

Passiv- häuser



Eine Einführung

von Dipl.-Pol.Klaus Michael,
Niedrig-Energie-Institut, Detmold

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|--|-------|----|
| Vom Niedrigenergie- über das Nullenergie- zum Passivhaus | Seite | 2 |
| Was macht ein Haus zum Passivhaus | Seite | 3 |
| Konstruktionsmerkmale von Passivhäusern | Seite | 4 |
| - Sohlplatten oder Kellerdecken | Seite | 4 |
| - Außenwände | Seite | 5 |
| - Fenster und Türen und deren Rahmen | Seite | 6 |
| - Dächer | Seite | |
| Wärmebrücken und Luftdichtheit | Seite | 8 |
| Haustechnik im Passivhaus | Seite | 10 |
| Solare Ausrichtung und Kompaktheit | Seite | 12 |
| Ausblick, Literatur | Seite | 13 |

Vom Niedrigenergie-Haus

über das Nullenergie-Haus zum

Passivhaus

Niedrigenergie-Häuser

haben gegenüber üblichen Neubauten einen moderat erhöhten Wärmeschutz. Je nach Mauerwerk oder Holzbauweise sind ihre Aussenwände 12 bis 20 cm stark gedämmt, ihr Dach enthält 25 bis 30 cm Dämmstoff, die Kellerdecke 9 bis 12 cm und die Fenster haben Zweischeiben-Wärmeschutzverglasungen mit U_F -Werten um $1,3 \text{ W/m}^2\text{K}$. Oft haben sie zusätzlich einfache Lüftungsanlagen.

Niedrigenergie-Häuser haben mit vertretbaren Kosten um etwa 30 Prozent geringere Transmissionswärmeverluste (H_T) gegenüber den Mindestanforderungen der Energieeinsparverordnung. Sie wurden in Deutschland etwa 1985 eingeführt und haben sich inzwischen zehntausendfach bewährt. In Nordrhein-Westfalen ist Niedrigenergie-Bauweise inzwischen Regelbauweise im geförderten Mietwohnungsbau. Eine klare technische NEH-Definition enthält das RAL-Gütezeichen 965.



Niedrigenergie-Siedlung in Werther, Kreis Gütersloh (1994-96)

Der Einspareffekt durch Niedrigenergie-Bauweise ist zwar beachtlich. Er ist aber nicht so groß, daß auf eine normale Heizanlage verzichtet werden kann. Der Mehraufwand für Wärmeschutz und eventuelle Lüftungsanlage muß sich daher allein aus den eingesparten Heizkosten amortisieren.

Nullenergie-Häuser

versuchen, ganz ohne Zufuhr externer Heizwärme auszukommen. Ihr Wärmeschutz ist deutlich erhöht. Dämmstoffstärken zwischen 20 und 45 cm umgeben das Gebäude, die Fenster haben Dreifachverglasungen oder Kastenfenster, die Lüftungsanlagen sind mit Wärmerückgewinnung ausgestattet. Trotzdem reichen die im Winter geringen solaren und die inneren Wärmegewinne nicht aus, um die Transmissions- und Lüftungswärmeverluste auszugleichen.

Um den geringen Restwärmebedarf zu decken, haben Nullenergie-Häuser sehr große Solaranlagen und Heizwasserspeicher eingebaut. In ihnen wird die im Sommer im Überschuß verfügbare Solarenergie für den Winter gelagert. Die Kollektorfelder reichen bei Einfamilienhäusern von $15\text{-}80 \text{ m}^2$, die Speichervolumina von $13\text{-}70 \text{ m}^3$.



Nullenergie-Haus in Warendorf mit 70 m^3 Heizwasserspeicher im Rohbau (1993)

Mehrere Nullenergie-Häuser funktionieren seit vielen Jahren zufriedenstellend. Es zeigt sich jedoch, daß der dreifache Investitionsaufwand für den sehr hohen Wärmeschutz, für die solare Wärmegegewinnung und für die Saisonspeicherung unverhältnismäßig hoch ist und sich keinesfalls aus den vermiedenen Heizkosten finanzieren läßt.

Passivhäuser

haben einen ähnlich geringen Heizwärmebedarf wie Nullenergie-Häuser. Sie verzichten aber auf teure Autarkie-Bestrebungen und akzeptieren eine Restwärmeversorgung von außerhalb.

Ihr Wärmeschutz-Niveau und ihre Haustechnik sind ökonomisch definiert. Ein Passivhaus soll genau so gut gedämmt sein, daß die wenige restliche Heizwärme nur über die sowieso vorhandene Lüftungsanlage verteilt werden kann. Dadurch kann auf ein zusätzliches konventionelles Heizwärmeverteilsystem (Heizkörper und Leitungen) verzichtet werden. Mit dieser Kostenersparnis kann der Mehraufwand für bessere Dämmung und Lüftungstechnik gegenüber einem Niedrigenergie-Haus finanziert werden. Die Restwärmeversorgung soll effizient und preiswert sein.

Passivhäuser bieten dadurch hohe thermische Behaglichkeit, einwandfreie Luft hygiene und ein vergleichbar niedriges Verbrauchsniveau wie Nullenergie-Häuser zu deutlich niedrigeren Kosten. Wie die gebauten Beispiele zeigen, benötigen sie weder exotische Architektur, noch unerprobte Konstruktionen oder Techniken. Sie lassen sich in fast allen gängigen Bauformen und Bauweisen errichten.



Passivhaus in Marktoberdorf. Dick gedämmt mit hocheffizienter Lüftung, aber weder exotische Form noch übertriebene Technik (1998).

Was macht ein Haus zum Passivhaus ?

Ein Passivhaus ist ein Haus, dessen Jahresheizwärmebedarf so gering ist, daß neben der Wärmeverteilung über die Lüftungsanlage auf ein gesondertes Heizwärme-Verteilssystem (z.B. Heizkörper) verzichtet werden kann. Dazu darf der Jahresheizwärmebedarf erfahrungsgemäß nicht größer als 15 Kilowattstunden pro Quadratmeter beheizter Fläche sein.

Heizwärmebedarf
 $\leq 15 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$

Die benötigte Frischluftmenge und eine lufthygienisch sinnvolle Obergrenze der Zulufttemperatur ergeben die Wärmemenge, die mit einem Luftsystem einbringbar ist. Sie stellt die Begrenzung der Heizlast dar und liegt bei etwa $10 \text{ W}/\text{m}^2$, wenn man auch innere Wärmequellen einbezieht.

Maximale Heizlast
 $\leq 10 \text{ W}/\text{m}^2$

Passivhäuser benötigen an all ihren Außenbauteilen einen sehr guten Wärmeschutz durch Dämmung. Dieser hat an nicht-lichtdurchlässigen Bauteilen U-Werte* (früher: „k-Werte“) von unter $0,15 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$; die Fenster haben U_F -Werte von unter $0,9 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$. Die Gläser benötigen für den solaren Wärmegegewinn zugleich g-Werte von über 50 Prozent.

