

GEBÄUDETECHNISCHE SYSTEME FÜR NIEDRIG-; ULTRA- UND PASSIVHÄUSER; TEIL 2: LÜFTUNGSTECHNIK UND SYSTEMINTEGRATION

Prof. Dr.-Ing. Karl-Josef Albers, Dipl.-Ing. Klaus Hain, Dr.-Ing. Stefan Wirth

FHT Esslingen, Fachbereich Versorgungstechnik und Umwelttechnik
Universität Dortmund, Lehrstuhl Technische Gebäudeausrüstung
WIRTH-Ingenieure Karlsruhe

Kurzfassung

Um den Lüftungswärmebedarf zu reduzieren ist es problematisch die Lüftung beliebig einzuschränken. Die Lüftungsfunktionen, die in Wohnungen hauptsächlich in der CO₂- und Wasserdampfabfuhr bestehen, müssen erhalten bleiben. Durch den Einsatz von Wärmerückgewinnung sowie durch die Nutzung von Umweltwärme kann mit Wohnungslüftungsanlagen der Lüftungswärmebedarf ohne Beeinträchtigung der Lüftungsfunktion minimiert werden. Weiterhin ist in hochgedämmten Gebäuden nicht nur im Sommer eine Überhitzung der Wohnung festzustellen. Mit Hilfe entsprechend gestalteter Lüftungsanlagen kann diese Überhitzung gemindert werden.

Stichworte: Wohnungslüftung, Energieeinsparung, integrale Systemlösung

[Veröffentlicht im Tagungsbericht über die Kälte-Klima-Tagung 2002 des Deutschen Kälte- und Klimatechnischen Vereins, Magdeburg 20.-22.11.2002, Band IV S. 205-212]

1 Einleitung

Beim modernen Wohnungsbau, der zunehmend durch die Errichtung von Niedrigenergie-, Ultra- bzw. Passivhäusern beherrscht wird, steht das Energiesparen im Vordergrund. Durch die mittlerweile sehr gute Wärmedämmung ist das Ziel beim Transmissionswärmebedarf erreicht worden. Infolge des nur noch sehr geringen Transmissionswärmebedarfs gerät der Lüftungswärmebedarf immer mehr in den Blickpunkt. Vielfach wird versucht, diesen Lüftungswärmebedarf dadurch zu reduzieren, daß die Lüftung eingeschränkt wird. Hierbei werden aber die Funktionen der Lüftung ignoriert. Die rechtliche Unsicherheit, die durch die aggressive Werbung eines Herstellers von Wohnungslüftungsgeräten entstanden ist, zeigt, daß eine beliebige Senkung der Lüftungsraten problematisch ist. Weiterhin neigen hochgedämmte Gebäude nicht nur im Sommer zur Überhitzung der Wohnung, so daß der Lüftung im Verbund mit der Heizung weitere Aufgaben zukommen.

Als Grundlage für die spätere Diskussion der Lüftungskonzepte werden zunächst die allgemein bekannten Lüftungsfunktionen und Lüftungssysteme kurz dargestellt.

2 Lüftungsfunktionen

Der Mensch atmet Sauerstoff ein und CO₂ aus. Bei einer normalen Aktivität atmet er stündlich ca. 0,5 m³ Luft ein und aus. Die CO₂-Konzentration in der ausgeatmeten Luft beträgt dabei ca. 40.000 ppm (parts per million) oder 4 Volumenprozent. Dieses entspricht einer ausgeatmeten CO₂-Menge von 0,02 m³/h. Will man den sog. Pettenkofer-Maßstab einhalten, also den CO₂-Gehalt der Raumluft auf 1000 ppm begrenzen, ergibt sich damit bei einem CO₂-Gehalt der Außenluft von 300 bis 400 ppm die für eine Person erforderliche Außenluftmenge zu rund 30 m³/(h*Person).

Neben der Abfuhr des von den Menschen ausgeatmeten Kohlendioxids ist die zweite wichtige Aufgabe der Lüftung die Feuchteabfuhr. Durch Personen, Topfpflanzen, Kochvorgänge, Waschvorgänge, Duschbäder und sonstige Vorgänge fallen z.B. in einem 4-Personenhaushalt pro Tag ca. 8 bis 12 Liter Wasserdampf an, die durch die Lüftung abgeführt werden müssen. Eine bekannte Folge einer unzureichenden Lüftung ist die Schimmelpilzbildung an Wänden, insbesondere an Wärmebrücken, wobei allerdings Wärmebrücken heutzutage nicht mehr stark ausgeprägt sind (zumindest in der Theorie). Für eine ausreichende Feuchteabfuhr ist ein Außenluftwechsel von mindestens $n = 0,5 \text{ h}^{-1}$ erforderlich.

