



Energieeffiziente Einfamilienhäuser mit Komfort



Energieeffizientes Bauen hat sich in den letzten zwanzig Jahren durchgesetzt. Die Niedrigenergiebauweise ist Ziel der Energieeinsparverordnung (EnEV), die am 1. Februar 2002 die Wärmeschutzverordnung 95 (WSVO 95) abgelöst hat. Die Weiterentwicklung des Energie sparenden Bauens ist damit nicht beendet. In der Folge wurden verschiedene Hauskonzepte bis hin zur Passivbauweise entwickelt und umgesetzt. Eine hochwärmedämmte Gebäudehülle und innovative Glas- und Fenstertechnik schaffen ein komfortables Raumklima. Die Gebäudetechnik dient nur zur Restwärmebereitstellung und nutzt zunehmend regenerative Energieträger.

Der spezifische Heizwärmebedarf für Wohngebäude wurde um den Faktor 10 gesenkt: von Bestandsgebäuden mit einem Heizwärmebedarf von 200 bis 300 kWh/(m²a) konnte durch die drei Wärmeschutzverordnungen seit Ende der 70er Jahre eine Reduktion auf etwa 100 kWh/(m²a)

bis zur WSVO 95 erreicht werden. Die Niedrigenergiebauweise erreicht bereits seit längerem die Halbierung dieses Wertes, durch die Energieeinsparverordnung wird dieser Standard angestrebt. Passivhäuser etablieren sich seit 1992 mit einem Wert unter 15 kWh/(m²a). Durch die EnEV wird in sinnvoller Weise das Gesamtkonzept Haus inklusive der Gebäudetechnik betrachtet. Der primärenergetisch bezogene Jahresheizwärmebedarf inklusive Trinkwassererwärmung ist die neue Anforderungsgröße.

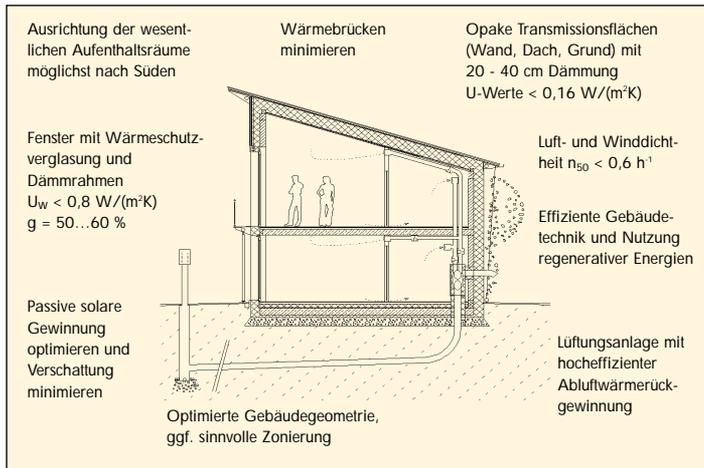
Neben den Entwurfskriterien passiver Solararchitektur sind es vor allem folgende Komponenten, die solch eine durchgreifende Entwicklung möglich gemacht haben. Hierzu gehören die hochwärmedämmende Ausführung der opaken Transmissionsflächen, Fenster mit Dreischeiben-Wärmeschutzverglasung und gedämmten Rahmen, eine wärmebrückenminierte sowie luft- und winddichte Gebäudehülle, effiziente Lüftungstechnik mit hoher Wärmerückgewinnung, Gebäudetechnik mit niedrigen Aufwandszahlen in Verbindung mit der Nutzung regenerativer Energien.

Im Rahmen zahlreicher Forschungsprojekte des Bundesministeriums für Wirtschaft und Arbeit (BMWA) wurden in den letzten 20 Jahren Gebäudekomponenten entwickelt und auf ihre Praxistauglichkeit hin überprüft. Neben einer effizienten Haustechnik wurden komplette Hauskonzepte untersucht, die mit nur einem geringen Heizenergiebedarf ein angenehmes Raumklima während des ganzen Jahres erreichen.

7 Energieeffiziente Wohngebäude ermöglichen ein hohes Maß an Gestaltungsspielraum

Grundlagen der Planung und Gebäudekonzept

Durch die Techniken der Niedrigenergie- und Passivbauweise haben sich in den letzten beiden Jahrzehnten energieeffiziente Gebäudekonzepte durchgesetzt.



Trinkwassererwärmung ein Energiebedarf von 12,5 kWh/(m²a) ein. Der Strombedarf für die Hilfsenergie wird addiert. Mit dem so ermittelten Endenergiebedarf wird der Primärenergiekennwert der jeweiligen Energieträger multipliziert. Das Ergebnis ist der jährliche Primärenergiebedarf (3).

- KfW-40-Gebäude entsprechend mit 40 kWh/(m²a) Primärenergiebedarf
- Als 3-Liter-Häuser werden Niedrigenergiegebäude bezeichnet, die für die Beheizung (einschließlich Hilfsenergie) einen jährlichen Primärenergiebedarf von weniger als 34 kWh/(m²a) aufweisen. Dies entspricht dem Primärenergiegehalt von 3 Litern Heizöl.
- Passivhäuser mit einem Heizwärmebedarf (Bezug beheizte Wohnfläche) von 15 kWh/(m²a) bei einem Primärenergiebedarf von 20 bis 40 kWh/(m²a)

Die Berechnungen für Passivhäuser sollten mit dem Passivhaus Projektierungs Paket durchgeführt werden, da die Abweichungen des Rechengangs nach EnEV bei abnehmendem Heizenergiebedarf deutlich zunehmen.

Passivhaus-Standard

Passivhäuser zeichnen sich durch eine hochwertige Gebäudehülle in Verbindung mit effizienter Lüftungstechnik mit Wärmerückgewinnung aus, wodurch es möglich ist, die Heizenergie fast vollständig aus passiven solaren Gewinnen zu decken. Die Heizwärmelast wird so gering, dass es möglich ist, auf konventionelle Heizsysteme ganz zu verzichten. Die Kriterien für Passivhäuser sind vor allem:

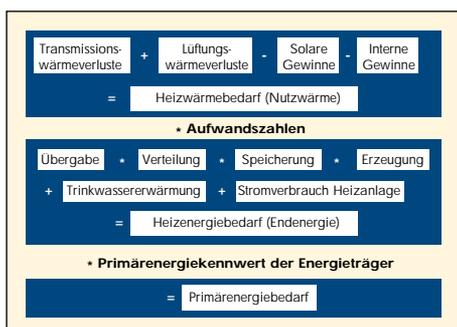
- Jahresheizwärmebedarf $\leq 15 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$
- Maximale Heizwärmelast $\leq 10 \text{ W}/\text{m}^2$
- Gebäudehülle $U \leq 0,15 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
- Fenster $U_w \leq 0,8 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, $g = 50 \dots 60 \%$
- Weitgehende Wärmebrückenfreiheit
- Luft- und Winddichtigkeit: $n_{50} \leq 0,6 \text{ h}^{-1}$
- Lüftungsanlage mit Abluftwärmerückgewinnung $\eta_{WBG,eff} \leq 75\%$, Elektroeffizienz $p_{el} \leq 0,40 \text{ Wh}/\text{m}^3$
- Jahresprimärenergiebedarf für Heizung, Warmwasserbereitung, Lüftung und Haushaltsstrom $\leq 120 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$

2 Schema der Maßnahmen

Städtebauliche und objektbezogene Entwurfs-elemente erzielen hohe passive solare Gewinne, eine hochwertige Dämmung der Gebäudehülle inkl. Fenstertechnik mit minimierten Wärmebrückenverlusten und hoher Luft- und Winddichtigkeit führen zu energieeffizienten Gebäuden. Dazu kommt ein möglichst effizienter Einsatz von technischer Gebäudeausrüstung. Und vor allem: die Gebäudekonzepte erhöhen den Komfort für die Nutzer (2).

Energieeinsparverordnung (EnEV)

Die EnEV begrenzt den jährlichen Primärenergiebedarf eines Gebäudes. Bei der Berechnung wird zunächst der Heizwärmebedarf für Transmissions- und Lüftungsverluste abzüglich der solaren und internen Gewinne ermittelt. Dieser Wert wird mit den Aufwandszahlen der verschiedenen Komponenten von Heizungs- und Lüftungsanlage multipliziert. Dabei geht für die



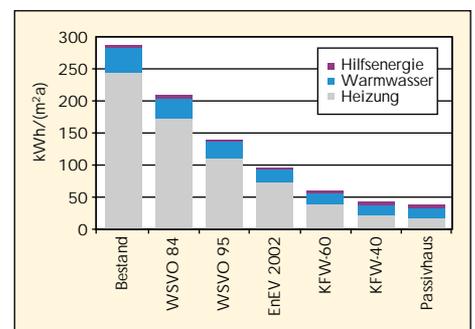
3 Vereinfachtes Schema der energetischen Bilanzierung nach EnEV

Energetische Gebäudestandards

Die Entwicklung der Standards und Komponenten des zunehmend energieeffizienten Bauens wird anschaulich in (4) und (5) aufgezeigt: vom Standard WSWO 1995 über die aktuellen Anforderungen der EnEV bis hin zum Passivhaus. Kleinere Wohngebäude nach EnEV liegen in Abhängigkeit vom A/V-Verhältnis im Bereich von 100 bis 140 kWh/(m²a) Primärenergiebedarf (Bezug: $A_N = \text{Gebäudevolumen} \cdot 0,32$ nach EnEV; die tatsächlich beheizte Fläche liegt bei Einfamilienhäusern im allgemeinen 20 - 30 % niedriger, d. h. der darauf bezogene Heizenergiebedarf liegt höher).

■ Niedrigenergiehäuser waren definiert mit 25 bis 30 % unterhalb der alten WSWO 95. Mit guten Haustechnik-Komponenten liegen sie im allgemeinen energetisch günstiger als EnEV-Häuser.