U-Werte opaker Bauteile
 $\leq 0,15 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

U_F -Werte von Fenstern
 $\leq 0,9 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

Auf nordseitigen oder verschatteten Fenstern, bei denen die solaren Gewinne niedriger als die Wärmeverluste sind, können niedrigere Werte sinnvoll sein.

* **U-Wert** (früher „k-Wert“) = Maßeinheit für die Wärmeleitfähigkeit eines Bauteils, **g-Wert** = Gesamtenergiedurchlaßgrad eines Glases für solare Wärmegegewinne

Neben der Dämmung der großen Flächen kommt einer wärmebrückenfreien Ausführung hohe Bedeutung zu. Außenecken und Außenkanten spielen bei Passivhäusern keine große Rolle, jedoch können materialbedingte Wärmebrücken starke zusätzliche Wärmeverluste bewirken. Durchdringungen der umlaufenden Dämmschicht durch gut wärmeleitende Materialien wie Metalle, Beton, Kalksandstein, Ziegelmauerwerk oder Massivholz sollten vermieden werden. Ein Detail kann als wärmebrückenfrei gelten, wenn sein außenmaßbezogener Wärmebrückenkoeffizient (ψ) kleiner als $\leq 0,01 \text{ W}/(\text{mK})$ ist.

Wärmebrückenfrei
wenn $\Psi < 0,01 \text{ W}/(\text{mK})$ $10 \text{ W}/\text{m}^2$

Sind Wärmebrücken nicht vermeidbar, müssen ihre energetischen und bauphysikalischen Effekte ermittelt werden. Dies gilt auch für Fensterrahmen.



Passivhäuser in rationaler Reihenhausbauweise in Viernheim (1999)

Lüftungsanlagen von Passivhäusern müssen eine hocheffiziente Abluftwärme-Rückgewinnung mit niedrigem Stromverbrauch enthalten. Eine Vorwärmung der winterlichen Frischluft durch Erdwärme kann einberechnet werden. Für Wärmepumpen gelten besondere Anforderungen.

Abluft-Wärmerückgewinnung:
Wirkungsgrad $> 75 \%$
Stromverbrauch $< 0,4 \text{ W}/(\text{m}^3/\text{h})$

Um sicherzustellen, daß der wesentliche Luftaustausch eines Passivhauses über

die Lüftungsanlage der Wärmerückgewinnung zugeführt wird sowie um Bauschäden durch Feuchtetransporte zu vermeiden, benötigt ein Passivhaus eine hohe Luftdichtheit.

Während die DIN 4108/7 für alle Neubauten mit Lüftungsanlage einen maximal einfachen Luftaustausch pro Stunde durch Undichtheiten bei 50 Pascal Differenzdruck erlaubt ($n_{(50)} \leq 1,0 \text{ h}^{-1}$), ist für Passivhäuser ein $n_{(50)}$ -Wert unter $0,6 \text{ h}^{-1}$ sinnvoll.

Luftdichtheit
 $n_{(50)} < 0,6 \text{ h}^{-1}$

Solare Wärmegegewinne leisten einen wesentlichen Beitrag zur Wärmeversorgung von Passivhäusern. Passivhäuser sollen daher grundsätzlich südorientiert gebaut werden und ihre Nord-Fenster sollen möglichst klein sein. Der gesamte Verglasungsanteil muß aber bei Passiv

häusern nicht höher als bei normalen Häusern sein. Bei großen Verglasungen ist die Behaglichkeit im Winter und Sommer zu bedenken.

Solare Orientierung: ja
Glashaus: nein

Weder reine Südausrichtung noch übergroße Verglasungen sind aber Voraussetzung für ein Passivhaus. Passivhäuser lassen sich sogar, etwas erschwert, auch an solar benachteiligten Standorten errichten.

Konstruktions- merkmale

Sohlplatten und Kellerdecken

Sohlplatten oder Kellerdecken über unbeheizten Kellern stellen als unterer Abschluß von Passivhäusern 10 bis 25 Prozent der thermischen Hüllfläche. Über sie fließen 5 bis 17 Prozent der Transmissionswärme ab. Bei Passivhäusern üblichen U-Werte⁽¹⁾ von Sohlplatten oder Kellerdecken liegen bei 0,08 bis 0,20 W/m²K, die Dämmstoffstärken betragen 45-20 cm.

Bei konventionell aus Beton gebauten Sohlplatten oder Kellerdecken kann die Dämmschicht oberseitig, unterseitig oder beidseitig der Betondecke verlegt werden. Eine nur oberseitige Dämmung erlaubt eine einfache konventionelle Konstruktion der Fundamente oder kalten Kellerbauteile, verlangt aber höheren Aufwand bei der thermischen Entkoppelung aufstehender Mauerwerke (siehe Kapitel „Wärmebrücken“).

Sehr dicke Dämm packungen auf solchen Decken können bei Standard-Dämmstoffen zu kritischer Elastizität des Estrich-Unterbaus führen, weswegen hier harte Dämmstoffe eingesetzt werden. Die Materialien sind dabei relativ preiswert.

Bei oberseitiger Dämmung von Sohlplatten oder Kellerdecken ist die Speichermasse der Betondecke nicht mehr innenraumklimatisch wirksam.

Eine nur oder überwiegend unterseitige Dämmung von Sohlplatten erfordert je nach Ausführung druckfeste und gegen Bodeneinflüsse unempfindliche und daher etwas teurere Dämmstoffe. Hat eine Bodenplatte nach unten auskragende Fundamentstreifen, Unterzüge oder Frostschürzen, müssen diese ebenfalls teilweise umdämmt werden, um Wärmebrücken zu vermeiden. Die durch unterseitige Dämmung selbst „warme“ Sohlplatte hat weniger thermische Anschlußprobleme an aufstehendes Mauerwerk.

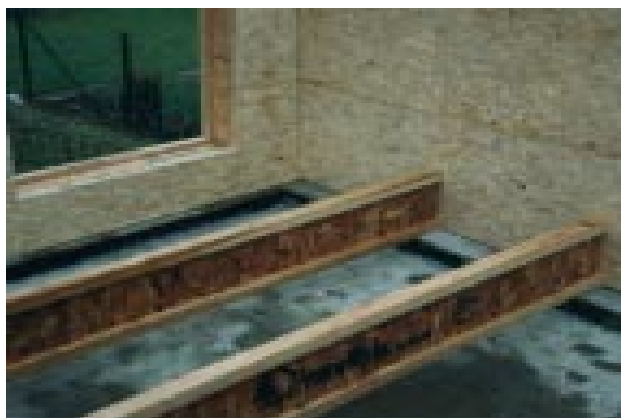
Bei massiven Kellerdecken ist eine nur oder überwiegend unterseitige Dämmung unkompliziert. Wenn sie aus brennbarem Dämmstoff besteht, muß sie aus Brandschutzgründen evtl. verkleidet werden. Unterseitige Dämmung macht die thermische Speichermasse schwerer Decken für das Innenraumklima stärker verfügbar, solange oberseitig keine (Trittschall-) Zusatzdämmung erfolgt.

