

Einzelraumlüftungsgeräte mit Wärmerückgewinnung

Zusammenfassung des Schlussberichts

Ausgearbeitet durch

H. Manz, EMPA

.....

Im Auftrag des

Bundesamtes für Energie

Januar 2001

Auftraggeber:

Forschungsprogramm Rationelle Energienutzung in Gebäuden
Bundesamtes für Energie

Auftragnehmer:

EMPA, Abt. Bauphysik, 8600 Dübendorf

Autoren:

Dr. Heinrich Manz, EMPA Dübendorf
Karl Baschnagel, EMPA Dübendorf
Dominique Helfenfinger, HTA Luzern
Heinrich Huber, HTA Luzern
Markus Studer, EMPA Dübendorf
Georg Stupp, EMPA Dübendorf

Begleitgruppe:

Robert Joss, Siegenia-Frank AG, Siegen (D)
Marcel Mussard, Masa-Therm SA, Boudevilliers (CH)
Martin Stettler, BFE, Bern
Mark Zimmermann, Programmleiter BFE, EMPA Dübendorf

2001

Diese Studie wurde im Rahmen des Forschungsprogrammes „Rationelle Energienutzung in Gebäuden“ des Bundesamtes für Energie erarbeitet. Für den Inhalt ist alleine der/die Studiennehmer/in verantwortlich.

Bundesamt für Energie BFE

Worbentalstrasse 32, CH-3063 Ittigen • Postadresse: CH-3003 Bern
Tel. 031 322 56 11, Fax 031 323 25 00 • office@bfe.admin.ch • www.admin.ch/bfe

Vertrieb: EMPA ZEN, 8600 Dübendorf (zen@empa.ch • www.empa.ch/ren)
ENET, 9320 Arbon (enet@temas.ch • www.energieforschung.ch)

Einzelraumlüftungsgeräte mit WRG

Zusammenfassung des Schlussberichts:

"State-of-the-Art" von Einzelraumlüftungsgeräten mit Wärmerückgewinnung
Januar, 2001

Mit dem Trend zu Niedrigenergiehäusern hat die mechanische Wohnungslüftung mit Wärmerückgewinnung in den letzten Jahren stark an Bedeutung gewonnen. Für die Sanierung von Wohnbauten gelten Einzelraumlüftungsgeräte als geeignet, da sie kein Kanalnetz benötigen und deshalb einfacher als zentrale Anlagen nachgerüstet werden können. In diesem Artikel werden einige Anforderungen diskutiert und Resultate von Messungen an zehn Geräten vorgestellt.

Einzelraumlüftungsgeräte werden meist auf der Innenseite einer Gebäudeaussenwand positioniert. Durch zwei kurze Rohrstücke, welche durch die dahinterliegende Aussenwand geführt werden, wird frische Luft angesaugt bzw. Luft ins Freie geblasen. In den Referenzen [1,2] werden die spezifischen Eigenschaften von Einzelraumlüftungsgeräten diskutiert.

Die hier vorgestellten Untersuchungen gliedern sich in die beiden Bereiche Lüftung / Energie sowie Akustik. Innerhalb dieser Bereiche wurden zehn Geräte (Tab. 1) von vier Herstellern – bei vier Geräten handelte es sich um Prototypen – bezüglich der folgenden Eigenschaften experimentell untersucht:

- Lüftung / Energie:
- Volumenstromstabilität
 - Lüftungswirkungsgrad
 - Heizleistungseinsparung
 - Elektrothermische Verstärkung
- Akustik:
- Luftschalldämmung
 - Eigengeräusche innen
 - Eigengeräusche aussen

In Voruntersuchungen wurde festgestellt, dass in den Geräten zum Teil wesentliche unerwünschte Wärme- und Luftströme auftreten. Ergänzend zu den Messungen, bzw. um diese überhaupt richtig interpretieren zu können, wurden deshalb lüftungstechnische und energetische Kennwerte hergeleitet, welche dieses nichtideale Verhalten berücksichtigen [3]. Die Druckrandbedingungen, welchen in Gebäudeaussenwände eingebaute Geräte unterworfen sind, wurden ebenfalls untersucht und ein entsprechender Gerätekenwert definiert [4].

In den folgenden Tabellen und Grafiken wird die Geräte-Nummerierung gemäss Tabelle 1 verwendet.

| Nummer des Gerätes | Herkunft | WRG | Bemerkung |
|--------------------|-------------|-----------------|-------------|
| 1 | Schweiz | Ja, rekuperativ | Prototyp |
| 2 | Schweiz | Ja, rekuperativ | Prototyp |
| 3 | Deutschland | Ja, rekuperativ | Seriengerät |
| 4 | Deutschland | Ja, rekuperativ | Seriengerät |
| 5 | Deutschland | Ja, rekuperativ | Seriengerät |
| 6 | Deutschland | Ja, rekuperativ | Prototyp |
| 7 | Deutschland | Ja, rekuperativ | Prototyp |
| 8 | Deutschland | Nein | Seriengerät |
| 9 | Schweiz | Ja, rekuperativ | Prototyp |
| 10 | Deutschland | Ja, regenerativ | Seriengerät |

Tabelle 1 Untersuchte Geräte.

Lüftungstechnische und energetische Eigenschaften

Volumenstromstabilität

Da Einzelraumlüftungsgeräte in Aussenwände integriert werden, kann unter Umständen die Qualität der Belüftung hinsichtlich Energie und Komfort durch thermisch und windinduzierte Druckdifferenzen zwischen Innen- und Aussenraum – und den daraus resultierenden veränderten Zu- und Abluftmassenströmen – beeinflusst werden. Zur Untersuchung dieses Einflusses [4] wurden Klimadaten für den Standort Zürich-SMA ausgewertet, welche [5] entnommen wurden.

Bild 1 zeigt Häufigkeitsverteilungen der Druckerhöhung bzw. -senkung infolge Windanströmung des Gebäudes, bezogen auf den statischen Druck in der ungestörten Strömung, in Abhängigkeit der Druckbeiwerte C_p . Aufgrund der Windanströmung sind starke lokale Unterschiede im Druck auf der Fassade zu erwarten. Für einen grossen Teil der Fassadenflächen sind die Druckbeiwerte üblicherweise nicht grösser als zirka 0.5 [6]. In Bild 1 fällt auf, dass während beinahe der Hälfte der Zeit Windstille herrscht.

Bild 2 zeigt die Summenhäufigkeit der thermisch induzierten Druckdifferenz über der Gebäudehülle in Abhängigkeit des Abstandes z (positiv oder negativ) von der neutralen Zone. Grosse Beträge von z können z.B. in Treppenhäusern entstehen. Bei eingeschossigen Bauten oder mehrgeschossigen Bauten mit dichten Geschosstrennungen sind kleine Beträge von z zu erwarten.

