

Aktuelle Erkenntnisse zum Dämmen, Dichten und Lüften

Optimale Lüftung im Passivhaus



Wolfgang Feist*

Als das Passivhaus entwickelt wurde, gab es viele kontroverse Diskussionen um die drei elementaren Prinzipien Dämmen, Dichten und Lüften. Die Praxis bestätigt heute, daß die bewohnten Passivhäuser funktionieren. Ein weit verbreitetes Vorurteil ist jedoch, daß durch verbesserte Luftdichtheit die Wahrscheinlichkeit für Bauschäden zunimmt. Daran wäre nur dann ein Stückchen Wahrheit, wenn es nicht zugleich eine den hygienischen Notwendigkeiten gerecht werdende Wohnungslüftung gäbe. Doch wie sieht das auch unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten optimale Lüftungskonzept fürs Passivhaus aus?

Ein neuer Standard macht Schule in Deutschland: Das Passivhaus ist mittlerweile fast 800 Wohneinheiten aus der Demonstrationsphase herausgewachsen. Gegenüber durchschnittlichen Verbräuchen im Gebäudebestand erreicht ein gutes Passivhaus eine Energieeinsparung von annähernd 90 % (Bild 1). Damit ist der Passivhaus-Standard ein Beispiel für ein nachhaltiges Konzept, bei welchem die Umwelt nur mit einem Zehntel des sonst üblichen belastet wird. Beispielsweise wurde in den 22 Reihenhäusern der ersten Passivhaus-Siedlung in Wiesbaden ein Heizenergieverbrauch von weniger als 14 kWh/(m²a) gemessen. Durch die Meßergebnisse in Wiesbaden ist in einer statistisch ausreichend großen Gesamtheit von Nutzern in Reihenhäusern abgesichert, daß der Passivhausstandard die rechnerisch ermittelten Energieeinsparungen auch in der Praxis unter Beweis stellt. Passivhäuser beruhen im wesentlichen auf den drei Konzepten Dämmen, Dichten und Lüften.

Rentable Energieeinsparung durch Wärmedämmung

Noch immer halten selbsternannte Experten das Gerücht vom „Unsinn der Wärmedämmung“ und die Falschbehauptung aufrecht, nicht Wärmedämmung sondern Wärmespeicherung allein könne zur Energieeinsparung beitragen. In dieser Frage sind die Aussagen der Physik ganz eindeutig. Eindrucksvoll wird durch den Erfolg der Passivhäuser demonstriert: Allein die Wärmedämmung bestimmt die Heizenergiebilanz im Winter maßgeblich, die Wärmespeicherung ist völlig unbedeutend. Um überhaupt Passivhäuser bauen zu können, mußte man von der Wirksamkeit der Wärmedämmung überzeugt sein. Mehr noch: Man mußte auch darauf vertrauen, daß bis dahin sogar von der etablierten Bauforschung für unsinnig gehaltene Dämmstoffstärken von 30

cm und mehr die vorausberechnete Wirkung bringen. Das Vertrauen in die Physik hat sich bewährt: Die Temperaturverläufe in den dick gedämmten Außenwänden von Passivhäusern entsprechen im Rahmen der Meßgenauigkeit den theoretischen Erwartungen. Und die Heizenergieverbräuche in den Häusern sind tatsächlich so unglaublich gering, wie mit der dynamischen Gebäudesimulation vorhergesagt.

Auch die Frage der Wirtschaftlichkeit großer Dämmstoffdicken wurde immer wieder kontrovers diskutiert. Wenn heute hochwertige Dämmstoffe für etwa 50 DM/m³ am Markt erhältlich sind, dann zeigt dies, das daran die Finanzierung eines Neubaus wohl kaum wird scheitern können. Hat ein großes Einfamilienhaus etwa 500 m² Außenoberfläche und setzen wir für eine durchschnittliche Passivhaus-Dämmung 30 cm Dicke an, so kostet der gesamte Dämmstoff für das Haus gerade 7500 DM (oder etwa 50 DM/m² Wohnfläche). Das sind etwa 2 % heutiger durchschnittlicher Baukosten und liegt deutlich unter den Kosten einer Heizungsanlage. Sicher, wenn dieses Geld unnötig und sinnlos ausgegeben würde, wäre es schade drum. Wenn wir aber wissen, daß durch eine solche Dämmung mehr als 1000 l Heizöl im Jahr eingespart werden, und damit mindestens 700 DM/a, hat sich die einmalige Investition schnell bezahlt gemacht. Bei einer Nutzungsdauer von mindestens 30 Jahren für das Haus beträgt die (steuerfreie) Rendite 9 %. Sichere Anlageformen dieser Qualität muß man woanders