Wohnungsgruppe	Wohnungsgröße ³⁾ m ²	Geplante Belegung Personen	Planmäßige Außenluftvolumenströme	
			bei freier Lüftung m ³ /h	bei maschineller Lüftung m ³ /h
I	≤ 50	bis 2	60	60
II	> 50 ≤ 80	bis 4	90	120
III	> 80	bis 6	120	180

³⁾ Wohnfläche innerhalb der Gebäudehülle

Tabelle 1: Planmäßige Außenluftvolumenströme für die einzelnen Wohngruppen nach DIN 1946-6

Raum	Planmäßiger Abluftvolumenstrom in m ³ /h	
	bei Betriebsdauer ≥ 12 h/d	bei beliebiger Betriebsdauer
Küche — ständige Lüftung (Grundlüftung)	40	60
Küche — Intensivlüftung	200	200
Kochnische	40	60
Bad-Raum (auch mit WC)	40	60
WC-Raum	20	30

Tabelle 2: Planmäßige Außenluftvolumenströme für fensterlose Räume nach DIN 1946-6

In der DIN 1946-6 [1] sind die erforderlichen Außenluftvolumenströme für die einzelnen Wohngruppen (Tabelle 1) sowie die benötigten Abluftvolumenströme für fensterlose Räume (Tabelle 2) angegeben. Die in der Tabelle 1 angegebenen planmäßigen Außenluftvolumenströme bei freier Lüftung entsprechen einer Grundlüftung, also dem Volumenstrom, der permanent der Wohnung zugeführt werden sollte. Dagegen entsprechen die angegebenen planmäßigen Außenluftvolumenströme bei maschineller Lüftung einer zeitweiligen

Bedarfslüftung. Mit diesen Volumenströmen wird eine ausreichende Außenluftversorgung der Personen sowie die Feuchteabfuhr sichergestellt.

3 Lüftungssysteme

Die Lüftung von Wohnungen kann man in drei Kategorien einteilen, und zwar in die freie Lüftung über Fenster, in die mechanischen Abluftanlagen mit natürlicher Nachströmung sowie in die mechanischen Zu- und Abluftanlagen.

Wegen der in der EnEV 2002 [2] vorgeschriebenen sehr dichten Gebäudehülle (siehe auch DIN 4108-7 [3]) beträgt der Luftwechsel, der in modernen Niedrigenergiehäusern durch Undichtigkeiten in der Fassade erreicht wird, nur noch maximal $n = 0,2 \text{ h}^{-1}$. Im Jahresverlauf beträgt der Luftwechsel über lange Zeiten sogar weniger als $0,1 \text{ h}^{-1}$. Dieser Wert liegt deutlich unter dem als erforderlich angesehenen Mindestaußenluftwechsel von $0,5 \text{ h}^{-1}$. Um den zuvor genannten Mindestaußenluftwechsel zu gewährleisten, ist bei der freien Lüftung zusätzlich die Fensterlüftung erforderlich, d. h., dem Nutzereingriff kommt eine zentrale Bedeutung zu.

Bei mechanischen Abluftanlagen mit natürlicher Nachströmung wird die Abluft mechanisch aus dem Bad und dem WC sowie der Küche abgeführt und die erforderliche Zuluft strömt über definierte Öffnungen in der Fassade der Wohnung nach. Innerhalb der Wohnung muß durch Überströmöffnungen sichergestellt werden, daß die Zuluft von der Fassade über die Wohn- und Schlafräume in das Bad, WC und die Küche überströmen kann.

Bei mechanischen Zu- und Abluftanlagen werden sowohl die Zu- wie auch die Abluft mechanisch gefördert. Dabei wird zwischen dezentralen und zentralen Systemen unterschieden. Während bei dezentralen Systemen jeder Raum ein kleines Zu- und Abluftgerät besitzt, das in der Fassade integriert ist, wird bei zentralen Systemen die Luft nur über ein Zu- und Abluftgerät gefördert und über ein kleines Luftnetz auf die einzelnen Räume verteilt.