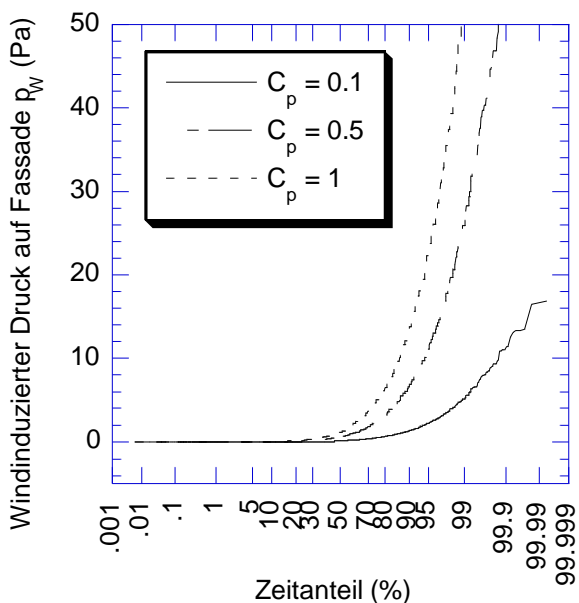


Bild 1 Summenhäufigkeit von windinduzierten Drücken auf einer Fassade in Abhängigkeit der Druckbeiwerte C_p (Standort Zürich-SMA).

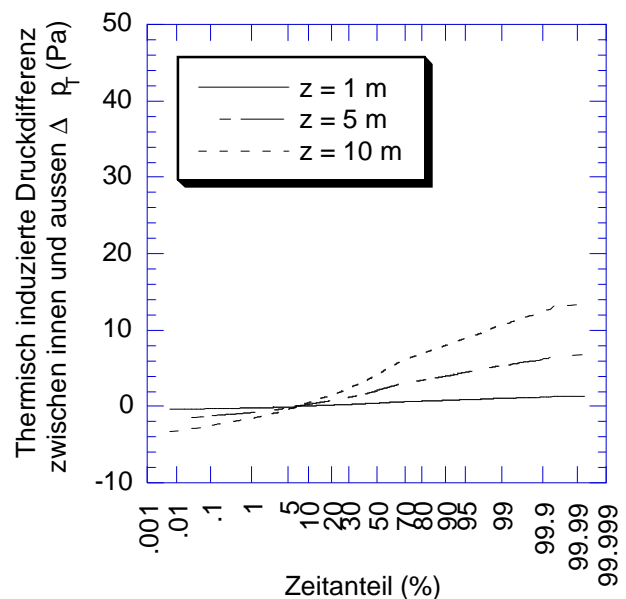


Bild 2 Summenhäufigkeit von thermisch induzierten Druckdifferenzen zwischen innen und aussen in Abhängigkeit des Abstandes von der neutralen Zone (Standort Zürich-SMA).

In der Realität werden sich oft windinduzierte und thermisch induzierte Druckdifferenzen überlagern. Welche Druckdifferenzen sich über der Gebäudehülle einstellen, wird sowohl vom Aussenklima, der Lufttemperatur im Gebäudeinnern, den aerodynamischen Eigenschaften der Gebäudehülle und der Nachbargebäude, als auch von den Strömungseigenschaften des Gebäudeinnern bestimmt.

Lüftungsgeräte sollten möglichst unabhängig von den Randbedingungen konstant einen bestimmten Luftvolumenstrom fördern. In Anlehnung an [7] kann eine Volumenstromkonstanz α , als Verhältnis zwischen dem Luftvolumenstrom bei einem bestimmten Differenzdruck Δp und dem Luftvolumenstrom bei $\Delta p = 0$, definiert werden:

$$\alpha_{\Delta p} = \frac{\dot{V}_{\Delta p}}{\dot{V}_0} \quad (1)$$

Gemäss [7] soll

$$0.85 \leq \alpha_{\Delta p} \leq 1.15 \quad (2)$$

gelten, wobei als anzunehmende Druckdifferenz 60 Pa angegeben wird. Dieser Wert bezieht sich auf zentrale Lüftungsanlagen und liegt für Einzelraumlüftungsgeräte wohl sehr hoch. Insbesondere bei windgeschützten Gebäuden mit geringer Höhe, scheint eine wesentlich kleinere Druckdifferenz ausreichend.

Bild 3 zeigt die relativen Aussenluft- und Fortluftvolumenströme in Abhängigkeit der Druckdifferenz über dem Gerät. Die jeweiligen Bezugsgrössen sind die Luftvolumenströme bei der Druckdifferenz $\Delta p = 0$. Die Werte in Bild 3 gelten nur für die angegebenen Luftvolumenströme. Mit zunehmendem Luftvolumenstrom nimmt die Volumenstromstabilität tendenziell zu und umgekehrt. Das Kriterium 2 wird von einigen Geräten schon bei kleinen Druckunterschieden nicht mehr erfüllt.

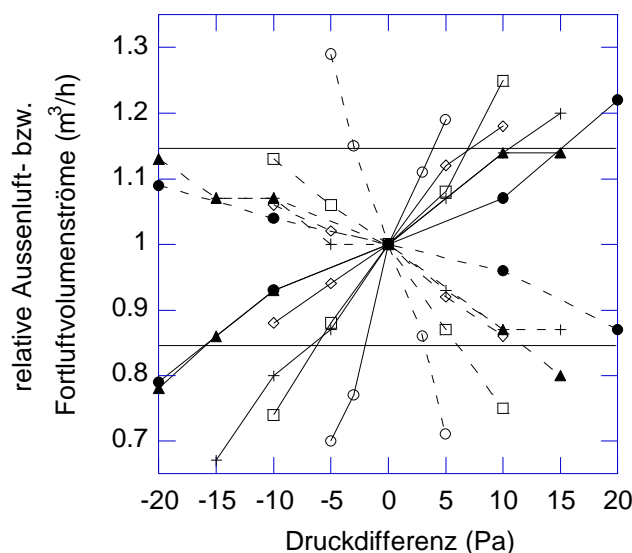
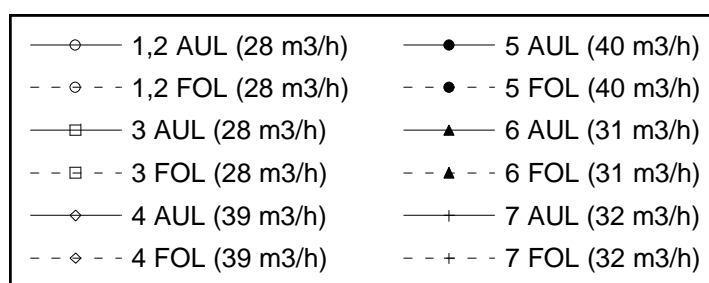


Bild 3 Relative Aussenluft- und Fortluftvolumenströme in Abhängigkeit der Druckdifferenz über dem Gerät. Ein Ueberdruck im Innenraum entspricht negativen Druckdifferenzen. In der Legende der Grafik bedeutet: Zahl = Nummer des Gerätes gemäss Tabelle 1, AUL = Aussenluft, FOL = Fortluft, in Klammer: mittlerer Luftvolumenstrom bei $\Delta p = 0$.