■ KfW-60-Häuser sind definiert mit einem Primärenergiebedarf von 60 kWh/(m²a) nach EnEV-Berechnung.



5 Entwicklung der Energiestandards

	WSVO	EnEV*	KfW-60*	3-Liter-Haus	KfW-40*	Passivhaus
	U	U	U	U	U	U
	kWh/(m²K)	kWh/(m²K)	kWh/(m²K)	kWh/(m²K)	kWh/(m²K)	kWh/(m²K)
Wände	0,4 - 0,6	0,25 - 0,5	0,15 - 0,30	0,10 - 0,30	0,10 - 0,25	< 0,16
Dach	0,3 - 0,5	0,20 - 0,4	0,15 - 0,25	0,10 - 0,20	0,10 - 0,20	< 0,15
Grund	0,4 - 0,5	0,25 - 0,4	0,20 - 0,30	0,20 - 0,30	0,15 - 0,25	< 0,16
Fenster	1,3 - 1,8	1,2 - 1,4	1,2 - 1,4	0,70 - 1,2	0,7 - 1,2	< 0,80
Lüftung	1	1 / 2 / 3	2 / 3	1 / 2 / 3	3	3

Lüftung: freie Lüftung (1), kontrollierte Lüftung (2), Abluftwärmerückgewinnung (3)
* Differenzen in Abhängigkeit von der Haustechnik

4 Überschlägige U-Werte verschiedener energetischer Gebäudestandards

Entwurfsprinzipien für passives solares Bauen

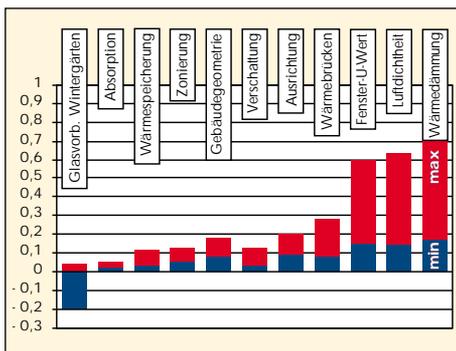
Die Behaglichkeit in einem Gebäude ist besonders groß, wenn die Hülle thermisch hochwertig ausgeführt wird. Solch ein Gebäude heizt sich weitgehend durch:

■ solare Gewinne durch Fenster und sonstige transparente Flächen

■ Wärmeabgabe von Beleuchtung, Geräten, Prozessen und

■ Körperwärme der Personen im Gebäude

In 6 wird die energetische Wirksamkeit verschiedener Entwurfsaspekte vergleichend dargestellt. Dabei ist zu beachten, dass jeder individuelle Entwurf Besonderheiten aufweist, die im Einzelfall untersucht werden müssen. In den folgenden Abschnitten werden die wesentlichen Aspekte passiver Solararchitektur beschrieben. Darüber hinausgehende Einflüsse wie Kleinklima, Wärmespeicherung und Absorption haben auf die Energieeinsparung nur sehr geringe Auswirkungen.



Energetische Wirksamkeit verschiedener Entwurfsaspekte bewertet in ihrer Wirksamkeit mit einem Faktor von 0 - 1,0

Gebäudegeometrie

Ein möglichst günstiges Verhältnis von Außenfläche (A) zu Gebäudevolumen (V) pro Quadratmeter Nutzfläche reduziert Kosten und zugleich Transmissionswärmeverluste 7. Das A/V-Verhältnis ist eine wesentliche Kenngröße bei der Heizwärmebedarfsberechnung für die EnEV.

Hohe Kompaktheit kann erzielt werden durch:

■ Wahl einer sinnvollen geometrischen Form

■ Möglichst große Gebäudetiefe unter Berücksichtigung von Belichtungs- und Ausrichtungsaspekten

■ Mehrgeschossigkeit in städtebaulich sinnvollem Umfang

■ keine energetisch wirksamen Vor- und Rücksprünge in der Fassade

Ausrichtung

Weitgehende Südausrichtung der Fensterflächen ist ideal für die Nutzung solarer Gewinne. Dabei sind Abweichungen bis zu 30° vom Südazimut nur mit geringen Verschlechterungen des solareren Eintrags verbunden. Die täglichen Mittelwerte der

Gesamtstrahlung betragen von November bis Januar ca. 1 kWh/m² bei Südausrichtung. Ost-West ausgerichtete Flächen haben etwa halb so hohe Werte aufzuweisen. Im Sommer verhält es sich genau umgekehrt: durch den hohen Sonnenstand von 63° (Höhe 50. Breitengrad, Frankfurt) beträgt der Wert auf der Südseite bei senkrechter Verglasung 1,5 kWh/m² und im Osten/Westen 2,0 kWh/m². Südausrichtung ist also auch für den sommerlichen Wärmeschutz von Vorteil.

Verschattung

Der Solareintrag wird durch verschiedene Faktoren gemindert. Dabei ist zunächst die Verschattung des äußeren Horizonts durch Topographie, Gebäude und Pflanzen zu berücksichtigen 8. Weiterhin entstehen Verschattungen durch Vorsprünge, auskragende Bauteile, Geländer und Fensterleibungen. Eine realitätsnahe Berechnung sollte im Rahmen der energetischen Bilanzierungen vorgenommen werden.

Passive solare Gewinne

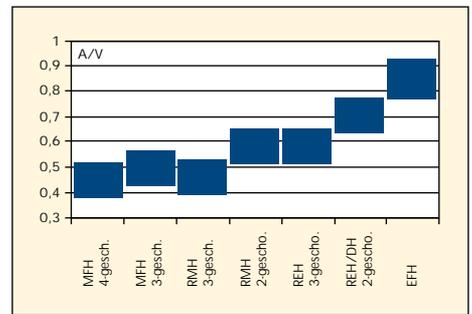
Transparente Flächen mit Solargewinnen sollten so ausgelegt werden, dass sie in der Summe möglichst hohe solare Gewinne ermöglichen 9. Fensterflächen haben hohe Solareinträge bei ungünstiger Witterung aber auch hohe Transmissionswärmeverluste. Das gilt für die Nächte und die zahlreichen strahlungsarmen Tage während der Heizsaison. Die Größe der Fensterflächen sollte mit einem Rechenprogramm optimiert werden und den Aspekt „Überhitzung“ berücksichtigen. Der solare Ausnutzungsgrad hängt unter anderem davon ab, wie hoch die Temperatur bei Einstrahlung sein darf und wie die wirksame Speichermasse des Gebäudes beschaffen ist. Die Masse hat weniger Bedeutung für die Energieeinsparung während der Heizzeit als für den sommerlichen Wärmeschutz.

In der energetisch-wirtschaftlichen Bilanzierung sind gut dimensionierte und ausgerichtete Fenstersysteme allen aufwändigen Systemen wie z. B. Glasvorbauten und Wintergärten mittlerweile überlegen.

Zonierung und Raumzuordnung

Die Aufenthaltsräume mit höherem Temperaturniveau wie der Wohn-/ Essbereich, Kinderzimmer und Arbeitszimmer sollten auf der Südseite eines Gebäudes angeordnet sein und Räume mit geringeren Temperaturanforderungen wie Küche, Elternschlafzimmer, WC, Treppenbereich und Nebenräume auf der nördlichen Seite des Gebäudes. Je besser ein Gebäude gedämmt ist, desto geringer ist der Einfluss dieser Zonierung. Die Temperatur innerhalb der thermischen Gebäudehülle gleicht sich zwischen den Räumen an.

Deutlich wichtiger ist die klare Trennung zwischen unbeheizten und warmen Bereichen: kalte Räume sollten möglichst nicht



A/V-Verhältnis von Gebäudetypen



Verschattung durch Bäume und Gebäude



Passive solare Gewinne werden optimiert, Reihenhäuszeile im Wohnhof Erlangen-Büchenbach in Niedrigenergiebauweise

wie eine Kühlrippe in die thermische Hülle hineinragen. Es muss klar definiert sein, wo die lückenlose Dämmung verläuft.

Bauleitplanung

Festsetzungen im Bebauungsplan bzw. die Gegebenheiten des Grundstücks beeinflussen die Energiebilanz eines Gebäudes. Wie bereits beschrieben, haben Gebäudeform, Ausrichtung und Verschattung Einflüsse auf die solaren Einträge. Es sollte bei der Auswahl eines Grundstücks darauf geachtet werden, dass die Rahmenbedingungen möglichst günstig sind. Dazu sind beim zuständigen Bauamt bzw. Stadtplanungsamt die Festsetzungen des Bebauungsplans einzusehen und hinsichtlich der zulässigen Form des Baukörpers und der Firstausrichtung sowie der Verschattung durch angrenzende Gebäude und Baulinien zu überprüfen.

Gebäudehülle

Grundprinzip des Energie sparenden Bauens ist es, die Wärmeverluste durch eine sehr gute Wärmedämmung, den geringen Einfluss von Wärmebrücken sowie durch eine weitgehend luft- und winddichte Gebäudehülle zu reduzieren.

Konstruktion

Die mögliche Konstruktionsvielfalt lässt auf dieser Seite nur wenige Beispiele und Anregungen zu. Es werden energetisch hochwertige Details dargestellt mit einer tabellarischen Bewertung einiger wesentlicher Planungsparameter wie Dicke, Primärenergieinhalt (PEI), überschlägige Kosten. Alle Aufbauten weisen den Passivhausstandard mit $U = 0,15 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ auf.