* Wolfgang Feist, Passivhaus Institut, Darmstadt, Telefon (0 61 51) 8 26 99 33 Telefax (0 61 51) 8 26 99 34, eMail: infokreis@passiv.de, Internet: www.passiv.de

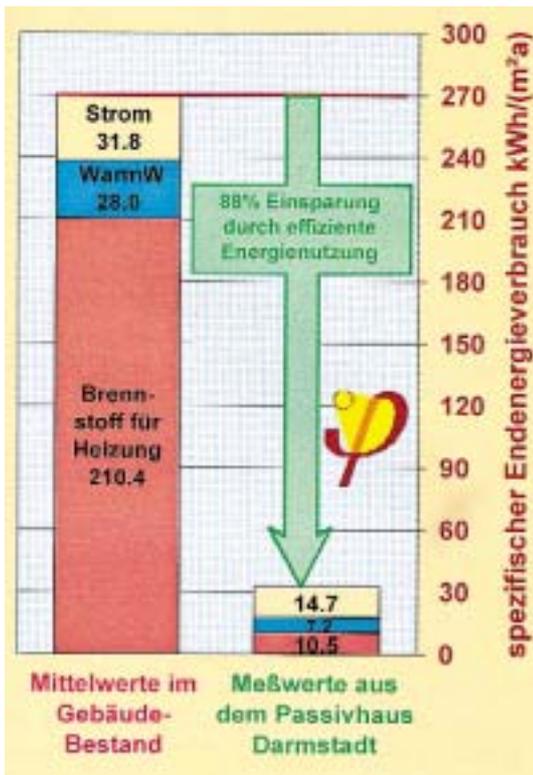


Bild 1 Energieverbrauch in einem durchschnittlichen Gebäude im Bestand (links) im Vergleich zum gemessenen Energieverbrauch im Passivhaus

als der um das Dämmen. Lange Zeit galt das luftdichte Bauen als „baubiologische Sünde“. Auch hier gelten einfache Gesetze der Physik, die eindeutig ergeben, daß nur eine luftdichte Außenkonstruktion dauerhaft schadensfrei bleiben kann: Entscheidend ist, daß Undichtheiten in einer Außenhülle nicht nur von außen nach innen, sondern häufig auch von innen nach außen durchströmt werden. Im letzteren Fall tritt von innen warme und feuchte Raumluft in die Fuge ein, kühlt sich in der Fuge ab und kann das enthaltene Wasser nicht mehr halten: Es kommt zur Tauwasserbildung in der Fuge. In einer 1 m langen und nur 1 mm breiten Fuge kann auf diesem Weg am Tag mehr als 300 ml Wasser

ausfallen. Keine Frage, daß das für die Bausubstanz schädlich ist. Unter Fachleuten ist heute unbestritten, daß Gebäudehüllen luftdicht sein müssen. Hunderte von Ingenieurbüros bieten inzwischen Blower-Door-Messungen an und haben das Know-how, um Architekten und Bauträger bzgl. einer wirklich luftdichten Hülle zu beraten. Unklar ist nur, welche Dichtheit in der Praxis wirklich zuver-

lässig zu erreichen ist. Hier haben die bisher gebauten und mit n_{50} -Messungen überprüften Passivhäuser eine Qualitätsmarke gesetzt: Von 206 untersuchten Passivhäusern erreichten alle Werte unter $0,6 \text{ h}^{-1}$. Der Durchschnitt der Häuser lag bei $n_{50} = 0,37 \text{ h}^{-1}$ [1].