Lüftungswirkungsgrad, Heizleistungseinsparung und elektrothermische Verstärkung

In Anlehnung an Heidt et al. [8,9,10] zeigt Bild 4 schematisch die Belüftung eines Innenraumes mit einem Gerät, bei welchem unerwünschte Luftströme, d.h. Kurzschlüsse in der Strömung, auftreten. Hier wird zwischen einem externen (im Aussenraum) und zwei internen (im Gerät) Luftleckage-

strömen unterschieden. Der externe Leakagestrom \dot{m}_{ext} mischt im Aussenraum Fortluft in den Ausenluftstrom. Dieser externe Leakagestrom ist vor allem vom Abstand zwischen Aus- und Einlass abhängig. Der interne Leakagestrom $\dot{m}_{\text{int}1}$ mischt Zuluft in die Abluft und $\dot{m}_{\text{int}2}$ mischt Abluft in die Zuluft. Im Extremfall könnten diese Kurzschlussströme sogar dazu führen, dass die Belüftung völlig unwirksam wird und keine Frischluft mehr in den Innenraum gelangt. Interne Leakageströme können vor, in oder nach dem Wärmeübertrager entstehen. Die Richtungen und Beträge der Ströme sind von den lokalen Druckdifferenzen und den Leckeigenschaften abhängig. Die Druckverhältnisse im Gerät werden insbesondere durch die Positionierung der Ventilatoren bestimmt. Falls Zu- und Abluftstrom nicht gleich gross sind, so fliesst der Differenzmassenstrom \dot{m}_d durch Undichtigkeitsstellen in der Gebäudehülle.

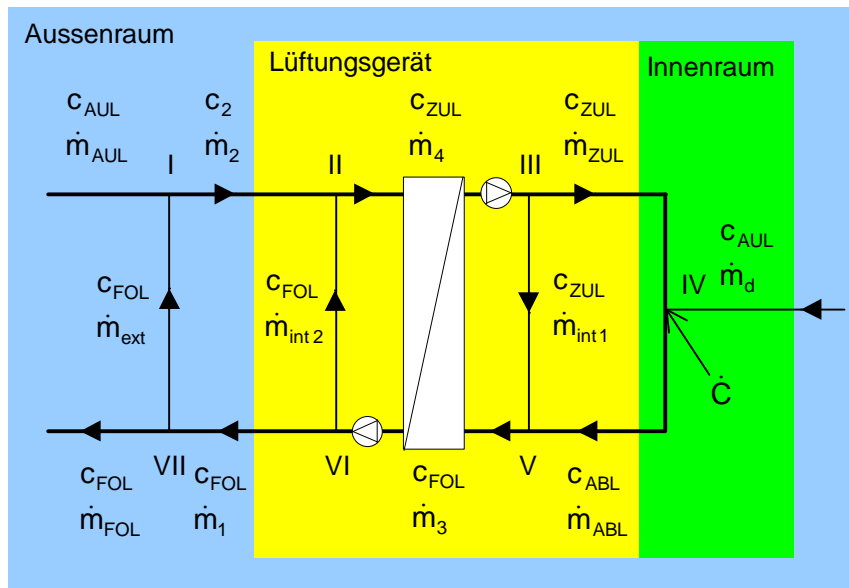


Bild 4 Haupt- und Leakage-Luftströme im System Innenraum-Lüftungsgerät-Aussenraum.

Mit Hilfe eines mathematisch-physikalischen Modelles konnten Beziehungen hergeleitet und Kennzahlen definiert werden [3], welche das Lüftungstechnische und energetische Verhalten des Gerätes, unter Berücksichtigung der internen und externen Leakageströme sowie des induzierten Luftstromes durch die Gebäudehülle, charakterisieren. Der Ansatz dieser Modellierung beruht darauf, unter Anwendung des Massenerhaltungssatzes, an den sieben Knoten in Bild 4, Bilanzgleichungen für Luft und Indikatorgas zu formulieren.

In einem Versuchsaufbau (Bild 5) wurde ein Indikatorgas mit der Rate \dot{C} in die Abluft injiziert, repräsentativ für Verunreinigungsquellen im Innenraum. Alle Indikatorgaskonzentration c_{AUL} , c_{ZUL} , c_{ABL} , c_{FOL} , c_2 , die Luftmassenströme \dot{m}_1 und \dot{m}_2 , die Lufttemperaturen T_{AUL} , T_{ZUL} , T_{ABL} , T_{FOL} und die elektrische Leistung P_{el} wurden gemessen. Die Massenströme \dot{m}_1 und \dot{m}_2 durchqueren die Gebäudehülle innerhalb von zwei Rohren. Diese beiden Massenströme konnten einfach gemessen werden und wurden als Bezugsmassenströme verwendet. Die Druckdifferenz zwischen innen und aussen war null im Experiment. Die Luftgeschwindigkeiten im Aussenraum waren klein – entsprechend einer windstillen Situation – als die Messdaten für die Auswertung erfasst wurden.

Die Tabelle 2 zeigt die mit Hilfe der Beziehungen, welche mit dem erwähnten Modell [3] gefunden wurden, berechneten Kennzahlen. Externe und interne Leckraten ε wurden als Verhältnis zwischen den Leakageströmen und den Hauptströmen an den jeweiligen Knoten definiert. Der Lüftungswirkungsgrad des Gerätes η_c ist ein gerätespezifisches Mass für die Wirksamkeit des Schadstoffab-

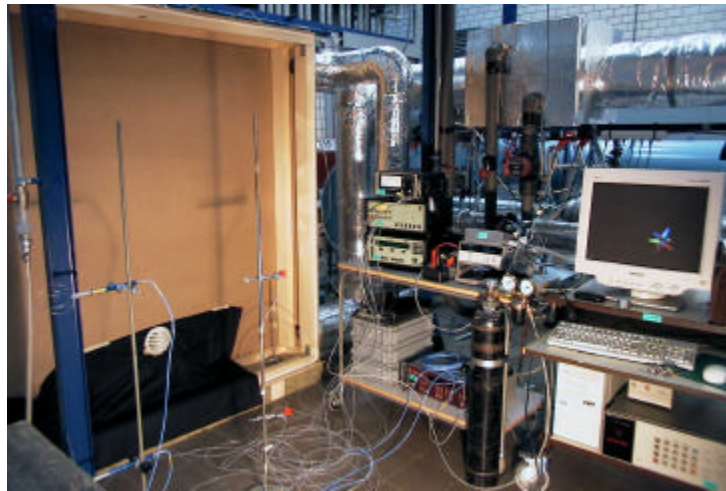


Bild 5 Versuchsaufbau an der HTA Luzern: Das Lüftungsgerät befindet sich hinter der Trennwand (links). Sichtbar sind nur das Aussenluft- / Fortluftgitter sowie Geräte für die Indikatorgasmessungen und die Datenerfassung.

