

Das Passivhaus

Folien des Passivhaus Institutes
Darmstadt

Pionier: Dr. Wolfgang Feist

4.12 Das Passivhaus

_1 Konzeption des Passivhauses

_2 Zur baulichen Realisierung

Wärmedämmung

Luftdichtigkeit und Lüftung

Fenster und temporärer Wärmeschutz

keine Wärmebrücken

_3 Zuluft- Heizung

Wärmerückgewinnung

Wärmepumpe

Erdwärmetauscher zur Vorwärmung

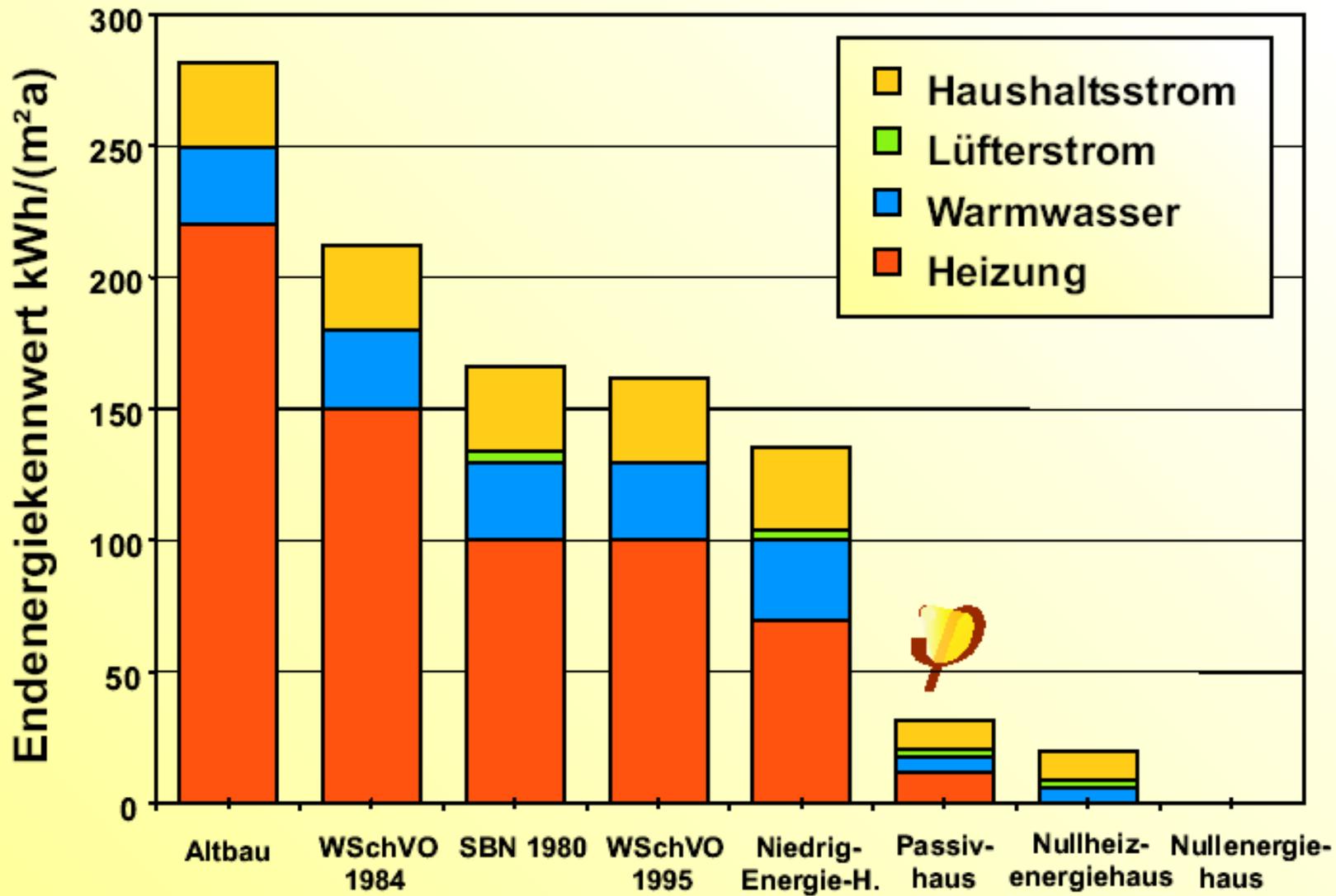
_4 Kosten

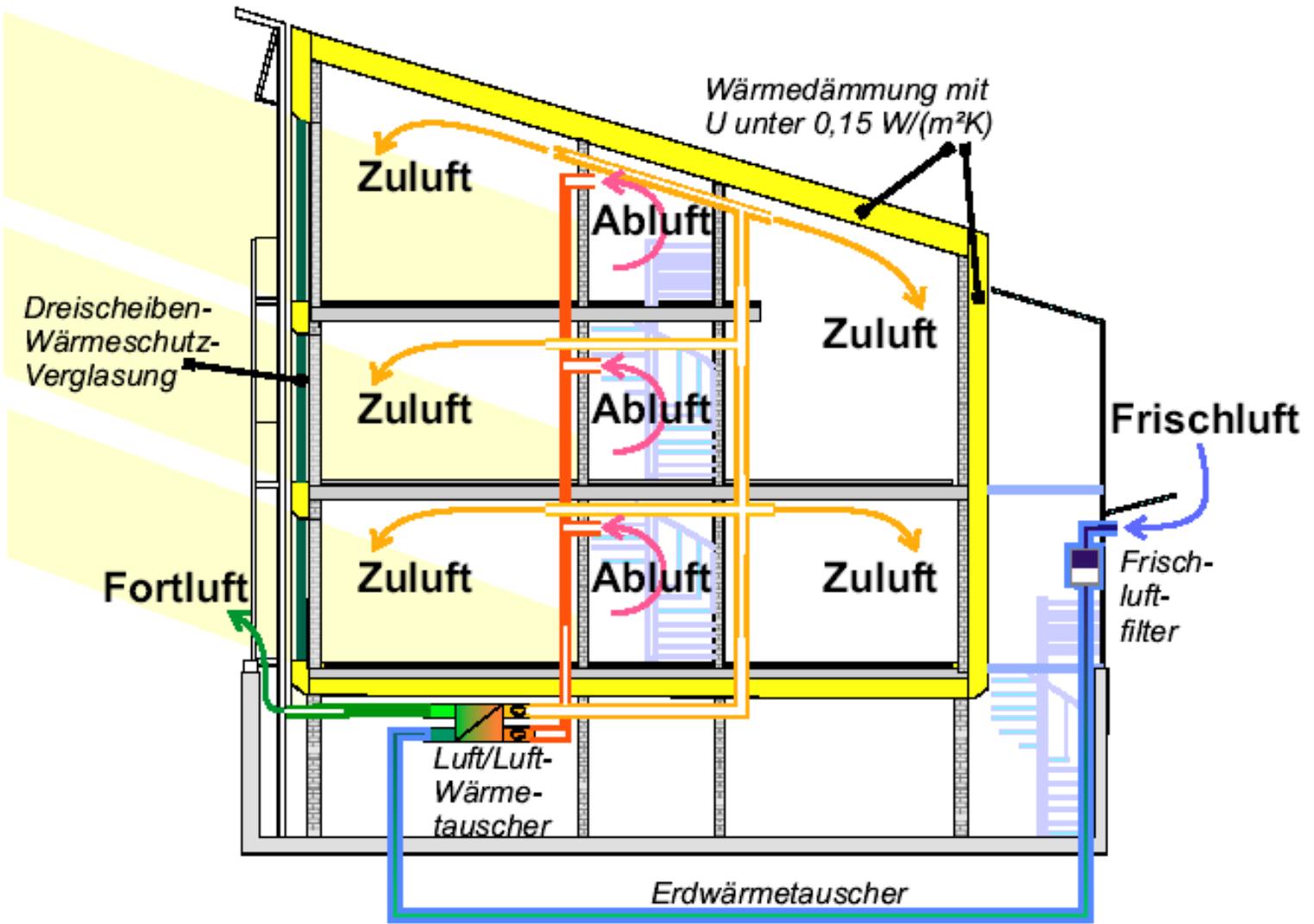
_5 Einige Passivhäuser

Konzeption des Passivhauses

Grundsätze für den Bau von Passivhäusern

Guter Wärmeschutz und Kompaktheit	Außenhülle $U \leq 0,15 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ Wärmebrückenfrei
Südorientierung und Verschattungsfreiheit	Passive Solarenergienutzung
Superverglasung und Superfensterrahmen	$U_w \leq 0,8 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ g-Wert um 50 %
Luftdichtheit	$n_{50} \leq 0,6 \text{ h}^{-1}$
Wärmerückgewinnung aus der Abluft	Wärmebereitstellungsgrad $\geq 75 \%$
Energiespargeräte	Hocheffiziente Stromspargeräte für den Haushalt
Brauchwassererwärmung regenerativ	Solarkollektor oder Wärmepumpe
Passive Luftvorerwärmung	Optional: Erdreichwärmetauscher, Lufttemp. auch im Winter über 5°C

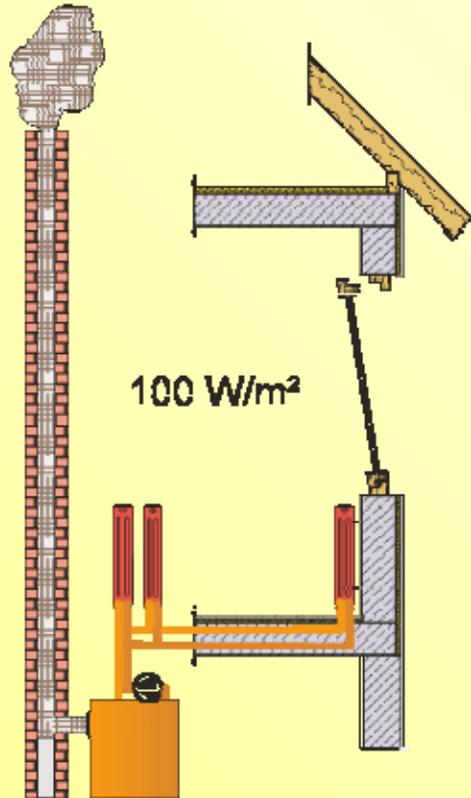




Maximale Heizlast



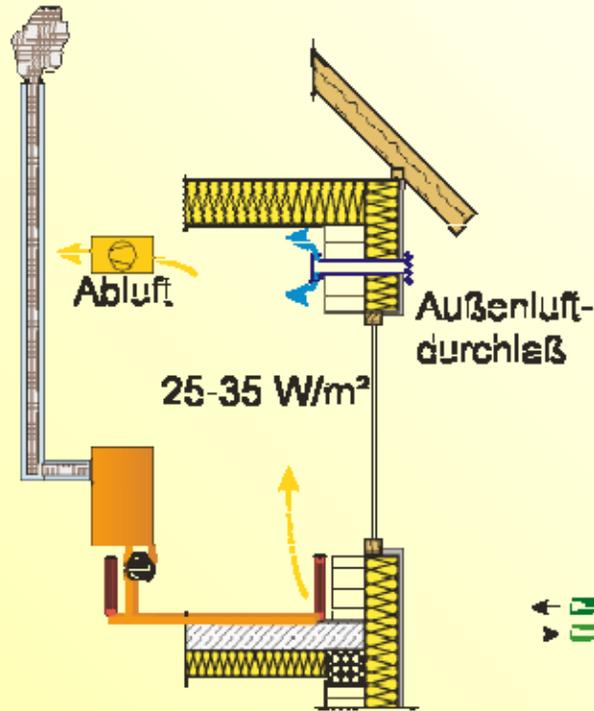
Gebäude-Eestand



100 W/m²

Warmwasserheizsystem; 10 kW

Niedrigenergiehaus



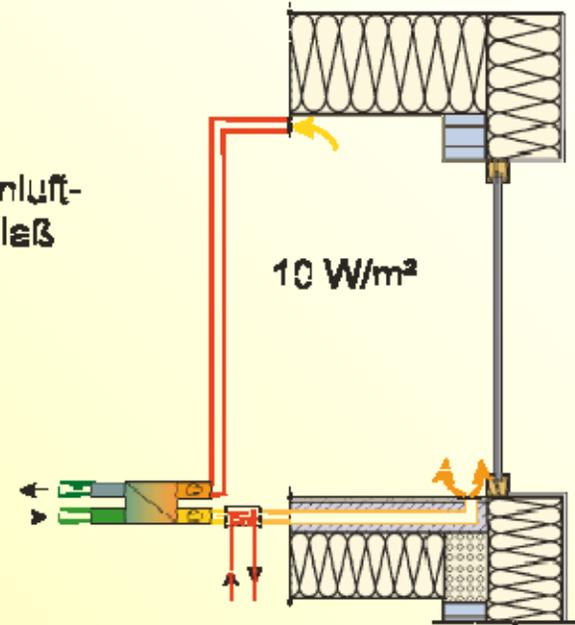
Abluft

Außenluftdurchlaß

25-35 W/m²

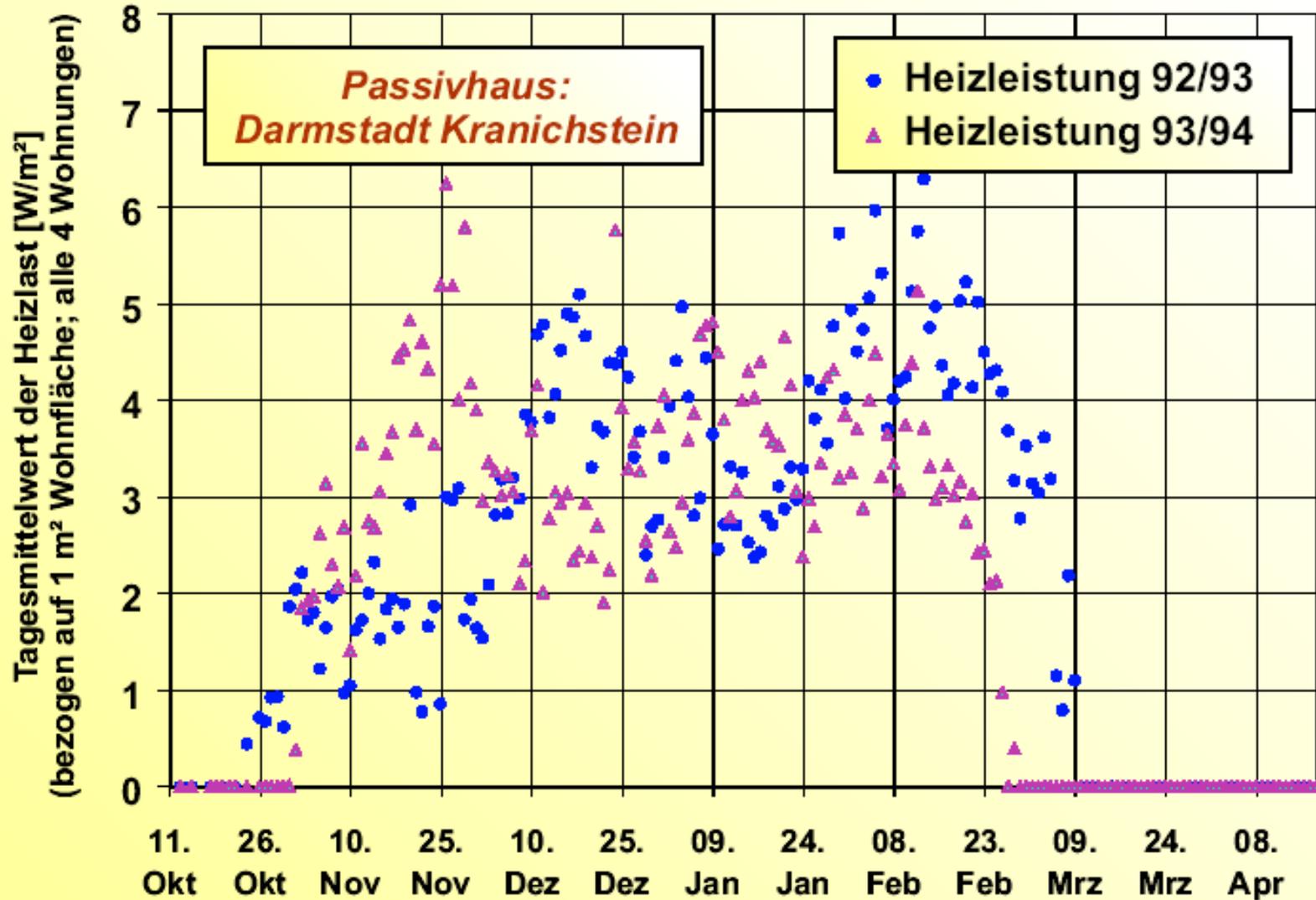
raumluftunabhängiges Warmwasserheizsystem