4 Energieeinsparung bei eingeführten Lüftungskonzepten

Die freie Lüftung über Fenster kann nicht als energiesparend eingestuft werden, da hier die Lüftung völlig unkontrolliert erfolgt. Die Öffnungszeiten von Fenstern können in keine Relation mit der tatsächlichen Lüftungsrate gebracht werden, da letztere neben der Öffnungszeit maßgeblich von den windbedingten Druckunterschieden an der Fassade sowie den Temperaturdifferenzen zwischen Innen und Außen bestimmt wird. Bei einer Dauerlüftung über gekippte Fenster erreicht man schnell Lüftratzen, die über der erforderlichen Mindestaußenlüftrate liegen. Um diese Problematik zu umgehen, wird daher allgemein zur Stoßlüftung geraten, d. h. vollständiges Öffnen der Fenster über einen kurzen Zeitraum. Bei dieser Lüftungsstrategie werden allerdings nicht die Transportmechanismen von Wasserdampf berücksichtigt. Bei starkem Wasserdampfanfall, wie er z. B. beim Duschen oder Kochen zu verzeichnen ist, wird ein Großteil der im Raum frei werdenden Wasserdampfmenge per Stoffübergang an und Diffusion in den Wänden gespeichert. Die Abgabe des in den Wänden gespeicherten Wasserdampfes an die Raumluft ist zeitlich ein sehr langsamer Vorgang, der eine permanente Lüftung des Raumes erfordert.

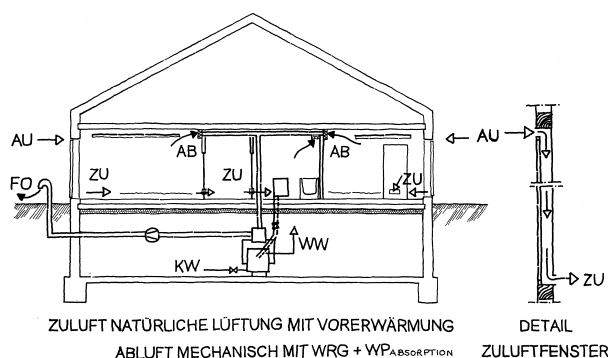


Bild 1: Mechanisches Abluftsystem mit freier Nachströmung über Zuluftfenster

Bei mechanischen Abluftanlagen mit natürlicher Nachströmung kann der Luftwechsel auf die Mindestaußenlüftrate begrenzt werden, wodurch im Gegensatz zur Fensterlüftung ein überhöhter Lüftungswärmebedarf vermieden wird. Da bei diesen Systemen die Zu- und Abluftvolumenströme nicht zusammengeführt werden können, gibt es keine Möglichkeit, die warme Abluft- zur Vor erwärmung der Zuluft zu nutzen. Je-

doch besteht hier die Möglichkeit die Nachströmung der Außenluft über Zuluftfenster zu realisieren. Bei dem Zuluftfenster [4] kann die Außenluft über entsprechende Bohrungen im Fensterrahmen sowie einem Spalt zwischen der inneren (Einfachglas) und äußeren Scheibe (Zweifachglas) der Verbundverglasung nachströmen. Die Erwärmung der Außenluft basiert darauf, daß ein Teil der auf das Fenster auftreffenden Sonnenstrahlung absorbiert wird und die Fensterscheiben erwärmt. Dadurch wirkt die Verbundverglasung als solarer Luftkollektor. Im Bild 1 ist ein mechanisches Abluftsystem mit Nachströmung der Luft über ein Zuluftfenster dargestellt. Wie weit sich die Luft in dem Zuluftfenster erwärmt, kann dem Bild 2 entnommen werden. Hier ist über einen 3-wöchigen Winterzeitraum die Zulufttemperatur (Einblastemperatur) mit dazugehöriger Außen- und Raumlufttemperatur aufgetragen.

