

**„Das kostengünstige mehrgeschossige Passivhaus in  
verdichteter Bauweise“**

**Teil 3 des Abschlußberichtes:**

**Anforderungen an kostengünstige,  
passivhausgeeignete  
MFH-Lüftungsanlagen  
und  
Überprüfung am Pilotprojekt**

**Der Forschungsbericht wurde mit Mitteln des Bundesamtes für  
Bauwesen und Raumordnung gefördert.**

**(Aktenzeichen: B 15-80 01 98-15)**

**Die Verantwortung für den Inhalt des Berichtes liegt beim Autor**

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>VORWORT</b> .....	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>ZUSAMMENFASSUNG</b> .....	<b>5</b>
<b>3</b>	<b>ABSCHNITT A: KRITERIENKATALOG</b> .....	<b>1</b>
3.1	EINLEITUNG .....	1
3.2	KRITERIENKATALOG .....	1
3.3	ZIELKRITERIEN FÜR PASSIVHAUSTAUGLICHE LÜFTUNGSANLAGEN IM GESCHOßWOHNUNGSBAU .....	2
3.4	LÜFTUNGSANLAGENPLANUNG FÜR PASSIVHÄUSER IM GESCHOßWOHNUNGSBAU	23
<b>4</b>	<b>ABSCHNITT B: ÜBERPRÜFUNG AM PILOTPROJEKT</b> .....	<b>26</b>
4.1	DAS PILOTPROJEKT.....	26
4.1.1	Die Lüftungsanlage bei den <i>PH Kassel-Marbachshöhe</i> .....	27
4.1.2	Die Wärmeversorgung bei den <i>PH Kassel-Marbachshöhe</i> .....	28
4.2	WOHNUNGS- BZW. TREPPENHAUSWEISE BESTIMMUNG DER HEIZLASTEN.....	29
4.3	DRUCKVERLUSTE UND ENERGIEBEDARF DER LÜFTUNGSANLAGE .....	30
4.3.1	Berechnung der Druckverluste Lüftungsanlage .....	30
4.3.2	Ergebnisse der Druckverlustmessungen .....	30
4.3.3	Lüftungsleitungsdimensionierung .....	31
4.3.4	Druckverluste der Einbauten .....	32
4.3.5	Stromverbrauch der Lüftungsanlage .....	32
4.3.6	Fazit.....	34
4.4	TECHNISCHE ANFORDERUNGEN AN RÜCKSCHLAGKLAPPEN .....	34
4.5	DICHTHEITSPRÜFUNG DES LÜFTUNGS-ROHRNETZES.....	38
4.6	LECKAGEMESSUNG AM WÄRMETAUSCHER .....	39
4.7	HEIZLEISTUNG NACHHEIZREGISTER .....	40
4.8	WÄRMEVERLUST DER LÜFTUNGSLEITUNGEN .....	41
4.8.1	Zuluftleitungen innerhalb der Wohnung.....	41
4.8.2	Luftleitungen im unbeheizten Keller.....	42
4.9	SCHALLEMISSIONEN DURCH DIE LÜFTUNGSANLAGE .....	42
4.10	LÜFTUNGSANLAGE BEI ABGESCHALTETER ZULUFT.....	43

---

4.11 EINMESSEN DER WOHNUNGSLUFTVERTEILUNG.....	43
4.12 HYDRAULISCHER ABGLEICH .....	50
4.13 INBETRIEBNAHME DER ANLAGE UND QUALITÄTSSICHERUNG.....	50
4.14 GESCHOßWOHNUNGSBAU-SPEZIFISCHE BESONDERHEITEN.....	50
<b>5 LITERATUR ZU DEN ABSCHNITTEN A UND B .....</b>	<b>1</b>
<b>6 DATENBLÄTTER ZUM ABSCHNITT B .....</b>	<b>0</b>

Autoren:

Dirk Blume  
Stefan Ludwig  
Joachim Otte,  
(innovaTec Energiesysteme GmbH,  
Kassel)

Projektleitung:  
Passivhaus Institut  
Dr. Wolfgang Feist  
Rheinstraße 44-46  
64283 Darmstadt

Dieser Bericht entstand im Rahmen  
der Forschungsarbeit

**„Das kostengünstige mehr-  
geschossige Passivhaus in verdich-  
teter Bauweise“**

Das Projekt wurde gefördert durch  
das

Bundesamt für Bauwesen und  
Raumordnung, Bonn

## 1 Vorwort

In gleicher Weise, wie das Passivhaus im Geschößwohnungsbau noch Neuland darstellt, gilt dies auch für die Lüftungsanlagen in diesen Gebäuden. Der im folgenden vorgestellte Kriterienkatalog zeigt die Anforderungen an kostengünstige und passivhausgeeignete Lüftungsanlagen (Abschnitt A) auf und wird ergänzt um eine Dokumentation der Überprüfung dieser Kriterien am Pilotprojekt *Passivhäuser Kassel-Marbachshöhe* (Abschnitt B).

Dieser Bericht ist als „Teil 3“ Bestandteil der Forschungsarbeit "Das kostengünstige mehrgeschossige Passivhaus in verdichteter Bauweise", gefördert durch das Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung, Bonn.

## 2 Zusammenfassung

Im erarbeiteten Kriterienkatalog sind die wesentlichen Faktoren für die Planung und Installation kostengünstiger Lüftungsanlagen in MFH-Passivhäusern dargestellt. Dabei zeigt sich als übergeordnetes Ergebnis, daß die auf die Versorgung von Passivhäusern orientierte Anlagentechnik aus marktverfügbaren Bauteilen kombinierbar ist und die wesentlichen Konstruktionsmerkmale von Lüftungsanlagen beibehalten werden können.

Allerdings ist genaues Arbeiten sowohl in der Planungsphase als auch während der Installation unverzichtbar. Dies betrifft im Planungsprozeß sowohl die Auswahl der Komponenten als auch deren Dimensionierung. Die Ergebnisse der Anlagenplanung sind mit der für einige Bauteile erforderlichen Detailakribie in die Ausschreibungstexte einzuarbeiten, damit die ausführenden Betriebe sichere Kalkulationsgrundlagen erhalten.

Große Gebäude des Geschößwohnungsbaus ohne eine flächendeckende Heizmöglichkeit unter jedem Fenster auszustatten, bedeutet auch für die Bewohnerseite Neuland. Das wärmetechnisch gutmütige Verhalten von Passivhäusern werden die Nutzer erfahren, die wenigen erforderlichen „anderen“ zu erlernenden Verhaltensweisen sind überschaubar.

Ein Passivhaus nutzt die in geringem Maße erforderliche Restenergie sehr effizient, diese vergleichsweise sehr geringen Energiemengen verlustarm den Wohnungen bereitzustellen erfordert aber bei der Technischen Gebäudeausrüstung hinsichtlich

- der hocheffizienten Wärmebereitstellung durch die Lüftungsanlage,
- der auf Feuchtehaushalt und Bewohnerzahl abgestimmten Frischluftversorgung
- sowie der wohnungsweisen Bedienbarkeit bei geringem Hilfsenergieeinsatz,

eine abgestimmte, hocheffiziente und qualitativ gut verarbeitete Anlagentechnik.

Die Passivhäuser in Kassel-Marbachshöhe zeigen in den bisherigen Ergebnissen, daß dieser Weg erfolgreich beschritten werden kann.

## 3 Abschnitt A: Kriterienkatalog

### 3.1 Einleitung

In Passivhäusern haben Lüftungsanlagen für einen gleichmäßigen Luftwechsel zu sorgen und die erforderliche Restheizung im Gebäude zu übernehmen. Die Bezeichnung „im Gebäude“ bezieht sich dabei i.d.R. auf die Wohneinheit bzw. auf den von den Grenzflächen der luftdichtenden Hülle eingeschlossenen Gebäudeteil. Für Lüftungsanlagen im Geschosswohnungsbau ergeben sich im Vergleich mit Einfamilienhäusern höhere Anforderungen. Allein aufgrund der umfangreicheren baulichen Gegebenheiten und Bestimmungen erhöhen sich die technischen Parameter. Zusätzliche Bedingungen resultieren aus der Tatsache, daß die Nutzer im Geschosswohnungsbau i.d.R. Mieter und nicht Eigentümer sind. Der Einsatzzweck „Lüftungsanlage für Passivhäuser“ bestimmt weitere qualitative Mindeststandards, gefordert sind hier z.B. eine hocheffiziente Wärmerückgewinnung und balancierte Luftmengen zwischen Zu- und Abluft.

Im Forschungsprojekt *„Anforderungen an kostengünstige, passivhausgeeignete MFH-Lüftungsanlagen und Überprüfung am Pilotprojekt“* werden Zielparame-ter abgeleitet und auf ihre technischen Realisierungsmöglichkeiten hin untersucht.

### 3.2 Kriterienkatalog

Detaillierte Empfehlungen hinsichtlich der technischen Anforderungen an passivhaustaugliche Lüftungsanlagen im Allgemeinen finden sich in der Literatur z.B. in [Feist 1999]. Die dort genannten Zielwerte basieren wesentlich auf den technischen Anforderungen an Lüftungsanlagen im Einfamilienhausbereich, bei denen die Aufgaben Luftförderung, Wärmerückgewinnung und Luftaufbereitung in der Regel von Lüftungs-Kompaktaggregate übernommen werden.

Der Einsatz von Kompaktaggregate ist im Geschosswohnungsbau eine mögliche Lösung, Platz- und Kostengründe lassen jedoch eine zentralere Lüftungstechnik erwarten. Zudem kann durch Kopplung von Synergieeffekten und aufgrund der größeren Anlagendimensionen versucht werden, die Effizienz der passivhaustauglichen Lüftungsanlagen für den Geschosswohnungsbau noch weiter zu verbessern.

Diese Rahmenbedingungen deuten auch auf ein Potential zur Senkung der Investitionskosten hin, allerdings sind spezifische Kostenbezüge ( $\text{m}^2$  Wohnfläche) für einen Vergleich nur bedingt geeignet (s.u.).

### 3.3 Zielkriterien für passivhaustaugliche Lüftungsanlagen im Geschößwohnungsbau

Die folgende Auflistung teilt die Anforderungen, die sich aus der Integration passivhaustauglicher Lüftungsanlagen in Wohngebäude des Geschößwohnungsbaus ergeben, in Schwerpunkte auf und beschreibt deren Zielkriterien:

- I. Wärmerückgewinnung
- II. Frostfreier Betrieb
- III. Balancierte Luftmengen
- IV. Energieeffizienz
- V. Luftaufbereitung (Filter)
- VI. Schallschutz
- VII. Qualitätssicherung bei der Installation
- VIII. Platzbedarf und Integration im Gebäude
- IX. Bauliche Randbedingungen
- X. Bedienung/Wartung
- XI. Komfort
- XII. Investitions- und Betriebskosten

Die Punkte I.-VI. befassen sich konkret mit den technischen Fragen der Lüftungsanlagen für mehrgeschossige Passivhäuser, während die übrigen Positionen die Belange der Nutzer und der Investoren behandeln.

#### I. Wärmerückgewinnung

##### a) Steigerung der Wärmerückgewinnung

Für den trockenen Wärmebereitstellungsgrad wird bei Lüftungsanlagen in Passivhäusern ein Zielwert von

$$\eta_{\text{Wärmebereitstellungsgrad Trocken}} \geq 75\% \quad (\text{s. Feist 1999, S. 6ff.})$$

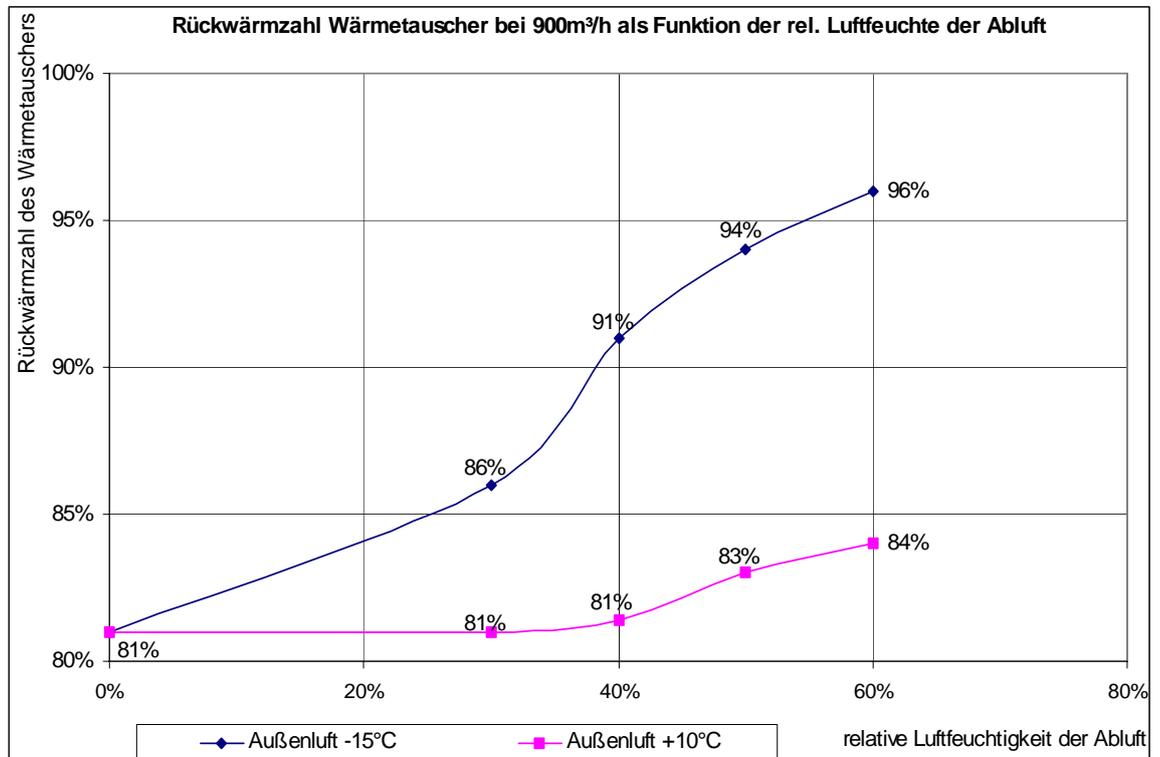
gefordert. Diese Kenngröße bezieht sich auf das Gesamt-Lüftungsgerät. Bei Verwendung zentraler Wärmetauscher ist als Wirkungsgrad des Einzelaggregates hingegen die Rückwärmzahl eine zutreffende Bauteilgröße.

Im Geschößwohnungsbau können durch Zusammenfassung mehrerer Wohnungen an eine Lüftungszentrale die Komponenten der Lüftungszentralen sorgfältiger abgestimmt und in ihrer Effizienz optimiert werden, da räumliche Beschränkungen nicht so zwingend gehandhabt werden müssen wie bei Kompaktaggregaten.

Für das Bauteil Wärmetauscher lassen sich durch konstruktive Maßnahmen die Strömungsverhältnisse verbessern und die Tauscherflächen vergrößern, beides trägt zur Erhöhung des Wärmebereitstellungsgrades bei. In Lüftungszentralen kann z.B. die gleichmäßige Benetzung der Tauscherflächen durch beruhigte Anströmverhältnisse einfacher realisiert werden als dies in räumlich sehr begrenzten Kompaktaggregaten möglich ist. Groß ausgelegte Wärmetauscher erzielen zudem bessere Wärmebereitstellungsgrade bei

geringeren Strömungswiderständen. Das Auslegungsoptimum findet sich bei Luftgeschwindigkeiten im unteren Bereich turbulenter Strömung.

Das folgende Diagramm zeigt die Rückwärmzahl eines Gegenstrom-Plattenwärmetauschers abhängig von der relativen Luftfeuchte der Abluft



sowie von der Frischlufttemperatur. Die Daten basieren auf Herstellerangaben.

Die Wärmerückgewinnung wird im "normalen Sommerbetrieb"<sup>1</sup> außer Funktion gesetzt. Dies erfolgt i.d.R. über eine Bypass-Schaltung vor dem Wärmetauscher. Es ist sinnvoll, den Abluftstrang per Bypass am Wärmetauscher vorbei zu leiten. Dies führt zu geringeren Betriebskosten, da der Abluftstrang ggü. dem Zuluftstrang i.d.R. höhere Jahresbetriebsstunden aufweist (z.B. wg. fensterloser Bäder) und sich daher eine abluftseitige Druckverlustreduzierung vorteilhafter auswirkt. Die Bypass-Funktion erfordert im Umkehrschluß einen luftdichten Verschluss des Nebenweges, kritisch ist hier insbesondere der Winterfall, da die erforderlichen Wärmehzahlen sonst nicht erreicht werden können. Die

<sup>1</sup> Es gibt jedoch auch während der Sommermonate Klimasituationen, bei denen es sinnvoll ist, die Wärmerückgewinnung zu nutzen (s.u.), beispielsweise zur Kühlung, wenn die Frischluft in Hitzeperioden deutlich wärmer ist als die Abluft

Wenn an sehr heißen Sommertagen (z.B. Außentemperatur > 23°C) die Frischluft wärmer ist als die aus den Wohnungen geförderte Luft (Abluft), kann durch Aufhebung des Bypass-Betriebs die den Wohnungen zugeführte Luft durch „Wärmerückgewinnung“ noch leicht vorgekühlt werden. Auf diese Weise wird ein Aufheizen der Wohnungen an sehr heißen Tagen über die Lüftungsanlage vermieden.

größere Anlagendimension und die ggü. Kompaktgeräten nicht so eingeschränkte räumliche Situation in Lüftungszentralen ermöglichen konstruktiv leckagedichtere Lösungen.

Bei der Wärmerückgewinnung aus der Abluft mittels Wärmetauscher können mit den größeren Zentralaggregaten technische Vorteile ggü. den Kompaktanlagen erreicht werden. Als Richtwerte spezifischer technischer Daten sind für einen Wärmetauscher mit ca. 1000 m<sup>3</sup>/h Nennvolumenstrom anzusehen:

max. zulässige Gesamtleckage	≤ 0,5%
Rückwärmzahl bei 60% rel. Luftfeuchte	≥ 90,0%
Druckverlust bei Nennvolumenstrom	≤ 50,0 Pa
Wärmedämmung Gehäuse/Leitungen	≤ 2,0 W/K

b) Minimierung der internen und externen Leckagen

Interne Leckagen bedeuten einen direkten Kurzschluß zwischen dem Zuluft- und dem Abluftsystem. Dieses unerwünschte Überströmen an Bauteilundichtigkeiten kann vorwiegend dort entstehen, wo die Luftströme direkt aneinandergrenzen, wie z.B. im Wärmetauscher, entlang der Trennflächen im Kompaktgerät oder auch im Installationsschacht. Antriebskraft hierfür sind die entgegengesetzt orientierten Druckverhältnisse zwischen Zuluft und Abluft bzw. Frischluft und Fortluft.

Eine Minimierung der internen Leckageluftströme ist im Geschößwohnungsbau unverzichtbar, um gegenseitige Infiltrationen verschiedener Wohneinheiten auszuschließen. Demzufolge ist nicht nur der Wärmetauscher sehr leckagefrei auszuführen, sondern auch die Lüftungsleitungen zwischen Wärmetauscher und Wohnungseinheit müssen incl. aller Einbauteile möglichst luftdicht gebaut werden.

Bei wohnungsweisem Einsatz der Ventilatoren ergeben sich hohe Anforderungen an die Dichtheit der Luftleitungen in den Schächten. Bis zum Zuluftventilator steht die Frischluftleitung unter Unterdruck, umgekehrt die Fortluftleitung unter Überdruck. Zur Vermeidung von Geruchsübertragung ist für die Abluftleitungen eine Dichtheit besser als EUROVENT Klasse III, für die Zuluftleitungen eine Dichtheit besser als EUROVENT Klasse IV [vgl. Otte 1999, S. 105], jeweils bei 200 Pa Förderdruck, einzuhalten.

Für Formstücke mit Lippendichtungen in Kombination mit normalen Wickelfalzrohren geben die Hersteller die Einhaltung der EUROVENT Klasse III an. Es ist auf jeden Fall empfehlenswert, sämtliche Rohrverbindungen zusätzlich zu den Lippendichtungen der Formstücke im Rohrübergang mit Lüftungsband abzukleben. Dies kann insbesondere auch im Hinblick auf die Vermeidung unerwünschter Geräusche sinnvoll sein, denn Wohnungen in Passivbauweise verfügen über sehr luftdichte Hüllflächen. Wenn also der erforderliche Luftmengenaustrich aus

irgendwelchen Gründen gestört ist, kann es an Materialspalten zu überhöhten Luftgeschwindigkeiten mit entsprechend störenden Geräuschen kommen.

Zur Sicherung der geforderten Verarbeitungsqualität im Gebäude empfiehlt es sich, mindestens einen Leckagetest einer Sammellüftungsleitung im Leistungsverzeichnis (LV) vorzusehen. Abhängig vom Ergebnis dieser Tests kann die Verarbeitungsqualität des Rohrnetzes und die verwendeten Materialien für die Zu- und Abluftstränge noch gesteigert werden. Bei ordentlicher Verarbeitung werden die geforderten Werte i.d.R. deutlich unterschritten.

Als luftdichteste Option (z.B. für die Zuluftleitung) könnte verschweißtes Polypropylen-Rohr (PPs) verwendet werden, für ein solches Rohrmaterial ist jedoch das Verhalten im Brandfall (trotz Deckenschotts) sehr kritisch anzusehen.

Die Luftdichtheit von Einbauteilen (z.B. Deckenschotts, Heizregister) in die Luftleitungen ist gesondert zu lösen. Generell sollen die Einbauten weitgehend luftdicht sein, was aber nicht immer vollständig möglich ist (z.B. Lüfterrad-Welle des Ventilators). Andere Bauteile müssen in der Einbausituation abgedichtet werden, dies betrifft insbesondere die Deckenschotts. Zwar ist der Einbau der Schotts im Deckenverguß möglich, doch führt dies zu einem nicht vertretbaren Aufwand bei einem späteren Ausbau wegen Defekt. Eine mögliche Alternative ist die Abdichtung der Deckenschotts durch partiellen Verguß auf der Decke vorzusehen. Praktikabler erscheint jedoch die Lösung, daß die Deckenschotts bereits herstellerseitig im Bereich der Blechkanten mit einer Art „dauerelastischer Dichtung“ überzogen werden. Hierzu sind die entsprechenden Hersteller in die Pflicht zu nehmen.

Die wohnungsweisen Rückschlagklappen sind in der Frisch- und Fortluftleitung direkt nach Abzweig von der Sammelleitung zu plazieren. Auf diese Weise werden sämtliche folgenden Einbauteile von den Druckverhältnissen der Sammelleitung entkoppelt. Das ist dann wichtig, wenn die jeweilige Wohnungslüftung nicht in Betrieb ist, z.B. Sommerfall mit Abschaltung einzelner Zuluftventilatoren.

Bei Lüftungskonzepten mit zentralem Ventilator sind hinsichtlich der zulässigen Rohrnetzleckagen nicht ganz so strenge Anforderungen an die Luftdichtheit zu stellen, da die Druckverhältnisse in den Sammelleitungen zwischen Wärmetauscher und Wohnungen umgekehrt sind. Demzufolge steht die Zuluftleitung ab Lüftungszentrale bis in die Wohnungen unter Überdruck, d.h. in diese Leitungen kann keine Abluft infiltrieren.

Unabhängig von der Position der Ventilatoren ist jedoch trotz i.d.R. kurzer Längen von Fortluft und Frischluft nach dem Wärmetauscher zu beachten, daß diese Leitungsstränge ebenfalls luftdicht bis zu den Aus- bzw. Einlässen geführt werden und die Positionierung von Frischluftansaugung und Fortluftauslaß kurzschlußfrei angeordnet werden.

Für externe Leckagen gelten im Prinzip die gleichen Grundsätze wie für die internen Leckagen. Externe Leckagen vermindern die

Wärmerückgewinnungsrate und können ebenfalls zu unerwünschten Verschmutzungen, Kaltluft- oder anderen Infiltrationen (z.B. Gerüchen) in die Zuluft führen. Das gilt insbesondere für die kleinräumigen Verhältnisse in Schächten und Lüftungszentralen. Dort müssen die Lüftungsbauteile luftdicht verarbeitet sein (Wärmetauscher generell und Leitungsstränge vor dem Zuluft- und nach dem Abluftventilator).

Während bei Kompaktgeräten bisher ein Grenzwert von jeweils maximal 3% für die interne bzw. externe Leckage gefordert wurde (vgl. Feist 1999, S. 6ff.), empfehlen wir als Zielwerte für den Geschoßwohnungsbau über Wärmetauscher und Rohrnetz :

Interne Leckage  $\leq 1,0\%$

Externe Leckage  $\leq 1,0\%$

bei 50 Pa Druckdifferenz und Nennvolumenstrom einzuhalten. Für den Wärmetauscher allein können in dieser Größenordnung Leckagewerte von  $\leq 0,5\%$  erreicht werden.

Meßergebnisse aus der Überprüfung am Pilotprojekt sind hierzu im Abschnitt B beigefügt.

## II. Frostfreier Betrieb

Je höher die Rückwärmzahl des Wärmetauschers, desto eher kann auf der Fortluftseite des Wärmetauschers bei niedrigen Aussentemperaturen Vereisung auftreten. Bei Kompaktaggregaten wurde dieser Vereisungsgefahr bisher häufig dadurch begegnet, daß die Frischluft entweder per Bypass am Wärmetauscher vorbeigeführt (a) oder die Zuluft abgeschaltet wurde (b), um so den Wärmetauscher über die Wärme aus der Abluft wieder vom Eisansatz zu befreien.