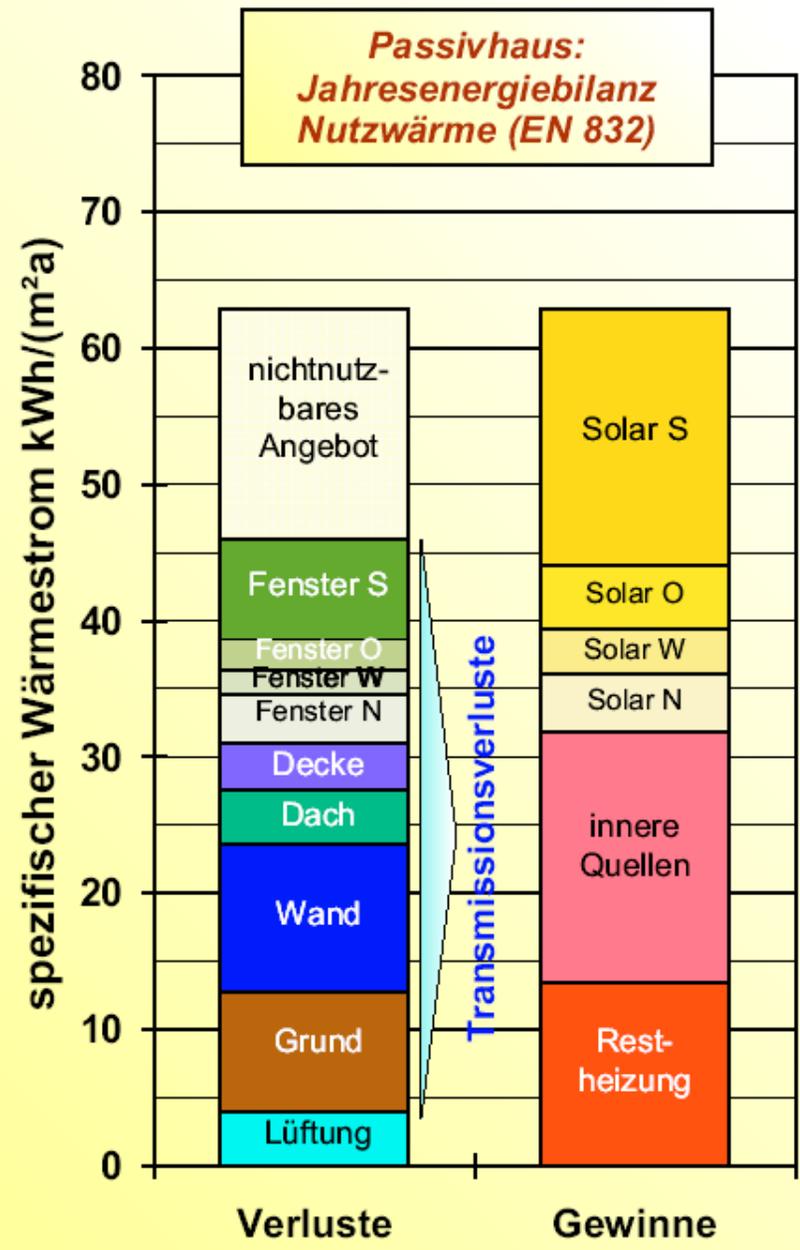
Passivhaus



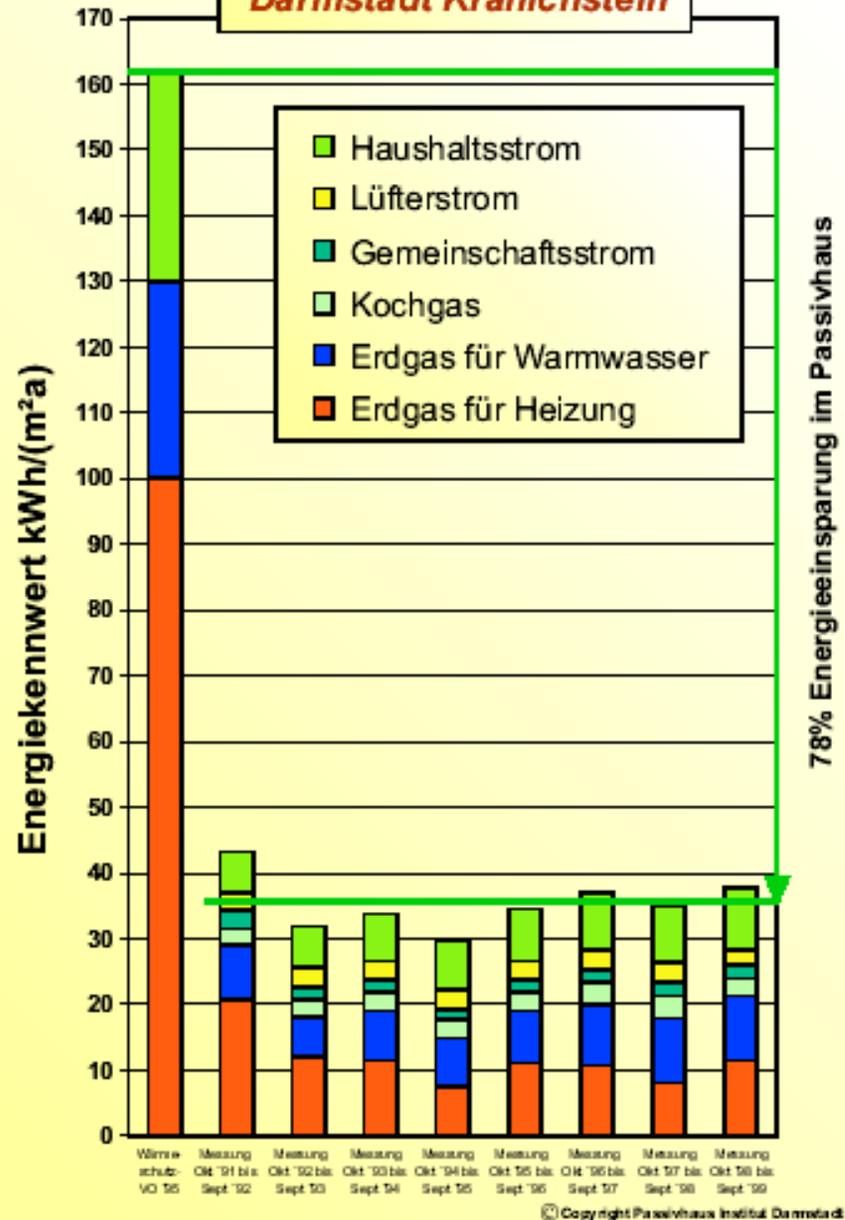
10 W/m²

Zuluft - Nacherwärmung; max. 1kW





**Passivhaus:
Darmstadt Kranichstein**

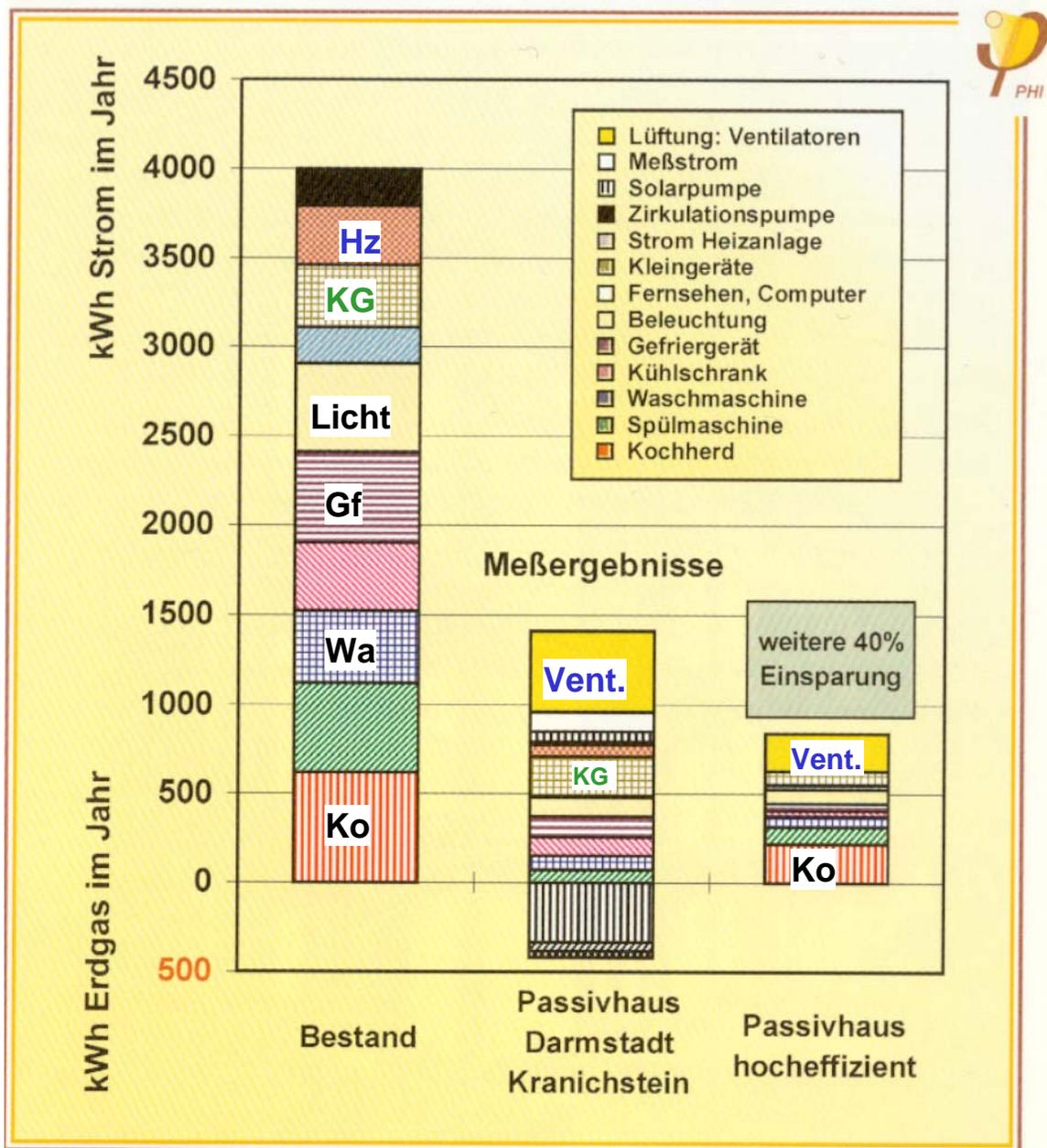


Abszissen-beschriftung:

Wärme- Messung Messung Messung
schutz- Okt '91 bis Okt '92 bis Okt '93 bis
VO '95 Sept '92 Sept '93 Sept '94

Messung Messung Messung Messung Messung
Okt '94 bis Okt '95 bis Okt '96 bis Okt '97 bis Okt '98 bis
Sept '95 Sept '96 Sept '97 Sept '98 Sept '99

Stromeffizienz: Potentiale zur Verbesserung im Passivhaus



- ☐ Lüftung: Ventilatoren **Vent.**
- ☐ Meßstrom
- ☐ Solarpumpe
- ☐ Zirkulationspumpe
- ☐ Strom Heizanlage **H**
- ☐ Kleingeräte **KG**
- ☐ Fernsehen, Computer
- ☐ Beleuchtung **Licht**
- ☐ Gefriergerät **Gf**
- ☐ Kühlschrank
- ☐ Waschmaschine **Wa**
- ☐ Spülmaschine
- ☐ Kochherd **Ko**

Potentiale zur Verbesserung im Passivhaus

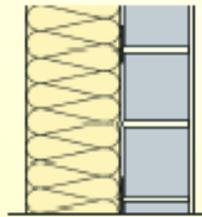
Zur baulichen Realisierung

Wärmedämmung

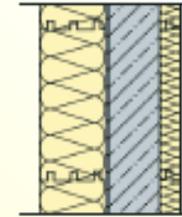
Luftdichtigkeit wg. Lüftung

keine Wärmebrücken

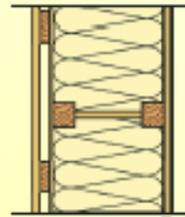
Fenster und temporärer Wärmeschutz



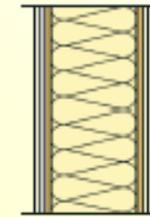
a) Mauerwerk mit Wärmeverbundsystem (über 25 cm dick)



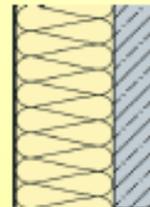
b) Schalungselement aus Polystyrol-Hartschaum (24cm)



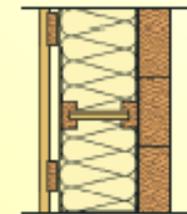
c) Leichtbauelement: Holz-Boxträger oder Doppel-T-Träger voll gedämmt (30-40 cm)



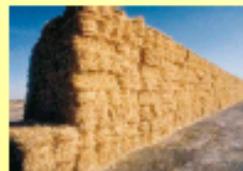
d) Fertigbauteil aus Polyurethan-Sandwich-Elementen (20 cm)



