

Haus- und Bautechnik eines Minimalenergiehauses im Detail

Energieeinsparung contra kostengünstiges Bauen?

Ansgar Schrode*

Als Weiterentwicklung der Niedrigenergiebauweise wurde im schwäbischen Leutenbach ein Minimalenergiehaus (bzw. Passivhaus) erstellt. Das Ziel, weitestgehend ohne Heizenergie auszukommen, wurde durch passive Maßnahmen und durch die Weiterentwicklung der kontrollierten Lüftung mit Wärmerückgewinnung erreicht. Das Minimalenergiehaus beinhaltet drei große Wohnungen, von denen eine als Büro genutzt wird. Im UG sind noch zwei weitere beheizte Räume ausgebaut. Die beheizte Wohnfläche beträgt insgesamt mehr als 350 m².

Das zur Verfügung stehende Grundstück stellte eine Baulücke dar. So mußte an eine auf der Südseite bestehende Doppelhaushälfte angebaut werden. Hierbei sollte jedoch auch gezeigt werden, daß solche Grundstücke selbst unter energetischen Gesichtspunkten bebaut werden können bzw. auch Altbauten als Minimalenergiehaus saniert werden können, wenn keine optimale Orientierung vorhan-

den ist. Des weiteren waren nur zwei Vollgeschosse mit Satteldach erlaubt, so daß die drei Wohneinheiten nur dann verwirklicht werden konnten, wenn das Dach ausgebaut wurde. Insofern wurden vorerst vier Dachflächenfenster mit Zweifach-Wärmeschutzverglasung und einem k-Wert von 1,4 W/m²K eingebaut. Es ist zu hoffen, daß auch Dachflächenfenster bald in der wärmetechnischen Qualität geliefert werden können, wie dies im folgenden bei den Fenstern beschrieben ist. Sämtliche Außenfenster wurden so angeordnet, daß der Lichteinfall weder durch Balkone noch Dachvorsprünge und dgl. beeinträchtigt wird. Hierdurch wurden die Belichtung der Räume und die passive Sonnenenergienutzung optimiert. Zusätzlich sind verspiegelte Jalousien vorgesehen, die das Tageslicht sehr weit in den Raum hineinwerfen, wo es von der weiß gehaltenen Decke reflektiert wird.

ist. Sämtliche Außenfenster wurden so angeordnet, daß der Lichteinfall weder durch Balkone noch Dachvorsprünge und dgl. beeinträchtigt wird. Hierdurch wurden die Belichtung der Räume und die passive Sonnenenergienutzung optimiert. Zusätzlich sind verspiegelte Jalousien vorgesehen, die das Tageslicht sehr weit in den Raum hineinwerfen, wo es von der weiß gehaltenen Decke reflektiert wird.

Konstruktionsmerkmale im Detail

Es wurde ein Holzrahmenbau mit folgenden Bauteilaufbauten gewählt:

- Außenwand
160 mm Holzständer mit Mineralfaserdämmstoff, innen PE-Folie als Dampfsperre und Gipsfaserplatten, außen 160 mm Wärmedämmverbundsystem auf Spanplatten mit mineralischem Außenputz (k = 0,13 W/m²K).
- Dachschräge
200 mm Sparrenvollämmung aus Mineralfaserdämmstoff in Verbindung mit dif-



Außenansicht des Minimalenergiehauses, bei dem die Holzbalkone vom Gebäude vollständig getrennt sind

fusionsoffener Unterspannbahn, darunter Verbundplatten aus 120 mm PU-Hartschaum der Wärmeleitfähigkeitsgruppe 025, mit integrierter Dampfsperre und tapezier- bzw. streichfähiger Silikatbeschichtung (k = 0,1 W/m²K).

• Kellerdecke

Holzbalkendecke mit 220 mm Wärmedämmung aus Mineralfaserdämmstoff, schwimmendem Estrich auf Dampfsperre und abgehängter Vorsatzschale (k = 0,19 W/m²K).