Diese Art der Enteisungs-Lösungen sind aus den folgenden Gründen unbefriedigend:

### a) Kalte Zuluft

Die Führung der Frischluft über einen Bypass am Wärmetauscher vorbei führt zur Einbringung von kalter Zuluft in die Wohnungen. Dies widerspricht den Behaglichkeitskriterien. Es verursacht ferner eine Abkühlung der Zuluftleitung im Versorgungsschacht und kann so zur Tauwasserbildung auf den Rohroberflächen führen.

### b) Unterbrechung des kontinuierlichen Luftwechsels

Ein Abschalten der Zuluft verschlechtert die Luftqualität in den Wohnungen. Es hat zudem eine nicht ausgeglichene Luftmengenbalance zur Folge, wodurch aufgrund des Abluftüberschusses in den Wohnungen erhöhte Kaltluftinfiltrationen über die Restleckagen der Gebäudehülle die Folge sind. Dies führt zu erhöhtem Energieverbrauch.

c) Fehlende Nachheizung

Bei sonnenarmer, kalter Witterung ist eine Restwärmebereitstellung über die Zuluft erforderlich. Durch Abschalten der Zuluft ist die Versorgung der Wohnräume mit nacherwärmter Zuluft unterbrochen. Dies bedeutet ebenfalls eine Behaglichkeitseinschränkung.

Um einer Vereisung des Wärmetauschers auf der Fortluftseite vorzubeugen, gibt es technisch zwei Möglichkeiten:

- (1) Entweder wird die Frischluft an sehr kalten Tagen bereits vor Eintritt in den Wärmetauscher vorgewärmt,
- (2) oder die Abluft wird vor dem Wärmetauscher soweit erwärmt, daß ein fortluftseitiges Einfrieren verhindert werden kann.

Regelungstechnisch kann die erforderliche Wärmezufuhr über die Messung der Fortlufttemperatur geregelt werden.

Durch die Vorheizung der Frischluft (1) wird für diese Zeit die Rückwärmzahl des Wärmetauschers vermindert.

Die Vorheizung kann über die Heizungsanlage erfolgen, dafür muß dieser Frostschutzheizkreis vom übrigen System mittels Wärmetauscher getrennt und mit einem Frostschutzmittel gegen Einfrieren geschützt werden. Hierbei ist zu beachten, daß die Wärmekapazität der Flüssigkeit durch den Frostschutzzusatz verringert und die Viskosität erhöht wird. Der Druckverlust im Rohrnetz liegt bei der Mischflüssigkeit Wasser/Frostschutz ca. 40-50% höher als bei reinem Wasser. Aus diesen Gründen müssen sowohl das Frostschutz-Vorheizregister als auch das Leitungssystem größer dimensioniert werden.

Die einfachste und preiswerteste Frostschutzsicherung ist ein elektrisches Vorheizregister zwischen F7-Filter und Wärmetauscher im Frischluftstrang. Das Filter hält das Heizregister sauber.

Eine andere Möglichkeit der Frostschutzvorheizung ist die Verwendung eines elektrischen Heizregisters im Frischluftstrang. Da die Vereisungsgefahr auf jährlich ca. 300 Betriebsstunden (Frankfurt) bis 600 Betriebsstunden (München) beschränkt ist, hält sich der elektrische Energieeinsatz hierfür in Grenzen. Für Kassel rechnen wir mit jährlichen Kosten im Mittel pro Wohneinheit von ca. 3-5 DM/a.

Um eine Vereisung zu verhindern, muß die Frischluft auf ca.  $-5^{\circ}\text{C}$  vorgewärmt werden. Bei einer Rückwärmzahl von 85% bleibt damit die Fortlufttemperatur, auch bei geringer Abluftfeuchte über  $0^{\circ}\text{C}$ . Damit ergeben sich als Heizgradstunden mit Außenlufttemperaturen unter  $-5^{\circ}\text{C}$  für Frankfurt ca. 0,5 kWh und für München ca. 1,5 kWh. Für eine  $70\text{m}^2$ -Wohnung werden für den Frostschutz der Lüftungsanlage jährlich die folgenden Energiemengen, die der Frischluft durch elektrischen Strom zugeführt werden, benötigt:

- Frankfurt: ca. 17 kWh/Wohnung und Jahr
- München: ca. 50 kWh/Wohnung und Jahr

Unter Berücksichtigung der im Wärmetauscher freiwerdenden Kondensationswärme von feuchter Abluft fallen die Werte sogar noch etwas niedriger aus.

Bei elektrischen Heizregistern ist zu beachten, daß die Luftgeschwindigkeit an den Heizdrähten eine Mindestgeschwindigkeit von 1,5 m/s nicht unterschreitet (Herstellerangabe). Die Heizelemente sollen keine Temperaturen über 200°C erreichen (Korrosionsgefahr des Heizdrahtes). Eine elektronische Frostschutzüberwachung berücksichtigt diese Anforderung am besten über eine stetige Leistungsregelung des Heizregisters.

Bei Vorschaltung eines Erdreichwärmetauschers erreicht die Frischluft den Wärmetauscher frostfrei, wenn der Erdreichwärmetauscher entsprechend dimensioniert ist, und eine Vereisung der Fortluftseite ist ausgeschlossen. Im Geschoßwohnungsbau werden Erdreichwärmetauscher jedoch auch langfristig keine Bedeutung erlangen, da bei Aufstellung der Lüftungszentralen im Dachbereich die Vorteile der Erdreichwärmetauscher im Vergleich zum Mitteleinsatz zu gering sind.

Eine Aufheizung der Abluft (2) zur Sicherung einer frostfreien Fortluftseite ist technisch bei hohen Rückwärmzahlen (85%) sehr aufwendig, da die erforderlichen Ablufttemperaturen ein Vielfaches der Betriebstemperatur betragen müßten:

Die Formel zur Berechnung der Rückwärmzahl lautet:

$$RWZ = \frac{T_{Zuluft} - T_{Abluft}}{T_{Abluft} - T_{Außenluft}}$$

Daraus läßt sich die Fortlufttemperatur wie folgt berechnen:

$$T_{Fortluft} = T_{Abluft} - (RWZ \cdot (T_{Abluft} - T_{Außenluft}))$$

In diesem Beispiel bleibt die Energiemenge, die durch Kondensation von Luftfeuchtigkeit frei wird, unberücksichtigt.

Bei einer Außenlufttemperatur von -15°C und einer Rückwärmzahl von 85% müßte die Abluft auf ca. 92°C erhitzt werden, um eine Fortlufttemperatur von 1 °C zu erreichen. Diese Lufttemperatur ist mit heutigen Warmwasserheizungen nicht mehr realisierbar, da die Vorlauftemperatur des Heizungswasser noch ca. 10K über der zu erreichenden Lufttemperatur liegen müßte. Dadurch würden aber auch die Wärmeverluste des Rohrnetzes erheblich ansteigen.

Auch bei einer Rückwärmzahl von 80% müßte die Abluft noch auf 65°C erhitzt werden. Dies macht eine Vorlauftemperatur des Heizwassers für das Heizregister von 75-80°C erforderlich, die wiederum zu erhöhten Leitungsverlusten führen. Darüber hinaus gehen 15-25% der eingesetzten Energie verloren, weil durch den Wärmetauscher ja nur 75-85% der Wärme zurückgewonnen werden.

Bei Einbeziehung der freiwerdenden Kondensationswärme in die Rechnung wird sich der erforderliche Energieeinsatz je nach Feuchte der Abluft zwar vermindern, dennoch bleibt der erforderliche Aufwand erheblich.

Die Variante (1) "Vorheizung der Frischluft" ist daher in der Ausstattung mit elektrischem Vorheizregister zu empfehlen, benötigt dann jedoch eine sehr feinfühlig und auf möglichst geringe Grenztemperatur eingestellte Regelung.

### III. Balancierte Luftmengen

Die Sicherung der Luftmengenbalance je Wohneinheit bedeutet eine Minimierung der Wärmeverluste. Dabei stellt das Erreichen einer nahezu balancierten Lüftung, unabhängig von den Betriebsbedingungen der Anlage, ein unverzichtbares Kriterium dar. Nur mit einer ausgeglichenen Mengenbilanz im Zu- und Abluftstrang (balancierte Lüftung) können die Energieverluste einer unkontrollierten In- bzw. Exfiltration über der Gebäudehülle minimiert werden. In [Werner 1997, S. III/18ff.] wurde der Einfluß nicht abgeglicherer Luftmengen auf den Energieverbrauch bereits dargestellt, die zulässige Disbalance sollte einen Wert von 10% nicht überschreiten, als Zielwert sind 5% anzusehen.

Generell gilt und für Passivhäuser besonders, daß jede Lüftungsanlage dem jeweiligen Einsatzzweck entsprechend eingestellt und eingemessen werden muß.

Eine bei Inbetriebnahme der Anlage eingestellte Fixierung des Betriebspunktes gilt jedoch nicht dauerhaft. Vielmehr verändert sich durch ansteigende Reibungsverluste, insbesondere in den vorgeschalteten Luftfiltern, die Rohrnetz-kennlinie, und dies im Abluftstrang anders als im Zuluftstrang.

Um die Balance der Luftmengen innerhalb der Wohneinheit sicherzustellen, gibt es drei unterschiedliche Möglichkeiten:

Die erste Variante zur Erzielung ausgeglichener Luftmengen arbeitet mit zentraler Ventilatoreinheit und paarweise dezentralen Volumenstromreglern in den Wohnungen, zur Luftmengenmessung werden Staukreuze eingesetzt. Die zweite Lösung verwendet dezentrale Ventilatoren mit Konstant-Volumenstrom-Regelung und kommt ohne Meßeinrichtungen im Luftkanal aus. Die dritte Bauart regelt den wohnungsweisen Luftvolumenstrom ebenfalls mit dezentralen Ventilatoren in der Wohnung, kompensiert aber den Druckverlust der Lüftungszentrale mittels großer Ventilatoren.

#### a) Volumenstromregler mit Zentralventilator und Konstantdruck-Regelung

Anstatt der wohnungsweisen Ventilatoren ist der Einsatz von Volumenstromreglern im Zu- und Abluftstrang jeder Wohnung möglich. Die Ventilatoreinheit befindet sich dabei in der Lüftungszentrale und fährt das Lüftungsnetz mit konstantem Vordruck.

Aus dieser Anordnung ergeben sich die folgenden Vor- und Nachteile:

Vorteile:

1. Auf Rückschlagklappen vor jeder Wohneinheit kann verzichtet werden.
2. Wenige zentrale („große“) Ventilatoren bieten bessere elektrische Wirkungsgrade als der Einsatz vieler kleiner Ventilatoren
3. Die Schallausbreitung durch den Ventilator erfolgt nur in der Lüftungszentrale.

## Nachteile:

1. Volumenstromregler haben den Nachteil, daß der Volumenstrom über eine Regelklappe (und nicht über eine Irisblende) eingestellt wird. Eine wesentliche Reduktion der Luftmenge tritt erst bei fast geschlossener Klappe ein. Diese Stellung verursacht jedoch sehr hohe Druckverluste und damit auch erhebliche Lärmemissionen. Ferner ist dieser vergleichsweise kleine geometrische Stellbereich sehr instabil hinsichtlich der Genauigkeit der Luftmengeneinstellung. Abgesenkte Luftmengen sind damit quasi nicht einstellbar.
2. Der Einsatz von Irisblenden zur Volumenstromregelung ist aufgrund der aufwendigen und anfälligen Mechanik problematisch.
3. Es entstehen deutlich höhere Kosten für die Meßtechnik und Volumenstromregelung, insbesondere wenn Volumenstromregler mit statischem Meßprinzip verwendet werden.
4. Durch Addierung von Meßfehler toleranzen sind größere Abweichungen von der balancierten Lüftung möglich.
5. Bei einer kostensparenden Variante ergibt sich u.U. ein erhöhter Aufwand bei dem Versuch der Einjustierung der wohnungsweisen Regelungen (Inbetriebnahme).
6. Die Volumenstromregelung erfolgt über Messen im Luftstrom, d.h. Gefahr der Verschmutzung und Veränderung der Funktionsweise während der Betriebsdauer.
7. Die Druckverluste einer solchen Regelstrategie sind hoch.

## b) Ventilatoren mit integrierter Konstant-Volumenstrom-Regelung

Hier diskutiert wird der Einsatz je eines wohnungsweisen Zu- und Abluftventilators, jeder Ventilator verfügt über eine integrierte Konstant-Volumenstrom-Regelung. Damit wird auf einfache und kostengünstige Weise eine balancierte Lüftung für alle Betriebszustände sichergestellt. Der Vorteil dieser neuen Ventilatorengeneration ist, daß der Volumenstrom-Abgleich allein elektronisch erfolgt, d.h. die Funktionsweise ist unabhängig von Verschmutzungen etc. im Rohr- und damit auch im Meßsystem.

Diese Ausstattung entspricht im Ansatz dem eines Kompaktaggregates, allerdings mit dem Unterschied, daß für den Geschoßwohnungsbau die Luftaufbereitung (Filter, Frostschutz) und die Wärmerückgewinnung zentral angeordnet werden sollen. Diese Zentralisierung bedeutet auch, daß mehrere Wohnungen an gemeinsamen Sammelleitungen gebündelt bis zu einer Lüftungszentrale geführt werden. Demzufolge sind dichtschießende Rückschlagklappen vor jeder Wohnung unverzichtbar.

Theoretisch ist auch der Fall denkbar, daß Kompaktaggregate wohnungsweise ohne Sammelleitung eingesetzt werden, die Frisch- und Fortluft dann direkt über Anschlüsse in den Außenwänden gefördert würde. Diese Variante ist allerdings sowohl bei heutigen Grundrissen als auch vor dem Kostenhintergrund nur schwer realisierbar. Außerdem ist die Zugänglichkeit der Kompaktaggregate für Service und Wartung wichtig, eine Positionierung in den Wohnungen daher nachteilig.

Die Verwendung dezentraler Ventilatoren mit Konstant-Volumenstrom-Regelung bietet die folgenden Vor- und Nachteile:

Vorteile:

1. Durch die Funktionsweise der Ventilatoren werden konstante Volumenströme verschleiß- und wartungsfrei gewährleistet.
2. Jede Wohneinheit kann sehr kostengünstig mit einem variablen Volumenstrom-Angebot ausgestattet werden.
3. Bei einem Ventilatordefekt ist nur eine Wohneinheit betroffen, alle übrigen Wohneinheiten werden weiter versorgt.
4. Der Anrechnung des Stromverbrauchs für die Lüftung erfolgt wohnungsweise.

Nachteile:

1. Vor jeder Wohnung sind dichtschießende Rückschlagklappen erforderlich, um Infiltrationen zwischen verschiedenen Wohneinheiten zu vermeiden, wenn z.B. einzelne Zuluftventilatoren einer gemeinsamen Sammelleitung abgeschaltet sind.
  2. Die Lüftungsmotoren müssen einen leisen Betrieb garantieren bzw. die Schallausbreitung muß gedämpft werden. Hinsichtlich der Körperschalldämpfung können Ventilator und Rückschlagklappe als gemeinsames Bauelement betrachtet werden, denn auch die Rückschlagklappen erfordern eine einseitig biegeschlaffe Verbindung zum Rohrnetz, um möglichen Materialspannungen und damit verbundener Schwergängigkeit des Klappenbetriebes vorzubeugen.
  3. Der Installationsschacht muß eine ausreichend große Revisionsöffnung (mind. 80x80cm) vorsehen. Üblicherweise wird eine solche Revisionsklappe aus Blechmaterial hergestellt. Die Klappe sollte abnehmbar sein, um nicht durch Einrichtungsgegenstände der Wohnung den Zugang zum Schacht zu erschweren und ein gewisses Schalldämpfungsvermögen aufweisen.
  4. Zwar werden die wohnungsweisen Ventilatoren mit Gleichstrommotoren angeboten, dennoch ist der Stromeinsatz um den Faktor 1,5-2,5 größer als bei einem großen Drehstrom-Ventilator. Daher ist es wichtig, daß die aufzubringende externe Pressung (Gesamtdruckverlust des Lüftungsrohrnetzes) möglichst gering ist, das Lüftungsnetz incl. der Einbauten druckverlustarm ausgelegt wurde.
  5. Volumenstromkonstante Ventilatoren sind derzeit nicht für kleine Luftmengen ( $< 80-90 \text{ m}^3/\text{h}$ ) auf dem Markt verfügbar (s. Variante „c“).
- c) Dezentrale Ventilatoren zur Volumenstrom-Regelung in Verbindung mit druckverlustkompensierter Lüftungszentrale.

Dieses Konzept entspricht in wesentlichen Teilen der Variante b), allerdings mit dem Unterschied, daß der Druckverlust der Lüftungszentrale (Filter, Wärmetauscher, Nachheizregister) über zentral angeordnete

Ventilatoren abgefahren wird. Damit können die wohnungsweisen Ventilatoren im Bereich geringer Druckverluste arbeiten.

Ob ebenfalls volumenstromkonstante Ventilatoren wohnungsweise verwendet werden oder stufenlos regelbare, hängt z.Z. allein von den geforderten Mindestluftmengen ab. Für kleine Wohneinheiten oder Ein-Personen-Haushalte lassen sich mit volumenstromkonstanten Ventilatoren derzeit nicht die abgeminderten Luftmengen bis hinunter zu 40-50 m<sup>3</sup>/h erreichen.

Werden stufenlos regelbare Ventilatoren eingesetzt, so erfolgt die Volumenstrombestimmung über eine Staukreuzauswertung in der „staubfreien“ Zuluftleitung. Die Balanceregulung orientiert sich an den Druckverhältnissen in der Überströmzone ggü. der Wohnungshüllfläche und fährt den Abluftventilator entsprechend dem für einen balancierten Betrieb erforderlichen Luftvolumenstrom nach.

Im Sommerbetrieb werden die wohnungsweisen Ventilatoren außer Betrieb gesetzt und die Entlüftung erfolgt nur noch über einen zentralen Ventilator in der Lüftungszentrale. Damit die Zuluftversorgung auch bei geschlossenen Fenstern funktioniert, wird der zentrale Zuluftventilator in den Sommermonaten so eingeregelt, daß immer ein geringer Vordruck auf der Zuluftleitung vorhanden ist.

Ein weiterer Vorteil beim Betrieb mit druckverlustkompensierter Lüftungszentrale ist, daß die Sammelleitungen nur geringe Differenzdrücke aufweisen und damit die Anforderungen an die Dichtheit von Rohrleitungen und Einbauten weniger streng ausgelegt werden müssen.

Da in dieser dritten Variante der elektrische Leistungsbedarf der „kleinen“ Ventilatoren geringer ist, die zentralen Ventilatoren aber mit höherer Effizienz arbeiten, fällt die Strombilanz insgesamt positiver aus als bei den beiden vorherigen Varianten.

In der Variante c) wurde darauf verzichtet, die Vor- und Nachteile nochmal zu nennen, da das Konzept in weiten Teilen der Variante b) gleicht. Da es einige wesentliche Verbesserungen ggü. der Variante b) enthält, sehen wir es als das zukünftige Konzept für Passivhäuser im Geschoßwohnungsbau an, insbesondere wenn mehr als 6-8 Wohneinheiten an eine Lüftungszentrale angeschlossen werden sollen.

Das Konzept a) halten wir wegen der unzureichenden Regelmöglichkeiten für den Nutzer für nicht empfehlenswert.

#### IV. Energieeffizienz

Die Energieeffizienz soll die Summe der für die Bereitstellung einer balancierten Lüftung mit Wärmerückgewinnung erforderlichen Primärenergie im Verhältnis zur

geförderten Luftmenge ausweisen. Als obere Grenze des Stromverbrauchs einer Lüftungsanlage incl. Regelung wird bisher ein Wert von  $0,45 \text{ Wh/m}^3$  angegeben (Feist 1999, S. 6ff.).

Dieser Grenzwert resultiert aus dem Einsatz von Lüftungs-Kompaktgeräten mit durchschnittlichen Gleichstrommotoren (Ventilatorwirkungsgrad  $\eta_{\text{Ventilator}} \approx 20\text{-}25\%$ ). Mit besten Gleichstrommotoren lassen sich in der Ventilatorgröße DN 125 (bis ca.  $250 \text{ m}^3/\text{h}$ ) Wirkungsgrade von ca.  $\eta_{\text{Ventilator}} \approx 40\%$  erreichen.

Eine weitere Steigerung ist nur über die Verwendung größerer Ventilatoren (Lüftungszentrale) z.B. mit Drehstromantrieb möglich ( $\eta_{\text{Ventilator}} \approx 60\text{-}70\%$ ).

Diese Angaben zeigen auf, daß durch die Verwendung eines größeren zentralen Ventilators deutlich bessere Effizienzwerte zu erreichen sind. Allerdings ist damit noch nicht die Menge sonstiger elektrischer Hilfsenergie erfaßt, die sich infolge der Drosselung (Volumenstromregler) und deren Motorantriebe ergibt. In erster Näherung verbleibt jedoch ein elektrisch deutlich effizienterer Betrieb infolge des besseren elektrischen Wirkungsgrades des größeren Ventilators.

#### V. Luftaufbereitung (Filter)

Den Filtern in der Lüftungsanlage kommen zwei wesentliche Funktionen zu, sie sollen

1. die in das Gebäude eingebrachte Frischluft sauber den Bewohnern zur Verfügung stellen und
2. die Bauteile der Lüftungsanlage (Rohrnetz, Luftherhitzer, Wärmetauscher etc.) frei von Verschmutzungen und Ablagerungen halten.

Für die Filterung der Frischluft ist ein hochwertiges Filter mit mindestens 85% mittlerem Wirkungsgrad ggü. atmosphärischem Staub zu verwenden, dies entspricht der (Fein-) Filterklasse F7 (Filterklasse gemäß DIN EN 779). Das Filter kann direkt als erstes Bauteil in der Aggregatgruppe der Frischluftleitung eingebaut werden. Auf diese Weise werden auch das Frostschutz-Vorheizregister und der Wärmetauscher (hocheffiziente Wärmerückgewinnung) frei von Verschmutzungen gehalten.

Wird der Lüftungsanlage ein Erdreich-Wärmetauscher vorgeschaltet, so muß sich das F7-Filter am Lufteintritt vor dem Erdreich-Wärmetauscher befinden.

Luftfilter sollen vergleichsweise groß dimensioniert werden, dies erhöht zwar auch geringfügig die Investitionskosten, hat aber einen geringeren Druckverlust und längere Standzeiten zur Folge. Zudem sind die Mehrkosten eines größeren Filters geringer als der Mehraufwand kürzerer Wartungsintervalle. Die Filter sind mit geringem Druckverlust (ca.  $25\text{-}30 \text{ Pa}$  im Neuzustand) für eine Standzeit von einem Jahr zu dimensionieren.

Zur Auswahl stehen eigenstabile Kompaktfilter oder Taschenfilter. Letztere sind zwar preisgünstiger und haben eine größere Staubspeicherfähigkeit, sind jedoch wegen der vergleichsweise geringen Luftmengen nicht ausreichend

formstabil. Die formstabilen Kompaktfilter auf Glasfaser-Papierfilter-Basis sind mit großer Oberfläche für geringen Druckverlust auszuwählen. Bei  $1000 \text{ m}^3/\text{h}$  sind Filterflächen von ca.  $15 \text{ m}^2$  vorzusehen.

Ob einem hochwertigen F7-Filter noch ein Grobfilter (z.B. G4) vorgeschaltet werden soll, hängt von den örtlichen Gegebenheiten und insbesondere der Staubbelastung ab. Ist dieses Vorfilter erforderlich, um einer schnellen Grobverschmutzung des Feinfilters vorzubeugen, so sind für das Grobfilter kürzere Wechselintervalle vorzusehen. Anderenfalls würde die Lüftungsanlage zu häufig gegen zu hohe Strömungswiderstände arbeiten.

In gleicher Weise wie dem Wärmetauscher der Wärmerückgewinnung frischluftseitig ein F7-Filter vorgeschaltet ist, ist vor dem Eintritt der Abluft in den Wärmetauscher ein F6-Filter anzuordnen.

Auf jeden Fall sind auch Meßstutzen vor und nach jedem Filter zur Überwachung (Wartungsdienst) vorzusehen. Eine automatische Überwachung ist nicht erforderlich. Die Filter müssen leicht zugänglich und revisionierbar sein. Die Frischluft-Eintrittsöffnung ist so anzuordnen bzw. mit einem Luftgitter auszustatten, daß weder Niederschläge noch Schlagregen in den Luftkanal eindringen können. Die Position und Höhe über Grund ist ferner so anzuordnen, daß weder Kleinotter noch pflanzliche Schwebstoffe und auch nicht menschlicher Schabernack die Luftqualität bzw. die Filterstandzeit mindern können.

In den Wohnungen empfiehlt es sich, Luftfilter der Filterstufe G3 vor den Abluftventilen in Küche und Bad zu installieren. Diese G3-Filter sind z.B. mit eigenem Metallgehäuse erhältlich und werden den Abluftventilen vorgeschraubt. Sie eignen sich lediglich zum Rückhalten von (Kleider-) Flusen und Stäuben. Auf diese Weise können die Abluftleitungen wirkungsvoll vor größeren Ablagerungen geschützt werden.

Die Montage einer Dunstabzugshaube in der Küche ist nur im Umluftbetrieb möglich, damit bleiben die Fette und z.T. auch die Geruchsstoffe in den Haubenfiltern (Aktivkohlefilter), die Lüftungsanlage sorgt über die Abluft für Lufterneuerung und den Abtransport der übrigen Geruchsbelastung.