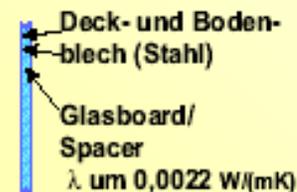
e) Leichtbeton-Fertigteil-Element



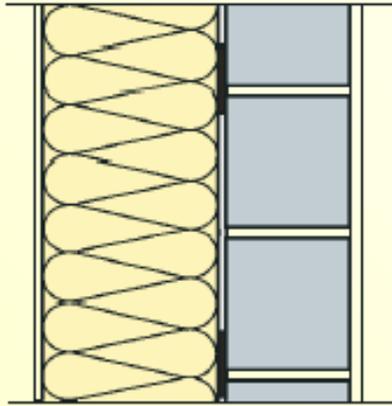
f) Blockbohlenwand



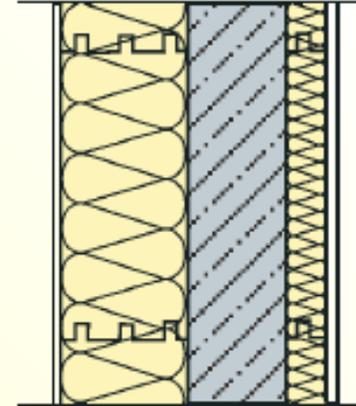
g) low-tech: Strohballenwand (60 cm)



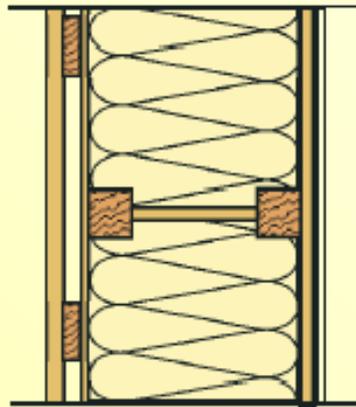
h) high-tech: Vakuuminisierung (2,5 cm)



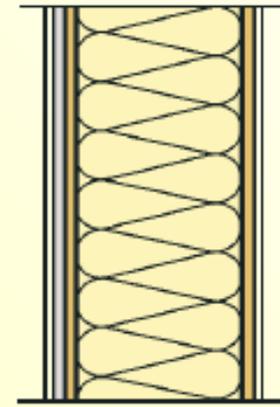
**a) Mauerwerk mit Wärmeverbundsystem
(über 25 cm dick)**



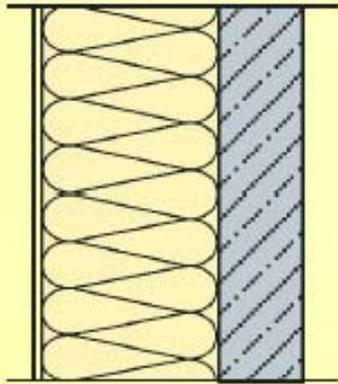
**b) Schalungselement aus Polystyrol-
Hartschaum (24cm)**



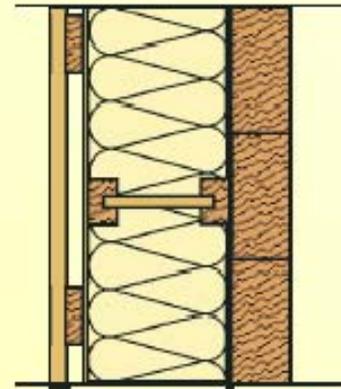
**c) Leichtbauelement: Holz-Boxträger oder
Doppel-T-Träger voll gedämmt (30-40 cm)**



**d) Fertigbauteil aus Polyurethan-
Sandwich-Elementen (20 cm)**



e) Leichtbeton-Fertigteil-Element



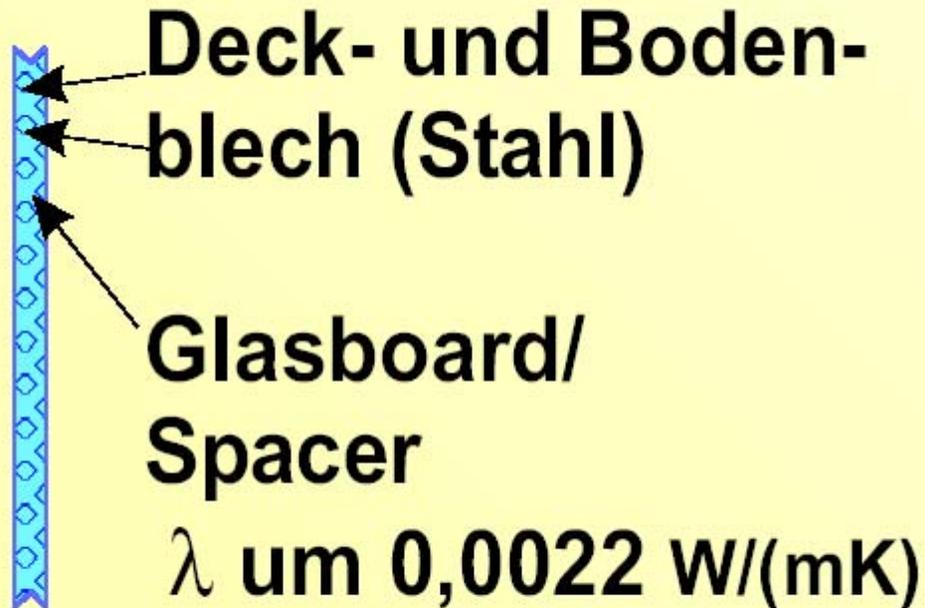
f) Blockbohlenwand



g) low-tech: Strohballenwand (60 cm)



h) high-tech: Vakuumisolierung (2,5 cm)



h) high-tech: Vakuumisolierung (2,5 cm)

Gebäudehüllen müssen luftdicht sein

- Schwer ausrottbarer Irrglauben an „atmende Wände“ etc.

Fugen nützen nichts und schaden viel:

- Fugenlüftung **unzuverlässig**, da zu stark abhängig vom **Winddruck** und vom **Temperaturauftrieb**
- Bei Fugen **Abluft: Kondensation**sgefahr
- Bei Fugen **Zuluft**: Gefahr der Durchfeuchtung durch **Schlagregen**
- **Schallschutz** vermindert

Im Passivhaus:

- **Lüftungsgerät sorgt für Wärmerückgewinnung aus Abluft**,
die durch Fugen ungenutzt entweichen würde.

Die ringsum geschlossene luftdichtende Hülle

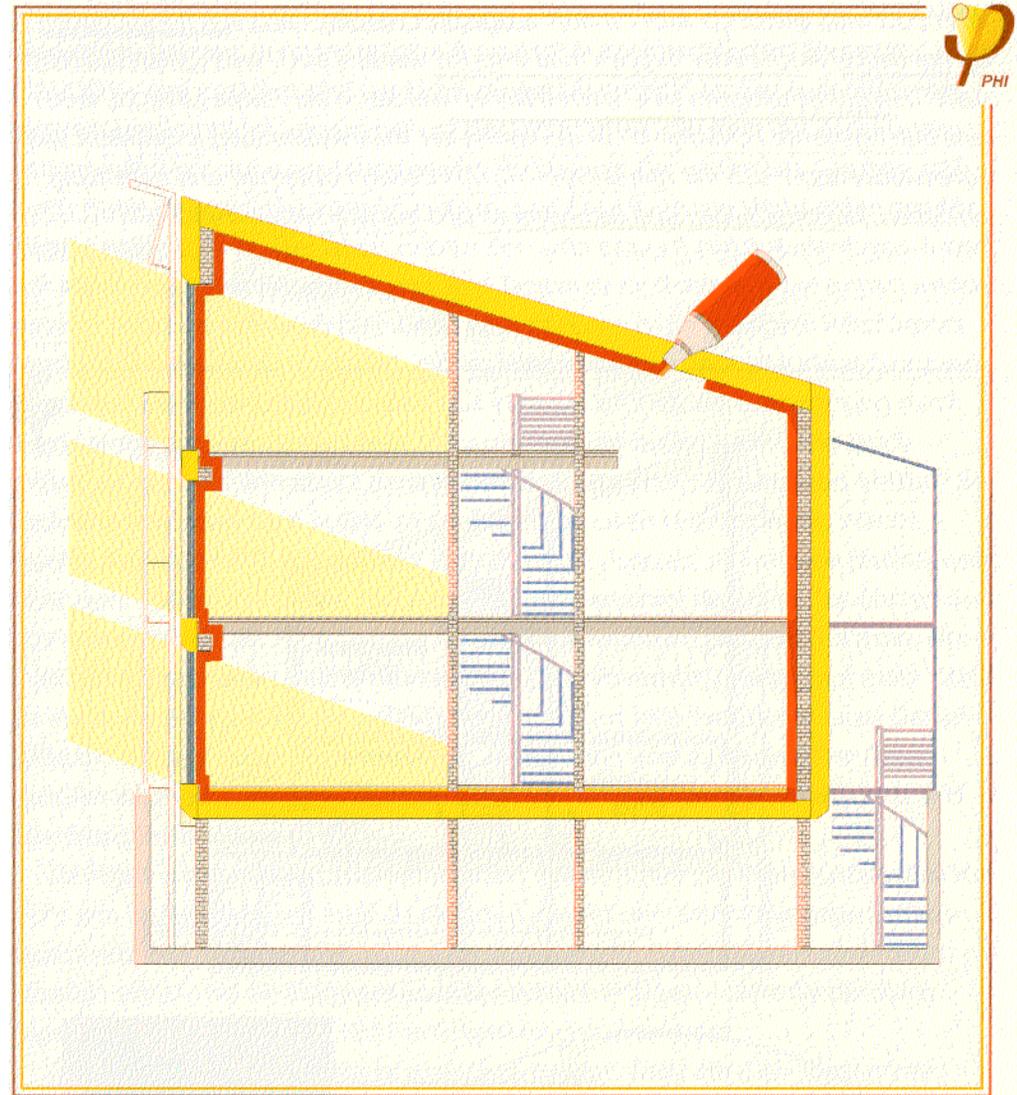


Abb. 10: Die ringsum geschlossene luftdichtende Hülle beim Passivhaus Darmstadt Kranichstein (Quelle: [Peper/Feist 1999]).

Detail: Luftdichter Anschluss von Dach und Wand

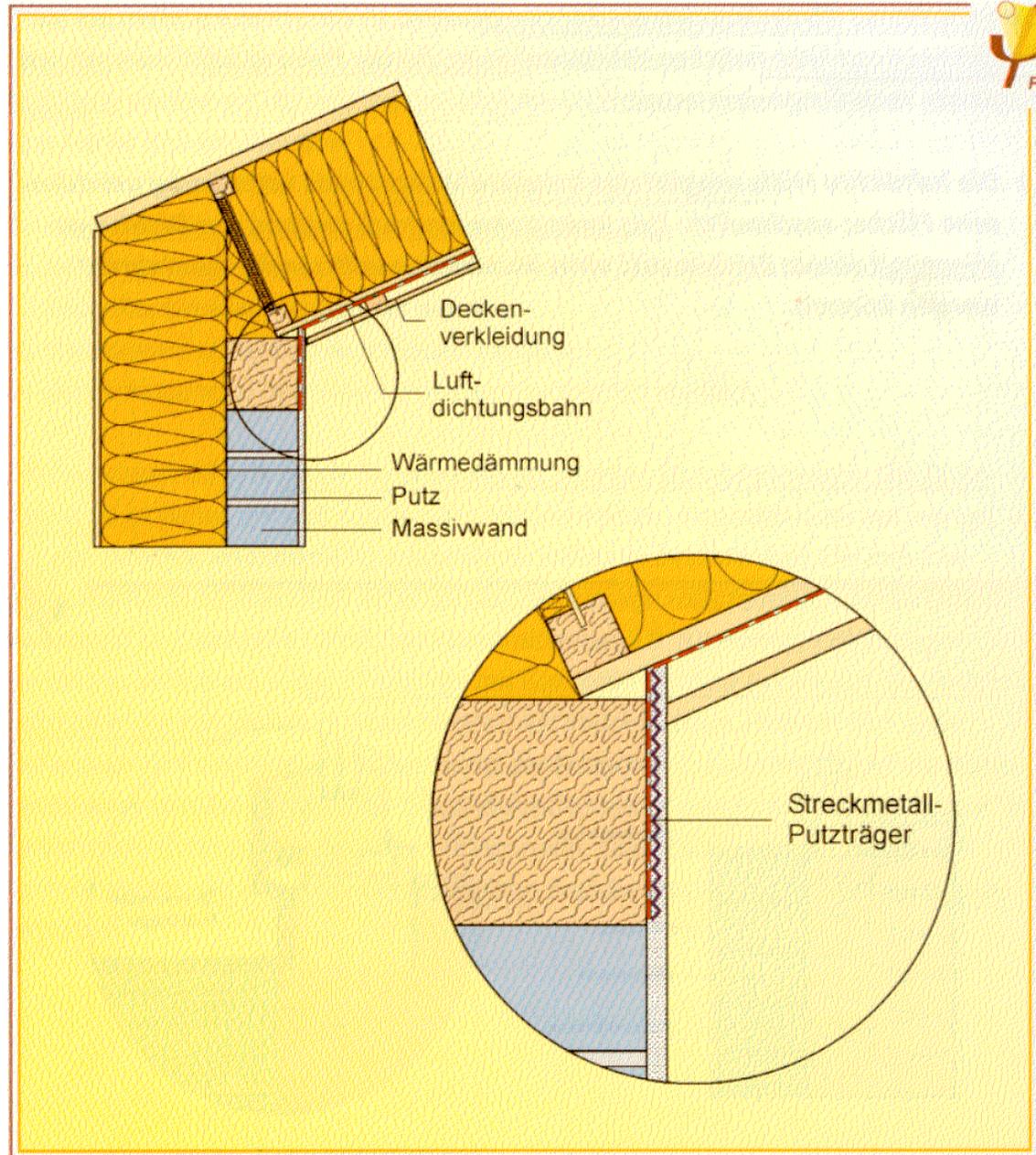


Abb. 11: Luftdichter Anschluß einer Holzleichtbaukonstruktion (**Dach**) an eine **Massivwand** (verputzt).