Bodenplatte

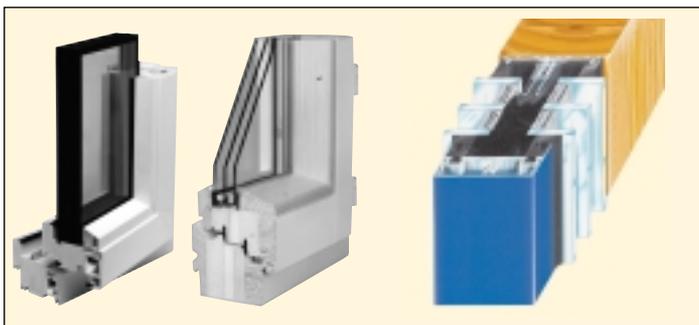
Verglichen werden Standardaufbauten in Massivbauweise mit Dämmung oberhalb der Stahlbeton-Bodenplatte und eine Variante in klassischer Holzbauweise: der untere Gebäudeabschluss als aufgeständerte Balkenkonstruktion mit Unterlüftung. Bei der Massivbau-Ausführung ist es auch möglich, die Dämmung teilweise unterhalb der Bodenplatte zu positionieren. In diesem Fall sollte die Bodenplatte schwimmend ausgeführt werden und vollständig mit Dämmung umhüllt sein, um keine Wärmebrücken zu erhalten **13**.

Außenwände

Für den Massivbau bietet sich das Mauerwerk mit Wärmedämmverbundsystem als die einfachste Form an: einmal die kostenoptimierte Ausführung mit Kalksandstein, zum Vergleich eine Variante mit porosiertem Material, wobei für Porenbeton und Ziegel jeweils ein praxisnaher Wert von ($\lambda_R = 0,16 \text{ W}/(\text{mK})$) angenommen wird. Als Holzbau-Beispiel wird die klassische Ständerkonstruktion mit Installationsebene auf der Innenseite dargestellt **10**.

Dächer

Es werden zwei Konstruktionsvarianten in Holzbauweise gegenüber gestellt. Die zimmermannsmäßige Ausführung mit Vollhölzern und ein Tragwerk aus Profil-Trägern. Ergänzend werden unterschiedliche Dacheindeckungen verglichen, so dass Aussagen für übliche geneigte Dächer mit Flachdachkonstruktionen und blechgedeckten Dächern gegenüber stehen. Dabei muss beachtet werden, dass Hinterlüftungen und bauphysikalische Feinheiten je nach Anwendung von diesem schematisierten Aufbau abweichen können und in jedem Einzelfall berechnet werden müssen **11**.



links: Holzprofil mit innenliegender Dämmung
mitte: PVC-Profil mit PUR-geschäumten Kammern
rechts: Holz/Alu-Pfosten-Riegel-Konstruktion mit Dämmvorsatz

① ② ③ ④	Dicke	PEI	Kosten
Massivbau (Kalksandstein mit WDVS)			
1 Außenputz	1,0	5	30
2 PS-Hartschaum O40	25,0	67	40
3 KS-Mauerwerk	17,5	53	42
4 Innenputz	1,0	5	13
Summe	44,5	129	125

① ② ③ ④	Dicke	PEI	Kosten
Porosiertes Mauerwerk mit WDVS			
1 Außenputz	1,0	5	30
2 PS-Hartschaum O40	20,0	54	32
3 Ziegel/Porenbeton 0,16	24,0	143	58
4 Innenputz	1,0	5	13
Summe	46,0	206	133

① ② ③ ④ ⑤ ⑥	Dicke	PEI	Kosten
Holzständerwand mit Installationsebene			
1 Sichtschalung/Lattung	7,0	6	68
2 Holzweichfaserplatte	2,0	5	15
3 Zellulose	22,0	14	17
3 Holzkonstruktion		17	24
4 OSB-Platte	2,0	16	17
5 Dämmung/Lattung	8,0	7	6
6 Gipskarton	1,5	11	24
Summe	42,5	76	172

10 Wandkonstruktionen

① ② ③ ④ ⑤ ⑥	Dicke	PEI	Kosten
Dachkonstruktion mit Vollholz-Sparren			
1 Betondachstein/Lattung	9,0	21	25
2 Holzweichfaserplatte	2,0	5	15
3 Zellulose	30,0	19	23
3 Holzkonstruktion		18	26
4 Dampfbremse		10	9
5 Lattung/Konterlattung	5,0	2	2
6 Gipskarton	1,5	11	24
Dach (Dachziegel)	47,5	86	124
alt.: extens. Begrünung	60,0	92	165
alt.: Alublech	45,0	160	155

① ② ③ ④ ⑤ ⑥	Dicke	PEI	Kosten
Dachkonstruktion mit I-Profilen			
1 Betondachstein/Lattung	9,0	21	25
2 Holzweichfaserplatte	2,0	5	15
3 Zellulose	26,0	17	20
3 Holz-I-Profil		13	35
4 Dampfbremse		10	9
5 Lattung/Konterlattung	5,0	2	2
6 Gipskarton	1,5	11	24
Summe	43,5	78	130
alt.: extens. Begrünung	56,0	84	159
alt.: Alublech	41,0	154	149

11 Dachkonstruktionen

Fenster

Die durchgreifenden Entwicklungen bei den Verglasungen haben in den letzten 15 Jahren eine Katalysatorfunktion für die Energieeffizienz beim Bauen ausgeübt. In der Folge wurden angepasste Rahmen- und Pfosten-Riegelkonstruktionen aus Holz, Kunststoff und Metall entwickelt, die Fenster-U-Werte unter $U_w = 0,8 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ erzielen. Dadurch ist es möglich, dass bei Fensterflächen auf der Südseite in der Heizsaison die solaren Gewinne höher sind als die Transmissionswärmeverluste. Zudem liegen die Oberflächentemperaturen der Verglasungen selbst bei Außentemperaturen von $-15 \text{ }^\circ\text{C}$ noch über $16 \text{ }^\circ\text{C}$ auf der Oberfläche der Rauminnenseite, dadurch ergibt sich ein hoher Komfort für die Nutzer und an den Fensterflächen muss keine Heizwärme zugeführt werden (12 14 15 16 17).



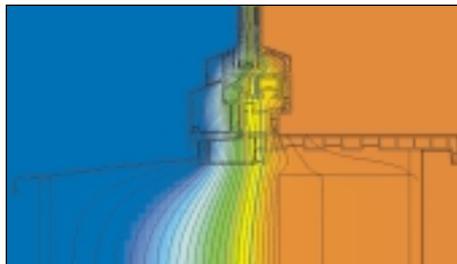
14 Fenster im eingebauten Zustand vor Anbringung des Wärmedämmverbundsystems

Dachflächenfenster sind auf Grund ihrer Einbausituation schwieriger energetisch zu optimieren als Standardfenster. Der Entwicklungsprozess zu U-Werten unter $0,8 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ liegt deshalb deutlich hinter diesen zurück.

Rollläden sind aus Gründen der Energieeinsparung bei hochwertigen Fenstern nicht mehr erforderlich, weil die Vorteile durch den eher geringen temporären Wärmeschutz nur bei sehr wärmebrückenarmen Detailausbildungen gegenüber den Wärmebrückenverlusten überwiegen. Zwischen Fensterrahmen und Rollladenkasten muss eine angemessene Wärmedämmung vorgesehen werden. Zudem sorgen Gurtdurchlässe für Luftundichtheiten, so dass Kurbel- oder besser Elektroantrieb erforderlich ist (18).

Türen

Türen sollten in der Gebäudehülle möglichst in gleicher energetischer Qualität wie die Fenster ausgeführt werden. Von einigen Herstellern werden Holz- und Kunststofftüren mit U-Werten unter $0,8 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ angeboten. Wichtig ist eine hohe Dichtigkeit, die bei Türen auf Grund des Schließmechanismus schwieriger zu erzielen ist als bei Fenstern. Die meisten Türen werden erst durch das Verriegeln an mehreren Punkten in die Dichtung gepresst und erreichen erst dadurch ihre Dichtigkeit. Weitere energetische Verbesserungen sind in den nächsten Jahren durch Verwendung von Vakuumpaneelen zu erwarten (BINE ProjektInfo Nr. 4/01) (19).



15 Isothermen-Darstellung eines Passivhaus-Fensters /Rehau/

	Verglasung	Rahmen	Fenster
	U_g	U_f	U_w
	$\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$	$\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$	$\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$
Aluminium	1,2	2,0-2,2	1,7-1,8
PVC (3-Kammer)	1,2	1,7-1,8	1,5-1,6
PVC (5-Kammer)	1,2	1,2	1,4
Holz	1,2	1,4-1,5	1,4-1,6
Holz	1,0	1,4-1,5	1,3-1,4
Holz	0,7	1,4-1,5	1,1-1,2
Rahmen 0,7	0,7	0,7	0,80
Rahmen 0,7	0,6	0,7	0,76
Rahmen 0,6	0,6	0,6	0,70

16 U_w in Abhängigkeit von Verglasung und Rahmen berechnet nach PHPP, Fenstermaß $1,23 \times 1,48 \text{ m}$; gemäß EnEV wird der Wärmedurchgang bezogen auf die einzelnen Elemente eines Fensters nach DIN EN ISO 10077 berechnet. Es ergeben sich leicht veränderte Werte.