transportes. Ein ideales Gerät würde Leckraten von null und einen Lüftungswirkungsgrad von eins aufweisen. Der auf die Zuluft bezogene Temperaturänderungsgrad $\eta_{T,ZUL}$ ist die gebräuchlichste Grösse, um den Wärmerückgewinnungseffekt zu beschreiben:

$$\eta_{T,ZUL} = \frac{T_{ZUL} - T_{AUL}}{T_{ABL} - T_{AUL}}$$

Der Temperaturänderungsgrad kann aber auch auf die Fortluft bezogen werden:

$$\eta_{T,FOL} = \frac{T_{ABL} - T_{FOL}}{T_{ABL} - T_{AUL}}$$

Die Gütegrade der Heizleistungseinsparung, η bzw. $\eta_{pe=0}$, beschreiben die für das Gebäude zu erwartende Heizleistungs- bzw. Heizenergieeinsparung, inklusive oder exklusive elektrischer Energie. Bei einem idealen Gerät ohne Luftleckagen und ohne Wärmeströme durch das Gehäuse würde $\eta_{T,ZUL} = \eta_{T,FOL} = \eta$ gelten. Die elektrothermische Verstärkung ETV ist das Verhältnis zwischen zurückgewonnener thermischer Energie und investierter elektrischer Energie zum Betrieb der Ventilatoren.

Die berechneten Kennzahlen zeigen (Tab. 2), dass zum Teil beträchtliche externe und interne Leakageströme in Einzelraumlüftungsgeräten auftreten können. Dementsprechend wird der Lüftungswirkungsgrad η_C reduziert. Der Unterschied zwischen dem zuluftbezogenen Temperaturänderungsgrad $\eta_{T,ZUL}$ und dem fortluftbezogenen Temperaturänderungsgrad $\eta_{T,FOL}$ wird durch Luftleckageströme und Wärmeströme durch das Gehäuse verursacht. Die Verwendung des zuluftbezogenen Temperaturänderungsgrades $\eta_{T,ZUL}$ zur Abschätzung der Heizleistungseinsparung η kann zu einer sehr deutlichen Ueberschätzung des Energieeinsparung führen (z.B. Faktor 2 bei Gerät Nr. 4). Wird der Luftmassenstrom \dot{m}_1 zur Abschätzung des Schadstoffabtransportes verwendet, so wird der letztere bei den untersuchten Geräten gemäss Tabelle 1 um 7% bis 26% überschätzt.

Lüftungsgeräte mit Wärmeübertrager können thermische Energie einsparen, sie benötigen aber elektrische Energie zum Betrieb der Ventilatoren. Je nach Produktionsart für 1 kWh elektrischer Energie, wird eine bestimmte, grössere Menge an Primärenergie benötigt. Oft wird dieser Gewichtungsfaktor zwischen elektrischer und thermischer Energie mit zirka 3 angenommen. Wird die elektrische Energie zum Betrieb der Ventilatoren dementsprechend gewichtet, so können in Lüftungsgeräten mit Wärmerückgewinnung im Extremfall sogar negative Primärenergieeinsparungen auftreten

[10,11]. Diese Geräte benötigen demnach mehr Primärenergie als sie einsparen. Geräte mit kleinen elektrothermischen Verstärkungen sind deshalb aus energetischer Sicht nicht empfehlenswert. ETV-Werte von ca. 10, wie bei Gerät Nr. 2, können jedoch als sehr gut bezeichnet werden.

| | <i>Nummer des Gerätes</i> | | | | | | | |
|--|---------------------------------------|-------------|------|------|-------------|-------------|-------------|--|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | |
| | <i>Volumenstrom (m³/h)</i> | | | | | | | |
| | 28 | 28 | 28 | 39 | 40 | 31 | 32 | |
| | <i>Elektrische Leistung (W)</i> | | | | | | | |
| | 14.1 | 8.4 | 18.5 | 12.1 | 25.2 | 18.7 | 18.6 | |
| Kennzahl | | | | | | | | |
| externe Leckrate ϵ_{ext} (-) | ≈ 0 | ≈ 0 | 0.10 | 0.10 | ≈ 0 | ≈ 0 | ≈ 0 | |
| interne Leckrate 1 ϵ_{int1} (-) | 0.10 | 0.05 | 0.20 | 0.16 | 0.06 | 0.25 | 0.27 | |
| interne Leckrate 2 ϵ_{int2} (-) | 0.11 | 0.17 | 0.30 | 0.29 | 0.05 | 0.15 | 0.17 | |
| Lüftungswirkungsgrad des Gerätes η_{C} (-) | 0.89 | 0.82 | 0.77 | 0.80 | 0.93 | 0.74 | 0.75 | |
| Zuluftbezogener Temperaturänderungsgrad $\eta_{\text{T,ZUL}}$ (-) | 0.74 | 0.71 | 0.67 | 0.55 | 0.60 | 0.81 | 0.83 | |
| Fortluftbezogener Temperaturänderungsgrad $\eta_{\text{T,FOL}}$ (-) | 0.48 | 0.60 | 0.35 | 0.29 | 0.35 | 0.69 | 0.72 | |
| Gütegrad der Heizleistungseinsparung inklusive Ventilatorabwärme η (-) | 0.50 | 0.59 | 0.36 | 0.27 | 0.42 | 0.73 | 0.77 | |
| Gütegrad der Heizleistungseinsparung exklusive Ventilatorabwärme $\eta_{\text{Pel=0}}$ (-) | 0.42 | 0.53 | 0.22 | 0.20 | 0.32 | 0.59 | 0.63 | |
| elektrothermischer Verstärkungsfaktor ETV (-) | 5.7 | 9.7 | 2.7 | 4.1 | 4.1 | 5.0 | 5.6 | |

Tabelle 2 Kennzahlen der Lüftungsgeräte bei den Randbedingungen: $q_{\text{AUL}} = 4^{\circ}\text{C}$, $q_{\text{ABL}} = 21^{\circ}\text{C}$, $j_{\text{ABL}} = 46\%$.

Akustische Eigenschaften

Luftschalldämmung

Durch den Einbau eines Lüftungsgerätes in eine Aussenwand wird die Luftschalldämmung der Wand meist reduziert. Damit der Schutz vor Aussenlärm den Anforderungen gemäss [13] genügt, muss für eine bestimmte Einbausituation und ein bestimmtes Gerät abgeklärt werden, welche Standardschallpegeldifferenz $D_{\text{nT,w}}$ erreicht werden kann. In Anlehnung an [13], wird diese Betrachtung in [14] für das diffuse Schallfeld im Raum durchgeführt. Unmittelbar vor dem Gerät ist der Luftschallschutz geringer. Die relevanten Parameter des Lüftungsgerätes sind dabei insbesondere das bewertete Schalldämmmass R_{w} und die Oeffnungsfläche in der Wand für das Gerät S_{L} . Um den Schutz bezüglich Lärmquellen mit einem bestimmten, charakteristischen Frequenzspektrum zu quantifizieren, werden sogenannte Spektrums-Anpassungswerte verwendet. Für Strassenlärm mit hohem Lastwagenanteil oder Fluglärm wird dieser Spektrums-Anpassungswert mit C_{tr} bezeichnet.