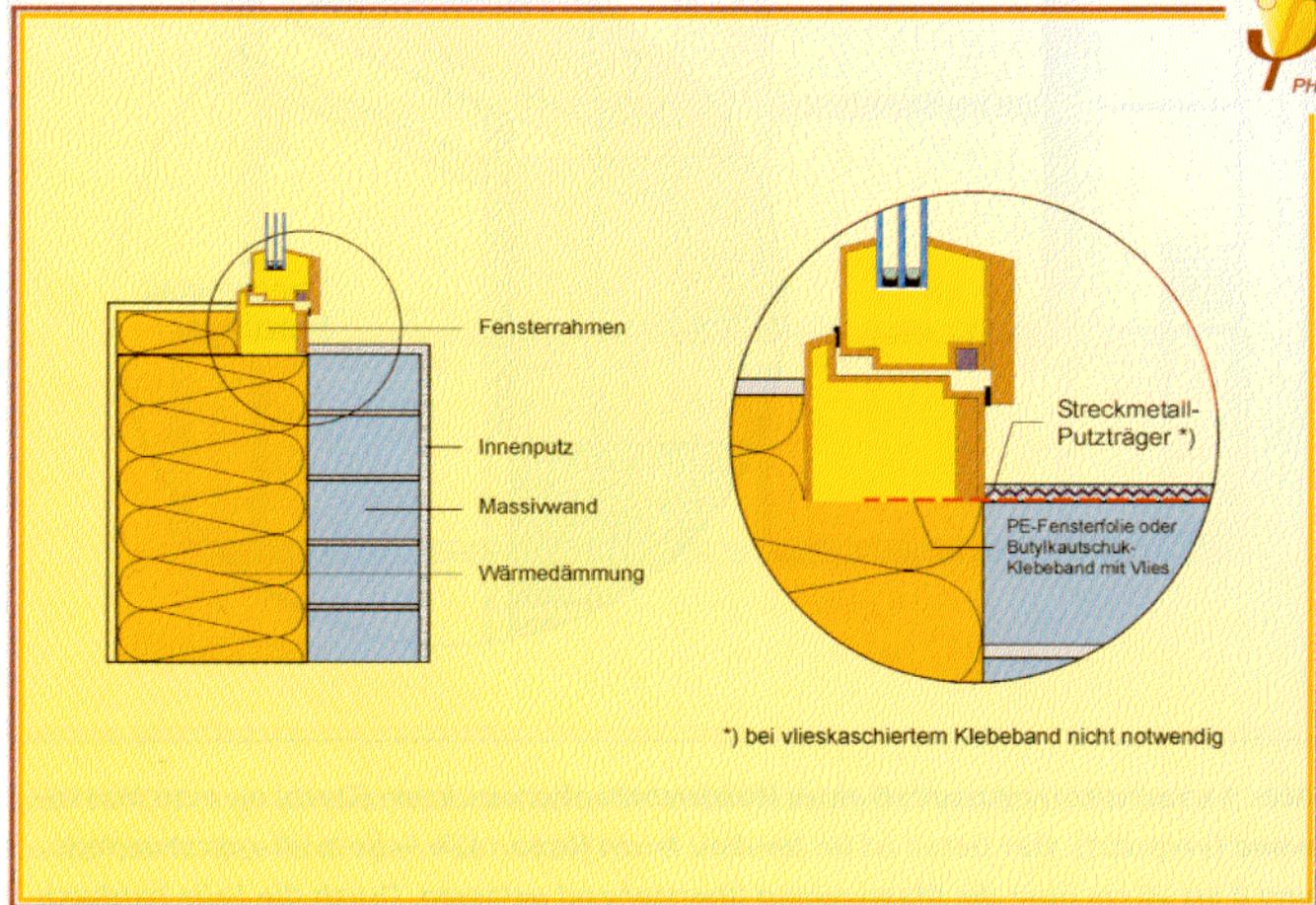
Das Detail ist im Neubau leicht lösbar: Die Folie wird zuerst verlegt und 8 bis 20 cm über die Massivwand überstehend gelassen. Durch die Folie hindurch wird ein Putzträger (Streckmetall) an der Wand befestigt.

Beim anschließenden Verputzen der Wand wird die Folie unter dem Putzträger vollflächig mit eingeputzt:

Es entsteht ein dauerhaft dichter Anschluß.



Detail: Luftdichter Anschluss von Fensterrahmen und Innenwand

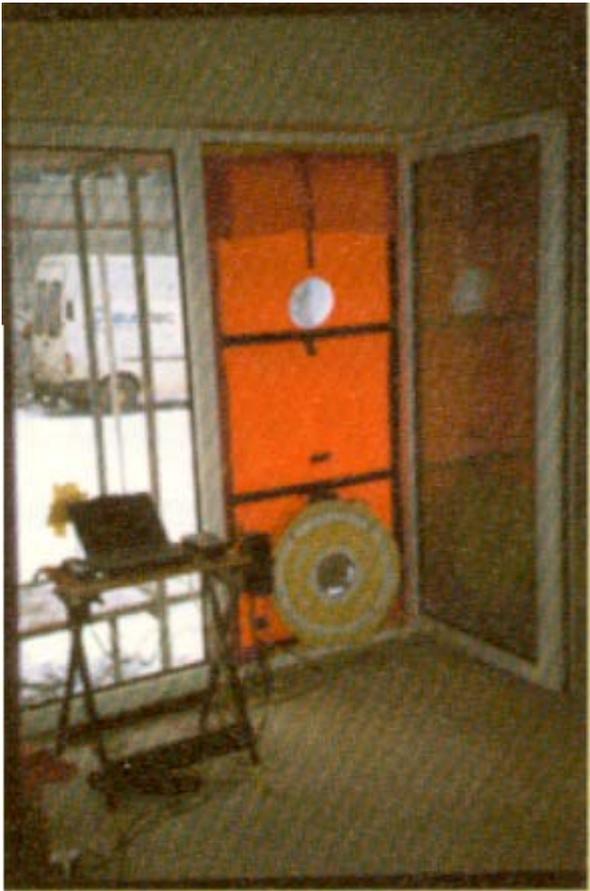


Luftdichter Anschluß von Fensterrahmen an den Innenputz von Massivwänden.

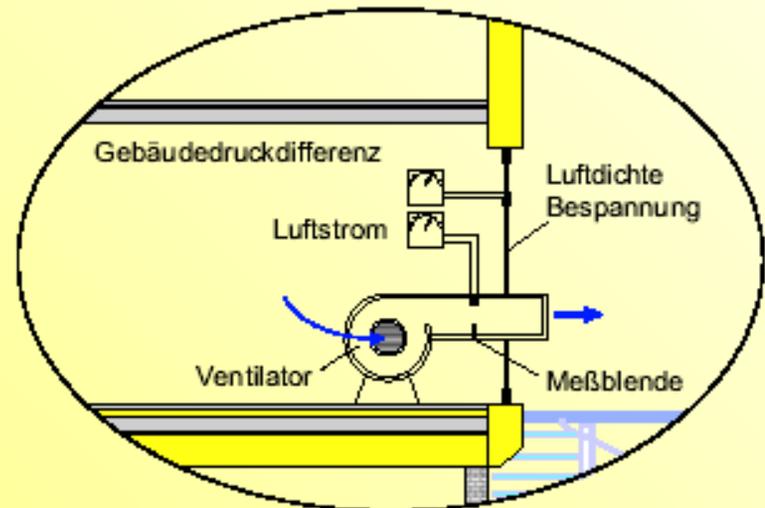
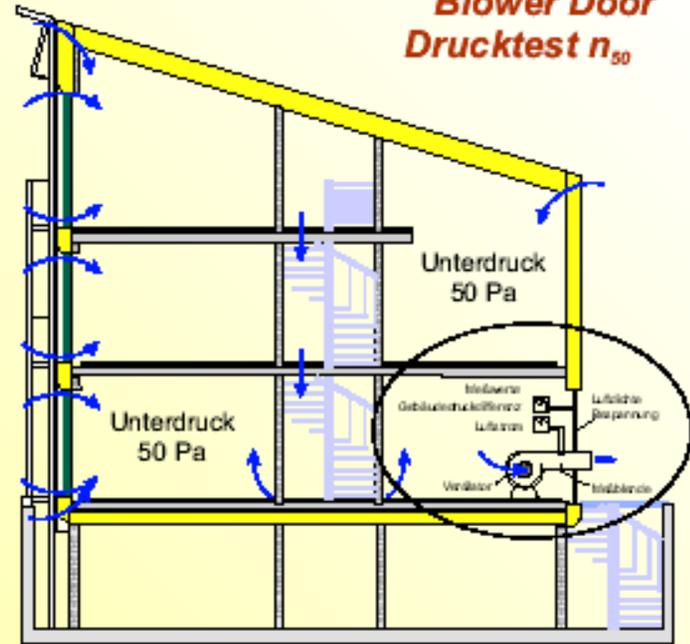
"Normalerweise" wird heute der Innenputz direkt bis an den Fensterrahmen aufgebracht: Diese Kante reißt jedoch fast immer auf.

Ein **dauerhaft dichter Anschluß** läßt sich wie folgt herstellen: In etwa 10 mm Abstand vom Rahmen wird eine Putz-endschiene gesetzt, welche dicht in den Innenputz eingebunden ist. Die Fuge zwischen der Schiene und dem Rahmen wird dauerelastisch verfüllt. Noch einfacher ist die Ausführung mit einem Kellenschnitt. Alternativen sind überputzbare Spezialklebebandet:

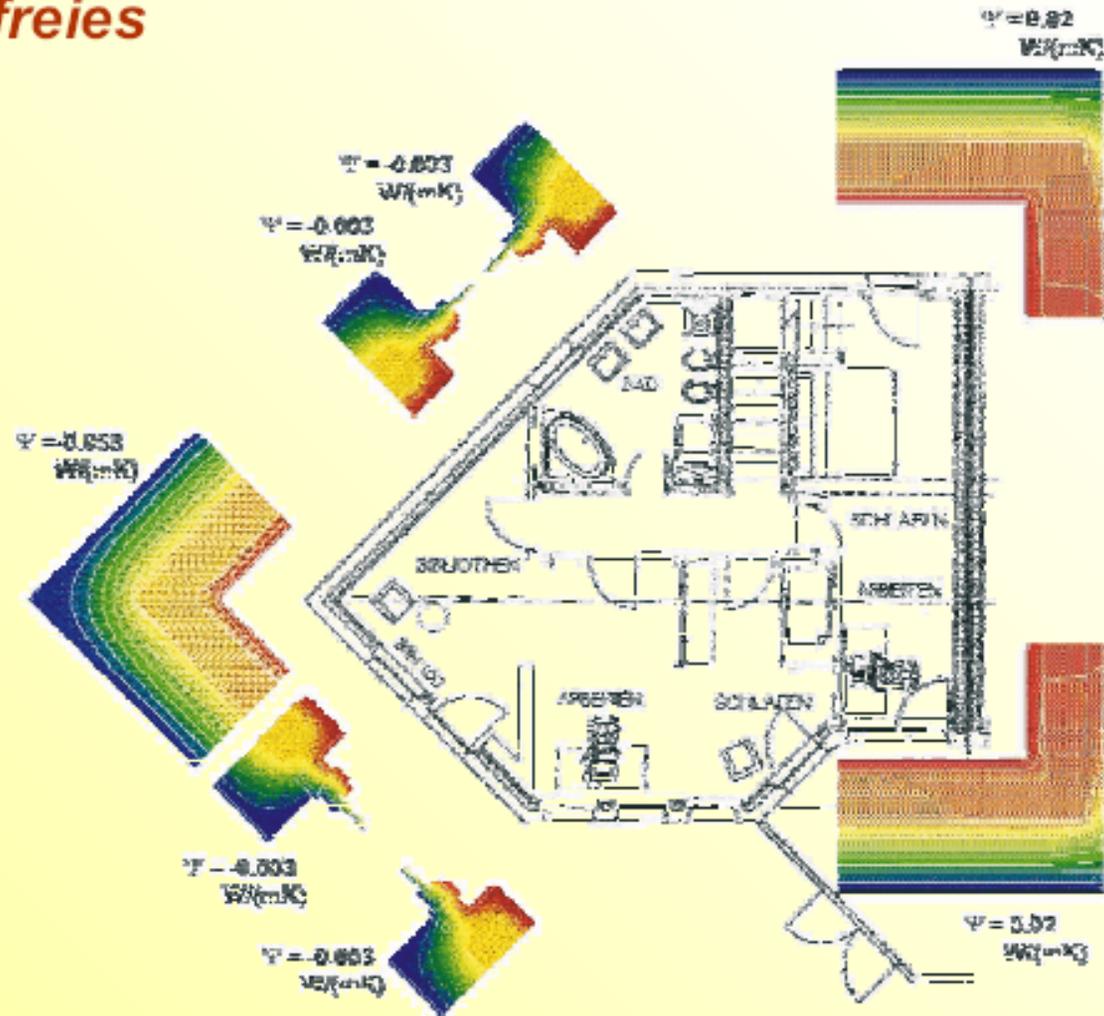
Drucktest:



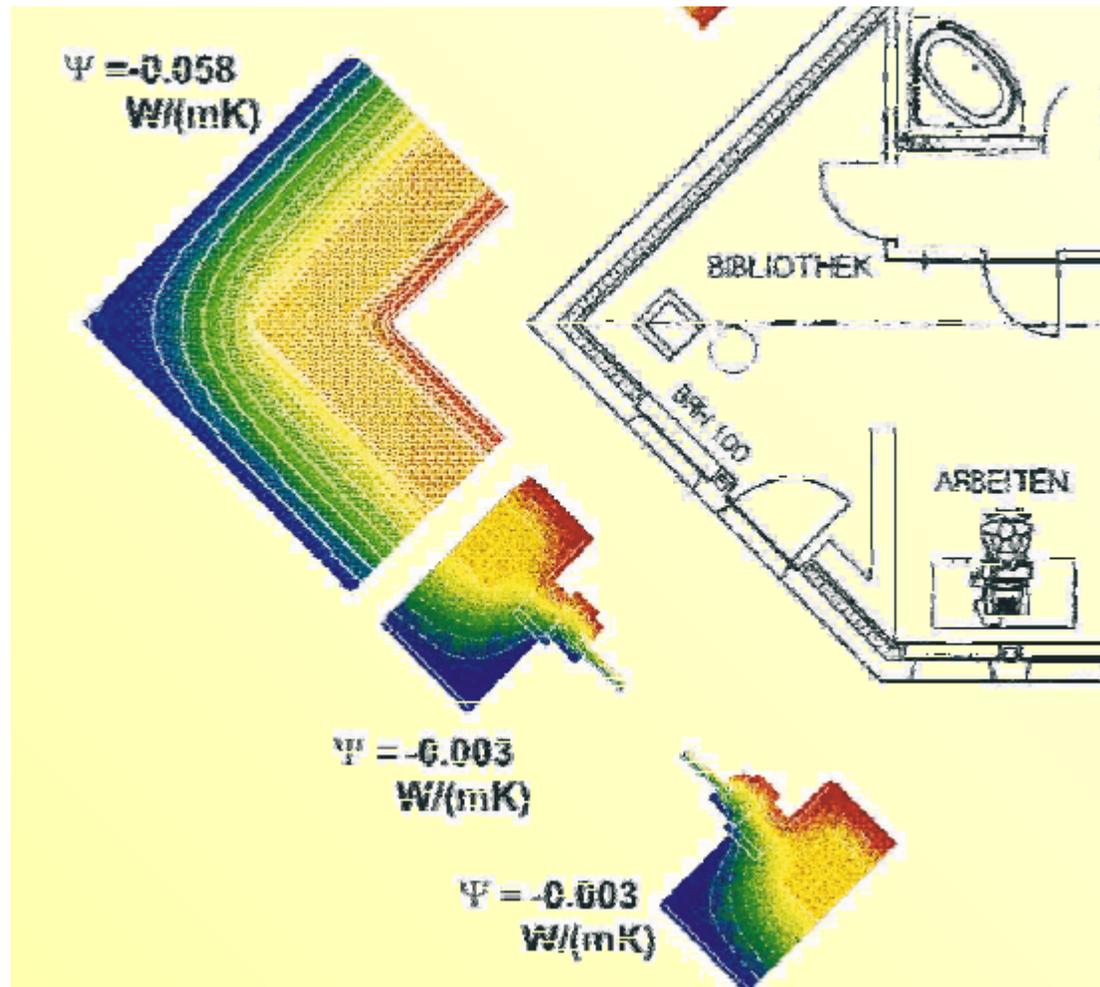
"Blower Door" Drucktest n_{50}



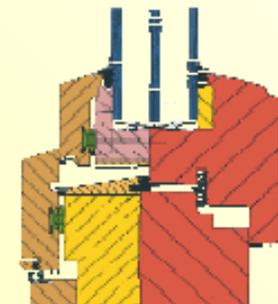
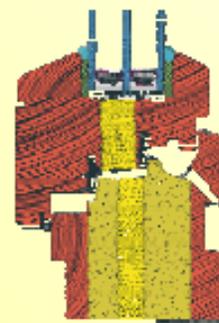
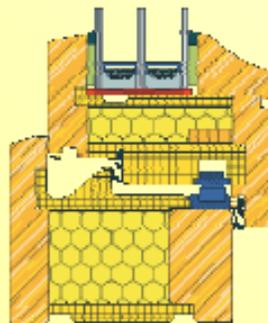
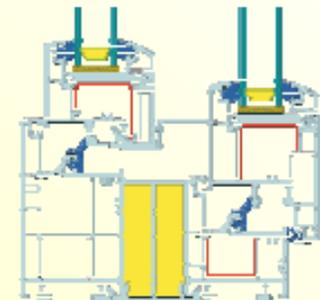
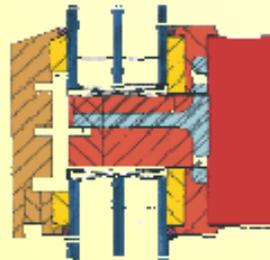
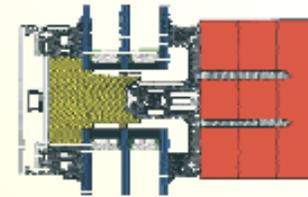
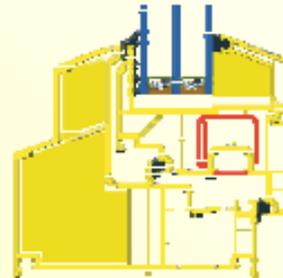
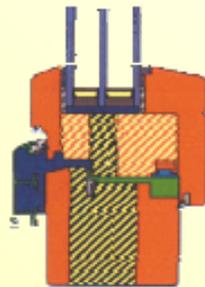
Wärmebrückenfreies Konstruieren



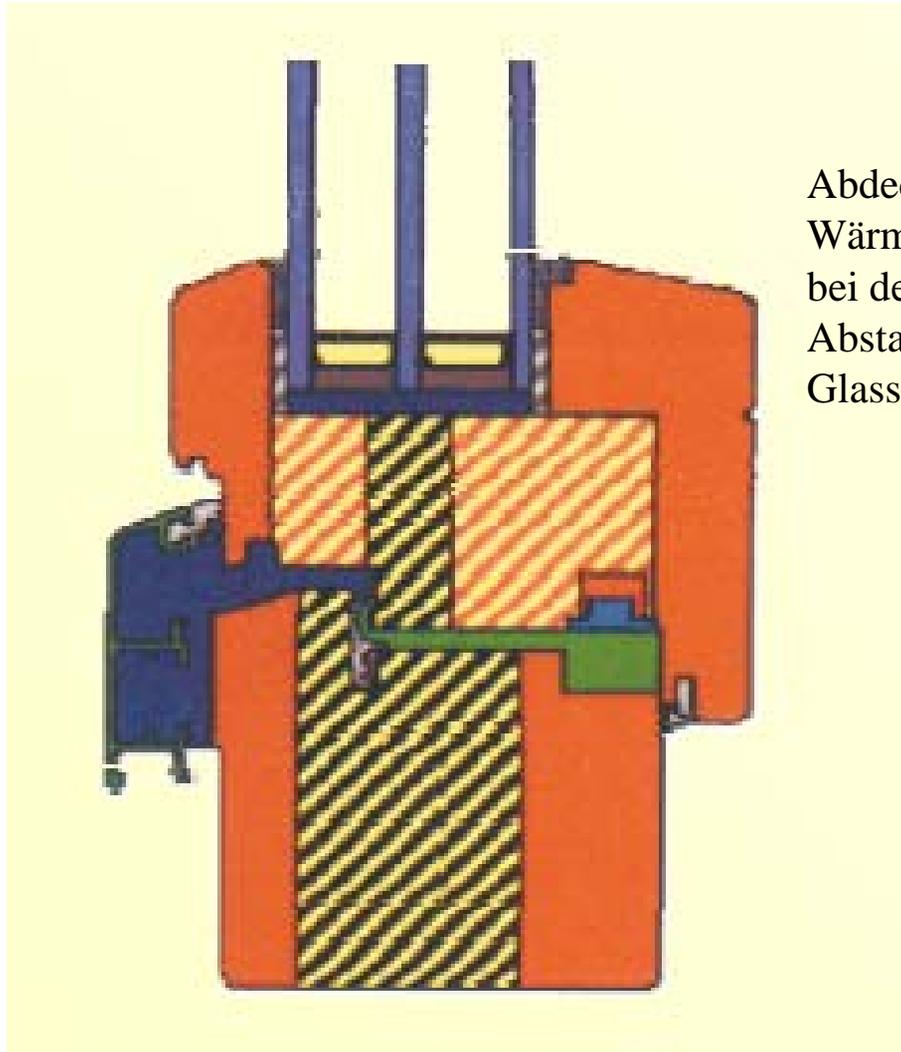
am Beispiel des
Passivhaus
"Günzburg"
mit Beton-Schalungs-Stein



Passivhaus-geeignete Fensterrahmen



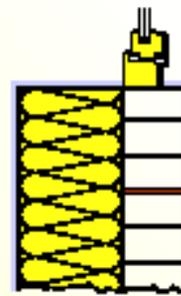
© Copyright Passivhaus Institut Darmstadt



Abdeckung der
Wärmebrücke
bei den
Abstandhaltern der
Glasscheiben

Ungünstiger Einbau

Wärmedämmender Rahmen,
außenbündig in WDVS,
nicht überdeckt



$$U_R = 0,55 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$$

$$\Psi_{1+2} = 0,03 \text{ W}/(\text{mK})$$

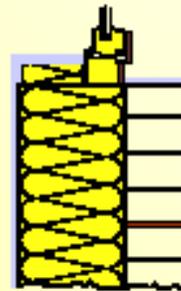
$$\Psi_{\text{Einbau}} = 0,15 \text{ W}/(\text{mK})$$

$$U_{\text{W,eff}} = 1,19 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$$



Empfohlener Einbau

Wärmedämmender Rahmen,
außenbündig in WDVS,
68 mm überdeckt



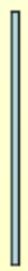
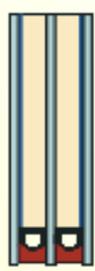
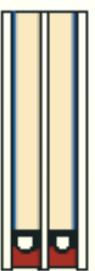
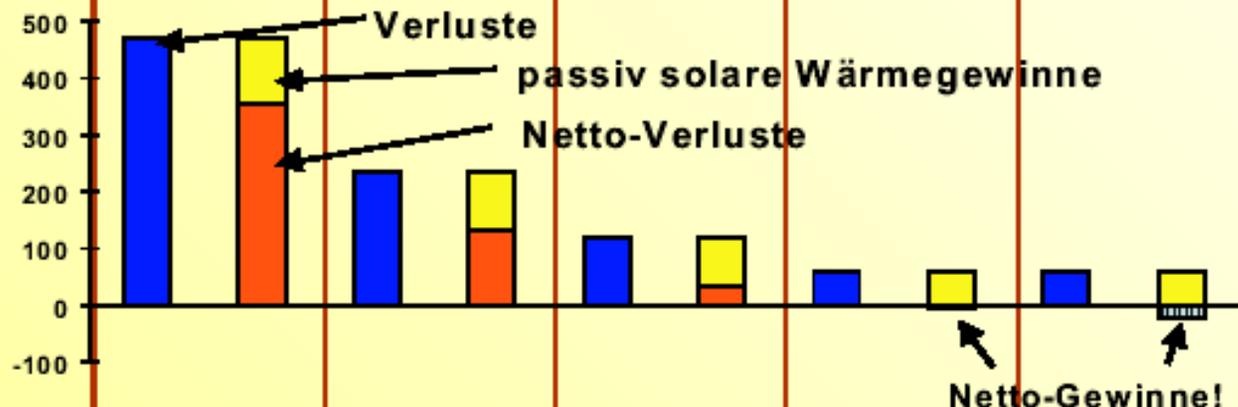
$$U_R = 0,55 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$$

$$\Psi_{1+2} = 0,03 \text{ W}/(\text{mK})$$

$$\Psi_{\text{Einbau}} = 0,005 \text{ W}/(\text{mK})$$

$$U_{\text{W,eff}} = 0,78 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$$

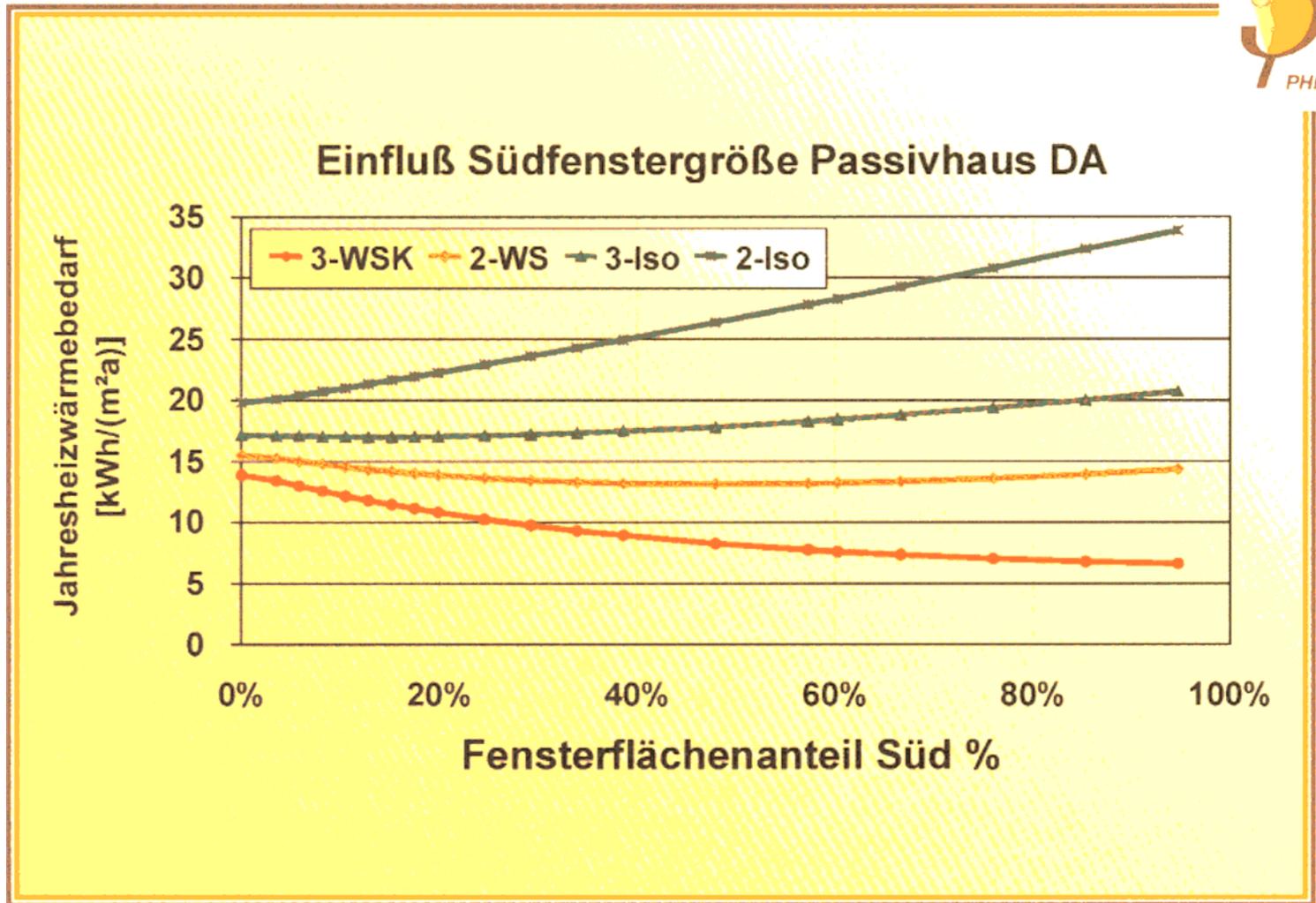


					
Verglasung	1-Scheiben	2-Scheiben	2-Wärme- schutz, Argon	3-Wärme- schutz, Krypton	3-Wärme- schutz, weiß
TYP	1fach	2Iso	2WSA	3WSK	3weißKr
U-Wert (W/(m²K))	5.60	2.80	1.40	0.70	0.70
Ob.-Temp.	-1.8 °C	9.1 °C	14.5 °C	17.3 °C	17.3 °C
g-Wert	0.85	0.76	0.63	0.49	0.60
					

Restheizwärmebedarf und Größe der Verglasung



Beispiel:
Passivhaus
Darmstadt -
Kranichstein
Südfassade



3-WSK: **Dreischeiben**- Wärmeschutz-Verglasung;
3-150: unbeschichtetes Dreischeiben-Isolierglas;

2-WS: normale **Zweischeiben** Wärmeschutzverglasung; -
2-150: Zweischeiben-Isolierglas.