Ein weit verbreitetes Vorurteil ist, daß durch verbesserte Luftdichtheit die Wahrscheinlichkeit für Bauschäden zunehmen würde. Daran wäre nur dann ein Stückchen Wahrheit, wenn nicht zugleich für eine hygienischen Notwendigkeiten gerecht werdende Wohnungslüftung gesorgt würde.

Dichtheit erfordert kontrollierte Wohnungslüftung

Um Mißverständnisse zu vermeiden: Wer Dichtheit sagt, muß auch Wohnungslüftung sagen. Wird die Gebäudehülle sorgfältig abgedichtet, sollte für den notwendigen Luftwechsel auf andere Art gesorgt werden, als durch den zufällig von Wind und Kälte erzwungenen Luftzug. Als erste Alternative bietet sich hier die bewußte Fensterlüftung durch den Nutzer an. Selbstverständlich bleibt dem Bewohner einer relativ luftdichten Wohnung ohne gesicherte Wohnungslüftung (d. h. zumindest ohne einen Abluftventilator) gar keine andere Wahl, als durch regelmäßiges Fensteröffnen Wasserdampf, Gerüche und Schadstoffe aus der Raumluft abzuführen. Solange dies so ist, muß die entsprechende Nutzeraufklärung fortgesetzt werden, die da heißt:

„Regelmäßig mußt Du Dein Fenster öffnen, und zwar ganz. Du sollst es wenigstens fünf Minuten offenhalten, damit der Raumluftinhalt gänzlich ausgetauscht wird. Danach mußt Du das Fenster wieder zumachen, denn sonst kühlen die Raumboberflächen unnötig aus. Außerdem wird die Raumluft dadurch nicht mehr besser.“

lange suchen. Zusätzlich zum Cash-Flow erhält der Nutzer aber noch einen anderen Wert: Bauschadensfreie Außenkonstruktionen und eine bedeutend bessere Behaglichkeit.

Welche Luftdichtheit läßt sich in der Praxis erreichen?

Ein Vorurteil gleich vorweg klargestellt: Wärmedämmstoffe sind nicht unbedingt luftdicht. Sehr wenig dicht sind Stoffe wie Mineralwolle und alle Schüttdämmstoffe. Aber selbst Hartschäume und Mineralwolle sind nicht perfekt luftdicht; allein der Dämmstoff „Schaumglas“ kann diese Eigenschaft vielleicht für sich beanspruchen. Auch sehr dicke Dämmungen sind durchaus diffusionsoffen, es sei denn, sie sind aus besagtem Schaumglas. Dämmstoffe sind also für sich nicht luftdicht – nichts desto weniger muß eine wirksam gedämmte Außenhüllfläche aber luftdicht sein. Dies war Gegenstand noch viel heftigerer Diskussionen



Bild 2 Passivhaus in 88682 Salem: Lüftung: Fa. Paul (95 % Wärmerückgewinnung) sowie Erdwärmetauscher; Heizung: Elektro-Heizstab (6 kW), Verteilung über Wärmetauscher/Lüftungsanlage; ein Heizkörper im Bad; Vorrüstung für Pelletsofen

Wie hoch ist der notwendige Luftwechsel?

Jetzt fehlt nur noch die Angabe, wie oft die oben genannte Prozedur durchzuführen wäre. Sicher hat man in der Vergangenheit den notwendigen Luftwechsel in Wohngebäuden eher überschätzt. Großen Anteil daran hatte sowohl die Reinraumluftfraktion als auch mancher Lüftungstechnikhersteller, der lieber große teure als kleine preiswerte Anlagen verkauft hat. Daß der notwendige Luftwechsel eher bei 0,4fach in der Stunde als bei 0,8 liegt, läßt sich durch Messungen aus bewohnten Niedrigenergie- und Passivhäusern wissenschaftlich gesichert belegen:

- In Häusern mit Luftwechseln über 0,5fach je Stunde wurde regelmäßig von den Bewohnern die Innenluft als im Winter zu trocken eingeschätzt. Auch das ist in guter Übereinstimmung mit der Physik, denn kalte Außenluft mit 85 % rel. Feuchte von -5°C auf 20°C erwärmt hat nur noch eine relative Feuchte von etwa 18 %. Kommt die Feuchtigkeit aus der Wohnnutzung hinzu, dann ergibt sich eine Raumluftfeuchtigkeit unter 30 %. Beschwerden darüber bleiben nicht aus; in allen NEH, in denen Lüftungsplaner streng nach den damaligen Lüftungstechnischen Vorstellungen einen 0,6 bis 0,8fachen Luftwechsel eingestellt hatten, kam die Rückmeldung „zu trocken“ postwendend.

- Andererseits liegen umfassende Raumluftqualitätsmessungen aus den Passivhäusern in Darmstadt Kranichstein vor, bei denen der effektive Luftwechsel in den Zulufträumen sogar bei nur etwa 0,3fach pro Stunde liegt. Dieser Wert konnte hier genau gemessen werden, weil das Haus über eine Lüftungsanlage verfügt und wir wissen, daß die Fenster in den Wohnungen im Dezember und Januar geschlossen bleiben. Die Raumluftqualität bei einem allerdings gleichmäßig gesicherten 0,3fachen Luftwechsel läßt in den Häusern in Kranichstein nichts zu wünschen übrig [2, 3].

Wie sieht die richtige Fensterlüftung aus?

Wie oft muß das Fenster nun geöffnet werden? Für einen 0,33fachen Luftwechsel muß die Luft alle drei Stunden einmal ausgetauscht werden, will heißen: Fensteröffnen mindestens in einem Intervall von drei Stunden. Das geht vielleicht noch am Tage, wenn wir uns in den Räumen aufhalten. Was

macht aber eine berufstätige Familie? Waserdampf und Gerüche sind gegenwärtig, auch wenn niemand in der Wohnung ist; das Wasser wird in den obersten Millimetern der Bauteile und Möbel per Kapillarkondensation gespeichert und allmählich wieder in den Raum freigesetzt. Wenn zeitweise überhaupt nicht gelüftet wird, dann sind die Gleichgewichtsfeuchtigkeiten hoch, mit den bekannten Auswirkungen, nämlich Schimmelbildung. Und wie mache ich das mit dem Fensteröffnen alle drei Stunden in der Nacht im Schlafzimmer? Die Deutschen sind in dieser Frage gespalten in zwei Fraktionen:

Die Antwort war verblüffend: „Ja, wir wissen das ganz genau. In jeder schwedischen Neubauwohnung gibt es einen Abluftventilator, der exakt ein Luftvolumen entsprechend 0,5fach pro Stunde aus der Wohnung herauszieht. Genau soviel kalte Luft strömt über Außenluftdurchlässe wieder nach.“ Die deutschen Besucher waren sich damals spontan einig, daß das ja wohl keine gute Idee sei, diese verschwenderischen Abluft-Lüftungsanlagen einzubauen, bei denen man auch noch bewußt warme Luft über Dach einfach in die Umwelt hinweglüftet. Wenn schon Lüftungsanlage, dann doch mindestens eine solche



Bild 3 CO₂-Konzentrationen, die Johannes Werner unter den im Text genannten Bedingungen in einem 1984 gebauten Haus (kein Niedrigenergiehaus) gemessen hat

mit Wärmerückgewinnung. Gesagt, getan. In das Demonstrationshaus in Schrecksbach wurde also eine Lüftungsanlage mit

- Die Frischluftfraktion: Weil die Luft sonst spürbar schlecht ist, wird das Fenster nachts im Schlafzimmer gekippt. Folge: etwa 3- bis 5facher Luftwechsel, ausreichende Luftqualität, kaltes Schlafzimmer.
- Jene, die das nicht können (Lärm) oder wollen (Kälte), lassen das Fenster zu. Folge: warmes Schlafzimmer, morgens dicke Luft. Bild 3 zeigt, welche CO₂-Konzentrationen Johannes Werner unter solchen Bedingungen in einem 1984 gebauten Haus (kein Niedrigenergiehaus) gemessen hat. Die Ergebnisse sind bei beiden Fraktionen unbefriedigend. Es mußte eine bessere Lösung gefunden werden. In Schweden hat man uns auf die Sprünge geholfen.