Allerdings nutzt der beste Filter nichts, wenn die Luftleitungen bereits verschmutzt auf die Baustelle geliefert werden bzw. im Baustellenbetrieb durch unsachgemäße Lagerung verdrecken. Seitens der Bauleitung ist daher darauf zu achten, daß diese Leitungen immer durch Folien abgedeckt sowie vor Witterungseinflüssen und Baustellenbelastungen (Staub, Farbe, etc.) geschützt werden. Auch die Öffnungen von bereits montierten Lüftungsleitungen sind durch Abdeckungen (Folie mit Klebestreifen oder besser Verschußdeckel) vor Verschmutzung zu schützen.

## VI. Schall- und Wärmeschutz

Beim Schall gilt der Stand der Technik und dieser übersteigt die Forderungen der DIN 4109 deutlich. Dies betrifft auch sämtliche Installationen der Technischen Gebäudeausrüstung. Anders als bei Heizungsanlagen ist bei Lüftungsanlagen neben dem Körperschall auch die Reduktion des Luftschalls eine ganz wichtige Aufgabe bei der Planung und Ausführung.

Bei Lüftungsanlagen sind also zum einen die Ventilatorgeräusche einzudämmen, zum anderen auch die Strömungsgeräusche der Luft soweit zu minimieren, daß diese im Normalbetrieb der Lüftungsanlage im Wohnraum nicht mehr wahrnehmbar sind.

Ventilatoren werden in die Lüftungsleitung installiert und weisen rotierende Massen auf, die andere Bauteile zum Schwingen anregen können. Bei der Lüftungsvariante mit dezentralen Ventilatoren sind diese daher wohnungsweise körperschallmäßig zu entkoppeln. Dafür ist eine elastische Anbindung zu beiden Seiten des Ventilators (Potentieller Schwingungserreger) vorzusehen. Ein Telefoniesschalldämpfer ist für eine solche Schwingungsentkopplung ausreichend (Lüftungsstrang zur Wohnung). Die Anbindung an den Steigestrang kann z.B. mit einem biegeschlaffen Rohrmaterial (Segeltuchstutzen, Gummischlauch<sup>2</sup>) hergestellt werden.

Die Ventilatorgeräusche setzen sich auch über die Luftschallausbreitung fort. Sofern sich die Revisionsöffnung für die Ventilatoren innerhalb der Wohnung befindet, sollte diese gewisse schalldämpfende Fähigkeiten aufweisen und spaltfrei eingebaut sein. Diese Eigenschaften sind mit den Anforderungen an Gestaltung und Montagefreundlichkeit in Einklang zu bringen.

Der Luftschall in den Leitungen wird am wirksamsten durch Schalldämpfer reduziert.

Zur Bestimmung der notwendigen Schalldämpferlängen und Materialdicken sind die Angaben der Hersteller zusammen mit den Kenndaten der Luftventile auszuwerten und die resultierenden Schalldruckpegel zu berechnen. Dabei zeigt sich, daß Unterschiede in den technischen Daten (Oktavbänder) der Schalldämpfer verschiedener Hersteller auch deutliche Qualitätsabweichungen zur Folge haben können. Dies ist in zweierlei Hinsicht von Bedeutung:

- Die Luftverteilleitungen innerhalb der Wohnung werden häufig innerhalb der abgehängener Decken (z.B. in Flur und Bad) untergebracht. Dabei soll die Höhe der Abhängung so gering wie möglich sein, üblicherweise 20 bis max. 25 cm. Demzufolge können in den Fluren nur Schalldämpfer mit Packungsdicken von 25 mm verwendet werden.
- Der bewertete Summen-Schalldruckpegel soll 5 dB(A) besser sein als nach DIN 4109 gefordert.

---

<sup>2</sup> Gummischläuche aus EPDM-Kautschuk mit einer Wandstärke von 2-3 mm und maximal 50 shore-A Härtegraden sind gut geeignet.

Bei der Ausschreibung der Bauteile muß bei den Schalldämpfern darauf geachtet werden, das sowohl die Packungsdichte als auch die Dämpfungswerte angegeben werden. Hochwertige Schalldämpfer mit 25mm Packungsdichte erreichen oft diesselben Dämpfungswerte wie Minderwertige mit 50mm Packungsdichte.

Diese dickeren Schalldämpfer hätten jedoch zur Konsequenz, daß die Decken um 5 cm tiefer abgehängt werden müßten.

Störgeräusche sollen möglichst sofort am Ort der Entstehung gemindert werden, daher ist unmittelbar nach einem Ventilator immer ein Schalldämpfer zu platzieren. Bei der Variante mit dezentralen Lüftern hat es sich bewährt, im Schacht in Zu- und Abluftleitung je ein Schalldämpfer (Länge=1,0 m, 50 mm Packungsdichte) zu installieren. Ein zweiter Schalldämpfer wird unmittelbar vor jedem Zu- bzw. Abluftventil in die Rohrleitung integriert. Damit wird eine hervorragende Übersprechdämpfung zwischen den Räumen erreicht. Bei einer Gesamtschalldämpferlänge von ca. 2,25 m und Einbeziehung der Zu- und Abluftventile (Einfügungsdämpfung) werden in den Wohnräumen keine Lüftungsgeräusche mehr wahrgenommen.

Die Luftleitungen im Installationschacht brauchen i.d.R. nicht wärmegeklämt zu werden, solange der Schacht innerhalb der wärmegeklämten Hülle des Passivhauses verläuft, hier stellen sich nur minimale Temperaturdifferenzen ein. Von dieser Regel gibt es eine Ausnahme: die Zuluftleitung ab dem Nachheizregister ist mit Wärmedämmung zu versehen. Sind die Nachheizregister dezentral angeordnet, ist diese Leitungsstrecke vergleichsweise kurz.

Werden Lüftungsleitungen außerhalb der wärmegeklämten Hülle geführt, so sind diese sehr gut wärmezudämmen. Bei Sammelleitungen von DN 300-400 sind Mindestdämmstärken von 10 cm (KG) und mehr erforderlich. Dies bedeutet einen erheblichen Kostenaufwand. Daher sollte zwingend versucht werden, Luftsammelleitungen immer innerhalb der wärmegeklämten Hülle führen zu können und auch die Lüftungszentrale innerhalb des Passivhauses zu platzieren.

## VII. Qualitätssicherung bei der Installation

Das Thema „Qualitätssicherung“ am Bau ist nicht neu. Passivhäuser haben diesbezüglich den großen Vorteil, daß alle Beteiligten (Bauherrenschaft, Planer und Handwerker) mit mehr Feingefühl am Werk sind. Es geht bei der Qualitätssicherung nicht allein um die Ausführung vor Ort, sondern z.B. auch um die Baustellenkoordinierung, Termine und Materialeinkauf.

Worauf kommt es bei *kostengünstigen, passivhaustauglichen Lüftungsanlagen im Geschoßwohnungsbau* in Bezug auf die Qualitätssicherung an:

- a) Saubere Verarbeitung sämtlicher Bauteile von Lüftungsanlagen (Ventilatoren, Rohrleitungen u.a.m.) und vorbeugender Schutz vor Verschmutzungen bei Lagerung und Einbau (Verschließen offener, insbesondere vertikaler Luftleitungen). Denn Luft ist ein Lebensmittel.
- b) Luftdichte Montage von Rohrleitungen und Einbauteilen, um Infiltrationen und Exfiltrationen zu minimieren, die Obergrenze der tolerierbaren Leckagen wird durch das Geruchsvermögen der menschlichen Nase bestimmt.
- c) Schwingungsentkoppelte Lagerung bzw. Befestigung von Motoren zur Minimierung der Schalleffekte. Dieses Prinzip sollte unabhängig von den herstellerseitig zugesicherten Gleichlaufeigenschaften der Motoren realisiert werden.
- d) Einbauten in die Lüftungsanlage sollen frei von Material- oder Dehnungsspannungen erfolgen. Dies betrifft insbesondere solche Bauteile, die gegenüber jedweder Krafteinwirkung (Torsion oder Axialkrafteinwirkung) empfindlich sind. Um solche Spannungen sicher ausschließen zu können, sind solche Bauteile einseitig mit biegeschlaffem Material mit dem Lüftungsnetz zu verbinden.

Im Pilotprojekt trat ein solches Problem mit den dichtschießenden Rückschlagklappen auf. Diese sind aus Kunststoff gefertigt. Die Klappenlagerung reagierte sehr empfindlich auf Krafteinwirkungen über die starren Wickelfalzrohre, Verformungen führten hier bis zur Blockierung der Klappenbeweglichkeit.

- e) Thema Materialeinkauf:

Bei der Auswahl z.B. der Nachheizregister müssen nicht nur die Gehäuseabmessungen auf deren Integrierbarkeit innerhalb der Schachtmaße kontrolliert werden, vielmehr ist auch zu überprüfen, daß alle herstellerseitigen Kennwerte (Wärmeleistung bei definierten Ein- und Austrittstemperaturen sowohl luft- als auch heizungsseitig, wasser- und luftseitige Druckverluste, Position und Größe der Anschlußstutzen) mit den planmäßigen Daten übereinstimmen.

Diese elementaren Grundsätze der Qualitätssicherung sind in den Vorbemerkungen der Ausschreibung zu fixieren und werksvertraglich zu sichern. In diesen Zusammenhang gehört auch, daß die technischen Daten der funktionalen Bestandteile der Lüftungsanlage in der Ausschreibung genannt werden müssen, um die erforderlichen Standards zu fixieren.

#### VIII. Platzbedarf und Integration im Gebäude

Während bei Einfamilien- und Reihenhäusern die Wohneinheit i.d.R. auch Gebäudeeinheit ist und diese über Nebenräume (Abstell, Haustechnik, Hauswirtschaft)

verfügen, ist beim Geschoßwohnungsbau innerhalb der Wohneinheiten nahezu kein Platz für Anlagentechnik vorgesehen.

Die bei verdichteter Wohnbebauung favorisierte Lösung für Lüftungsanlagen im Geschoßwohnungsbau stellt daher eine Kombination von dezentraler und zentraler Lüftungstechnik dar. Übergeordnete Baugruppen, wie beispielsweise die Wärmerückgewinnung oder die Luftfilterung, können für mehrere Wohneinheiten gebündelt angeordnet werden. Bei den nutzungsspezifischen Bestandteilen einer Lüftungsanlage, wie z.B. der Luftmengenregelung oder der Nachheizung, kann den Wünschen der Bewohner Rechnung getragen werden, da sich diese Funktionen dezentral anordnen lassen (Semizentrale Lüftungstechnik).

Um die Verteil- und Sammelleitungen einer Zu- und Abluftanlage (Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung) in den Steigeschächten unterzubringen, sind die Steigeschächte in Passivhäusern ggü. Installationsschächten im konventionellen Geschoßwohnungsbau um ca. 0.7 m<sup>2</sup> pro Schacht zu vergrößern. Dabei ist die Anordnung des Lüftungsschachtes relativ frei wählbar. Möglicherweise sind auch getrennte Schächte (Heizung/Lüftung und Wasser/Abwasser) eine gute Lösung. Bei der Platzierung der Revisionsöffnung ist wichtig, daß diese gut erreichbar ist, nicht dauerhaft zugestellt oder auch nicht im Spritzwasserbereich angeordnet sein darf.

#### Treppenhäuser:

Im Geschoßwohnungsbau sind Treppenhäuser Verkehrsfläche und ermöglichen den Zugang zu den Wohnungen. Sofern Treppenhäuser und ggf. auch Abstellräume innerhalb der wärmegeämmten Hülle angeordnet sind, sind diese Flächen in das Lüftungskonzept (mit Wärmerückgewinnung) einzubeziehen. Innenliegende Treppenhäuser bilden eine geschlossene Einheit, die Wohnungstüren schließen luftdicht gegenüber dem Treppenhaus ab, allein die Haustür stellt eine geringe Leckage für das Treppenhaus dar. Die Lüftungstechnik für diese Räume ist unabhängig von und mit deutlich geringeren Luftwechselraten als bei den Wohnungen zu betreiben. Die Betriebszeiten dieser Lüftung sollten über eine Tageszeitschaltuhr einstellbar sein.

Eine Ankopplung im Treppenhaus liegender Abstellräume an die Wohnungslüftung - das wären die kürzesten Leitungswege - ist aufgrund der dann wieder gestörten Wohnungs-Luftmengen-Balance nicht empfehlenswert. Da die Türen von Abstellräume zwar in T30-Qualität, nicht aber rauchdicht sein müssen, kann über das Entlüften der Abstellräume auch eine Entlüftung der Treppenhäuser ermöglicht werden.

Vom Wohnbereich abgeschlossene Treppenhäuser werden in der DIN 4701 mit 10°C angenommen, eine Beheizung ist nicht erforderlich. Die Temperatur der Treppenhäuser von Passivhäusern im Geschoßwohnungsbau liegt deutlich über dem DIN-Wert. Zur Minimierung der Wärmeverluste der Wohnungen zum Treppenhaus ist neben der luftdichten Wohnungstür auch eine Wärmedämmung der Treppenhausflächen zu empfehlen.

## IX. Bauliche Randbedingungen

### Luftdichtheit

Die Luftdichtheit der Gebäudehülle ist ein zwingendes Kriterium für die Funktionsweise eines Passivhauses. Daher ist eine Anlagentechnik zur geregelten Be- und Entlüftung mit Wärmerückgewinnung – also eine Frischluftanlage – ebenfalls unverzichtbar.

Das hat zur Konsequenz, daß eine Wohneinheit für sich betrachtet bei geschlossenen Türen und Fenstern eine (relativ) luftdichte Einheit darstellt. Die Lüftungsanlage sorgt im balancierten Betrieb für einen geordneten Luftwechsel, einmal vorausgesetzt, daß die Überströmzone zwischen Zu- und Ablufträumen funktioniert. Soll die Lüftungsanlage außerhalb der Heizperiode nur abluftseitig (z.B. zur Entlüftung fensterloser Bäder) betrieben werden, so ist das Nachströmen von Zuluft entweder über ein Fensterelement oder durch Betrieb des Zuluftventilators (bei geschlossenen Fenstern und Türen) zu ermöglichen.

### Brandschutz

Im Geschoßwohnungsbau kommt dem Brandschutz erhebliche Bedeutung zu. Jede Wohneinheit ist für sich genommen ein brandschutztechnisch eigener Bereich. Bei der Lüftungstechnik sind brandschutztechnische Einrichtungen nur dann nicht erforderlich, wenn dieser Wohnungsbereich nicht verlassen wird. Das ist allein dann der Fall, wenn Frischluft und Fortluft auf Höhe der Wohnung direkten Anschluß nach Außen haben. Dies wiederum ist prinzipiell nur mit Kompaktaggregaten möglich, in Wohnungsgrundrissen i.d.R. aber schwierig darstellbar und zudem kostenintensiv.

In allen anderen Fällen sind brandschutztechnische Vorkehrungen zur Verhinderung einer Brandübertragung über das Lüftungsnetz zwischen verschiedenen Wohnungen zu treffen. Die Maßnahmen sind auch abhängig vom Gebäudetyp und der Gebäudehöhe.

In der Regel werden übereinanderliegende Wohneinheiten (nicht nebeneinanderliegende) an Lüftungsleitungen in gemeinsamen (vertikalen) Installationsschächten angeschlossen, die im Bereich der Geschoßdecken mit Brandschutzeinrichtungen (z.B. Deckenschotts) gesichert sind. Die Schächte werden im Deckenbereich vergossen.

Der Brandschutz nebeneinanderliegender Wohnungen muß gesondert betrachtet werden. Der Einsatz von Brandschutzeinrichtungen nach DIN 18017 T3 (z.B. Deckenschotts) ist nur bei übereinanderliegenden Wohnungen und nur im Abluftstrang möglich. Hier ist im Einzelfall herstellerseitig

abzuprüfen, ob die infrage kommenden Brandschutzeinrichtungen auch für den Zuluftbetrieb zugelassen sind.

Sofern die Installationsschächte zweier benachbarter Wohnungen aneinandergrenzen, ist die Wohnungstrennwand auch innerhalb des Schachtes fortzusetzen.

Sollen nebeneinanderliegende Wohneinheiten an eine Lüftungsanlage in einem gemeinsamen Installationsschacht angeschlossen werden, so sind Brandschutz-Absperreinrichtungen nach DIN 1946 T. 6 (z.B. Brandschutzklappen) erforderlich. Für diese Brandschutzeinrichtungen besteht anders als bei Deckenschotts eine ½-jährige bzw. 1/1-jährige Wartungspflicht.

Es ist ferner empfehlenswert, im zuluftseitigen Lüftungskanal der Lüftungszentrale vor Eintritt in das Gebäude einen Rauchmelder zu platzieren, um die Zuluft im Brandfall abschalten zu können. Daß die Abluft dann weiterläuft ist nicht kritisch, sondern kann sogar einen Beitrag zur Entrauchung liefern.

## X. Bedienung/Wartung

Neben den technischen und wirtschaftlichen Anforderungen ist im Geschosswohnungsbau die benutzerfreundliche Bedienbarkeit der Lüftungsanlage von erheblicher Bedeutung. Nur eine von den Bewohnern und Mietern akzeptierte Anlage wird verstanden und richtig benutzt.

Auf jeden Fall ist zu beachten, daß die Anlagentechnik für die Nutzer Neuland darstellt, demzufolge herrscht anfangs Vorsicht und Respekt bei der Bedienung der Anlage vor. Damit die Nutzer mit der Bedienung schnell vertraut werden können, ist

- die Bedieneinheit einfach und übersichtlich mit klaren Funktionen zu gestalten.
- in der Wohnung eine kurze, bebilderte Bedienungsanleitung zu platzieren und
- den neuen Mietern eine persönliche kurze Einweisung in die Bedienung anzubieten.

Damit die Mieter durch mögliche Fehlfunktionen nicht verunsichert werden, sind bei Inbetriebnahme der Lüftung (Erstbezug) und auch bei Mieterwechseln die Funktionen der Anlage zu prüfen.

Die Zugänglichkeit wichtiger Anlagenbauteile im Installationsschacht und beim Wartungspersonal muß über geeignete Revisionsöffnungen gewährleistet werden. Sofern die Öffentlichen Versorgungsbetriebe die Revisionsöffnungen mitbenutzen (z.B. zur Zählerablesung), sind die Revisionsklappen so auszubilden, daß eine problemlose Öffnung möglich ist und Übereinstimmung mit den technischen Anschlußbedingungen (TAB) erzielt wird.

## XI. Komfort

Komfortkriterien bei Lüftungsanlagen im Geschößwohnungsbau sind insofern nicht zu vernachlässigen, als daß die Akzeptanz der Nutzer damit korrespondiert und so eine bessere Funktionsweise erreicht werden kann. Hierzu zählen:

- a) Luftwechsel  
Angemessene Lufterneuerung durch Abstimmung des Luftwechsels auf Personenzahl (ca. 30 m<sup>3</sup>/h) und Größe der Wohneinheit. Dies kann über eine verstellbare Luftmengenfunktion an der Bedieneinheit (Serviceebene) erreicht werden.
- b) Schallschutz  
Hierunter fällt sowohl die Begrenzung des Luftschalls (innerhalb und außerhalb des Lüftungsnetzes) auf einen Wert von max. 25 dB(A). Gleiches gilt für die Vermeidung von Körperschall, dieser läßt sich durch elastische Einbindung der Lüftungstechnik in das Gebäudetragwerk minimieren.
- c) Heizung  
Die Lüftungsanlage im Passivhaus ist auch ein Wärmeverteilsystem und damit auch mit dem Komfortgefühl „warme Wohnung“ assoziiert. Der Nutzer soll – auch wenn Passivhäuser im Heizverhalten eher träge sind - die Möglichkeit haben, die Zulufttemperatur und damit die Raumtemperatur in Grenzen frei zu wählen.
- d) Küchenlüftung  
Eine Aufnahme der Abluft von Dunstabzugshauben in die Lüftungsanlage ist im Geschößwohnungsbau aus brandschutzrechtlichen Gründen nicht möglich. Zudem wäre es auch nicht sinnvoll, da die Lüftungsleitungen erstens schnell verschmutzen würden und zweitens die Zuschaltung einer Dunstabzugshaube das Lüftungskonzept empfindlich stören würde.  
Dunstabzugshauben sind in Passivhäusern im Umluftbetrieb zu fahren, damit können fetthaltige Rückstände in der Haube gehalten werden, während die Küchenabluft die Gerüche entfernt.
- e) Pollenfreier Betrieb  
Die Versorgung der Wohnungen mit pollenfreier Zuluft ist in dem Lüftungskonzept mit „wohnungsweisen Ventilatoren“ ohne weiteres möglich. Werden die Wohneinheiten von der Lüftungszentrale über einen zentralen Ventilator versorgt, kann dieser zwar bei Bedarf zugeschaltet werden, eine eindeutige Zuordnung des damit verbundenen Strombedarfs ist aber nicht möglich. Die Möglichkeit der Versorgung mit pollenfreier Zuluft scheidet daher bei zentralem Ventilator-konzept im Geschößwohnungsbau eher aus.
- f) Keine gegenseitige Beeinflußung  
Zum Komfort einer Lüftungsanlage zählt auch, daß die Wohnungen hinsichtlich Küchengerüchen oder Farbausdünstungen bei Renovie-

rungsarbeiten lufttechnisch nicht gekoppelt sind. Die hierzu erforderlichen Maßnahmen sind in Kapitel (I.b) beschrieben.

- g) Praktikabilität und Handhabbarkeit  
Auch vom Nutzer/Bewohner wird eine gelegentliche Pflege der Lüftungsanlage erwartet. Die augenfälligste Tätigkeit ist dabei der Wechsel bzw. die Reinigung verschmutzter Abluftfilter in Bad und insbesondere Küche. Dieser Filter sollte mehrmals jährlich gewechselt werden, abhängig von den örtlichen Gegebenheiten und den Gewohnheiten der Nutzer. Der eigentliche Filterwechsel muß mit einfachen Handgriffen vonstatten gehen können. Für die Versorgung mit neuen Filtern kann ein Paar Filter (Bad und Küche) von der Vermieterseite halbjährlich über die Briefkästen verteilt werden.
- h) Design  
Zwar läßt sich über Geschmack vortrefflich streiten, dennoch sollten bei der Auswahl der sichtbaren Bauteile einer Lüftungsanlage (Zu- und Abluftventile, Abluftfilter, Überströmöffnungen, Schalter, offen verlegte Rohrleitungen etc.) auch versucht werden, das Auge der Nutzer zufrieden zu stimmen. Eine formschöne Designsprache hat noch keiner Technik geschadet.

## XII. Investitions- und Betriebskosten

Durch Bündelung der Lüftungstechnik im Geschößwohnungsbau ist infolge Anlagenvergrößerung eine Kostendegression zu erwarten. Auch Preisvorteile einer semizentralen Lüftungstechnik ggü. Einzellösungen mit wohnungsweisen Kompaktgeräten müßten sich im Verlauf weiterer Standardisierung und Innovation als insgesamt kostensenkend erweisen.

Der Vergleich spezifischer Investitionskosten im Geschößwohnungsbau mit denen von Einfamilienhäusern ist nur bedingt möglich, da die beheizte Wohnfläche im Einfamilienhaus stärker ansteigt als die Investitionskosten für Lüftungsleitungen und Luftauslässe. Aus diesem Grund ergeben sich beim Geschößwohnungsbau etwas höhere flächenspezifische Investitionskosten gegenüber Einfamilienhäusern. Vergleiche hierzu auch die Angaben aus [Stärz 1999]: Für ein Reihenhaus in Passivhausbauweise in Wiesbaden mit 104m<sup>2</sup> beheizter Wohnfläche ergaben sich flächenspezifische Kosten für die Heizungs- und Lüftungsanlage von 131 DM/m<sup>2</sup>. Bei einem größeren Passivhaus mit 118 m<sup>2</sup> beheizter Wohnfläche lagen die flächenspezifischen Kosten bei 102 DM/m<sup>2</sup>.

### 3.4 Lüftungsanlagenplanung für Passivhäuser im Geschößwohnungsbau

Effizienter Stromeinsatz erfordert geringe Druckverluste im Leitungsnetz. Bei zentralen Anlagen im Geschößwohnungsbau ist das Leitungsnetz länger und größer als bei Kompaktanlagen in Einfamilienhäusern. Die Höhe des Druckverlustes bestimmt sich aus dem Produkt Rohrlänge und spezifischem Druckverlust pro Meter zzgl. der Verlustwerte an Einzelwiderständen. Große Leitungsquerschnitte haben ggü. kleinen Durchmessern bei gleicher Strömungsgeschwindigkeit aufgrund der verringerten Grenzschichtwirkung auch geringere spezifische Druckverluste. Dies wirkt sich positiv auf den, trotz größerer Längen der Sammelleitungen, vergleichsweise wenig erhöhten Gesamtdruckverlust aus. Neben den signifikanten Druckverlusten der Filter und Wärmetauscher ist es unverzichtbar, sowohl das Leitungsnetz als auch die Einzelwiderstände mit minimalen spezifischen Druckverlusten zu planen und zu bauen. Dazu zählt auch, insbesondere bei Einzelbauteilen, die technischen Daten der Hersteller kritisch zu hinterfragen und ggf. sogar zu prüfen.

