriebspersonals bzw. des Gebäudeverantwortlichen nach VDI 3801:2000 ist ein wesentlicher Garant für einen zufrieden stellenden Betrieb. Eine Einweisung sollte aber nicht nur bei Übernahme der Anlage erfolgen, sondern auch bei jeder Änderung des Betriebspersonals (Schulwart), welches mit der

Lüftungsanlage vertraut sein sollte. Zusätzlich zur Einweisung der Anlage wird eine Schulung über Hygieneanforderungen von raumlufttechnischen Anlagen empfohlen.

Qualitätskriterium 14 (M)	Anforderung
Gesicherter, hygienischer und energiesparender Betrieb und professionelle Instandhaltung der Anlage	a) Ausführung, Reinhaltung und Reinigung nach ÖNORM H 6021 bzw. VDI 6022
	b) Betrieb und Instandhaltung der Lüftungsanlage soll anhand der VDI 3801 mit einem Pflichtenheft durchgeführt werden
	c) Kontinuierliche Aufzeichnung der durchgeführten Arbeiten und Kosten
	d) Überwachung des Energieverbrauches durch Energiebuchhaltung oder eine andere Form der Aufzeichnung
	e) Regelmäßige Überprüfung des energiesparenden Betriebes gemäß EN 15239 bzw. EN 15240

Die Ausführung, Reinhaltung und Reinigung der Lüftungsanlage soll nach der ÖNORM H 6021:2003 bzw. VDI 6022:2006 und deren Checklisten erfolgen, der Betrieb und die Instandhaltung nach der VDI 3801:2000 von befähigtem Personal durchgeführt werden. In Schulen und Kindergärten ist ein Instandhaltungsvertrag mit geeigneten Betrieben zu empfehlen, da meistens dazu befähigtes eigenes Personal nicht zur Verfügung steht.

Es sollten genaue Aufzeichnungen über die durchgeführten Reinigungs- und Instandhaltungstätigkeiten, den Energiebedarf und deren Kosten geführt werden. Die European Building Richtlinie (EPBD) verlangt eine regelmäßige Überprüfung von Lüftungsanlagen hinsichtlich Energieeffizienz nach der ÖNORM EN 15239:2007 für Lüftungsanlagen bzw. ÖNORM EN 15240:2007 für Klimaanlage.

Qualitätskriterium 15 (M)	Anforderung
Ausreichende Information von LehrerInnen und SchülerInnen über die Funktion und Wirkungsweise der Lüftungsanlage	Unbedingt notwendig – Möglichst mit Infoblatt

Die ausreichende Information der Nutzer ist ein wesentlicher Punkt für eine hohe Nutzerzufriedenheit. Bei einer durchschnittlichen Anlage kann die Informationspolitik den entscheidenden Ausschlag für eine positive oder unzureichende Akzeptanz sein.

### 3. Ansaugung, Fortluft, Erdreichwärmetauscher

Qualitätskriterium 16 (M)	Anforderung
Unbelastete, schneefreie und vandalensichere Außenluft-Ansaugung	a) Ausreichender Abstand von Parkplätzen, Mülllagerplätzen, Abgasfängen, etc. (zumindest 8 m lt. EN 13779 )
	b) Schneefreie, vandalensichere Ansauglage bzw. Ansaughöhe. Mind. 3 m oder 1,5-fach über der maximalen Schneehöhe

Die Zuluftqualität ist direkt abhängig von der Luftqualität im Ansaugungsbereich. Die Ansaugstelle sollte sich daher nicht in der Nähe von Parkplätzen, Mülllagerplätzen, Komposthaufen, etc. befinden. Dabei ist jedoch nicht nur an die derzeit belasteten Bereiche, sondern auch an die in Zukunft möglichen Belastungen und die der Nachbargebäude zu denken. Der Abstand beträgt nach ÖNORM EN 13779:2008 zumindest 8 m.

Auf jeden Fall soll darauf geachtet werden, dass sich die Frischluftansaugung in einer Höhe befindet, in der sie ohne Hilfsmittel nicht zu erreichen ist (Vandalensicherheit), aber trotzdem für etwaige Filterwechsel und Kontrollen zugänglich ist. Die Ansaughöhe nach der ÖNORM EN 13779:2008 sollte zumindest 3 m bzw. mindestens die 1,5-fache Höhe der maximalen Schneehöhe betragen.

Qualitätskriterium 17 (M)	Anforderung	
Kein Luftkurzschluss zwischen Außenluftansaugung und Fortluftauslass	Dezentral: Abstand in derselben Wand mindestens 2 m oder geeignete Maßnahmen zur Kurzschlussvermeidung lt. EN 13779 Zielwert: 3 m und Ansaugung unterhalb der Fortluft; bei Eckräumen andere Fassadenseite	Zentral: Horizontaler Abstand zueinander mindestens 3 m oder geeignete Maßnahmen zur Kurzschlussvermeidung lt. EN 13779 Zielwert: Ansaugung über Gebäudeseite und Fortluftführung über Dach

Sind der Fortluftauslass und die Frischluftansaugung zu nahe aneinander, kommt es zu einem Luft-Kurzschluss und damit zu einer Vermischung der angesaugten Außenluft mit der Fortluft, sodass die Anlage nicht die gewünschte Wirkung erbringen kann. Nach Möglichkeit sollten sich daher die Außenluftansaugung an einer Gebäudeseite und die Fortluftführung über Dach befinden. Der Mindestabstand von 2 bzw. 3 Metern kann auch über Trennwände und dergleichen erreicht werden. Die ÖNORM

EN 13779:2008 gibt den Abstand zwischen Frischluftansaugung und Fortluftauslass in Abhängigkeit der Fortluftqualität und dem vertikalen Abstand an. Bei der Annahme, dass die Fortluftqualität bei Schulen der FOL-Klasse 1 nach EN 13779:2008 entspricht (niedriger Verschmutzungsgrad), ist ein Abstand von 3 Metern

ausreichend. Des Weiteren sollte der Fortluftauslass bei vertikaler Anordnung möglichst über der Frischluftansaugung angebracht werden. Für dezentrale Lüftungsanlagen mit Außenluftansaugung und Fortluftauslass über die gleiche Wand ist in der EN 13779 ein Mindestabstand von 2 Metern vorgesehen.

Für zentrale Anlagen mit Außenluftansaugung und Fortluftführung über Dach können die Mindestabstände auch aus folgendem Bild abgelesen werden:

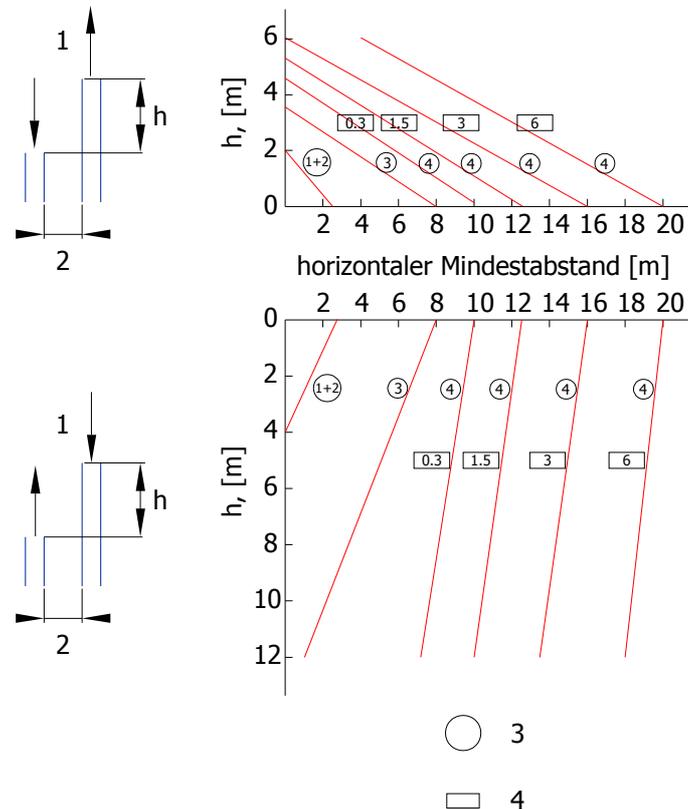


Abbildung: Vertikaler und horizontaler Abstand der Außenluftansaugung und dem Fortluftauslass nach ÖNORM 13779, (2008)

Bild oben: Fortluftauslass über Frischluftansaugung

Bild unten: Fortluftauslass unter Frischluftansaugung

Vertikaler Abstand (1 Y-Achse)  $h$  [m]

Horizontaler Abstand (2 X-Achse)

Fortluftqualität (FOL1–FOL4 nach ÖNORM EN 13779) (3)

Luftgeschwindigkeit im Fortluftauslass in [m/s] (4)

Für andere Situationen gibt es in der EN 13779:2008 eine ausführliche Übersicht mit 17 verschiedenen Fällen.

Qualitätskriterium 18 (M)	Anforderung		
<p data-bbox="196 539 687 741">Außenluftansaugung mit geringem Druckverlust, Schutz vor Regen, Schnee und direkter Sonnenbestrahlung sowie Kleintieren bzw. entsprechender Filterung bei Anlagen mit EWT</p> <p data-bbox="196 790 675 891">Info: Unten quer stehend und oben liegend (hygienisch nicht erwünscht) angeordnete Taschenfilter</p> 	a) Wirksamer Schutz vor Regen und Schnee sowie direkter Sonnenstrahlung		
	b) Ansaugung mit Vogelschutzgitter		
	<table border="0"> <tr> <td data-bbox="730 468 1062 797">                     c) Dezentral:                      Druckverlust der Ansaugung ohne Filter max. 10 [Pa] beim Betriebsvolumenstrom; (Strömungsgeschwindigkeit im freien Ansaugquerschnitt max. 1,5 [m/s])                      Zielwert: max. 5 [Pa]                 </td> <td data-bbox="1062 468 1393 797">                     c) Zentral: Druckverlust der Ansaugung ohne Filter max. 20 [Pa] beim Betriebsvolumenstrom; (Strömungsgeschwindigkeit im freien Ansaugquerschnitt max. 2 [m/s])                      Zielwert: max. 10 [Pa]                 </td> </tr> </table>	c) Dezentral: Druckverlust der Ansaugung ohne Filter max. 10 [Pa] beim Betriebsvolumenstrom; (Strömungsgeschwindigkeit im freien Ansaugquerschnitt max. 1,5 [m/s]) Zielwert: max. 5 [Pa]	c) Zentral: Druckverlust der Ansaugung ohne Filter max. 20 [Pa] beim Betriebsvolumenstrom; (Strömungsgeschwindigkeit im freien Ansaugquerschnitt max. 2 [m/s]) Zielwert: max. 10 [Pa]
	c) Dezentral: Druckverlust der Ansaugung ohne Filter max. 10 [Pa] beim Betriebsvolumenstrom; (Strömungsgeschwindigkeit im freien Ansaugquerschnitt max. 1,5 [m/s]) Zielwert: max. 5 [Pa]	c) Zentral: Druckverlust der Ansaugung ohne Filter max. 20 [Pa] beim Betriebsvolumenstrom; (Strömungsgeschwindigkeit im freien Ansaugquerschnitt max. 2 [m/s]) Zielwert: max. 10 [Pa]	
	c) Synthetischer Taschen- oder Kassettenfilter vor einem EWT zumindest F5 nach EN 779		
	<table border="0"> <tr> <td data-bbox="730 902 1062 1350">                     d) Dezentral:                      Druckverlust mit frischem Filter max. 20 [Pa] (Enddruckdifferenz mit verschmutztem Filter max. 60 [Pa]);                      Automatische Filterwechselanzeige; hängende bzw. (quer-) stehende Taschenfilter                      Zielwert: max. 10 [Pa]                      Enddruck max. 40 [Pa]                 </td> <td data-bbox="1062 902 1393 1350">                     d) Zentral: Druckverlust mit frischem Filter max. 40 [Pa] (Enddruckdifferenz mit verschmutztem Filter max. 120 [Pa]);                      Automatische Filterwechselanzeige; hängende bzw. (quer-) stehende Taschenfilter                      Zielwert: max. 20 [Pa]                      Enddruck max. 80 [Pa]                 </td> </tr> </table>	d) Dezentral: Druckverlust mit frischem Filter max. 20 [Pa] (Enddruckdifferenz mit verschmutztem Filter max. 60 [Pa]); Automatische Filterwechselanzeige; hängende bzw. (quer-) stehende Taschenfilter Zielwert: max. 10 [Pa] Enddruck max. 40 [Pa]	d) Zentral: Druckverlust mit frischem Filter max. 40 [Pa] (Enddruckdifferenz mit verschmutztem Filter max. 120 [Pa]); Automatische Filterwechselanzeige; hängende bzw. (quer-) stehende Taschenfilter Zielwert: max. 20 [Pa] Enddruck max. 80 [Pa]
	d) Dezentral: Druckverlust mit frischem Filter max. 20 [Pa] (Enddruckdifferenz mit verschmutztem Filter max. 60 [Pa]); Automatische Filterwechselanzeige; hängende bzw. (quer-) stehende Taschenfilter Zielwert: max. 10 [Pa] Enddruck max. 40 [Pa]	d) Zentral: Druckverlust mit frischem Filter max. 40 [Pa] (Enddruckdifferenz mit verschmutztem Filter max. 120 [Pa]); Automatische Filterwechselanzeige; hängende bzw. (quer-) stehende Taschenfilter Zielwert: max. 20 [Pa] Enddruck max. 80 [Pa]	
	e) Dauerhaft geringer Filterbypassvolumenstrom (dichte Dichtflächen)		
f) Kein verkehrtes Einsetzen der Filter möglich			
g) Einfache Zugänglichkeit bzw. Reinigung des Gitters bzw. einfacher Filtertausch durch die Hausbetreuung			
h) Schutz des Filters vor Durchfeuchtung – d.h. max. 90% relative Feuchte bzw. mittlere relative Feuchte unter 80% an drei aufeinander folgenden Tagen. Dies entspricht ca. einer Temperaturerhöhung von 2°C bis zum Filter.			

Die Frischluftansaugung sollte einen möglichst geringen Druckverlust aufweisen und das Eindringen von Wasser, Schnee, Laub und Kleintieren verhindern. Dies erreicht man normalerweise durch entsprechend große Flächen und geringe Luftgeschwindigkeiten beim Ansauggitter. Die Geschwindigkeit im freien Ansaugquerschnitt sollte bei Einzelraumgeräten 1,5 m/s und bei zentralen Geräten 2 m/s nicht überschreiten. Der Filter vor dem Erdreichwärmetauscher soll ein Verschmutzen verhindern. Ein Filter der Klasse F5 ist ein Kompromiss zur

Verhinderung von zu großer Verschmutzung und zu hohem Druckverlust. Ein feinerer Filter birgt die erhöhte Gefahr, bei kaltem und nebligem Wetter zu durchfeuchten und zu gefrieren. Zum Schutz vor Durchfeuchtung sollte beim Filter die Luft schon um ca. 1–2°C über der Außentemperatur im Winter liegen. Dies kann entweder durch Anbringung der Filter im Gebäude bzw. nach einer kurzen Erdvorwärmung oder im Ausnahmefall durch eine geregelte elektrische Beheizung bewerkstelligt werden.

Qualitätskriterium 19 (M)	Anforderung	
Fortluftauslass mit geringem Druckverlust, Schutz vor Kleintieren	a) Dezentral: Druckverlust max. 5 [Pa] (Strömungsgeschwindigkeit im freien Ausblas- querschnitt max. 1,5 [m/s]) Zielwert: max. 5 [Pa]	a) Zentral: Druckverlust max. 20 [Pa] (Strömungsgeschwindigkeit im freien Ausblas- querschnitt max. 2 [m/s]) Zielwert: max. 10 [Pa]
	b) Mind. 3 m oder 1,5-fach über der maximalen Schneehöhe	

Der Fortluftauslass selbst sollte einen möglichst geringen Druckverlust und zumindest ein Gitter gegen das Eindringen von Kleintieren besitzen. Die Geschwindigkeit im freien Ausblasquerschnitt sollte bei Einzelraumgeräten 1,5 m/s und bei zentralen Geräten 2 m/s nicht überschreiten.

Qualitätskriterium 20 (M)	Anforderung	
Keine Feuchteschäden an Außenbauteilen durch die feuchte Fortluft der Lüftungsanlage	Dezentral: Die Fortluftführung ist derart ins Freie zu führen, dass die feuchte Fortluft nicht in die Fassade eindringen kann (z.B. in die Hinterlüftung) bzw. es zu keinem Stau (z.B. im Vordachbereich) kommt.	Zentral: Bei zentralen Anlagen ist die Fortluft immer über das Dach zu führen oder ein Mindestabstand von 5 m zum Gebäude einzuhalten.  Die Anforderungen der Fortluftführung mit 5 [m/s] nach ÖNORM EN 13779 über die Wand widerspricht Kriterium 18.