In Holzleichtbau errichtete Kellerdecken oder über Streifenfundamente gespannte unterlüftete unterste Geschoßdecken sind in passivhaustauglicher Dämmstärke technisch einfach realisierbar. Zur Verringerung der Holzanteile werden zunehmend Filigranträger verwendet, zur Vermeidung durchgehender Wärmebrücken mehrere über-quer verlegte Balkenlagen oder zumindest Auflattungen. Holzleichtbaudecken können leicht mit Schütt- oder Einblasdämmstoffen verfüllt werden und haben dadurch bei gleicher Dämmwirkung geringere Aufbauhöhen. Sind unterste Geschoßdecken jedoch mit Außenluft unterlüftet, sind sie stärkeren Temperaturdifferenzen ausgesetzt als erd- oder kellerberührte Decken, was wiederum eine stärkere Dämmung erfordert.

Bei den bisher gebauten Passivhäusern sind überwiegend Betonsohlplatten oder -Kellerdecken mit oberseitiger Dämmung aus Polystyrol-Hartschaum eingebaut. Um den nicht unerheblichen Ressourcenverbrauch von Stahlbetondecken zu verringern, kommen zunehmend filigranere Konstruktionen wie z.B. Hohlkörperdecken zum Einsatz.



Unterseitig gedämmte Ortbeton-Sohlplatte auf 30 cm Hartschaum-Dämmlage über Streifenfundament. Geringe Wärmebrücken an Eckabstützungen eines Passivhauses in Ulm (1999).



Über kalte Sohlplatte gespannte Leichtbauträger schaffen Hohlraum für 32 cm Schüttdämmstoff im Passivhaus in Detmold (1997).

Außenwände

Außenwände gegen Außenluft stellen bei Passivhaus-Wohngebäuden zwischen 25 und 43 Prozent der thermischen Hüllfläche. Über sie fließen 20-50 Prozent der Transmissionswärmeverluste ab. Bei Passivhaus-Außenwänden sind U-Werte zwischen 0,08 und 0,14 W/m²K üblich, die Dämmstoffstärken betragen 45-28 cm.

Die Anforderung passivhaustauglicher Wärmedämmung hat bei allen üblichen Wand-Konstruktionen einen Innovationsschub bewirkt. Für den einschaligen Mauerwerksbau sind inzwischen von vielen Anbietern Wärmedämmverbundsysteme aus Polystyrol in passivhaustauglichen Dämmstärken von 25-35 cm marktverfügbar.



30 cm starkes Wärmedämmverbundsystem mit Nut-Feder-Verbindung beim Passivhaus in Porta Westfalica (1998).

Wärmedämmverbundsysteme aus Polyurethan-Hartschaum werden dagegen bisher nur in wenigen Fällen eingesetzt, so z.B. in dem Passivhaus in Viernheim in der Jakob-Balkert-Straße.

Die meisten passivhaustauglichen Wärmedämmverbundsysteme werden konventionell mit Klebemörtel vom Gerüst aus auf dem Mauerwerk befestigt. Eine gerüstlose Montage ermöglicht ein Dämmsystem, das in den Passivhäusern in Naumburg und Wenden realisiert ist. Hier werden selbsttragende Dämm-



Selbsttragendes Wärmedämmverbundsystem mit Befestigung ohne Verklebung nur durch Maueranker am Passivhaus in Naumburg (1998).

Großelemente nur mit Mauerankersystemen an der Außenwand befestigt. Beim zweischaligen Mauerwerksbau begrenzt bisher noch die DIN 1053 den zulässigen Schalenabstand auf ein nicht passivhaustaugliches Maß. Daher gibt es bisher erst zwei zweischalig-massiv gebaute Passivhäuser. Eines hat eine Sonderkonstruktion für die Klinkerbefestigung, im anderen sind extrem hochwertige Dämmstoffe der WLG 025 eingesetzt. Mauerankersysteme für passivhaustaugliche Dämmstärken sind jedoch in Vorbereitung.

Mit inneren Beton-Fertigteilen und vorgestellter, nichttragender Leichtbau-Fassade wurden Passiv-Reihenhäuser in Geisenheim, Wiesbaden und Hannover errichtet. Diese neue Arbeitsteilung zwischen Tragwerk und Fassade und die Art der Vorfertigung ermöglicht eine sehr rationelle Baurealisierung.



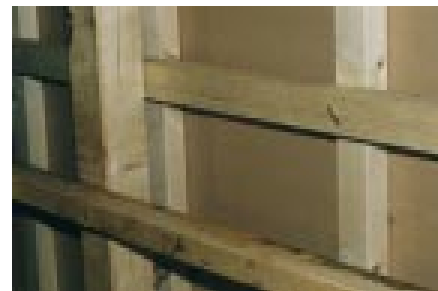
Vorgefertigte Leichtbau-Fassadenelemente vor Gebäudekernen aus Beton-Fertigteilen bei den Passivhäusern in Geisenheim (1997), Wiesbaden (1998) und Hannover (1999).

In Marktoberdorf und Ulm wurden Passivhäuser aus Leichtbeton-Fertigteilen mit bereits werksseitig montierter ca. 30 cm starker Polystyrol-Dämmung errichtet. Auch sie zeigen Möglichkeiten rationaler Vorfertigung auf, die nicht auf Wände beschränkt sind.

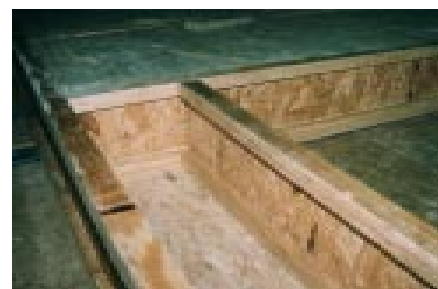


Leichtbeton-Fertigteile mit werksseitig montierter PS-Dämmung an Passivhäusern in Marktoberdorf (1998) und ähnlich in Ulm (1999).

Leichtbau-Außenwände werden bereits in vielfältigen Ausführungen passivhaustauglich realisiert. Um im Bereich der Holzstützen wenig Wärmebrücken zu erhalten, werden entweder getrennte Doppelständerwerke, mehrfach sich kreuzende Balkenlagen oder Filigranstützen mit geringen Querschnitten eingesetzt. Teils werden zusätzlich Außendämmungen als Putzträger aufgebracht.



Mehrlagiger, insg. ca 40 cm starker Vollholzwandaufbau beim Passivhaus in Hilter (1999).



Einlagiges, 24 cm starkes Filigranträger-Wandelement mit Steinwoll-Dämmung des Passivhaus Detmold (1999) während der Herstellung.

Vollholz-Konstruktionen bieten vertraute Handhabung beim Holzbau-Handwerk. Filigranträger ermöglichen bei nur einschichtigen Aufbauten hohe Dämmwirkung mit sehr geringen Wärmebrücken. Ein einschichtiger Aufbau ermöglicht in Verbindung mit Einblasdämmung eine rationelle Fertigung. Zur Materialwahl siehe auch Seite 15.

