

# Ökologische Bewertung von Passivhäusern

Burkhard Schulze Darup

Im Baugeschehen der letzten 20 Jahre setzte sich die Beachtung von ökologischen Rahmenbedingungen zunehmend durch. Diese Anforderungen sind selbstverständlich auf Planungsprozesse für energieeffiziente Gebäude anzuwenden. Erst eine umfassende Betrachtung der Umwelt- und Gesundheitsverträglichkeit lässt eine sinnvolle Beurteilung von Baustandards zu.

Auf der Grundlage eines von der Deutschen Bundesstiftung für Umwelt geförderten interdisziplinären Forschungsvorhabens im Rahmen des Passivhausmodells Nürnberg werden in umfassender Form Kriterien und Qualitätsmerkmale für Energie- und Ressourceneinsparung, Raumlufthygiene und Behaglichkeit überprüft. Beispielhaft werden zu den wesentlichen Punkten Aussagen über die bisherigen Messergebnisse und Auswertungen gemacht [1]. Der Vortrag stellt eine Zwischenbilanz nach Fertigstellung der Gebäude dar und bezieht auch die ökonomischen Rahmenbedingungen mit ein.

## Stadtplanung und Entwurf

Die wichtigsten städtebaulichen Voraussetzungen für ein energiesparendes Gebäude sind weitgehende Südausrichtung, Verschattungsfreiheit und optimierte Gebäudegeometrie.

Diese Anforderungen erschweren die Grundstückssuche bei einem ohnehin geringen Auswahlpotenzial ungemain. Die Arbeitsgruppe suchte 16 Monate nach einem geeigneten und vermarktungsfähigen Standort, wobei zunächst eine Bebauung mit einer Reihenhauseinheit ins Auge gefasst wurde. Entwürfe wurden gegenübergestellt und Simulationsrechnungen durchgeführt [2]. Die Entscheidung fiel im Dezember 1998 zugunsten eines städtischen Grundstücks in Nürnberg-Wetzendorf, das mit vier Doppelhaushälften zu bebauen war. Der Grundstückszuschnitt erlaubt eine optimale Südausrichtung, die Besonnungssituation ist ebenfalls hervorragend, da südlich eine Wohnstraße anschließt und die Gebäude auf der gegenüberliegenden Seite keine Verschattung verursachen.

Seitens des Stadtplanungsamtes wurde die favorisierte Pultdachbebauung zunächst zugesagt, dann jedoch auf Grund von Nachbareinsprüchen nur die Satteldachform zugelassen. Hieraus ergaben sich Mehrkosten aufgrund von aufwendigeren Detail-Lösungen und der etwas ungünstigeren Gebäudegeometrie. In Abbildung 1 werden die beiden Simulationsrechnungen gegenübergestellt. Die solaren Gewinne bei der Satteldachform sind deutlich geringer als bei der Pultdach-Variante, weil in der dritten Ebene (Spitzboden) keine Südfenster möglich sind. Durch die Verlagerung von Kellerersatzräumen auf die Nordseite des Gebäudes konnte der Satteldachtyp optimiert werden. Dadurch wurden die Transmissionsverluste der Wandflächen so stark gesenkt, dass der Heizwärmebedarf auf den Wert der Pultdachvariante von 13-14 kWh/(m<sup>2</sup>·a) gebracht werden konnte. Abbildung 2 stellt die Bilanzierung nach Passivhaus-Projektierungs-Paket dar [3].

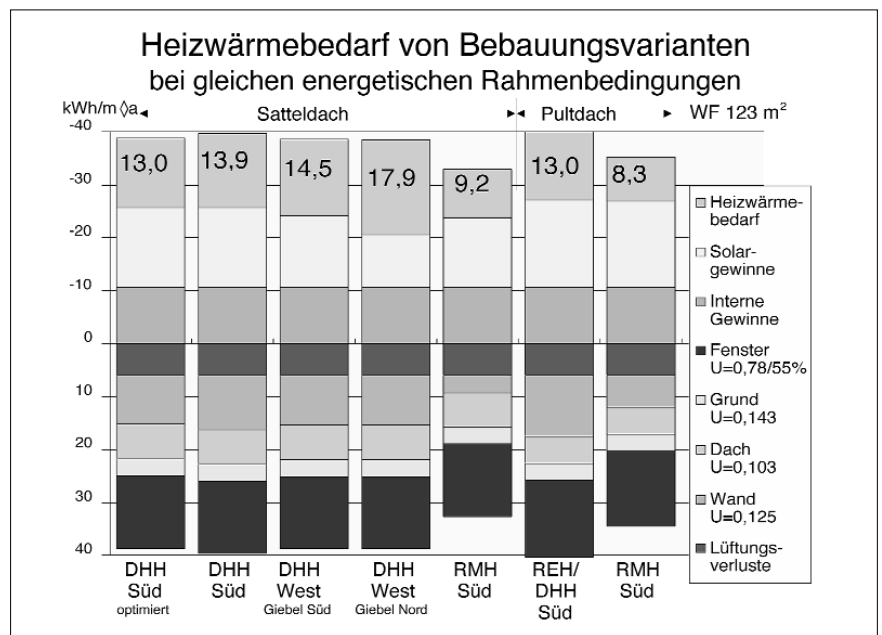


Abbildung 1

## Konstruktions- / Baustoffwahl

Die grundlegende Konstruktionswahl ist stark von der Struktur des jeweiligen Objektes abhängig. Während ab einer Bausumme von ca. 5 Mio. DM (ca. 15-25 Einheiten) Vorfertigung und Transport auch über größere Strecken wirtschaftlich sein können, ist bei kleineren Projekten die regionale Angebotssituation für die Festlegung der Konstruktionsart ausschlaggebend. Da bei innerstädtischen verdichteten Bebau-

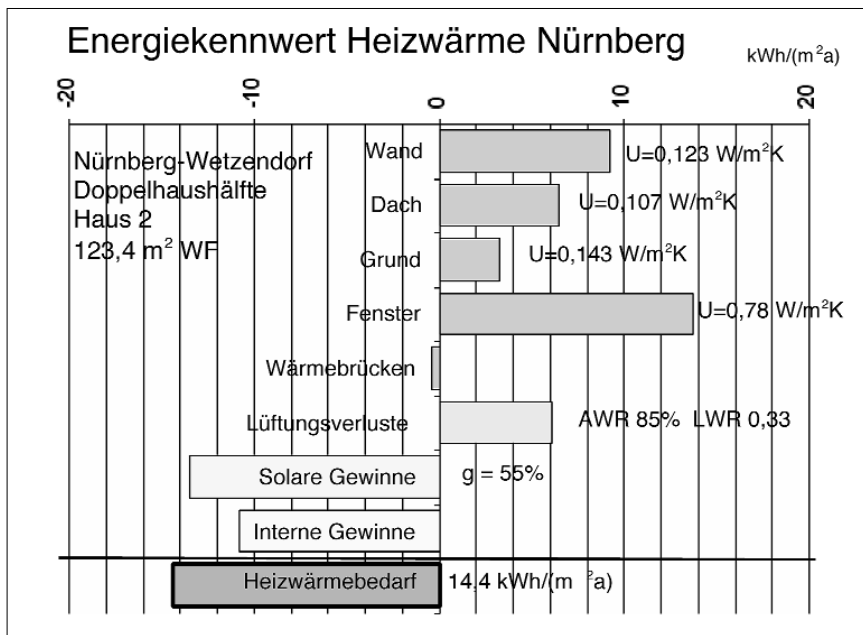


Abbildung 2

Falls ein übliches Ausschreibungsverfahren durchgeführt werden muss, sind folgende Aspekte zu berücksichtigen: Ausschreibung so genau wie nötig, aber so offen wie möglich. Übergenaue Anforderungen, die den Handwerkern nicht geläufig sind, führen zu überhöhten Angebotspreisen.