Lüftungs-Erkenntnisse bei einem Besuch in Schweden

Als Johannes Werner und der Autor 1986 im Rahmen einer Studienreise u. a. Prof. Bo Adamson an der Universität in Lund besuchten, fiel uns auf, daß in seiner Arbeitsgruppe durchgehend mit einem 0,5fachen Luftwechsel in Wohnungen gerechnet wurde. Irgendwann haben wir Bo Adamson gefragt, woher er denn so genau wisse, daß der Luftwechsel in schwedischen Neubau-

Wärmerückgewinnung eingebaut. Der Mensch lernt offenbar nur aus den Fehlern, die er selbst gemacht hat: In der Auswertung der Meßergebnisse aus dem Niedrigenergiehaus Schrecksbach [4] mußte den Schweden im Nachhinein recht gegeben werden: Eine saubere Energiebilanzierung ergab, daß die Lüftungswärmeverluste im NEH Schrecksbach tatsächlich auch mit einer einfachen Abluftanlage nicht höher gewesen wären, als mit dem verwendeten System. Wie kann dies sein? Bei einem reinen Abluftsystem gibt es wegen des Unterdrucks im Haus praktisch keine Exfiltration. Ist ein Haus nicht wirklich perfekt dicht – und das NEH in Schrecksbach hatte „nur“ einen n_{50} -Wert von 3 h^{-1} – dann kommt bei einer balancierten Zu/Abluft-Anlage mit Wärmerückgewinnung im Durchschnitt ein 0,2facher Luftwechsel durch In/Exfiltration hinzu. Bei einer reinen Abluftanlage bleibt

es aber beim einmal eingestellten Abluftstrom, sofern das Haus nicht extrem undicht und der Wind nicht so stark ist, daß er die Druckverhältnisse umkehren kann. Wenn nun, wie bei gewöhnlichen damaligen Wärmerückgewinnungsanlagen mit 0,4fachem Anlagenluftwechsel, ein Wärmebereitstellungsgrad von nur 50 % erreicht wird, ergibt sich energieäquivalent gerade ein 0,2 (Exfiltration) + 50 % \approx 0,4facher Luftwechsel. Also genau soviel, wie der Anlagenluftwechsel bei einer reinen Abluftanlage auch betragen würde.

Credo Abluftanlagen für Niedrigenergiehäuser

- Eine dauernde gesicherte Entlüftung der Bäder ist unverzichtbar, ebenso wie eine gesicherte Frischluft im Schlafzimmer. Für beides braucht man einen gesicherten Antrieb: Wind und Auftrieb leisten dies ohne technischen Aufwand nicht.
- Die einfachste Lösung ist ein Ventilator, der die verbrauchte, feuchte Luft aus dem Bad und aus der Küche dauernd und in ausreichender Menge nach außen abführt. Dann stimmt auch gleich die Strömungsrichtung, und zwar immer, wenn das Haus einigermaßen dicht ist: In den Wohnräumen Frischluft, überströmend durch den Flur, aus den Bädern die feuchte Luft hinaus.
- Frischluft wird gezielt durch Außenluftdurchlässe da zugeführt,
 - wo Frischluft gebraucht wird (Wohn-/Schlaf-/Kinder-/Arbeits-Zimmer)
 - wo keine Zugerscheinungen auftreten (d. h. über einem Heizkörper).
- Diese Lösung ist sehr einfach, funktioniert zuverlässig selbst bei nicht perfekt dichten Häusern und ist kostengünstig. Damit war die Lösung für das Niedrigenergiehaus gefunden, die sich in Zigtausenden von Gebäuden bewährt hat. Für die deutsche Lüftungsbranche und die etablierte Bauforschung waren die einfachen Abluftsysteme bis zur Diskussion um die Novellierung der Wärmeschutzverordnung 1995 allerdings immer noch nicht existent. Es war



Bild 4 Reihenpassivhaus-Zeilen mit sieben Wohneinheiten: Lüftung und WW-Bereitung je Haus: kontrollierte Lüftung (Kompaktgerät „Aerex“, Fa. Maico) mit Erdwärmetauscher und 4,7 m² Solarkollektoren

nicht leicht, diese einfache und zuverlässige Lösung mit in den Kanon der Möglichkeiten der Verordnung von 1996 hineinzubringen.