Zu diesem Thema paßt auch, daß der Druckverlust an den Zu- und Abluftventilen im Rahmen der erforderlichen Ventilautorität gering gehalten werden soll (ca. 20-25 Pa). Insbesondere sind jedoch die Überströmöffnungen zwischen Zu- und Abluftbereich mit geringstmöglichen Druckverlust (max. 1 Pa) und stets offenem Querschnitt zu planen. Die Ausbildung der Überströmöffnungen durch vergrößerten Türunterschnitt (1,5 cm) funktioniert nur solange, wie seitens der Nutzer keine dickflorigen Teppichböden ausgelegt werden.

Die Integration der Lüftungstechnik innerhalb der Gebäudegrundrisse erfordert eine frühzeitige und enge Zusammenarbeit zwischen Architekt und TGA-Planer. Der erhöhte Platzbedarf für die Sammelleitungen muß von vornherein beim Gebäudeentwurf berücksichtigt werden und wird dennoch oft unterschätzt. Die Schachtabmessungen müssen so bemessen sein, daß

die Abstände der Rohre zu den Wänden die Integration weiterer Bauteile, z.B. Brandschutzeinrichtungen (z.B. Deckenschotts), ermöglichen,

waagerechte Leitungen (z.B. Schmutzwasser) vor den Sammelleitungen quer im Schacht verzogen werden können,

der Abstand der Leitungen untereinander ausreicht, um die Rohre – wo erforderlich - mit einem Schall- bzw. Wärmeschutz zu versehen und zwischen den Rohren ggf. den Deckenverguß herzustellen.

Die wohnungsweise Lüftungstechnik (Zu- und Abluftventilator, Rückschlagklappen, Nachheizregister und Schalldämpfer) muß nicht zwingend im Schacht untergebracht werden. Diese kann z.B. auch in der abgehängenen Decke des Bades oder in einen verlängerten Besenschrank/Abstellraum integriert werden. Allerdings sind auch hier der Schallschutz, die Reversierbarkeit und der erforderliche Platzbedarf zu beachten, der im Bereich abgehängene Decke i.d.R. nicht ausreichend ist.

Die Verlegung der Lüftungsleitungen erfordert innerhalb der Wohneinheit zur Verteilung und abhängig von der Position des Installationsschachtes „Lüftung“ i.d.R. eine

Abhängung der Wohnungsdecke (zumeist ein Teil des Flures). Befindet sich der Installationsschacht „Lüftung“ im Bad, ist ebenfalls eine (Teil-) Abhängung des Bades empfehlenswert. Die Revisionsöffnung des Lüftungsschachtes sollte mindestens 80x80 cm betragen, daher ist bei Positionierung in Bädern ausreichend Abstand zu dem Feuchtebereich von Wannen und Duschen (Spritzwasserproblematik) zu halten.

Der Installationsschacht für die Lüftung muß nicht zwingend eine Einheit mit dem Sanitärschacht bilden. Der Lüftungsschacht kann auch sehr gut im Bereich der Garderobe oder im Bereich der rückwärtigen Seitenwand neben der Wohnungs-Eingangstür plaziert werden. Generell ist darauf zu achten, daß die Grundrißgestaltung kurze Leitungswege ermöglicht.

Aus diesen Gründen sollte der TGA-Planer möglichst frühzeitig in die Gesamtplanung einbezogen werden. Unter Umständen können die Lüftungsleitungen auch ganz bewußt als gestalterisches Element eingesetzt werden.

Generell ist beim Grundrißentwurf aus Kostengründen anzustreben, daß benachbarte Wohnungen auch benachbarte Installationsschächte erhalten (Brandschutz beachten). Auf diese Weise lassen sich Installationsschächte paarweise zu Lüftungszentralen zusammenfassen.

Hinsichtlich der Installation ist ein Aneinandergrenzen der Installationsschächte entlang der Längsseiten optimaler, wobei Zu- und Abluftleitungen dann jeweils einander ggü. positioniert sein sollten. Um die Revisionsöffnung nicht im Bad unterbringen zu müssen und die Zugänglichkeit des Schachtes zu verbessern, könnte die Schachtlängsseite (ca. 1.8 m) als Wand eines Besenschrankes oder einer Abstellkammer ausgebildet sein. Es dürfte reichen, wenn der Installationsschacht mit einer kurzen Seite (40 cm) an das Bad grenzt und in dieser Ecke das Schmutzwasserfallrohr verläuft. Die Spritzwasserproblematik und Fliesenoptik ließe sich so besser lösen.

Als idealste Lösung für eine semizentrale Lüftung im Passivhaus-Geschoßwohnungsbau erscheint uns der große Schacht im Treppenhaus für zwei oder auch mehr benachbarte Wohnungen je Geschoß, ähnlich einem Fahrstuhlschacht. Mindestens benachbarte Wohnungen sollten einen gemeinsamen Schacht aufweisen, wobei die Revisionsöffnung als F90-Tür zum Treppenhaus auszubilden ist. Der Brandschutz zu den Wohnungen erfolgt dann nicht mehr im Deckenverguß, sondern in den Trennwänden Wohnung/Schacht nach DIN 1946 Teil 6. Diese Aufgabe ist jedoch nicht einfach zu lösen, da sich hieraus erhebliche planerische Anforderungen bezüglich der Lage sämtlicher Räume ergeben, die wiederum im Grundrißentwurf berücksichtigt werden müssen.

Die Lüftungszentrale(n) sollen sich innerhalb der wärmegeämmten Hülle befinden, vorzugsweise im Dachbereich oder der obersten Etage. Müssen Lüftungsleitungen von vertikalen Installationsschächten waagrecht zur Lüftungszentrale(n) verzogen werden, so sollen auch diese Leitungen innerhalb der wärmegeämmten Hülle geführt werden; dies erspart aufwendige Dämmarbeiten an den Rohrleitungen und schleichende Energieverluste incl. Kosten während des Betriebs.

Hinsichtlich der Kombinierbarkeit der einzelnen Aggregate im Schacht und in den Lüftungszentralen bleiben z.Z. noch viele Wünsche offen. Die Anschlußflansche von Filtergehäusen unterliegen zwar einer einheitlichen Systematik, bei Wärmetauschern ist dies jedoch nicht der Fall. Zwar sind Blechkanalübergänge preiswert herzustellen, dennoch sind hier zielorientierte Entwicklungen zur einfachen, platzsparenden und damit kostengünstigen Montierbarkeit sehr wünschenswert.

## 4 Abschnitt B: Überprüfung am Pilotprojekt

Ein Pilotprojekt hat die Funktion, neue Wege aufzuzeigen und aus den abgeleiteten Erfahrungen die Erkenntnisse zu überprüfen und ggf. weiterzuentwickeln.

Bevor ein Konzept überprüft werden kann, muß das Untersuchungsgebiet thematisch eingegrenzt und soweit möglich, quantitativ gefaßt werden. Eine Reihe der dafür notwendigen Vorleistungen stehen aufgrund der bereits realisierten Passivhausprojekte und der dafür verfügbaren theoretischen Handwerkszeuge bereits zur Verfügung.

Der Geschößwohnungsbau erfordert jedoch aufgrund anderer Wohnungsgrößen, anonymere Nutzerstrukturen und engerer sowohl baugesetzlicher als auch finanzieller Spielräume geänderte Anlagenkonzepte. In dem vorhergehenden Abschnitt A *Kriterienkatalog für kostengünstige, passivhausgeeignete Lüftungsanlagen für den Geschößwohnungsbau* sind die notwendigen Aspekte und Entwicklungspfade abgeleitet und dokumentiert.

Wir sehen es als sehr wertvoll für die weitere Entwicklung der Anlagentechnik für Passivhäuser im Geschößwohnungsbau an, daß mit der Realisierung der Gebäude Kassel-Marbachshöhe die Möglichkeit gegeben ist, die o.g. Anforderungen und Kriterien am Pilotprojekt zu überprüfen.

Da die beiden Gebäude mittlerweile auch in das CEPHEUS-Meßprogramm aufgenommen worden sind, werden noch weitere Kenndaten, insbesondere aus dem Betriebsverhalten, die bisher nicht überprüft werden konnten, wie z.B. die Rückwärmzahlen der Gegenstrom-Plattenwärmetauscher, abgeleitet werden können.

### 4.1 Das Pilotprojekt

Das Bauvorhaben *Passivhäuser Kassel-Marbachshöhe* besteht aus zwei Gebäuden, dem größeren, westlichen Riegel mit 23 Wohneinheiten ohne Unterkellerung und dem östlichen Gebäude, 17 Wohneinheiten, mit Teilunterkellerung (Grundrisse und Gebäudekenndaten s. Abb. im Anhang auf den Seiten B-Anhang/1ff.). Die Hauptfensterflächen sind ost- bzw. westorientiert. Die meisten Wohnungen weisen eine Größe von ca. 72 m<sup>2</sup> auf.

Der Planungsbeginn war im Frühjahr 1998, die Bauarbeiten haben ein Jahr später begonnen, die Gebäude wurden zum 01.05.2000 fertiggestellt und bezogen. Der Bauherr ist eine städtische Wohnungsbaugesellschaft. Alle Baubeteiligten (Bauherr, Planer und ausführende Firmen) wurden in einem Bauteam zusammengeschlossen.

#### 4.1.1 Die Lüftungsanlage bei den *PH Kassel-Marbachshöhe*

Das Lüftungssystem in diesem Bauvorhaben stellt eine Kombination von dezentraler und zentraler Anlagentechnik dar. Dabei wird die prinzipielle Funktionsweise der Anlagen mit Wärmerückgewinnung von dieser *semizentralen Lüftungstechnik* gewahrt (s. Seite B-Anhang/5).

Bei der *semizentralen Lüftung* wird die Anlagentechnik weder komplett in den Wohnungen noch nur in einer Lüftungszentrale konzentriert, vielmehr werden die Systembestandteile ihrer Funktion entsprechend verteilt. Übergeordnete Baugruppen, wie beispielsweise die Wärmerückgewinnung oder die Luftfilterung, können so für mehrere Wohneinheiten gebündelt, wartungsfreundlich, kostengünstig und in hocheffizienter Ausführung angeordnet werden. Hinsichtlich der nutzerspezifischen Anforderungen, wie z.B. variabler Luftvolumenstrom und individuelle Nachheizleistung, bietet das System den Vorteil, daß diese Funktionen jederzeit vom Nutzer wohnungsweise einstellbar sind (vgl. [Otte 1999, S. 91-116]). Die Wohnungsregelgeräte sind untereinander und mit den Dachlüftungszentralen über ein Leitmodul mittels RS 485 Busleitung verbunden. Dadurch kann auch vom Servicepersonal ohne Wohnungsbegehung der Zustand der Lüftungssteuerung oder die zentralen Raumtemperaturen abgefragt werden.

Die semizentrale Lüftungstechnik für Passivhäuser zeichnet sich im Aufbau dadurch aus, daß

- an zentraler Stelle die Luftaufbereitung mit Filter, Wärmetauscher, Frostschutz und Sommerbypass angeordnet ist (Lüftungszentrale),
- der Zuluft- und Ablufttransport von den Zentralen über Sammelleitungen per Versorgungsschacht zu den Wohnungen erfolgt und
- an den wohnungsweisen Abzweigen je Wohneinheit ein Zu- und ein Abluftventilator sowie ein Nachheizregister vorhanden ist.

Die Zentraleinheit der Lüftungsanlage mit Wärmetauscher, Filter, Sommerbypass und Frostschutz-Heizregister kann dabei je nach baulichen Gegebenheiten entweder im Dachbereich oder im Kellerbereich angeordnet werden.

Die 40 Wohneinheiten werden wie folgt von 6 Lüftungszentralen aus versorgt:

Haus	Lüftungszentrale	Wohneinheiten	Steigeschächte	Volumenstrom
23 WE:	Dach Süd	8 WE	2	910 cbm/h
	Dach Mitte (Süd)	6 WE	2	715 cbm/h
	Dach Mitte (Nord)	6 WE	2	730 cbm/h
	Dach Nord	3 WE	1	365 cbm/h
17 WE	Keller	15 WE	4	1595 cbm/h
	DG Nord	2 WE	1	225 cbm/h

Im Gebäude 23 WE befinden sich die Lüftungszentralen ausschließlich auf dem Flachdach bzw. dem Schmetterlingsdach. Da die Aufstellung außerhalb der Gebäudehülle erfolgt, waren die Einhausungen der Lüftungszentralen allseits sorgfältig zu dämmen. Innerhalb der Einhausung erhielten alle Leitungen incl. Wärmetauscher eine mind. 10 cm starke Dämmung. Ebenfalls wurde die

Frischluftleitung vom Eintritt in die Einhausung bis zum Wärmetauscher gedämmt, um den Wärmeverlust der Einhausung an kalte Leitungsteile zu minimieren.

Im Gebäude 17 WE sind 4 Steigeschächte zu einer Lüftungszentrale im Keller zusammengeführt. Dadurch wurden für 15 Wohneinheiten nur ein Wärmetauscher, eine Bypass-Einrichtung und nur ein Satz Filter benötigt. Die Zu- und Abluftleitung von 7 Wohneinheiten muß dafür ca. 10 m im Keller verzogen werden. Hierfür wurde eine sehr gute Wärmedämmung mit 10 cm Dämmstärke auf DN 315 Wickelfalzrohr vorgesehen. Frisch- und Fortluft werden aus dem Kellergeschoß (KG) an einer Hausfassade mit 2x DN 400 über Dach geführt. Zwar sind die Lufttürme aus optischen Gründen gleichlang, die Frischluftansaugung erfolgt aber noch vor dem Gebäude unterhalb der Attika, während die Fortluft über eine Düse im Austrittsquerschnitt mit erhöhter Geschwindigkeit über Dach befördert wird (Vermeidung eines Lüftungskurzschlusses).

Die Luftführung aus den Wohnungen über die Steigeschächte direkt zum Dach ist vom baulichen Aufwand günstiger als erst die Leitungen in den Keller zu führen und dann die Fortluft wieder über Dach zu bringen. Bei dem hier vorgestellten Bauvorhaben 17 WE war im Raumprogramm kein Platz für größere Lüftungstechnik im Dachgeschoß (DG). Durch die Bündelung von 15 WE in einer Lüftungszentrale im KG wurde dieser vermehrte Rohrleitungsaufwand jedoch zumindest finanziell kompensiert. Der Gesamtdruckverlust hat sich dadurch zwar erhöht, jedoch nur geringfügig, da Luftgeschwindigkeiten von ca. 3 m/s in großen Kanälen ( $\geq$  DN 400) nur geringe Druckverluste (ca. 0,25 Pa/m) bewirken (vgl. [Otte 2000, S. 299ff.]).

#### **4.1.2 Die Wärmeversorgung bei den *PH Kassel-Marbachshöhe***

Die Gebäude sind an die Fernwärme der *Städtischen Werke Kassel* angeschlossen. Die Wärmeverteilung im Gebäude erfolgt über ein konventionelles Pumpen-Zweirohr-Heizungsnetz, allerdings mit ausgezeichneter Wärmedämmung aller Rohrleitungen.

Die Heizleitungen sind von den Hausanschlußräumen in die Installationsschächte bis zur Revisionsöffnung einer jeden Wohnung geführt. Nach dem dort zu Meßzwecken installierten Wärmemengenzähler (CEPHEUS-Projekt) verzweigt die Heizleitung zum Nachheizregister der Lüftungsanlage und zum Heizkörper im Bad.

## 4.2 Wohnungs- bzw. treppenhausweise Bestimmung der Heizlasten

In Passivhäusern muß neben dem PH-Kriterium Heizwärmebedarf  $\leq 15 \text{ kWh/m}^2\text{a}$  auch die Heizlast bestimmt werden. Im Geschößwohnungsbau mit mehreren Wohneinheiten ist dabei auch der Wärmeabfluß aus den Wohnungen zum Treppenhaus zu berücksichtigen.

Dazu wurden mehrere Passivhaus-Projektierungs-Paket-Berechnungen über die Hüllflächen von Einzelwohnungen und Treppenhausflügeln, vorwiegend in den nördlichen Gebäudebereichen, durchgeführt. Diese Wohnungen erhalten aufgrund der Ost-/West-Fensterflächen keine Süd-Solargewinne. Die Temperaturen in den angrenzenden Wohnungen bzw. im jeweiligen Treppenhaus wurden im Rahmen der für Passivhäuser realistischen Werte variiert.

Dabei zeigte sich, daß die maximale Heizlast in losgelöst betrachteten Einzelwohnungen mit  $13\text{-}14 \text{ W/m}^2$  über dem Grenzwert für Passivhäuser ( $\leq 10 \text{ W/m}^2$ ) lag. Der Grenzwert leitet sich aus einer Luftwechselrate von  $n=0.4 \text{ 1/h}$  bei Wohngebäuden ab. Im hier vorliegenden Geschößwohnungsbau sind die Personenbelegungsdichten i.d.R. höher als in Wohnhäusern. Aus hygienischen Gründen können Luftwechselraten von  $0.5\text{-}0.6 \text{ 1/h}$  notwendig sein, daraus ergibt sich eine maximal über die Zuluft einbringbare Heizleistung von bis zu  $15 \text{ W/m}^2$ .

Die erforderliche Luftwechselrate korrespondiert insbesondere mit der Bewohnerzahl einer Wohnung und deren Nutzungsverhalten. Die obere Grenze der Luftwechselrate wird dabei durch die mindestens erforderliche relative (Raum-) Luftfeuchte markiert. Eine ggü. den Feuchtequellen einer Wohnung (Menschen, Blumen, Wäsche trocknen, Duschen) zu hohe Luftwechselrate in den Wintermonaten läßt die relative Luftfeuchtigkeit zu sehr absinken.

Sollte die Heizleistung nicht vollständig durch die Zuluft eingebracht werden können, muß dies durch zusätzliche Heizkörper gewährleistet werden. In den Bädern einer jeden Wohnungen befindet sich ein Badheizkörper mit etwa  $600 \text{ W}$  Leistung bei VL/RL-Temperatur von  $70/55^\circ\text{C}$ , das entspricht einer rechnerischen Heizleistung von ca.  $6\text{-}8 \text{ W/m}^2_{\text{Wohnfläche}}$ . In der Praxis wird diese Heizkörperleistung nicht in voller Höhe für die Wohnung zur Verfügung stehen (Überhitzung im Bad, Abtransport der warmen Badluft über die Lüftungsanlage).

Da noch gewisse Unsicherheiten bezüglich der notwendigen Heizleistungen im Geschößwohnungsbau bestehen, wurden bei den *Passivhäusern Kassel-Marbachshöhe* in den Wohnräumen einer jeden Wohnung auf kurzem Weg vom Bad Unterputz-Heizkörperanschlußmodule eingebaut. Damit beschränkt sich der bauliche Aufwand bei notwendiger, nachträglicher Installation eines Heizkörpers auf das Setzen der Heizkörperkonsolen.

Daher lautet das Fazit:

Die Luftwechselrate muß auf die Bewohnerzahl abstimmbare sein, auch nach Mieterwechsel! Es kann über die Lüftungsanlage nur soviel nachgeheizt werden, wie die relative Luftfeuchte in den Wohnungen innerhalb der Behaglichkeitsgrenzen verbleibt. Liegen die erforderliche Luftmenge aufgrund der Personenzahl, im Mittel

beträgt diese ca.  $30 \text{ m}^3/\text{h}$  pro Person (abhängig vom Nutzerverhalten, Feuchtequellen, Schadstoffen), und die Luftmenge zur Deckung der Heizlast deutlich auseinander, muß die dann fehlende Heizleistung z.B. durch Heizkörper eingebracht werden.

### **4.3 Druckverluste und Energiebedarf der Lüftungsanlage**

#### **4.3.1 Berechnung der Druckverluste Lüftungsanlage**

Zur Auslegung der Leitungsnetze und Bestimmung der Ventilatoren ist im Planungsstadium eine Druckverlustberechnung unverzichtbar. Die Ergebnisse einer beispielhaften Berechnung sind im Anhang auf den Seiten B-Anhang/6 (Zuluft EG-Wohnung) und B-Anhang/7 (Abluft DG-Wohnung), beide Wohnungen angeschlossen über die Dachlüftungszentrale Süd (8 WE) im Gebäude 23WE, wiedergegeben.

Der Gesamtdruckverlust eines Lüftungsstranges (Lüftungszentrale bis Wohnungs-Luftauslaß) teilt sich demnach etwa im Verhältnis 9 : 1 : 5 auf. Die Teilung entspricht den Abschnitten Lüftungszentrale : Steigestrang : Wohnung. Anzumerken ist, daß sich diese Berechnung auf einen fortgeschrittenen Betriebszustand bezieht, d.h. die Filterstandzeit ist zu etwa  $2/3$  erschöpft.

Der Gesamtdruckverlust bzw. die erforderliche Pressung der Ventilatoren beträgt bei einem Volumenstrom von knapp  $120 \text{ m}^3/\text{h}$  etwa 200 Pa.

Eine Schwierigkeit bei der Berechnung im Vorfeld war, daß die zu erwartenden Druckverluste bei Einbauteilen wie Rückschlagklappen und insbesondere Filtern herstellerseitig entweder nicht bekannt waren oder mit großen Abweichungen genannt wurden. Bei den Filtern ist dies dadurch bedingt, daß die Filterhersteller keine so geringen Luftgeschwindigkeiten (ca.  $3,0 \text{ m/s}$ ) in Lüftungsanlage gewohnt sind. Auch das Optimieren von Druckverlustwerten in Bereichen von  $\pm 10 \text{ Pa}$  ist für die technischen Berater der Filterhersteller ungewohntes Terrain. Typisch ist hier die Aussage: „Gehen Sie mal von einem Druckverlust von 30-40 Pa unabhängig von der Luftgeschwindigkeit bei einem Filter im Neuzustand aus“.

#### **4.3.2 Ergebnisse der Druckverlustmessungen**

Die durchgeführten Druckverlustmessungen wurden in zwei Zeitphasen absolviert:

1. Im Vorfeld der Planung und während der Bauphase, um einzelne Bauteile zu überprüfen bzw. deren Einbau zu optimieren (s.u. Beispiel Rückschlagklappe)
2. Nach Fertigstellung der Anlage im Betriebszustand.

Dabei konnten die Ergebnisse der Berechnungen im wesentlichen bestätigt werden. Abweichungen ergaben sich z.B. ggü. dem im Anhang ausgewiesenen Rechenblatt in den folgenden Punkten:

- a) Der Druckverlustanteil der Wohnungen ist höher, da die Rückschlagklappen höhere Strömungswiderstände aufweisen, als seinerzeit vom Hersteller angegeben (s.u. Rückschlagklappe).  
Im Meßprotokoll auf Seite B-Anhang/15 finden sich beispielhafte Werte.  
Bitte beachten: Die Wohnungsseite ist bei der Zuluft die Druckseite, bei der Abluft die Saugseite.
- b) Die gewählten Kompaktfilter weisen im Neuzustand deutlich geringere Druckverluste auf, als seitens des Herstellers angegeben wurde. Die Messungen ergaben Werte von 10-16 Pa statt etwa 2-3 fach höheren Angaben der Hersteller.
- c) Die Wärmetauscher wurden deutlich größer dimensioniert, als dies im o.g. Rechenblatt ausgewiesen ist:  
(Auslegungsvolumenstrom x 2 = Nenngroße des Wärmetauschers)

Gemäß den Punkten b) und c) fällt der Druckverlust in den Lüftungszentralen geringer aus als im Rechenblatt ausgewiesen. Dies hat Vorteile für den Betrieb, da erstens der Stromverbrauch und zweitens auch der Differenzdruck auf den Sammelleitungen ggü. der Umgebung geringer ist.

Ein geringerer Differenzdruck auf den Sammelleitungen vermindert die Leckageempfindlichkeit des Lüftungsnetzes. Die im Pilotprojekt überprüfte Luftdichtheit der Lüftungsleitungen ist sehr gut (Wickelfalzrohr mit Lippendichtungen). Die offenen Fugen der Einbauteile wurden weitgehend komplett nachgedichtet, dies stellt natürlich einen nicht unerheblichen Aufwand dar, der in der Ausschreibung zu benennen war.

### 4.3.3 Lüftungsleitungsdimensionierung

Innerhalb der Wohnungen wurden die Luftverteilungen ausgelegt auf Luftgeschwindigkeiten in Bereichen von ca. 2,0-2,5 m/s, das entspricht bei Nenn-Luftvolumenströmen von ca. 100-120 m<sup>3</sup>/h für die Wohnung einer Rohrdimension DN 125, bei den Wohnräumen (Zuluft) bei ca. 40 m<sup>3</sup>/h entsprechend DN 100 und bei den Ablufträumen mit ca. 40-70 m<sup>3</sup>/h einer Dimension DN 125.

Bei der drei- bis viergeschossigen Bauweise der *Passivhäuser Kassel-Marbachshöhe* waren demzufolge drei- bis vier Wohnungen mit einer Steigleitung zu verbinden. Daraus ergaben sich bei Luftmengen zwischen 100-120 m<sup>3</sup>/h pro WE bei Steigleitungen in DN 200 Luftgeschwindigkeiten kurz vor der Lüftungszentrale von ca. 3,5 m/s. Die Steigleitungen wurden in einem konstanten Querschnitt von EG bis DG geführt. Aufgrund der Brandschutzanforderungen zwischen den Etagen ist ein kostengünstiges, weil brandschutzwartungsfreies Steigleitungssystem derzeit nur bis DN 200 auf dem Markt verfügbar.

Bei größeren Dimensionen oder anderen Schachtbauweisen können Brandschutz-Deckenschotts nicht mehr verwendet werden, dann werden Brandschutzklappen erforderlich, die einer anfangs halbjährlichen, später jährlichen Wartungs- und Prüfpflicht unterliegen.