Die Vergabephase muss genutzt werden, um die ökologischen und passivhauspezifischen Details und Materialfestlegungen möglichst präzise zu formulieren und Gegenstand des Vertrags werden zu lassen. In dieser Phase sind engagierte Firmen dankbar für Anregungen und neue Informationen und können ihrerseits Kontakte zu Herstellern nutzen, um konkrete Aussagen zu den Produkten beizubringen. Die Zahl der Handwerksbetriebe, die ein Öko-Audit durchlaufen haben, ist zur Zeit wachsend, sodass dort zunehmend auf Wissen zurückgegriffen werden kann.

Die systematische Erfassung von Angaben zum Emissionsverhalten der eingesetzten Baustoffe ist eine außerordentlich aufwendige Leistung, die ebenfalls im Zuge der Vergabe durchgeführt werden muss. Neben allgemein zugänglichen Literaturquellen müssen Herstellerangaben abgefragt werden, wobei sehr genau die Herkunft des Informationsmaterials überprüft werden sollte. Eine wichtige Entscheidungsgrundlage können gut gepflegte Datenbanken liefern, die qualitätsgeprüfte Produkte nachvollziehbar zusammenstellen [4].

Ein Beispiel für eine Recherche ist anhand einer auf das Wesentliche reduzierten Matrix in Abbildung 3 am Beispiel der Zimmererarbeiten dargestellt. Man sollte nicht die Illusion haben, ein schadstoffminimiertes Gebäude ohne unangenehme Überraschungen in dem sehr aufwendigen Planungsprozess erstellen zu können.

Abbildung 3

<b>Baustoff-Recherche Zimmererarbeiten</b>				
Bauteil	Material	zu überprüfende Schadstoffe/Zielwerte	Herstellerangaben	Gemessene Werte
Dachtragwerk	TJI-Träger	Formaldehyd < 0,02ppm VOC's		Formaldehyd 0,01 ppm (LGA)
Aussteifende Schalung	OSB-Platten, Fabrikat Sterling	Formaldehyd < 0,05ppm VOC's	Sterling-OSB 14,4 mg/kg Formaldehyd	
	OSB-Platten, Fabrikat x	Formaldehyd < 0,05ppm VOC's,	Formaldehyd 0,05 ppm	Formaldehyd <b>0,09 ppm (LGA)</b>
	Spanpl. Schlingmann-Natura	Formaldehyd < 0,02ppm VOC's		Formaldehyd 0,01 ppm (LGA)
Unterdach	Holzweichfaserplatte	Formaldehyd < 0,02ppm VOC's,		Formaldehyd 0,008 ppm (LGA)
Holzschutz	Tragwerk	Konstruktiver Holzschutz ohne Biozide	Kein Einsatz von chem. Holzschutz	
	Dachlattung/ Eindeckung	Borsalbasis (DIBt), keine Chromate/ halog.		
Holzschalung außen	Nadelholz/ Naturharzglas.			

ungen dem Schallschutz hohe Priorität zu geben ist, wurde für das Nürnberger Projekt Kalksandstein-Massivbauweise für den Gebäudekern inkl. Stahlbetondecken und Haustrennwände gewählt. Große Teile der Giebelfläche und der nördlichen Wände zu den Kellerersatzräumen wurden in Holzrahmenbauweise ausgeführt. Bei den vorgefertigten Elementen wurde zu großen Teilen zwecks Minimierung von Wärmebrücken mit TJI-Trägern gearbeitet.

Detailösungen und Materialwahl müssen bereits im Vorentwurfsstadium hinsichtlich der energetischen Optimierung und der emissionsarmen Ausführungsvarianten überprüft werden. Es ist sinnvoll, bereits in dieser Phase ein Bauteam zu bilden und diese Entscheidungen gemeinsam herbeizuführen.

Oftmals können die Produkte nur durch konkrete Messungen überprüft werden. Im Fall der Nürnberger Passivhäuser wurde eine Begleitung durch die LGA-Bayern durchgeführt [5].

Die Qualitätssicherung während der Bauzeit stellt eine unabdingbare Grundlage zur Einhaltung der Zielwerte dar. Dazu ist z. B. sicherzustellen, dass tatsächlich auch die überprüften Produkte eingebaut werden, unterschiedliche Chargen können zu Abweichungen und der unfachgemäße Einsatz von Bauhilfsstoffen kann zu erstaunlichen Ergebnissen bei der Überprüfung der Raumluftqualität führen. Als Beispiel sei der Lehrling genannt, dem beim Pinselreinigen ein Topf mit Lösungsmitteln umfällt.

## Emissionsbilanzen und Raumluftmessungen

Ein gesichertes Planungsinstrumentarium zur Vorabschätzung von Raumluftbelastungen steht derzeit nicht zur Verfügung. Es bleibt dem Gefühl des Planers und Bauherrn überlassen, welche Materialien sie wählen und welche Schadstoff-Fracht mithin in Kauf genommen wird.

Auf der Grundlage der recherchierten Emissionswerte der Baustoffe sollte mittelfristig eine rechnerische Grobabschätzung der Immissions-Situation einzelner Räume durchgeführt werden. Die zugrundeliegende Beispielberechnung berücksichtigt Emissionswerte, Abklingverhalten, Dämpfungsfaktoren, das Verhältnis von Emissionsflächen zum Volumen sowie die Korrelation von nomineller und tatsächlicher Luftwechselrate [6]. Abbildung 4 zeigt die rechnerisch abgeschätzten Belastungen für einen Referenzraum am Beispiel von Formaldehyd. Eine Diskussion darüber, inwieweit solch eine Methode sinnvoll ist, drängt sich zwangsläufig auf. Die Berechnungen sind mit solch einer Unzahl von unsicheren Parametern befrachtet, dass eine realitätsnahe Berechnung extrem schwierig ist. Andererseits kann nur durch ein rechnerisches Verfahren die Grundlage für eine quantifizierbare Beurteilung geschaffen werden. Es wird noch einigen Forschungsaufwand erfordern, um Grundlagen des Emissionsverhaltens einigermaßen umfassend beschreiben zu können. Sobald Berechnungsverfahren und Kontrollmessungen zu ähnlichen Ergebnissen führen, ist vorstellbar, dass ähnlich wie bei der Ermittlung des Primärenergieinhalts von Gebäuden im Zuge des Ausschreibungsverfahrens Aussagen zu den Schadstoffemissionen gemacht werden können. Dies erfordert allerdings ein noch weit komplexeres AVA-Programm mit angehängten Berechnungstools und Betrachtungsmöglichkeiten nach Raumbuch-Schema.