Für Passivhäuser geeignete Lüftungsanlagen

Auch im Jahr 2000 hält der Autor nach wie vor die einfachen Abluftanlagen für die günstigste Standardlösung bei Niedrigenergiehäusern. Zu oft kam es vor, daß die komplexeren Zu-/Abluftanlagen mit Wärmerückgewinnung sich als schwierig in der Einstellung, unzuverlässig in der Nutzung, mit hohem Stromverbrauch und mit nur geringer Energieeinsparung (wegen der In-/Exfiltration) erwiesen. Stimmt der Autor demnach auch hier mit den Einschätzungen der Lüftungskritiker überein, daß die Wohnungslüftung mit Wärmerückgewinnung zwar hohe Stromverbräuche aber sonst (außer vielleicht Lärmbelästigung) nichts bringen? Wenn die Qualität der Anlagen auf dem Stand von 1991 und die Häuser so undicht wie die ersten NEH (nämlich n_{50} um 3 h^{-1}) geblieben wären: Ja. Aber wir wollten wissen, ob man es auch besser machen kann, weil wir uns mit den enttäuschenden Ergebnissen nicht abfinden konnten. Dies hat zur Entwicklung der für Passivhäuser geeigneten Lüftungsanlagen geführt:

- Die Häuser, in denen balancierte Lüftungsanlagen wirkungsvoll Wärme zurückgewinnen sollen, müssen eine sehr gute Luftdichtheit aufweisen. $n_{50} = 1 \text{ h}^{-1}$ ist die absolute Obergrenze, besser sind Werte zwischen $0,2$ und $0,6 \text{ h}^{-1}$. Das war ein Ziel,

das erstmals mit dem Passivhaus in Darmstadt Kranichstein, und zwar in allen vier Wohnungen, erreicht wurde.

- Wenn ein bedeutender Unterschied im Komfort und in der Energiebilanz gegenüber reinen Abluftanlagen auftreten soll, dann müssen die Anlagen auch höhere Wärmebereitstellungsgrade aufweisen als noch 1991 üblich. Wärmebereitstellungsgrade von über 80% sind mit hochwertigen Systemen heute erreichbar.
- Und schließlich durften die Anlagen am Ende nicht mehr Strom verbrauchen, als sie Wärme lieferten. Keine Anlage war 1991 so gut, daß sie den Stromeffizienz-Anforderungen entsprach. Zunächst mußte also ein Gerät eines Herstellers umgebaut werden: Wechselstromlüfter (2 \approx 100 W) wurden ausgebaut und statt dessen elektronisch kommutierte Gleichstromventilatoren (durchschnittlich im Betrieb 2 \approx 12,5 W) eingebaut. Daß mit Anlagen dieser Qualität dann reale Primärenergieeinsparungen mit der Wohnungslüftung möglich sind, haben die Messungen im Passivhaus Darmstadt gezeigt [5, 6]. Somit war bewiesen, daß eine hohe Effizienz bei der Wohnungslüftung mit Wärmerückgewinnung möglich ist, sofern geeignete Systeme in geeigneten (d. h. dichten) Häusern eingebaut werden. Es ist

also nachweislich nicht das Nutzerverhalten, das problematisch für die Wohnungslüftung ist, wie es vielfach geglaubt wird. Gute Anlagen in guten Häusern funktionieren zur Zufriedenheit der Nutzer und mit beträchtlichen Primärenergie- und Betriebskosteneinsparungen.