#### 4.3.4 Druckverluste der Einbauten

Bei strömungsgünstiger Rohrnetzplanung entstehen die wesentlichen Druckverluste an den Einbauten der Lüftungsanlagen. Demzufolge sind diese Einbauteile sorgfältig hinsichtlich Funktion und Betriebskosten auszuwählen.

Sehr wichtig ist dabei, genaue Informationen der Hersteller zu Ihren Produkten schriftlich abzufragen und diese Kenndaten auch Bestandteil des Leistungsverzeichnisses werden zu lassen.

Da ein Gebäude im Geschößwohnungsbau in gewisser Weise eine Kleinserie auch hinsichtlich der Bauteile von Lüftungsanlagen darstellt, lohnt es sich im Zweifelsfall immer, eine Kontrollmessung bereits während der Planungsphase durchzuführen.

#### 4.3.5 Stromverbrauch der Lüftungsanlage

Der Stromverbrauch der Ventilatoren bestimmt sich aus der Rohrnetzkenlinie und der Effizienz der verwendeten Ventilatoren. Die Passivhaus-Kriterien gegen einen Grenzwert von  $0,45 \text{ Wh/m}^3$  für eine Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung vor.

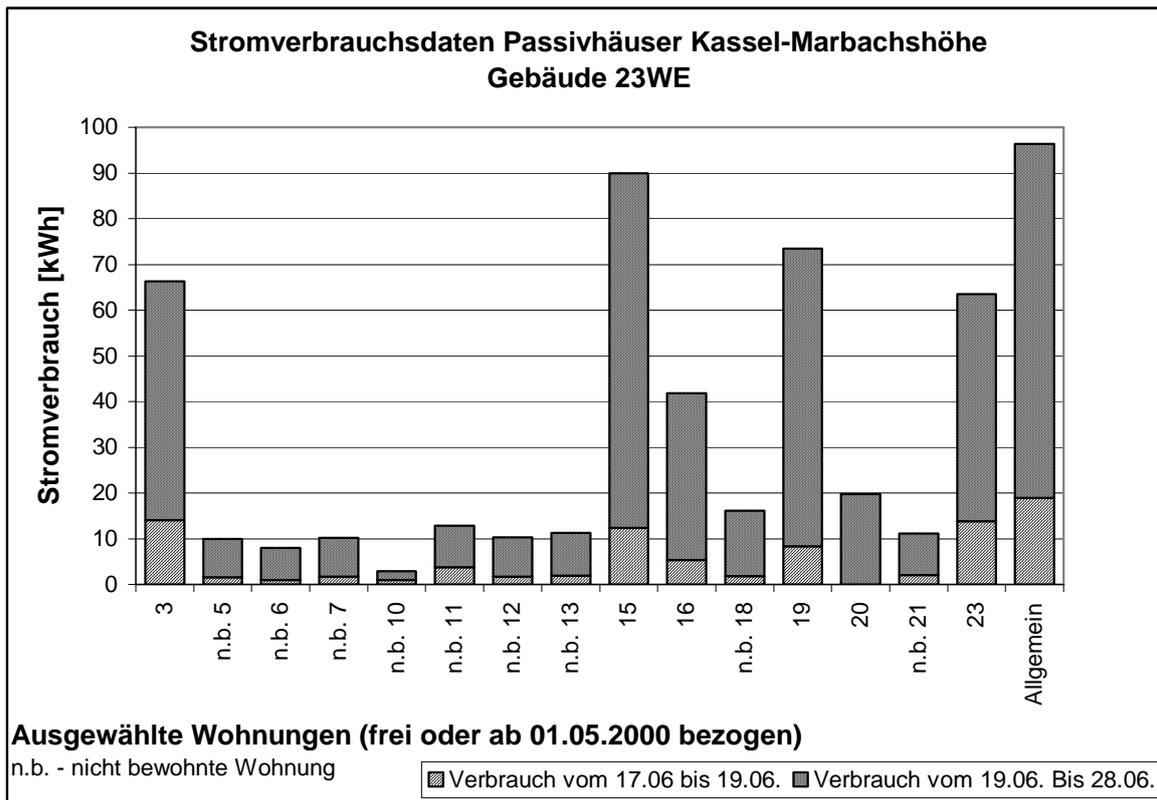
Bei den im Anhang ausgewiesenen Datenblättern der Druckverlustberechnung sind die Werte der Luftleistung sowie der abhängig vom Ventilatorwirkungsgrad erforderlichen elektrischen Stromaufnahme ausgewiesen.

Nach der Berechnung, die einen Betriebszustand „Wärmerückgewinnung mit durchströmten Wärmetauscher“ und 2/3 Filterstandzeit zur Grundlage hat, ist zu erwarten, daß der Grenzwert von  $0,45 \text{ Wh/m}^3$  eingehalten werden kann.

Dies wird auch in etwa durch die ersten Auswertungen der Stromzähler bestätigt. Die folgenden zwei Diagramme zeigen den Absolutstromverbrauch und den mittleren elektrischen Leistungsbedarf ausgewählter Wohnungen.

Der Stromauswertung liegen die folgenden Randbedingungen zugrunde:

- a) die ausgewählten Wohnungen waren noch unbewohnt, als Vergleichsmaßstab dienen Wohnungen, die bereits seit dem 01.05.2000 bezogen sind.



- b) In allen Wohnungen sollte die Lüftungsanlage in Betrieb sein (Empfehlung für das erste Betriebsjahr zur Ablüftung der Baufeuchte).
- c) Die Regelungen der Dachlüftungszentralen sind derzeit so eingestellt, daß der Sommerbetrieb und damit die Bypassschaltung erst bei Außentemperaturen oberhalb von 20°C aktiviert wird. Demzufolge wurden die Lüftungszentralen im größten Teil der untersuchten Zeitspanne im Wärmetauscherbetrieb gefahren.
- d) die Leistungsaufnahme der Wohnungsregelung beträgt ca. 1,0 W, wenn das elektrothermische Stellventil mitgetaktet wird, erhöht sich die Leistung auf ca. 1,5 W.

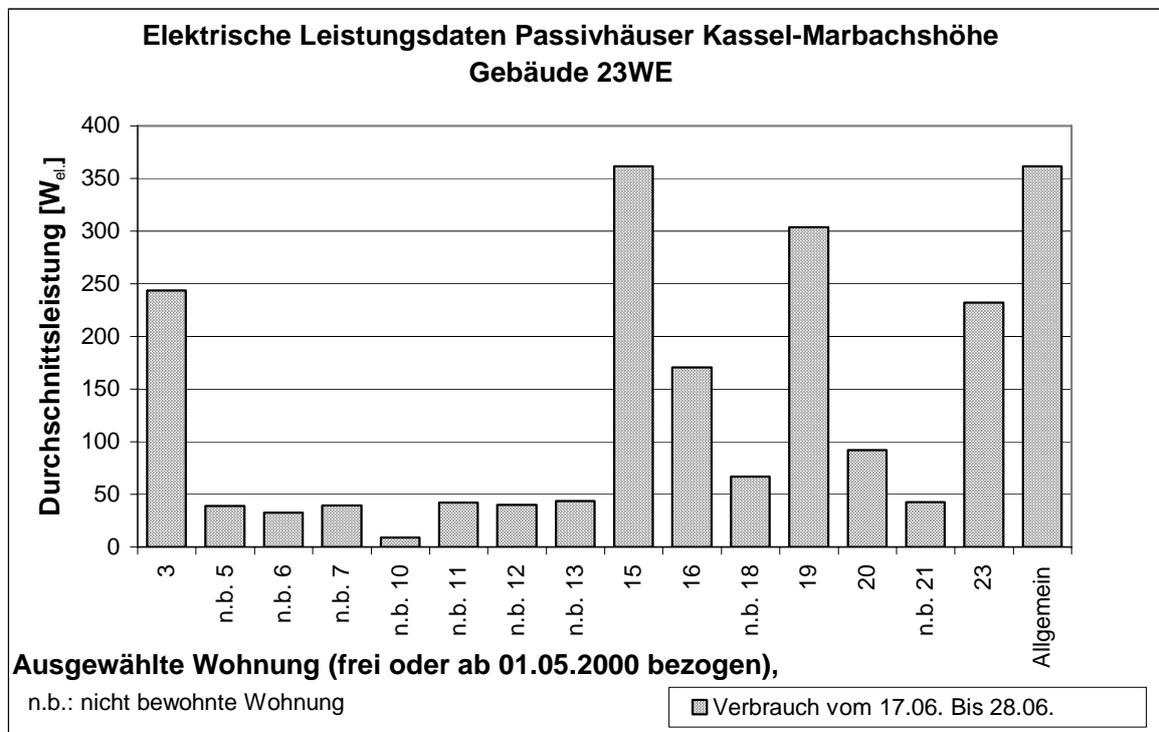
Die ausgewiesenen Durchschnittsleistungen in den noch nicht bewohnten Wohnungen des nächsten Diagrammes zeigen demnach die elektrische Leistungsaufnahme der Wohnungslüftungen bei Zu- und Abluftbetrieb mit vorwiegend aktivierter Wärmerückgewinnung.

Dabei fällt folgendes auf:

- a) Die durchschnittliche Leistungsaufnahme beträgt außer in Wohnung 10 und Wohnung 18 etwa 33-44 W, bei Volumenströmen zwischen 90-105 m<sup>3</sup>/h werden Stromeffizienzkennwerte von 0,42 Wh/m<sup>3</sup> nicht überschritten.
- b) In der Wohnung 10 war die Zuluft ausgeschaltet und nur die Abluft in Betrieb. Die Abluft wird im Bypassbetrieb am Wärmetauscher vorbeigeführt und enthält weder Frostschutzvorheiz- noch

Nachheizregister. Aus dem gemessenen Stromverbrauch ergibt sich ein mittlerer Stromeffizienzwert von ca.  $0,1 \text{ Wh/m}^3$ .

- c) In der Wohnung 18 hatte jemand vergessen, die Badezimmerbeleuchtung auszuschalten, daher der erhöhte Stromverbrauch.



#### 4.3.6 Fazit

Die Berechnungen sowie die Meßergebnisse zeigen, daß die Lüftungsanlagen auf geringe Druckverluste geplant wurden und auch erreichen. Deutlich verbesserungswürdig ist jedoch noch die elektrische Effizienz der eingesetzten Ventilatoren. Bei Ventilatorwirkungsgraden zwischen 20-25% ggü. möglichen 40-60% ließen sich die elektrischen Verbrauchswerte glatt halbieren und das Stromeffizienzkriterium würde um den Faktor 2 unterschritten.

#### 4.4 Technische Anforderungen an Rückschlagklappen

Auch bei den Rückschlagklappen gibt es noch ein erhebliches Verbesserungspotential. Die im Pilotvorhaben eingesetzte Rückschlagklappe ist derzeit die einzige auf dem deutschen Markt verfügbare Klappe in DN 125, die den strengen Anforderungen der DIN 18017 hinsichtlich Luftdichtheit genügt.

Die folgende Aufnahme zeigt die Rückschlagklappe in Längssicht. Das gesamte Bauteil besteht außer der Klappenrückholfeder aus Kunststoff. Entlang dem Übergang zwischen dunkler und heller Gehäusehälfte ist die Rückschlagklappe

über Flanschklemschienen trennbar und die eigentliche Rückschlagklappe lässt sich demontieren.



Die Rückholfeder lässt sich in zwei Stellungen fixieren, lt. Hersteller wird die Klappe mit der schwächeren Federeinstellung ausgeliefert. Dies ist auch der für einen geringeren Druckverlust gewünschte Einbauzustand. Für die Funktion der Klappe ist die Federstellung unerheblich, da die Klappe bei Gegenströmung durch andere Ventilatoren auf jeden Fall geschlossen wird.

Der Hersteller hatte als Druckverlust der Rückschlagklappe 18 Pa ausgewiesen. Eigene Druckverlustmessungen ergaben Werte von bis zu 75 Pa, abhängig von Rohrlage und Position der Rückschlagklappen-Achse.

Nach Übersendung der Meßergebnisse an den Hersteller wurden die gemessenen Werte bestätigt. Da ein Druckverlust von bis zu 75 Pa nicht tolerierbar ist, wurde entschieden, die Rückschlagklappen waagrecht mit vertikaler Klappenachse (90° zur Horizontalen) einzubauen (Druckverlust ca. 30-35 Pa bei 120 m<sup>3</sup>/h).

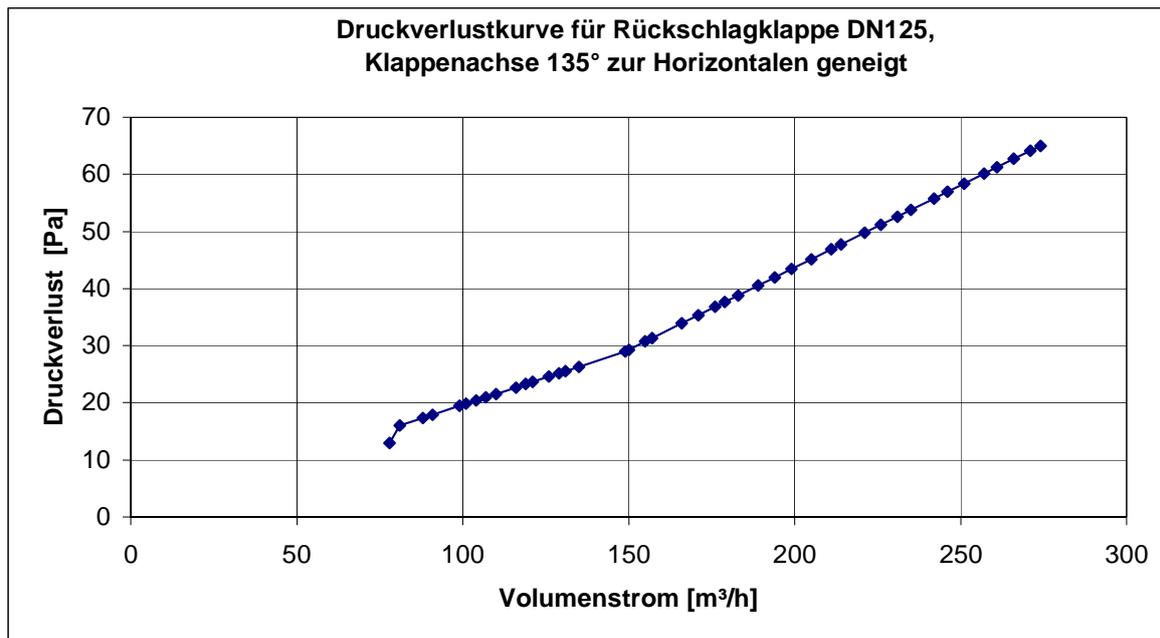
Das nächste Diagramm zeigt beispielhaft Druckverlustmessungen mit sogar ggü. der Horizontalen um 135° gedrehter Klappenachse.

Die folgende Abbildung zeigt einen Blick längs durch die Rückschlagklappe mit teilgeöffneter, quadratischer Klappe. Deutlich zu erkennen ist die um die Klappe umlaufende Gummidichtung, die für die ausgezeichnete Luftdichtheit der Klappe sorgt.



Folgende Verbesserungen bei den Rückschlagklappen sind dringend erforderlich:

- a) Lagerung der Klappen-Achse  
Die Drehachse der Klappe besteht aus zwei Kunststoff-Stiften, die im Herstellverfahren mit der Klappe geformt wurden und nur vergleichsweise geringe Durchmesser aufweisen. Demzufolge ist die Klappenachse nicht für größere Belastungen ausgelegt.
- b) Kunststoff-Gehäuse  
Die Zusammensetzung der Klappe aus zwei Kunststoff-Gehäusen macht diese sehr empfindlich für Torsionsspannungen, die beim Einbau zwischen Lüftungsleitungen aus Wickelfalzrohr bei Fluchtungsfehlern unvermeidbar entstehen können.  
Als Folge daraus können sich die Kunststoffhälften gegeneinander versetzen, wodurch die Klappenbewegung blockiert wird. Das hat zur Folge, daß ein Verschließen der Klappe nicht mehr erfolgt bzw. die Klappe nicht so weit wie möglich öffnet. Beide Fälle bedeuten eine Störung der Lüftungsanlage und sind derzeit nur so zu vermeiden, indem eine Klappenseite flexibel an das Lüftungsnetz angeschlossen wird.  
Als verbesserte Entwicklung sollte die Klappe ebenfalls ein Metallgehäuse aufweisen.
- c) Verringerung des Druckverlustes  
Durch strömungsgünstigere Formgebung und geringere Federkräfte sowie herstellerseitigen Empfehlungen für druckverlustminimierte Einbaulagen läßt sich der Druckverlust noch weiter als im folgenden Diagramm gezeigt vermindern.



#### 4.5 Dichtheitsprüfung des Lüftungs-Rohrnetzes

Wie bereits in den *Kriterien* erläutert, ergeben sich durch den wohnungsweisen Einsatz der Ventilatoren hohe Anforderungen an die Dichtheit der Luftleitungen in den Schächten. Bis zum Zuluftventilator steht die Frischluftleitung unter Unterdruck, umgekehrt die Fortluftleitung unter Überdruck.

Im Bauvorhaben *Passivhäuser Kassel-Marbachshöhe* wurde die erste der Sammel-Luftleitungen in Wickelfalzrohr mit in die Falz eingelegter Dichtschnur gebaut, als Verbindungen kamen normale Formteile mit Gummi-Lippendichtungen zum Einsatz. Diese Lösung verursacht quasi kaum Zusatzkosten, nur etwas längere Bestellzeiten. Die nicht besonders luftdichten Brandschutzdeckenschotts wurden entlang des Rohranschlusses mit Kaltschrumpfband abgeklebt und für diesen ersten Rohr-Leckagetest in Kunststoffolie eingeschlossen. Sämtliche Rohrübergänge wurden mit Lüftungsklebeband umwickelt. Mit diesem Aufbau ergab sich bei 200 Pa Prüfdruck eine Restleckage in der Größenordnung von 10% des zulässigen Grenzwertes gemäß EUROVENT Klasse IV. Damit ist eine ausreichende Dichtheit der Rohrleitungen gegeben.

Die Leckage von Einbauteilen in den Sammel-Luftleitungen ist gesondert zu lösen. Dies betrifft insbesondere die Deckenschotts. Zwar ist der Einbau der Schotts im Deckenverguß möglich, doch führt dies zu einem nicht vertretbaren Aufwand beim Ausbau wegen Defekt. Im LV war die Position Abdichtung der Deckenschotts durch partiellen Verguß auf der Decke vorgesehen. Hierbei ist zu beachten, daß durch den Verguß keine neuen Schallbrücken entstehen.

Praktikabler erscheint uns daher die Lösung, die Hersteller darauf zu verpflichten, die Deckenschotts in einer luftdichten Variante anzubieten.

Bei einem beginnenden Passivhaus-Bauvorhaben ist es auf jeden Fall empfehlenswert, für die ersten Lüftungs-Steigleitungen exemplarisch eine eigene Dichtheitsprüfung durchzuführen (Mini-Blower-Door-Test). Dadurch wird das Bewußtsein der verarbeitenden Handwerksfirmen für die Qualitätssicherung im Passivhaus geschärft.

Dichtheitsklassen von Luftkanalsystemen nach DIN 24194 Teil 2

		Zulässiger Leckluftstrom in m <sup>3</sup> /s/m <sup>2</sup> bei Prüfdruck		
Dichtheitsklasse	Kanalsystem	200 Pa	400 Pa	1000 Pa
1	ohne Anforderungen	keine	keine	keine
2	geringe Anforderungen	8,40E-04	1,32E-03	2,40E-03
3	normale Anforderungen	2,80E-04	4,40E-04	8,00E-04
4	erhöhte Anforderungen	9,30E-05	1,50E-04	2,70E-04

## 4.6 Leckagemessung am Wärmetauscher

In diesem Abschnitt ist die interne Leckagemessung an einem Gegenstromplattenwärmetauscher (Nennvolumenstrom von 600 m<sup>3</sup>/h) protokolliert.

### Technische Daten des Wärmetauschers:

Abmessungen:	LxHxB 1044x655x385mm
Plattenmaterial:	Aluminium
Plattenabstand:	3,8 mm
Plattenstärke:	0,27 mm
Tauscherfläche:	2 x 51m <sup>2</sup>
Kanalanschlüsse:	DN200
Druckverlust bei Nennvolumenstrom:	50 Pa

Als weitere Spezifikation wurde in der Ausschreibung gefordert, daß die Leckage des Wärmetauschers bei 50 Pa Druckdifferenz  $\leq 0.1\%$  sein soll. Vom Hersteller wurde eine Leckage  $< 1.0\%$  zugesichert.

### Meßprinzip:

Messung der Füllzeit für einen Behälter mit bekanntem Volumen.

### Meßanordnung:

An den bereits vor Ort aufgestellten Gegenstromplattenwärmetauscher wurde an den Zuluftanschluß ein drehzahlregelbarer Ventilator angeschlossen. Die Anschlüsse Frischluft und Abluft wurden dicht verschlossen. Der Anschluß Fortluft wurde über einen Adapter mit einer PE-Folientüte verbunden.

Durch den Ventilator wird auf der Frischluft-Zuluftseite des Wärmetauschers ein Überdruck aufgebaut. Dieser Überdruck wird über ein Differenzdruckmeßgerät gemessen.

Durch die internen Undichtigkeiten zwischen dem Frischluft-Zuluft-Strang und dem Abluft-Fortluft-Strang des Wärmetauschers strömt ein Leckagevolumenstrom bei dieser Versuchsanordnung zur Abluft-Fortluftseite. Dieser Leckagevolumenstrom füllt die PE-Folientüte am Fortluftanschluß.

Für die Feineinstellung des Überdrucks wurde in die Leitung zwischen Ventilator und Wärmetauscher ein T-Stück mit Tellerventil gesetzt. Durch Verstellung des

Tellerventils kann der Überdruck, der am Zuluftanschluß ansteht, fein dosiert eingestellt werden.

#### Meßvorgang:

Am Ventilator wurde zunächst über die Drehzahl eine Grobeinstellung des Überdrucks vorgenommen. Über die Verstellung des Tellerventils wurde der Überdruck fein eingestellt. Dann wurde das Ventil zur PE-Folientüte geöffnet und die Zeit bis zur vollständigen Füllung der Tüte gemessen.

#### Meßtechnik:

Differenzdruckmeßgerät:

Meßbereich: 0-250 Pa.

Genauigkeit: 0,25% vom Meßbereichsendwert

Meßausgang: Spannung 1-5V, 62.5 Pa/V

(Spannungsmessung mit Digitalvoltmeter und Umrechnung auf Pa)

#### Ergebnis der Messung:

Die Ergebnisse der Messung sind in den Diagrammen auf den Seiten im B-Anhang/8f. dokumentiert.

Die Leckagemessung an dem gelieferten Wärmetauscher ergab einen Wert von 0.3% bezogen auf Nennvolumenstrom bei 50 Pa Druckdifferenz. Diese Druckdifferenz wird sich im Wärmetauscherbetrieb an den Grenzflächen nur partiell einstellen. Die gemessene Leckage dürfte daher die Obergrenze darstellen.

Damit ist es möglich, für den Teil des Rohrnetzes, der von den angeschlossenen Wohnungen gemeinsam benutzt wird (Steigeleitungen, Wärmetauscher, Bypass, Frischluft, und Fortluft), eine Gesamt-Luftdichtheit von  $< 1.0\%$  auf Auslegungsvolumenstrom zu fordern.

### **4.7 Heizleistung Nachheizregister**

Das Nachheizregister übernimmt die Funktion der Nachheizung der Zuluft zur Deckung des Restwärmebedarfs der Wohnungen in Passivhäusern. Für den Bewohner ist dieses Bauteil neben dem hocheffizienten Wärmetauscher und dem Badheizkörper die „Wärmequelle“.

Bei der Auswahl des Nachheizregisters sollten daher die folgenden Aspekte berücksichtigt werden:

- a) Ausreichende thermische Leistung  
Die Leistungscharakteristik des Nachheizregisters sollte in Verbindung mit dem gebäudeeigenen Heiznetz sorgfältig auf ausreichende Leistung

abgestimmt werden. Dabei sind, wie bekannt, Erwärmungen der Zuluft bis auf ca. 50°C ohne Staubverschmelzung möglich.

- b) **Ausreichende thermische Tiefe bei geringem Druckverlust**  
Die Tauscherflächen im Nachheizregister sollen eine gewisse räumliche Ausdehnung in Luftströmungsrichtung aufweisen, das erleichtert die Regelmöglichkeiten der Nachheizung.  
Andererseits ist der Druckverlust durch möglichst wenige Einbauten in Strömungsrichtung gering zu halten. Der richtige Kompromiß dürfte in der Mitte liegen.
- c) **Gehäuseabmessungen und Anschlußmöglichkeiten der Heizung**  
Die äußeren Abmessungen der Nachheizregister müssen mit dem verfügbaren Platzverhältnissen in den Steigeschächten konform gehen. Ferner soll die Anbindung an die heizseitigen Versorgungsleitungen in einfacher Weise möglich sein. Die Abzweige von den Heizungssträngen zum Nachheizregister sind so zu führen, daß eine Luftbildung in der Zuleitung zum Heizregister vermieden wird.

Die Leistungsdaten des Herstellers sowie ein beispielhaftes Meßprotokoll sind auf den Seiten B-Anhang/11+12 wiedergegeben. Die während der Messung vorherrschenden VL/RL-Temperaturen im Heizungssystem entstanden während des ersten Aufheizens und waren gewollt, um das VPE-Heizungsrohr von thermischen Spannungen zu befreien. Die Restheizung für die Passivhäuser ist ausgelegt auf eine Spreizung von VL/RL 70/50°C.