Bei den vier Gebäuden der Nürnberger Passivhäuser werden sowohl modellhafte Berechnungen durchgeführt als auch umfangreiche Raumluftmessungen zu den im Diagramm angegebenen Zeitpunkten. Die Ergebnisse werden im Rahmen des Forschungsberichts detailliert veröffentlicht [7]. Die Raumluftqualität wurde während der Bauzeit wie in der Abbildung dargestellt gemessen. Die Messwerte sind sehr viel schlechter reproduzierbar als im fertigen Zustand, da Luftwechselrate, Temperatur, Sonneneinstrahlung und vor allem zufällige Belastungen durch Montagehilfen und Hilfsmaterialien nicht vollständig überwachbar und abstimmbare sind.

Als Tendenz ist festzustellen, dass trotz des hohen Aufwandes bei der Baustoffauswahl phasenweise hohe Belastungen gegeben sind. Dies betrifft vor allem die VOC's. Insbesondere Lösemittel sind trotz der Auswahl lösemittelminimierter Produkte heftig nachweisbar. Dies ist besonders in der letzten Ausbauphase (Bodenbeläge, z. T. Malerarbeiten, nicht zu vergessen: Reinigungsarbeiten) der Fall. Obwohl die Gebäude subjektiv eine extrem geringe Geruchsbelastung aufwiesen, brachte die Messung vor dem Einzug hohe Werte. Wenn Gebäude ohne emissionsreduzierte Baustoffe erstellt werden, lässt sich aus dieser Erfahrung ableiten, dass dort höchst gravierende und schädliche Belastungen vorherrschen.

Die Belastung mit Formaldehyd war in den Gebäuden zu keiner Zeit im relevanten Bereich. Eine besondere Beachtung wurde den Styrol-Werten zuteil: Bereits bei Einzug lagen die Messwerte unter den angestrebten  $30 \text{ mg/m}^3$ . Auf Grund der Abklingkurve ist davon auszugehen, dass diese Werte noch deutlich unterschritten werden. Allerdings war bereits bei den ersten Messungen im bewohnten Zustand deutlich zu erkennen, dass zusätzliche Belastungen durch Möbel und Nutzereinflüsse gegeben waren. Nach sechs Monaten sanken die TVOCs auf ca.  $300 \text{ mg/m}^3$ . Eine Vergleichsmessung in einem schadstoffoptimierten Holzhaus (AKÖH-Standard) ergab deutlich höher VOC-Werte von über  $1500 \text{ mg/m}^3$ . Die Styrol-Werte lagen für die Passivhäuser bei  $3,5\text{-}5 \text{ mg/m}^3$ , für das Holzhaus bei  $5 \text{ mg/m}^3$ .

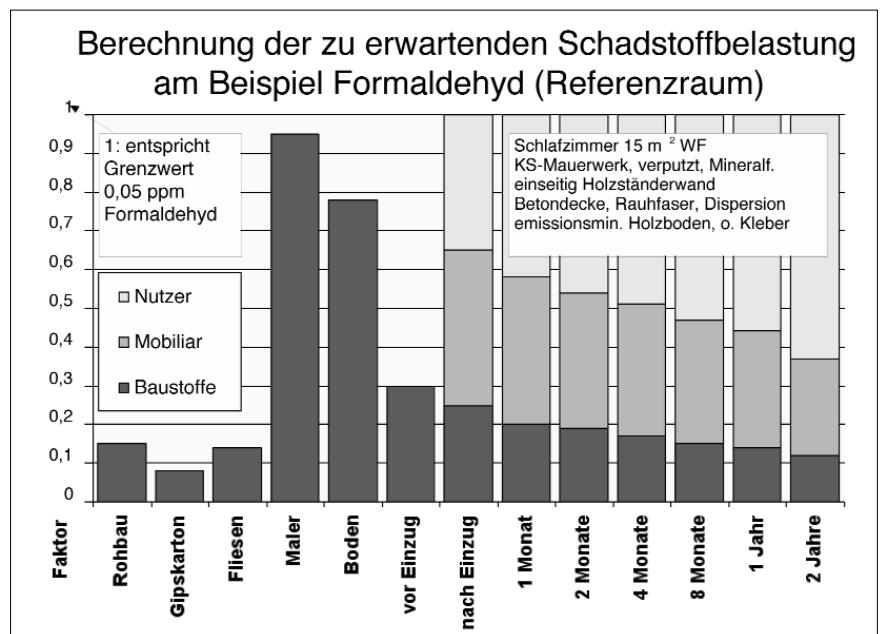


Abbildung 4

Die Belastung mit Formaldehyd war in den Gebäuden zu keiner Zeit im relevanten Bereich. Eine besondere Beachtung wurde den Styrol-Werten zuteil: Bereits bei Einzug lagen die Messwerte unter den angestrebten  $30 \text{ mg/m}^3$ . Auf Grund der Abklingkurve ist davon auszugehen, dass diese Werte noch deutlich unterschritten werden. Allerdings war bereits bei den ersten Messungen im bewohnten Zustand deutlich zu erkennen, dass zusätzliche Belastungen durch Möbel und Nutzereinflüsse gegeben waren. Nach sechs Monaten sanken die TVOCs auf ca.  $300 \text{ mg/m}^3$ . Eine Vergleichsmessung in einem schadstoffoptimierten Holzhaus (AKÖH-Standard) ergab deutlich höher VOC-Werte von über  $1500 \text{ mg/m}^3$ . Die Styrol-Werte lagen für die Passivhäuser bei  $3,5\text{-}5 \text{ mg/m}^3$ , für das Holzhaus bei  $5 \text{ mg/m}^3$ .

## Einfluß der Lüftungsanlagen auf die Raumluftqualität

Die Lüftung der Häuser erfolgt durch eine Zu- und Abluftanlage mit Wärmerückgewinnung. Für die Auslegung der Luftwechselrate wurden  $30 \text{ m}^3/\text{h}$  pro Person für die Standard-Lüftungsstufe gewählt. Abb. 5 stellt die daraus resultierenden Luftwechselraten (LWR) dar: die frische Außenluft wird in die Aufenthaltsräume mit einer LWR von  $0,66 \text{ h}^{-1}$  eingebracht. In den Abluftbereichen beträgt der Wert  $2,0 \text{ h}^{-1}$ , gerechnet über die Gesamtfläche ergibt sich eine LWR von  $0,4 \text{ h}^{-1}$ . Bei Abwesenheit und in der Nacht kann eine geringere Lüfterstufe mit ca. 75% Durchsatz ( $90 \text{ m}^3/\text{h}$ ) eingestellt werden und bei besonderen Belastungen kurzzeitig bis zu  $300 \text{ m}^3/\text{h}$ . Für die Berechnung des Heizwärmebedarfs ergibt sich daraus eine durchschnittliche Luftwechselrate von etwa  $0,35 \text{ h}^{-1}$ .