Die Fortluft wird teilweise mit einer relativen Feuchtigkeit nahe 100%, aber immer noch wärmer als die Außenluft ausgeblasen. Es kann daher zu Reif- bzw. Eisbildung im Umfeld des Fortluftauslasses kommen. Wenn feuchte Luft in Hinterlüftungen eindringt oder sich staut (z.B. unter dem Vordach), so kommt es teilweise zu unerwünschten Kondensat- bzw. Vereisungserscheinungen. Die Anbringung der Fortluftführung an der Wand ist daher nur bei dezentralen Einzelraumgeräten zu empfehlen und so auszuführen, dass kein Stau möglich ist. Bei zentralen Anlagen müsste bei einem Wandauslass laut ÖNORM EN 13779:2008 eine Mindestluftgeschwindigkeit von 5 m/s und ein maximaler Volumenstrom von 1.800 m<sup>3</sup>/h gegeben sein, was Kriterium 18 widerspricht. Daher ist bei zentralen Anlagen keine Anbringung des Fortluftauslasses an der Wand vorgesehen. Für den

Fortluftauslass muss ein Mindestabstand von 5 m zum Gebäude eingehalten werden, wenn er nicht über das Dach geführt wird.

Qualitätskriterium 21 (M)	Anforderung
Geeignete Frostschutzstrategie	a) Wahl einer dem Gesamtkonzept bzw. dem Wärmetauscher angepassten Frostschutzstrategie (Luft-EWT, Sole-EWT oder konventioneller Frostschutz) Empfehlung: Sole-EWT
	b) Für Luft-EWT bzw. Sole-EWT siehe Kriterien 22–1 bzw. 22–2 für konventionellen Frostschutz Kriterium 40

Erdwärmetauscher gleichen Schwankungen der Außenluftverhältnisse, mit denen die Lüftungsanlage arbeiten muss, aus. Ein EWT wärmt im Winter die Luft bis auf ca. minus 3°C vor und kühlt sie im Sommer auf ca. 20°C ab. Dies hat den Vorteil, dass im Gerät auf eine (elektrische) Frostschutzvorrichtung bzw. je nach Wärmetauscherqualität auch auf ein Nachheizregister verzichtet werden kann und zusätzlich im Sommer durch das Lüften keine „Kühllast“ anfällt, da die Luft mit ca. 20°C statt mit zum Teil deutlich über 30°C einströmt. Eine wirkliche Kühlung, d.h. eine Abfuhr von überschüssiger Wärme im Sommer, kann die Lüftungsanlage aufgrund der geringen Luftmengen jedoch nicht bewirken.

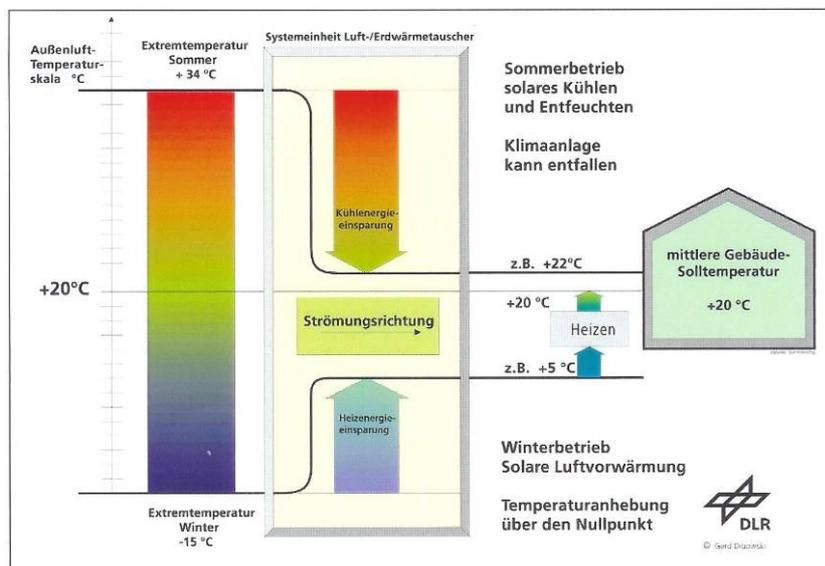


Abbildung:  
Wirkungsbandbreite eines Erdwärmetauschers (Quelle: DLR)

Entscheidungshilfe Sole-EWT oder Luft-EWT: Tendenziell kann für Schulen aufgrund der großen Luftmengen, der regelungstechnischen Vorteile und aus Hygieneaspekten generell ein Sole-EWT empfohlen werden. Nur für Anlagen die mit der Technik eines Einfamilienhauses vergleichbar sind (max. 350 mm Rohrdurchmesser bzw. max. 500 m<sup>3</sup>/h) ist ein Luft-EWT eventuell finanziell vorteilhafter.

Qualitätskriterium 22-1 Luft (E)	Anforderung										
<p><b>Wirksamer, hygienisch unbedenklicher Luft-Erdwärmetauscher (L-EWT) als Vereisungsschutz</b></p> <p>Hinweis 1: Eine zeitweise Reduktion der Zuluftmenge als Vereisungsschutz sollte grundsätzlich vermieden werden.</p> <p>Hinweis 2: Elektrische Heizregister als Vereisungsschutz sollten leistungsangepasst arbeiten, und dürfen thermostatisch erst unter 0 °C Außenlufttemperatur frei geschaltet werden. Die Vorwärmung der Außenluft soll an die Qualität des Wärmetauschers angepasst sein. (Je geringer die Wärmetauscherqualität desto tiefer die Temperatur.)</p> <p>Hinweis 3: Eine Nacherwärmung ist bei dezentralen Anlagen nur erforderlich, wenn weder ein EWT noch eine andere Vorwärmung zur Frostfreihaltung eingesetzt wird oder ein Wärmetauscher mit geringer Rückwärmezahl eingesetzt wird. Zentrale Anlagen benötigen fast immer eine Nacherwärmung.</p> <p>Anmerkung: Von einer Funktionsstörung ausgeschlossen sind nur Luft-EWT ohne Umschaltmöglichkeit auf Direktansaugung.</p>	a) Aus Hygienegründen und gesichertem Vereisungsschutz kein Bypass zur Umgehung des Luft-EWT										
	b) Die niedrigste Temperatur der Außenluft beim Betriebsluftvolumenstrom nach dem L-EWT soll zumindest 2 °C über der gerätespezifischen Vereisungsgrenze liegen. Berechnungsprogramm (z.B. Freeware des Passivhausinstitutes) ergibt meist Längen zwischen 25 und 40 m pro Strang. Zielwert: über -2 °C										
	<p>c) Luftgeschwindigkeit zwischen 1 und 1,5 [m/s]</p> <table border="0"> <tr> <td>Rohrbeispiele: 160 mm</td> <td>75–110 [m³/h]</td> </tr> <tr> <td>200 mm</td> <td>110–170 [m³/h]</td> </tr> <tr> <td>250 mm</td> <td>170–260 [m³/h]</td> </tr> <tr> <td>300 mm</td> <td>260–380 [m³/h]</td> </tr> <tr> <td>350 mm</td> <td>380–500 [m³/h]</td> </tr> </table>	Rohrbeispiele: 160 mm	75–110 [m³/h]	200 mm	110–170 [m³/h]	250 mm	170–260 [m³/h]	300 mm	260–380 [m³/h]	350 mm	380–500 [m³/h]
	Rohrbeispiele: 160 mm	75–110 [m³/h]									
	200 mm	110–170 [m³/h]									
	250 mm	170–260 [m³/h]									
	300 mm	260–380 [m³/h]									
	350 mm	380–500 [m³/h]									
	d) Druckverlust max. 20 Pa (Zielwert max. 10 [Pa]) beim Betriebsvolumenstrom										
	e) Im Schnitt mindestens 1,5 m unter Erdreich										
	f) Glattes Rohr (innen) mit guter Wärmeleitfähigkeit (keine Rohre mit Lufteinschlüssen)										
	g) Keine engen 90° Bögen										
	h) Kontinuierliches Gefälle mind. 2% zur Lüftungszentrale (starres Rohr)										
i) 0,75 m Abstand zu Wasserleitungen, Abwasserkanälen, Kellerwänden, Fundamenten, etc.											
j) Geeigneter Kondensatabfluss mit Geruchsverschluss gegen den Kanal ohne Leckströmung (doppelter Siphon)											
k) Geprüfte Wasserdichtheit der Verrohrung (auch von außen nach innen – insbesondere bei Grundwasser im EWT-Bereich)											
l) Hinterfüllung und Verdichtung mit feinkörnigem Material (z.B. Sand, Erdreich)											
m) Abstand zwischen den Rohren zumindest 0,75 m, (bzw. 3 x Rohrdurchmesser), unter versiegelten Flächen 1,5 m (bzw. 6 x Rohrdurchmesser)											
n) Wasserdichte Rohrdurchführung in das Haus											
o) In radonbelasteten Gebieten kein Einsatz eines Luft-EWT											

a) Ein Bypass für den Luft-Erdwärmetauscher verbessert theoretisch die Effizienz in der Übergangszeit bzw. im Sommerbetrieb (Tag-Nacht). Diese Verbesserung ist jedoch nur gegeben, wenn die Bypassklappe wirklich dicht schließt. Falls die Bypassklappe falsch geschaltet wird bzw. nicht dicht schließt, ist ein Frostschutz durch den EWT nicht gewährleistet bzw. wird die Wirkung des EWT gegenüber einer Ausführung ohne Bypass insgesamt sogar vermindert. Auch von der hygienischen Seite ist ein dauerhaft durchströmter Luft-EWT besser. Im Sinne einer Anlagenvereinfachung und gesicherten Hygiene wird daher nicht zu einem Bypass geraten. Ist eine optimierte Regelung gewünscht, sollte auf einen Sole-EWT übergegangen werden.

b, c, d) Damit ein mit Luft durchströmter Erdwärmetauscher unabhängig vom Wärmetauschertyp die Aufgabe des Vereisungsschutzes erfüllen kann, muss die Temperatur nach dem EWT zumindest zwei Grad über der gerätespezifischen Vereisungsgrenze betragen. Dies soll durch ein entsprechendes Berechnungsprogramm nachgewiesen werden. (z.B. Freeware des Passivhausinstitutes Darmstadt). Bei durchschnittlichem Erdreich erreicht man dies mit einem ungefähr 1,5 m unter dem Erdreich verlegten EWT mit ca. 25 bis 40 m Länge je Strang, wenn die Luftgeschwindigkeit zwischen 1 und 1,5 m/s beträgt. Ein Beispiel einer Berechnung mit dem Programm des Passivhausinstitutes für 380 m<sup>3</sup>/h. Um den zusätzlichen Gesamtdruckverlust bzw. den Strombedarf gering zu halten sollte der Druckverlust im Luft-EWT max. 20 Pa betragen.

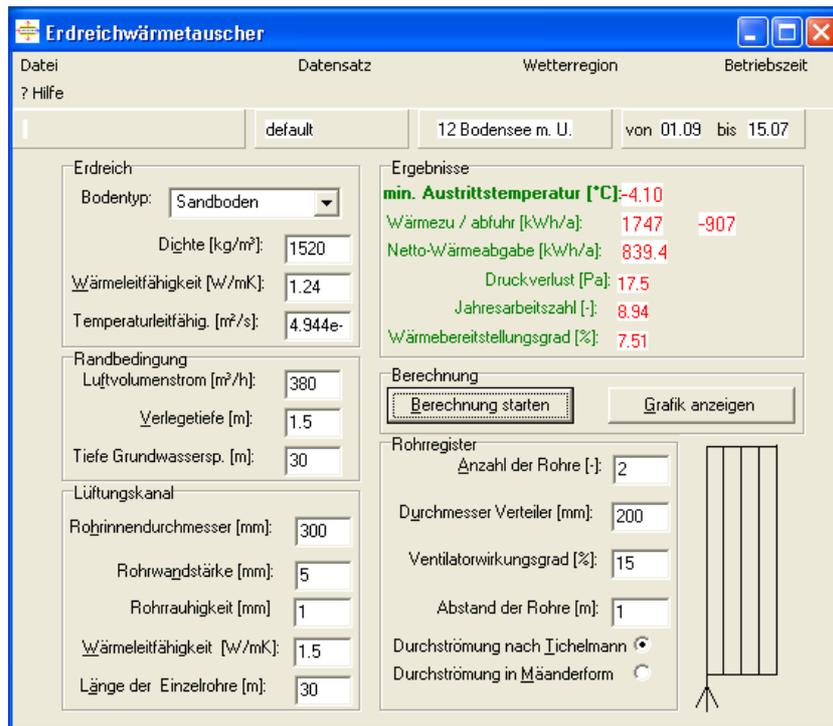


Abbildung: Benutzeroberfläche des Auslegeprogramms PHLuft vom Passivhausinstitut, [www.passiv.de](http://www.passiv.de)

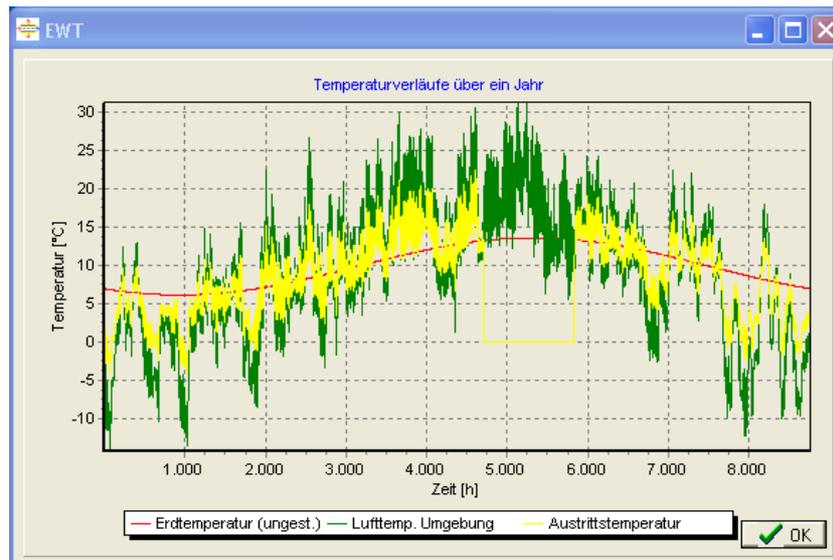


Abbildung: Austrittstemperaturverlauf des Luft-EWT laut Berechnung mit PHLuft vom Passivhausinstitut, [www.passiv.de](http://www.passiv.de)

e) Neben höheren Energieerträgen erfordern größere Verlegetiefen kürzere Rohrlängen und damit geringere Investitionskosten für Rohrmaterial und Verlegung. Gleichzeitig erhöht sich mit zunehmender Verlegetiefe aber der Mehraufwand bei den Aushubarbeiten. Für die Praxis ergeben sich wirtschaftliche Verlegetiefen für EWT von 1,5 bis 2,5 Metern (Blümel, E et al, 2001).

f, g, h) Im Sommerbetrieb kann im Erdkollektor Kondenswasser entstehen. Um ein Abfließen des Kondensates zu ermöglichen bzw. aus Reinigungsgründen sollten nur glatte, starre Rohre verwendet werden. Dies bringt zudem den Vorteil eines geringen Druckverlustes im Erdwärmetauscher. Das Gefälle sollte mind. 2% betragen und in einen geruchsneutralen Kondensatablauf münden. 30 Meter mit 2% Gefälle bedeuten 0,6 m Höhendifferenz. Ein Abfließen des Kondensates in Strömungsrichtung wird als vorteilhaft betrachtet. Meist ergibt dies auch die kostengünstigere Möglichkeit, den Kondensatablauf des EWT mit dem Kondensatablauf des Gerätes im Keller zu kombinieren. Beim Kondensatablauf ist auch darauf zu achten, dass ein entsprechender Widerstand gegen Leckströme vorhanden ist (Doppelter Syphon). Ein Gefälle zur Ansaugung mit Versickerungsmöglichkeit im Boden ist aus hygienischen Gründen (Ansaugung von Bodenluft) zu vermeiden.

k) Durch eine Dichtheitsprobe (z.B. mit Wasser) ist sicherzustellen, dass der Erdwärmetauscher dicht ist, damit kein Wasser in das Rohrsystem eindringen kann.

l, m, n) Um den Wärmeübergang zu verbessern, sollte eine Hinterfüllung mit gut leitendem, feinem Material (z.B. Sand, Erdreich, ...) erfolgen. Die Verdichtung verbessert zudem den Wärmeübergang. Der Abstand zwischen den einzelnen Rohren sollte mindestens 0,75 Meter betragen bzw. 3x Rohrdurchmesser, um eine Regeneration des Erdreiches zu ermöglichen. Dies gilt ebenfalls für den Abstand zu Kellerwand, Fundamenten bzw. zu Abflusskanälen und Wasserleitungen, damit es zu keiner Schädigung (z.B. Einfrieren der Wasserleitung) kommt. Luft-EWT Register unter versiegelten Flächen haben eine schlechtere Regeneration und die Rohrabstände sollten daher doppelt so groß gewählt werden.

o) Um die Radonbelastung auszuschließen, sollte in mit Radon belasteten Gebieten ein Sole-Erdwärmetauscher verwendet werden.