Die Herstellerangaben als auch die Meßergebnisse zeigen, daß die gewählten Heizregister ausreichend groß bemessen sind für Wohnungen von zumeist 72 m<sup>2</sup> Wohnfläche im Passivhaus.

#### **4.8 Wärmeverlust der Lüftungsleitungen**

Anschließend an das Thema des vorherigen Abschnitts zum Wärmetransport in Rohrleitungen ist ergänzend festzustellen, daß bei Temperaturdifferenzen zwischen der Luft im Wickelfalzrohr ggü. der umgebenden Luft ein merklicher Temperatursausgleich stattfindet.

Beim Pilotprojekt betrifft dies einmal die Zuluftleitungen innerhalb der Wohnungen nach dem Nachheizregister und die Luftleitungen zwischen zentralen Wärmetauschern und Passivhaus-Dämmhülle.

##### **4.8.1 Zuluftleitungen innerhalb der Wohnung**

Die Zuluftleitungen innerhalb der Wohnungen wurden ab dem Nachheizregister bis einschließlich der Rohrleitungsabschnitte innerhalb der Badezimmerdecke wärme gedämmt.

Dennoch war der gemessene Temperaturabfall vom Nachheizregister bis zu den Zuluftventilen nicht unerheblich. Allerdings muß einschränkend betont werden, daß sich zum Zeitpunkt der Messung das Gebäude noch vor der Aufheizphase und vor Fertigstellung befand. Die umgebenden Flächen und Raumtemperaturen waren dabei niedriger als bei normalem Betrieb.

Gemessen wurde ausgehend von 54°C direkt nach dem Nachheizregister am Ende der Zuluftleitungen bei den Luftauslässen noch Temperaturen von 42-47°C (vgl. B-Anhang/12).

#### **4.8.2 Luftleitungen im unbeheizten Keller**

Die spezifische Wärmedämmeigenschaften von Kompaktlüftungsgeräten sollen einen Mindestwert von 5.0 W/K nicht überschreiten.

Diesen Grenzwert halten wir für luftführende Leitungen und z.B. den Wärmetauscher bei Aufstellung in Bereichen außerhalb der wärmegeprägten Hülle des Passivhauses für zu hoch, insbesondere weil die Bauteile im Vergleich zu Wohnhäusern deutlich vergrößerte Abmessungen aufweisen.

Wenn also Bestandteile der Lüftungsanlage in Räumen mit Temperaturdifferenz installiert werden, dann ist ein Mindestdämmwert von 2,0 W/K anzustreben.

Die Zusammenhänge sind auf Seite Anhang-B/12 für Lüftungsleitungen im unbeheizten Kellerbereich des Gebäudes 17 WE dargestellt.

#### **4.9 Schallemissionen durch die Lüftungsanlage**

Die Schalldämpferauslegung wurde gerechnet und in der Musterwohnung überprüft. Hierbei zeigten sich hervorragende Ergebnisse, denn ein Strömungsrauschen an den Zuluftventilen war bei „Normalbetrieb der Lüftung“ nur bei nahem Herangehen mit dem Ohr in Höhe des Zuluftventils (ab ca. 1,0 m Entfernung) wahrzunehmen. Abluftseitig ist in Küche und Bad ein ganz schwaches Rauschen zu vernehmen, daß von dem eingesetzten Vorfilter (G3) herrührt.

In den Installationsschächten befindet sich nach jedem Ventilator ein erster nachgeschalteter Schalldämpfer (50 mm Packungsdichte, Länge 1000 mm). Die waagerechte Verteilung in den Wohnungen erfolgt kreuzungsfrei innerhalb der abgehängenen Decken von Bad und Flur. Jede Zu- und Abluftleitung verfügt über einen zweiten Schalldämpfer (25mm Packungsdichte, Länge 1250 mm), so daß insgesamt 2.25 m Schalldämpferlänge bis zu jedem Zu- oder Abluftventil ab dem Wohnungsventilator installiert sind. Für die Deckenabhängung werden 25 cm nicht überschritten.

Da die Lüftungsanlage kurz vor Fertigstellung des Gebäudes in Betrieb genommen wurde, im Baugebiet aber weiterhin Baufahrzeuge verkehrten und die Fenster der

Wohnungen gelegentlich auf Kippstellung standen, stellte sich in einigen Wohnungen ein deutlicher Straßenstaubeintrag ein, der sich auch in der Filtermatte der Abluftventile absetzte. Bei einigen Wohnungsbegehungen konnten wir feststellen, daß die Filtermatten dadurch sandfarben-bräunlich eingefärbt waren. In einigen wenigen Fällen führten diese Ablagerungen sogar zu deutlich wahrnehmbaren Geräuschen an den Abluftventilen.

So gesehen sind die mit zunehmender Verschmutzung der Luftfilter wahrnehmbaren Geräusche ein Indikator für eine Reinigung oder sogar Auswechslung der Filtermatten.

#### **4.10 Lüftungsanlage bei abgeschalteter Zuluft**

Eine wichtige Eigenschaft von Passivhäusern ist deren luftdichte Gebäudehülle, dies gilt im Geschößwohnungsbau auch für die Wohnungen. Wenn die Zuluft z.B. in den Sommermonaten abgeschaltet wird, die Abluft aber weiter betrieben wird (z.B. wg. fensterloser Bäder), dann muß ein Nachströmen der Zuluft ermöglicht werden. Dies ist am einfachsten durch Öffnen von Fenstern (Kippstellung) zu erreichen.

Wir haben in einigen Wohnungen die Bedingungen untersucht, die sich einstellen, wenn bei abgeschaltetem Zuluftventilator die Fenster geschlossen bleiben.

Die Untersuchung mit Rauchröhrchen zeigte, daß ein wesentlicher Teil der Zuluft dann durch die Wohnungseingangstüre nachströmt. Dies kann zu deutlich hörbaren Geräuschen führen.

Beim Schließen des letzten Fensters war festzustellen, daß die Drehzahl des Abluft-Ventilators merklich anstieg. Die Fenster sind also sehr dicht.

Der Abluftventilator versucht, über die Lüftungszentrale Zuluft in die Wohnung nachzufördern. Die nachströmende Luftmenge muß dafür aber die Druckverluste von Filter, Wärmetauscher, Rohrnetz und Luftauslässen überwinden. Der erforderliche Förderdruck wird über die Abluftventile in der gesamten Wohnung aufgebaut, demzufolge stellt sich ein Luftnachströmungsgleichgewicht bei vielleicht 10-20 Pa Unterdruck in der Wohnung ein, das wiederum dazu führt, daß auch an Leckagestellen der Wohnungshülle (Wohnungstür) Luft einströmt.

Das hier realisierte Konzept der semizentralen Lüftung sollte daher für zukünftige Passivhäuser im Geschößwohnungsbau um zwei zentrale Ventilatoren pro Lüftungszentrale ergänzt werden, wodurch der Anteil der Druckverluste in den Lüftungszentralen kompensiert werden kann (s. Beschreibung im Kriterienkatalog). Für den Hilfsenergieeinsatz dürfte sich das Prinzip aufgrund der besseren elektrischen Wirkungsgrade sogar positiv auswirken.

#### **4.11 Einmessen der Wohnungsluftverteilung**

Der Zeitaufwand für die Einstellung der Lüftungsanlagen, insbesondere der Luftauslässe und Abluftventile in den einzelnen Wohnungen, ist nicht unerheblich

und muß bei der Angebotserstellung bzw. beim Ingenieurvertrag besondere Berücksichtigung finden.

Bei Zu- und Abluftventilen ergeben sich je nach Anschlußstutzen unterschiedliche Druckverluste.

Um eine genaue Einstellung der Abluftventile mit vorgehängtem Vorschaltfilter zu ermöglichen, sollten die gewünschten Einstellwerte/Luftmengen in der Kombination gemessen werden. Das dünne Meßrohr ist dafür durch das Filtergewebe bis zum Meßpunkt im Luftventil zu führen.

Die folgenden Aufnahmen zeigen die im Pilotprojekt eingesetzten Bauteile. Im ersten Bild ist ein Abluftelement in der Küche wiedergeben. Das Tellerventil wird dabei von einem Abluftfilter (Klasse G3) abgedeckt.

Das nächste Foto zeigt ein Überströmelement, das im unteren Bereich der Wohnungstüren eingebaut worden ist, um ein sicheres Überströmen zwischen Zu- und Abluftzone zu gewährleisten. Türeinbaugitter bieten einen sehr geringen Druckverlust, beeinträchtigen jedoch u.U. den Schallschutz. Hier im Bauvorhaben weisen die Wohnungstüren jedoch keine besonderen Schallschutzeigenschaften auf. Die Ausführung besitzt versetzte Öffnungen, die einen Sichtschutz bieten.



Abluftelement Küche mit vorgeschaltetem G3-Filterelement



Überströmelement eingebaut in Wohnungstür mit Sichtschutz zum Raum



Zuluftelement (Weitwurfdüse) mit Lochgitterblech zur Einstellung

Die Einstellung der Luftmengen der Luftventile erfolgt über eine Differenzdruckmessung. Dieser Vorgang wird im folgenden am Beispiel des oben abgebildeten Zuluftventils (Typ STH) dargestellt.

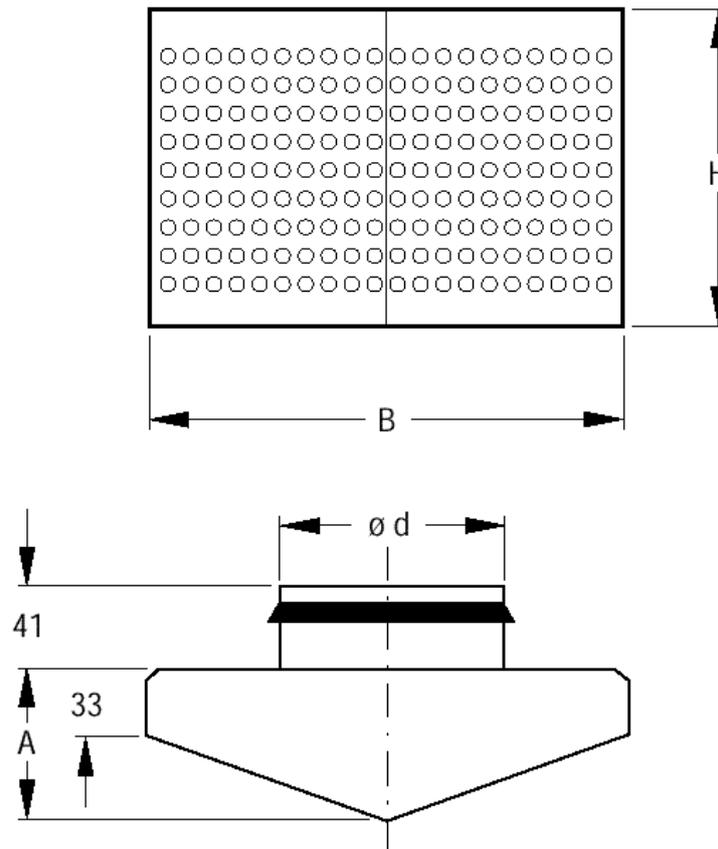
Bei diesem Ventiltyp strömt die Luft durch Lochreihen an der Vorderseite in den Raum.

Zur Einstellung des Ventils können die einzelnen Lochreihen mit durchsichtigen Klebestreifen verschlossen werden.

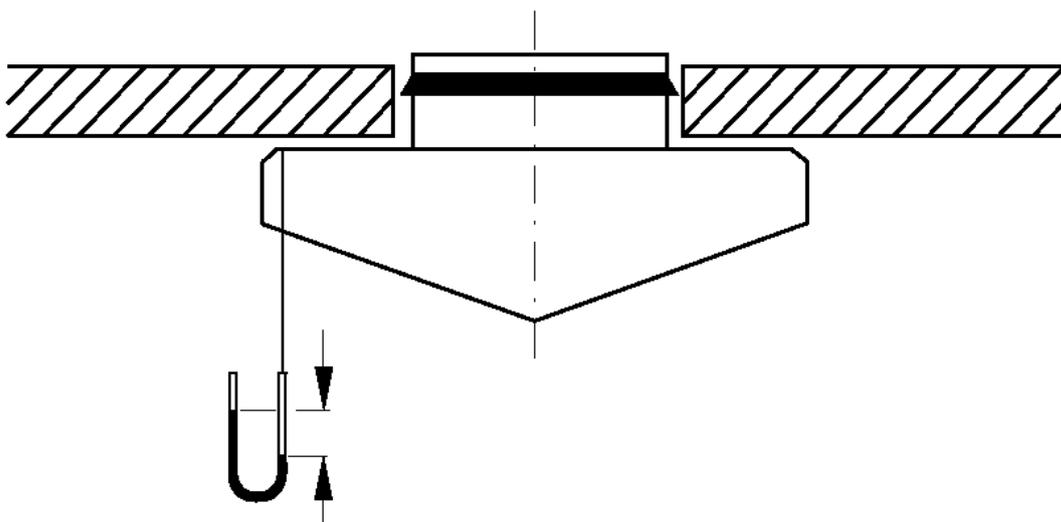
Zwischen dem Volumenstrom, der durch das Ventil strömt, und dem dabei auftretenden Druckverlust herrscht ein eindeutiger Zusammenhang. D.h. aus dem Druckverlust am Ventil kann auf den Volumenstrom zurückgeschlossen werden. Von den Herstellern werden dazu entsprechende Datenblätter zur Verfügung gestellt, in denen eine Meßanleitung und entsprechende Diagramme oder Tabellen enthalten sind:

Der Druckverlust über dem Ventil wird gemessen als Differenz zwischen Luftdruck im inneren des Ventils und dem Luftdruck im Raum. Der Luftdruck im Innern des Ventils wird mit Hilfe eines dünnen Röhrchens, das durch eines der Löcher am Rand des Ventils gesteckt wird, gemessen.

Dabei ist es wichtig, genau nach dieser Meßvorschrift vorzugehen um den statischen Druckunterschied zu messen. Würde man in der Mitte messen, würde die Druckdifferenz auch einen dynamischen Anteil aufgrund der Luftgeschwindigkeit enthalten. An der Rückwand des Ventils am äußeren Rand ist die Luftgeschwindigkeit vernachlässigbar klein. („Totwasser-Zone“)



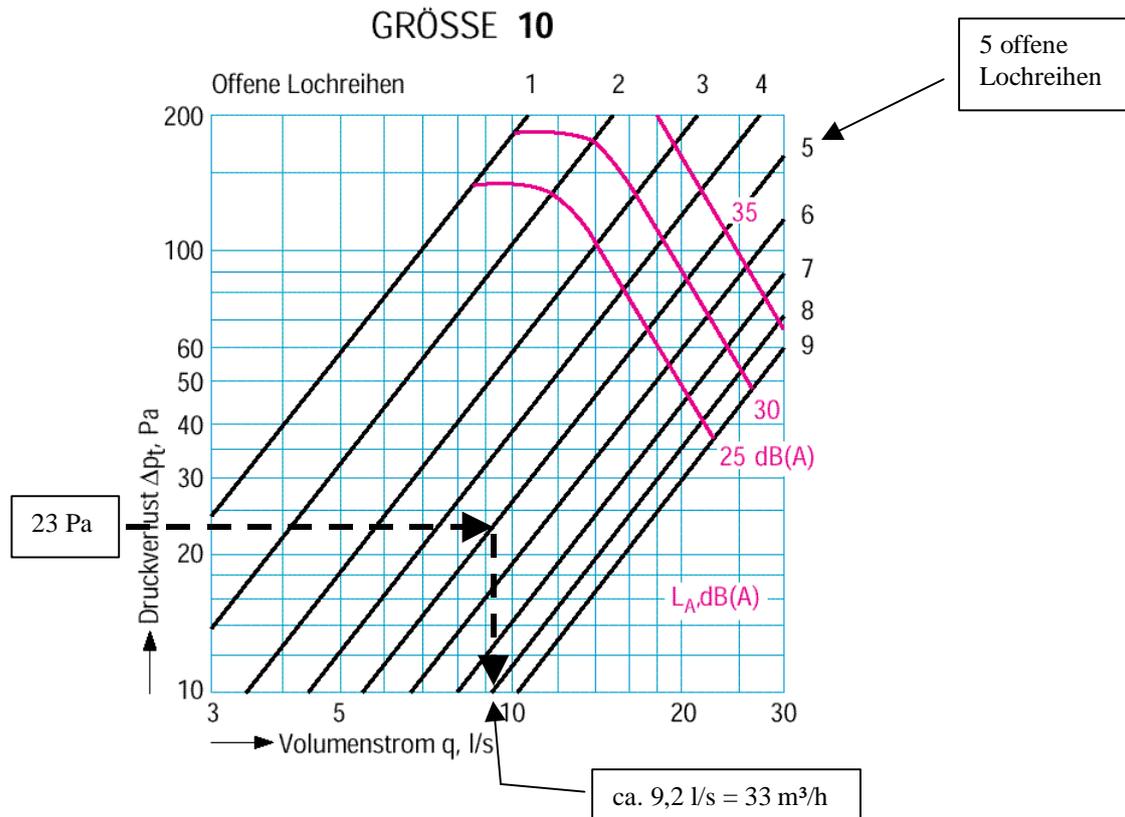
Meßanleitung für Zuluft-Weitwurfdüse STH:



Meßbeispiel:

Anzahl offener Lochreihen: 5  
gemessener Differenzdruck: 23 Pa

Mit diesen Angaben kann im untenstehenden Diagramm der Volumenstrom abgelesen werden:



Bei 5 offenen Lochreihen und einem Druckverlust von 23 Pa beträgt der Volumenstrom 33 m<sup>3</sup>/h.

Wie man aus dem Diagramm ebenfalls ablesen kann, ist das Ausströmgeräusch  $L_A$  unter 25 dB(A).

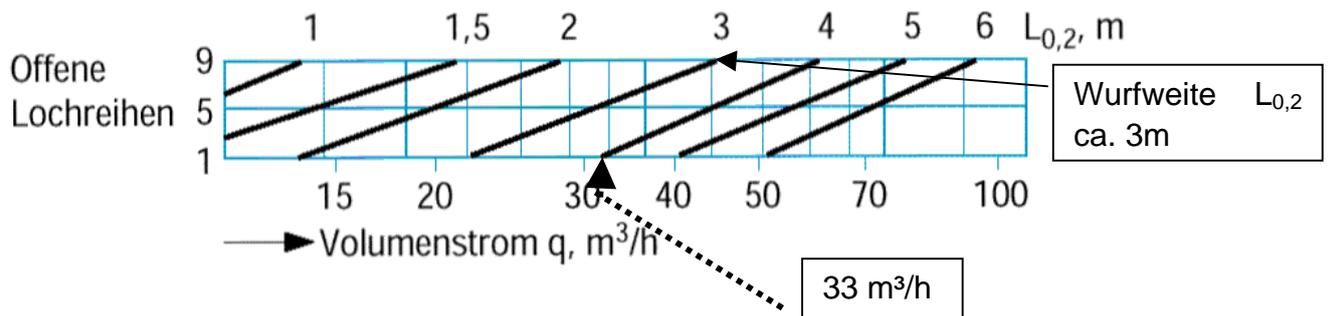
Es ist wichtig, die Ventile so auszulegen, daß bei Nennvolumenstrom (Lüftungsstufe „Normal“) das Luftausströmgeräusch kleiner 25 dB(A) ist, damit auch bei nächtlicher Stille keine Geräusche von der Lüftungsanlage zu hören sind.

Um die Länge der Lüftungsleitungen kurz und damit auch die Investitionskosten niedrig zu halten, sollten für die Zuluft Weitwurfdüsen eingesetzt werden. Mit Weitwurfdüsen kann man eine gute Raumdurchmischung erreichen.

Je kleiner der freie Querschnitt der Weitwurfdüse, desto größer die Wurfweite. Mit kleiner werdendem freien Querschnitt steigt jedoch auch der Druckverlust an. D.h. es muß ein Kompromiß zwischen erforderlicher Wurfweite und geringem Druckverlust gefunden werden, um den Stromverbrauch der Ventilatoren in Grenzen zu halten.

Werden die Weitwurfdüsen, wie in unterer Abbildung gezeigt, unmittelbar unter der Decke platziert, kann man sich den sogenannten Coanda-Effekt zu Nutze machen. Luftströmungen die an einer Oberfläche entlangströmen, „kleben“ an dieser Oberfläche (Coanda-Effekt). Dadurch kann bei gleicher Luftaustrittsgeschwindigkeit eine größere Wurfweite ggü. der Ausströmung in den freien Raum erreicht werden.

Als Wurfweite  $L_{0,2}$  ist definiert: Abstand zur Düse bei der sich die Luftgeschwindigkeit auf weniger als 0,2 m/s abgebaut hat.

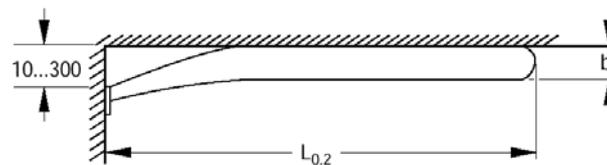


### VERTEILUNGSBILD - WURFWEITE

Draufsicht



Seitenansicht

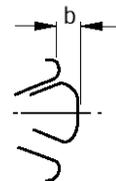
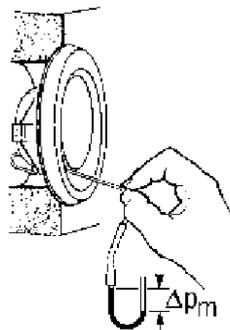


Auch zur Wurfweite gibt es im Datenblatt ein entsprechendes Diagramm:

Bei Abluftventilen gibt es ähnliche Diagramme für den Zusammenhang zwischen Druckverlust und Volumenstrom.

### EINSTELLUNG

Der Volumenstrom wird durch Messen der Druckdifferenz im Ventil zum Raum ermittelt. Eine Einstellung ist durch Verstellen des Kegels möglich.



$$q = k \sqrt{\Delta p_m}$$

(l/s) (Pa)

Für die Messung des Luftdrucks von Abluft-Tellerventilen mit Einstellkegel wird ein gebogenes Röhrchen benötigt, um im „Totwasserbereich“ des Ventils messen zu können:

#### **4.12 Hydraulischer Abgleich**

Zur Inbetriebnahme einer Heizungsanlage gehört der hydraulische Abgleich des Rohrsystems. Dieses Angleichen der Strömungswiderstände unterschiedlich weit von der Heizungspumpe entfernter Verbraucher wurde hier für alle Nachheizregister und Badheizkörper durchgeführt.

Die Regelung des Nachheizregisters erfolgt über ein thermisches Stellventil, das ein herkömmliches Ventilunterteil bedient. Dieses Ventilunterteil ist mit einer feineinstellbaren kv-Voreinstellung zu wählen. Die Feineinstellbarkeit erlaubt ein genaueres Einstellen der Durchflußbegrenzung.

Das Verfahren des hydraulischen Abgleichs wurde so durchgeführt, daß erst die heizungsnahen Verbraucher (Badheizkörper 30 l/min, Nachheizregister: 80 l/min) auf den maximalen Durchfluß eingeregelt wurden. Die Pumpe im Heizungsnetz ist dabei eine Gleichdruckpumpe.

#### **4.13 Inbetriebnahme der Anlage und Qualitätssicherung**

Die Inbetriebnahme in einem Pilotvorhaben ist immer ein Vorgang, der eine erhöhte Aufmerksamkeit erfordert. Die Charakteristik des Geschoßwohnungsbaus mit wie hier 40 Wohnungen macht eine schriftliche und systematische Protokollierung der Inbetriebnahme unverzichtbar.

Auf den Seiten B-Anhang/14+15 ist ein Blanko-Exemplar sowie ein ausgefülltes Inbetriebnahmeprotokoll wiedergegeben. Der Inbetriebnahme vorgelagert war eine erste systematische Mängelaufnahme, deren Ergebnisse ebenfalls wohnungsweise festgehalten wurden und an den jeweiligen Wohnungstüren sichtbar solange hingen, bis die festgestellten Mängel beseitigt waren.

#### **4.14 Geschoßwohnungsbau-spezifische Besonderheiten**

An dieser Stelle sollen die im Pilotvorhaben festgestellten Besonderheiten genannt werden, die für die Planung und Installation einer semizentralen Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung von Bedeutung waren. Inwieweit diese Gesichtspunkte auch für andere Bauvorhaben von Bedeutung sind, bleibt der Prüfung im jeweiligen Einsatzzweck vorbehalten.

##### Besonderheiten der Lüftungsanlage im Pilotvorhaben:

1. Einhausung der Dachlüftungszentralen

Das Aufstellen der Dachlüftungszentralen außerhalb der Passivhaus-Hülle ist eine nicht einfache Lösung, weil die Einhausungen mit ihren Revisionsöffnungen hohe Anforderungen an Wärmedämmung und Luftdichtheit erfüllen müssen.

Die bessere Lösung ist immer, die Lüftungszentralen und Sammelrohre komplett innerhalb der Passivhaus-Dämmhülle unterzubringen.

2. Entlüftung von Abstellräumen in Treppenhäusern

Am Treppenhaus angelagerte Abstellräume müssen in die Entlüftung des Treppenhauses einbezogen werden.

3. Kleinräumiger Haustechnikraum innerhalb der Passivhaus-Dämmhülle

Das Gebäude 23WE verfügt über einen Hausanschlußraum mit Fernwärmeübergabestation, Elektro- und Wasseranschluß. Dieser Raum enthält auch den TWW-Speicher (800 l) sowie die Baugruppe der Heizungsverteilung mit Pumpe und Mischer.