Die Qualitätssicherung der Lüftungsanlage wurde durch folgende Messungen vorgenommen:

- Einstellung der Luftmengen pro Raum (Messungen an den Ventilen und an den Übertrittsöffnungen der Räume)
- Einstellung der Balance zwischen Zu- und Abluft
- Überprüfung der Luftverteilung und Durchströmung in den Räumen durch drei verschiedene Messverfahren:
  - Indikatorgas  $\text{CO}_2$
  - Indikatorgas  $\text{CF}_6$
  - Visualisierung durch Einbringen von Nebel (Nebelgenerator).

Als Ergebnis der Untersuchungen lässt sich feststellen, dass eine gute Durchströmung der Räume gegeben ist. Insbesondere der Nebeltest belegte diese Feststellung überzeugend.

Die Lüftungsanlagen werden von den Bewohnern hervorragend angenommen und als angenehm und hilfreich empfunden.

Eine parallel durchgeführte Befragung bei 8 materialgleichen Einfamilienhäusern in Erlangen-Büchenbach mit einem Standard zwischen Niedrigenergiebauweise (mit und ohne AWR (Abluftwärmerückgewinnung)

/  $25\text{-}45 \text{ kWh}/\text{m}^2 \cdot \text{a}$ ) und Passivhausstandard führte zu dem Ergebnis, daß die Raumluftqualität durch den Einsatz von mechanischen Lüftungsanlagen mit einem Luftaustausch von  $100\text{-}140 \text{ m}^3/\text{h}$  ebenfalls subjektiv als sehr hochwertig eingestuft wurde. Bezeichnend war der Hinweis eines Hauseigentümers, dass bei einem Ausfall der Anlage über mehrere Tage die Luft als deutlich weniger qualitativ empfunden wurde.

## Ausstattung / Möblierung und Gebäudenutzung

Für die Auswahl der Ausstattungsgegenstände wurden Empfehlungen zu Raumbelastung und Raumzuordnung gegeben. Dabei wird auch die Belastung durch Haushaltschemikalien, belastende Gegenstände, Lebensmittel- und Abfallemissionen berücksichtigt. Die Messungen nach Einzug sollen

Aufschlüsse über nutzerbedingte Raumluftbelastungen ermöglichen. Allerdings ist es in der Praxis so, dass vorhandene Möbel weitergenutzt werden. Falls die Messungen dort erhöhte Werte aufweisen, wird eine Abstimmung mit den Bewohnern durchgeführt.

Aus der Addition der Emissionen aus Baustoffen, Ausstattung/Möblierung und Nutzung ergeben sich Gesamtbelastungen, die durch effizientes Lüften auf einen Wert gebracht werden müssen, der hygienische Raumluftbedingungen sicherstellt. Dabei sollten als Zielwert alle auftretenden Schadstoffe so weit reduziert werden, daß die  $\text{CO}_2$ -bedingte Mindestluftwechselrate zu ausreichend niedrigen Schadstoffwerten führt. Dies ist der wesentliche Grund, dass energetisches Bauen zugleich immer auch gesundheitsverträgliches Bauen mit emissionsarmen Materialien sein muss.

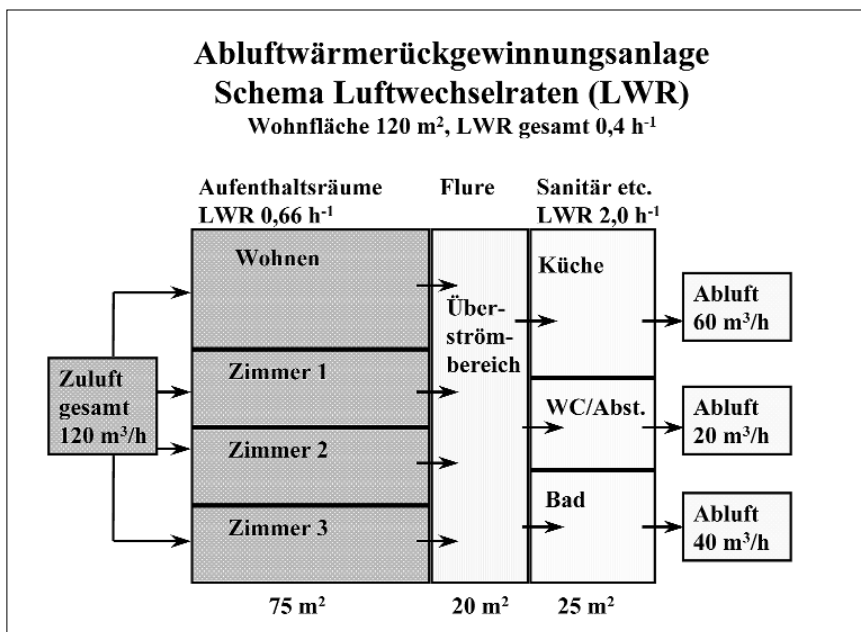


Abbildung 5

## Haustechnik und Energieeffizienz

Das Haustechnik-Konzept sieht für jedes Haus eine getrennte Lüftungsanlage mit Abluftwärmerückgewinnung vor und eine zentrale Bereitstellung der geringen Restwärme durch eine Gasbrennwerttherme (5-18 kW) in Verbindung mit einer solarthermischen Anlage mit 18 m<sup>2</sup> Netto-Kollektorfläche, einem Thermosyphon-Solarspeicher mit 750 Liter Inhalt und ebenfalls mit einem Thermosyphonspeicher für Brauchwasser mit 350 Liter Wasserinhalt. Diese Kombination wurde gewählt, um nur die geringstmögliche Menge Frischwasser in erwärmtem Zustand vorzuhalten und die Gefahr von bakterieller Belastung auszuschliessen. Zugleich sollte die gespeicherte Wassermenge gering sein, um Speicherverluste zu minimieren. Auf der anderen Seite war dennoch ein angemessener Komfort für die Bewohner gewünscht.

Für die Verbräuche und in geringerem Umfang für die bauphysikalischen Parameter und Temperaturverläufe wird ein Messprogramm durchgeführt [8]. Die ersten Messergebnisse (Januar 2001) lassen Heizenergieverbräuche von 10-13 kWh/(m<sup>2</sup>a) erwarten.