Im Experiment wurden die Einzelraumlüftungsgeräte in die Wand zwischen zwei Räumen eines Prüfstandes für Luftschalldämmmessungen der Abteilung Akustik der EMPA Dübendorf eingebaut. Im Senderraum wurde mit einem bewegten Lautsprecher ein Breitbandrauschen erzeugt und im Empfangsraum mit Hilfe eines Drehmikrofons ein mittlerer Schallpegel bestimmt. Aus diesen Messungen konnten die frequenzabhängigen Schalldämmmasse R_{w} (f), die spektral bewerteten Schalldämmmasse R_{w} und die Spektrums-Anpassungswerte C und C_{tr} bestimmt werden. Die Messungen und Auswertungen wurden gemäss [15, 16] durchgeführt. Bild 6 zeigt für ein Lüftungsgerät den in Terzbändern gemessenen Verlauf von R_{w} (f) im Frequenzbereich zwischen 100 Hz und 5000 Hz.

Bild 7 zeigt die Resultate der Messungen an neun Geräten. Die bewertete Normschallpegeldifferenz $D_{\text{n,w}}$ berücksichtigt sowohl das Schalldämmmass R_{w} als auch die Oeffnungsfläche in der Wand S_{L} und ist ein Mass für die Luftschalldämmung eines Gerätes. Die Geräte 5 und 6 werden nicht vor eine Aussenwand montiert, sondern in diese integriert, und erfordern dementsprechend eine grössere Oeffnungsfläche. Da die bewerteten Schalldämmmasse dieser beiden Geräte wesentlich höher liegen als die der anderen Geräte, ergeben sich trotzdem sogar die beiden höchsten ermittelten Normschallpegeldifferenzen $D_{\text{n,w}}$.

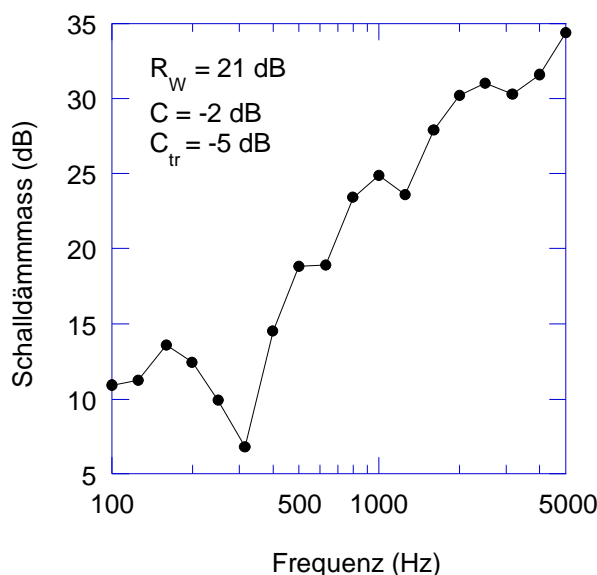


Bild 6 Beispiel für ein gemessenes, frequenzabhängiges Schalldämmmass (Gerät Nr. 4) und Bewertung (bewertetes Schalldämmmass R_w sowie Spektrums-Anpassungswerte C und C_{tr}).

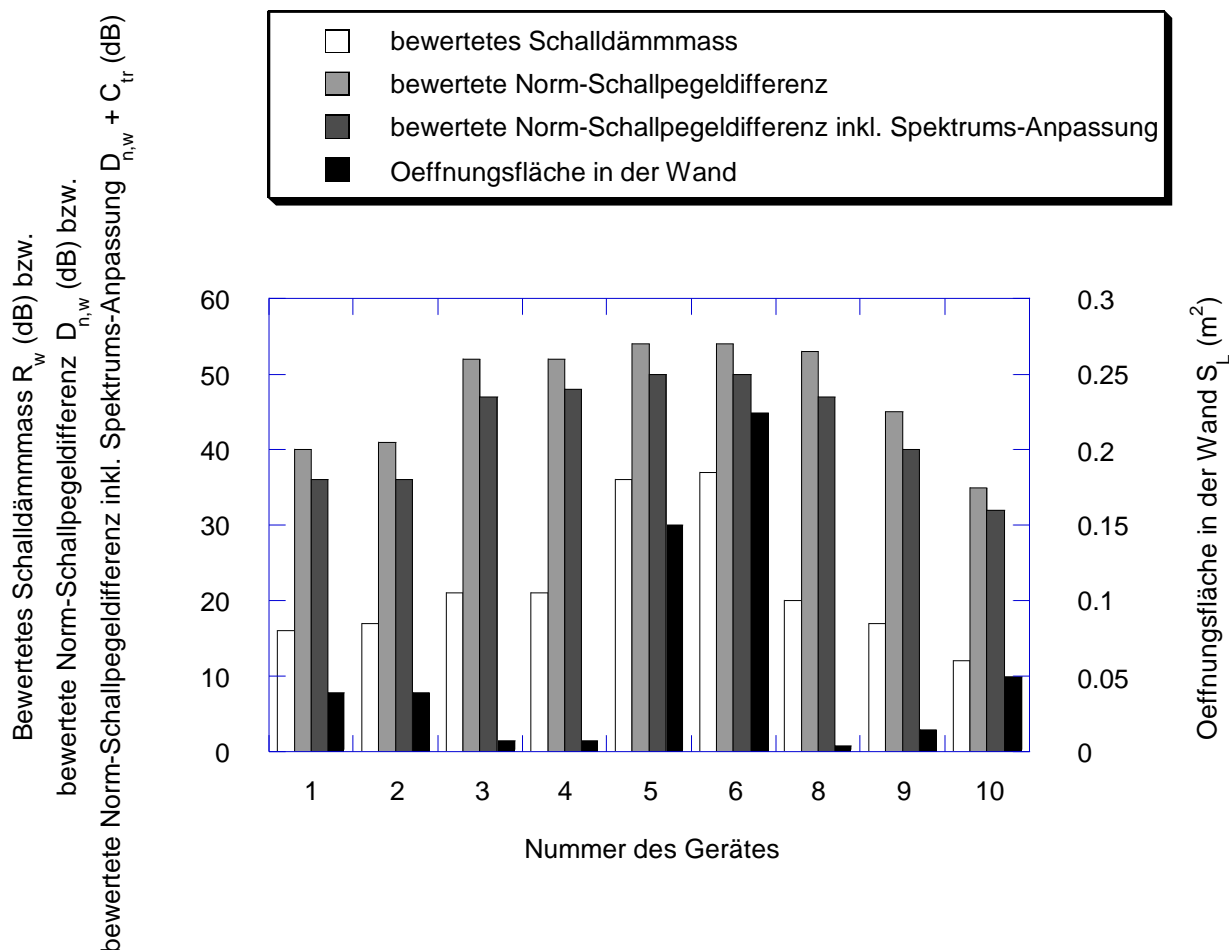


Bild 7 Bewertetes Schalldämmmass R_w , bewertete Norm-Schallpegeldifferenz $D_{n,w}$, bewertete Norm-Schallpegeldifferenz inkl. Spektrums-Anpassung $D_{n,w} + C_{tr}$ und Oeffnungsfläche in der Wand S_L der Geräte 1 bis 6 sowie 8 bis 10. Die Angaben beziehen sich auf den winterlichen Lüftungsbetrieb.