Obwohl die Rohrleitungen und der Speicher extra stark gedämmt sind, sorgt die gute Passivhaus-Hülle dafür, daß sich in dem Raum ohne aktive Lüftung Temperaturen von 27°C einstellen. Solche Räume müssen also ebenfalls an die Lüftungsanlage über die Wärmerückgewinnung angeschlossen werden.

4. Revisionsöffnungen in den Bädern

Die folgende Aufnahme zeigt die Revisionsöffnung in einem der Bewohnerbäder (während der Bauphase). Die 80x100 cm große Tür ist außerhalb des Spritzbereiches von Wasserarmaturen in den Fliesenspiegel integriert.

Für die spätere Bedienbarkeit diese Revisionsöffnung ist es erforderlich, daß trotz Aufstellen von Waschmaschine o.ä. die Klappe leicht demontierbar bleibt. Dies ist im übrigen auch eine Forderung der zuständigen Versorgungsbetriebe.

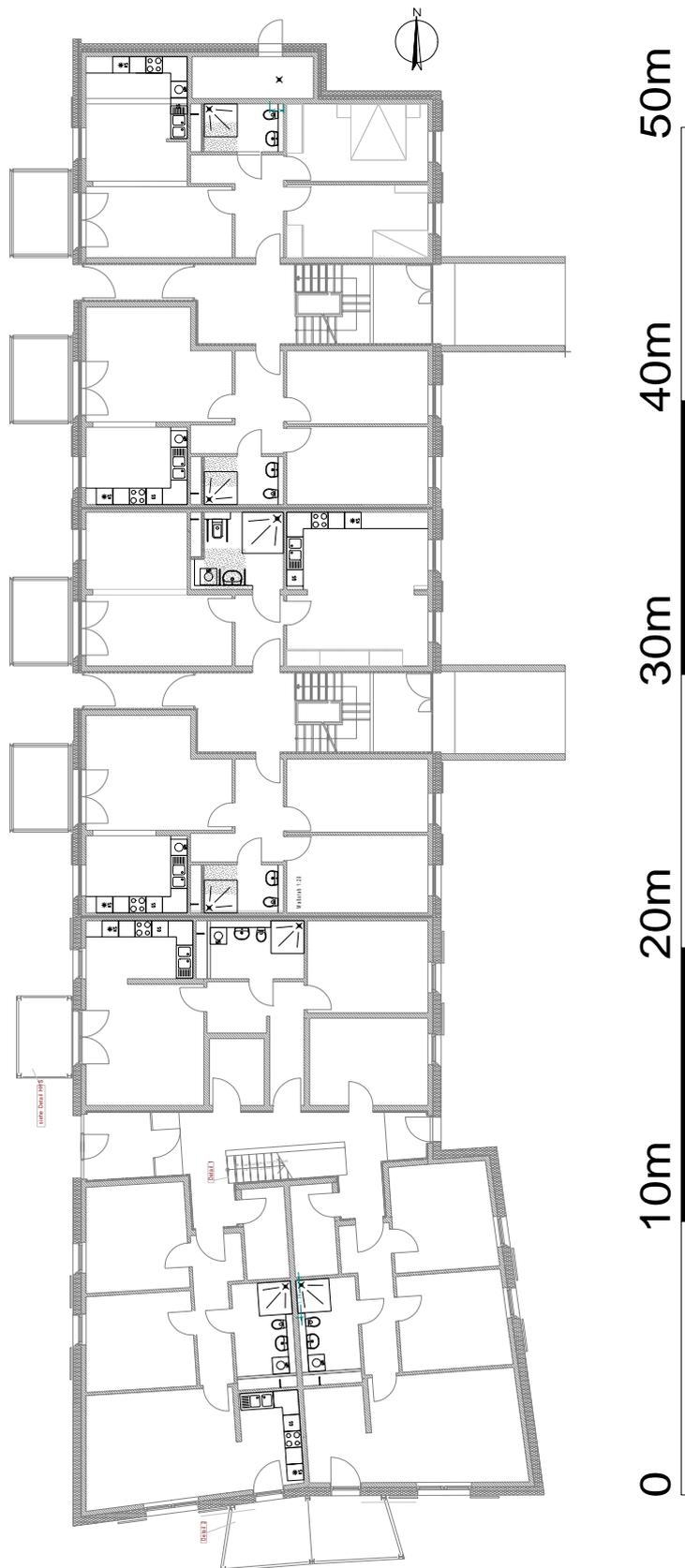


**5 Literatur zu den Abschnitten A und B**

- [Feist 1999]** Dr. Wolfgang Feist: „Anforderungen an die Wohnungslüftung im Passivhaus“, in: Wolfgang Feist, PHI (Hrsg.): Protokollband Nr. 17, Arbeitskreis kostengünstige Passivhäuser Phase II, „Dimensionierung von Lüftungsanlagen in Passivhäusern“, Passivhaus Institut, Darmstadt, Oktober 1999.
- [Otte 1999]** Joachim Otte: „Besonderheiten bei der Ausführungsplanung einer Lüftungsanlage im Geschloßwohnungsbau“, in: Wolfgang Feist, PHI (Hrsg.): Protokollband Nr. 17, Arbeitskreis kostengünstige Passivhäuser Phase II, „Dimensionierung von Lüftungsanlagen in Passivhäusern“, Passivhaus Institut, Darmstadt, Oktober 1999.
- [Stärz 1999]** Norbert Stärz: „Lüftungstechnik bei Reihenhaussiedlungen mit Passivhäusern“, in: Wolfgang Feist, PHI (Hrsg.): Protokollband Nr. 17, Arbeitskreis kostengünstige Passivhäuser Phase II, „Dimensionierung von Lüftungsanlagen in Passivhäusern“, Passivhaus Institut, Darmstadt, Oktober 1999.
- [Werner 1997]** Johannes Werner, Matthias Laidig: „Projektierung und Dimensionierung von Lüftungsanlagen im Passivhaus“, in: Wolfgang Feist (Hrsg.): Protokollband Nr. 4, Arbeitskreis kostengünstige Passivhäuser „Lüftung im Passivhaus“, Passivhaus Institut, Darmstadt, Januar 1997.

## **6 Datenblätter zum Abschnitt B**

- 1. Passivhäuser Marbachshöhe, 23 WE, Grundriß EG (ohne Maßstab)**
- 2. Passivhäuser Marbachshöhe, 17 WE, Grundriß EG (ohne Maßstab)**
- 3. Gebäudekenndaten Passivhäuser Kassel-Marbachshöhe, 23 WE**
- 4. Gebäudekenndaten Passivhäuser Kassel-Marbachshöhe, 17 WE**
- 5. Prinzipschema *Semizentrale Lüftung***
- 6. Druckverlustberechnung der Lüftungsanlage 23WE - Zuluft**
- 7. Druckverlustberechnung der Lüftungsanlage 23WE - Abluft**
- 8. Leckagemessung Luft-Luft-Wärmetauscher, absoluter Luftvolumenstrom**
- 9. Leckagemessung Luft-Luft-Wärmetauscher, bezogen auf Nennvolumenstrom**
- 10. Wirkungsgrad Wärmetauscher, Nennvolumenstrom 2000 m<sup>3</sup>/h**
- 11. Leistung des Pumpenwarmwasser-Heizregisters (PWW)**
- 12. Temperatur-, Volumenstrom- und Heizleistungsmessungen am PWW-Heizregister im Gebäude 23WE, Wohnung Nr. 10**
- 13. Wärmeverluste von Lüftungsleitungen mit unterschiedlicher Wärmedämmung**
- 14. BV Passivhäuser Marbachshöhe Abnahmeprotokoll Lüftungsanlage (blanko)**
- 15. BV Passivhäuser Marbachshöhe Abnahmeprotokoll Lüftungsanlage (ausgefüllt)**



Passivhäuser Kassel-Marbachshöhe, Gebäude 23 WE, Grundriß EG



Passivhäuser Kassel-Marbachshöhe, Gebäude 17 WE, Grundriß EG

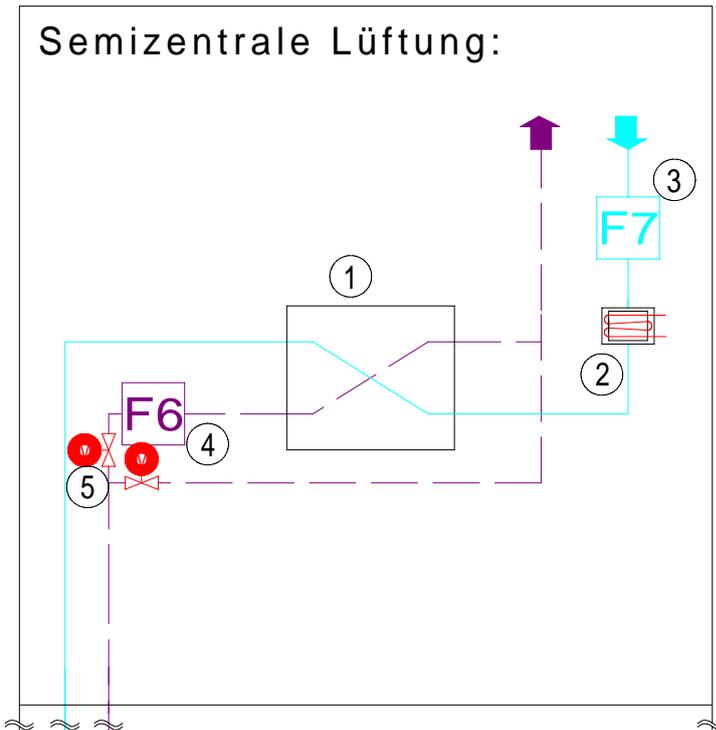
**Gebäudekenndaten 23 WE:**

Anzahl Wohneinheiten:	23 WE
Bruttogeschoßfläche:	3812 m <sup>2</sup>
Wohnfläche:	1662 m <sup>2</sup>
Nutzfläche:	723 m <sup>2</sup>
Umbauter Raum:	6880 m <sup>3</sup>
Zahl der Vollgeschosse:	3
Energiebezugsfläche (EBZ):	1785 m <sup>2</sup>
Energiekennzahl Heizwärme:	14,9 kWh/m <sup>2</sup> a (bez. auf Energiebezugsfläche)
Heizwärmelast nach PhPP:	8,1 W/m <sup>2</sup>
Luftwechselrate:	0,53 1/h
Luftvolumenstrom:	2730 m <sup>3</sup> /h (verteilt: 4 Dachlüftungszentralen)
Luftvolumenstrom pro Wohnung:	105 m <sup>3</sup> /h (Wohnfläche ca. 70m <sup>2</sup> )
U-Werte (früher k-Wert):	
Außenwände:	0,126 W/m <sup>2</sup> K
Dach:	0,109 W/m <sup>2</sup> K
Fußboden Erdgeschoß:	0,182 W/m <sup>2</sup> K
Fenster:	0,703 W/m <sup>2</sup> K (inklusive Wärmebrücken verluste durch Einbausituation)
Verglasung:	
U-Wert:	0,6 W/m <sup>2</sup> K
g-Wert:	43%
Fensterfläche(Rohbaumaße):	
Ost:	143,4 m <sup>2</sup>
Süd:	64,1 m <sup>2</sup>
West:	154,5 m <sup>2</sup>
Nord:	1,5 m <sup>2</sup>

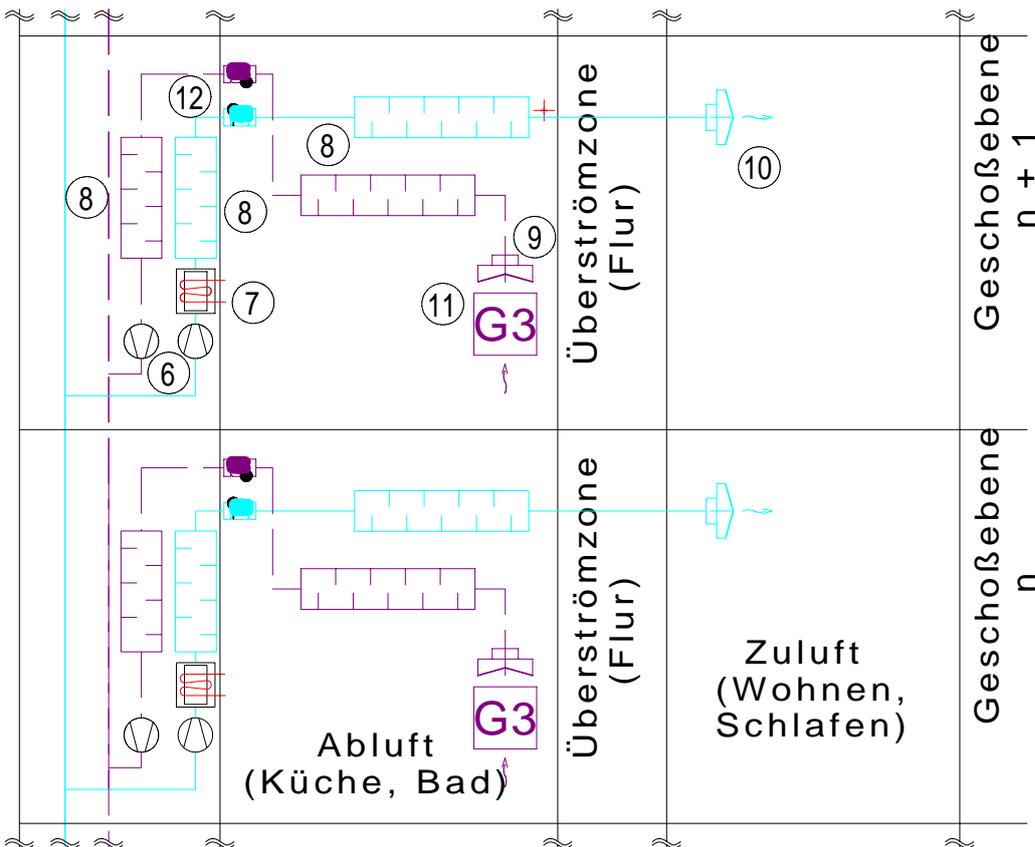
**Gebäudekenndaten 17 WE:**

Anzahl Wohneinheiten:	17 WE
Bruttogeschoßfläche:	2392 m <sup>2</sup>
Wohnfläche:	1253 m <sup>2</sup>
Nutzfläche:	164 m <sup>2</sup>
Umbauter Raum:	5116 m <sup>3</sup>
Zahl der Vollgeschosse:	3
Energiebezugsfläche (EBZ):	1303 m <sup>2</sup>
Energiekennzahl Heizwärme:	13,9 kWh/m <sup>2</sup> a (bezogen auf EBZ)
Heizwärmelast nach PhPP:	7,3 W/m <sup>2</sup>
Luftwechselrate:	0,51 1/h
Luftvolumenstrom:	1650 m <sup>3</sup> /h (verteilt auf 2 Lüftungszentralen)
Luftvolumenstrom pro Wohnung:	105 m <sup>3</sup> /h (bei Wohnfläche ca. 70m <sup>2</sup> )
U-Werte (früher k-Wert):	
Außenwände:	0,126 W/m <sup>2</sup> K
Dach:	0,109 W/m <sup>2</sup> K
Fußboden Erdgeschoß:	0,182 W/m <sup>2</sup> K
Fenster:	0,703 W/m <sup>2</sup> K (inklusive Wärmebrücken- verluste durch Einbausituation)
Verglasung:	
U-Wert:	0,6 W/m <sup>2</sup> K
g-Wert:	43%
Fensterfläche(Rohbaumaße):	
Ost:	53,3 m <sup>2</sup>
Süd:	69,9 m <sup>2</sup>
West:	54,4 m <sup>2</sup>
Nord:	keine Fenster
Horizontal:	2,0 m <sup>2</sup>

Semizentrale Lüftung:



- 1 Wärmetauscher
- 2 Vorheizregister
- 3 Frischluftfilter F7
- 4 Abluftfilter F6
- 5 Dichtschließende Motorabsperriklappe
- 6 Zu/Abluft Ventilator
- 7 Nachheizregister
- 8 Schalldämpfer
- 9 Abluftventil
- 10 Zuluftventil
- 11 Grobfilter G3
- 12 Rückschlagklappe



<b>BV Passivhäuser Marbachshöhe</b>								
<b>Druckverlustberechnung der Lüftungsanlage 23WE - Zuluft</b>								
Bauteil	Q	dP	zeta	Länge	Breite	DN	Fläche	v=Q/A
	[m³/h]	[Pa]		[mm]	[mm]	[mm]	[mm²]	[m/s]
Beginn Dachlüftungszentrale								
Wetterschutzgitter AlAS alu 600x510mm	910	8,00		600	510		306000	0,83
Frischlufffilter	910	40,00		600	600		360000	0,70
Übergangsstück Filtergehäuse auf DN315	910	1,32	0,2			315	77931	3,24
Bypassklappe gerade Durchströmt Lindab TVTBU	910	1,00				315	77931	3,24
Vorheizregister 6kW	910	5,00		570	340		193800	1,30
Lüfta Luft-Luft-Wärmetauscher WT1000	910	55,00		480	550		264000	0,96
Bogen 90° DN315	910	2,12				315	77931	3,24
Bypassklappe DN315	910	1,00				315	77931	3,24
Wickelfalzrohr DN315 420mm lang	910	0,18				315	77931	3,24
Hosenstück DN315-225 YVU-45° Lindab 4/91	910	4,60	0,7			315	77931	3,24
Reduzierung DN225-200	456	0,90				200	31416	4,03
Wickelfalzrohr DN200 1700mm lang	456	1,85				200	31416	4,03
3 Bögen 45° DN200	456	5,20				200	31416	4,03
<b>Dachlüftungszentrale Winterfall Summe</b>		<b>126,16</b>						
Beginn Steigeschacht								
Wickelfalzrohr DN200 2000mm lang	456	2,18				200	31416	4,03
T-Stück DN200-125 gerade durchströmt	456	4,06	0,4			200	31416	4,03
Wickelfalzrohr DN200 2000mm lang	342	1,29				200	31416	3,02
T-Stück DN200-125 gerade durchströmt	342	2,86	0,5			200	31416	3,02
Wickelfalzrohr DN200 2000mm lang	228	0,62				200	31416	2,02
T-Stück DN200-125 gerade durchströmt	228	1,91	0,75			200	31416	2,02
Wickelfalzrohr DN200 2000mm lang	114	0,18				200	31416	1,01
T-Stück DN200-125 abbiegend durchströmt w2 (ge	114	0,64	1			200	31416	1,01
<b>Ende Steigeschacht Summe</b>	<b>114</b>	<b>13,71</b>						
Beginn Wohnung								
Warmwasser Nachheizregister 1kW	114	20,00				125	12272	2,58
Übergang Ventilator Anschluß WW-Reg. 78x115 au	114	1,56	0,2	115	78		8970	3,53
Schalldämpfer Westaflex 125/224/1000	114	1,20				125	12272	2,58
Rückschlagklappe LIMOT LW DN125	114	18,00				125	12272	2,58
90°-Bogen	114	1,80				125	12272	2,58
Wickelfalzrohr DN125 1500mm lang	114	1,26				125	12272	2,58
90°-Bogen	114	1,80				125	12272	2,58
Wickelfalzrohr DN125 800mm lang	114	0,67				125	12272	2,58
T-Stück DN125-100	114	1,25	0,3			125	12272	2,58
Wickelfalzrohr DN125 850mm lang	85	0,40				125	12272	1,92
T-Stück DN125-100	85	0,93	0,4			125	12272	1,92
Reduzierung DN125-100	65	1,30				100	7854	2,30
Wickelfalzrohr DN100 440mm lang	65	0,60				100	7854	2,30
Schalldämpfer Westaflex 120/150/1250 gebogen w	65	3,60				100	7854	2,30
Zuluft-Ventil ABB-Fläkt STH-10 9 Lochreihen offen	65	10,00						
<b>Ende Wohnung Summe</b>		<b>64,36</b>						
<b>Summe Lüftungszentrale</b>		<b>126,2</b>						
<b>Summe Steigeschacht</b>		<b>13,7</b>						
<b>Summe Wohnung</b>		<b>64,4</b>						
<b>Gesamtsumme der Druckverlustes</b>		<b>204,2</b>						
Mechanische Leistung $P = q \times dP$		6,5	W					
Wirkungsgrad Ventilator		30,0%				21,8%		
Elektrische Leistungsaufnahme		21,6	W			29,6		
Volumenstrom		114,0	m³/h			114,0	m³/h	
Spezifische Leistungsaufnahme		0,189	Wh/m³			0,260	Wh/m³	

<b>BV Passivhäuser Marbachshöhe</b>								
<b>Druckverlustberechnung der Lüftungsanlage 23WE - Abluft</b>								
Betriebs-Stunden / a	7000							
Wirkungsgrad Lüfter	0,3							
Strompreis	0,3	DM/kWh						
Bauteil	Q	dP	zeta	Länge	Breite	DN	Fläche	v=Q/A
	[m³/h]	[Pa]		[mm]	[mm]	[mm]	[mm²]	[m/s]
Beginn Wohnung								
Paul-WRG Vorfilter für Tellerventile	65	10,00		220	220		48400	0,37
Abluftventil Küche ABB/Fläkt KGE12 DN125	65	30,00				125	12272	1,47
Wickelfalzrohr DN125 710mm lang	65	0,22				125	12272	1,47
Schalldämpfer Westaflex 125/180/1250 mit 180°-B	65	3,60				125	12272	1,47
T-Stück DN125-125 q3=65m³/h q1=114m³/h	65	1,11	0,82			125	12272	1,47
Wickelfalzrohr DN125 1100mm lang	114	0,92				125	12272	2,58
90°-Bogen DN125	114	1,80				125	12272	2,58
Rückschlagklappe LIMOT LW DN125	114	18,00				125	12272	2,58
Schalldämpfer Westaflex 125/224/1000	114	1,00				125	12272	2,58
Wickelfalzrohr DN125 580mm lang	114	0,49				125	12272	2,58
Übergangsstück Vent. 85x115mm-DN125	114	0,85	0,13	85	115		9775	3,24
<b>Ende Wohnung Summe</b>		<b>68,0</b>						
Beginn Steigeschacht								
T-Stück DN125-200 3.OG	456	4,41	0,434			200	31416	4,03
Wickelfalzrohr DN200 2400mm lang (inkl. 20cm De	456	2,61				200	31416	4,03
<b>Ende Steigeschacht Summe</b>		<b>7,0196</b>						
Beginn Dachlüftungszentrale								
3 45°-Bögen DN200	456	5,19				200	31416	4,03
Wickelfalzrohr DN200 1100mm lang	456	1,20				200	31416	4,03
<b>Reduzierung DN200-315</b>	456	1,50				200	31416	4,03
T-Stück TVU 45° DN315-200	912	4,40	1,128			315	77931	3,25
90°-Bogen DN315	912	2,12				315	77931	3,25
Abluftfilter F6	912	30,00		610	610		372100	0,68
90°-Bogen DN315	912	2,12				315	77931	3,25
Lüfta Luft-Luft-WT1000	912	55,00		480	500		240000	1,06
90°-Bogen DN315	912	2,12				315	77931	3,25
Wickelfalzrohr DN315 1820mm lang	912	0,784				315	77931	3,25
Übergangsstück DN315 auf 500x500	912	4,40	0,5			315	77931	3,25
Wetterschutzgitter AIAS alu 600x510mm	910	8,00		600	510		306000	0,83
<b>Dachlüftungszentrale Winterfall Summe</b>		<b>116,8</b>						
<b>Ende Wohnung Summe</b>		<b>68,0</b>						
<b>Ende Steigeschacht Summe</b>		<b>7,0</b>						
<b>Dachlüftungszentrale Winterfall Summe</b>		<b>116,8</b>						
<b>Gesamtsumme der Druckverlustes</b>		<b>191,8</b>						
Mechanische Leistung $P = q \times dP$		6,1	W					
Wirkungsgrad Ventilator		30,0%						
Elektrische Leistungsaufnahme		20,2	W					
Volumenstrom		114,0	m³/h					
Spezifische Leistungsaufnahme		0,178	Wh/m³					

## BV Passivhäuser Marbachshöhe

### Leckagemessung Luft-Luft-Wärmetauscher "kleine" Lüftungszentrale 17WE (Whg1+6)

**Meßobjekt:** Gegenstromwärmetauscher

Daten:

Wärmetauscher - Außenmasse BxLxT: 655x1440x360 mm  
 Plattenmaterial: AlMg3  
 Plattentauscherfläche: 2x51m<sup>2</sup>  
 Dämmschichtdicke: 20 mm  
 Dämmmaterial: PUR  
 Temperatúraustauschergrad: 95%  
 Kanalanschlüsse: 4 x DN 200  
 Nennvolumenstrom: 600 m<sup>3</sup>/h  
 Druckverlust nach Nennvolumenstrom: 50 Pa

#### Meßanordnung und Meßvorgang:

Der Wärmetauscher war bereits in der Lüftungszentrale Los2 Whg1+6 aufgestellt.

Ventilator angeschlossen bei Seitenansicht WT links oben (Abluft)

Über T-Stück und Teller Ventil sowie die Ventilator Drehzahl ist der am WT anstehende Druck einstellbar.