## Primärenergiebilanzierung

Die Bewertung von Passivhäusern kann nicht nur auf die Betriebsphase beschränkt werden, sondern muss die Gebäudeerstellung mit einbeziehen. Der Primärenergieinhalt des Gebäudes und insbesondere die Mehraufwendungen für die Passivhaus-Komponenten müssen in die Gesamtbilanzierung einfließen. Die Berechnung kann nach einer überschlägigen Bauteilmethode durchgeführt werden oder positionsgenau nach den einzelnen Materialien. In diesem Fall wurde die genauere, zweite Möglichkeit gewählt. Grundlage ist das sehr exakte Architekten-Leistungsverzeichnis, das positionsgenau alle Materialien enthält. Die Massen wurden auf das Volumen umgerechnet, wozu Verbundbaustoffe rechnerisch sehr weitgehend in ihre Einzelmaterialien zerlegt wurden. Weiterhin sollte die Berechnung möglichst stimmige Ansätze für die spezifischen Primärenergieinhalte der einzelnen Baumaterialien enthalten [9][10]. Da bei der primärenergetischen Beurteilung von Baustoffen z. Zt. nach wie vor große Bewegung erkennbar ist, wurden in der Tabellenkalkulation die Bezüge so erstellt, dass in einer Zentraldatei die spezifischen Werte geändert werden können und eine Umrechnung mit geringem Aufwand möglich ist.

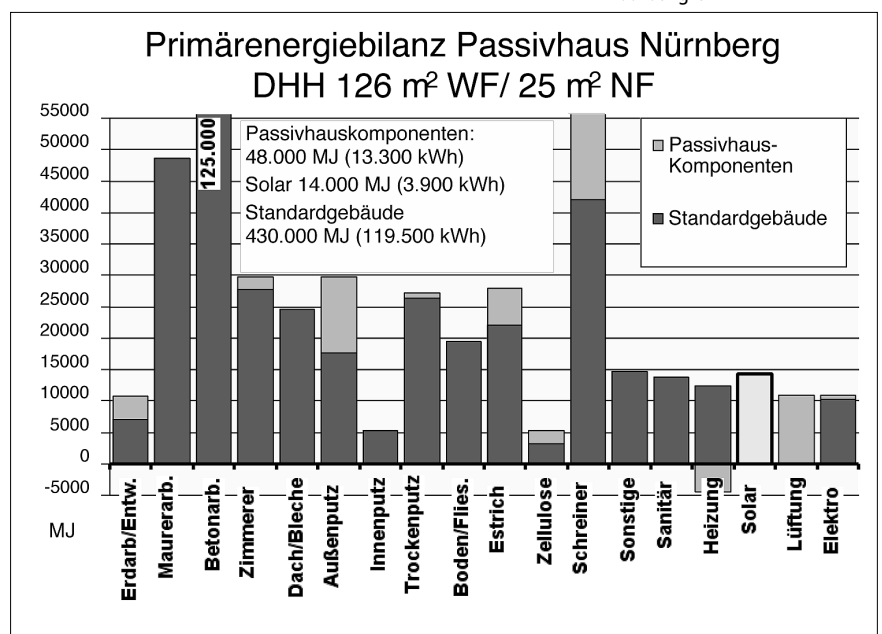
Das Ergebnis für eine Doppelhaushälfte in Nürnberg mit 126 m<sup>2</sup> Wohnfläche und 25 m<sup>2</sup> Nutzfläche korreliert in der Gesamtsumme mit früheren Berechnungen zu anderen Haustypen nach der Bauteilmethode [11]. Der Primärenergieinhalt des gesamten Gebäudes beträgt 430.000 MJ. Dazu kommen für die Passivhauskomponenten 48.000 MJ (11,2 %) und für den Anteil an der Solaranlage 14.000 MJ (3,3 %). Prozentual beträgt der Mehraufwand der einzelnen Maßnahmen bezogen auf die Standardvariante: Außenwände 3,2%, Dach 0,7%, Boden 1,3%, Fenster 3,2%, Lüftungsanlage 2,5%, Erdschichtwärmetauscher 0,9% und Heizung (Minderaufwand) -1,0%. Das Ergebnis wird in Abbildung 6 dargestellt.

Wird der Mehraufwand an Primärenergie-Einsatz für die Passivhauskomponenten auf 30 Jahre abgeschrieben, so ergibt sich ein Wert von 3,5 kWh/(m<sup>2</sup>\*a). Das bedeutet, zusammen mit dem Heizwärmebedarf von 13 bzw. 15 kWh/(m<sup>2</sup>\*a) fällt ein jährlicher Gesamtkennwert inkl. energetischer Abschreibung für die Komponenten von 18,5 kWh/(m<sup>2</sup>\*a) für die Gebäude an. Zum Vergleich: das Standardgebäude nach Wärmeschutzverordnung weist in Abhängigkeit von der Rechenart zwischen 76 und 100 kWh/(m<sup>2</sup>\*a) auf. Die energetische Amortisationszeit der passivhaus-spezifischen Maßnahmen im Vergleich zum Standard-Neubau beträgt weniger als 1,5 Jahre.

## Kostenbilanzierung

Die Baukosten wurden ebenfalls auf der Grundlage der Positionen des Leistungsverzeichnisses verglichen und die passivhaus-spezifischen Mehrkosten ermittelt. Die Gebäudekosten für das Standardhaus (WSVO 1995) betragen 250.600 DM