Bedingungen für Komfort in Fensternähe

Für bis zu 2.8 m hohe Fenster wurde im CEPHEUS- (EU) Projekt festgelegt:

T_{Raum} - mittlere Oberflächentemperatur ≤ 3 [K] ,
d.h.: abfallende Kaltluft $\leq 0,2$ [m/s]

T_{Raum} - Lufttemperatur am Fußboden („Kaltluftsee“) ≤ 1 [K]

daraus folgt für unser Klima:

$$U_{\text{Fenster}} < 0.8 \text{ [W/m}^2\text{K]}$$

derartige Fenster gibt es jetzt:

- **Dreischeiben- Wärmeschutzglas**
- thermisch getrennte **Abstandhalter**
- speziell gedämmter FensterRahmen
- **luftdichter und wärmebrückenfreier Einbau der Fenster in die Fassade**

Messungen: abfallende Kaltluft sogar $\leq 0,06$ [m/s]

(dennoch ausreichende Durchmischung)

Frischluft - Heizung:

Wärmerückgewinnung

Wärmepumpe

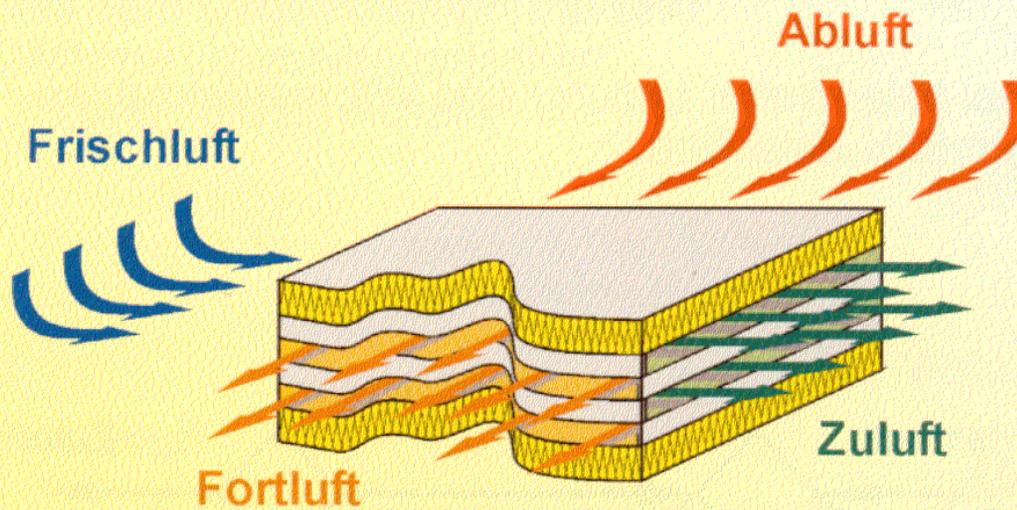
Erdwärmetauscher zur Vorwärmung

Wärmerückgewinnung



Einfacher Kreuzstrom-Wärmeübertrager:

In der Praxis sind Wärmerückzahlen um 60% erreichbar; für ein Passivhaus reicht dies i.d.R. nicht aus.



Schema:

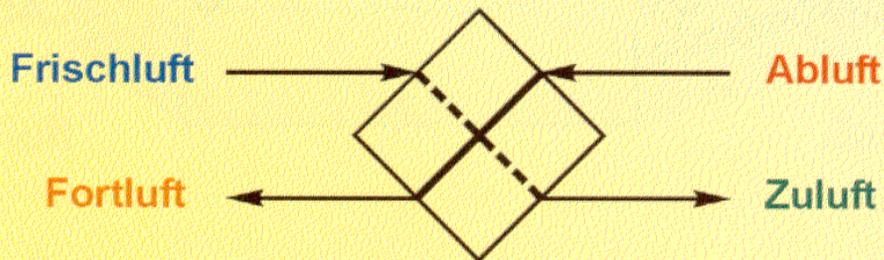
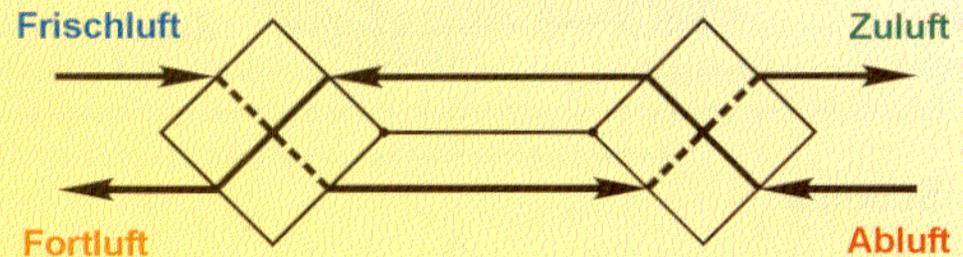


Abb. 18: Das Prinzip der Wärmerückgewinnung

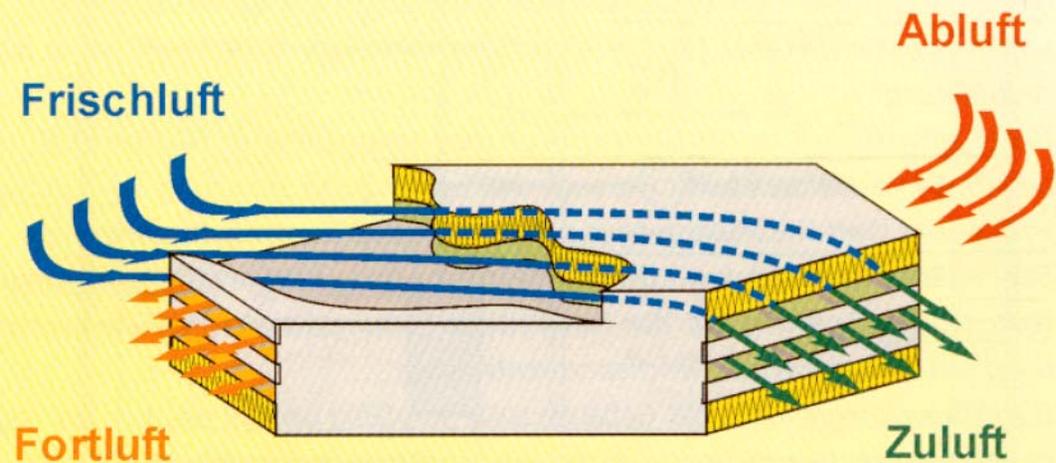
Doppelter Kreuzstrom- Wärmeübertrager:

Bei balancierter Lüftung sind Wärmerückzahlen
um 80% erreichbar.

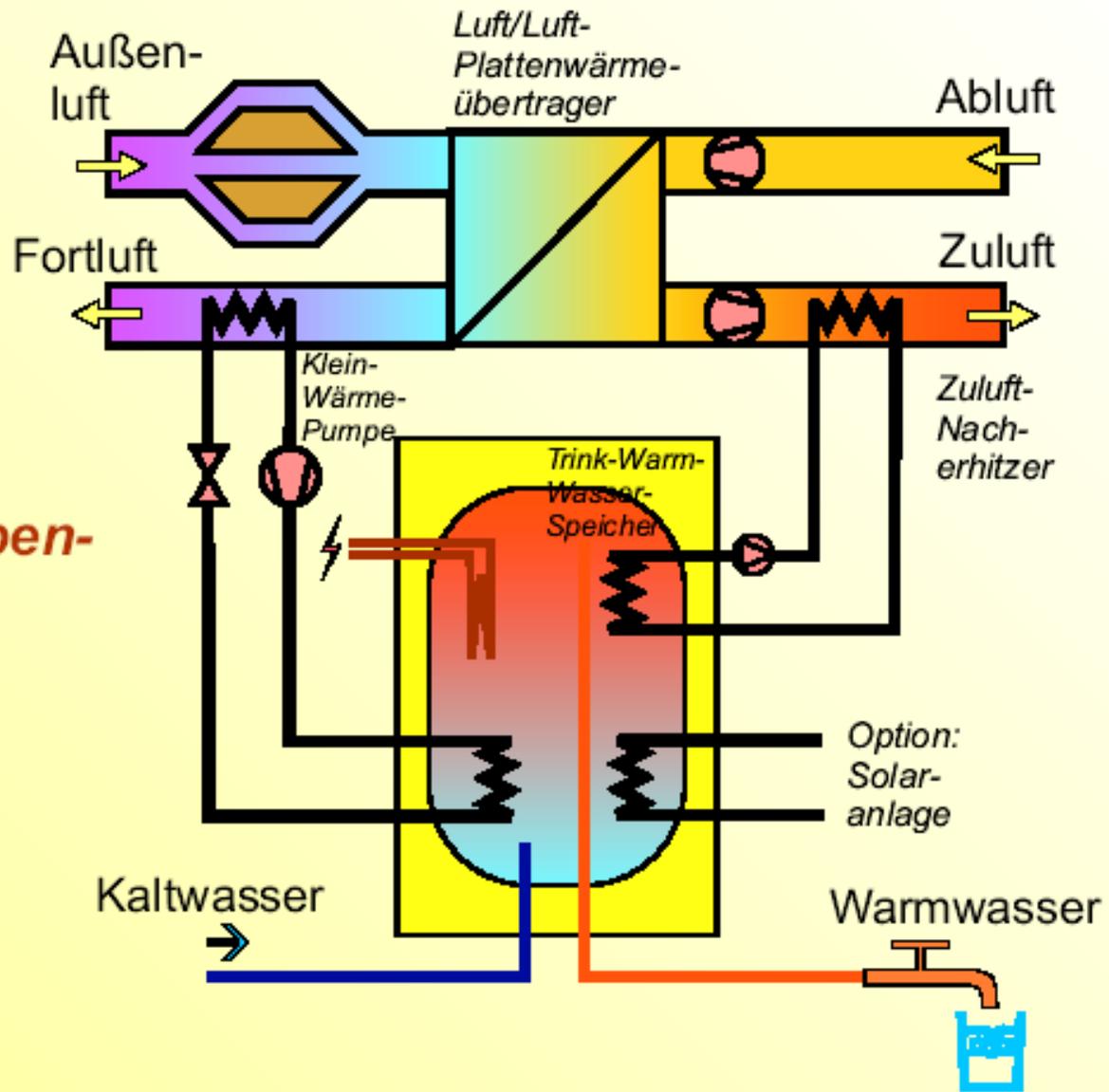


Gegenstrom-Wärmeübertrager:

Mit dem Gegenstromprinzip sind Wärmerückzahlen zwischen 75 und 95% erreichbar.



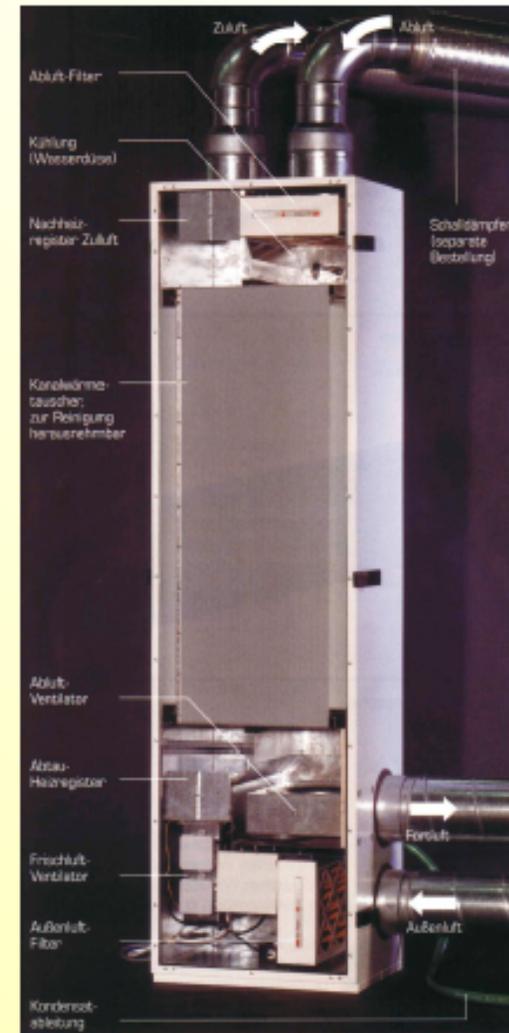
Wärmepumpen-Kompakt- aggregat



Passivhaus geeignete Wärmerück- gewinnung

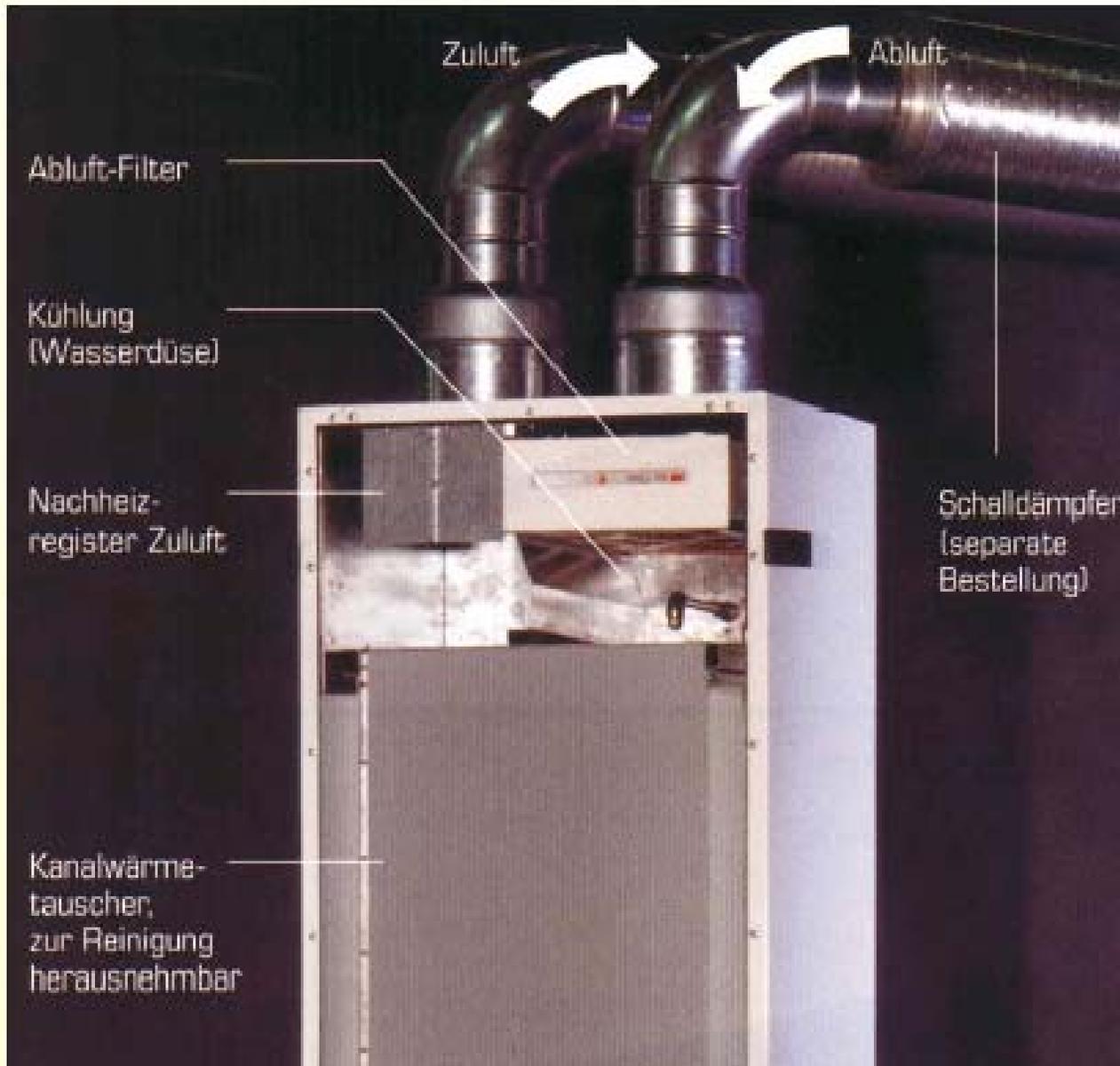
Kriterien:

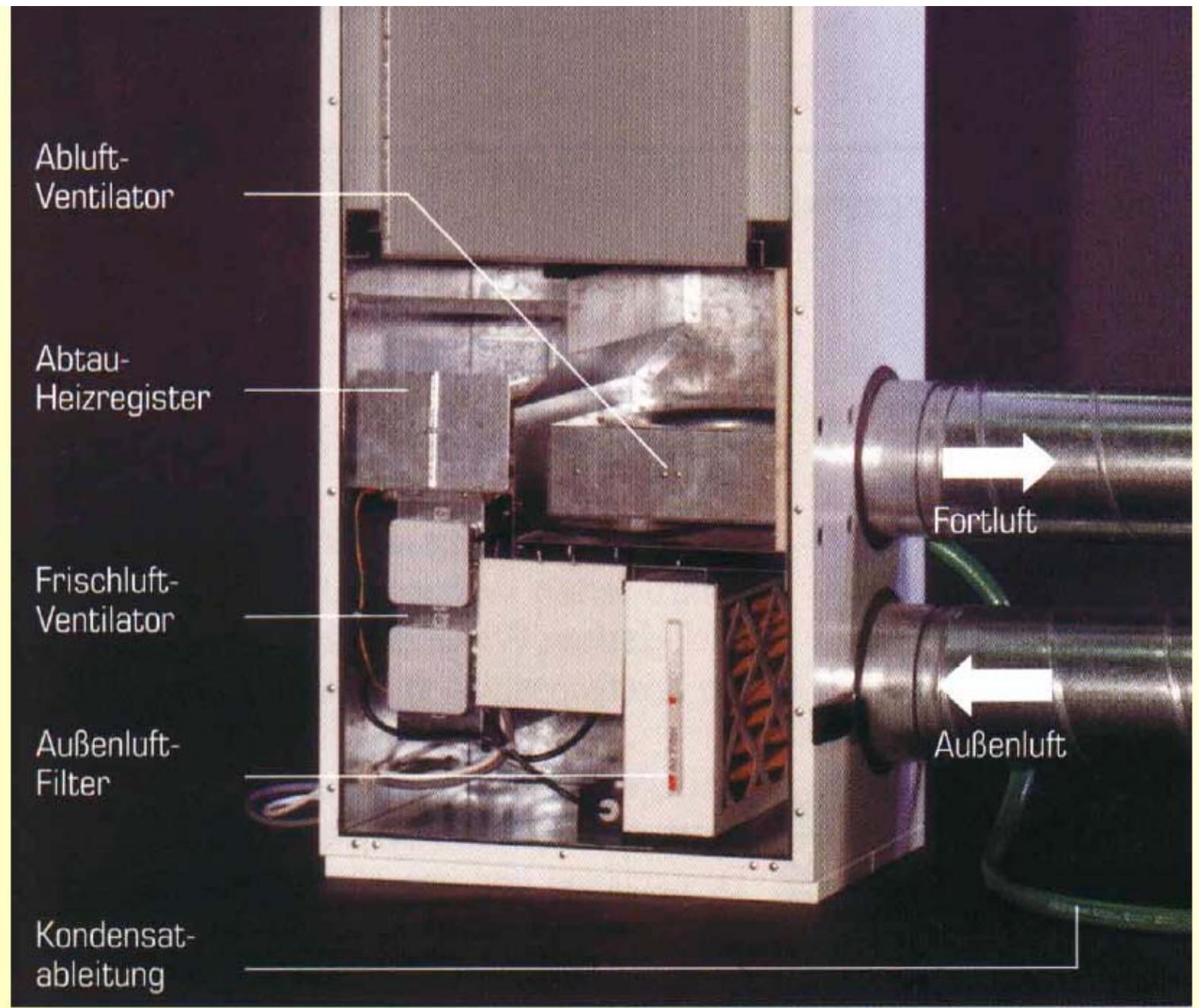
- Zulufttemperatur > 16,5 °C
(Behaglichkeit)
- η_{WRG} mindestens 75%
(Wärmebereitstellungsgrad)
- $P_d < 0,45 \text{ Wh/m}^3$
(Strom-Effizienz)
- **Dichtheit**
- **Schall in Wohnräumen < 25 dB(A)**



© Copyright Passivhaus Institut Darmstadt

Details -->





Passivhaus-Foliensatz: F15b -Wärmerückgewinnung; Detail unten, PHI-2000

Kühlen
und
wärmen
mit dem

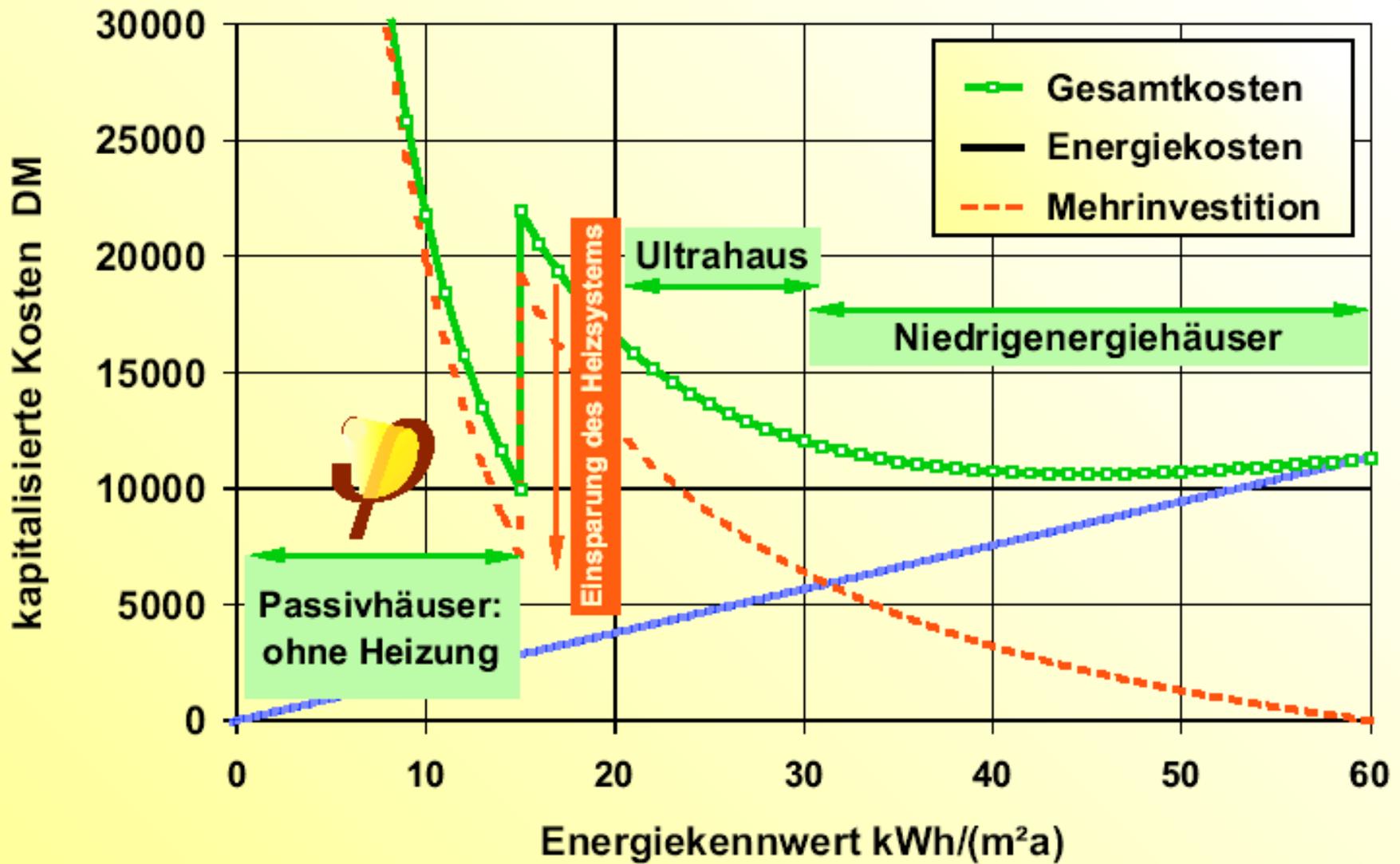
Erd-
Wärme-
tauscher



- ❖ Ein EWT mit einer Kanallänge um **40 m und einer Verlegetiefe von über 3 m liefert auch im Auslegungsfall eine Temperatur um 10°C.**

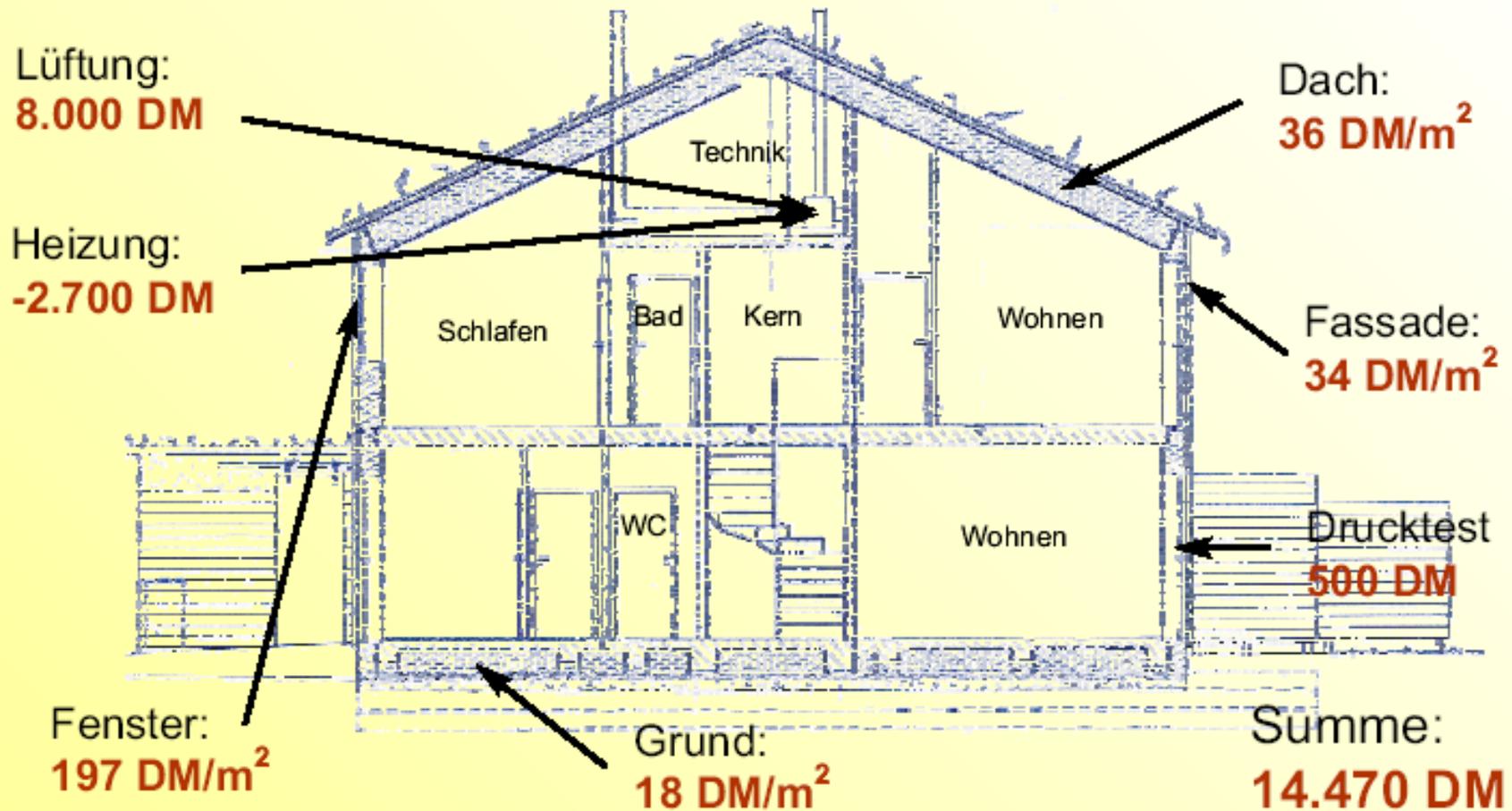
- ❖ EWT mit Kanallängen um 20 m und Verlegetiefen um 1,5 m sichern bei winterlichen Auslegebedingungen die Frostfreiheit mit **Tiefsttemperaturen zwischen 2 und 5°C.**

Kosten



Spezifische Mehrkosten gegenüber WSVO

Gebäudetyp: Reihenmittelhaus (97,3 m²)



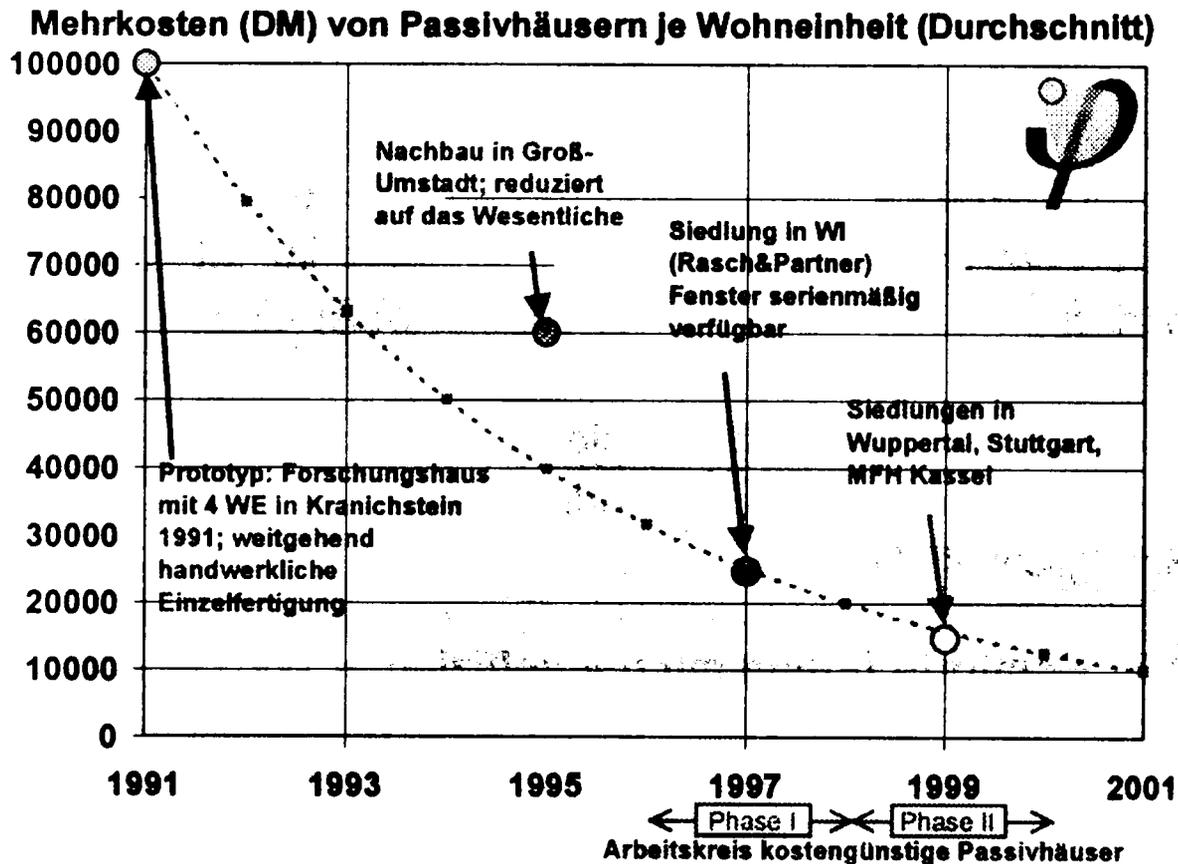


Abb.5: Die Entwicklung der Mehrkosten gebauter Passivhäuser weist mit einer Lernkurve von -10 bis -20% pro Jahr nach unten. Dies entspricht etwa den Lernkurven, die von industriellen Produkten wie Kameras oder PC"s bekannt sind.