18 Rollladen Detail



19 Passivhaus geeignete Tür

	Dicke	PEI	Kosten
	cm	kWh/m^2	$\text{€}/\text{m}^2$
① Bodenplatte			
② Estrich - Dämmung			
1 Bodenbelag Parkett	1,0	8	50
2 Zementestrich	6,0	30	15
3 PS-Hartschaum 040	24,0	65	17
4 Betonbodenplatte	15,0	83	25
5 Schotter (Putz/KG)	15,0	12	12
Summe	46,0	197	119

	Dicke	PEI	Kosten
	cm	kWh/m^2	$\text{€}/\text{m}^2$
① Holzboden			
② unterlüftet			
1 Fertigparkett, Dielen	2,0	16	90
2 Holzweichfaserplatte	3,0	8	20
3 Spanplatte	2,0	16	17
4 Zellulose	24,0	15	19
4 Holzkonstruktion		18	25
5 OSB-Platte	2,0	16	17
6 Luftraum	25,0		
Summe	58,0	89	188

Verglasungsart ^b	Glasaufbau ^c mm	U_g -Wert ^d $\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$	g-Wert ^e
Einfachglas	4	5,8	0,9-0,85
2 IV	4/12/4	3,0-2,8	0,8-0,76
3 IV	4/12/4/12/4	2,1-1,8	0,70-0,55
DV	4/20-100/4	2,8	0,76
2 WSV, Luft	4/12-15/#4	2,0-1,5	0,7-0,58
2 WSV, Argon	4/12-15/#4	1,8-1,25	0,7-0,64
2 WSV, Krypton	4/12-15/#4	1,4-1,0	0,62-0,49
3 WSV, Argon	4#/15/4/15#4	0,8-0,7	0,60-0,45
3 WSV, Krypton	4#/12/4/12/#4	0,7-0,6	0,60-0,45

^a Wagner, A.: Energieeffiziente Fenster und Verglasungen. – Fachinformationszentrum Karlsruhe/ BINE Bonn, Köln: TÜV-Verlag, 2000.
^b IV=Isolierverglasung, DV=Doppelverglasung (bei Kasten- oder Verbundfenstern), WSV=Wärmeschutzverglasung; Angabe des Füllgases
^c Glasdicke und Scheibenzwischenraum von außen nach innen; #: Lage der low-E-Schichten/Metalloxyd-Beschichtung
^d U_g -Werte nach EN 673 (entsprechen weitestgehend den bisherigen Werten nach Bundesanzeiger)
^e Gesamtenergiedurchlassgrad
fett markiert: optimierte Werte

13 Bodenplattenkonstruktionen

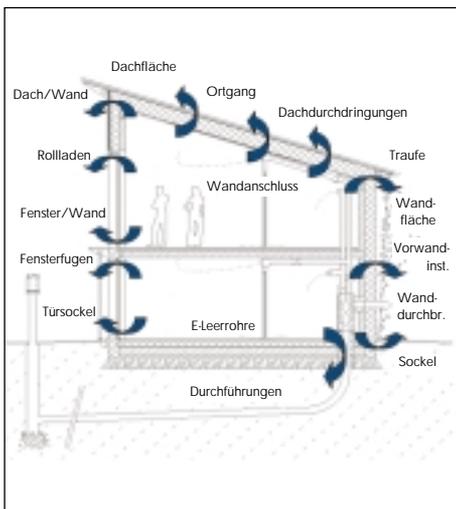
17 Thermische Kennwerte von Verglasungen^a

Wärmebrücken

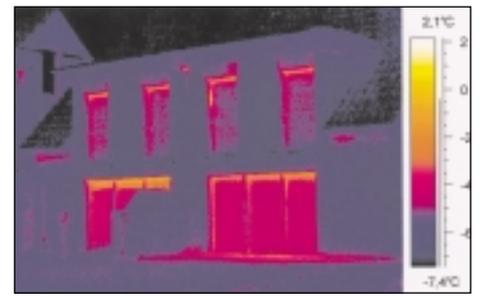
Wärmebrücken sind Bereiche der Gebäudehülle, an denen gegenüber der sonstigen Fläche erhöhte Transmissionswärmeverluste auftreten. Bei mäßiger Detailausbildung liegt ihr Verlustanteil bei 10 bis 20% – in ungünstigen Fällen bei über 30%. Durch niedrige raumseitige Oberflächentemperaturen im Wärmebrückenbereich besteht die Gefahr von Tauwasserbildung mit der möglichen Folge von Schimmelpilzbildung.

Wärmebrückenverluste werden nach EnEV pauschal mit einem Aufschlag zum U-Wert von $0,1 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ gerechnet, bei Einhaltung der vorgegebenen Standarddetails nach DIN 4108 (Beiblatt 2) mit $0,05 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Es ist vor allem bei energieeffizienten Gebäuden wichtig, die Details optimal auszuführen und die Wärmebrücken in der Heizwärmebedarfsberechnung exakt zu bilanzieren, um im Resultat einen geringeren U-Wert-Aufschlag zu erhalten. Bei KfW-40-Häusern und Passivhäusern ist dieses Vorgehen auf jeden Fall erforderlich. Die 20 zeigt einige schematische Details mit den Wärmebrückenverlustkoeffizienten (Ψ) und Anmerkungen zur Konstruktion. Da die Flächen mit Außenmaßbezug gerechnet werden, können bei optimierten Detailausbildungen negative Ψ -Werte resultieren, so dass in der Gesamtbilanz ggf. ein Bonus in der Heizwärmebedarfsberechnung eingesetzt werden kann.

Infrarot-Thermographie ist ein hervorragendes Qualitätssicherungs-Verfahren zur Visualisierung von Wärmebrücken und Luftundichtigkeiten. Durch die Abbildung von sehr feinen Temperaturunterschieden können Konstruktions-Schwächen direkt mit der Kamera sichtbar gemacht werden. Wird zudem mittels Blower-Door ein Unter- oder Überdruck erzeugt, kann ein- oder ausströmende Luft mit anderem Temperaturniveau sichtbar gemacht werden und somit Leckagen präzise geortet werden 21.



a) Schlechte Ausführung hinsichtlich Wärmebrücken und Luftdichtheit (Infrarot-Thermografie)



b) Gute Ausführung eines Passivhauses (Infrarot-Thermografie)

Raumklima und Bauphysik

Wärme: Ausschlaggebend für die wärmetechnische Gestaltung des Raumes ist die empfundene Raumlufttemperatur. Sie ermittelt sich näherungsweise als arithmetisches Mittel aus der Raumumschließungsflächentemperatur (Außen- und Innenwände, Decke, Fußboden, Fenster, Möbel) und Raumlufttemperatur. Sie sollte ca. $19 - 20 \text{ }^\circ\text{C}$ betragen. Größere Abweichungen als $4 \text{ }^\circ\text{C}$ zwischen Raumluft- und Raumumschließungsflächentemperatur sowie zwischen den einzelnen Oberflächentemperaturen werden als unbe-

haglich empfunden. Gleichmäßig hohe Temperaturen der Umschließungsflächen möglichst nahe an der Raumlufttemperatur führen zu hoher Behaglichkeit und wirken äußerst günstig auf das Wohlbefinden und die Gesundheit der Bewohner. Wird der bauliche Wärmeschutz erhöht, ergibt sich eine angenehme innere Wandoberflächentemperatur der Konstruktionsteile. Hohes Wärmedämmvermögen führt zu einer deutlichen Verbesserung der Behaglichkeit. Dies gilt sowohl für den winterlichen als auch für den sommerlichen Wärmeschutz.

Detail	Beschreibung	Ψ (W/mK)	Anmerkungen
	Außenwand/ Bodenplatte Stahlbetonbodenplatte mit Streifenfundamenten, Mauerwerk 17,5 cm dick, unterste Lage $\lambda_R = 0,12 \text{ W}/(\text{mK})$ 25 cm hoch, 30 cm Dämmung außen, 25 cm Dämmung über Estrich	$\Psi = -0,026 \text{ (W/mK)}$	Der Ψ -Wert ist sehr stark von der untersten Steinlage des Mauerwerks abhängig: $\Psi \approx -0,014$ bei $\lambda_R = 0,16$, $\Psi \approx -0,002$ bei $\lambda_R = 0,20$, $\Psi \approx 0,020$ bei $\lambda_R = 0,30$, $\Psi \approx 0,085$ bei $\lambda_R = 0,70$.
	Außenwand/ Bodenplatte optimierte Ausführung mit schwimmender Bodenplatte und übergangsfreier äußerer Dämmung (20 cm unter Bodenplatte, 5 cm Estrichdämmung)	Ψ ca.: $-0,05 \text{ (W/mK)}$	Höhere Kosten für die Dämmung (extrudiertes PS; PUR-Schaum oder Schaumglas), Druckfestigkeit der Dämmung statisch nachweisen, Frostsicherheit der Konstruktion sicherstellen
	Innenwand/ Bodenplatte Stahlbetonbodenplatte, Mauerwerk 17,5 cm dick, unterste Lage $\lambda_R = 0,12 \text{ W}/(\text{mK})$ 25 cm hoch, 25 cm Dämmung über Estrich	$\Psi = -0,012 \text{ (W/mK)}$	Verbesserung der Situation durch Dämmung unter der Bodenplatte; Schallschutz und Druckfestigkeit des Mauerwerks beachten
	Traufbildung 30 cm dicke Wanddämmung direkt übergehend in 40 cm dicke Dachdämmung,	$\Psi = -0,051 \text{ (W/mK)}$	Übergang zwischen Dach- und Wanddämmung möglichst wärmebrückenfrei ausführen
	Ortgangsbildung 30 cm dicke Wanddämmung direkt übergehend in 40 cm dicke Dachdämmung	$\Psi = -0,051 \text{ (W/mK)}$	Der Wärmebrückeneffekt des Dach-Tragwerks wird bereits bei der Berechnung des Dach-U-Wertes berücksichtigt



23 Oberflächentemperatur und Raumtemperatur bei schlechter Dämmung



24 Hohe Behaglichkeit und ausgeglichene Temperaturen bei guter Wärmedämmung



25 Atmende Wände gibt es nicht: Feuchtigkeit muss hinausgelüftet werden

Die Raumlufttemperatur, bei der sich Behaglichkeit einstellt, liegt bei gut gedämmten Gebäuden niedriger als bei Gebäuden mit kalten Innenoberflächen der Außenbauteile **23** **24**.