Abbildung 6



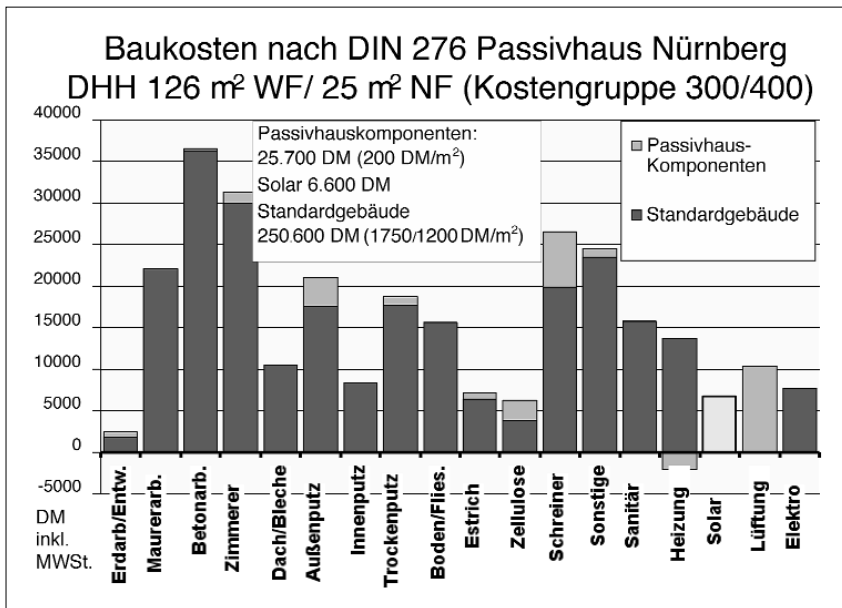


Abbildung 7

(Kostengruppe 300/400 nach DIN 276; inkl. MWSt.). Das entspricht 1.750 DM/m<sup>2</sup> Wohnfläche und 1.200 DM/m<sup>2</sup> Nutzfläche. Die Mehrkosten für die Passivhaus-Komponenten betragen pro Gebäude 25.700 DM (200 DM/m<sup>2</sup>). Im Einzelnen: Außenwände 4.900 DM (2,0%), Dach 3.200 DM (1,3%), Boden 752 DM (0,3%), Fenster 6.700 (2,7%), Lüftungsanlage 9.800 DM (3,9%), Erdreichwärmetauscher 1.200 (0,5%) und Heizung (Minderaufwand) -2.100 DM (-0,8%). Außerdem kostet die Solaranlage 6.600 DM pro Doppelhaushälfte zusätzlich (vgl. Abbildung. 7). In Abbildung 8 wird die Berechnung der einzelnen Passivhaus-Komponenten mit den daraus resultierenden Kosten und Energieeinsparungen dargestellt, Abbildung 9 zeigt die Wirtschaftlichkeit der Einzelmaßnahmen.

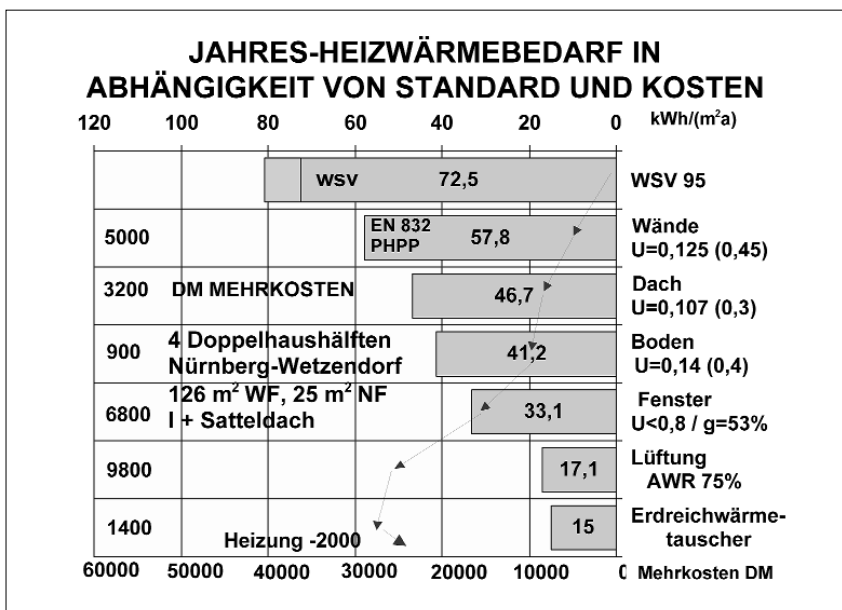


Abbildung 8

Die Gesamtinvestitionskosten für Haus 1 inkl. Grundstück, Erschließung, Außenanlagen und Nebenkosten betragen 570.000 DM. Ohne Passivhauskomponenten wären für ein Standardgebäude 538.000 DM (ohne Solaranlage) angefallen. Der Vergleich der beiden Varianten weist bereits bei den heutigen Rahmenbedingungen eine geringere monatliche Belastung in Höhe von 1.904 DM für das Passivhaus aus (ohne Wartungskosten). Die monatlichen Gesamtkosten für ein baugleiches Standardgebäude liegen bei 2.070 DM. Die Rahmenbedingungen sind in Abbildung 10 ausgewiesen.

#### Zusammenfassung

Die wesentlichen Ziele der Untersuchung sind ökologische und ökonomische Planungsanforderungen, die weitere Optimierung zwischen den konkurrierenden Anforderungen von hygienischen und energetischen Parametern bei der Konstruktionswahl und Lüftungsanlagen-Auslegung, die Darstellung von Stoff- und Energiebilanzen sowie die ökonomische Bewertung.

Folgende Aspekte sind als Zwischenergebnis nach Gebäudefertigstellung besonders hervorzuheben:

- Aus städtebaulicher und objektplanerischer Sicht stellen kompakte Gebäude, möglichst mit Pultdachform die ideale Variante für energiesparendes Bauen dar, mit entsprechendem Mehraufwand lassen sich aber auch andere Bauformen als Passiv-

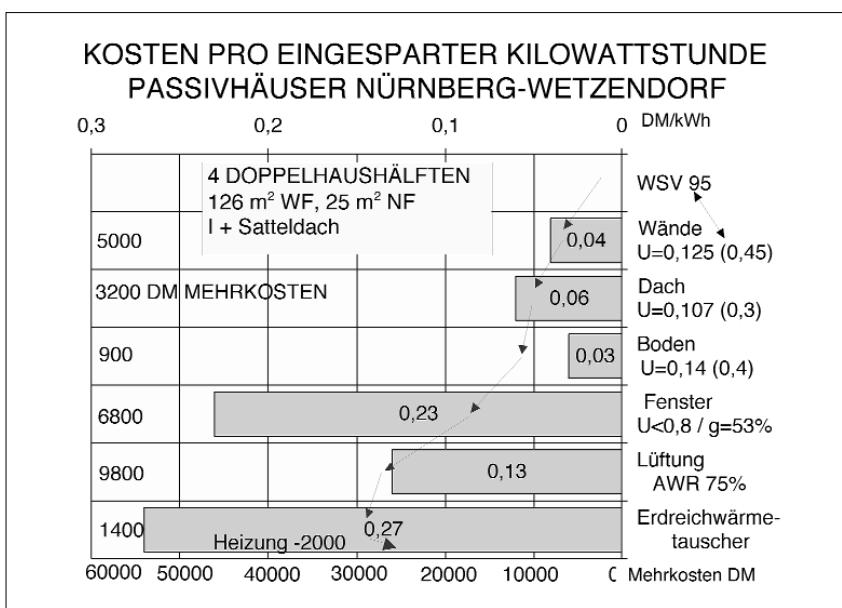


Abbildung 9

haus realisieren, wie im beschriebenen Fall die Satteldachform in Nürnberg, die allerdings zu hohem Aufwand hinsichtlich der Luftdichtung führte.

- Während für die energetische Planung sehr weitreichende Instrumentarien zur Verfügung stehen, sind Planungsgrundlagen für die Minimierung der Schadstoffbelastung bisher sehr lückenhaft und stark der subjektiven Bewertung ausgesetzt.
- Qualitätssicherung im Bereich Raumluft ist äußerst aufwendig und kann konsequent nur mit Hilfe von individuellen Schadstoffmessungen durchgeführt werden. Zur emissionsminimierenden Baustoffauswahl

ist die Einrichtung von verlässlichen Datenbanken für die Planer inkl. Überprüfung der zugesicherten Materialqualitäten dringend erforderlich.