Fenster und Türen

Fenster und Türen stellen bei Wohngebäuden üblicherweise zwischen fünf und zwanzig Prozent der wärmeübertragenden Gebäudehülle. Da selbst passivhaustaugliche Spezialgläser fünf- bis achtfach höhere U-Werte haben, als die opaken Bauteile der Gebäudehülle, fließt über die Verglasungen ein erheblicher Anteil der Transmissionswärmeverluste ab. Zugleich ermöglichen Fenster aber solare Wärmegewinne. Die tatsächlich wirksame Höhe der solaren Wärmegewinne hängt von der Ausrichtung und Verschattung der Fenster und von der Glasqualität ab.

Bei den Verglasungen gab es in den letzten fünf Jahren wichtige technische Entwicklungen. Bei den frühen Nullenergie- und Passivhäusern Ende der 80er und Anfang der 90er Jahre konnten passivhaustaugliche U_F -Werte unter $1,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ nur durch Kastenfenster erreicht werden, deren solare Wärmegewinne aber auch niedrig waren.



Kastenfenster mit außen Festverglasung und innen zu öffnenden Flügeln im Nullenergie-Haus Adenbüttel (1992).

Alternativ konnten zur Verringerung der vor allem nächtlichen Wärmeverluste dirchtschließende wärmedämmte Fensterläden installiert werden.

Passivhaustaugliche Dreifachgläser mit U_V -Werten unter $0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$ und teils bis herab zu $0,4 \text{ W/m}^2\text{K}$ sind etwa seit 1994 marktverfügbar. Gläser mit U_V -Werten um $0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$ haben sogar teils sehr hohe Gesamtenergiedurchlaßgrade für Sonnenenergie (g-Werte) von bis zu 60 Prozent. Sie ermöglichen damit stark



Außenliegende Dämm-Schiebeläden im Passivhaus Darmstadt (1992).



Verdeckt eingebaute Dämm-Schiebeläden im Nullenergie-Haus in Beelen (1996).

verringerten Wärmeverluste bei nur geringfügig verringerten solaren Wärmegewinnen. Dies ist vor allem für unverschattete Süd-, West und Ostfenster von Passivhäusern vorteilhaft. Bei verschatteten Fenstern oder bei Nordfenstern können dagegen Gläser mit noch niedrigeren U-Werten vorteilhaft sein, selbst wenn sie auch deutlich niedrigere g-Werte haben.

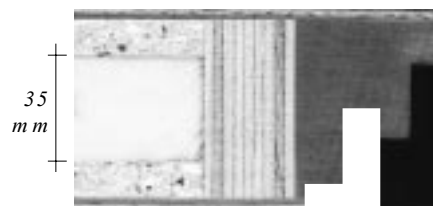
Neben der Glasqualität spielen beim Passivhaus die Rahmen der Fenster und Außentüren eine große Rolle. Die bisher im Wohnungsbau üblichen Holz- oder Kunststoffrahmen der Rahmengruppe 1 ohne besondere Wärmedämmung sind im Passivhaus normalerweise nicht ein-

setzbar. Sie stellen zu starke Wärmebrücken dar und beeinflussen die Energiebilanz erheblich. Mehrere Fensterhersteller bieten inzwischen serienmäßig wärmedämmte Fensterrahmen an. Diese haben zweilagige Holz- oder Holz-Aluminium-Aufbauten oder bestehen aus PVC-Hohlprofilen und haben innenliegende Polyurethan- oder (selten) Kork-Dämmschichten.

Für Außentüren von Passivhäusern, die keinen thermischen Vorpuffer durch einen Windfang haben, sollten Türen verwendet werden, deren Wärmedämmung passivhaustauglichen Fenstern entspricht. Einige Hersteller passivhaustauglicher Fenstersysteme haben in ihren Sortimenten auch gleichartige Haustüren; andernfalls kann zumindest auf gut gedämmte Türblätter zurückgegriffen werden. Bei Häusern mit Windfang sind die Anforderungen an die Außentüren nicht ganz so hoch; allerdings sollten dann im Winter auch stets beide Türen geschlossen werden.



Wärmedämmter Fensterrahmen aus Holz mit PU-Kern und äußerer Aluminium-Abdeckung (Striegel)



Profil eines Haustür-Blattes mit 35 mm PU-Dämmkern und Wärmebrücke nur am Rand (WESTAG)

Dächer

Dächer und oberste Decken stellen bei Wohngebäuden zwischen 20 und 40 Prozent der thermischen Hüllfläche. Über sie fließen 15 bis 35 Prozent der Transmissionswärmeverluste ab. Dächer enthalten bei Passivhäusern meist die dickste Dämmung, weil diese hier relativ kostengünstig einbringbar ist. Passivhaus-Dächer haben Dämmstoffstärken von 25 bis 54 cm und erreichen damit U-Werte zwischen 0,07 und 0,14 W/m²K.

Die meisten Passivhaus-Dächer sind Holzleichtbau-Konstruktionen. Da einlagige Vollholz-Profile in gewünschten Höhen kaum verfügbar sind und auch zu starke Wärmebrücken bilden würden, werden bei Vollholz-Dachkonstruktionen meist mehrlagige Aufbauten gewählt. Alternativ werden bei Passivhäusern häufig Filigranträger eingesetzt, die mit



Dachstuhl aus mehrlagigem Vollholz mit 42 cm Dämmstärke im Passivhaus in Hilter (1998).

Steghöhen von bis zu 40 cm bei nur 8 bis 12 mm Stegdicke einschichtige, nahezu wärmebrückenfreie und sehr belastbare Dachaufbauten ermöglichen. Sie können lose verbaut oder in vorgefertigte Dachelemente integriert werden.



Dachstuhl aus 40 cm hohen einlagigen Filigranträgern und Steinwoll-Dämmung der WLK 035 im Passivhaus in Porta Westfalica



Vorgefertigte 38 cm hohe Dachelemente mit Polystyrol-Dämmkern in 1,5 m Elementbreite im Passivhaus in Marktoberdorf (1998).

Immer häufiger werden bei Passivhäusern vorgefertigte Dachelemente verwendet. Dies hat den Vorteil, daß Rohbauten sehr schnell oben wasserdicht geschlossen werden können. Die auf dem Bau sonst nur nacheinander möglichen Arbeitsschritte aufrichten, aussteifen, abdecken, dämmen, luftdichten und inneres bekleiden von Dächern reduzieren sich bei voller Vorfertigung auf das Auflegen und Verbinden der Elemente, was in wenigen Stunden erfolgen kann.

Bei Wohngebäuden noch selten, im Gewerbebereich schon häufig werden Nagelbrettbinder eingesetzt. Sie ermöglichen mit präzise berechneter Statik einen sparsamen Holzeinsatz und wenig Wärmebrücken bei nahezu beliebigen Formen und großen Spannweiten.