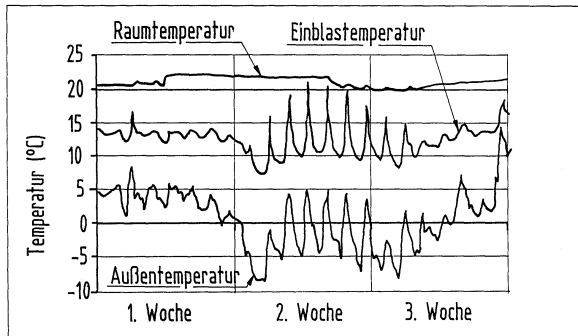


Bild 2: Zu- und Außenlufttemperaturen bei einem Zuluftfenster im Winter

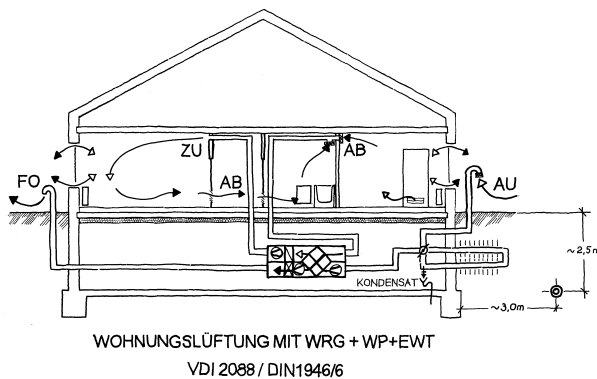


Bild 3: Mechanisches Zu- und Abluftsystem; Wärmerückgewinnung mit Plattenwärmeaustauscher und Luft/Luft-Wärmepumpe plus Erdwärmetauscher

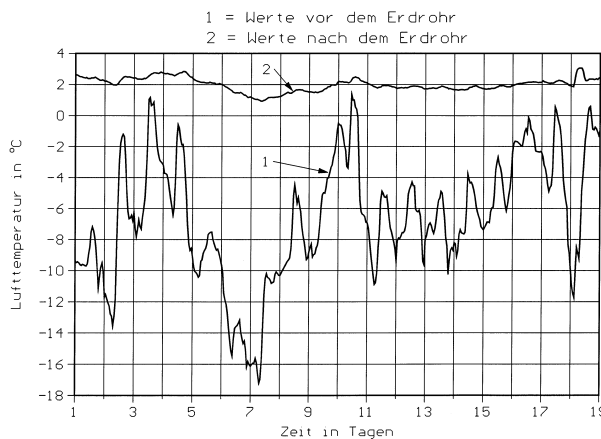


Bild 4: Zu- und Außenlufttemperaturen bei einem Erdwärmetauscher im Winter

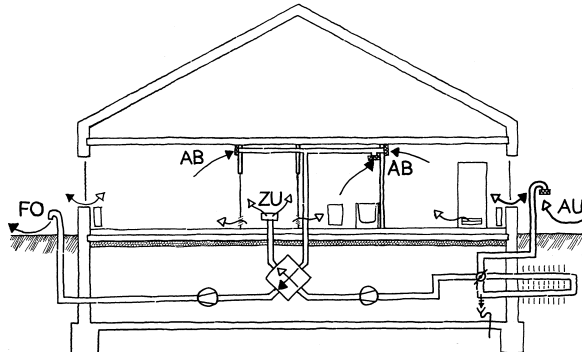
Da bei mechanischen Zu- und Abluftanlagen sowohl die Zu- wie auch die Abluft mechanisch gefördert wird, kann hier die Wärme der Abluft zur Vorerwärmung der Zuluft genutzt werden. Zur Wärmerückgewinnung wird in der Regel ein Plattenwärmetauscher eingesetzt, der bei zentralen Anlagen auch mit einer Luft/Luft-Wärmepumpe ergänzt werden kann. Zur Vorerwärmung wird bei zentralen Anlagen zusätzlich noch ein Erdwärmetauscher eingesetzt. Hierdurch wird die Außenluft auf über 0 °C vorgewärmt und damit die Frostgefahr für den Plattenwärmetauscher sowie die Wärmepumpe gebannt [5]. Im Bild 3 ist ein zentrales Zu- und Abluftsystem dargestellt. Wie bei dem zuvor vorgestellten Abluftsystem mit natürlicher Nachströmung wird die Zuluft den Wohn- und Schlafräumen zugeführt. Die Abluft strömt in diesem Beispiel über den Flur in das Bad und das WC sowie die Küche nach und wird dort abgesaugt. Der Vorteil dieser

Luftführung liegt in der Mehrfachnutzung der Luft. In den Wohn- und Schlaf- räumen wird die Luft überwiegend mit CO₂ angereichert, während im Bad, WC sowie in der Küche die Luft hauptsächlich Wasserdampf aufnimmt. Die Erwärmung der Außenluft im Erdwärmetauscher ist im Bild 4 über einen 19-tägigen Winterzeitraum dargestellt.