- Schadstoffprognosen sind z. Zt. noch mit vielen Unwägbarkeiten behaftet, sollten allerdings einen Forschungsschwerpunkt in Verbindung mit der Raumluftanalytik darstellen und in absehbarer Zeit als Software für die Planer zur Verfügung stehen.
- Mechanische Lüftungsanlagen stellen einen Beitrag zu einer verbesserten Raumlufthygiene dar.
- Die primärenergetische Effizienz von Passivhäusern ist äußerst hoch. Im Vergleich zu Standardgebäuden nach Wärmeschutzverordnung ergeben sich zwar ca. 11% höhere Primärenergieinhalte für die Gebäudeerstellung, die energetische Amortisationszeit für diesen Mehraufwand liegt jedoch unter 1,5 Jahren im Vergleich zum Standardhaus.
- Die Baukosten liegen 200 DM/m<sup>2</sup> über den Standardbaukosten. Das entspricht im aktuellen Fall Mehrkosten von brutto 25.700 DM.
- Die monatliche Belastung aus Betriebskosten und Finanzierungskosten (inkl. Ausschöpfung der üblichen Fördermöglichkeiten) liegt für das berechnete Passivhaus bei 1.900 DM. Das vergleichbare Standardhaus nach Wärmeschutzverordnung kostet 2.070 DM monatlich. Auch bei kleinteiliger handwerklicher Bauweise findet zur Zeit der Übergang zur Wirtschaftlichkeit bei der Passivbauweise statt.

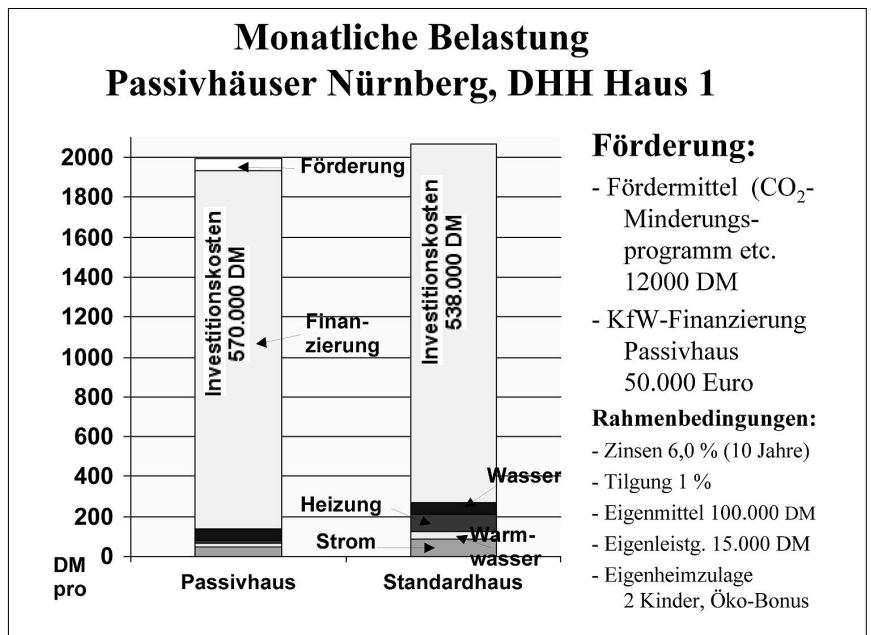


Abbildung 10

## Literatur

- [1] Messtechnische Evaluierung und Verifizierung der energetischen Einsparpotentiale und Raumluftqualität an Passivhäusern in Nürnberg. – Projektpartner/Beteiligte: AnBUS (Messtechnik, Raumluftanalytik), Energieagentur Mittelfranken (energetische Qualitätssicherung), EWAG (energetische Messtechnik), LGA (Baustoffbewertung, Raumluftanalytik), Meyer & Schulze Darup, Architekten (Koordination) 1999-2001
- [2] Berechnung mit: Passivhaus Projektierungs Paket 99. – Passivhaus Institut Darmstadt 1999
- [3] Feist, Baffia, Schieders, Pfluger: Passivhaus-Projektierung-Paket. – Passivhaus-Institut Darmstadt 2000
- [4] Datenbank ökologisch geprüfter Produkte, LGA-Bayern, Postfach 3022 90014 Nürnberg/ www.lga.de
- [5] Jungnickel: Schadstoffuntersuchungen. – LGA Bayern 1999/2000
- [6] Jungnickel, Kupfer, Schulze Darup: Berechnungsmodul zur Abschätzung von Raumluftbelastungen. LGA Bayern, Nürnberg 1999
- [7] Messtechnische Evaluierung und Verifizierung der energetischen Einsparpotentiale und Raumluftqualität an Passivhäusern in Nürnberg. – Projektpartner/Beteiligte: AnBUS (Messtechnik, Raumluftanalytik), Energieagentur Mittelfranken (energetische Qualitätssicherung), EWAG (energetische Messtechnik), LGA (Baustoffbewertung, Raumluftanalytik), Meyer & Schulze Darup, Architekten (Koordination) 1999-2001

- [8] Ciolek, Fischer, Schulze Darup: Energetisches Messprogramm. – Begleitende Untersuchung zum Passivhausmodell Nürnberg, unterstützt durch EWAG/Nürnberg und Fa. Viterra 1999-2001
- [9] LGA:Datenbank "Ökologisch geprüfte Bauprodukte", Primärenergieaufwand  
<http://www.lga.d/deutsch/bdb/enerprim.htm>
- [10] Schulze Darup, B.: Bauökologie. – Bauverlag Wiesbaden und Berlin 1996
- [11] Schulze Darup, B.: Optimierung von Niedrigenergiehäusern zu Passivhäusern beim kostengünstigen Bauen. – In: Tagungsreader 2. Passivhaus-Tagung, Hrsg. Dr. Wolfgang Feist, Passivhaus Institut, Darmstadt 1998

## Diskussion:

### Frage:

Was kostet 1 m<sup>2</sup> Kalksandsteinmauerwerk vermauert und verputzt?

### Schulze-Darup

1 m<sup>2</sup> kostet zwischen DM 400,- und 450,- + Mehrwertsteuer., Verputz DM 20,- bis 22,- + Mehrwertsteuer. Wärmedämmverbundsystem außen DM 120,- bis 140,-. Im Moment ist aber der Preis für Polystyrol dramatisch angestiegen. Allein der Materialpreis ist um 60 % innerhalb des letzten halben Jahres angestiegen.

Aber es ist auf jeden Fall so, dass die Kalksandsteinwand die kostengünstigste Variante ist, wenn man sie mit den anderen Bauarten vergleicht. Ich unterstütze auch, was Herr Horn gesagt hat, dass prinzipiell massive Häuser günstiger zu erstellen sind. Gerade Holzhäuser mit einem höheren ökologischen Standard sind DM 200,- bis 500,- teurer in der Herstellung.