Werden die Einzelraumlüftungsgeräte zum Beispiel in die Aussenwand eines Schlaf- oder Büroraumes mit dem Raumvolumen $V = 30 \text{ m}^3$, der Nachhallzeit $T = 0.5 \text{ s}$, der Fassadenfläche $S_{\text{res}} = 7 \text{ m}^2$

und bewerteten Schalldämmmassen der Wand von $R = 30 \text{ dB} / 40 \text{ dB} / 50 \text{ dB}$ eingebaut, so können Standard-Schallpegeldifferenzen $D_{nT,w}$ gemäss Bild 8 erwartet werden. In grösseren Räumen können tendenziell höhere Standard-Schallpegeldifferenzen erreicht werden. Bild 8 zeigt ebenfalls, bei welchem Aussenlärmpegel welche Anforderungen an die Standard-Schallpegeldifferenz gemäss [13] gelten. Der Einsatz der Geräte 3 bis 6 und 8 ist, unter der Voraussetzung, dass die bereits bestehende Wand ein nicht zu geringes Schalldämmmass aufweist, auch bei stärkerer Aussenlärmbelastung möglich.

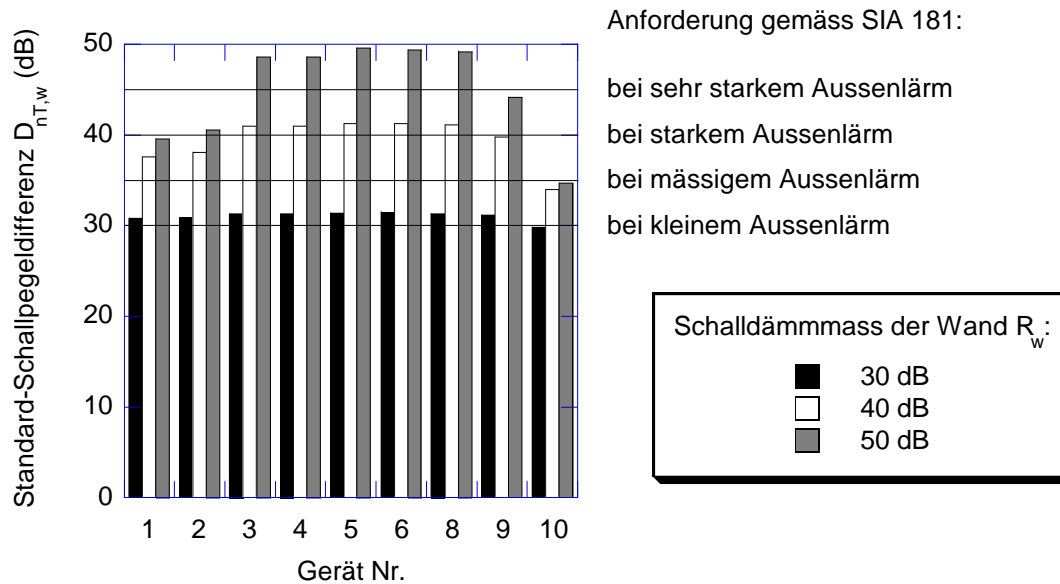


Bild 8 Für die verschiedenen Geräte berechnete Standard-Schallpegeldifferenzen $D_{nT,w}$ bei einem Raum mit den Parametern $V = 30 \text{ m}^3$, $S_{res} = 7 \text{ m}^2$ und $T = 0.5 \text{ s}$. Angegeben ist auch der Bereich der erforderlichen Standard-Schallpegeldifferenzen nach SIA 181 [13] bei mittlerer Lärmempfindlichkeit und kleiner bis sehr starker Störung durch Aussenlärm.

Eigengeräusche

Sowohl im Aussen- als auch im Innenraum sollen Einzelraumlüftungsgeräte keine unzulässigen Schallpegel verursachen. Die Anforderungen sind in der Schweiz bezüglich Aussenlärm in [17] und

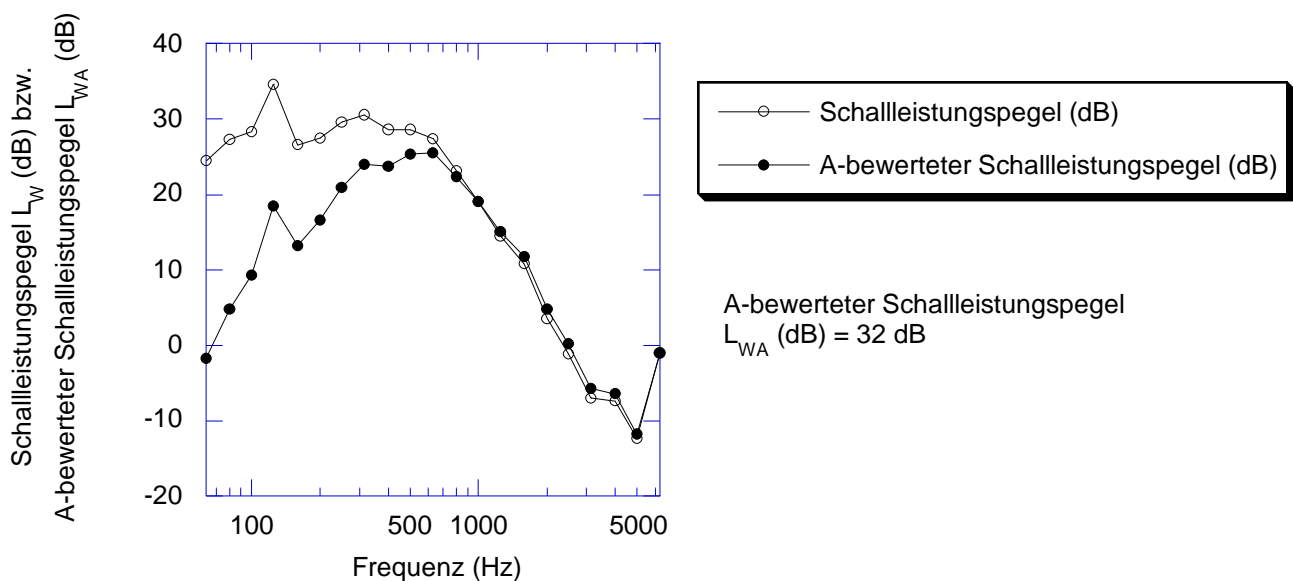


Bild 9 Beispiel für ein gemessenes und A-bewertetes Spektrum des Schalleistungspegels innen (Gerät Nr. 4, Luftvolumenstrom $25 \text{ m}^3/\text{h}$).

bezüglich Innenlärm in [13] festgelegt. In der Regel sind die Anforderungen im Innenraum wesentlich kritischer als im Aussenraum.