Qualitätskriterium 22-2 Sole (E)	Anforderung		
<p>Wirksamer, hygienisch unbedenklicher Sole-Erdwärmetauscher (S-EWT) als Vereisungsschutz</p> <p>Anmerkung 1: Sicherheitskonzept muss auch bei einem Ausfall der Solepumpe eine schädigende Vereisung des Gerätes verhindern und eine Störmeldung liefern.</p> <p>Anmerkung 2: Anlagen zur Gewinnung von Erdwärme in Form von Flachkollektoren sind nur in wasserrechtlich besonders geschützten Gebieten (Quellschutzgebiete oder Wasserschongebiete) und in geschlossenen Siedlungsgebieten ohne zentrale Trinkwasserversorgung bewilligungspflichtig</p>	<p>a) Die niedrigste Temperatur der Außenluft beim Betriebsluftvolumenstrom nach dem L-EWT soll zumindest 2° über der gerätespezifischen Vereisungsgrenze liegen (derzeit ist kein kostenloses Berechnungsprogramm verfügbar).</p> <p>Mindestanforderung:                      Länge: &gt; 0,5 lfm pro m³/h Außenluft                      Sole-Massenfluss: &gt;1Liter/h pro m³/h Außenluft                      Zielwert: über -2°C</p>		
	<table border="1"> <tr> <td data-bbox="651 667 1038 853"> <p>b) Sole-Luft-Wärmetauscher mit max. 20 [Pa] (Zielwert max. 5 [Pa]) luftseitigem Druckverlust beim Betriebsvolumenstrom</p> </td> <td data-bbox="1038 667 1396 853"> <p>Max. Druckverlust im Solekreislauf 40 [kP] (Zielwert max. 10 [kPa]). WT-Anschluss im Gegenstromprinzip</p> </td> </tr> </table>	<p>b) Sole-Luft-Wärmetauscher mit max. 20 [Pa] (Zielwert max. 5 [Pa]) luftseitigem Druckverlust beim Betriebsvolumenstrom</p>	<p>Max. Druckverlust im Solekreislauf 40 [kP] (Zielwert max. 10 [kPa]). WT-Anschluss im Gegenstromprinzip</p>
	<p>b) Sole-Luft-Wärmetauscher mit max. 20 [Pa] (Zielwert max. 5 [Pa]) luftseitigem Druckverlust beim Betriebsvolumenstrom</p>	<p>Max. Druckverlust im Solekreislauf 40 [kP] (Zielwert max. 10 [kPa]). WT-Anschluss im Gegenstromprinzip</p>	
	<p>c) PE Rohr (z.B. DN 20 bzw. 25); PE-Qualität abhängig von Bodenverhältnissen LD-PE (PE 80) bis HD-PE (PE 100) bzw. PEX. Möglichst keine Kupplungen im Erdreich</p>		
	<p>d) Soleleitung im Schnitt mindestens 1,5 m unter Erdreich. Bei Verlegung unter dem Gebäude bzw. versiegelten Flächen (nicht empfohlen) muss eine Regeneration durch Sommerbetrieb gewährleistet sein.</p>		
	<p>e) Hinterfüllung und Verdichtung mit feinkörnigem Material (z.B. Sand, Erdreich)</p>		
	<p>f) 0,75 m Abstand zu Wasserleitungen, Abwasserkanälen, Kellerwänden, Fundamenten, etc.</p>		
	<p>g) Abstand zwischen Soleleitungen mind. 0,75 m.</p>		
	<p>h) Anschluss paralleler Leitungen im Tichelmannprinzip</p>		
	<p>i) Solekreislauf gefüllt mit unbedenklichem Frostschutz auf 5°C unter der Normaußentemperatur</p>		
	<p>j) Wasserdichte Rohrdurchführung der Soleleitung in das Haus</p>		
	<p>k) Dämmung mit feuchtegeeigneter, geschlossenzelliger Wärmedämmung (Lambda 0,04 W/mK) (z.B. Armaflex, Kaiflex, ...)</p> <p>1/2 Rohrdurchmesser im unbeheizten Bereich                      1/1 Rohrdurchmesser im beheizten Bereich</p>		
	<p>l) Ausreichend großer Druckausgleichsbehälter; z.B. nach Excel Auslegungsprogramm <a href="http://www.sole-ewt.de">www.sole-ewt.de</a></p>		
<p>m) Geeignete Tropfzasse mit Kondensatabfluss beim Wärmetauscher ohne Leckströmung und mit Geruchsverschluss gegen den Kanal</p>			
<p>n) Energieeffiziente Pumpe Klasse „A“ nach Europump (z. B. Permanentmagnetmotorpumpe)</p>			

	o) Energieoptimierte Regelung des Sole EWT. (Kein Betrieb bei Temperaturen der Außenluft zwischen +5 °C und +20 °C)
	p) Sicherheitskonzept bei Ausfall des Sole-EWT

Sole-Erdreichwärmetauscher stellen insbesondere für größere Anlagen eine interessante Alternative zu luftdurchströmtem Erdwärmetauscher dar. Die wesentlichen Vorteile sind: Umgehung eventueller Hygieneproblematik, einfachere Wartung bzw. Reinigung, leichtere Verlegung (kein Gefälle). Außerdem ist die Wärmeleistung nicht von der Luftmenge abhängig und lässt sich einfach regeln (vgl. Michael et al, 2000). Nachteilig wirken sich die zusätzlich benötigten Anlagenteile (Pumpe, Sicherheitseinrichtungen, Regelung) aus. Die Rohrlänge und der Mindestvolumenstrom sind Mindestwerte, die sich aus Erfahrungen und Projektberichten ableiten (siehe Projektberichte [www.sole-ewt.de](http://www.sole-ewt.de)). Ein entsprechendes Berechnungsprogramm ist bisher nicht bekannt. Als Rohrmaterial können handelsübliche PE Schläuche verwendet werden. Bei einer Verlegung des S-EWT ausschließlich im Sandbett genügt ein LDPE (LD = Low Density bzw PE 80). Kann der S-EWT nicht sorgfältig im Sandbett verlegt werden, sollte ein HDPE (HD = High Density bzw. PE 100) Schlauch oder ein PEX (polymer vernetztes PE) verwendet werden. Um die Energieeffizienz zu optimieren sollten nur energiesparende Pumpen der Effizienzklasse A verwendet, und auf eine optimierte Regelung, acht gegeben werden (z.B. nur Betrieb außerhalb des Außenluftbereiches von +5 bis +20 °C). Auf der mit Frostschutz gefüllten Solesseite muss eine Sicherheitsgruppe (Sicherheitsventil, Absperrungen, Befüll- und Entleerung, Manometer) mit ausreichendem Ausdehnungsgefäß errichtet werden. Die weiteren Voraussetzungen sind ähnlich den Luft durchströmten Erdwärmetauschern.

### 3. Lüftungsgerät / Wärmetauscher

Voraussetzung (V4)	Anforderung	
Geprüftes Lüftungsgerät	<p>Dezentral: Gerät muss über ein anerkanntes Prüfzertifikat nach:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• ÖNORM EN 13141-7* <u>oder</u></li> <li>• Passivhausinstitut (PHI) <u>oder</u></li> <li>• DIBt (z. B. TZWL) Prüfredement</li> </ul> <p>verfügen.</p>	<p>Zentral:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Geräte entsprechen den RLT-Richtlinien Nr. 1 und 3 bei Entrauchungsfunktion auch der RLT-Richtlinie 4.</li> </ul> <p>Alle Einbauteile müssen über ein entsprechendes, anerkanntes Prüfzertifikat verfügen.</p> <p>Insbesondere:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Gerät muss ein anerkanntes Prüfzertifikat über die Geschwindigkeitsklasse haben.</li> <li>• Wärmerückgewinnungseinheit muss über ein anerkanntes Prüfzertifikat nach ÖNORM EN 308 verfügen.</li> <li>• Ventilator muss über ein anerkanntes Prüfzertifikat nach ÖNORM EN 13053 verfügen.</li> </ul>

**Dezentral:** Um verbindliche, unabhängige Aussagen für die Beurteilung und Auswahl des Lüftungsgerätes heranziehen zu können (Wärmerückgewinnungsgrad, Wärmebereitstellungsgrad, elektrisches Wirkungsverhältnis, Leckraten, etc.), sollten nur Geräte mit einem unabhängigen Prüfzertifikat eingebaut werden.

Derzeit gibt es leider noch keine einheitliche europäische Prüfung. Es existiert mit der EN 13141-7 zwar die Prüfvorschrift für Wohnraumlüftungsgeräte, die auch in Klassenzimmern eingesetzt werden können, aber es kann derzeit noch kein Institut nach diesen Reglement Prüfungen durchführen (Stand Ende 2007). Deswegen sind auch noch die unterschiedlichen Prüfverfahren des Passivhaus-Institutes (PHI) bzw. nach dem DIBt bzw. TZWL-Prüfredement mit unterschiedlichen Werten angeführt.

**Zentral:** Da große Lüftungsgeräte individuell zusammengestellt werden, besteht normalerweise kein Prüfzertifikat für das gesamte Gerät. Es muss daher jeder einzelne Bauteil (Ventilatoreinheit, Filter, Wärmerückgewinnungseinheit, Vorwärmung, ...) einzeln betrachtet werden. Die Qualitätsrichtlinien 1 bis 4 des RLT-Herstellersverbandes [www.rlt-geraete.de](http://www.rlt-geraete.de) sind zwar keine unabhängigen, aber dennoch sehr gute Qualitätsrichtlinien. Sie enthalten alle Anforderungen von folgenden Normen und Richtlinien:

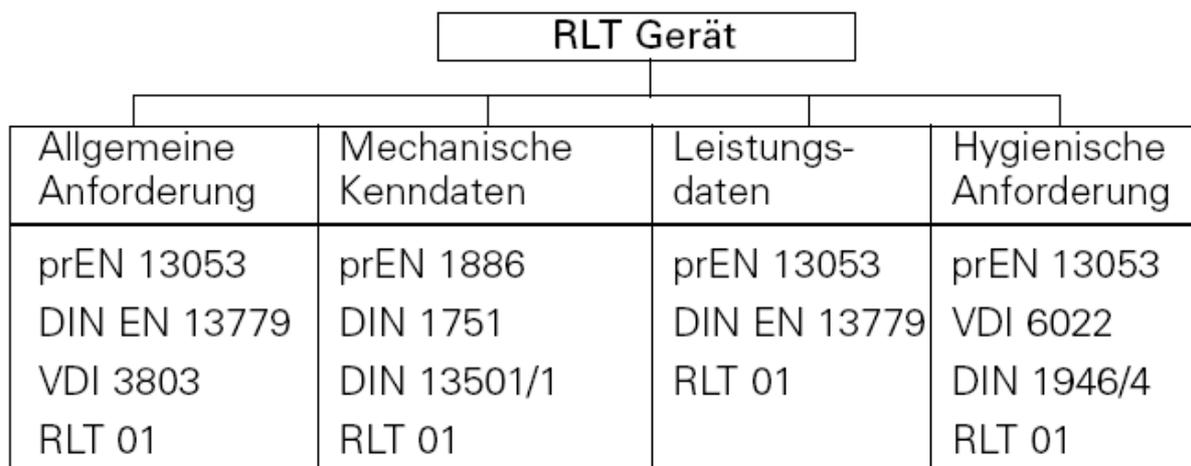


Abbildung: Darstellung der für die RLT-Richtlinie 1 berücksichtigten Normen und Richtlinien. (Quelle: RLT-Richtlinie 1, 2007) Hinweis: EN 13053 ist mittlerweile in der Endfassung erschienen

Qualitätskriterium 23 (M)	Anforderung
Ausreichende Sicherheitseinrichtungen	a) Gerät muss der RLT-Richtlinie Nr. 3 „EG-Konformitätsbewertung“ entsprechen
	b) Lüftungsgerät schaltet bei zu hohen Druckverlusten auf Störung
	c) Gegenseitige Verriegelung der Ventilatoren (kein reiner Zu- oder Abluftbetrieb möglich)

Die RLT-Richtlinie Nr. 3 „EG-Konformitätsbewertung von raumluftechnischen Anlagen“ berücksichtigt die Maschinenrichtlinie 98/37/EG, die Niederspannungsrichtlinie 2006/95/EG, EMV-Richtlinie 89/336/EWG, 92/31/EWG und 2004/108/EWG, Druckgeräte richtlinie 97/23/EG, Explosionsschutzrichtlinie 94/9/EG, Gasgeräte richtlinie 90/396/EG, Bauproduktenrichtlinie 89/106/EWG und 96/68/EWG (Entrauchung).

Die Anlage muss nach ÖNORM EN 13779:2008 insbesondere mit entsprechenden Schutz- und Sicherheitseinrichtungen für Instandhaltungs- und Reparaturarbeiten sowie für Notabschaltungen ausgerüstet sein. Zusätzlich sollte ein Lüftungsgerät bei zu hohem Druckverlust in den Luftleitungen oder bei Ausfall eines Ventilators die Anlage abschalten. Zu hohe Druckverluste weisen auf einen Fehler oder auf starke Verschmutzung hin. Um die Motoren zu schützen und um einen möglichen Fehler schnell zu bemerken, soll die Anlage auf Störung schalten.

Qualitätskriterium 24 (M)	Anforderung	
<p><b>Leises Lüftungsgerät beim Betriebsluftvolumenstrom und 100 [Pa] Druckdifferenz</b></p> <p>Damit kann in einer typischen Klasse ein Schalldruckpegel von unter 30 [dB(A)] eingehalten werden (Achtung nur für Gehäuseabstrahlung). Für die Erreichung des geforderten Gesamtschallpegels (inkl. Zu- und Abluftdurchlass) nach Kriterium 4 ist normalerweise ein entsprechender schallgedämmter Einbau vorzusehen.</p>	<p><b>Dezentral: A-bewerteter Schalleistungspegel (<math>L_{wA}</math>) des Gerätes gegenüber der Umgebung von max. 38 [dB(A)] bei Aufstellung im Klassenzimmer</b></p>	<p><b>Zentral: Keine Anforderung – Eventuelle Auswirkungen auf angrenzende Räume beachten</b></p>

Der Schalleistungspegel eines Lüftungsgerätes beschreibt die vom Lüftungsgerät abgestrahlte akustische Leistung an den Raum bzw. in eine Luftleitung. Die Leistung an den Raum bewirkt in einem Abstand einen gewissen Schalldruckpegel. Befindet sich das Lüftungsgerät frei im Klassenzimmer, wird der Schalldruckpegel im Wesentlichen nur von Dämpfung des Raumes abgemindert. Die Dämpfung des Raumes ist von der äquivalenten Absorptionsfläche des Raumes abhängig. Die geforderten

38 dB(A) ergeben in einem typischen Klassenraum einen Schalldruckpegel von max. 30 dB(A) aus der Geräteabstrahlung.

Wesentlich ist aber die Erreichung des Gesamtschallzieles aus Qualitätskriterium 4, wobei zu beachten ist, dass hier noch die Schallbelastung aus dem Zuluft- und Abluftbereich logarithmisch zu addieren ist. Es ist daher im Normalfall ein schallgedämmter Einbau des Gerätes notwendig.

Anhand der Nachhallzeiten und den Raumvolumen kann aus der Sabin'schen Nachhallgleichung die äquivalente Absorptionsfläche errechnet werden.

$$T = 0,16 * \frac{V}{A_{\ddot{a}q}} \quad \text{Sabin'sche Nachhallgleichung}$$

- T Nachhallzeit [s]
- V Raumvolumen [m<sup>3</sup>]
- A<sub>äq</sub> äquivalente Absorptionsfläche [m<sup>2</sup>]

Mit der folgenden Gleichung EN ISO 3743-2:1997 kann der zu erwartende A-bewertete Schalldruckpegel eines dezentralen Lüftungsgerätes mit einem bekannten Schalleistungspegel in einem Raum abgeschätzt werden.

$$L_{p,A} = L_{w,A} - 10 \log\left(\frac{A_{\ddot{a}q}}{4}\right) \quad \text{Umrechnung Leistungspegel – Schalldruckpegel}$$

- L<sub>p,A</sub> Schalldruckpegel im Raum [dB(A)]
- L<sub>w,A</sub> Schalleistungspegel des Lüftungsgeräts [dB(A)]
- A<sub>äq</sub> äquivalente Absorptionsfläche [m<sup>2</sup>]

Das beschriebene Verfahren zur Berechnung des zu erwartenden Schalldruckpegels ist nur bei ausreichendem Abstand richtig. Der ausreichende Abstand ist in erster Linie von der Raumdämpfung abhängig und lässt sich laut folgender Gleichung EN ISO 3743-2:1997 berechnen:

$$r = 0,2 * \sqrt{A_{\ddot{a}q}}$$

Abstandsbestimmung

Bei einer durchschnittlichen Klasse mit einem Raumvolumen von 100 m<sup>3</sup> und einer Nachhallzeit von 0,5 s lt. ÖNROM B 8115-3:2005 ergibt sich nach dem oben beschriebenen Verfahren ein Schalldruckpegel von 29 dB(A), bei einer abgestrahlten Schallleistung von 38 dB(A). Der minimale Abstand vom Gerät beträgt bei der für eine Nachhallzeit von 0,5 s notwendigen Absorptionsfläche von 32 m<sup>2</sup> ca. 1,15 m.