Massivdächer aus Beton- oder Leichtbeton-Fertigelementen mit werksseitig



Tonnendach aus industriell vorgefertigten Nagelbrettbindern mit 54 cm hohem Zwischenraum, der mit Zellulosedämmung ausgeblasen wurde im Passivhaus in Detmold (1998).

bereits aufgebrachtter Außendämmung gibt es bisher bei den Passivhäusern in Naumburg und Wenden. Hier wurde die Betonschicht geometrisch profiliert, um mit wenig Masse eine hohe Steifigkeit zu erreichen und die gesamte Spannweite zwischen Reihenhaus-Trennwänden horizontal überbrücken zu können. Die Innenoberfläche ist taperzierfähig, die außenliegende, im Mittel etwa 35 cm starke Polystyrol-Dämmschicht ist die die Dacheindeckung vorbereitet und kann am Traufpunkt und längs des Ortgangs direkt an das Wärmedämmverbundsystem der Außenwand angearbeitet werden.

Als Dachdämmstoff wird in Passivhäusern bisher überwiegend noch Mineralwolle eingesetzt. Zellulosedämmstoffe haben ebenfalls hohe und steigende Marktanteile, da die Einblasetechnik bei großen Füllhöhen oder Füllvolumina Kostenvorteile gegenüber dem manuellen Einbau von Dämmstoffmatten erlangt. Vorgefertigte Elemente werden teils mit Hartschaumdämmung hergestellt. Diese kann bei Verklebung mit den Deckschichten in Sandwichkonstruktionen auch aussteifende Funktionen übernehmen.

Zur Materialwahl der Dachdämmstoffe siehe auch Seite 15.

Wärmebrücken und Luftdichtheit im Passivhaus

Wärmeabflüsse aus Gebäuden erfolgen nicht nur über die großen Regelflächen, sondern auch über viele kleine Wärmewege. Bei den Transmissions-Wärmeverlusten sind dies die sogenannten Wärmebrücken, bei den Lüftungs-Wärmeverlusten die heimlichen Luftströme durch Ritzen und Spalten eines Gebäudes, deren Gesamtumfang anhand der Luftdichtheit meßbar ist.

Diese zusätzlichen Wärmeabflüsse waren früher bei nahezu ungedämmten Gebäuden nicht von großer prozentualer Bedeutung. Bei sehr gut gedämmten Gebäuden wie Passivhäusern und wenn eine Abluftwärmerückgewinnung vorhanden ist, ist es dagegen von großer Bedeutung, ob mehrere Quadratmeter der Gebäudehülle nicht oder nur wenig gedämmt sind und wieviel Luftaustausch im Winter unter Umgehung der Wärmerückgewinnung erfolgt. Vernachlässigt man dies, kann der Energieverbrauch leicht mehrfach höher sein als berechnet.

Wärmebrücken

Idealtypisch hat ein Passivhaus eine Gebäudehülle, die von einer ausreichend dicken Dämmschicht ohne Unterbrechung umgeben ist. Dann wäre es wärmebrückenfrei. Manchmal läßt es sich aber konstruktiv oder statisch nicht vermeiden, daß Materialien mit hoher Druck- oder Zugfestigkeit wie Beton, Stahl oder schweres Mauerwerk die Dämmschicht durchstoßen. Haben die die Dämmschicht durchdringenden Materialien eine hohe Wärmeleitfähigkeit, entstehen punkt- oder liniein förmige Wärmebrücken.

Um Passivhäuser wärmebrückenfrei zu bauen sollte man drei Regeln beachten:

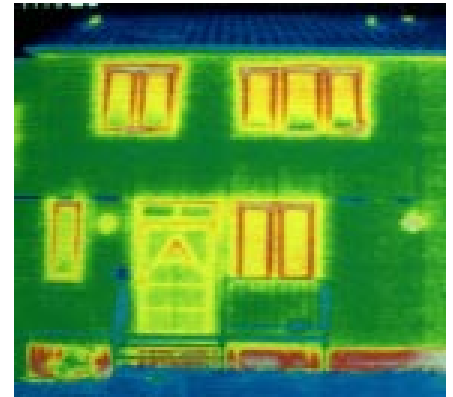
- Anzahl, Länge und Breite der Durchdringungen so weit als möglich verringern,
- an Durchdringungen Materialien mit möglichst geringer Wärmeleitfähigkeit einsetzen oder
- anschließende Bauteilflanken ausreichend überdämmen.

Details eines Passivhauses können als wärmebrückenfrei gelten, wenn ihr auf Außenmaße bezogener Verlustkoeffizient $\psi_a < 0,01 \text{ W}/(\text{mK})$ ist. Ist er höher, so muß der von der Wärmebrücke verursachte zusätzliche Wärmeabfluß in der Energiebilanz berücksichtigt werden.

Häufige Wärmebrücken im Massivbau sind die Aufstandsflächen außenseitig gedämmter (warmer) Außen- und Innenwände auf oberseitig gedämmte (kalte) Sohlplatten bzw. Kellerdecken. Der zusätzliche Wärmeabfluß über solche Mauerfußpunkte kann das Mehrfache des Wärmeabflusses der gesamte



Wärmebrücken-Vermeidung am Mauerfußpunkt durch Porenbeton-Steinreihe (oben) oder mit Puren-Dämmbrücke (unten) am Passiv-Mehrfamilienhaus in Kassel (1999).



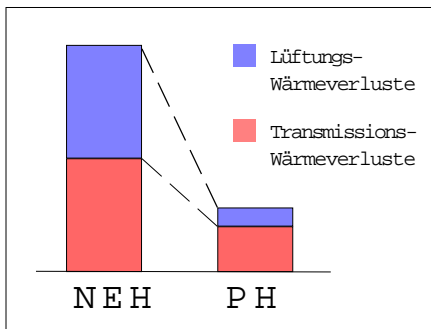
Wärmebrücken rund um Fenster und Türen sowie am Sockelanschluß bei einem Holzleibbeu-Niedrigenergiehaus in Detmold (1991)..

Geschoßdecke betragen. Im Passivhaus kann als unterste Steinreihe statt gut wärmeleitendem Kalksandstein z.B. ein leichter Porenbeton oder ein Spezial-Dämmelement mit ausreichender Druckfestigkeit eingebaut werden.

Andere häufige Wärmebrücken treten rund um Fenster und Türausschnitte, an Durchgängen massiver Decken oder Wände von beheizten in unbeheizte Räume, an Balkonen, Terrassen, Podesten, an Garagenanbauten und auch bei Holzbauteilen auf. Obwohl Holz gegenüber Massivbauteilen wenig Wärme leitet, müssen Massivholz-Durchgänge durch Dämmschichten beim Passivhaus ebenfalls vermieden werden. Bei mehrschichtigen Holzaufbauten genügt normalerweise 6-8 cm Überdämmung, um die Wärmebrücken vom Holzstützen oder Sparren ausreichend zu mindern.

Luftdichtheit

Der extrem niedrige Energieverbrauch von Passivhäusern gegenüber Niedrigenergie-Häusern ist vor allem der Verringerung der Lüftungswärmeverluste zu verdanken. Durch die genau dosierbare



Luftzufuhr zu den einzelnen Aufenthaltsräumen kann die hygienisch erforderliche Luftwechselrate gesenkt und durch die hocheffiziente Wärmerückgewinnung der mit dem Lüften verbundene Wärmeverlust um etwa 70 Prozent verringert werden.