Frequenzabhängige Schalleistungspegel für die Innen- und die Aussenseite wurden gemäss [18] experimentell ermittelt. Bild 9 zeigt beispielhaft für ein Gerät den frequenzabhängigen Schalleistungspegel innen inklusive der Bewertung mit einem A-Filter.

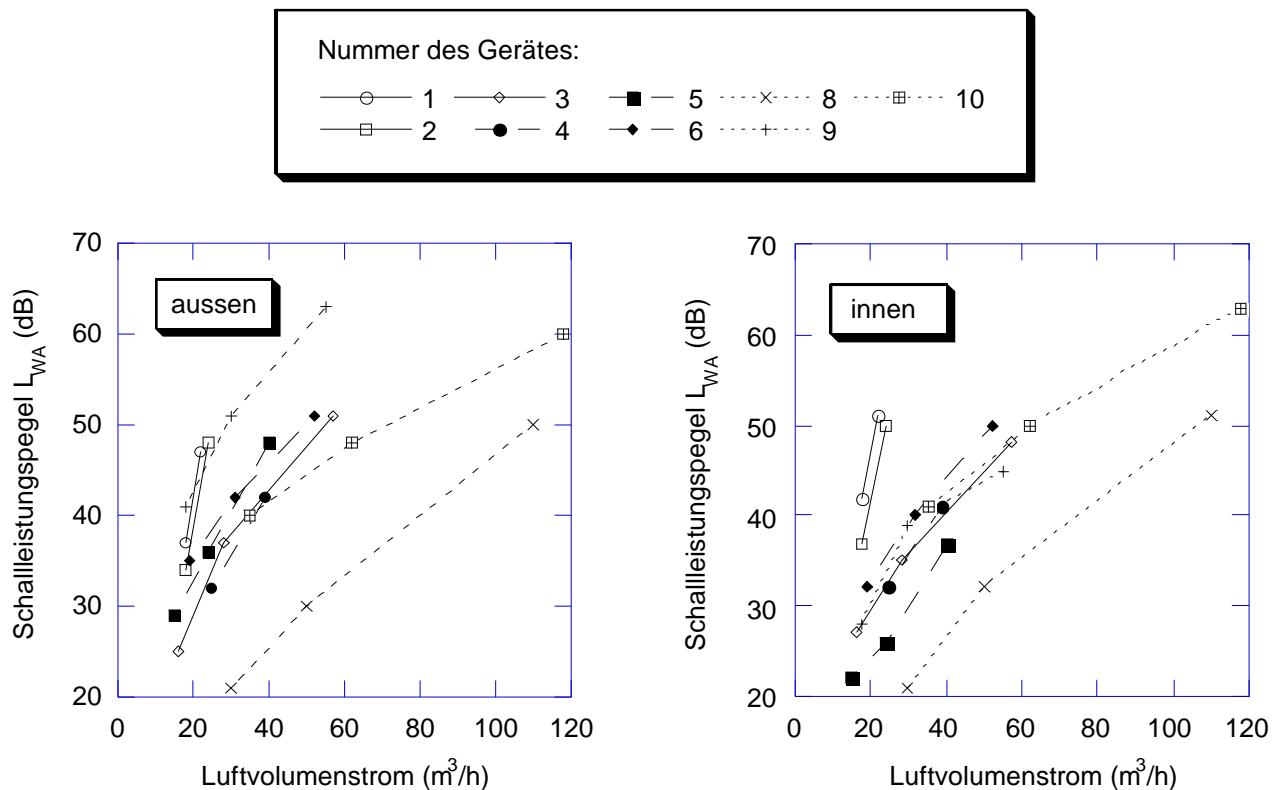


Bild 10 Bewertete Schalleistungspegel innen und aussen. Gerät Nr. 8 besitzt nur einen Ventilator (nur Zuluft, keine WRG).

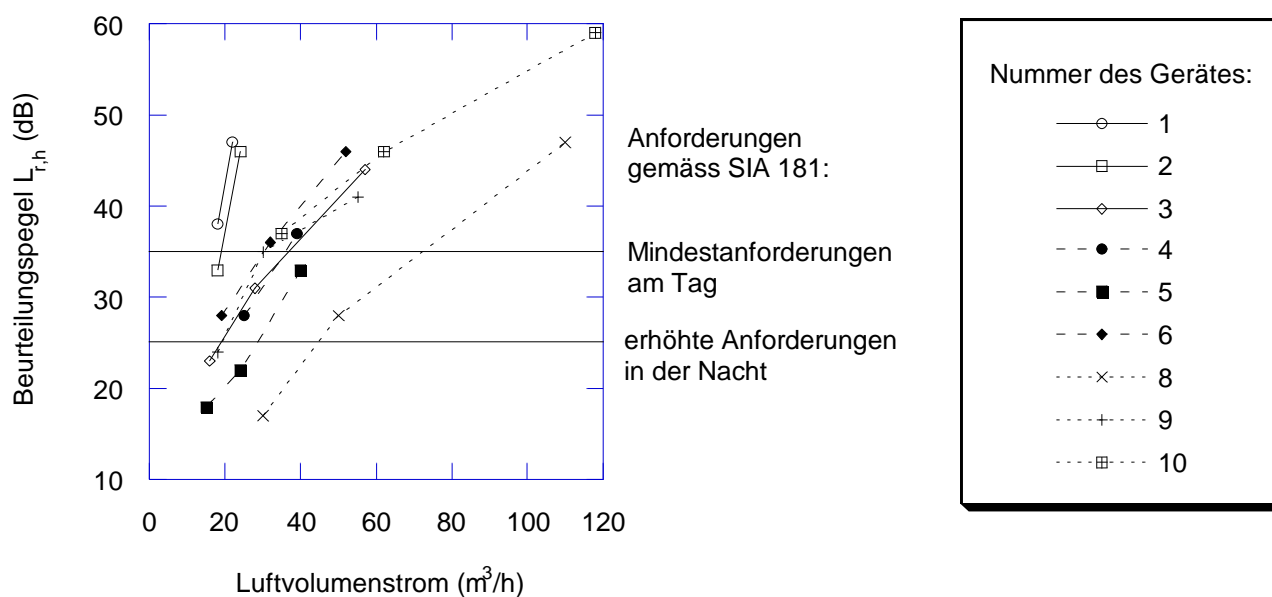


Bild 11 Für einen Raum mit den Parametern $V = 30 m^3$ und $T = 0.5 s$ berechneter Beurteilungspegel in Funktion des Luftvolumenstromes und Anforderungen gemäss SIA 181 [13].

Bild 10 zeigt die A-bewerteten Schalleistungspegel innen und aussen der verschiedenen Geräte in Funktion des Luftvolumenstromes. Bei einem bestimmten Luftvolumen bestehen grosse Unterschiede in den durch die Geräte erzeugten Schallpegel.