Feuchte: Der Mensch kann Raumluftfeuchte nicht unmittelbar wahrnehmen. Sie wird in einem Bereich zwischen 35 und 60 % relativer Luftfeuchtigkeit als behaglich empfunden. Ideal sind Werte um 45 % r. F. Durch die Nutzung eines Gebäudes wird ständig Wohnfeuchte in Form von Wasserdampf und Wasser in die Räume eingetragen. In einem 4-Personen-Haushalt werden täglich ca. 10 - 14 Liter Wasser freigesetzt. Diese Feuchtigkeit muss hinausgelüftet werden. Selbst bei diffusionsoffenen Außenwandkonstruktionen kann diese Wasser-

menge nur zu ca. 2 % durch die Wände hinaus getragen werden **25**. Bei gut gedämmten Bauteilen wird es keine Kondenswasserbildung mit Schimmelpilzwachstum geben – im Gegensatz zu schlechter Dämmung oder bei Wärmebrücken. Bei Leckagen und Fugen in Außenbauteilen besteht eine erhöhte Gefahr: durch Wasserdampfkonnektion können große Wassermengen selbst in kleinen Durchdringungen ausfallen und zu Bauschäden führen.

Luftdichtheit und Winddichtheit

„Zu errichtende Gebäude sind so auszuführen, dass die wärmeübertragende Umfassungsfläche einschließlich der Fugen dauerhaft luftundurchlässig entsprechend dem Stand der Technik abgedichtet ist.“ Eine luft- und winddichte Ausführung bewirkt für den Nutzer zahlreiche Vorteile:

- Vermeidung von baukonstruktiven Schäden
- Keine Reduktion der Wärmedämmfunktion
- Funktionierender Luftschallschutz
- Höhere Luftqualität ohne Eintrag von Schadstoffen und Fasern aus der Konstruktion oder durch Thermik aus tiefer gelegenen Räumen
- Gezielte Luftwechselraten durch Lüftungsanlagen statt zufälliger Luftaustausch
- Bei Wärmerückgewinnungsanlagen vollständiger Luftwechsel über den Wärmetauscher
- Thermischer Komfort durch Vermeidung von Zugerscheinungen, Kaltluftseen und vertikaler Temperaturschichtung
- Verringerter Heizenergieverbrauch

Die **EnEV** fordert in § 5 Luftdichtheit und präzisiert die Anforderungen in Anlage 4: bei einer Druckdifferenz zwischen Innen und Außen von 50 Pascal darf der gemessene Volumenstrom 3 h^{-1} nicht überschreiten – bezogen auf das beheizte Luftvolumen. Bei Gebäuden mit raumluftechnischen Anlagen gilt der Wert von $1,5 \text{ h}^{-1}$. Ansonsten wird auf den Stand der Technik verwiesen. In DIN 4108, Teil 7 wird die Luftdichtheit von Bauteilen und Anschlüssen behandelt und es werden Planungs- und Ausführungsempfehlungen gegeben **22**. Bei Passivhäusern gelten erhöhte Anforderungen an die Luftdichtheit: der n_{50} -Wert beträgt $\leq 0,6 \text{ h}^{-1}$.

Blower-Door-Test

Zum Nachweis der Dichtheit eines Gebäudes nach DIN EN 13829 wird mittels des Ventilators einer dicht eingebauten Blower-Door eine Druckdifferenz erzeugt **26**. Der resultierende Luftvolumenstrom für die Unterdruck- als auch Überdruckmessung wird für die Druckdifferenz von 50 Pascal ermittelt. Gewöhnlich liegen die beiden Werte eng beieinander, sofern kein Klappenventil-Effekt einer Leckage vorliegt oder die Windeinflüsse zu hoch sind. Der Mittelwert ist der gemessene n_{50} -Wert. Bei Unterdruck können mittels Anemometer, durch Nebel oder Infrarot-Thermografie Leckagen festgestellt werden **27**.



26 Blower-Door-Test



27 Steckdosenornado beim Blower-Door-Test

Die Kosten für Blower-Door-Messungen liegen für eine Wohneinheit bzw. ein Haus bei etwa 300 bis 600 € und umfassen die Installation der Messtechnik, die Begehung des Gebäudes zur Feststellung der Leckagen sowie ein Messprotokoll, in dem der n_{50} -Wert ermittelt wird.

Gebäudetechnik

Gebäudetechnik soll für die Bewohner den Komfort sicherstellen, der in unseren Breitengraden vor allem im Winter nicht allein durch bauliche Maßnahmen zu erreichen ist.

Je besser die Gebäudehülle ausgeführt wird, desto kostengünstiger und einfacher kann diese Technik ausgeführt werden. Eine gute Anlagenkonfiguration zeichnet sich aus: durch ein hohes Maß an Effizienz verbunden mit der Nutzung von Energieträgern, die möglichst wenig fossile Anteile aufweisen.

Lüftung

Anforderungen der Raumlufthygiene haben Priorität vor der Energieeinsparung. Durch sinnvolle Lüftung wird hoher Komfort und gute Raumluftqualität sicher gestellt. Fensterlüftung führt nur bei konsequenter Querlüftung zu befriedigenden Ergebnissen. Der Vorteil von Lüftungsanlagen liegt darin, kontinuierlich gezielte Luftmengen in den Aufenthaltsbereichen zur Verfügung zu stellen – tags und nachts. Im Wohnungsbau ist die Zufuhr von ca. 30 m³/h Frischluft pro Person erforderlich, daraus resultieren Luftwechselraten für die Aufenthaltsräume von 0,5-1,0 h⁻¹ und für Gesamtwohneinheiten/-häuser von 0,3 bis 0,6 h⁻¹. Abluftwärmerückgewinnungsanlagen können darüber hinaus Heizenergie einsparen. Die Baustoffauswahl muss so ausgeführt werden, dass die Luftwechselrate für eine ausreichend niedrige Schadstoffkonzentration in der Raumluft sorgt. Dabei müssen Nutzereinflüsse berücksichtigt werden.

Fensterlüftung

Die Fensterlüftung kann bei richtiger Durchführung energiesparend und effizient sein.

Während der Heizperiode sollten die Fenster nicht gekippt werden. Dies führt zu hohen Lüftungsverlusten und zur Auskühlung der Fensterleibung. Richtiges Lüften erfolgt durch Stoßlüftung. Sie wird drei- bis viermal am Tag für 5 Minuten durchgeführt, indem die Fenster ganz geöffnet werden.

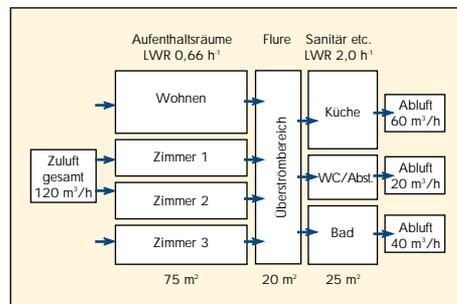
Kontrollierte mechanische Lüftung

Die Luft wird mittels eines Abluftgerätes aus Küche, Bad und WC abgesaugt. Die frische Außenluft strömt durch Wanddurchlässe in den Außenwänden nach. Die dort eingesetzten Düsen können schalldämpfend ausgeführt und mit Filtern versehen werden **28**. Gegenüber der Fensterlüftung hat die mechanische Abluftanlage den Nachteil, dass für den Lufttransport Strom benötigt wird. Als Vorteil kann die gezielte und gleichmäßige Frischluftzufuhr genannt werden.

Mechanische Lüftung mit Abluftwärmerückgewinnung

Das Anlagenkonzept der kontrollierten Abluftanlage kann um die Zuluftseite ergänzt werden. Die Außenluft wird gezielt über einen Filter angesaugt und über einen Wärmetauscher geleitet. Dort wird die Wärme der Abluft auf die zuströmende Außenluft übertragen. Sie wärmt sich so z. B. von 0 °C auf 17 °C auf und wird dann über ein Rohrsystem in die Aufenthaltsräume geführt. Solch eine Abluftwärmerückgewinnungsanlage stellt einen wesentlichen Beitrag zur Energieeinsparung dar **29 30 31**.

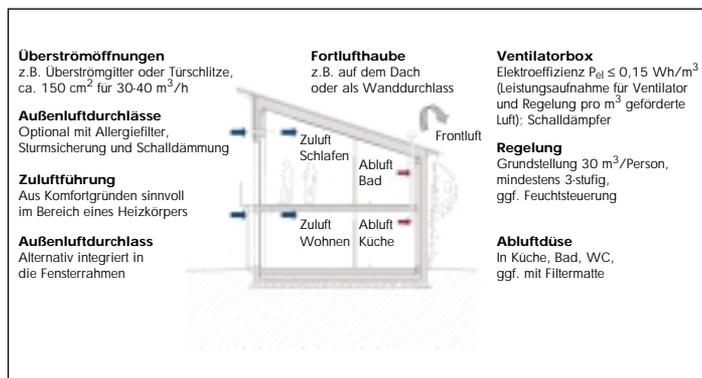
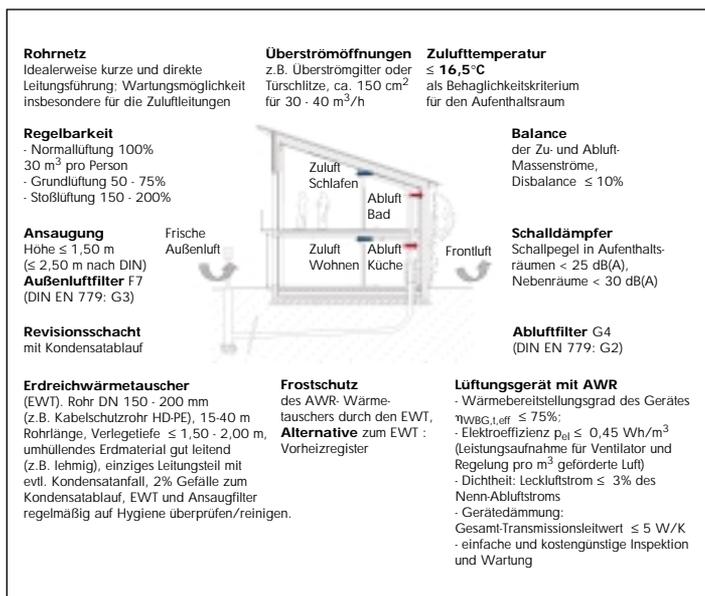
Die Kosten für eine zentrale Lüftungsanlage mit Abluftwärmerückgewinnung liegen inkl. Montage für eine Wohneinheit mit ca. 120 m² Wohnfläche bei 4.500 bis 8.000 €. Dezentrale Geräte mit Abluftwärmerückgewinnung kosten pro Raum ca. 1.000 € – sind aber hinsichtlich Luftwechselraten und Schallschutz besonders zu überprüfen.