Qualitätskriterium 25 (M)	Anforderung
Gute Reinigbarkeit des Lüftungsgerätes	Gute Reinigbarkeit des Gerätes bzw. des Wärmetauschers, der Kondensatwanne und Kondensatablaufes durch die Hausbetreuung

Zur Revision und Reinigung müssen alle Geräteteile leicht zugänglich sein. Hierzu sind Türen oder Revisionsdeckel mit geeigneten Verschlüssen in ausreichender Anzahl vorzusehen (VDI 3803:2002).

Qualitätskriterium 26 (M)	Anforderung	
Geringe Luft-Leckagen des Gerätes	Dezentral: Interne bzw. externe Leckagen max. 3% bei 100 Pa Druckdifferenz nach ÖNORM EN 13141-7 Zielwert: 1%	Zentral: Luftdichtigkeitsklasse L2 beim Prüfdruck für Unter- und Überdruck nach prEN 1886. Zielwert: Klasse L1

Als Leckagevolumenstrom sind die (externen und internen) Undichtheiten definiert, die beispielsweise Raumluft in den Außenluft- bzw. den Zuluftvolumenstrom eindringen lassen.

Eine möglichst vollständige Trennung von Zu- und Abluftstrom bzw. eine möglichst geringe Infiltration von Umgebungsluft in das Gerät (Unterdruck im Außenluft bzw. Abluftbereich) ist notwendig, um nur frische unbelastete Außenluft in den Raum zu führen bzw. eine hohe Anlageneffizienz zu erreichen. Auch ein Austreten der Luft aus dem Gerät (Überdruck im Zuluft- bzw. Fortluftbereich) muss verhindert werden, um die Gesamteffizienz der Lüftungsanlage zu gewährleisten. Gehäuse Leckage bei Unterdruck nach prEN 1886:2003.

Tabelle: Dichtheitsklasse nach prEN 1886:2003 (Quelle: RLT-Richtlinie 1, 2007)

Dichtheitsklasse	Max. Leckluftrate bei - 400 Pa Prüfdruck [l/(sm <sup>2</sup> )]	Filterklasse nach EN 779
L1	0,15	besser als F9
L2	0,44	F8–F9
L3	1,32	G1–F7

Tabelle: Gehäuse Leckage bei Überdruck nach prEN 1886:2003 (Quelle: RLT-Richtlinie 1, 2007)

Dichtheitsklasse	Max. Leckluftrate bei + 700 Pa Prüfdruck [l/(sm <sup>2</sup> )]
L1	0,22
L2	0,63
L3	1,90

Interne Leckagen bzw. Leckströme durch den Wärmetauscher führen zu einer scheinbaren Verbesserung der energetischen Qualität, da z.B. warme Abluft in die kühlere Zuluft eindringt (versteckter Umluftbetrieb). Diese internen Leckagen sind aus hygienischen Gründen und auch aus der Lüftungseffizienz unerwünscht, insbesondere wenn im Sinne einer Kaskadennutzung die Toilettenräume in die zentrale Lüftungsanlage eingebunden sind.

Dezentral: Interne und externe Leckagen werden nach ÖNORM EN 13141-7:2006 zwar getrennt ermittelt und ausgewiesen, die Grenzwerte sind aber gleich hoch. Relevant ist immer der höhere der beiden Werte und damit wird klassifiziert.

Qualitätskriterium 27 (M)	Anforderung	
<p><b>Effiziente Wärmerückgewinnung</b></p> <p>*Temperaturdifferenz zwischen einströmender und ausströmender Luft eines Luftstromes geteilt durch die Temperaturdifferenz zwischen der einströmenden Luft der beiden Luftströme.</p> <p>**Derzeit gibt es für dezentrale Geräte leider noch keine einheitliche europäische Prüfung. Deswegen sind alternativ die unterschiedlichen Prüfverfahren des Passivhaus-Institutes (PHI) bzw. nach dem DIBt-Prüfreglement mit unterschiedlichen Werten angeführt.</p> <p>***Nur wenn damit auch die Gesamteffizienz (inkl. Strombedarf) erhöht wird.</p>	<p>a) Dezentral: Abluftseitiges Temperaturverhältnis* nach ÖNORM EN 13141-7 zumindest 70%** Zielwert: &gt;75%***</p>	<p>a) Zentral: Rückwärmezahl nach EN 308 zumindest 70 % Zielwert: &gt;75%****</p>
	<p>b) Alternativ für dezentrale Anlagen:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Effektiver trockener Wärmerbereitstellungsgrad nach PHI-Prüfreglement zumindest 75% Zielwert &gt;80% <u>oder</u></li> <li>• Wärmebereitstellungsgrad nach DIBt-Prüfreglement mindestens 84% nach TZWL-Liste. Zielwert &gt;89%</li> </ul>	<p>Zentral: Keine Alternativen</p>

Eine hohe Wärmerückgewinnung erhöht nicht immer die Gesamtenergieeffizienz. Es ist zu beachten, dass Geräte mit höherer Wärmerückgewinnung auch höhere Druckverluste (bei gleicher Gerätegröße) und höhere Vereisungstemperaturen aufweisen. Dies ist bei der Berechnung der Gesamtenergiebilanz bzw. bei der Dimensionierung des Erdwärmetauschers oder der Vorwärmung zu berücksichtigen. In den Sommermonaten bzw. aufgrund der inneren Wärmen in einer Schulklasse ist teilweise schon in der Übergangszeit zu bestimmten Zeiten keine Wärmerückgewinnung gewünscht. Daher sind die Zielwerte bei der Wärmerückgewinnung immer nur unter dem Aspekt der Erzielung einer höheren Gesamteffizienz zu sehen.

Qualitätskriterium 28 (M)	Anforderung	
<p style="color: red;">Geringe Stromaufnahme des Ventilators, bzw. der gesamten Anlage beim Betriebsluftvolumenstrom und reinen Filtern</p> <p>Hinweis: bei Wärmerückgewinnungsklassen über H2 und ohne mechanischem Filter entspricht SFP1 0,14 W/(m³/h) pro Ventilator</p>	a) Dezentral: EC-Motoren	a) Zentral: direktangetriebene Motoren der Klasse EFF1
	b) Nur Zentral: spezifische Leistungsaufnahme jedes einzelnen Ventilators entsprechend der Kategorie SFP 1 nach ÖNORM EN 13779. Dies entspricht max. 0,22 W/(m³/h) bei der geforderten Wärmerückgewinnung nach Kriterium 27 (ohne mechanischem Filter)	
	c) Nur Zentral: spezifische Leistungsaufnahme jedes einzelnen Ventilators inkl. Wärmerückgewinnung nach Kriterium 27 und mechanischem Filter nach Kriterium 31 bzw. 32 max. 0,30 W/(m³/h)	
	d) Dezentral: spezifische Leistungsaufnahme der gesamten Anlage max. 0,45 W/(m³/h) Zielwert: max. 0,30 W/(m³/h)	d) Zentral: spezifische Leistungsaufnahme der gesamten Anlage max. 0,60 W/(m³/h) Zielwert: max. 0,40 W/(m³/h)

Für eine ganzheitliche Beurteilung von Lüftungsanlagen ist auch der gesamte Bedarf an elektrischem Strom bedeutend. Eine hohe Stromeffizienz wird mit direktbetriebenen Ventilatoren mit Gleichstrommotoren bzw. EC-Motoren und niedrigen Gesamtdrücken erreicht. Beim Wärmebereitstellungsgrad von dezentralen Lüftungsgeräten ist die von den Ventilatoren abgegebene Wärme mitberücksichtigt und wird als Wärmegewinn bilanziert. Daher würden – ohne Beachtung des elektrischen Strombedarfes – Anlagen mit hocheffizienten Ventilatoren im Vergleich zu konventionellen Ventilatorantrieben sogar schlechter abschneiden. Generell ergibt sich aus den physikalischen Gegebenheiten ein direkter Zusammenhang der spezifischen Ventilatorleistung (je Ventilator) mit der gesamten Druckerhöhung. D.h. bei einem fixen Gesamtwirkungsgrad von Motor und Ventilator ist die Stromeffizienz nur mehr von der Druckerhöhung im Gesamtsystem (intern und extern) abhängig.

$$P_{SFP} = \frac{P}{q_v} = \frac{\Delta p}{\eta_{tot}}$$

Spezifische Ventilatorleistung

- $P_{SFP}$  spezifische Ventilatorleistung [W\*m<sup>-3</sup>\*s]
- $P$  elektrische Wirkleistung des Ventilatormotors [W]
- $q_v$  Nennvolumenstrom durch den Ventilator [m<sup>-3</sup>\*s<sup>-1</sup>]
- $\Delta p$  Gesamtdruckerhöhung des Ventilators [Pa]
- $\eta_{tot}$  Gesamtwirkungsgrad von Ventilator, Motor, Antrieb, ... [-]

Die folgende Tabelle zeigt die Klassierung der spezifischen Ventilatorleistung nach ÖNORM EN 13779:2008 und die maximale Gesamtdruckerhöhung bei einem Gesamtwirkungsgrad des Ventilators von 0,60 bzw. 0,70 (Achtung: Einordnung gilt jeweils für einen Ventilator).

Tabelle: Klassierung der spezifischen Ventilatorleistung nach ÖNORM EN 13779:2008

SFP-Kategorie	$P_{SFP}$ in $[W \cdot m^{-3} \cdot s]$	$P_{SFP}$ in $[W \cdot m^{-3} \cdot h]$	Max. ges. Druckerhöhung bei $\eta_{tot} = 60 \% [Pa]$	Max. ges. Druckerhöhung bei $\eta_{tot} = 70 \% [Pa]$
SFP 1 <sup>(*)</sup>	<500	<0,14	300	350
SFP 2 <sup>(*)</sup>	500–750	0,14–0,21	450	525
SFP 3 <sup>(*)</sup>	750–1.250	0,21–0,35	750	875
SFP 4 <sup>(*)</sup>	1.250–2.000	0,35–0,56	1.200	1.400
SFP 5 <sup>(*)</sup>	2.000–3.000	0,56–0,83	1.800	2.100
SFP 6 <sup>(*)</sup>	3.000–4.500	0,83–1,25	2.700	3.150
SFP 7 <sup>(*)</sup>	>4.500	>1,25	>2.700	>3.150

<sup>(\*)</sup>  $P_{SFP}$ .....spezifische Ventilator Leistung

Zusätzliche Einbauten führen nach der EN 13779:2008 zu höheren zulässigen spezifischen Werten: z.B. zusätzliche mechanische Filterstufen (+ 300  $W \cdot m^{-3} \cdot s$ ) oder hocheffiziente Wärmerückgewinnungen der Wärmerückführungsklasse H2 oder H1 (+ 300  $W \cdot m^{-3} \cdot s$ ) oder zusätzlicher sehr großer Kühler (+300  $W \cdot m^{-3} \cdot s$ ). Bei den anzustrebenden Wärmerückgewinnungsklassen H2 bzw. H1 ergibt sich damit für SFP 1 ein Wert von 800  $W \cdot m^{-3} \cdot s$  bzw. 0,22  $W \cdot m^{-3} \cdot h$ . Dies entspricht einer Gesamtdruckerhöhung von max. 480 Pa bei 60% bzw. 560 Pa bei 70% Gesamtwirkungsgrad der Ventilatoreinheit. Inklusive mechanischem Filter ergeben sich lt. EN 13799:2008 maximal 1.100  $W \cdot m^{-3} \cdot s$  bzw. 0,305  $W \cdot m^{-3} \cdot h$  oder 660 Pa bei 60%, bzw. 770 Pa bei 70% Gesamtwirkungsgrad der Ventilatoreinheit. In Qualitätskriterien sind maximal 80 Pa Druckverlust für die reinen Filter vorgesehen (40 Pa vor dem EWT und 40 Pa für den Hauptfilter im Zuluftstrang). D.h. es ergibt sich eine maximale Druckerhöhung von 540 Pa bzw. ein SFP-Wert von 900  $W \cdot m^{-3} \cdot s$  bzw. 0,25  $W \cdot m^{-3} \cdot h$  für den Zuluftstrang. Für den Abluftstrang ergibt sich für einen Filter mit max. 40 Pa eine Gesamtdruckerhöhung von 500 Pa und somit ein SFP-Wert von 833  $W \cdot m^{-3} \cdot s$  bzw. 0,23  $W \cdot m^{-3} \cdot h$ . In der Praxis ist daher eine höhere Filterqualität oder eine höhere Wärmerückgewinnungsklasse gegen den höheren Strombedarf abzuwägen. Auch in der OIB Richtlinie 6 wird beim erstmaligen Einbau, bei Erneuerung oder überwiegender Instandsetzung von Lüftungsanlagen eine spezifische Leistungsaufnahme (SFP) von Ventilatoren in Lüftungsanlagen der Klasse I gemäß ÖNORM EN 13779:2008 gefordert.

Qualitätskriterium 29 (M)	Anforderung	
Gute Wärmedämmung des Gerätegehäuses	Dezentral: Leitwert des gesamten Gehäuses maximal 8 W/K nach ÖNORM EN 13141-7	Zentral: U-Wert des Gehäuses maximal 1 W/m <sup>2</sup> K (bzw. 3,5 cm Dämmung mit Lambda 0,04 W/mK) Klasse T2 und Wärmebrückenfaktor TB2 nach prEN 1886 Zielwert: max. 0,5 [W/m <sup>2</sup> K]; Klasse T1 bzw. TB1 nach prEN 1886.
	Zielwert: 5 [W/K]	b) Zentral-Außenaufstellung: U-Wert des thermisch getrennten Gehäuses maximal 0,5 W/m <sup>2</sup> K (bzw. 8 cm Dämmung mit Lambda 0,04 W/mK) Klasse T1 und Wärmebrückenfaktor TB1 nach prEN 1886 Zielwert: max. 0,3 W/m <sup>2</sup> K

Um die Einwirkungen der Umgebungstemperaturen auf die Effizienz der Lüftungsgeräte zu verringern, soll das Gehäuse wärmetechnisch gedämmt werden. Der Wandaufbau sollte doppelschalig mit dazwischen liegender Isolierung ausgeführt sein (VDI 3803:2002). Für dezentrale Geräte ist eine Prüfung des gesamten Leitwertes inkl. Wärmebrückeneinflüssen nach EN 13141-7:2006 ausschlaggebend. Sehr gute Geräte erreichen lt. Prüfungen des Passivhausinstitutes Werte um die 5 W/K.

Für zentrale Geräte fordert die VDI 3803:2002 eine Mindestwärmedämmung der Klasse T4 nach prEN 1886:2003. Die 5 Klassen für die Wärmedämmung von raumluftechnischen Geräten nach prEN 1886:2003 sind in der folgenden Tabelle angegeben.

Tabelle: Klassifikation der Wärmedurchgangszahl des Gehäuses von raumluftechnischen Geräten nach prEN 1886:2003

Klasse	Wärmedurchgangszahl [W/m <sup>2</sup> K]
T1	<0,5
T2	0,5–1
T3	1–1,4
T4	1,4–2
T5	Keine Anforderung

Bei zentralen Geräten sind die Wärmebrücken des Gehäuses getrennt zu betrachten, da nicht der Leitwert des gesamten Gehäuses gemessen wird, sondern nur die Wärmedämmung in den Regelflächen. Die prEN 1886:2003 sieht auch hier 5 Klassen vor, wobei die Klasse 1 die strengste Anforderung darstellt.

Tabelle: Klassifikation des Wärmebrückenfaktors des Gehäuses von raumluftechnischen Geräten nach prEN 1886:2003

Gehäuseklasse	Wärmebrückenfaktor $k_b$ [-]
TB1	0,75–1,00
TB2	0,60–0,75
TB3	0,45–0,60
TB4	0,30–0,45
TB5	Keine Anforderung

Qualitätskriterium 30 (M)	Anforderung	
Gewährleistung der gewünschten Luftmengen durch automatische Konstantvolumenstrom- oder Konstantdruckregelung bzw. eine bedarfsgerechte Druckregelung	a) Dezentral: Automatische Konstantvolumenstromregelung Abweichung maximal 10% vom geplanten Volumenstrom. Zielwert: 5%	a) Zentral: Automatische Konstantdruckregelung mit optimaler Platzierung des Drucksensors Abweichung maximal 10% vom geplanten Druckniveau. Zielwert: 5%
		b) Zentral: Bedarfsgerechte Druckregelung des Lüftungssystems

Die Forderung der Konstantvolumen- bzw. Konstantdruckströme der Geräte ergibt sich, um unabhängig vom Verschmutzungsgrad der Filter die angestrebte Zu- bzw. Abluftmenge zu erhalten.