### Frage:

Wie sind bei Wärmerückgewinnungsanlagen diese Rohre zu reinigen? Wenn Filter vorgesehen sind, wie reinigt man diese?

### Schulze-Darup:

Es gibt ja viele Lüftungsanlagen, die seit Jahren in Betrieb sind. Es ist eigentlich kein Problem. Wenn Filter davor angebracht sind und diese regelmäßig gewartet werden, hat man auch nach 10-20 Jahren keine verschmutzten Leitungen. Aber es kommt vor, dass eben diese Filterüberwachung nicht funktioniert, und dann werden die Möglichkeiten sie zu reinigen relativ kostenaufwendig. Deshalb auch die Anmerkung, dass man die Zuluftleitung möglichst kurz hält, um in so einem Fall kostengünstig Eingriffe machen zu lassen, sei es für die Reinigung oder auch den Austausch von Teilen.

Prinzipiell gibt es mit der Hygiene in den Rohren kein Problem, insbesondere nicht im Bereich des Lüftungssystems des Hauses, weil dort keine Feuchte anfällt und deshalb kein Bakterienwachstum entstehen kann. Problematischer ist es im Erdreichwärmetauscher bei Witterungssituationen wie im Frühjahr, wenn es plötzlich von kalt auf warm umschlägt. Dann kann sich Feuchtigkeit im Erdreichwärmetauscher niederschlagen. Dies gilt insbesondere für schwülwarme Situationen im Sommer. Dafür gibt es den Kondensatablauf und ich informiere meine Bauherrn schriftlich, dass sie diesen in gewissen regelmäßigen Abständen überprüfen müssen. Ich persönlich bin ein Anhänger von möglichst kurzen Erdreichwärmetauschern, die man mit einfachen Mitteln überwachen und reinigen kann.

### Frage:

Wie verhält es sich mit der Schallbelastung?

### Schulze-Darup:

Lautstärke ist ein ganz wichtiger Punkt. Den Schallschutz muss man sehr ernst nehmen. Die ersten Anlagen, die ich vor 6-8 Jahren gebaut habe, hatten alle ein Problem. Es war im Schlafzimmer noch ein leichtes Rauschen zu hören. Es waren Werte, die bestimmt unterhalb von 25 dB(A) lagen, trotzdem störte es. Und es gibt immer irgendjemanden in der Familie, der da sensibel reagiert. Ich rate daher, etwas mehr in Schalldämpfer zu investieren, ca. 2 Meter zwischen dem Gerät und dem Raum, in dem es leise sein soll. Damit ist man immer auf der sicheren Seite. Die Überströmöffnung kann man ganz profan durch die Ritze unterhalb der Tür machen, was eine gewisse Schallschutzeinbuße zwischen den Räumen mit sich bringt. Allerdings gibt es auch Überströmöffnungen, die mit einem Schallschutz versehen sind; diese habe ich bisher noch nie eingebaut.



**Frage:**

Was sind genaue Nettoherstellungskosten für das ökologische Passivhaus, die einerseits bezogen sind auf den m<sup>2</sup> Wohnnutzfläche und andererseits auf die Gesamtbaukosten ohne Grundstück der 3-4 gebauten und gezeigten Beispiele?

**Schulze-Darup:**

Die Mehrkosten lagen bei den Doppelhäusern bei etwa DM 200,-/m<sup>2</sup> Wohnfläche. Die Zahlen vom Gerit Horn heute fand ich sehr richtig. Beim Einfamilienhaus hat man natürlich höhere Kosten; wenn man ein Reihenhaus hat, liegen die Werte tiefer. Dabei ist es so, dass die Mehrkosten für die Lüftungsanlage ungefähr zwischen DM 8.000,- und 12.000,- pro Wohneinheit oder Haus liegen, für die Fenster zwischen DM 7.000,- (Ausführung PVC) und DM 15.000,- (Ausführung Holz) und DM 30.000,- (Ausführung absolut baubiologisch), und bei der Gebäudehülle kann die Abweichung von – bis gehen. Bei einem Reihemittelhaus komme ich bei der Gebäudehülle ohne Fenster mit DM 5.000,- bis 7.000,- Mehrkosten hin. Die gesamten Mehrkosten beim Einfamilienhaus liegen zwischen DM 30.000,- und 50.000,-. Da ist nach oben keine Grenze, und das hängt auch ganz stark davon ab, wie man planerisch vorgeht. Im Grunde muss der planerische Ansatz immer der sein, dass man versucht eine Konstruktion zu bilden, bei der konstruktive Teile nicht kostenträchtiger werden, d.h. kostenneutral den Raum oder den Platz für die Dämmung schaffen, dass man wirklich nur mehr die Dämmung bezahlt und die liegt zwischen DM 120,- und 200,- pro m<sup>2</sup>, was nicht sehr teuer ist.

**Frage:**

Gibt es eine Datenbank, in die ökologische Kriterien eingeflossen sind?

**Arch. Schulze-Darup:**

Beim Passivhaus-Institut sind viele Gebäude dokumentiert, wo auch Kostenangaben enthalten sind. (<http://www.passiv.de>) Eine ökologische Datenbank wird von der LGA-Bayern aufgebaut, die Webadresse lautet lga.de und die Nutzung ist für den Verbraucher kostenlos.

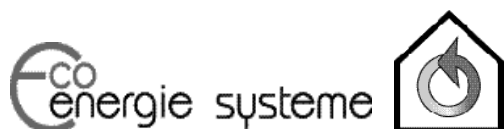


20 Wohnungen in Innsbruck mit neuen, nur 20 cm flachen Geräten, platzsparend in abgehängten Flurdecken montiert.

# DIE NEUE HAUSTECHNIK

## Komplett-System für Ein- und Mehrfamilienhäuser

Frischluftheizung, höchster Komfort, maximale Effizienz, 90% Wärmerückgewinnung, vollautomatische Regelung, vorgefertigte Modularbauweise, Schnellmontage ....., was sich im Einfamilienhaus bewährt, setzt sich auch im Großen durch. Speziell im Mehrfamilienhaus mit Passiv- und Niedrigenergiestandard ist die ECO-Brauchwasserheizung (pat.pend.) konzipiert. Es handelt sich um ein System mit zentraler Warmwasserbereitung und dezentraler Lüftung. Je Wohnung stehen Heizleistungen bis zu 3 kW zur Verfügung, die sowohl über die nachgeheizte Frischluft, als auch über Heizflächen z.B. Bad, WC...in die verschiedenen Räume verteilt werden. Auf konventionelle Heizungsverteilinstallationen kann verzichtet werden.



A-6974 Gaissau, Hauptstrasse 35,  
Tel.: 0043(0)5578/71367, Fax DW 4  
e-mail: [systeme.ecoenergie@vol.at](mailto:systeme.ecoenergie@vol.at)  
<http://www.ecoenergie.vol.at>