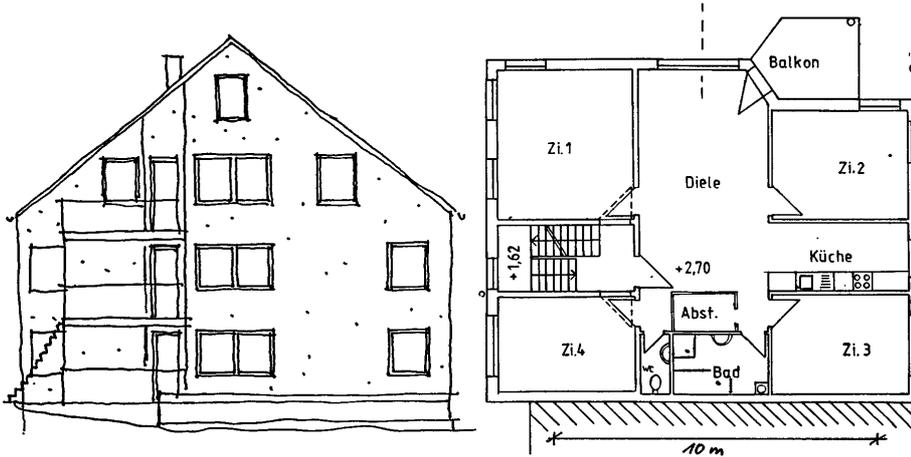
• Untergeschoß

Gegen Erdreich und Außenluft Betonwände mit 240 mm Innendämmung (k = 0,15 W/m²K), gegen unbeheizte Nebenräume 175 mm porosierte Ziegel mit 120 bis 160 mm Innendämmung (k = 0,19 bis 0,24 W/m²K), im Fußbodenaufbau 140 mm Hartschaum der Wärmeleitfähigkeitsgruppe 030 (k = 0,24 W/m²K). Die nicht beheizten Nebenräume (Waschküche und Fahrradabstellraum) erhielten eine ca. 40 mm dicke Innendämmung, damit sommerliche Oberflächenkondensation ausgeschlossen wird.

• Fenster

PU gedämmte Holzfenster mit Dreifach-Wärmeschutzverglasung (doppelte Bedampfung und doppelte Schwergasfüllung), Rahmen wird von der Außendämmung vollständig überdeckt (k = 0,8 W/m²K).

*Dipl.-Ing. Ansgar Schrode, 71397 Leutenbach, Telefon (0 71 95) 24 35, Telefax (0 71 95) 24 83



Grundriß des 1997 im schwäbischen Leutenbach erbauten Minimalenergiehauses

Schallschutz und Lüftung

Die Wohnungstrenndecken bestehen aus Brettstapeldecken mit Beschwerung aus Gehwegplatten und schwimmendem Estrich sowie einer unterseitig mittels Federschienen angebrachten Vorsatzschale mit doppelter Beplankung. Die Treppenraumwände wurden ebenfalls als Leichtbauwände ausgeführt, jedoch mit getrenntem Ständerwerk und beidseitiger doppelter Beplankung. In beiden Fällen wird der erhöhte Schallschutz nach DIN 4109 eingehalten, genauso bei der Gebäudetrennwand, die ebenfalls als Leichtbauwand ausgeführt ist. Jede Wohneinheit verfügt über eine kontrollierte Lüftung mit Wärmerückgewinnung. Es sind für die Vollgeschosse und das Dachgeschoß insgesamt drei große Anlagen und für die beiden beheizten UG-Räume eine zusätzliche, kleiner dimensionierte Anlage eingebaut. Somit kann die Lüftungs-