Dies funktioniert allerdings nur, wenn der Luftaustausch tatsächlich über die Wärmerückgewinnungsanlage erfolgt und nicht durch Fenster, Ritzen oder Fugen. Ein Luftaustausch über solche Nebenluftwegen umgeht nicht nur die Wärmerückgewinnung, er ist auch nicht dosierbar, da er nur von der Windstärke und thermischen Antriebskräften beeinflusst wird. Voraussetzung für passivhaustauglich niedrige Nebenluftströme ist deshalb eine hohe Luftdichtheit der Gebäudehülle.

Die Luftdichtheit eines Gebäudes kann durch eine Differenzdruckmessung ermittelt werden. Mit einem Meßgebläse, einer sogenannten „Blower-Door“ wird ein Unter- oder Überdruck von 50 Pascal im Haus erzeugt, was etwa Windstärke Sechs entspricht. Das Meßgebläse mißt dabei, welche Luftmenge es zur Aufrechterhaltung von 50 Pascal Druckdifferenz ständig herausaugen oder hineinblasen muß. Die Maßeinheit der Luftdichtheit ist der $n_{(50)}$ -Wert. Er gibt an, ein Wievielfaches des inneren Luftvolumens pro Stunde bei dieser Druckdifferenz durch Ritzen, Fugen und andere bauliche Undichtheiten nachströmt.

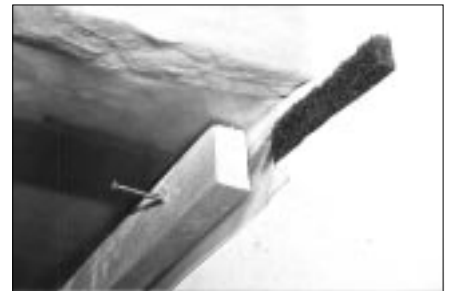
Bereits die Wärmeschutzverordnung von 1994 stellt in § 4 Anforderungen an die dauerhafte Luftdichtheit von Gebäuden. Die 7/1998 als Regel der Technik eingeführte DIN 4108/7 verlangt für Neubauten mit Lüftungsanlage eine Luftdichtheit von $n_{(50)} \leq 1,0 \text{ h}^{-1}$. Dieser Wert bedeutet, daß pro Stunde weniger als das einfache Luftvolumen eines Hauses bei 50 Pascal Unterdruck durch Ritzen und Fugen nachströmen darf. Für Passivhäuser ist eine noch höhere Luftdichtheit von $n_{(50)} \leq 0,6 \text{ h}^{-1}$ empfehlenswert.

Um eine so hohe Luftdichtheit zu erreichen, müssen folgende Grundregeln beachtet werden:

- Fugen zwischen Betonbauteilen elastisch verfüllen
- Innere Mauerwerkoberflächen vollflächig verputzen, auch im Estrichbereich, im Tür-Schwelbereich, im Bereich abgehängter Decken, hinter Vorwandinstallationen, Dusch- und Badewannen, an Fenster- und Türanschlüssen, in oder vor Schächten und Einbaukästen etc.
- Leichtbauflächen vollflächig mit durchgehender luftdichter Folien- oder Pappenschicht bekleiden, deren Stöße abkleben und Randaanschlüsse an andere Bauteile vorbereiten. Wenn die Luftdichtung mit Plattenwerkstoffen erreicht werden soll, deren Fugen und Anschlüsse dauerhaft luftdicht herstellen.



Sorgfältige Abdichtung einer Rohrdurchdringung durch eine unterste Holzleichtbau-Decke mit luftdichtender PE-Folien-ebene im Passivhaus Detmold (1998).



Fachgerecht luftdichter Anschluß von Folien auf Putzoberflächen mit zwischengelegtem Quellband und Anpreßleiste.

- Fenster und Türen in massiven oder Leichtbauteilen mit dauerhaft elastischen und dichten Verbindungsmitteln einbauen. Ortschaum, Putz und Silikon sind allein keine geeigneten Luftdichtungsmittel.
- Durchdringungen von Holzbalken, Rohren, Leitungen und anderen Installationen möglichst vermeiden, sonst aber sauber abdichten.
- Luftdichtende Schichten solange nicht verkleiden, bis Luftdichtemessung durchgeführt ist. Nur dann ist eine evtl. Nachbesserung leicht möglich.

Meßgebläse und stark geblähte innere PE-Folien bei erster Rohbau-Luftdichte-Messung im Passivhaus Detmold (1998).



Haustechnik

im Passivhaus

Die Haustechnik im Passivhaus muß vier Anforderungen gerecht werden:

- sie muß einen stark verringerten Heizwärmebedarf bedienen,
- sie muß einen grundsätzlich gleich hohen Brauchwasserbedarf bedienen, wie im normalen oder im Niedrigenergie-Haus und
- sie muß eine hochwirksame Abluft-Wärmerückgewinnung enthalten.
- sie soll technisch und ökologisch effizient und zudem kostengünstig sein.

Rest-Heizung

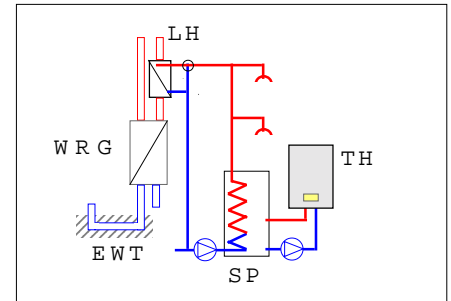
Die geringe Heizlast von Passivhäusern von etwa 10 Watt/m² führt dazu, daß z.B. Einfamilienhäuser mit 150 m² Wohnfläche selbst am kältesten Tag nur eine gesamte Heizleistung um 1,5 kW benötigen, während des Großteils der Heizperiode sogar noch weniger. Konventionelle Heizanlagen so geringer Leistung für Gas, Öl, Holz oder Kohle sind bisher nicht markverfügbar. Für Einfamilien-Passivhäuser geeignete Heizleistungen gibt es jedoch schon bei Wärmepumpen und bei Gas-Warmluftgeräten.

Für größere Passivhäuser oder Gemeinschaftsheizanlagen können übliche Wärmeerzeuger in entsprechender Auslegung eingesetzt werden. Mehrere Passivhäuser haben auch Fernwärmeanschlüsse oder sind über Nahwärmeleitungen an Heizanlagen anderer Gebäude angebunden.

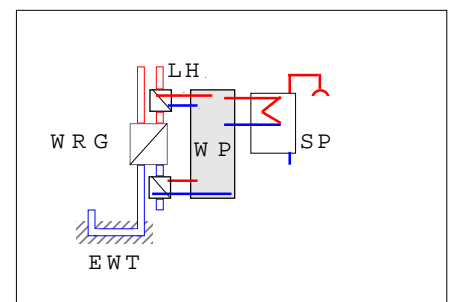
Wärmeverteilung

Die im Passivhaus gegebene Möglichkeit, die wenige nötige Heizwärme ausschließlich über die Zuluft in die einzelnen Räume einzubringen, ermöglicht den Wegfall des gesamten konventionellen Heizwärmeverteilsystems (Heizkörper und Rohrleitungen). Im Zuluftkanal wird lediglich ein Luftheizregister eingebaut, das aus Heißwasser oder Heißluft gespeist wird. Dies vereinfacht die Haustechnik wesentlich.