Die dauerhafte Einhaltung des geplanten Luftvolumenstromes ist ein weiteres Qualitätsmerkmal und wird am einfachsten über eine Konstantvolumenstrom- bzw. Konstantdruckregelung des Lüftungsgerätes erreicht. Hier gleicht das Gerät unterschiedliche bzw. sich verändernde Druckverluste (z.B. durch sich verschmutzende Filter) aus und sorgt dafür, dass immer der gewünschte Volumenstrom bzw. das gewünschte Druckniveau geliefert wird. Eine händische Einmessung für Zu- und Abluft ist zwar grundsätzlich möglich, nur müsste dann aufgrund der unterschiedlichen Betriebszustände (Druckverluste) eine schwankende Luftmenge und teilweise unausgeglichene Volumenströme (z.B. durch unterschiedliche Verschmutzungen der Filter) akzeptiert werden.

Bei dezentralen Anlagen kommt hierbei eine Konstantvolumen- und bei zentralen Anlagen normalerweise eine Konstantdruckregelung zum tragen. Eine Konstantdruckregelung hat dieselbe Aufgabe wie die druckabhängige Drehzahlregelung einer (Effizienz)-Pumpe in einem Heizkreis mit Thermostatventilen. Ändert sich der Bedarf, wenn ein Volumenstromregler sich ändert, dann regelt die Druckregelung wieder auf den Druck-Sollwert ein. Diese Regelung bietet statt der früher üblichen Drosselung eine deutlich höhere Effizienz. Wichtig ist die richtige Anbringung des Druckfühlers. Dieser sollte vor der letzten Volumenstrombox angebracht werden.

Noch effizienter ist eine bedarfsgerechte Druckregelung. Statt den Druck im System konstant zu halten wird hier die Stellung der einzelnen Regelklappen optimiert, sodass nur der unbedingt notwendige Druckabfall bereitgestellt werden muss. Dazu ist aber eine Vernetzung der einzelnen Regelklappen mit der Lüftungsregelung notwendig. Mit diesem System lassen sich ca. 20 bis 50% der elektrischen Antriebsenergie des Hauptventilators einsparen. Zudem werden die Inbetriebnahme des Systems vereinfacht und die Strömungsgeräusche in der Volumensstrombox reduziert.

**Konstantdruckregelung:**

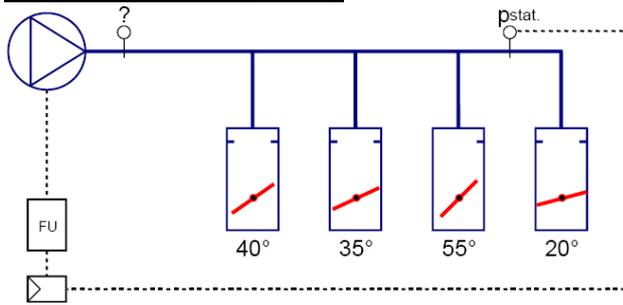
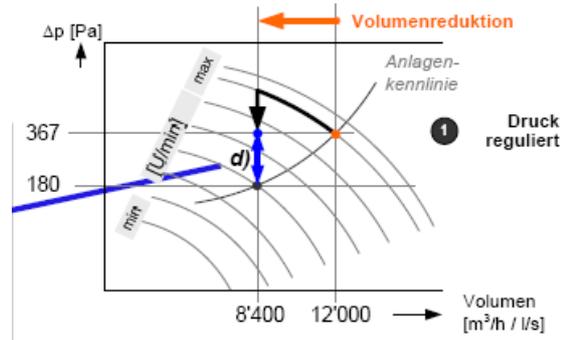
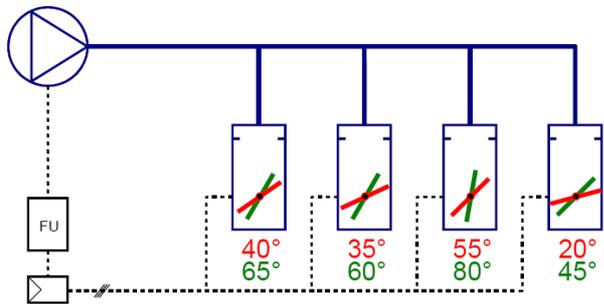


Abbildung: Konstantdruckregelung (Quelle: Belimo)



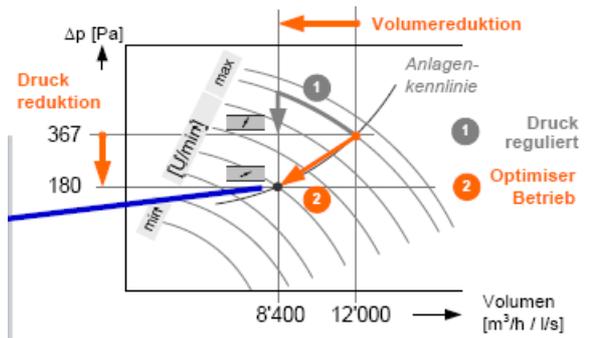
Druckabbau durch Volumenstrombox

**Bedarfsgerechte Druckregelung:**



Nachregulierung der Volumenstromboxen und Senkung des Gesamtdruckniveaus

Abbildung: Bedarfsgerechte Druckregelung (Quelle: Belimo)



Qualitätskriterium 31 (M)	Anforderung		
Ausreichende Filterqualität mit geringem Druckverlust für die Außenluft; einfacher Filtertausch	Zumindest F7 nach EN 779 bei ODA1 bzw. F5 + F7 bei ODA2 (für IDA 3) Zielwert: F8 bei ODA 1 und F5 + F8 bei ODA 2 (für IDA 2)		
	<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 50%;">b) Dezentral: Hängende bzw. (quer-) stehende, synthetische Taschenfilter oder Kassettenfilter</td> <td style="width: 50%;">b) Zentral: Hängende bzw. (quer-) stehende, synthetische Taschenfilter</td> </tr> </table>	b) Dezentral: Hängende bzw. (quer-) stehende, synthetische Taschenfilter oder Kassettenfilter	b) Zentral: Hängende bzw. (quer-) stehende, synthetische Taschenfilter
	b) Dezentral: Hängende bzw. (quer-) stehende, synthetische Taschenfilter oder Kassettenfilter	b) Zentral: Hängende bzw. (quer-) stehende, synthetische Taschenfilter	
	c) Dauerhaft geringer Filterbypassvolumenstrom (dichte Dichtflächen)		
	d) Kein verkehrtes Einsetzen der Filter möglich		
	e) Der Filterwechsel sollte von der Hausbetreuung einfach durchgeführt werden können. Max. 2.000 Betriebsstunden für die 1. Filterstufe bzw. max. 1 Jahr; 2. Filterstufe max. 4.000 Betriebsstunden bzw. max. 2 Jahre lt. EN 13779.		
	f) Schutz vor Durchfeuchtung – d.h. max. 90% relative Feuchte, bzw. mittlere relative Feuchte unter 80% an drei aufeinander folgenden Tagen. Dies entspricht einer Temperaturerhöhung von ca. 2°C bis zum Filter.		
<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 50%;">                             g) Maximaler Druckverlust 20 [Pa] beim Betriebsvolumenstrom und reinen Filtern; Enddruck max. 60 [Pa]                              Zielwert max. 10 [Pa]                              Enddruck max. 40 [Pa]                         </td> <td style="width: 50%;">                             g) Maximaler Druckverlust 40 [Pa] beim Betriebsvolumenstrom und reinen Filtern; Enddruck max. 120 [Pa]                              Zielwert max. 20 [Pa]                              Enddruck max. 80 [Pa]                         </td> </tr> </table>	g) Maximaler Druckverlust 20 [Pa] beim Betriebsvolumenstrom und reinen Filtern; Enddruck max. 60 [Pa] Zielwert max. 10 [Pa] Enddruck max. 40 [Pa]	g) Maximaler Druckverlust 40 [Pa] beim Betriebsvolumenstrom und reinen Filtern; Enddruck max. 120 [Pa] Zielwert max. 20 [Pa] Enddruck max. 80 [Pa]	
g) Maximaler Druckverlust 20 [Pa] beim Betriebsvolumenstrom und reinen Filtern; Enddruck max. 60 [Pa] Zielwert max. 10 [Pa] Enddruck max. 40 [Pa]	g) Maximaler Druckverlust 40 [Pa] beim Betriebsvolumenstrom und reinen Filtern; Enddruck max. 120 [Pa] Zielwert max. 20 [Pa] Enddruck max. 80 [Pa]		

Die Außenluft sollte so gefiltert werden, dass sie der Raumluftanforderung entspricht. Die Filterqualität sollte der Anwendung entsprechend angepasst sein. Zu hohe Anforderungen an die Filterqualität erhöhen den Druckverlust und wirken sich negativ auf die Effizienz der Anlage aus. Die ÖNORM EN 13779:2008 gibt daher die Filterklassen in Abhängigkeit der Außenluft und der gewünschten Raumluftqualität an, wie aus der unten stehenden Tabelle ersichtlich ist. Die Filterklassen sind nach ÖNORM EN 779:2003 definiert.

Tabelle: Empfohlene Filterklassen je Filterstufe nach ÖNORM EN 13779:2008

Außenluftqualität	Raumluftqualität			
	IDA 1	IDA 2	IDA 3	IDA 4
ODA 1	F9	F8	F7	F5
ODA 2	F7 + F9	F5 + F8	F5 + F7	F5 + F6
ODA 3	F7 + GF + F9	F7 + GF + F9	F5 + F7	F5 + F6

GF bedeutet Gasfilter (Aktivkohlefilter) und/oder chemischer Filter

Tabelle: Klassifizierung der Außenluft nach ÖNORM EN 13779:2008

Außenluftkategorie	Beschreibung
ODA 1	Saubere Luft, die nur zeitweise staubbelastet sein darf (z.B. Pollen)
ODA 2	Außenluft mit hoher Konzentration an Staub oder Feinstaub und/oder gasförmiger Verunreinigungen
ODA 3	Außenluft mit sehr hoher Konzentration von gasförmigen Verunreinigungen

Für Städte wie London, Madrid und Stuttgart trifft lt. ÖNORM EN 13779:2008 die ODA Klasse 2 zu. D.h. in städtischen Bereichen ist auch bei uns auch von ODA 2 und in unbelasteten ländlichen Bereichen von ODA 1 auszugehen. Für die konkrete Bestimmung müssen die Richtwerte für einzelne Schadstoffe der ÖNORM EN 13779:2008 mit den tatsächlichen Schadstoffbelastungen des Standortes verglichen werden.

Die Filterqualität in der Zuluft soll mindestens F7 betragen, was auch der Anforderung der ÖNORM EN 13779:2008 bei IDA 3 entspricht. Durch die Filter erreicht man insbesondere im städtischen Bereich eine deutliche Verminderung des Staub- und Polleneintrages von außen. Um die Druckverluste zu minimieren bzw. längere Standzeiten zu erhalten, sollten Filter eine möglichst große Oberfläche besitzen (z.B. Taschenfilter). Die Luftfilterung ab ODA 2 sollte zweistufig erfolgen, wobei der Vorfilter mindestens F5 und der zweite Filter mindestens F7 gemäß ÖNORM EN 13779:2008 sein sollte. Eine zweistufige Filterung bewirkt längere Standzeiten des zweiten Filters und einen geringeren Druckverlust, allerdings werden die Installationskosten höher. Der Filterwechsel soll durch die Hausbetreuung vorgenommen werden können.

Im Vorschlag der ÖNORM H 6039:Stand 9.1.2008 ist eine Filterqualität von F6 als Mindestforderung enthalten.

Die ÖNORM H 6021:2003 fordert über die Anforderung der ÖNORM EN 13779:2008 hinaus in Zuluftanlagen, für Räume in denen sich Menschen über einen längeren Zeitraum aufhalten, mindestens 2 Filterstufen, wobei die 1. Stufe vor dem ersten vor Staub zu schützenden Bauteil und die 2. Stufe nach dem letzten Bauteil eines lufttechnischen Zentralgerätes vorzusehen ist.

Zum Schutz vor Durchfeuchtung sollte beim Filter die Luft schon um ca. 1–2°C über der Außentemperatur im Winter liegen. Dies kann entweder durch Anbringung der Filter im Gebäude, bzw. nach einer kurzen Erdvorwärmung oder im Ausnahmefall durch eine geregelte (elektrische) Beheizung bewerkstelligt werden.

Qualitätskriterium 32 (M)	Anforderung		
Ausreichende Filterqualität im Abluftstrang mit geringem Druckverlust. Einfacher Filtertausch	a) Dezentral: Abluft zumindest F5 nach EN 779. Bei regenerativen Wärmetauschern (z.B. Rotationswärmetauscher) gleich wie für die Außenluft	Zentral: Abluft zumindest F5 nach EN 779. Bei regenerativen Wärmetauschern (z.B. Rotationswärmetauscher) gleich wie für die Außenluft	
	b) Dezentral: Hängende bzw. (quer-) stehende Taschenfilter oder Kassettenfilter	b) Zentral: Hängende bzw. (quer-) stehende, synthetische Taschenfilter	
	c) Dauerhaft geringer Filterbypassvolumenstrom (dichte Dichtflächen)		
	d) Kein verkehrtes Einsetzen der Filter möglich		
	e) Der Filterwechsel sollte von der Hausbetreuung durchgeführt werden können		
	f) Dezentral: maximaler Druckverlust 20 Pa beim Betriebsvolumenstrom und reinen Filtern. Enddruck max. 60 [Pa]. Zielwert max. 10 [Pa] Enddruck max. 40 [Pa]	f) Zentral: maximaler Druckverlust 40 Pa beim Betriebsvolumenstrom und reinen Filtern. Enddruck max. 120 [Pa]. Zielwert max. 20 [Pa] Enddruck max. 80 [Pa]	

Die Filterqualität im Abluftstrang sollte lt. ÖNORM EN 13779:2008 zumindest F5 betragen. Dieser Filter hat keine hygienischen Aufgaben, sondern soll lediglich den Wärmetauscher vor Verschmutzung schützen. Bei Anlagen mit regenerativer Wärmerückgewinnung z.B. Rotationswärmetauscher ist lt. ÖNORM EN 13779:2008 für die Abluft dieselbe Filterklasse wie bei der Außenluft/Zuluft vorzusehen.

Qualitätskriterium 33 (M)	Anforderung	
Geeigneter Aufstellungsort	Dezentral: bei beengten Raumverhältnissen ist eine Deckenausführung ohne gesonderten Platzbedarf anzustreben.	Zentral: Frostfreier, trockener Raum oder Gerät für Freiaufstellung mit leichtem Zugang für Filterwechsel

Beim Aufstellungsort selbst sind folgende Punkte zu beachten:

- trockener, frostfreier Raum oder Gerät für Außenaufstellung
- leicht zugänglich für Wartungsarbeiten
- einfache Anschlussmöglichkeit für den notwendigen Kondensatablauf
- vorhandene Stromversorgung

Ein Keller oder eine Aufstellung innerhalb der thermischen Gebäudehülle bieten sich dafür an. Freiaufstellungen sind aus energetischen Gründen möglichst zu vermeiden. Die Größe des Aufstellungsortes bei zentralen Geräten ist so zu wählen, dass eine gute Zugänglichkeit zu allen relevanten Bauelementen gegeben ist. Empfehlungen dazu gibt es in der ÖNORM EN 13779:2008. Die Lage des Aufstellungsortes soll kurze Entfernungen zu den zu lüftenden Räumen gewährleisten. Bei im Außenbereich aufgestellten Anlagen sind dafür vorgesehene Geräte mit höherer Dämmstärke zum Ausgleich der schlechteren Rahmenbedingungen einzusetzen. Freiaufstellungen sind aus energetischen Gründen jedoch möglichst zu vermeiden. Bei dezentralen Anlagen innerhalb des Klassenzimmers ist aus Platzgründen und aufgrund der Vandalensicherheit eine Deckenausführung anzustreben.