Innenansicht der Holzrahmenelemente: eingesetzt sind 16 mm dicke Holzrahmen, außen beplankt mit Spanplatten

anlage für jede Einheit getrennt geregelt werden. Es sind je zwei Kreuzstrom-Plattenwärmetauscher hintereinandergeschaltet, so daß bereits durch diese Maßnahme nahezu 90 % der Lüftungswärmeverluste zurückgewonnen werden. Zusätzlich wird die Frischluft über einen Erdwärmetauscher (im Erdreich verlegte Kunststoffrohre) angesaugt. Dabei wird selbst bei extremen Außentemperaturen die Frischluft durch den Erdreich-Wärmetauscher bereits auf 5–8 °C vorgewärmt, so daß neben der zusätzlichen Energieeinsparung auch das Frostschutzproblem der Kreuzstrom-Plattenwärmetauscher auf elegante Art und Weise gelöst ist. Damit es zu keiner Kondensation und damit verbunden Schimmelbildung im Erdreich-Wärmetauscher kommen kann, sorgt eine spezielle Regelung dafür, daß die Luft nur dann über den Erdreich-Wärmetauscher angesaugt wird, wenn die Außenluft nicht wärmer ist als das Erdreich.

Die drei großen Anlagen kosteten je 8000 DM, die kleinere Anlage 5000 DM. Die 8000 DM sind auch auf Einfamilienhäuser übertragbar, wenn die Anlagen ingenieurmäßig geplant sind und man sich nicht relativ teurer Kompletteräte bzw. Kompletanlagen bedient, sondern Einzelelemente ingenieurmäßig berechnet, plant und ausschreibt. Mehr sollte für eine Lüftungsanlage nicht bezahlt werden. Auch der Lüfterstrom dieser Lüftungsanlagen liegt extrem niedrig, nämlich bei 15 Watt pro 100 m³ stündlicher Luftleistung für beide Ventilatoren zusammen. Viele handelsübliche Lüftungsanlagen benötigen hierfür ein Vielfaches.

Heizung und Energieverbrauch

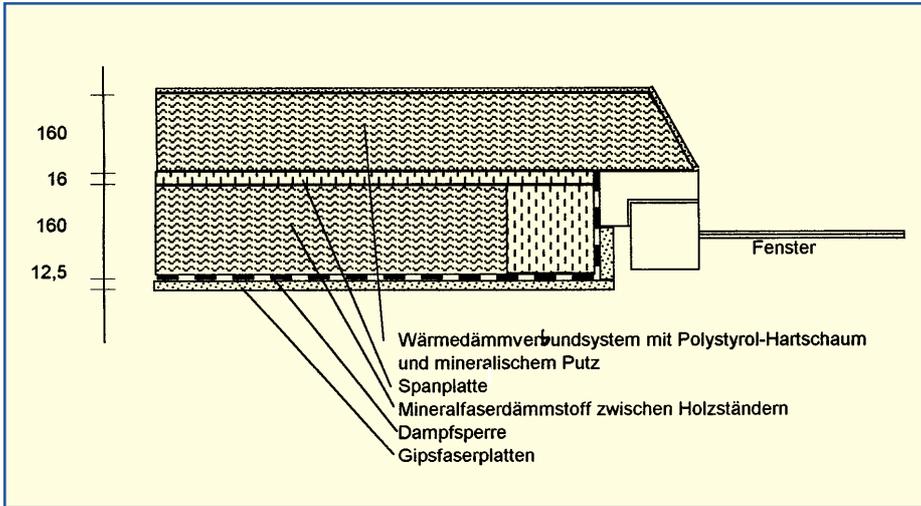
Eine weitere Vorgabe des Bebauungsplanes war der Anschluß an das Erdgasnetz. Der Heizwärmebedarf sowie der Energiebedarf für das Warmwasser, welcher nicht durch die Solaranlage abgedeckt werden kann,

wird von einem 11 kW Brennwertkessel zur Verfügung gestellt. Verteilt wird die Wärme über eine Warmwasserzentralheizung mit Plattenheizkörpern. Dabei werden die einzelnen Heizkörper auf kürzestem Wege auf Putz angefahren. Die Heizkörper samt Rohrnetz haben für das ganze Haus aufgrund des stark verringerten Wärmebedarfs weniger als die Wärmeverteilung samt Heizkörper einer Etagenheizung gekostet. Die einzelnen Heizkörper wurden genau berechnet und auf den geringen Wärmebedarf abgestimmt. In den einzelnen Räumen sind Heizkörpergrößen vorhanden, wie sie sonst nur in Toiletten angetroffen werden. Die Aufputzinstallation soll neben der Kosteneinsparung auch zum Ausdruck bringen, daß diese Heizung eigentlich gar nicht zum Gebäude gehört, und den Charakter der Notheizung unterstreichen. Es ist davon auszugehen, daß ohnehin nur an wenigen frostigen Wintertagen geheizt werden muß. Das Heizwasser für die insgesamt 22 Heizkörper wird von einer Gleichstrompumpe