Bei der Wärmeverteilung zwischen einer zentralen Erzeugungsanlage und mehreren Brauchwasser-oder Heizwärmeverbrauchern werden normalerweise bisher sowohl Heizwärmeverteil- als auch Brauchwasserverteilsysteme verlegt. Die geringe Heizwärmemenge läßt sich jedoch grundsätzlich auch dem Brauchwasserkreislauf als Rücklaufabsenkung entnehmen, wie folgende Prinzipskizzen zeigen. Voraussetzungen dafür sind, daß der Lufterhitzer trinkwassergeeignet und die Systemtemperatur auf zulässiger Mindesthöhe ist. Damit kann ohne Rückgriff auf eine dezentrale Warmwasserbereitung mit nur einem Rohrsystem Heizung und Warmwasser versorgt werden. Die sommerlichen Verteilverluste können durch bedarfsgesteuerte Zirkulation gering gehalten werden

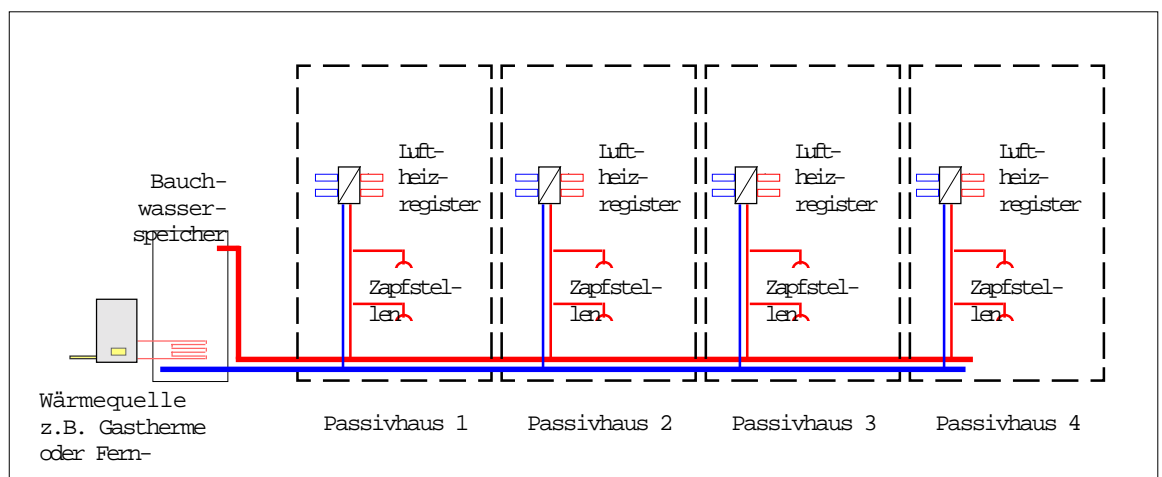


Konventionelle Haustechnik im Passiv-Einfamilienhaus mit Abluft-Wärmerückgewinnung (WRG), Erdwärmetauscher (EWT), Gastherme (TH), Speicher (SP) und Luftheizregister (LH), das von der Brauchwasserzirkulation mitversorgt wird.



Haustechnik im Passivhaus mit Abluft-Wärmerückgewinnung (WRG) und Wärmepumpe (WP). Diese entzieht der Fortluft Wärme und beheizt über ein Luftheizregister (LH) die Zuluft, zugleich beheizt sie den Brauchwasserspeicher (SP).

Bei den bisher gebauten kleineren Passivhäusern wurden mangels Alternative haustechnisch oft noch unangepaßte und zu aufwendige Systeme installiert.



In mehreren Reihenhaus-Projekten wurden sogar nur zur Vermeidung späteren Abrechnungsaufwandes parallele Einzelheizungen und Warmwassersysteme installiert. Dies führt dazu, daß der Vorteil sehr geringer Heizkosten durch hohe Kapital- und Wartungskosten für diese zu vielen, zu großen und zu komplizierten Anlagen erheblich gemindert wird..

Brauchwasser

Die Brauchwasserversorgung von Wohngebäuden ist durch kurze hohe Leistungsspitzen während des Duschens oder während des Füllens einer Badewanne gekennzeichnet. Um Erzeugungsanlagen hierfür nicht unnötig groß dimensionieren zu müssen, werden meist Speicher installiert. Sie ermöglichen hohe kurzzeitige Leistungsentnahme unabhängig von der Leistung des Wärmeerzeugers.

Lüftung

Passivhäuser benötigen eine hoch-effiziente Abluft-Wärmerückgewinnung, um ihr niedriges Energieverbrauchs-Niveau zu erreichen. Durch intensive Anstrengungen der Hersteller sind heute eine Reihe von Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnungsgraden von über 80 Prozent bei zugleich niedrigem Stromverbrauch verfügbar. Eine Übersicht geprüfter Anlagen ist bei der Abt. Anwendungstechnik der Vereinigten Elektrizitätswerke Dortmund (VEW) erhältlich.

Um die bei minusgrädigen Außentemperaturen mögliche Vereisung der Fortluft im Wärmetauscher mit einfachen Mitteln zu vermeiden, wird in Passivhäusern die Frischluft meist zunächst durch einen Erdwärmetauscher in Form eines vergrabenen Kunststoffrohres geleitet. Dabei erwärmt sie sich auch im kalten Winter bis über den Gefrierpunkt, im Sommer kann der Erdkanal zur Vorkühlung der Außenluft genutzt werden. Ist die Frischluft wärmer als Null Grad Celsius, kann es im Wärmetauscher auch fortluftseitig keine Vereisung mehr geben.

Lüftungsanlagen in Wohngebäuden ermöglichen eine besser dosierbare Luftzufuhr zu allen Aufenthaltsräumen und eine komfortablere Geruchs- und Feuchte-

abfuhr aus Küche, Bad und WC als bei Fensterlüftung. Neben Komfortgewinn bringt die nur mit ihnen mögliche Abluft-Wärmerückgewinnung einen ganz erheblichen Beitrag zu Energieeinsparung, ohne den Passivhäuser nicht denkbar wären.

Um Lufthygiene langfristig sicherzustellen, müssen Lüftungsanlagen mit leistungsfähigen Primärfiltern ausgestattet sein, die einen Schmutzeintrag vor allem in die Zuluftwege verhindern. Ihr Leitungsnetz sollte zudem reinigungsfähig sein. Dies verlangt stabile, glattwandige und möglichst geradlinig verlegte Rohrmaterialien und bei längeren Rohrstrecken auch den Einbau zugänglicher Revisionsöffnungen. Weiterhin sind leicht zugängliche Filterwechselanzeigen sinnvoll.



Lüftungsanlage mit besonders hohem Wärmerückgewinnungsgrad für bis zu ca 260 m³/h (PAUL)



Moderne Lüftungsanlage mit hoch-effizientem Gegenstrom-Wärmetauscher und verbrauchsarmem Gleichstrom-Motor in der Baugröße für ein Einfamilienhaus (Westaflex).