Qualitätskriterium 34 (M)	Anforderung	
Einschränkung der Körperschallübertragung durch das Gerät an die Wand bzw. den Boden sowie an die Lüftungsrohre	a) Tragfähiger und schwingungsfreier Untergrund	
	b) Aufstellung bzw. Aufhängung des Lüftungsgerätes mit schwingungsdämpfenden Elementen	
	c) Schwingungstechnische Entkopplung von Gerät und Lüftungsrohren	

Wenn Maschinen für Lüftungstechnische Anlagen (z.B. Ventilatoraggregate, Kompressoren) starr aufgestellt werden, wird Körperschall in das Bauwerk geleitet. Die auf ein festes Medium übertragene Schallenergie (Körperschall) ist etwa gleich groß wie die durch die Luft übertragene Schallenergie (Luftschall). (ÖNORM M 7645:1987)

Zur Verringerung der Übertragung von Schwingungen des Gerätes an die Wand bzw. den Fußboden muss die Aufstellung bzw. Aufhängung mit schalldämpfenden Elementen erfolgen. Die schwingungstechnische Entkopplung der Rohrleitungen sollte über elastische Zwischenglieder (z.B. Segeltuchstützen, Weichstoffkompensatoren) erfolgen.

Qualitätskriterium 35 (M)	Anforderung	
Kondensatablauf beim Lüftungsgerät (bei Geräten mit Kondensatbildung)	Dezentral: Das Kondensat kann in einem entsprechenden Sammelbehälter aufgefangen werden (sichtbarer Füllstand), nach außen über die Fassade abgeführt, oder mit geeignetem Kondensatabfluss ohne Leckströmung und mit Geruchsverschluss (z.B. doppelter Siphon oder Trockensiphon) in den Kanal eingeleitet werden.	Zentral: Geeigneter Kondensatabfluss ohne Leckströmung und mit Geruchsverschluss gegen den Kanal (z.B. doppelter Siphon)

Für die Abfuhr des Kondensates auf der Abluftseite muss ein geeigneter Kondensatabfluss mit Geruchsverschluss vorgesehen werden. Kondensat in Form von Wasser tritt dann auf, wenn die Oberflächentemperatur des Wärmetauschers abluftseitig den Taupunkt der Abluft unterschreitet.

Im typischen Winterfall treten für ein dezentrales Klassenzimmerlüftungsgerät theoretische Kondensatmengen am Luft-Luft-Platten-Wärmetauscher von ungefähr 73 g/h bei 500 m<sup>3</sup>/h Abluftvolumenstrom auf. (Außenluft -1 °C, 40% r.F; Abluft 22 °C, 30% r.F; Plattenwärmetauscher 80% Wärmerückgewinnungsgrad).

Qualitätskriterium 36 (M)	Anforderung	
Einfache Stromlosschaltung des gesamten Gerätes	Dezentral: Eigene Sicherung bei Direktverdrahtung oder Steckerlösung bzw. Hauptschalter	Zentral: Eigene Sicherung und Hauptschalter

Um bei Fehlfunktionen bzw. Wartungsarbeiten ein einfaches Abschalten zu ermöglichen, sollte das Lüftungsgerät eine eigene Sicherung haben bzw. mittels Stecker oder Hauptschalter einfach stromlos gemacht werden können.

Qualitätskriterium 37 (M)	Anforderung		
Geeignete Regelungsstrategie der Lüftungsanlage für bedarfsgerechte Luftmengen	a) Automatisches Spülen der Klasse vor und nach dem Unterricht mit jeweils zumindest der einfachen Luftmenge des Raumes. Alternativ kann auch ein dauernder Luftvolumenstrom von 0,5 [m <sup>3</sup> /h] und m <sup>2</sup> bzw. ein intermediärer Betrieb, der dieser Luftmenge entspricht, gewählt werden.		
	<table border="1"> <tr> <td data-bbox="707 539 1066 1037">b) Dezentral: Minimalvariante: Anwesenheitssteuerung (z.B. Bewegungsmelder). (IDA - C4)</td> <td data-bbox="1066 539 1396 1037">b) Zentral: Anwesenheitssteuerung zur individuellen Luftmengensteuerung (Auf/Zu) über jedes Klassenzimmer. (IDA - C4)  Nur in Ausnahmefällen reine Betriebszeitenregelung über eine Zeitschaltuhr; für gesamtes Gebäude oder Gebäudeteile. (IDA - C3)</td> </tr> </table>	b) Dezentral: Minimalvariante: Anwesenheitssteuerung (z.B. Bewegungsmelder). (IDA - C4)	b) Zentral: Anwesenheitssteuerung zur individuellen Luftmengensteuerung (Auf/Zu) über jedes Klassenzimmer. (IDA - C4)  Nur in Ausnahmefällen reine Betriebszeitenregelung über eine Zeitschaltuhr; für gesamtes Gebäude oder Gebäudeteile. (IDA - C3)
	b) Dezentral: Minimalvariante: Anwesenheitssteuerung (z.B. Bewegungsmelder). (IDA - C4)	b) Zentral: Anwesenheitssteuerung zur individuellen Luftmengensteuerung (Auf/Zu) über jedes Klassenzimmer. (IDA - C4)  Nur in Ausnahmefällen reine Betriebszeitenregelung über eine Zeitschaltuhr; für gesamtes Gebäude oder Gebäudeteile. (IDA - C3)	
	c.) Optimierung: Bedarfsorientierte Luftmengenregelung mit CO <sub>2</sub> - oder Mischgasfühler für jede Klasse. (IDA - C6) Optional mit Feuchtekontrolle.		
<table border="1"> <tr> <td data-bbox="707 1189 1066 1366">d.) Dezentral: grüne Kontrollleuchte für Betrieb bzw. rote Kontrollleuchte für Störmeldung im Klassenzimmer.</td> <td data-bbox="1066 1189 1396 1366">d.) Zentral: Störmeldung im Raum bzw. im leicht sichtbaren Bereiches des Schulwartes bzw. der Verwaltung.</td> </tr> </table>	d.) Dezentral: grüne Kontrollleuchte für Betrieb bzw. rote Kontrollleuchte für Störmeldung im Klassenzimmer.	d.) Zentral: Störmeldung im Raum bzw. im leicht sichtbaren Bereiches des Schulwartes bzw. der Verwaltung.	
d.) Dezentral: grüne Kontrollleuchte für Betrieb bzw. rote Kontrollleuchte für Störmeldung im Klassenzimmer.	d.) Zentral: Störmeldung im Raum bzw. im leicht sichtbaren Bereiches des Schulwartes bzw. der Verwaltung.		

Eine optimale, bedarfsorientierte Regelung der Luftmenge ist nicht nur aus energetischen Gründen, sondern auch zur Bewahrung der Luftfeuchte im Winter notwendig.

Die unterschiedliche Benutzung der Klassenzimmer (Abwesenheit, Normalbelegung, Freistunden etc.) bedingt unterschiedlich benötigte Luftmengen. Eine bedarfsgerechte Regelung über CO<sub>2</sub>- oder Mischgasfühler ist zwar grundsätzlich anzustreben, doch wird diese aus Kostengründen nicht immer verwirklicht werden können. Eine zusätzliche optionale Feuchtekontrolle entspräche dem Optimum. Bei Klassenräumen, die tendenziell von gleich vielen Schülern benutzt werden, sind reine Anwesenheitssteuerungen möglich. Bei dezentralen Anlagen regeln diese die gesamte Luftmenge des Gerätes, bei zentralen Anlagen nur die Luftmenge für die einzelne Klasse.

Bei einer sehr unterschiedlichen Benutzung der Räume (z.B. Gruppenräume) soll eine raumluftabhängige Regelung statt einer Anwesenheitsregelung eingesetzt werden. Dies bedeutet einen Mehraufwand an Regelorganen, erspart aber unnötigen Strombedarf der Lüftung und bedeutet Vorteile bei der Einhaltung der Feuchteanforderung.

Vereinfachte Konzepte von zentralen Anlagen (insbesondere ohne Feuchterückgewinnung bzw. Befeuchtung) bei denen nicht die Luftmengen der

einzelnen Klassen individuell geregelt werden können, sondern die Gesamtanlage mit einer fixen Luftmenge betrieben wird und über eine Zeitschaltuhr geregelt wird, sind bezüglich der Feuchte äußerst kritisch und sollten vermieden werden.

Die Zeitschaltuhr sollte zumindest über ein Wochenprogramm verfügen, da sich die Nutzung an den einzelnen Tagen deutlich unterscheidet. Der Hauswart sollte zudem Ferien und Nutzungszeitänderungen beachten und die Zeitschaltuhr entsprechend einstellen können.

Tabelle: Mögliche Arten der Regelung der Raumluftqualität nach ÖNORM EN 13779:2008

Kategorie	Beschreibung
IDA - C1	Anlage läuft konstant
IDA - C2	Manuelle Regelung (Steuerung)
IDA - C3	Zeitabhängige Regelung (Steuerung)
IDA - C4	Anwesenheitsabhängige Regelung (Steuerung)
IDA - C5	Bedarfsabhängige Regelung – Personenanzahl
IDA - C6	Bedarfsabhängige Regelung – Sensoren

Qualitätskriterium 38 (M)	Anforderung
Lüftungsanlage liefert keinen Beitrag zur Überwärmung der Klassenräume	a) Lüftungsgerät muss über einen automatischen Bypass zur Umgehung des Wärmetauschers (oder gleichwertiges System, z.B. Rotationswärmetauscher) für 100% des Volumenstromes verfügen.
	b) Bei einem EWT muss die Umschaltemperatur und bei Anlagen ohne EWT die untere und die obere Grenze der Umschaltung einstellbar sein.
	c) Bypass muss dicht schließen. Max. Leckage 4 [l/sm <sub>2</sub> ] beim Prüfdruck von 500 [Pa] nach EN 1751

In den Sommermonaten, bei einer Nachtkühlung bzw. aufgrund der inneren Wärmen in einer Schulklasse teilweise schon in der Übergangszeit, ist zeitweise keine Wärmerückgewinnung gewünscht. Es ist daher notwendig, die Wärmerückgewinnung regeln bzw. umgehen zu können. Daher sind Geräte, bei denen sich systembedingt die Wärmerückgewinnung nicht ohnehin regeln lässt, mit einer automatischen Bypassklappe zur Umgehung der WRG auszustatten. Bei einem Wärmerad (Rotationswärmetauscher) oder wechselseitig durchströmtem Regenerator (mit Klappen geregelt), ist die Wärmerückgewinnung regelbar und benötigt daher keinen Bypass. Manuelle Umstellungsmöglichkeiten sind für den Schulbetrieb ungeeignet. Bei Anlagen mit einem Erdwärmetauscher ist nur ein Umschaltpunkt notwendig, da die abgekühlte Zuluft immer unter Klassenzimmertemperatur liegt. Bei Anlagen ohne EWT ist auch ein zweiter Umschaltpunkt notwendig, da bei Außentemperaturen über der Raumlufttemperatur mit der Wärmerückgewinnungseinheit die Zuluft wieder abgekühlt werden kann. Um die Gesamteffizienz nicht zu verschlechtern muss der Bypass dicht schließen und der Klasse 4 nach ÖNORM EN 1751:1999 entsprechen.

Qualitätskriterium 39 (M)	Anforderung	
Eingriffsmöglichkeit im Klassenzimmer (Abschaltmöglichkeit)	a) Dezentral: Einfache Abschaltmöglichkeit mit automatischem Anlauf nach 45 Minuten	a) Zentral: Einfache Abschaltmöglichkeit der einzelnen Klasse (z.B. Motorklappe) mit automatischer Zuschaltung nach 45 Minuten
	b) Falls eine Eingriffsmöglichkeit durch die Nutzer besteht, sollte eine Erläuterung direkt neben der Bedieneinheit fix angebracht sein.	

Einfache, leicht verständliche Bedienungseinheiten tragen wesentlich zur Zufriedenheit der Nutzer bei. Eine einfache Bedieneinheit im Raum bei dezentralen Anlagen ermöglicht es den Benutzern auf sich ändernde Umstände schnell zu reagieren. Ist es für spezielle Anlässe (z.B. plötzliche Belastung der Außenluft durch Rauch, Gülle usw.) notwendig, die Lüftungsanlage außer Betrieb zu setzen, so sollte diese nach ca. 45 Minuten wieder automatisch anlaufen, um ein Vergessen des Einschaltens auszuschließen. Wenn eine Bedienung bzw. ein Eingriff in die Anlage durch die Nutzer möglich ist, sollte die Erläuterung direkt bei der entsprechenden Bedieneinheit verfügbar sein.

Qualitätskriterium 40 (E)	Anforderung		
<p><b>Leistungsgeregelter Frostschutz ohne Staubverschmelzung (Niedertemperatursystem)</b></p> <p>Nicht erforderlich, wenn ein EWT mit ausreichendem Temperaturhub vorhanden ist, bzw. ein vereisungssicherer Wärmetauscher verwendet wird. (Auslegungstemperatur: Normaußentemperatur abzüglich 5°C Tagesgang z.B. -16 – 5 = -21°C)</p> <p>*Bei dezentralen Anlagen ist ein primärenergetisch an sich nicht erwünschter elektrischer Frostschutz aus Kostengründen zugelassen</p>	a) Leistungsgeregelter Frostschutz auf max. -2°C Zielwert max. 2°C über dem individuellen Vereisungspunkt des Wärmetauschers		
	b) Wassergeführt: Vorlauftemperatur maximal 45°C		
	c) Wassergeführt: Frostschutzregister gefüllt mit unbedenklichem Frostschutz auf -25°C oder sonstige Frostschutzmaßnahmen		
	d) Wassergeführt: Energieeffiziente Pumpe Klasse „A“ nach Europump (z. B. Permanentmagnetmotorpumpe)		
	e) Wassergeführt: Kopplung der Pumpenlaufzeit an die Frostschutzfunktion.		
	f) Schutz des Primärkreiswärmetauschers vor Vereisung bei Ausfall des Primärkreises bzw. der Heizquelle.		
	g) Dezentral: Wenn elektrisch*: leistungsgeregeltes Frostschutzregister mit einer max. Oberflächentemperatur von 55°C (z.B. PTC Heizregister)	g) Zentral: kein elektrischer Frostschutz	
	h) Dezentral: Druckverlust max. 15 [Pa] Zielwert: max. 8 [Pa]	h) Zentral: Druckverlust max. 30 [Pa] Zielwert: 15 [Pa]	

Eine Erwärmung deutlich über den Vereisungspunkt des Wärmetauschers bedeutet eine Einschränkung der Wärmerückgewinnung und ist daher nicht erwünscht. Dies lässt sich nur durch ein geregeltes Vorheizregister erzielen, da ansonsten aufgrund der Auslegung des Heizregisters auf die maximale Spreizung am Tag der Normaußentemperatur es in den übrigen Zeiten zu einer zu hohen Vorwärmung kommt. Z.B. Normaußentemperatur -16°C – 5°C Tagesgang, d.h. -21°C Auslegungstemperatur, Vereisungstemperatur z.B. -4°C bedeuten eine Spreizung von 17°C. Bei -6°C würde dann die Luft ohne Leistungsregelung auf 11°C vorgewärmt. Zur Vermeidung von Staubverschmelzung ist auch bei el. Vorheizregister die Oberflächentemperatur auf 55°C zu beschränken, z.B. durch PTC-Heizregister. Bei zentralen Anlagen ist eine rein elektrische Luftvorwärmung gesamtenergetisch nicht zielführend.

Zusätzlich ist bei der Einbindung der Luftvorwärmung in das Heizungssystem neben der Einschränkung der Temperatur am Heizregister (Staubverschmelzung, Einbindung ins Niedertemperatursystem) auf eine ausreichende Betriebssicherheit bei sehr kalten Außentemperaturen zu achten. Eine sichere Möglichkeit ist die Entkopplung der wassergeführten Vorerwärmung durch einen gesonderten und mit Frostschutz gefüllten thermostatisch geregelten Vorwärmkreis. Auch bei einem möglichen Ausfall

der Heizung und gleichzeitigem Lüftungsbetrieb kann das Frostschutzregister nicht einfrieren und Schaden nehmen.

Qualitätskriterium 41 (E)	Anforderung	
<p><b>Leistungsgeregelte Nacherwärmung ohne Staubverschmelzung (Niedertemperatursystem)</b></p> <p>Nicht erforderlich, wenn durch einen EWT mit ausreichendem Temperaturhub oder eine andere Vorwärmung als Vereisungsschutz und einer hochwertigen Wärmerückgewinnung die minimale Einströmtemperatur beim Ventil von 19°C erreicht wird.</p> <p>*Bei dezentralen Anlagen ist eine primärenergetisch an sich nicht erwünschte elektrische Nacherwärmung aus Kostengründen zugelassen</p>	a) Leistungsgeregelte Nacherwärmung auf max. 20°C	
	b) Wassergeführt: Vorlauftemperatur maximal 45°C	
	c) Wassergeführt: Energieeffiziente Pumpe Klasse „A“ nach Europump (z. B. Permanentmagnetmotorpumpe)	
	d) Wassergeführt: Kopplung der Pumpenlaufzeit an die Nachheizfunktion	
	e) Dezentral: Wenn elektrisch*: leistungsgeregeltes Heizregister mit einer max. Oberflächentemperatur von 55°C (z.B. PTC Heizregister)	e) Zentral: Keine elektrische Nacherwärmung
	f) Dezentral: Druckverlust max. 15 [Pa] Zielwert: max. 8 [Pa]	f) Zentral: Druckverlust max. 30 [Pa] Zielwert: 15 [Pa]

Grundsätzlich gelten auch hier im Wesentlichen auch die Punkte des Kriteriums 32 wobei hier nicht die Reduktion des Wärmerückgewinnungsgrades, sondern der Ersatz von Heizenergie durch Strom vermieden werden soll.