5 Energieeinsparung bei weiterentwickelten Lüftungskonzepten

In der Literatur, u. a. in [6] und [7], wird darauf verwiesen, dass bei Wohnungen mit mechanischer Wohnungslüftung mit Wärmerückgewinnung gegenüber solchen mit Fensterlüftung keine Energieeinsparung feststellbar ist. Die Ursache hierfür liegt im Nutzerverhalten. Es ist zu beobachten, daß vor allem in der Übergangszeit die Wohnungen mit und ohne mechanische Wohnungslüftung genauso häufig über die Fenster gelüftet werden. Da die Nutzer offensichtlich ein über Jahre trainiertes Lüftungsverhalten besitzen, das sie bei Vorhandensein einer mechanischen Wohnungslüftung nicht ändern, wird das Energieeinsparpotential bei konventionellen Wohnungslüftungssystemen zu Nichte gemacht. Konventionell bedeutet dabei, daß die Wohnungslüftungsanlagen mit einer konstanten Luftrate betrieben werden.

In einem Versuchshaus wurde ein bedarfsgeregeltes Wohnungslüftungssystem [8] erprobt. Die Mindestluftmenge beträgt hier 120 m³/h, was nach DIN 1946-6



WOHNUNGSLÜFTUNG MIT WRG+EWT

Bild 5: Mechanisches Zu- und Abluftsystem, Zuluftführung nach dem Prinzip der Dortmunder Lüftung über den Flur; Wärmerückgewinnung mit Plattenwärmeaustauscher plus Erdwärmetauscher

der Luftrate für die Grundlüftung entspricht. Diese kann auf 180 m³/h im Bedarfsfall erhöht werden. Die Zuluft wird hier zentral in den Flur eingeblasen und strömt von dort in die einzelnen Räume über, wo sie über regelbare Abluftdurchlässe abgeführt wird. In der Ausgangsstellung wird gerade die Grundlüftung abgeführt. Bei Verschlechterung der Raumluftqualität, die über Mischgassensoren registriert wird, wird der entsprechende Abluftdurchlass vollständig geöffnet. Ist die Luftqualität infolge geöffneter Fenster gut, verbleiben die Abluft-

durchlässe in der Ausgangsstellung. Im Bild 5 ist ein solches System dargestellt. Da das Versuchshaus vor und nach dem Einbau der bedarfsgeregelten Wohnungslüftung mit Wärmerückgewinnung und Erdwärmetauscher von der selben Familie bewohnt wurde, kann ein konstantes Nutzerverhalten unterstellt werden. Mit Hilfe der Aufzeichnung der Brennerlaufzeiten konnte in diesem Fall eine Energieeinsparung durch den Einbau des Wohnungslüftungssystems nachgewiesen werden.

6 Zusätzliche Aufgaben von Wohnungslüftungssystemen

Die hochgedämmten Wohngebäude führen im Sommer zu einem immer größer werdenden Bedarf, die Wohnräume zu kühlen. Indikatoren dafür sind Raumkühlgeräte, die in Kaufhäuser – und damit für den privaten Gebrauch – ange-

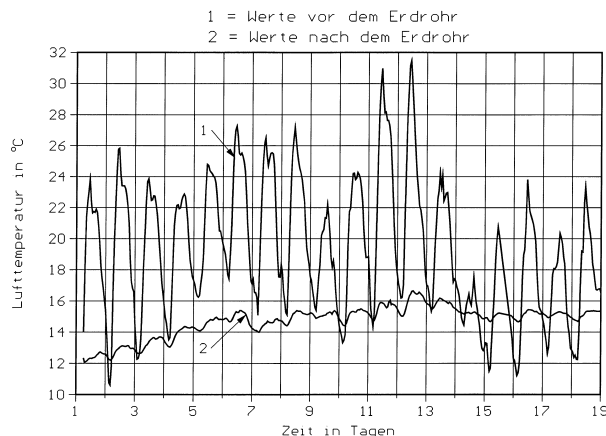


Bild 6: Zu- und Außenlufttemperaturen bei einem Erdwärmetauscher im Sommer

[5]. Die Zulufttemperaturen, die dabei erreicht werden, können dem Bild 6 entnommen werden. Hier sind die Temperaturen über eine 19-tägige Sommerperiode aufgetragen.