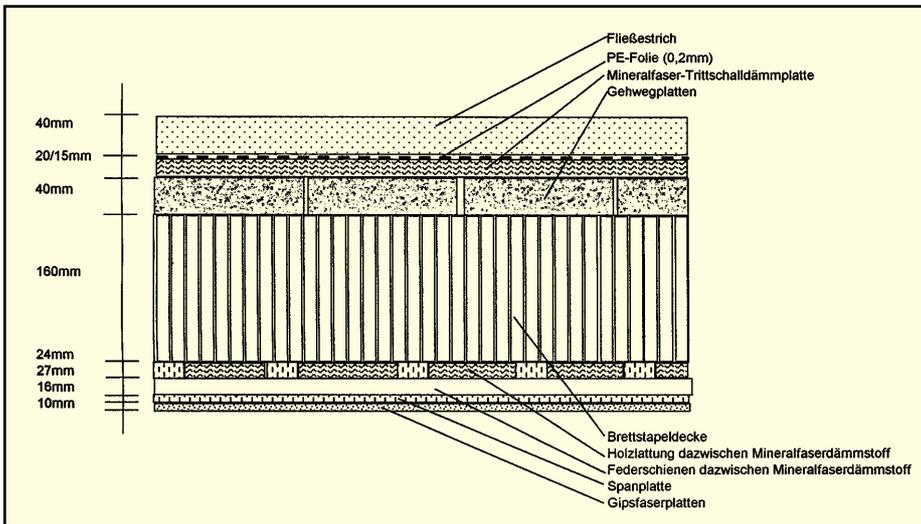


Wärmedämmverbundsystem: 16 cm dicke Platten aus PS-Hartschaum werden mit Kunstharz Dispositionskleber auf die Spanplatten geklebt

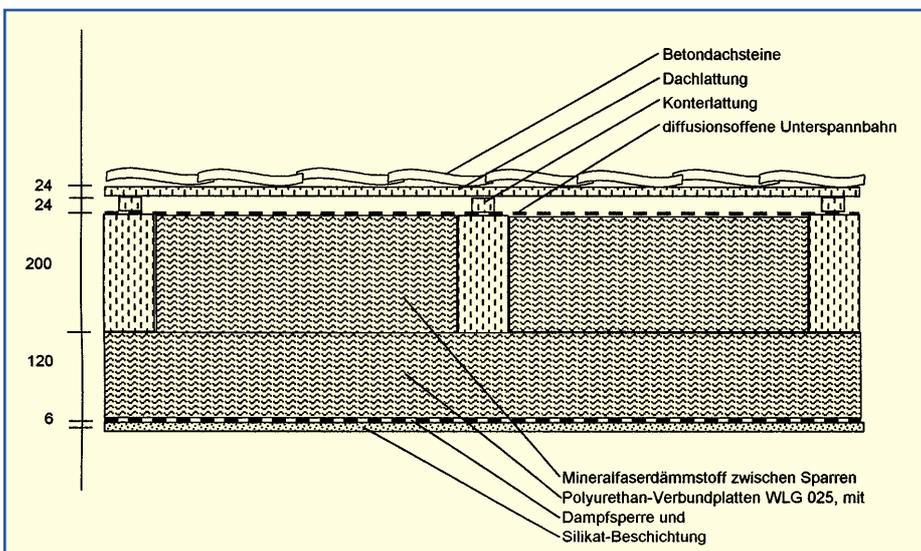
mit 8,5 Watt elektrischer Leistungsaufnahme umgewälzt. Für die daraus resultierenden Stromkosten gilt, daß 1 Watt Pumpenleistung jährlich ca. 1,50 DM Stromkosten verursacht. In heutigen Einfamilienhäusern wird als durchschnittliche Pumpenleistung etwa 100 Watt installiert, was jährlichen Stromkosten von etwa 150 DM entspricht. Als Passivhäuser werden Gebäude bezeichnet, deren Heizenergiebedarf bei höchstens 15 Kilowattstunden pro Quadratmeter Wohnfläche und Jahr liegt. Dieser Wert