Qualitätskriterium 42 (E)	Anforderung
<b>Nachtlüftungsmöglichkeit</b>	Bei Raumtemperaturen über 24°C im Sommer und mindestens 3°C niedrigerer Außentemperatur soll die Anlage automatisch eine Nachtlüftung ohne Wärmerückgewinnung zur Raumkühlung durchführen können.

Für eine Nachtkühlung mit der Lüftungsanlage ist es notwendig, dass der Wärmetauscher des Geräts außer Funktion gesetzt werden kann, d.h. regelbarer Wärmetauscher (Rotation) oder Bypass (siehe Kriterium 38).

Qualitätskriterium 43 (E)	Anforderung
<b>Hygienisch einwandfreie Feuchterückgewinnung</b>	a) Feuchterückgewinnung mit rein dampfförmiger Feuchteübertragung (ohne Kondensat)
	b) Wenn eine Feuchterückgewinnung vorhanden ist sollte diese regelbar sein.

Um die Feuchteproblematik bei kalten Außentemperaturen zu entschärfen, wären Wärmetauscher mit hygienisch unbedenklicher und regelbarer Feuchterückgewinnung (ohne Kondensation) wünschenswert. Eine Feuchterückgewinnung mit Kondensatnutzung gilt als hygienisch bedenklich und sollte daher vermieden werden. Da nicht immer eine Feuchterückgewinnung erwünscht ist (Übergangszeit–Sommer), sollte diese wie die Wärmerückgewinnung regelbar sein. Regelbare Wärmerückgewinnung und Feuchterückgewinnung können insbesondere von Rotationswärmetauschern sehr gut erfüllt werden.

Qualitätskriterium 44 (E)	Anforderung
<p>Keine bzw. hygienisch einwandfreie aktive Befeuchtung</p> <p>Hinweis: Grundsätzlich sollte durch eine bedarfsoptimierte Luftmengenregelung und eine Feuchterückgewinnung keine aktive Befeuchtung notwendig sein.</p>	<p>a) Nachweis, dass aktive Befeuchtung unbedingt notwendig ist und sich nicht durch andere Maßnahmen vermeiden lässt.</p>
	<p>b) Falls nachweislich notwendig: Hygienisch einwandfreie aktive Befeuchtung nach ÖNORM H 6021 bzw. VDI 6022</p>
	<p>c) Nachweisliche Sicherstellung der regelmäßigen Hygienekontrollen nach VDI 6022 Checkliste</p>

Grundsätzlich sollte durch eine bedarfsoptimierte Luftmengenregelung und eine Feuchterückgewinnung keine aktive Befeuchtung notwendig sein. Eine aktive Befeuchtung sollte für den Schulbereich nur in Ausnahmefällen umgesetzt werden. Lässt sich eine aktive Befeuchtung nicht vermeiden, sind die hygienischen Kriterien der ÖNORM H 6021:2003 bzw. VDI 6022:2006 zu beachten. Anlagen mit Befeuchtung bedürfen bei Pflege und Wartung besondere Aufmerksamkeit. Die Checkliste der VDI 6022:2006 ist diesbezüglich eine wertvolle Hilfe.

## 4. Qualitätskriterien für das Verteilnetz (Luftleitungen)

Voraussetzung (V5)	Anforderung
Wahl eines geeigneten Verteilkonzeptes (Sternverrohrung oder Verrohrung mit Abzweigern) unter Beachtung der landesspezifischen Brandschutzbestimmungen bzw. der ÖNORM M 7624 sowie geeignete Lufteinbringung (Quell- oder Induktionslüftung)	a) Dem Gebäude angepasstes Verteilkonzept. (Siehe auch Information zur Luftverteilung)
	b) Bei Durchdringungen von Brandabschnitten durch die Luftleitungen ist auf den Erhalt der Brandabschnitte zu achten.
	c) Den Raumverhältnissen bzw. sonstigen Anforderungen angepasstes Lüftungsprinzip mit hoher Lüftungseffektivität (Bevorzugt Quellluftsystem).

Die Wahl eines geeigneten Verteilkonzeptes, abhängig von den Raum- bzw. Gesamtverhältnissen, stellt ein umfassendes und spezifisches Wissen des Anlagenplaners voraus. Eine generelle Vorgabe ist nicht möglich. Grundsätzlich ist aufgrund der höheren Lüftungseffektivität ein Quellluftsystem anzustreben.

Die brandschutztechnischen Aspekte der ÖNORM M 7624:1985 und die landesspezifischen Brandschutzbestimmungen, bzw. OIB Richtlinie 2 (April 2007) sind zu beachten.

Qualitätskriterium 45 (M)	Anforderung	
Geringer Druckabfall im Luftleitungsnetz	Dezentral: Max. 100 [Pa] je kompletter Zuluftseinheit (Außenluft-Zuluft) Zielwert: 50 [Pa]	Zentral: Max. 200 [Pa] je kompletter Zuluftseinheit (Außenluft-Zuluft) Zielwert: 100 [Pa]
	Dezentral: Max. 50 [Pa] je kompletter Ablufteinheit (Abluft-Fortluft) Zielwert: 30 [Pa]	Zentral: Max. 100 [Pa] je kompletter Ablufteinheit (Abluft-Fortluft) Zielwert: 60 [Pa]

Nur bei entsprechender Dimensionierung und Ausführung der Luftleitungen können die wichtigen Punkte – geräuscharmer Betrieb und geringer Strombedarf – erreicht werden. Wesentlicher Punkt ist dabei ein geringer Druckverlust im Gesamtsystem, da ein hoher Druckverlust für zusätzliche Geräusche bzw. für eine höhere Ventilatorleistungen verantwortlich ist. Die bedeutet meist aber höhere Investitionskosten und einen höheren Platzbedarf.

Bei der Dimensionierung ist der Strang mit dem höchsten Druckverlust ausschlaggebend, da die anderen Stränge entsprechend gedrosselt werden müssen. D.h. auch auf ausgewogene Druckverluste in den einzelnen Strängen ist zu achten. Beispielsweise Aufteilung des Druckverlustes einer Außenluft-Zuluftseinheit.

Tabelle: Beispielweise Aufteilung des Druckverlustes der Außenluft-Zuluftseinheit.

Bauteil	Druckverlust [Pa]
Außenluftansaugung	20
EWT	20
Schalldämpfer	10
Luftleitungssystem	80
Lufteinlass bzw. Auslass	20
Summe	150

Qualitätskriterium 46 (M)	Anforderung
Geeignete Rohr- bzw. Kanalausführung	a) Runde Luftleitungen bevorzugen
	b) Innen glatt (Wickelfalzrohr, Kunststoffrohre, ...) (keine Verwendung nicht reinigbarer Schläuche mit hohem Druckverlust, z.B. Aluflexrohre, Kunststoffdrahtschlauch)
	b) Die Luftleitungen müssen dem Brandverhalten „A2“ gemäß EN 13501-1 entsprechen.

Neben der Luftgeschwindigkeit ist die Rohr- bzw. Kanalausführung der wesentliche Parametereinfluss für den Druckverlust. Glatte Rohre bieten einen deutlich geringeren Druckverlust als flexible Schläuche.

Zum Vergleich: Ein flexibler Schlauch mit 250 mm Durchmesser und bei 500 m<sup>3</sup>/h Luftdurchsatz (3 m/s) hat einen spezifischen Druckverlust von 0,8 Pa/m. Beim starren glattwandigen Rohr ergibt sich unter den gleichen Bedingungen ein Druckverlust von 0,5 Pa/m. Dies bedeutet eine Minderung von über 35%. Zudem ist die Reinigungsmöglichkeit von nicht glatten Luftleitungen äußerst problematisch. Lt. Vorschlag ÖNORM H 6039: Stand 9.1.2008 ist die Verwendung von flexiblen Luftleitungen zu vermeiden und nur für Anschlüsse an Luftdurchlässe bis zu 500 mm gestreckter Länge zulässig. Rohre mit Innendämmungen sind nicht zulässig.

Qualitätskriterium 47 (M)	Anforderung
Dichte Rohr- bzw. Kanalausführung	Dezentral: keine Anforderung
	a) Dichtigkeitsklasse C nach ÖNORM EN 12237 durch Rohre bzw. Kanäle mit Dichtungssystem bzw. Verklebung der Verbindungsstellen mit dauerelastischen Klebebändern (z.B. Kaltschrumpfband – Butylkautschukband, Acrylatklebeband, spezielle Aluklebebänder). Zielwert: Dichtigkeitsklasse D  b) Bei Zu- und Abluftleitungen in einem gemeinsamen Schacht, müssen bei Wickelfalzrohren Systeme mit Dichtschnur eingesetzt werden.

Um die von dem Lüftungsgerät geförderte Luftmenge tatsächlich zu den Luftauslässen bzw. in die Räume zu bringen, muss das Rohr bzw. Kanalnetz möglichst dicht sein. Undichte Luftleitungen wirken sich äußerst negativ auf die Gesamteffizienz aus, da die Undichtigkeiten durch höhere Gesamtluftmengen der Lüftungsanlage ausgeglichen werden müssen. Die EN 13779:2008 gibt als allgemeine Mindestanforderung die Klasse B an und empfiehlt bei hohen Anforderungen an Hygiene und Energieeffizienz die Klasse D. Im Vorschlag ÖNORM 6039: Stand 9.1.2008 ist die Klasse B enthalten und C als Empfehlung enthalten. Die Ausführung des Rohrsystems sollte für eine hohe Gesamteffizienz daher mindestens eine Dichtheit der Dichtheitsklasse C nach ÖNORM EN 12237:2003 Festigkeit und Dichtheit von Luftleitungen mit rundem Querschnitt aus Blech aufweisen. In der folgenden Tabelle sind die Dichtheitsklassen angegeben.

Tabelle **Fehler! Kein Text mit angegebener Formatvorlage im Dokument..**1: Klassifizierung von Luftleitungen nach ÖNORM EN 12237:2003

Luftdichtheitsklasse	Grenzwert des statischen Drucks [p <sub>s</sub> ] [Pa]		Grenzwert der Luftleckrate (f <sub>max</sub> ) [m <sup>3</sup> *s <sup>-1</sup> *m <sup>-2</sup> ]
	positiv	negativ	
A	500	500	0,027*p <sup>0,65</sup> *10 <sup>-3</sup>
B	1000	750	0,009*p <sup>0,65</sup> *10 <sup>-3</sup>
C	2000	750	0,003*p <sup>0,65</sup> *10 <sup>-3</sup>
D	2000	750	0,001*p <sup>0,65</sup> *10 <sup>-3</sup>

Um die Dichtheit des Rohrsystems auch längerfristig garantieren zu können, sind Rohre/Kanäle mit Dichtungssystem oder dauerelastische Dichtbänder zu verwenden. Bei Wickelfalzrohren, die im Wickelfalz an sich nicht dicht sind, ist, insbesondere bei einer gleichzeitigen Verlegung von Zu- und Abluft in einem gemeinsamen Schacht, die Variante mit Dichtschnur im Falz empfehlenswert, um keinen Luftkurzschluss zur Abluft zu bekommen.

Qualitätskriterium 48 (M)	Anforderung
Einfache Reinigung der Rohrleitungen bzw. Kanäle möglich	a) Reinigungsfreundliche Ausführung der gesamten Luftleitung mit ausreichender Anzahl und Zugänglichkeit der Reinigungsöffnungen gemäß EN 12097
	b) Reinigungsöffnungen gemäß ENV 12097
	c) Max. zwei 90° Bögen bis zur Reinigungsöffnung
	d) Austauschbare Schalldämpfer (z.B. nicht einbetoniert)
	e) Kein Einziehen anderer Leitungen (Elektro, Heizung, ...) in die Luftleitungen

Auch wenn geeignete Filter die Anlage vor Verschmutzung schützen sollten, ist damit zu rechnen, dass ein Lüftungsnetz trotzdem in gewissen Abständen gereinigt werden muss. Das Luftleitungssystem muss daher nach ÖNORM ENV 12097:2006 „Lüftung von Gebäuden – Luftleitungen – Anforderungen an Luftleitungsbauteile zur Wartung von Luftleitungssystemen“ so ausgelegt, hergestellt und eingebaut sein, dass eine Reinigung sämtlicher Innenflächen und Bauteile möglich ist und die Zugangsdeckel der Luftleitungen müssen ohne Behinderung zugänglich sein.

Qualitätskriterium 49 (M)	Anforderung	
Geringe Schallausbreitung über das Kanalnetz	a) Dezentral: keine Anforderung	a) Zentral: Schalldämmung der Luftleitungen zwischen den Klassenräumen zumindest in der erforderlichen Zwischenwandqualität. (55 [dB(A)] nach ÖNORM B 8115-2)
	b) Trittschalldämmungen dürfen nicht durch Luftleitungen überbrückt bzw. geschwächt werden.	
	c) Das Schalldämmmaß der Außenhülle darf durch die Luftleitungen nicht merklich verschlechtert werden.	
	d) Zu- bzw. Abluftdurchlässe im Geräteaufstellungsraum bzw. in Räumen mit größeren Schallquellen sind mit entsprechenden Schalldämpfern auszurüsten.	

Die ÖNORM B 8115-2:2006 „Schallschutz und Raumakustik im Hochbau; Teil 2: Anforderung an den Schallschutz“ gibt den Luftschallschutz zwischen Klassenzimmer mit 55 dB ohne Tür und mit 38 dB mit Tür an. Die erforderliche Trittschalldämmung gibt die ÖNORM B 8115-2:2006 für Schulen und Kindergärten mit 48 dB an. Diese Schalldämmmaße sollen durch die Lüftungsanlage nicht geschwächt werden. Klassenräume, die mit Räumen mit höherer Schallbelastung (z.B. Werkräume) verbunden sind, erfordern je nach Leitungsführung meist zusätzliche Schalldämpfer.

Qualitätskriterium 50 (M)	Anforderung	
Keine Geräuschbildung durch Schwingungen (Vibrieren) der Lüftungsrohre bzw. keine Körperschallübertragung durch die Rohre	a) Schwingungsdämpfende Aufhängung bzw. Befestigung in regelmäßigen Abständen. Zumindest alle 2 Meter	b) Keinerlei direkte Verbindung zum Fußboden, Mauerwerk, Rohrleitungen, etc.

Wenn die Körperschalleitung möglichst klein gehalten werden muss, sind zur wirkungsvollen Verringerung der Schallübertragung nicht nur Anschlüsse von Ventilatoren an Luftleitungen, Gerätegehäuse u.a. über elastische Zwischenglieder (z.B. Segeltuchstutzen, Weichstoffkompensatoren) erforderlich (siehe Kriterium 34), sondern es müssen alle Befestigungen aller Anlagenteile sowie alle Wand und Deckendurchtritte körperschalldämmend ausgeführt werden (ÖNORM M 7645:1987). Um unangenehme Geräuschübertragungen zu vermeiden, sollten Lüftungsrohre zumindest alle 2 Meter mit einer schwingungsdämpfenden Aufhängung befestigt werden. Das Lüftungsrohr darf zudem keine direkte Verbindung zu Fußböden, Mauerwerk (insbesondere bei Durchbrüchen), Rohrleitungen etc. aufweisen, da sonst Körperschallübertragungen stattfinden können. Die Rohre sind mit dämpfenden bzw. elastischen Materialien (z.B. Schaumstoff) schalltechnisch zu entkoppeln.

Qualitätskriterium 51 (M)	Anforderung
<p>Vermeidung von Raumauskühlung und Kondensat auf (kalten) Außenluft- und Fortluftleitung im warmen Bereich (innerhalb der Dämmhülle, im Keller bzw. im geschlossenen Dachbereich)</p> <p>Achtung: gilt auch bei Decken- und Wanddurchbrüchen</p>	a) Möglichst kurze Außenluft- bzw. Fortluftleitungen im warmen Bereich
	b) Mindestens 30 mm feuchtegeeignete, geschlossenzellige Wärmedämmung (Lambda 0,04 W/mK) (z.B. Armaflex, Kaiflex, ...) im unbeheizten Bereich
	c) Mindestens 120 mm Wärmedämmung (Lambda 0,04 [W/mK]) in beheizten Bereichen. Wobei zumindest die inneren 30 mm aus einer feuchtebeständigen, geschlossenzelligen Wärmedämmung (z.B. Armaflex, Kaiflex, ...) bestehen muss.