30 Auslegungsschema einer Abluftwärmerückgewinnungsanlage am Beispiel eines Hauses mit 120 m² Wohnfläche; pro Person werden 30 m³/h (4 Personen: 120 m³/h) in die Aufenthaltsräume geführt – entsprechend einer Luftwechselrate von ca. 0,7 h⁻¹. Die Luftwechselrate über die gesamte Fläche beträgt im vorliegenden Fall etwa 0,4 h⁻¹. In Abhängigkeit von der Nutzung kann sich der tatsächlich eintretende Wert ändern. Bei Abwesenheit der Bewohner und im Nachtbetrieb kann die Luftmenge z. B. auf 90 m³/h reduziert werden. Daraus ergibt sich im Durchschnitt eine Luftwechselrate bis hinab zu 0,3 h⁻¹.



31 Oben: **Wanddurchlass** rechts als Weitwurfdüse; **mitte** und **unten links**: Überströmgitter in einer Tür, Überströmmöglichkeit zwischen Tür und Boden, **unten rechts**: Abluftdurchlass



Heizung und Warmwasserbereitung

Transmissions- und Lüftungswärmeverluste, die durch interne Quellen und solare Gewinne nicht ausgeglichen werden, müssen Gebäuden durch Heizsysteme zugeführt werden. Durch die Auswahl der Heiztechnik wird intensiv Einfluss auf den dadurch bedingten Primärenergieverbrauch genommen. Für die EnEV wird mittels der DIN 4701-10 die primärenergetische Bewertung der Anlagentechnik durch Aufwandszahlen abgebildet.

Je energieeffizienter die Bauweise wird, desto geringer wird die erforderliche Heizleistung sowie der Aufwand für die Heizungsinstallation. Bei einer gleichmäßig gut gedämmten Hülle mit Fenster-U-Werten unter 0,8 W/(m²K) kann die Wärmeleistung an jeder Stelle eines Raumes zugeführt werden. Die Auslegungsleistung für Passivhäuser beträgt nur noch 10 W pro m² beheizter Fläche. Ab dieser Grenze reicht die Luftmenge der Lüftungsanlage für die Beheizung mit hohem Komfort aus. Die Heizungshersteller bieten zunehmend angepasste Systeme an, die Kosteneinsparungen bei der Investition und bei der Wartung ermöglichen. Zusätzlich kann durch den Einsatz regenerativer Energien der Primärenergieaufwand weiter gesenkt werden.

A _N in m²	100	150	200
Heizwärmebedarf kWh/(m²a)	Anlagenaufwandszahl e _p (Primärenergiebezogen) nach EnEV		
Niedertemperatur-Kessel, außerhalb therm. Hülle, zentr. Trinkwasserbereitung			
40	2,29	2,01	1,87
60	2,01	1,80	1,70
80	1,85	1,69	1,60
Brennwert-Kessel, innerhalb therm. Hülle, solare Trinkwasserbereitung			
40	1,21	1,16	1,14
60	1,18	1,15	1,13
80	1,17	1,14	1,13

Primärenergiebezogene Anlagenaufwandszahlen für Öl- und Gaskessel nach Tabellenwerten der DIN 4701-10 bei detaillierter Berechnung nach optimierten Einzelkennwerten ergeben sich günstigere Werte

Öl- und Gasheizungen sollten möglichst als Brennwerttechnik mit Kesselwirkungsgraden von 105 - 109 % und in Kombination mit Solarthermie ausgeführt werden.

Biomasse als Brennstoff verhält sich weitgehend CO₂-neutral und wird nach EnEV mit einem Primärenergiefaktor von 0,2 gerechnet; zu empfehlen sind vor allem Pelletöfen.

Elektrisch betriebene Wärmepumpen sollten im Jahresmittel eine Leistungszahl (ε) deutlich über 3 aufweisen. Je niedriger der Temperaturabstand zwischen der Wärmequelle und der Vorlauftemperatur der Heizungsanlage, desto höher ist ε. **Wärmepumpenkomplettaggregate** verwenden die Wärme aus der Abluft der integrierten Abluftwärmerückgewinnung und heizen über eine Kleinstwärmepumpe mit etwa 400 W Ausgangsleistung ein komplettes Einfamilien-



33 Wärmepumpenkomplettgerät

Wärmepumpenanlage, zentrale Trinkwassererwärmung			
A _N in m²	100	150	200
Heizwärmebedarf kWh/(m²a)	Anlagenaufwandszahl e _p (Primärenergiebezogen) nach EnEV		
40	1,32	1,26	1,20
60	1,15	1,10	1,06
80	1,05	1,01	0,98

34 Primärenergiebezogene Anlagenaufwandszahlen für Wärmepumpen

haus, das in Passivhausbauweise errichtet ist ³² ³³ ³⁴.

Der Anlagenaufwand wird neben der Heizquelle u. a. durch folgende Parameter bestimmt: **Verteil- und Speicherverluste** können durch effiziente Dämmung und durch Einbau innerhalb der thermischen Hülle reduziert werden.

Hilfsstromverbrauch geht nach EnEV mit Faktor 3 in den Anlagenaufwand ein. Er sollte reduziert werden und Regelungen mit hoher Effizienz eingesetzt werden. Bei gut gedämmten Häusern können einfache Regelungen eingesetzt werden, weil es zunehmend unwichtiger wird, wann die Wärme zugeführt wird – in der Praxis bewährt sich z. B., per Taster die Heiztherme in den Abendstunden für eine halbe Stunde manuell einzuschalten.

Wärmeübertragung bei niedrigen Temperaturen spart Energie – je niedriger der Heizwärmebedarf und / oder je größer die Heizfläche, desto günstiger.

Solarthermie sollte bei keinem energieeffizienten Gebäude fehlen. Solaranlagen stellen eine bewährte Technik dar. Bei dem klassischen Konzept zur Trinkwassererwärmung wird die Solarwärme aus den Kollektoren mittels eines internen Wärmetauschers auf das Trinkwasser im Solarspeicher übertragen. Reicht das Solarangebot nicht aus, wird im oberen Bereich des Speichers mit dem Kessel nachgeheizt. Damit eröffnen sich Möglichkeiten zur Heizungseinbindung, die bei energieeffizienten Gebäuden allerdings nur in Verbindung mit einem sehr niedrigen Temperaturniveau bei der Wärmeübertragung sinnvoll sind.

Empfehlungen für energiesparende Sanitärinstallation

- Zentrale Sanitärerschließung mit einem Steigstrang
- Minimierung der Verteilleitungen
- Hohe Wärmedämmung der warmen Leitungen
- Kurze Wege zwischen Speicher und Verbrauchsstellen
- eigene Küchenzuleitung mit minimiertem Rohrquerschnitt direkt ab Speicher
- Leitungen innerhalb der beheizten Gebäudehülle
- Verzicht auf Zirkulation (falls doch: keine Zeitschaltuhr sondern Anforderungstaster in Bad und Küche)
- Reduzierung der Durchflussmengen bei den Zapfstellen
- Einhebel-Spararmaturen, die in der Standard-Mittelstellung kein Warmwasser ziehen
- Warmwasseranschlüsse für Spül- und Waschmaschine

Trinkwassererwärmung

Je niedriger der Heizenergiestandard wird, desto höher liegt der Heizenergieanteil für die Warmwasserbereitung. Bei Passivhäusern beträgt das Verhältnis ca. 50%.

Nach EnEV wird der Bedarf für die Warmwasserbereitung mit einem sehr niedrigen Wert von 12,5 kWh/(m²a) angesetzt, der dann mit der Anlagenaufwandszahl multipliziert wird. Es ist zu berücksichtigen, dass der tatsächliche Verbrauch beim Warmwasser deutlich stärker von den Nutzern abhängt als bei der Heizung.

Erdreichwärmetauscher (EWT)

Durch einen Erdreichwärmetauscher, der die angesaugte Außenluft vorwärmt, wird der Wirkungsgrad einer Abluftwärmerückgewinnungsanlage verbessert und vor allem das Einfrieren des Wärmetauschers verhindert. Die Rohre sollten glattwandig sein, bei einem Luftdurchsatz von 120 bis 280 m³/h einem Durchmesser von 150 bis 200 mm aufweisen und eine Länge von 15 - 40 m haben. Je höher die Erdüberdeckung (möglichst > 2,00 m; oder Führung unterhalb der Bodenplatte) und je besser leitend das umgebende Erdmaterial ist (z. B. gut verdichtetes lehmiges Material) desto günstiger der Wirkungsgrad. Die Leitungen sollten mit mindestens 2 % Gefälle zu einem Reinigungsschacht verlegt sein, damit eventuell anfallendes Kondensat ablaufen kann. Es muss möglich sein, den EWT zu reinigen, damit jederzeit eine hygienisch einwandfreie Situation hergestellt ist.

Alternativ zum EWT kann eine Soleleitung im Erdreich verlegt werden, durch die bei Frostgefahr mittels Umwälzpumpe die Erdwärme zu einem Wasser-Luft-Wärmetauscher am Eintritt des Lüftungsgerätes geleitet wird.