Aufbau der Dämmschicht auf der Außenwand



Sehr guter Schallschutz durch den Aufbau der Zwischendecke



Wirtschaftliche Konstruktion der Dachschräge durch konventionelle Maßnahmen

wird bei diesem Minimalenergiehaus erreicht, obwohl keine nach Süden orientierten Fenster vorhanden sind. Als günstig wirkt sich die extreme Kompaktheit des Gebäudes aus. Für das gesamte Gebäude ergibt sich ein Heizwärmebedarf von ca. 5000 kWh/Jahr. Der Energieaufwand für die Warmwasserbereitung dürfte unter Zugrundelegung von ca. 10 Personen etwa 9000 kWh/a betragen, wovon die Solaranlage etwa 5000 kWh/a abdecken kann. Es verbleiben also noch 4000 kWh/a für die Warmwasserbereitung. Zusammen mit dem Heizwärmebedarf sind dies 9000 kWh/a. Der nach dem Verfahren der momentan gültigen Wärmeschutzverordnung berechnete Heizwärmebedarf liegt bei höchstens 20 % des nach der Wärmeschutzverordnung geforderten.

Angenehmes Raumklima

Das Raumklima wird von seiten der Bewohner als sehr angenehm empfunden. Die Luftfeuchte liegt genau im erwünschten Bereich zwischen 50 und 60 %. Somit ist die Luft weder zu trocken (Behaglichkeit) noch zu feucht (keine Gefahr von Feuchteschäden). Die Luft ist angenehm frisch. Es werden so gut wie keine Eigengerüche der Wohnungen mehr wahrgenommen. Durch die gute Dämmung bedingt, sind sämtliche Bauteile angenehm warm und unterscheiden sich praktisch nicht mehr von der Raumlufttemperatur. Dadurch kann die Lufttemperatur in den Räumen sogar etwas reduziert werden, ohne daß die Behaglichkeit darunter leidet. Feuchteschäden durch Oberflächenkondensation sind hierbei so gut wie ausgeschlossen, da die Lüftungsanlage zu hohen Feuchtwerten entgegenwirkt und durch die gute Dämmung sämtliche Bauteiloberflächentemperaturen so warm sind, daß selbst in Außenecken hinter Möbeln keine Feuchteschäden mehr entstehen können. Hinsichtlich der Möblierung ergibt sich ein hoher Freiheitsgrad, so daß sich z. B. Betten oder sogar ein Klavier, welches sich bei nicht gedämmten Außenwänden verstimmen würde, an die Außenwand stellen lassen. Auch im Sommer wird dieses Haus von den Bewohnern als sehr angenehm empfunden. Selbst im Hochsommer können die Räume angenehm kühl gehalten werden. Dies wird dadurch erreicht, daß vor allem nachts und in den Morgenstunden über gekippte Fenster gelüftet wird und damit die Räume abgekühlt werden. Tagsüber bleiben im Hochsommer die Fenster verschlossen und somit die Hitze draußen. Je nach Außentemperatur läßt sich über das Lüftungsverhalten die gewünschte Innentemperatur erreichen.

Ausgeklügelte Sanitärinstallation

Auch wenn ein Minimalenergiehaus nicht zwingend eine Regenwassernutzung fordert, wurde eine Zisterne mit ca. 6 m³ Fassungsvermögen eingegraben. Das aufgefangene Regenwasser wird mittels einer speziellen Tauchpumpe für die Toilettenspülung und Gartenbewässerung verwendet. Prinzipiell ist die Möglichkeit vorgesehen, das für eine spezielle Waschmaschine mit Kalt- und Warmwasseranschluß verwendete Regenwasser für die Warmwasservorgänge zu erwärmen und somit Wärme aus Gas oder Sonnenenergie zur Erwärmung des Waschprozesses einzusetzen.