Aus den A-bewerteten Schalleistungspegeln gemäss Bild 10 können nun für eine bestimmte Einbausituation die zu erwartende Beurteilungspegel berechnet werden. Für einen Raum mit dem Volumen $V = 30 \text{ m}^3$ und der Nachhallzeit $T = 0.5 \text{ s}$ zeigt Bild 11, inwieweit die untersuchten Geräte die Anforderungen gemäss [13] bei dieser Einbausituation erfüllen. Insbesondere die Geräte 5 und 8 vermögen auch erhöhten Ansprüchen bezüglich Innengeräuschen zu genügen. In grösseren Räumen entstehen tendenziell tiefere Beurteilungspegel, das heisst, der Einsatz der Geräte ist unkritischer.

Schlussbemerkungen

Zehn Einzelraumlüftungsgeräte wurden bezüglich mehreren lüftungstechnischen, energetischen und akustischen Kriterien untersucht. Zur Analyse des lüftungstechnischen und energetischen Verhaltens wurde eine eigene Methode entwickelt, mit Hilfe derer auch der Einfluss von Leckageströmen bei der Ermittlung der Gerätekennwerte berücksichtigt wird. Nur so ist eine korrekte Bewertung von Geräten möglich, welche wesentliche unerwünschte Luft- und Wärmeströme aufweisen. Diese Methode wurde bei der Auswertung der Messdaten angewandt.

Aus den Arbeiten folgt, dass die folgenden Eigenschaften von Einzelraumlüftungsgeräten besonders kritisch sind: Eigengeräusche im Innenraum, Luftvolumenstromstabilität und Leckageströme / Energie. Bezüglich Eigengeräuschen im Innenraum ist vor allem die Wahl der Ventilatoren, ihre Positionierung und Lagerung von Bedeutung. Der Einsatz von geeignetem luftschallabsorbierendem Material kann sich ebenfalls positiv auswirken. Um eine hohe Luftvolumenstromstabilität zu erreichen, ist die Wahl des Ventilatorotyps mit einer geeigneten Kennlinie nicht unwichtig. Positiv könnten sich auch Konstant-Volumenstromregelungen, wie bei grösseren Lüftungsgeräten bereits verwendet, auswirken. Gute energetische Kennwerte können mit Wärmeübertragern erreicht werden, welche dicht sind und eine grosse Uebertragungsfläche aufweisen. Um die unerwünschten Wärmeströme durch das Gehäuse klein zu halten, ist eine kleine Oberfläche und eine gute Wärmedämmung vorteilhaft. Ventilatoren mit niedrigem Bedarf an elektrischer Leistung ermöglichen hohe ETV-Werte.

Die Arbeiten zeigten, dass in jedem der untersuchten Bereiche gute Kennwerte erreicht werden können. Einzelraumlüftungsgeräte müssen bezüglich aller hier beschriebenen Kriterien ein gutes Verhalten aufweisen. Dazu müssen noch einige weitere Anforderungen, die hier nicht behandelt wurden, wie zum Beispiel Benutzerfreundlichkeit, Pollenfilterung, Kondensatabfluss, Gerätedesign, Kosten usw., erfüllt werden. Die Hersteller stehen somit vor einer anspruchsvollen Optimierungsaufgabe, denn was sich bezüglich des einen Kriteriums positiv auswirkt, kann sich bezüglich eines anderen negativ auswirken.

Dank Die Arbeiten wurden vom Bundesamt für Energie und den beteiligten Firmen mitfinanziert. Für die Durchführung von Messungen gebührt H. Huber und D. Helfenfinger von der Prüfstelle HLK der HTA Luzern, sowie K. Baschnagel und M. Studer von der Abteilung Akustik der EMPA Dübendorf grosser Dank.

Literatur

- [1] H. Manz et al., *Einzelraumlüftungsgeräte mit Wärmerückgewinnung*, Schlussbericht des BFE-Projektes Nr. 20'294, EMPA, Dübendorf, 1998
- [2] H. Manz et al., *Performance of small room ventilation units with recuperative or regenerative heat recovery*, Energy and Buildings, Vol. 31 (1), pp. 37-47, 2000
- [3] H. Manz, H. Huber, D. Helfenfinger, *Impact of air leakages and short-circuits in ventilation units with heat recovery on ventilation efficiency and energy requirements for heating*, Energy and Buildings, Vol. 33 (2), 2001, 133-139

- [4] H. Manz, H. Huber, D. Helfenfinger, *Lüftungstechnische und energetische Eigenschaften von Einzelraumlüftungsgeräten mit Wärmerückgewinnung*, 11. Schweizerisches Status-Seminar Energieforschung im Hochbau, Eidgenössische Technische Hochschule, Zürich, 2001, 309-316
- [5] Meteoronorm Version 4.00, Meteotest, Bern
- [6] M. Orme, M.W. Liddament, A. Wilson, *Numerical data for air infiltration & natural ventilation calculations*, IEA/AIVC, Coventry, 1998
- [7] *Teil 6: Lüftung von Wohnungen (Anforderungen, Ausführung, Abnahme)*, DIN 1946-6, in: Raumlufttechnik, DIN, Berlin, 1998
- [8] F.D. Heidt, T. Fischer, *Untersuchung lüftungstechnischer Eigenschaften von Raumlüftungsgeräten mit Indikatorgasverfahren*, HLH – Heizung Lüftung / Klima Haustechnik, Bd. 49, Nr. 10, 1998
- [9] F.D. Heidt, T. Fischer, A. Thiemann, *Energetische Beurteilung dezentraler Raumlüftungsgeräte mit Wärmerückgewinnung*, HLH – Heizung Lüftung / Klima Haustechnik, Bd. 49, Nr. 11, 1998
- [10] F.D. Heidt, *How useful are room ventilation units with heat recovery?*, Conférence Internationale Energie Solaire et Bâtiment, Lausanne, pp. 241-246, 1999
- [11] C.-A. Roulet et al., *Is heat recovery in air handling units efficient?*, 11. Status-Seminar Energie- und Umweltforschung im Hochbau, Zürich, 2000
- [12] EN 308, *Heat exchangers – Test procedures for establishing performance of air to air and flue gases heat recovery devices*, Europäisches Komitee für Normung, Brüssel, 1997
- [13] SIA-Norm 181, *Schallschutz im Hochbau*, Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein, Zürich, 1988
- [14] H. Manz et al., "State-of-the-art" von Einzelraumlüftungsgeräten mit Wärmerückgewinnung, Schlussbericht des BFE-Projektes Nr. 34'183, EMPA, Dübendorf, 2001
- [15] EN ISO 140-3, *Messung der Luftschalldämmung von Bauteilen in Prüfständen*, Europäisches Komitee für Normung, Brüssel, 1995
- [16] EN ISO 717-1, *Bewertung der Schalldämmung in Gebäuden und von Bauteilen. Teil 1: Luftschalldämmung*, Europäisches Komitee für Normung, Brüssel, 1996
- [17] *Lärmschutz-Verordnung (LSV)*, Schweizerischer Bundesrat, 814.41, 1996
- [18] EN ISO 9614-2, *Akustik – Bestimmung der Schalleistungspegel von Geräuschquellen durch Schallintensitätsmessung. Teil 2: Messung mit kontinuierlicher Abtastung*, Europäisches Komitee für Normung, Brüssel, 1996