Anstehender Druck gemessen mit Differenzdruckmeßgerät von Fa. n50

Technische Daten: 0-250 Pa 1-5V Genauigkeit 0,25% vom Meßbereichsendwert d.h. 0,625 Pa

Messung am Spannungsausgang über DMM Conrad Typ Voltcraft VC222

Mit Folie abgeklebt: links unten (Zuluft) und rechts unten (Fortluft)

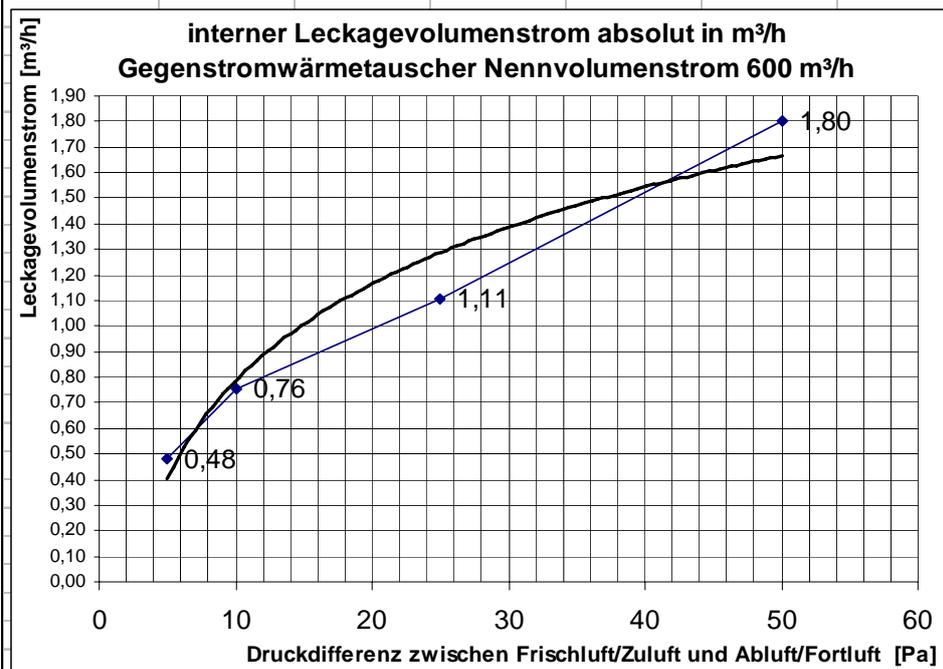
Rechts oben (Frischluf) über Folie Anschluß WFR DN100 Übergang auf PE-Folienschlauch

Übergang auf Cu-Rohr DN15 am Cu-Rohr Mülltüte mit 120 Liter Inhalt angeschlossen.

Alle Luft aus Mülltüte herausdrücken. Zeitmessung bis Mülltüte aufgeblasen ist.

Nennvolumenstrom 600 m<sup>3</sup>/h  
 Volumen Mülltüte 120 Liter

Druck [Pa]	Volumenstrom [m <sup>3</sup> /h]	Zeit
5	0,48	0:15:00
10	0,76	0:09:30
25	1,11	0:06:30
50	1,80	0:04:00



## BV Passivhäuser Marbachshöhe

### Leckagemessung Luft-Luft-Wärmetauscher "kleine" Lüftungszentrale 17WE (Whg1+6)

**Meßobjekt:** Gegenstromwärmetauscher

Daten:

Wärmetauscher - Außenmasse BxLxT: 655x1440x360 mm  
 Plattenmaterial: AlMg3  
 Plattentauscherfläche: 2x51m<sup>2</sup>  
 Dämmschichtdicke: 20 mm  
 Dämmmaterial: PUR  
 Temperatúraustauschegrad: 95%  
 Kanalanschlüsse: 4 x DN 200  
 Nennvolumenstrom: 600 m<sup>3</sup>/h  
 Druckverlust nach Nennvolumenstrom: 50 Pa

#### Meßanordnung und Meßvorgang:

Der Wärmetauscher war bereits in der Lüftungszentrale Los2 Whg1+6 aufgestellt.

Ventilator angeschlossen bei Seitenansicht WT links oben (Abluft)

Über T-Stück und Tellerventil sowie die Ventilator Drehzahl ist der am WT anstehende Druck einstellbar.

Anstehender Druck gemessen mit Differenzdruckmeßgerät von Fa. n50

Technische Daten: 0-250 Pa 1-5V Genauigkeit 0,25% vom Meßbereichsendwert d.h. 0,625 Pa

Messung am Spannungsausgang über DMM Conrad Typ Voltcraft VC222

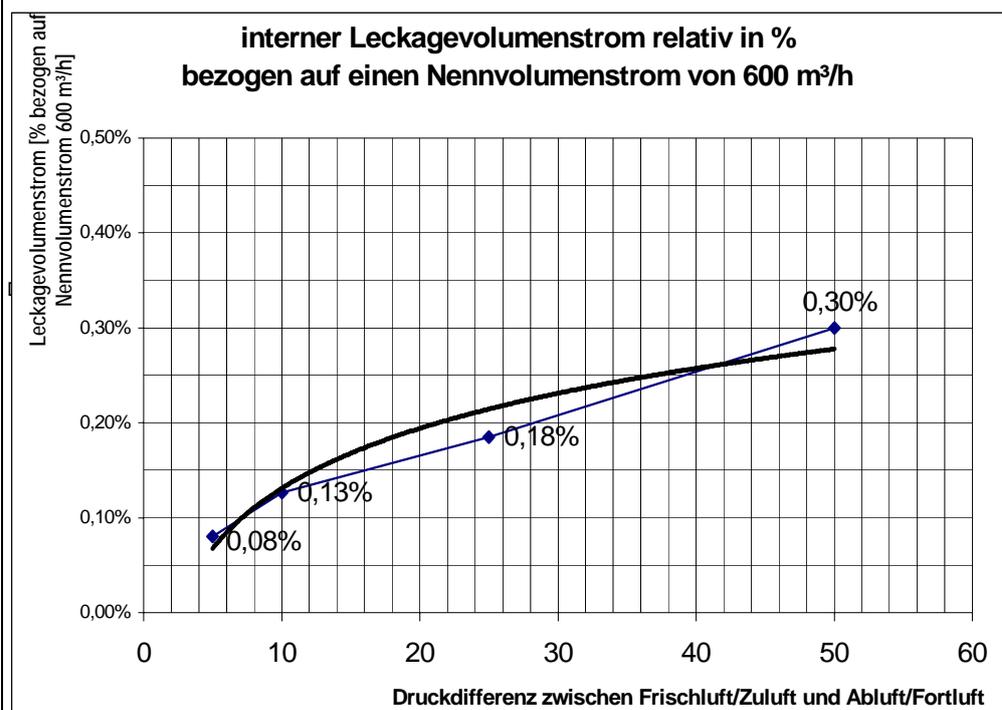
Mit Folie abgeklebt: links unten (Zuluft) und rechts unten (Fortluft)

Rechts oben (Frischluf) über Folie Anschluß WFR DN100 Übergang auf PE-Folienschlauch

Übergang auf Cu-Rohr DN15 am Cu-Rohr Mülltüte mit 120 Liter Inhalt angeschlossen.

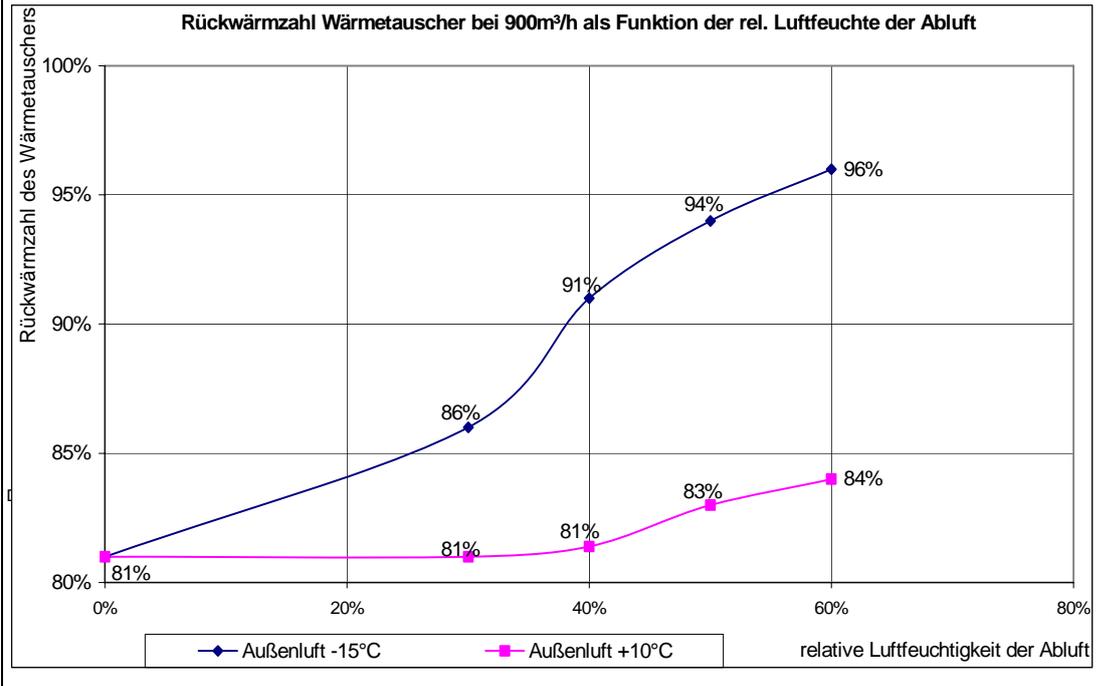
Alle Luft aus Mülltüte herausdrücken. Zeitmessung bis Mülltüte aufgeblasen ist.

Druck [Pa]	Leckage
5	0,08%
10	0,13%
25	0,18%
50	0,30%



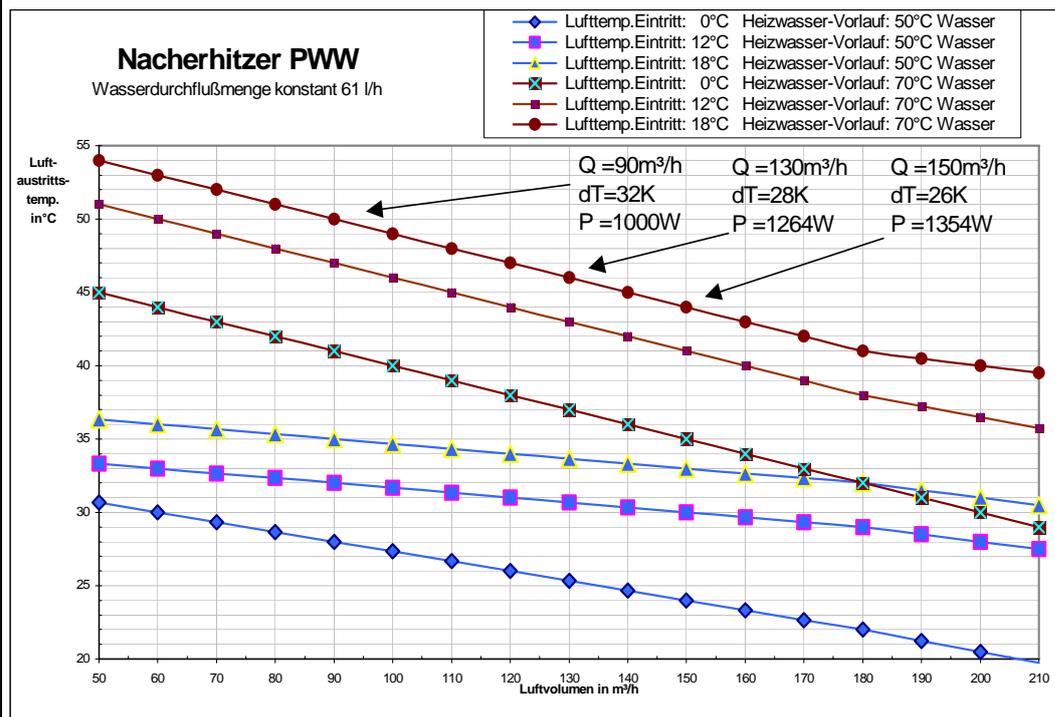
**Passivhäuser Marbachshöhe**  
**Wirkungsgrad Wärmetauscher, Nennvolumenstrom 2000 m³/h**

Temperatur Außenluft	relative Luftfeuchtigkeit der Abluft		eta-WT	Temperatur Außenluft	relative Luftfeuchtigkeit der Abluft	
	0%	30%			40%	50%
-15	0%	81%		10	0%	81%
-15	30%	86%		10	30%	81%
-15	40%	91%		10	40%	81,40%
-15	50%	94%		10	50%	83%
-15	60%	96%		10	60%	84%



**Passivhäuser Marbachshöhe**  
**Leistung des Pumpenwarmwasser-Heizregisters (PWW)**  
**Angaben bei konstanter Wasserdurchflußmenge 61l/h**

Luft volumen	Luft ein	Luft aus	Leistung	Druckabfall Luft	Wassertemp. ein	Wassertemp. aus	Durchfluß Wasser	Druckabfall wasser
m³/h	°C	°C	kW	Pa	°C	°C	l/h	kPa
220	18	39	1570	37	70	48	61	1,1
220	18	30	946	37	50	37	61	1,2
180	18	41	1444	26	70	50	61	1,1
180	18	32	871	26	50	38	61	1,2
150	18	44	1330	18	70	51	61	1,1
150	18	33	803	18	50	38	61	1,2
220	12	35	1751	37	70	45	61	1,1
220	12	27	1123	37	50	34	61	1,2
180	12	38	1610	26	70	47	61	1,1
180	12	29	1034	26	50	35	61	1,2
150	12	41	1484	18	70	49	61	1,1
150	12	30	954	18	50	36	61	1,2
220	0	28	2113	37	70	40	61	1,1
220	0	19	1478	37	50	29	61	1,2
180	0	32	1944	26	70	43	61	1,1
180	0	22	1361	26	50	31	61	1,2
150	0	35	1791	18	70	44	61	1,1
150	0	24	1255	18	50	32	61	1,2



### BV Passivhäuser Marbachshöhe

#### Temperatur-, Volumenstrom- und Heizleistungsmessungen am PWW-Heizregister im Gebäude 23WE, Wohnung Nr. 10

##### allgemeine Parameter

Wohnfläche (Energiebezugsfläche)	73,4 m <sup>2</sup>
Temperatur Heizungsvorlauf	79 °C
Temperatur Heizungsrücklauf	60 °C

##### Messung Lüftungsstufe Normallüftung

Lüftungsstufe normal	
Nennvolumenstrom laut Herst.	105 m <sup>3</sup> /h
Zuluftansaugtemperatur vor dem Nachheizregister	14 °C
Zuluftausblasttemperatur nach dem Nachheizregister	54 °C

##### Volumenstrom-Meßwerte (Differenzdruckmessung am Ventil)

Raum	Vol.Strom	Ausblasttemperatur am Ventil
Wohnen/Essen	55,6 m <sup>3</sup> /h	46 °C
Zimmer 1 (neben Eingang)	30,8 m <sup>3</sup> /h	42 °C
Zimmer 2 (ggü Wohnen)	36,9 m <sup>3</sup> /h	47 °C
Summe	123,3 m <sup>3</sup> /h	

##### Leistung des Nachheizregisters

nach Vol.Strom Hersteller	1386 W
spezifische Heizleistung	18,9 W/m <sup>2</sup>

##### Leistung des Nachheizregisters

nach Meßwerten	1628 W
spezifische Heizleistung	22,2 W/m <sup>2</sup>

##### Messung Lüftungsstufe Bedarfslüftung

Lüftungsstufe Bedarf	
Nennvolumenstrom laut Herst.	150 m <sup>3</sup> /h
Zuluftansaugtemperatur vor dem Nachheizregister	14 °C
Zuluftausblasttemperatur nach dem Nachheizregister	48 °C

##### Volumenstrom-Meßwerte (Differenzdruckmessung am Ventil)

Raum	Vol.Strom
Wohnen/Essen	76,7 m <sup>3</sup> /h
Zimmer 1 (neben Eingang)	42,6 m <sup>3</sup> /h
Zimmer 2 (ggü Wohnen)	46,7 m <sup>3</sup> /h
Summe	166,0 m <sup>3</sup> /h

##### Leistung des Nachheizregisters

nach Vol.Strom Hersteller	1683 W
spezifische Heizleistung	22,9 W/m <sup>2</sup>

##### Leistung des Nachheizregisters

nach Meßwerten	1863 W
spezifische Heizleistung	25,4 W/m <sup>2</sup>

**BV Passivhäuser Marbachshöhe**  
**Wärmeverluste von Lüftungsleitungen mit unterschiedlicher Wärmedämmung**

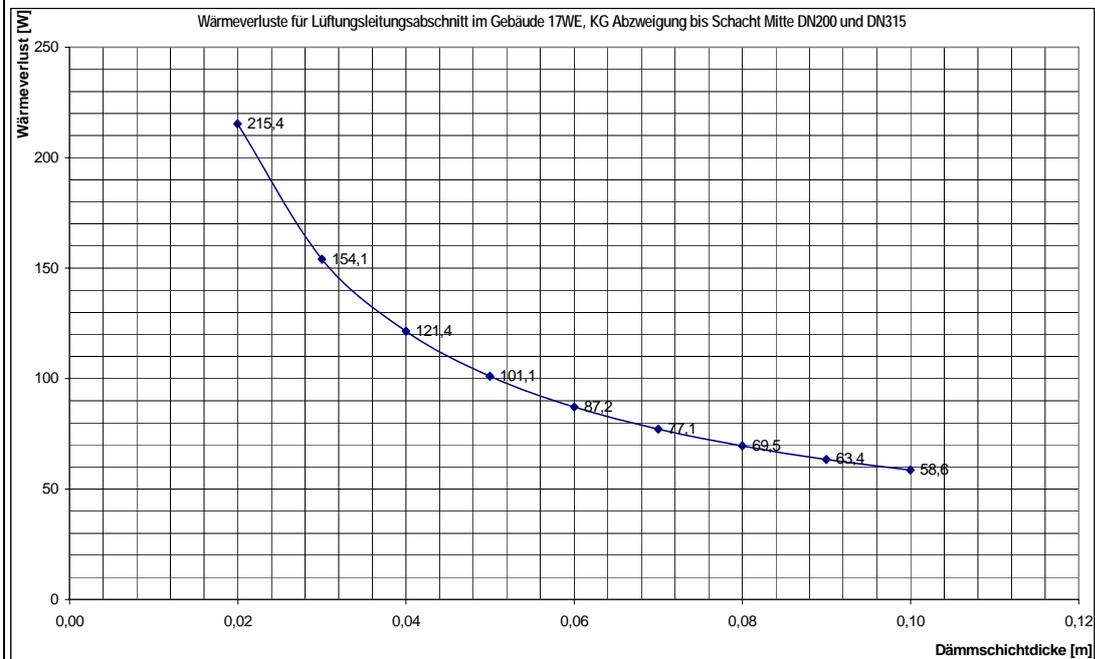
Ti	20 [°C]
Ta	8 [°C]
delta T	12 [K]
lambda	0,04 [W/mK]
alpha-a	15 [W/m²K]

mittlere Wärmetauscherleistung Pm-WT 6,32 [kW]

**Rohrmaße: Oberflächen rund**

Rohr DN	Länge
200	2,6 [m]
315	7,9 [m]

Dämmschichtdicke [m]	Da für DN		kR [W/mK] für DN		Wärmeverlust [W] für DN		Wärmeverlust [W] Gesamt	prozentual zu Pm-WT	Energienmenge	
	200	315	200	315	200	315			[kWh]	m²-spezif.
0,02	0,240	0,355	1,229	1,868	38,3	177,1	215,4	3,4%	1163,1	1,06
0,03	0,260	0,375	0,888	1,333	27,7	126,3	154,1	2,4%	832,0	0,76
0,04	0,280	0,395	0,707	1,048	22,1	99,4	121,4	1,9%	655,6	0,60
0,05	0,300	0,415	0,594	0,871	18,5	82,6	101,1	1,6%	545,9	0,50
0,06	0,320	0,435	0,516	0,750	16,1	71,1	87,2	1,4%	471,0	0,43
0,07	0,340	0,455	0,460	0,662	14,4	62,8	77,1	1,2%	416,6	0,38
0,08	0,360	0,475	0,417	0,596	13,0	56,5	69,5	1,1%	375,2	0,34
0,09	0,380	0,495	0,383	0,543	12,0	51,5	63,4	1,0%	342,6	0,31
0,10	0,400	0,515	0,356	0,501	11,1	47,5	58,6	0,9%	316,3	0,29



**BV Passivhäuser Marbachshöhe Abnahmeprotokoll Lüftungsanlage**

Bearbeiter: \_\_\_\_\_ am: \_\_\_\_\_ Ident: \_\_\_\_\_ Los: \_\_\_\_\_ Wohnung Nr.: \_\_\_\_\_

<b>Lüftung</b>					
Funktion Taster Max-Lüftung Küche:					
automat. zurückschalten auf normal:					
Funktion Schalter min/normal:					
Funktion Taster Zuluft:					
				Funktion	Sichtkontrolle
Rückschlagklappe Zuluft:					
Rückschlagklappe Abluft:					

<b>Flexible Übergänge am Ventilator</b>			
<b>Zuluft</b>		<b>Abluft</b>	
dicht	undicht, nachgezogen	dicht	undicht, nachgezogen

<b>Zuluft</b>			<b>Abluft</b>		
<b>DIP-Schalterstellungen</b>			<b>DIP-Schalterstellungen</b>		
Stufe min.	Stufe normal	Stufe max	Stufe max	Stufe normal	Stufe min.
bit-Code	bit-Code	bit-Code	bit-Code	bit-Code	bit-Code
=Volumenstr.	=Volumenstr.	=Volumenstr.	=Volumenstr.	=Volumenstr.	=Volumenstr.
Druckverlust druckseitig			Pa		Pa
Druckverlust saugseitig			Pa		Pa

					Druckverlust		Volumenstrom laut ABB/Fläkt-Tabelle	
Ventileinstellung Abluft Küche b =				mm		Pa		m³h
Verschmutzungsstatus Filter Abluft Küche								
Ventileinstellung Abluft Bad b =				mm		Pa		m³h
Verschmutzungsstatus Filter Abluft Bad								
					Druckverlust		Volumenstrom laut ABB/Fläkt-Tabelle	
Ventileinstellung Zuluft Wohnen				offene Lochreihen		Pa		m³h
Ventileinstellung Zuluft Zi. ggü. Wohnen				offene Lochreihen		Pa		m³h
Ventileinstellung Zuluft Zi. bei Eingang				offene Lochreihen		Pa		m³h

Mängel Vorabnahme beseitigt

Bedienungsanleitung vorhanden

Luftströmungsgeräusche bei abgeschalteter Zuluft	keine	leicht	deutlich
und geschlossenen Fenstern			

**BV Passivhäuser Marbachshöhe Abnahmeprotokoll Lüftungsanlage**

Bearbeiter:

am:

Ident: \_\_\_\_\_

Los: 1

Wohnung Nr.: 8

Lüftung					
Funktion Taster Max-Lüftung Küche:		X			
automat. zurückschalten auf normal:		X			
Funktion Schalter min/normal:		X			
Funktion Taster Zuluft:		X			
			Funktion	Sichtkontrolle	
Rückschlagklappe Zuluft:		X			in Ordnung
Rückschlagklappe Abluft:		X			in Ordnung

Flexible Übergänge am Ventilator			
Zuluft			Abluft
dicht	undicht, nachgezogen		dicht
X			X
			undicht, nachgezogen

Zuluft			Abluft		
<b>DIP-Schalterstellungen</b>			<b>DIP-Schalterstellungen</b>		
Stufe min. bit-Code	Stufe normal bit-Code	Stufe max bit-Code	Stufe max bit-Code	Stufe normal bit-Code	Stufe min. bit-Code
<b>0001</b>	<b>0011</b>	<b>0010</b>	<b>0010</b>	<b>0011</b>	<b>0001</b>
=Volumenstr.	=Volumenstr.	=Volumenstr.	=Volumenstr.	=Volumenstr.	=Volumenstr.
<b>90</b>	<b>105</b>	<b>150</b>	<b>150</b>	<b>105</b>	<b>90</b>
Druckverlust druckseitig		<b>76</b> Pa		<b>43</b> Pa	
Druckverlust saugseitig		<b>50</b> Pa		<b>56</b> Pa	

				Druckverlust		Volumenstrom laut ABB/Flakt-Tabelle	
Ventileinstellung Abluft Küche b =	<b>&gt;VSF</b>	mm		<b>16</b>	Pa	<b>72</b>	m³h
Verschmutzungsstatus Filter Abluft Küche	<b>mittel</b>						
Ventileinstellung Abluft Bad b =	<b>+10</b>	mm		<b>11</b>	Pa	<b>47</b>	m³h
Verschmutzungsstatus Filter Abluft Bad	<b>mittel</b>						
				Druckverlust		Volumenstrom laut ABB/Flakt-Tabelle	
Ventileinstellung Zuluft Wohnen	<b>5</b>	offene Lochreihen		<b>30</b>	Pa	<b>43</b>	m³h
Ventileinstellung Zuluft Zi. ggü. Wohnen	<b>5</b>	offene Lochreihen		<b>25</b>	Pa	<b>40</b>	m³h
Ventileinstellung Zuluft Zi. bei Eingang	<b>5</b>	offene Lochreihen		<b>27</b>	Pa	<b>41</b>	m³h

Mängel Vorabnahme beseitigt **ja**Bedienungsanleitung vorhanden **ja**

Luftströmungsgeräusche bei abgeschalteter Zuluft und geschlossenen Fenstern	keine	leicht	deutlich
		<b>X</b>	