Die Abwasserfalleitungen kühlen ein Haus ständig aus, indem sie Luft mit Erdreichtemperatur innerhalb des Hauses auf Raumtemperatur erwärmen und bei der Ent-



Auf dem Betonsockel liegt die Keller- als Holzbalkendecke auf. Das Wärmedämmverbundsystem ist so geführt, daß die Dämmung der Außenwand lückenlos in die der Kellerdecke übergeht

lüftung über Dach diese warme Luft das Gebäude verläßt. Anstelle der üblichen Fallstrangentlüftung wurden oberhalb der letzten Einführung bei allen drei Abwassersträngen Belüftungsventile angebracht, welche kurzzeitig öffnen, wenn im Abwasser eine volle Füllung der Querschnittsfläche vorhanden ist und es zu einem Unterdruck bzw. zum Leersaugen des Siphons kommen würde.

Bei der Warmwasserverteilung war in einem Haus dieser Größenordnung eine Zirkulationsleitung nicht zu umgehen. Sie wurde jedoch auf den Steigstrang begrenzt. Dabei wurde die Warmwasserleitung mit

der Dimension 25 × 4,2 mm mit 36 mm dickem Kautschuk-Dämmstoff gedämmt, die Zirkulationsleitung mit der Dimension 16 × 2,7 mm 24 mm dick. Zusätzlich wurden beide Leitungen zusammen nochmals mit 6 cm dicken Lamellenmatten aus Mineralfaserdämmstoff und Alubeschichtung gedämmt. Ab dem Ende der Zirkulation wurden relativ dünne Stichleitungen mit der Dimension 16 × 2,7 mm verlegt, so daß die Wartezeiten, bis warmes Wasser auch an entfernteren Verbrauchern ansteht, nicht mehr als 5 Sekunden betragen.

Markante Stromeinsparung

Der Einsatz von stromsparenden Haushaltsgeräten ist in einem solchen Haus selbstverständlich. Gekocht wird mit einem Gasherd, bei welchem die Primärenergie gegenüber einem Elektroherd mindestens doppelt so gut genutzt wird. Auch der Umluftbackofen wird mit Gas beheizt. Eine Türsprechanlage würde bis zu 15 Watt Dauerstrom verbrauchen. Deshalb wird über eine mit 230 Volt betriebene Klingel (Einsparung von 1 bis 2 Watt Dauerleistung des Klingeltrafos) die Sprechanlage über ein Nachlaufrelais (Treppenhausautomat) in Betrieb genommen und schaltet sich nach wenigen Minuten wieder ab. Stromersparnis: ca. 30 DM pro Jahr.

Beim Breitbandvorverstärker reichen 6 Watt elektrischer Leistung aus anstelle von sonst in Dreifamilienhäusern üblichen 25 Watt, wenn er so wie in diesem Haus genau berechnet und das Leitungsnetz entsprechend dimensioniert wurde. Stromeinsparung: ca. 40 DM pro Jahr. Elektronische Relais benötigen in der Regel ca. 1 Watt Dauerstrom. Deshalb wurden konsequent mechanische Relais ohne Dauerstromverbrauch eingesetzt. In den Dielen wurden 5 Schalter für die Beleuchtung mittels einer Kreuzschaltung (erweiterte Wechselschaltung) ohne Dauerstrom untereinander verbunden. Stromeinsparung: ca. 20 bis 50 DM pro Jahr.