Werden kalte Lüftungsrohre (Außenluftleitung bzw. Fortluftleitung) in warmen Bereichen geführt (z.B. im Keller), kommt es an der kalten Leitungsoberfläche zu Kondensationserscheinungen und Wärmeverlusten des warmen Raumes. Die Rohrleitungen sind daher mit einer entsprechend feuchtebeständigen Wärmedämmung (z.B. geschlossenzelliger Dämmstoff) zu versehen. Um Kosten zu sparen, kann die Dämmschicht geteilt werden, wobei zur Kondensatvermeidung zumindest die inneren 30 mm aus einer feuchtebeständigen, geschlossenzelligen Wärmedämmung (z.B. Armaflex, Kaiflex, ...) bestehen muss. Eine genaue Berechnung der Dämmstärke zur Kondensatfreiheit kann anhand der VDI 2087 errechnet werden. Die erhöhten Dämmstärken dienen dazu den Wärmeverlust des Raumes zu reduzieren (Die Außenluftleitung ist wie ein Bauteil – Wand, Decke – zu Außenluft zu betrachten). Ziel muss aber eine möglichst kurze Leitungsführung von kalten Rohren in warmen Bereichen sein.

Qualitätskriterium 52 (M)	Anforderung
<p>Geringe Energieverluste von warmen Luftleitungen (Zuluft und Abluft) im kalten Bereich (außerhalb der Dämmhülle)</p> <p>Achtung: gilt auch bei Decken- und Wanddurchbrüchen.</p>	a) Möglichst kurze Zu- bzw. Abluftleitungen im kalten Bereich
	b) Mindestens 60 mm Wärmedämmung (Lambda 0,04 W/mK) im unbeheizten Bereich (z.B. Keller)
	c) Befinden sich Luftleitungen im Boden- bzw. Deckenaufbau nicht völlig innerhalb des warmen Bereiches, sondern direkt in der Dämmebene, so ist die Luftleitung zumindest mit einer 30 mm dicken Dämmplatte von der Rohdecke zu trennen. (Lambda 0,04 [W/mK])
	d) Wird die Luftleitung außerhalb der Außenhülle (nur Sanierung) geführt, sollte diese zumindest 120 mm hinterlüftungsfrei überdämmt sein. (Lambda 0,04 [W/mK])

Werden warme Lüftungsrohre (Zuluft- bzw. Abluftleitungen) in kalten Bereichen geführt, kommt es zu einer Abkühlung der Zu- bzw. Abluft, und zu einer Verschlechterung des energetischen Wirkungsgrades. Als kalte Bereiche werden alle

Bereiche außerhalb der Dämmhülle angesehen. Zudem kann bei längeren Zuluftleitungen eine Auskühlung der Zuluft auf ein unbehagliches Niveau erfolgen, obwohl die Zuluft nach dem Lüftungsgerät ausreichend hohe Temperaturen hatte. Wird über die Lüftungsanlage auch noch Wärme eingebracht (Passivhauskonzept), wiegen diese Verluste natürlich noch stärker, und die Dämmstärke ist von 60 mm auf 120 mm zu erhöhen. Ziel muss aber eine möglichst kurze Leitungsführung von warmen Rohren in kalten Bereichen sein. Bei der Verlegung der Luftleitungen auf kalten Decken (z.B. von oben gedämmte Kellerdecke) ist eine thermische Entkopplung von der kalten Kellerdecke durch eine zumindest 30 mm dicke Dämmschicht unbedingt notwendig, um Wärmeverluste zu verringern. Grundsätzlich ist eine Rohrführung in oder außerhalb der äußeren Dämmebene bzw. im Freien zu vermeiden. Ist dies aber unbedingt notwendig (z.B. Sanierung), ist die Luftleitung mit 120 mm Dämmung zu versehen.

Qualitätskriterium 53 (M)	Anforderung
Keine zusätzliche Geräuschbildung beim Durchlass (Ventil) durch Verwirbelungen im Rohrsystem	Keine Abzweiger kurz vor bzw. nach dem Durchlass (Ventil). Abstand zum Durchlass zumindest 0,75 m. Ist dies nicht möglich, ist ein Anschlusskasten für den Durchlass zu verwenden.

Verwirbelungen vor bzw. nach dem Ventil bedeuten zusätzliche Geräusche (insbesondere bei Zuluft einlässen). Es sollte daher eine möglichst beruhigte, gleichmäßige Strömung auf den Durchlass (Ventil) treffen. Ideal wäre ein gerades Rohrstück ohne Abzweiger und Umlenkung. Umlenkungen vor dem Durchlass lassen sich jedoch nicht immer vermeiden. Abzweiger sind besonders geräuschintensiv, sie sollten zumindest einen Abstand von 0,75 m zum Durchlass haben. Ist dies nicht möglich, ist ein Anschlusskasten für den Durchlass (möglichst mit Lochblecheinsatz bzw. Prallblech) vorzusehen.

Qualitätskriterium 54 (M)	Anforderung
Geeignete Ein- und Auslässe (Zu- und Abluftventile) und geeignete Anbringung	a) Ein- und Auslässe für die entsprechende Luftverteilung (ausreichende Größe für die Luftmenge, Wurfweite, Wurfrichtung)
	b) Druckverlustausgleich durch Durchlässe nur bis zu 30 Pa bzw. bis zum maximalen Geräuschpegel nach Auslegungsdiagramm lt. Kriterium 4a–c. Größere Druckunterschiede sind durch Drosselklappen auszugleichen (mögl. weit entfernt v. Durchlass bzw. noch vor dem Schalldämpfer)
	c) Geeignete Durchlassanbringung für optimale Raumdurchströmung und minimale Schallbelastung (je nach Verteilkonzept)
	d) Durchlassabstand von Kanten und Ecken mind. 20 cm
	e) Einfache Fixierung der eingestellten Luftmenge
	f) Einfache Reinigung

Bei der Durchlassauswahl ist auf die entsprechende Funktion (Zu- oder Abluft), auf die Größe für die Luftmenge und beim Zuluftdurchlass zusätzlich auf die Wurfweite bzw. Wurfriechung zu achten. Die Wurfweiteänderungen bei sich ändernden Volumenströmen aus z.B. CO<sub>2</sub>-gesteuerter Raumregelung sind zu beachten. Werden zu große Druckverlustunterschiede der einzelnen Rohrleitungen durch die Durchlässe ausgeglichen, kommt es zu unerwünschten Geräuschen bei den stark gedrosselten Durchlässen. Ein Druckunterschied von über 30 Pa sollte daher in den einzelnen Rohrleitungen durch ein eigenes, möglichst weit entfernt vom Durchlass angebrachtes, Drosselorgan ausgeglichen werden.

Qualitätskriterium 55 (M)	Anforderung
Ausreichend große Überströmöffnungen bei Einhaltung der Schallanforderungen	a) Luftgeschwindigkeit max. 2 [m/s] bzw. max. 4 [Pa] Druckverlust
	b) Schalldämmmaß der Wand, Tür, ... muss auch mit der Überströmvorrichtung den Schallanforderungen entsprechen.

Den Überströmöffnungen wird vielfach zu wenig Beachtung geschenkt. Der Druckverlust zwischen den einzelnen Bereichen (Zuluftbereich – Überströmbereich – Abluftbereich) sollte jeweils maximal 4 Pa betragen. Dies lässt sich durch dementsprechende große Überströmöffnungen erreichen.

Qualitätskriterium 56 (E)	Anforderung
Richtige Anbringung der Überströmöffnungen	a) Quellluftsysteme: Überströmung von der Klasse in der Nähe der Decke
	b) Induktionssysteme: Je nach Wahl der Raumdurchströmung

Um eine möglichst saubere Raumdurchströmung zu erhalten, ist auch auf die Lage der Überströmöffnung in Bezug auf das gewählte Lüftungsprinzip (Quellluft oder Induktion) und die Lage der Zuluftöffnungen Rücksicht zu nehmen. Bei Quellluftsystemen sollte sich die Überströmöffnung möglichst auf der gegenüberliegenden Wandseite des Quellluftauslasses knapp unter der Decke befinden. Beim Induktionssystem hängt die Lage der Überströmöffnung von der Art des verwendeten Zuluftdurchlasses, aber auch von der Zulufttemperatur ab. Bei Weitwurfdüsen kann sich die Überströmöffnung prinzipiell auf der gleichen Seite wie das Ventil befinden. Werden Tellerventile oder induktionsarme Auslässe verwendet ist eine Anordnung der Überströmöffnungen auf der gegenüberliegenden Seite günstiger.

Qualitätskriterium 57 (E)	Anforderung																	
Geringe Luftgeschwindigkeit in den Luftleitungen (beim Betriebsluftvolumenstrom)	a) In den Strängen innerhalb der Klasse bzw. zu und von den einzelnen Räumen max. 2,5 [m/s]																	
	b) Sammelstränge max. 3,5 [m/s]																	
	Maximale Luftmengen bei ausgewählten Rohrdurchmessern:																	
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Rohr Durchmesser</th> <th>max. 3,5 [m/s]</th> <th>max. 2,5 [m/s]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>150 [mm]</td> <td>220 [m³/h]</td> <td>160 [m³/h]</td> </tr> <tr> <td>160 [mm]</td> <td>250 [m³/h]</td> <td>180 [m³/h]</td> </tr> <tr> <td>200 [mm]</td> <td>390 [m³/h]</td> <td>280 [m³/h]</td> </tr> <tr> <td>250 [mm]</td> <td>620 [m³/h]</td> <td>440 [m³/h]</td> </tr> <tr> <td>300 [mm]</td> <td>890 [m³/h]</td> <td>630 [m³/h]</td> </tr> </tbody> </table>	Rohr Durchmesser	max. 3,5 [m/s]	max. 2,5 [m/s]	150 [mm]	220 [m³/h]	160 [m³/h]	160 [mm]	250 [m³/h]	180 [m³/h]	200 [mm]	390 [m³/h]	280 [m³/h]	250 [mm]	620 [m³/h]	440 [m³/h]	300 [mm]	890 [m³/h]
Rohr Durchmesser	max. 3,5 [m/s]	max. 2,5 [m/s]																
150 [mm]	220 [m³/h]	160 [m³/h]																
160 [mm]	250 [m³/h]	180 [m³/h]																
200 [mm]	390 [m³/h]	280 [m³/h]																
250 [mm]	620 [m³/h]	440 [m³/h]																
300 [mm]	890 [m³/h]	630 [m³/h]																
	<p style="color: red;">Achtung: Dimensionierung von Rechteckquerschnitten über den hydraulischen Durchmesser und nicht über die Geschwindigkeit.</p>																	

Neben dem Geräusch des Lüftungsgerätes (Ventilator) sind meist Strömungsgeräusche in den Luftleitungen für Lärmbelastungen verantwortlich. Da die höhere Luftgeschwindigkeit durch den höheren Druckverlust auch eine höhere Geräteleistung bedeutet, wirkt sich eine zu hohe Luftgeschwindigkeit in doppelter Weise auf die Geräuschsituation aus. Einmal durch höhere Strömungsgeräusche und einmal durch das Ansteigen des Schallpegels beim Gerät. Zudem wirkt sich der Druckverlust nicht proportional, sondern mit der zweifachen Potenz der Luftgeschwindigkeit aus, d.h. eine doppelte Luftgeschwindigkeit bedeutet einen 4-fachen Druckverlust. Die Geschwindigkeit sollte daher in den Verteilsträngen 2,5 m/s und in den Sammelsträngen 3,5 m/s nicht übersteigen. Vor einzelnen Ventilen bzw. Auslässen ist eine noch geringere Geschwindigkeit (möglichst verwirbelungsfrei) wünschenswert, damit es zu keiner Geräuschbildung beim Ventil kommt. Bei nicht runden Querschnitten muss der Kanal auf den hydraulischen Durchmesser umgerechnet werden:  $d_h = 4xA/U$  ( $d_h$  = hydraulischer Durchmesser, A = Querschnittsfläche, U = Umfang).

Bei engen Platzverhältnissen können die Geschwindigkeiten in den Verteilsträngen und in den Sammelsträngen auf 4,5 m/s erhöht werden. In diesen Fällen ist jedoch eine Berechnung des zu erwarteten Schalldruckpegels (nach VDI 2081) zu erbringen.

Qualitätskriterium 58 (E)	Anforderung
Geringer Druckverlust durch Formteile	Verwendung strömungsgünstiger Formteile, z.B. „weite 90° Bögen“ oder 2 x 45° Bögen

Ein Bogen mit runden Ecken bedeutet einen Widerstandsbeiwert von 0,35 und ein Bogen mit scharfer Ecke bedeutet einen Widerstandsbeiwert von 1,20, was einem Faktor größer 3 entspricht. In der Kombination von hohen Geschwindigkeiten und hohen Widerstandsbeiwerten liegt das größte Manko in der Luftführung. Ein runder

Bogen ( $\zeta=0,35$ ) mit 1,5 m/s Luftgeschwindigkeit erzeugt einen Druckverlust von 0,5 Pa und ein eckiger Bogen ( $\zeta=1,2$ ) mit 3 m/s Luftgeschwindigkeit bedeutet einen Druckverlust von 6,5 Pa. D.h. der Druckverlust ist 13-mal so groß (vgl. Greml et. al., 2003).

Qualitätskriterium 59 (E)	Anforderung
Regeleinrichtungen mit geringem Mindestdruckverlust	Luftmengenregulierungen, insbesondere Konstantvolumenstromregler, mit geringem Mindestdruckverlust (insbesondere im kritischen Strang)

Insbesondere für den kritischen Strang sind auch die Mindestdruckverluste von Luftmengenregulierungen zu optimieren. In den übrigen Strängen muss ohnehin gedrosselt werden, sodass der Druckverlust normalerweise ohne Auswirkungen ist.

Qualitätskriterium 60 (E)	Anforderung
Konkrete Druckverlustberechnung bzw. Optimierung der Druckverluste	Berechnung der Druckverluste in den einzelnen Strängen. Optimierung des „kritischen“ Stranges bzw. Bestimmung der Voreinstellung der Durchlässe bzw. Drosseleinrichtungen.

Eine Berechnung der Druckverluste in den einzelnen Rohrbereichen gehört zu jeder Lüftungsanlage. Eine genaue Berechnung der Druckverluste mit einer Bestimmung der Voreinstellung der Durchlässe und Drosseleinrichtung erleichtert die hydraulische Einregulierung wesentlich. Die Optimierung des „kritischen Stranges“, d.h. des Stranges mit den größten Druckverlusten (abhängig von der Länge, der Anzahl der Umlenkungen und vom Volumenstrom), trägt wesentlich zum effizienten und geräuscharmen Betrieb bei.

Qualitätskriterium 61 (E)	Anforderung
Konkrete Berechnung der notwendigen Schalldämpfer	Berechnung der notwendigen Schalldämpfer (z.B. nach VDI 2081), bzw. Verwendung eines auf das Gerät abgestimmten Schalldämpfersystems

Bei den meisten raumluftechnischen Anlagen reicht die Dämpfung des erzeugten Schalldruckpegels nicht aus, um im Raum die geforderten Werte zu erreichen. Aus diesem Grund sind Schalldämpfer in einer Anlage zu verwenden.

Die Berechnung der notwendigen Schalldämpferanzahl bzw. Länge kann anhand der VDI 2081 oder mit Softwarepaketen erfolgen. Es ist auf die dort angeführten Randbedingungen besonders zu achten. Nach Möglichkeit sind frequenzmäßig speziell auf das Gerät abgestimmte Schalldämpfer, wie sie von Systemanbietern offeriert werden, zu empfehlen.

Zusammengestellt von:

TB DI Andreas Greml: [andreas.greml@andreasgreml.at](mailto:andreas.greml@andreasgreml.at) (früher FH Kufstein)

DI Roland Kapferer, Energie Tirol: [roland.kapferer@energie-tirol.at](mailto:roland.kapferer@energie-tirol.at)

Ing. Wolfgang Leitzinger, arsenal research: [wolfgang.leitzinger@arsenal.ac.at](mailto:wolfgang.leitzinger@arsenal.ac.at)

DI (FH) Arnold Gössler, AEE Intec [a.goessler@aee.at](mailto:a.goessler@aee.at)

Rückfragen bitte an DI Andreas Greml

Projekthomepage: [www.komfortlüftung.at](http://www.komfortlüftung.at) oder [www.xn--komfortlftung-3ob.at](http://www.xn--komfortlftung-3ob.at)

Kritik, Anregungen, ... bitte an:  [andreas.greml@andreasgreml.at](mailto:andreas.greml@andreasgreml.at)

Herausgegeben von:



Gefördert durch:



Die Qualitätskriterien wurden nach bestem Wissen und Gewissen entwickelt. Eine Haftung jeglicher Art kann jedoch nicht übernommen bzw. abgeleitet werden.