Erdwärmetauscher-Leitungen beim Fundamentbau der Passivhäuser in Stuttgart-Feuerbach (1999)



Keller-Installationen eines solebetriebenen Erdwärmetauschers in Rheda mit ca 60 m Rohrlänge rund um das Fundament eines EFH. Oben im Bild das Frischluft-Vorheizregister, unten Pumpe und Druckausgleich (NEI 2001)

Solare Ausrichtung und Kompaktheit

Solare Wärmegewinne

Ein Passivhaus verliert wie jedes andere Haus im Winter Wärme nach außen über Böden, Wände, Dächer, Fenster, Türen und durch das Lüften. Es gewinnt zugleich Wärme durch die Sonneneinstrahlung und durch innere Wärmequellen (Personen, Geräte und Licht). Die Wärmeverluste eines Passivhauses sind durch die starke Wärmedämmung, die besonders gut isolierenden Fenster und die Abluft-Wärmerückgewinnung gegenüber einem normalen Haus sehr stark verringert. Die solaren und inneren Wärmegewinne sind jedoch fast gleich hoch. Insofern spielen sie für die Gesamt-Energiebilanz eines Passivhauses prozentual eine viel größere Rolle, als bei einem normalen Haus.

Solare Ausrichtung

Die Höhe der solaren Gewinne läßt sich durch die Ausrichtung der Baukörper und Fenster beeinflussen. Von Süden, Südwesten und Südosten strahlt während der Heizperiode deutlich mehr nutzbare Sonnenenergie, als aus den anderen Richtungen. Es empfiehlt sich daher, die licht- und wärmebedürftigen Räume und Fenster im Passivhaus nach Süden auszurichten. Südabweichungen bis etwa 25° wirken sich dabei noch nicht



*Passivhäuser
in Naumburg
. Nord- und
Südansicht.
Baujahr
1999.*



Passivhaus in Bludenz (Vorarlberg). Süd- und Nordansicht. Baujahr 1997.

stark auf die Strahlungsbilanz aus. Viel Licht und Wärme benötigen Wohn-, Eß- und Kinderzimmer, wenig Tageslicht brauchen Schlaf- und Gästezimmer, Bäder, Treppenhäuser und Abstellräume. Sie können sich mit Nordausrichtung und kleinen Fenstern begnügen.



Passivhäuser in Hannover (1999)

Die bisher gebauten Passivhäuser haben je nach Lage, Größe und Architektur sehr unterschiedliche Südausrichtungen und Südfensteranteile. Unter ihnen sind sowohl welche mit über 80-90 Prozent Südausrichtung der Fenster, als auch solche mit eher gleichmäßig verteilten Fenstern.

Die große Spannweite der Südorientierungen zeigt, daß Passivhäuser weite architektonische Spielräume offenlassen und nicht nur in unverbaubarer Südhanglage realisierbar sind.

Kompaktheit

Die Wärmeverluste durch Transmission eines Passivhauses steigen linear mit der Größe der wärmeübertragenden Hüllfläche des beheizten Gebäudekerns. Fassaden- oder Dachversprünge, Ein-



schnitte oder Auskragungen vergrößern bei gleicher Nutzfläche stets die wärmeübertragende Oberfläche und erhöhen die Wärmeverluste. Ebenso haben mehrere kleinere Baukörper eine größere wärmeübertragende Gesamtoberfläche, als ein gleichgroßer zusammenhängender Baukörper.

Energetisch ist es daher vorteilhaft, gestalterisch wünschenswerte Gliederungen der Baukörper mit solchen Instrumenten zu realisieren, die möglichst wenig Oberflächenvergrößerung bewirken oder mit Bauteilen, die nicht zur thermischen Gebäudehülle zählen, etwa mit vorgestellten Balkonen, Treppen, oder unbeheizten Gebäudeteilen.

Ausblick

Passivhaus-Architektur

Nach langjährigen und sorgfältigen wissenschaftlichen Voruntersuchungen beginnt der Passivhaus-Baumarkt derzeit bereits rapide zu wachsen. Ende 2002 sind in Deutschland, in Österreich und in der Schweiz bereits etwa 1.500 Passivhäuser realisiert und über 1500 in Bau. Viele weiterer Projekte sind in Planung.



Anders als in den ersten Jahren, sind es kaum noch experimentelle Pionierbauten einzelner risikobereiter Bauleute oder Architekten. Es sind mit steigendem Anteil bereits kommerzielle Bauträger-Projekte im Reihenhaus-, Eigentumswohnungs- und Mietwohnungsbau, die sich hart am Wettbewerb orientieren.



Dies ist ein positives Indiz für die in der Einleitung genannte Vision, daß sich Passivhäuser nicht nur aus idealistischen oder politischen, sondern auch aus ökonomischen Gründen auf dem Markt durchsetzen

Die rationelle Anwendung der Passivhaus-Bauweise in großem Stil wird noch vielfältige Produktentwicklungen und Lernprozesse anregen. Hohe Qualität in der Detailplanung, genügend Fehler-toleranz bei neuen technischen Lösungen und vor allem Motivation und Know-How-Transfer bei allen betroffenen Akteuren werden dafür benötigt.



Häufig wird die Sorge geäußert, ob nicht der erhebliche Mehrverbrauch an Dämmstoff bei Passivhäusern ökologisch nachteiliger sei, als der Nutzen bei der Einsparung von Heizenergie. Studien über den Primärenergiebedarf von Dämmstoffen weisen jedoch schon seit langem aus, daß sich die Herstellung



passivhaustauglicher Dämmstärken von 25-35 cm Dicke immer noch mehrfach energetisch amortisiert. Es aber fraglose einen sehr unterschiedlich hohen Ressourceneinsatz zwischen Hartschaum-, Mineralwolle-, Zellulose- oder biogenen



Dämmstoffen. Doch selbst dieser darf nicht darüber hinwegtäuschen, daß der wesentliche Primärenergieverbrauch eines konventionellen Neubaus durch Stahlbeton, Metalle und hochgebrannte Steine entsteht, und nicht durch Dämmstoffe.

Die rasanten Entwicklungen anderer Technologie-Bereiche zeigen, daß dieser noch zu deckende Know-How-Bedarf bei passenden Rahmenbedingungen des Marktes kein Hemmnis sein muß. Vieles davon wird aus dem Eigeninteresse der Betroffenen entstehen. Der Baupolitik bleibt vor allem die Aufgabe, solche Prozesse zu fördern und zu beschleunigen und ihre Eigendynamik gemein-



wohlorientiert zu beeinflussen.

Literatur

Weiterführende Informationen, Literatur und Listen gebauter Objekte erhält man u.a. beim **Passivhaus-Institut**, Rheinstr. 44-46, 64283 Darmstadt, Fax: 06151-8269911, email: Passivhaus@t-online.de, Internet: www.passiv.de, beim **Niedrig-Energie-Institut**, Rosental 21, 32756 Detmold, Fax: 05231-390 747, Internet: www.NEI-DT.de sowie im **Internet** unter den Suchbegriffen „passiv“, „Passivhaus“ etc.