Zweistufiger, preiswerter Kreuzstrom-Plattenwärmetauscher, der bis zu 90 % der Lüftungswärme zurückgewinnt und durch großzügige Dimensionierung einen vergleichsweise geringen Druckabfall aufweist



Die Dämmung des Wärmedämmverbundsystems wird so ausgeführt, daß sie den feststehenden Teil des Fensterrahmens voll überdeckt

Kosteneinsparung durch effiziente Planung

Bei diesem Minimalenergiehaus hat sich gezeigt, daß der Holzrahmenbau deutlich preisgünstiger ist als ein vergleichbarer Massivbau. Die Einsparung liegt bei ca. 100 000 DM. Ein Holzhaus ist vor allem dann preiswerter, wenn die konstruktiven Hölzer nicht sichtbar gelassen, sondern mit Gipsplatten konsequent verkleidet werden und zudem ein Grundriß gewählt wird, bei dem sämtliche Wände übereinander stehen und die Lasten direkt abgetragen werden können. Auch das Wärmedämmverbundsystem hat zur Kosteneinsparung beigetragen. Ganz grob kann gesagt werden, daß eine außenliegende Holzschalung ohne Wärmedämmung etwa dieselben Kosten verursacht wie das Wärmedämmverbundsystem einschließlich des Dämmstoffes, wobei die Dämmstoffstärke kaum in die Kosten eingeht. Durch die luftdichte Wirkung des Außenputzes kann auf die oft beim Holzrahmenbau realisierte Installationsebene



Rohreinschubventilatoren mit verbessertem Gleichstrommotor. Die Ventilatoren werden mitsamt dem Rohr gedämmt und sind dann von außen nicht mehr sichtbar

verzichtet werden. Unter Installationsebene versteht man, daß raumseitig der Holzkonstruktion eine luftdichte Schicht (z. B. Folie) verlegt und mit Querhölzern einschließlich dazwischen liegender Dämmung aufgefüttert wird, bevor die raumseitige Beplankung angebracht wird. In dieser zusätzlichen Ebene können dann Leitungen verlegt werden, ohne daß die luftdichte Schicht durchbrochen werden muß. Auch ist es wichtig, daß ein erfahrener Tragwerksplaner dafür sorgt, daß die Statik mit möglichst wenig Holz und dünnen Querschnitten erfüllt wird.

Die reinen Baukosten werden bei diesem Gebäude mit ca. 1700 m³ umbauten Raumes und mehr als 350 m² Wohnfläche auf 780 000 DM geschätzt. Dies sind 460 DM/m³ oder 2230 DM/m². In diesen Ko-

stlich 23 000 DM (2,9 %) billiger gewesen. Dieser Wert resultiert aus Mehrkosten von 16 000 DM für zusätzliche Wärmedämmung und bessere Fenster, 29 000 DM für die vier Anlagen der kontrollierten Lüftung, Einsparung von 3000 DM für die ohne die kontrollierte Lüftung nötig gewesene Naßraumventilatoren innenliegender Bäder und WC's sowie Einsparung durch die kleiner dimensionierte Heizung von 19 000 DM. Nach Ausführung der geplanten Solaranlage (ca. 12 000 DM Mehrkosten) würde die Differenz bei 35 000 DM (4,4 %) liegen. Auch hier zeigt sich, daß energiesparendes Bauen die Kosten eines Gebäudes viel weniger bestimmt als eine konsequente und durchdachte Planung, nicht nur in bezug auf die Haustechnik sondern auf das gesamte Gebäude. Ein erfahrener Architekt bzw. Fachingenieur für Bauphysik und Haustechnik kann durch sorgfältige Planung sowie detaillierte Ausschreibung wesentlich mehr als diese hier genannten Mehrkosten wieder reinholen.

Dieses Minimalenergiehaus soll als Vorbild für das Bauen dienen und zeigen, daß der in der Energieeinsparverordnung geforderte Niedrigenergiestandard nicht als Endziel gesehen werden soll, sondern die weit darüber hinausgehende Minimalenergiebauweise darstellt. Denn dies läßt sich bereits heute schon auf sehr einfache Art und Weise erreichen. Damit sich die Öffentlichkeit von dieser energiesparenden und kostengünstigen Bauweise überzeugen kann, werden mehrmals im Jahr Besichtigungen im Gebäude in Leutenbach durchgeführt. □



Anschluß des Erdreich-Wärmetauschers (Wärmedämmung wurde später angebracht): oben sind die Filterkästen der Frischluftansaugung sowie die Bypassklappen-Stellmotore (orange) sichtbar