Gebäudebeispiele

An Beispielen kann die rapide Entwicklung des energieeffizienten Bauens der letzten Jahre aufgezeigt werden. Fiel noch vor kurzem die Entscheidung allenfalls zugunsten eines Niedrigenergiehauses, werden jetzt 3-Liter-Häuser oder Passivhäuser gebaut.

Niedrigenergiebauweise: Reihenhäuser Veitsbronn

Drei befreundete Familien errichteten bei einem minimalen Kostenziel mit viel Eigenleistung eine Reihenhausgruppe mit Pultdächern um einen kleinen Gemeinschaftshof. Das Gebäude erhielt einen SOLID-Preis für solare Gestaltung.

■ Ort: Heide 42, 90587 Veitsbronn, Baujahr 1996

■ Wohnfläche: 3 Reihenhäuser mit 128-145 m², ebenerdige Nebengebäude, kein Keller

■ Baukosten: 1150 €/m² Wohn-/Nutzfläche inkl. Eigenleistung

■ Konstruktion der opaken Gebäudehülle
Wand: Holzständerbauweise mit 26 cm Zel-



35
Reihenhäuser in Veitsbronn

lulosedämmung, $U = 0,15 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

Haustrennwände: in Kalksandstein vorteilhaft für den sommerlichen Wärmeschutz, da hohes Speichervermögen

Dach: Holzkonstruktion mit 32 cm Zellulosedämmung, $U = 0,13 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

Betonbodenplatte: mit 15 cm Estrichdämmung, $U = 0,24 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

■ Fenster: Holzfenster mit Wärmeschutzverglasung, $U_{\text{W}} = 1,4 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, $g = 62 \%$

■ Lüftung: manuelle Fensterlüftung

■ Heizung und Warmwasserbereitung: Gasbrennwertheizung in Verbindung mit Solarthermie: 13 m² Flachkollektoren mit 750-L-Schichtenspeicher

■ Jahres-Primärenergiebedarf nach EnEV (Bezug: A_{N}): 49 kWh/(m²a)

■ Heizwärmeverbrauch (gemessen; Bezug: Wohnfläche): i. M. 46 kWh/(m²a)

■ Architekten: Meyer & Schulze Darup, Nürnberg

Einfamilienhaus als 3-Liter-Haus in Holzbauweise

Trotz der höheren Kosten entschieden sich die Bauherren für die Holzbauweise nach ökologisch hochwertigen AKÖH-Kriterien. Die opake Gebäudehülle erfüllt Passivhaus-Werte. Der Lüftungsanlage fehlt die Wärmerückgewinnung, deshalb landet der Heizwärmebedarf knapp oberhalb der Dreiliter-Marke.

■ Ort: Kößweg 3, 91056 Erlangen

■ Wohnfläche: Einfamilienhaus mit 147 m² Wohnfläche, unterkellert

■ Baukosten: 1250 €/m² Wohn-/Nutzfläche

■ Konstruktion der opaken Gebäudehülle
Wand: Holzständerbauweise mit 30 cm Zel-



36
Drei-Liter-Haus in Holzbauweise

lulosedämmung, $U = 0,15 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

Dach: Holzkonstruktion mit 34 cm Zellulosedämmung, $U = 0,12 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

Kellerdecke: in Holzbauweise, $U = 0,16 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

■ Fenster mit verbesserter Wärmeschutzverglasung, $U_{\text{W}} = 1,1 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, $g = 60 \%$

■ Lüftung: kontrollierte mechanische Lüftung

■ Heizung und Warmwasserbereitung: Gasbrennwertheizung in Verbindung mit Solarthermie: 8 m² Fassaden-Flachkollektoren mit 350-L-Schichtenspeicher

■ Heizwärmebedarf: 38,9 kWh/(m²a) nach EN 832 (PHPP) / 31,6 kWh/(m²a) nach WSVO 95

■ Heizenergieverbrauch (gemessen): 35 kWh/(m²a), für Warmwasserbereitung 5,8 kWh/(m²a), Strom 12,7 kWh/(m²a), Solargewinne 8,6 kWh/(m²a)

■ Primärenergie-Kennwert (Heizen, WW, Haushaltsstrom): 72,2 kWh/(m²a)

EFH Herzogenaurach in Passivbauweise

Mit Förderung der Stadt Herzogenaurach wurde das Einfamilienhaus im Jahr 2002 als erstes Passivhaus im Stadtgebiet erstellt. Die Segmentbogenform ergibt sich aus der diagonalen Lage des Grundstücks zum Südazimut: die Haupt-Fensterfront konnte auf Grund dieser Gestaltung vollständig nach Süden ausgerichtet und das Grundstück optimal genutzt werden.

■ Ort: Kirchweg 38, 91074 Herzogenaurach Welkenbacher-Kirchweg

■ Wohnfläche: Einfamilienhaus mit 141 m² Wohnfläche, 21 m² Nutzfläche im Nordbereich, nicht unterkellert

■ Baukosten: 1050 €/m² Wohnfläche/Nutz-



37
Einfamilienhaus in Herzogenaurach

fläche zzgl. Passivhaus-Komponenten 115 €/m² und Solaranlage (6.500 €)

■ Konstruktion der opaken Gebäudehülle

Wand: Kalksandstein 17,5 cm, Dämmung (WDVS) 30 cm, $U = 0,12 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

Dach: Holzkonstruktion mit Zellulosedämmung 40 cm, $U = 0,10 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

Betonbodenplatte: 25 cm Estrichdämmung, $U = 0,14 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

■ Fenster: gedämmte Rahmen und 3-fach-Wärmeschutzverglasung, $U_{\text{W}} = 0,78 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, $g = 50 \%$

■ Lüftung: Abluftwärmerückgewinnung mit Erdreichwärmetauscher 25 m lang, 160 mm Durchmesser

■ Heizung und Warmwasserbereitung: Gasbrennwertheizung (Gaslieferung in Flaschen) in Verbindung mit Solarthermie: 10 m² Fassaden-Flachkollektoren mit 400-L-Schichtenspeicher

■ Heizwärmebedarf: 15,0 kWh/(m²a) nach PHPP

■ Architekten: Meyer & Schulze Darup, Nürnberg

Vier Doppelhaushälften (DHH) Nürnberg-Wetzendorf in Passivbauweise

Im Rahmen der Lokalen Agenda 21 wurden in Nürnberg im Sommer 2000 die vier DHH in Passivhaus-Bauweise bezogen. Eine umfangreiche Begleitforschung mit Unterstützung der Deutschen Bundesstiftung Umwelt wurde durchgeführt.

■ Ort: Prälat-Nicol-Straße 3-7/Wachtelstraße 12, 90427 Nürnberg

■ Wohnfläche: Doppelhaushälften mit 126-138 m² Wohnfläche und 28 m² Nutzfläche

■ Baukosten: 895 €/m² Wohnfläche zzgl. Passivhaus-Komponenten 100 €/m², Solaranlage 3.300 € pro Haus

■ Konstruktion der opaken Gebäudehülle
Wand: Kalksandstein 17,5 cm, Dämmung (WDVS) 30 cm, $U = 0,125 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$



38 Vier Doppelhaushälften als Passivhäuser in Nürnberg

■ **Dach:** Holzkonstruktion mit Zellulosedämmung 42 cm, $U = 0,10 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

■ **Bodenplatte:** aus Beton mit 25 cm Estrichdämmung, $U = 0,14 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

■ **Fenster:** gedämmte Rahmen und 3-fach-Wärmeschutzverglasung, $U_w = 0,77 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, $g = 53 \%$

■ **Lüftung:** Abluftwärmerückgewinnung je DHH mit Erdreichwärmetauscher 16 m lang, 150 mm Durchmesser

■ **Heizung und Warmwasserbereitung:** zentrale Gasbrennwertheizung für die vier Einheiten in Verbindung mit Solarthermie: 19 m² Flachkollektoren mit 750-L-Schichtenspeicher; Photovoltaikanlage mit 2 kW_{peak} (2001)

■ **Heizwärmebedarf:** 15,0 kWh/(m²a) nach PHPP

■ **Verbrauch, gemessen:** 10,1 kWh/(m²a), für Warmwasserbereitung 6,5 kWh/(m²a), Solarerträge 8,5 kWh/(m²a)

■ **Primärenergie-Kennwert (Heizen, WW, Haushaltsstrom):** 67,7 kWh/(m²a)

■ **Architekten:** Meyer & Schulze Darup, Nürnberg

Reihenhäuser in Passivbauweise: Stuttgart-Feuerbach

Im Baugebiet Schelmenecker in Stuttgart-Feuerbach wurden 14 Wohngebäude mit 52 Reiheneinheiten errichtet. Die topographischen Vorteile der Hanglage werden geschickt durch fünf unterschiedliche Haustypen mit zwei Vollgeschossen und Pultdach ausgenutzt. Die Baukörper sind höhenversetzt angeordnet, so dass eine gute Grundstücksausnutzung mit minimierter Verschattung kombiniert werden kann.