Abluftanlage fürs Niedrigenergiehaus

Warum bleibt das Passivhaus Institut dennoch bei der Empfehlung „Abluftanlage für das Niedrigenergiehaus“? Diese Empfehlung geben wir heute ausschließlich aus Kostengründen. Eine balancierte Zu-/Abluftanlage mit Wärmerückgewinnung kostet für eine Wohneinheit auch heute immer noch 8000 bis 12 000 DM. Man kann sehr leicht ausrechnen, daß sich die Differenzkosten zu einer reinen Abluftanlage (2000 bis 3000 DM) über die erzielbaren Heizkosteneinsparungen nicht amortisieren lassen. Warum aber kann man dann im Passivhaus eine Wärmerückgewinnung der beschriebenen Qualität rechtfertigen? Weil sie ist für ein Passivhaus schlicht unverzichtbar ist. Das

allein ist aber keine vernünftige Antwort, denn dann wären ja sowohl die Anlage als auch das Passivhaus unwirtschaftlich. Der Trick beim Passivhaus besteht gerade darin, daß durch den Einsatz der hocheffizienten Wohnungslüftung mit Wärmerückgewinnung bedeutende Einsparungen beim konventionellen Heizwärmeverteilsystem möglich sind. So kann im günstigsten Fall sogar die konventionelle Verteilung ganz entfallen und von der Zuluft der Lüftungsanlage übernommen werden. In jedem Fall wird die Verteilung sehr viel kostengünstiger, weil der Heizkörper unter dem Fenster nicht mehr gebraucht wird. Im Passivhaus und nur im Passivhaus kommt damit zur Energiekosteneinsparung noch die Einsparung von Investitionskosten hinzu. Dies macht im Passivhaus den Einsatz der Wohnungslüftung mit hocheffizienter Wärmerückgewinnung ökonomisch sinnvoll, da die Investitionen in die Haustechnik in der Gesamtsumme nur wenig ansteigen. Inzwischen gibt es am deutschen Markt zahlreiche hocheffiziente Wohnungslüftungsanlagen,

die sowohl mehr als 80 % Wärmerückgewinnung als auch sehr niedrige Stromverbräuche aufweisen. Der Einsatz dieser Anlagen bei inzwischen mehr als 800 Passivhäusern hat sich sehr gut bewährt. Insbesondere äußern sich die Bewohner lobend über die Luftqualität und die Behaglichkeit.

Literatur:

- [1] Sören Peper: Luftdichtheit bei Passivhäusern; Tagungsband 4. Passivhaus Tagung; Passivhaus Institut; Kassel, März 2000
- [2] Wolfgang Feist (Hrsg.): „Luftqualität im Passivhaus“; Passivhaus-Bericht Nr. 10; Institut Wohnen und Umwelt; Darmstadt, Februar 1995
- [3] Wolfgang Feist (Hrsg.): „Materialwahl, Ökologie und Raumlufthygiene“; Protokollband Nr. 8 zum Arbeitskreis Kostengünstige Passivhäuser; Passivhaus Institut; Darmstadt, Juni 1997
- [4] Hinz, Eberhard und Feist, Wolfgang: Forschungs- und Demonstrationsgebäude Niedrigenergiehaus Schrecksbach – Abschlußbericht; Institut Wohnen und Umwelt, 1. Auflage, 1992
- [5] Wolfgang Feist, Johannes Werner: „Passivhaus Darmstadt Gesamt-Energiekennwert <32 kWh/(m²a)“; Bundesbaublatt, Februar 1994
- [6] Wolfgang Feist (Hrsg.): „Lüftung im Passivhaus“; Passivhaus-Bericht Nr. 8; Institut Wohnen und Umwelt; Darmstadt, 1994. □

Erfolgreich Zeichen setzen!



boco-Fachkleidung im Mietservice – exklusiv für Innungsmitglieder.

Mehr Infos gibt's zum Nulltarif: 0800-2626111

boco GmbH & Co. · Billbrookdeich 210 · 21220 Hamburg · Tel.: 040-73339-0 · Fax: 040-73339-278
e-mail: info@boco.de · boco im Internet: www.boco.de

boco
Textile Dienstleistungen