Die sehr hohe Wärmedämmung führt allerdings, wie in [9] aufgezeigt wird, schon im Winter zu Lastwechseln zwischen Heizen und Kühlen. Bedingt durch die sich ändernden inneren und äußeren Wärmelasten treten bei einem mittleren Wintertag (Außenlufttemperaturen schwanken um 3°C) diese Lastwechsel zwischen Heizen und Kühlen im Stundenbereich auf. Selbst bei einem kalten Wintertag (Außenlufttemperaturen schwanken um -9°C) kommt es bereits zu vereinzelt Lastwechseln zwischen Heizen und Kühlen. Da Warmwasserheizungssysteme nicht schnell genug auf höherfrequente Lastwechsel reagieren können, sind Überhitzungen der Wohnungen unvermeidlich. Um dieses zu vermeiden bzw. zumindest zu vermindern, bietet es sich an, die Zulufttemperatur eines mechanischen Zu- und Abluftsystems in Sequenz zu den Raumheizkörpern der Warmwasserheizungen zu regeln. Dadurch wird bei übermäßig stark ansteigenden Raumlufttemperaturen eine kontrollierte freie Kühlung realisiert.

Bei Passivhäusern ist der oben beschriebene Effekt besonders hoch. Da bei diesem Gebäudetyp die Normheizlast bei weniger als 10 W/m² liegt, sollte die Frage untersucht werden, ob solche Gebäude mit einem mechanischen Zu- und Abluftsystem beheizt werden sollten. Ein Luftheizsystem besitzt keine Trägheit, so dass es am besten auf hochfrequente Lastwechsel reagieren kann. Der energetische Nachteil, den Luft als Wärmeträger besitzt, wird dadurch ausgeglichen, dass von wenigen Tagen abgesehen, die Luftraten nach DIN 1946-6 für die Beheizung ausreichend sind. Zur Abdeckung der maximalen Heizlast

müsste gegenüber den Luftraten der DIN 1946-6 das Wohnungslüftungsgerät auf die doppelte Luftmenge ausgelegt werden.

7 Literatur

- [1] DIN 1946-6: Raumluftechnik - Lüftung von Wohnungen - Anforderungen, Ausführung, Abnahme (VDI-Lüftungsregeln); Berlin, Beuth Verlag 1998
- [2] Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden (Energieeinsparverordnung – EnEV) vom 16. November 2001; Bundesgesetzblatt (BGBl) 2001 Teil 1 Nr. 59 vom 21.11.2001, S. 3085-3102
- [3] DIN 4108-7: Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Teil 7: Luftdichtheit von Gebäuden, Anforderungen, Planungs- und Ausführungsempfehlungen sowie -beispiele; Berlin, Beuth Verlag 2001
- [4] Trümper, H.; Blank, M.; Hain, K.; Wirth, S.: Mechanische Entlüftung von Wohnungen mit natürlicher Außenluftnachströmung über ein Zulufffenster; Elektrowärme International 52 (1994) A3, S. 121-124
- [5] Albers, K.-J.: Untersuchungen zur Auslegung von Erdwärmeaustauschern für die Konditionierung der Zuluft für Wohngebäude; Dissertation Universität Dortmund 1991, veröffentlicht als Forschungsbericht Nr. 32; Stuttgart, Deutscher Kälte- und Klimatechnischer Verein 1991
- [6] Reiß, J.; Erhorn, H.: Effizienz von Solar-, Lüftungs- und Heizsystemen im Mietwohnungsbau; GI 116(1995)5, S. 233-249
- [7] Erhorn, H.: Fördert oder schadet die europäische Normung der Niedrigenergiebauweise in Deutschland?; GI 119(1998)5, S. 236-239
- [8] Wirth, St.: Ist mit der kontrollierten Wohnungslüftung eine Primärenergieeinsparung möglich?; Bauphysik 24(2002)4, S. 236-239
- [9] Schmidt, M.: Veränderungen der Anforderungen an Heizanlagen bei steigenden Wärmestandard; Wärmetechnik · Versorgungstechnik 45(2000)11, S. 28-32