■ Ort: Linzer Straße/Schelmenecker Weg, 70469 Stuttgart

■ Wohnfläche: Reihenhäuser mit 110 - 130 m² Wohnfläche zzgl. Nutzfläche der Nebenräume und ggf. Keller

■ Verkaufspreis ohne Außenanlagen: 1.300 €/m² Wohnfläche inkl. Passivhaus-Komponenten

■ Konstruktion der opaken Gebäudehülle
Wand: Kalksandstein 17,5 cm, Dämmung



39 Passiv-Reihenhäuser Stuttgart-Feuerbach

(WDVS) 30 cm WLG 035, $U = 0,1 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

■ **Dach:** massive Betonkonstruktion mit aufgesattelter wärmebrückenarmer Holzkonstruktion mit Mineralfaserdämmung 40 cm WLG 035, $U = 0,09 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

■ **Bodenplatte:** aus Beton mit 25 cm Estrichdämmung, $U = 0,14 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

■ **Fenster:** gedämmte Rahmen und 3-fach-Wärmeschutzverglasung, $U_w = 0,8 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, $g = 53 \%$

■ **Lüftung, Heizung und Brauchwasserbereitung:** Wärmepumpen-Kompaktaggregate pro Reihenhauseinheit, Erdreichwärmetauscher 30 m lang, 200 mm Durchmesser

■ **Heizwärmebedarf:** 13,1 kWh/(m²a) nach PHPP

■ **Mittlerer gemessener und flächenbezogener Primärenergieverbrauch für Heizung, Lüftung und Brauchwasserbereitung:** 29,4 kWh/(m²a)

■ **Architekten:** Rainfried und Hana Rudolf, Stuttgart

■ **Haustechnik und Thermische Bauphysik:** EBÖK, Tübingen

■ **Energetische Messtechnik durch das Fraunhofer Institut für Bauphysik (IBP), Stuttgart gefördert im Rahmen eines Forschungsprojektes mit Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Arbeit (BMWA)**

■ **Bezug:** 2000

Siedlung Wiesbaden-Lummerlund in Passivbauweise

In Wiesbaden wurde die erste Reihensiedlung mit 22 Passivhäusern errichtet. Die weitgehende Vorfertigung ermöglichte eine Bauzeit von nur 10 Wochen. Die zweigeschossigen Häuser mit Pultdach stehen in 3 Reihen und sind nach Süden ausgerichtet. Die Häuser wurden über einen Zeitraum von 3 Jahren messtechnisch untersucht. Neben dem technischen Standard hat auch das Nutzerverhalten einen nicht unerheblichen Einfluss auf den Energieverbrauch.

■ Ort: Wiesbaden-Dotzheim

■ Wohnfläche: 22 baugleiche Reihenhäuser zu Gruppen von je 7 bzw. 8 Gebäuden, 88 - 108 m² zzgl. Abstellräume, ohne Keller

■ Konstruktion der opaken Gebäudehülle

■ **Wand:** vorgefertigte Holztafelelemente 30 cm Dämmung, $U = 0,14 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$



40 Passivhäuser der Siedlung Wiesbaden Lummerlund

■ **Dach:** vorgefertigte Holztafelelemente mit 40 cm Dämmung, $U = 0,10 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

■ **Bodenplatte:** 30 cm Dämmung (Styropor) gegen das Erdreich, $U = 0,11 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

■ **Fenster:** 3-fach Wärmeschutzverglasung in hochwärmedämmten Rahmen, $U_w = 0,8 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ (ohne Einbau)

■ **Lüftung, Heizung, Brauchwasserbereitung:**

Nahwärme aus Kraft-Wärme-Kopplung, kleine Heizkörper, Erdreichwärmetauscher bei Reiheneinheiten, Zu- und Abluftanlage mit Gegenstromwärmetauscher

■ **Heizwärmeverbrauch:**

13,4 kWh/m²a (1998/1999)

12,2 kWh/m²a (1999/2000)

10,4 kWh/m²a (2000/2001)

10,4 kWh/m²a (2001/2002)

■ **Bauträger:** Rasch & Partner, Bauen und Wohnen GmbH

■ **Haustechnik:** InPlan, Pfungstadt

■ **Energetische Messtechnik durch das Institut Wohnen und Umwelt (IWU) in Kooperation mit dem Passivhaus Institut, beide Darmstadt, gefördert im Rahmen eines Forschungsprojektes mit Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Arbeit (BMWA)**

■ **Bezug:** 1998

Fazit

Energieeffiziente Gebäude sind mit marktverfügbarer Technik kostengünstig zu erstellen. Zugleich wird bester Komfort in Verbindung mit hoher Behaglichkeit erzielt.

Bei heutigen Rahmenbedingungen sind KfW-60-Häuser betriebswirtschaftlich darstellbar. Dies gilt auch für 3-Liter-Häuser, den KfW-40- bzw. Passivhausstandard, die eine langfristig günstige Investitionsentscheidung darstellen.

Durch die intensive Forschung in den letzten Jahren und die sehr gute Dokumentation von Objekten vor allem im Bereich der Passivhaus-Technologie kann energieeffiziente Technik im Wohnungsbau auf bester empirischer Grundlage ohne Risiken angewandt werden. Die Entwicklungen der letzten Jahre ermöglichen in weitreichender Form ein Bauen nach Kriterien der Nachhaltigkeit:

■ Klima- und Ressourcenschutz wird durch Energieeffizienz bei der Erstellung und vor allem dem Betrieb von Gebäuden gewährleistet.

■ Hoher Wohnkomfort und Behaglichkeit sind ebenso ein integrativer Bestandteil energetischen Bauens wie gute Raumluftqualität.

■ Die neuen Techniken ermöglichen einen erhöhten Spielraum für architektonische und städtebauliche Gestaltungsfreiheit.

■ Bei sinkenden Kosten für die Komponenten des energieeffizienten Bauens und tendenziell steigenden Preisen für fossile Energieträger ist bereits zum heutigen Zeitpunkt eine wirtschaftlich interessante Vereinigung der Ziele von Ökonomie und Ökologie erreicht.

■ Bei langfristiger Betrachtungsweise stellt Energieeffizienz sowohl betriebswirtschaftlich als auch volkswirtschaftlich eine nachhaltige Versicherung gegen Ressourcenknappheit und steigende Energiepreise dar. Heute noch innovative Komponenten, werden in wenigen Jahren allgemeiner Stand der Technik sein.

Wirtschaftlichkeit

Gegenüber dem EnEV-Standard betragen die Mehrkosten von KfW-60-Häusern ca. 3 bis 6 % der Bauwerkskosten (inkl. Grundstück ca. 2 bis 4 %). Bei KfW-40-Häusern liegt die Spanne auf Grund der sehr unterschiedlichen energetischen Gestaltungsmöglichkeit in einem breiteren Spektrum von ca. 6 bis 20 %, Passivhäuser liegen im Bereich von 8 bis 15 % Mehrkosten. Die Kosten der erforderlichen Energiesparkomponenten sinken, so dass in den nächsten Jahren nochmals günstigere Lösungen möglich sein werden.

Wichtig hinsichtlich der Entscheidung für energiesparende Gebäude ist die schlüssige Darstellung der Gesamtsicht: nicht nur die Investitionskosten dürfen in die Entscheidung einbezogen werden. Ausschlaggebend ist die Betrachtung der monatlichen Belastung inklusive Betriebskosten. Unter www.bine.info in der Rubrik Service/Info-Plus wird in einer tabellarischen Übersicht ein Standardgebäude mit einem Passivhaus hinsichtlich der monatlichen Belastung verglichen. An dem Beispiel wird deutlich, dass Passivhäuser bei optimierter Planung und geringer Förderung bereits unter heutigen Rahmenbedingungen in der Gesamtsicht wirtschaftlicher sind als Standardgebäude.

Literaturverzeichnis

Reiß, J.; Erhorn, H.: Messtechnische Validierung des Energiekonzepts einer großtechnisch umgesetzten Passivhausentwicklung in Stuttgart-Feuerbach. Fraunhofer-Institut für Bauphysik (IBP), Stuttgart (Hrsg.) 2003. IBP-Bericht WB 117/2003

Institut Wohnen und Umwelt (IWU), Darmstadt (Hrsg.): Wohnen in Passiv- und Niedrigenergiehäusern. Teilbericht: Bauprojekt, messtechnische Auswertung, Energiebilanzen und Analyse des Nutzereinflusses. Endbericht. 2003

Arbeitskreis kostengünstiger Passivhäuser. Protokollbände, 1997 - 2003, Passivhaus Institut Darmstadt (Hrsg.)

Schulze Darup, B.: Energieeffiziente Wohngebäude. Einfamilienhäuser mit Zukunft. Fachinformationszentrum Karlsruhe, Gesellschaft für wissenschaftlich-technische Information mbH. Büro Bonn (Hrsg.) Köln : TÜV-Verl., 2002. 147 S., 1. Aufl., ISBN 3-8249-0642-2, 16,80 Euro, BINE Informationspaket

Ergänzende Informationen

Weitere Informationen sowie eine Literaturliste zum Thema sind bei BINE oder unter www.bine.info (Service/InfoPlus) abrufbar.

Förderung

Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit (BMWA)
11019 Berlin

Projekträger Jülich (PTJ) des BMWA
Forschungszentrum Jülich GmbH
Markus Kratz
52425 Jülich

Projektadressen

Fraunhofer-Institut für Bauphysik (IBP)
Hans Erhorn, Johann Reiß
Nobelstraße 12, 70569 Stuttgart

Institut Wohnen und Umwelt (IWU)
Dr. Witta Ebel
Annastraße 15, 64285 Darmstadt

Förderkennzeichen

0327256A, 0327242A

Impressum

ISSN

1610 - 8302

Herausgeber

Fachinformationszentrum Karlsruhe,
Gesellschaft für wissenschaftlich-technische
Information mbH,
76344 Eggenstein-Leopoldshafen

Nachdruck

Nachdruck des Textes nur zulässig mit vollständiger Quellenangabe und gegen Zusendung eines Belegexemplares. Nachdruck der Abbildungen nur mit Zustimmung des jeweils Berechtigten.

Autor

Dr. Burkhard Schulze Darup

Redaktion

Micaela Münster

Kontakt

Fragen zu diesem Themeninfo?

Wir helfen Ihnen weiter – wählen Sie die BINE Experten-Hotline:

Tel. 0228 / 923 79-44

Allgemeine Fragen?

Wünschen Sie allgemeine Informationen zum energie- und umweltgerechten Planen und Bauen? Dann wenden Sie sich bitte an die unten stehende Adresse



BINE

Informationsdienst

Fachinformationszentrum Karlsruhe

Meckenstraße 57, 53129 Bonn

Tel. 0228 / 9 23 79 0

Fax 0228 / 9 23 79 29

eMail bine@fiz-karlsruhe.de

Internet: www.bine.info