Dabei hat die Serienfertigung von Passivhaus-Komponenten gerade erst begonnen. Weitere Lerneffekte sind daher zu erwarten; dabei ist das Passivhaus schon heute ökonomisch attraktiv.

Einige Passivhäuser



22 Reihenhäuser in Wiesbaden

Rasch&Partner

Baujahr 1997
Wohnfläche
je 87-106 m²

Konstruktion: Mischbau
tragende Struktur aus
Betonfertigteilen,
Außenwand und Dach
als Holzleichtbauelement

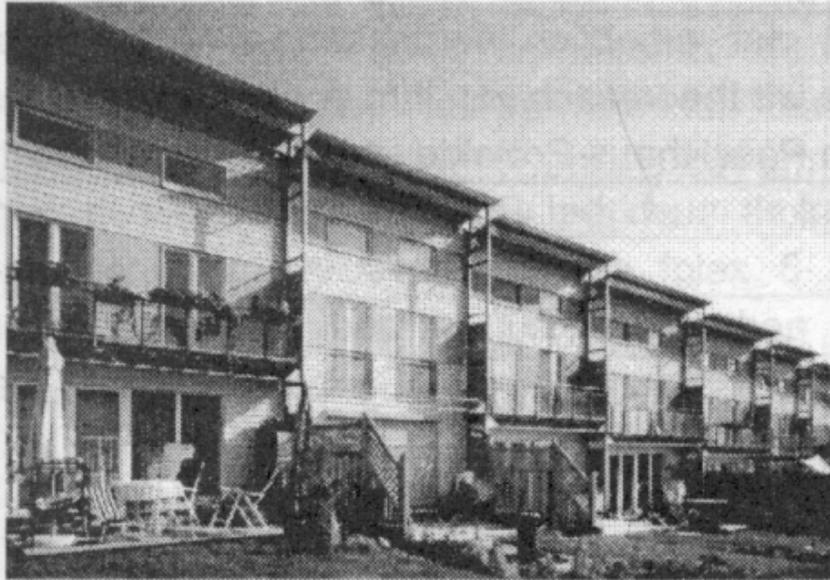
**Heizsystem: Kleine
Radiatoren an Innenwänden,**
Versorgung durch,
Fernwärme

Lüftung: Wohnungslüftung
Mechanische Lüftung mit
WRG 80% und teilweise
Erdreichwärmetauscher

Energiekennwert:
 q_H : 13,4 kWh/(m²a),
Berechnung mit LEG
und Meßergebnis

spezif. Bauwerkskosten:
ca. 2.100 DM/m²
(Wohnfläche)

Passivhaus-Siedlung in Wiesbaden



22 Passiv-Reihenhäuser in Wiesbaden
Architektur: Rasch und Mundt
Baujahr 1997 Wohnfläche je 87-106 m²
Wissenschaftliches Programm: IWU & PHI

Konstruktion: Mischbau
tragende Struktur aus Betonfertig-
teilen; Außenwand und Dach als
Holzleichtbauelement.

Heizsystem: Kleine Radiatoren
an Innenw.; Versorgung durch
Fernwärme.

Lüftung: Wohnungslüftung mit
WRG 80% und teilweise
Erdreichwärmetauscher.

spezif. Bauwerkskosten:
ca. 2.100 DM/m² Wohnfläche

Heizwärme

**Rechnung
nach PHPP**

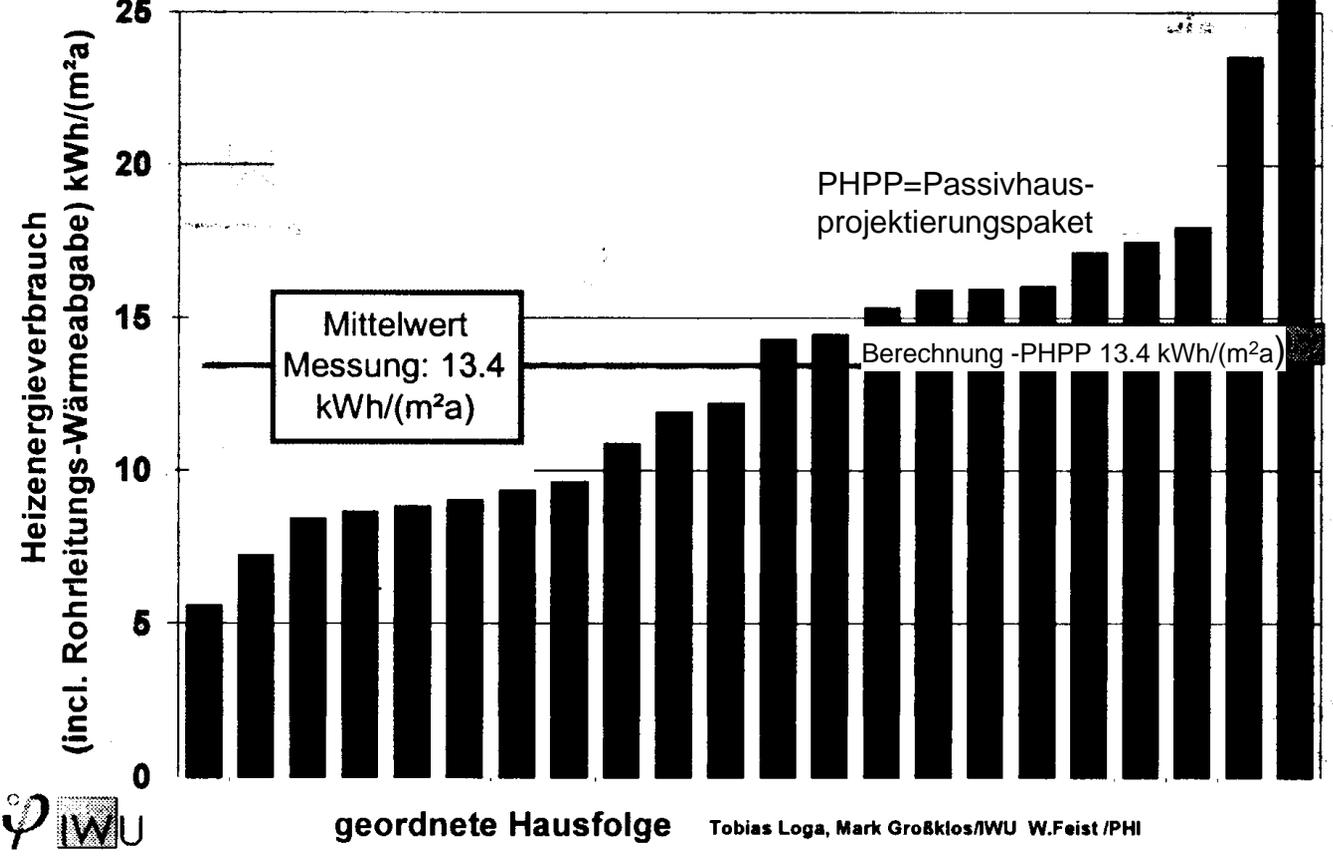
**13,4
kWh/(m²a)**

**Messung
Durchschnitt 22
Wohnungen**

**13,4
kWh/(m²a)**

Heizenergieverbrauch der Passivhaus-Siedlung in Wiesbaden

22 Häuser Passivhaussiedlung Wiesbaden, Heizenergie im Jahr 1998/99 (Baujahr 1997, durchs. 103 m² Wohnfläche)



Tobias Loga, Mark Großklos/IWU W.Feist /PHI

Der Mittelwert des gemessenen Heizenergieverbrauchs im Meßzyklus 1998/99 lag bei **13,4 kWh/(m²a)**. Dieser Wert ist trifft ziemlich genau den rechnerischen Heizwärmebedarf nach dem **Passivhaus-Projektierungs-Paket**.

Quelle: Feist, W.: „ Passivhaus-faktor 10 zum Anfassen “; in 4.Passivhaustagung-2000;/PHT4-00;/p.11-19 ; Abb.2; p.12



Passivhaus-Bürogebäude in Cölbe bei Marburg (Hessen)

Architekt: Christian Stamm/Stadtallendorf

Haustechnik: IGH GmbH/ Marburg

Bauphysik: PHI; Messungen: Uni Marburg.

Förderung durch SolarBau / BMBF

Baujahr 1997/98 Nutzfläche 2180 m²

Konstruktion: Mischbau
tragende Struktur als
Stahlbeton-Skelett,
Außenwände: Holz-
Doppel-T-Leichtbauträger,
Dach: Holzleichtbau-
Fertigelemente auf
Leimholzbinder

Heizsystem: Zuluftheizung
Solaranlage, Restheizung:
Kleinst-BHKW

Lüftung:
Mechanische Lüftung mit
WRG >80% (Dreifach-
Kreuzstrom) und
Erdreichwärmetauscher

Energiekennwert:
 q_H : ca.14 kWh/(m²a),
Berechnung mit PHPP,
Meßwerte um 10 kWh/(m²a)

spezif. Bauwerkskosten:
ca. 2400 DM/m² (Nutzfl.)



Passivhaus-Foliensatz:F20 -PH Cölbe , PHI-2000



**6 Reihenhäuser
Batschuns
(Vorarlberg /
Österreich)**

Architekt:
Walter Unterrainer

Haustechnik:
IBN-Ing.-Büro
Naßwetter

Baujahr 1998

Wohnfläche
ges. 780 m²

**Konstruktion:
Massivbau**

18 cm Poroton und
Holzelemente mit 18 cm
PUR-Dämmung

Heizsystem:

Zuluftheizung mit
Luft-/Luftwärmepumpe,
je 5 m² Solarkollektoren,
500 ℓ WW-Speicher mit
elektr. Heizeinsatz

Lüftung:

Mechanische Lüftung
mit WRG ca. 85% und
Erdreichwärmetauscher

Energiekennwert:

q_H : 8,0 9,6 kWh/(m²a),
Simulation mit Helios

spezif. Bauwerkskosten:
ca. 19.500 ATS/m² (WNF)



**Einfamilien-
Passivhaus
Frastanz-
Amerlügen
(Vorarlberg /
Österreich)**

Planung: Baumeister
Richard Caldonazzi

Haustechnik:
Ing. Chr. Drexel

Baujahr 1997
Wohnnutzfläche
180 m²

Konstrukt.: Massivbau
18 cm Ziegel, WDVS aus
Kork (35 cm), Innenwände
aus Lehm

**Heizsystem:
Zuluftheizung**
17 m² fassadenintegrierter
Kollektor, 3000 l Puffer;
500 l WW-Speicher

Lüftung:
Mechanische Lüftung mit
WRG >75% (Gegenstrom)
und Erdreichwärmetauscher

Energiekennwert:
q_H: ca.10 kWh/m²a,
Simulation TRNSYS

spezif. Bauwerkskosten:
ca. 2800 DM/m² (Wohnfl.)



Einfamilien-Passivhaus in Bretten

Architektur: oehler + arch kom

Baujahr 1998 Wohnfläche 165 m²

Konstruktion:

Holzkonstruktion mit erster
passivhaustauglicher
Pfosten-Riegel-Fassade

Heizsystem:

Zuluftheizung mit Gas

Lüftung:

Mechanische
Wohnungslüftung mit
WRG 83% und
Erdreichwärmetauscher

Energiekennwert:

q_H : 12,3 kWh/(m²a),
Berechnung PHPP

spezif. Bauwerkskosten:

565,- DM/m³ (ohne Solar-
gerüst, Garage, Balkon,
Eingangsvordach)



Passivhaus-Foliensatz:F23 -PH Bretten , PHI-2000



Reihenhäuser in Bühl/Neusatz

Architektur: Dipl.-Ing. Günter Früh / Lichtenau

Baujahr 1998 Wohnfläche 147 + 133 + 186 m²

Konstruktion:

Betonschalungsstein

Heizsystem:

Wärmepumpen-
Kompaktaggregat

Lüftung: Wohnungs- lüftung

Mechanische Lüftung
mit WRG 60% und
Erdreichwärmetauscher

Energiekennwert:

q_H : 9.5 bis 15 kWh/(m²a)

Berechnung mit PHPP



32 Reihenhäuser in Hannover-Kronsberg

Rasch & Partner

Baujahr 1998 Wohnfläche je 97-118 m²

Konstruktion: Mischbau
tragende Struktur aus
Betonfertigteilen
Außenwand und
Dach als Holzleicht-
bauelement

**Heizsystem: Zuluft-
nacherwärmung +
Badheizkörper**
Versorgung durch
Fernwärme

Lüftung: Wohnungslüftung
Mechanische Lüftung mit
WRG 80%

Energiekennwert:
 q_{Ht} : ca. 15 kWh/m²a,
Berechnung mit PHPP

spezif. Bauwerkskosten:
ca. 1.900 DM/m²
(Wohnfläche)

Abb.2: Blick auf die Südfassade des ersten realisierten Passivhauses im Dannstädter Stadtteil Kranichstein (Architekten: Prof. Bott/Riddert/Westenneyer). Dieses Mehrfamilienhaus hat vier reihenhausähnlich angeordnete Wohneinheiten, die seit Oktober 1991 bewohnt werden. Das Projekt wurde vom Hessischen Umweltministerium gefördert. Der mittlere gemessene Heizwärmeverbrauch beträgt seit drei Jahren **weniger als 10 kWh/(m²a)** {Feist/Wemer 1994b}.
Foto: Hessisches Umweltministerium.

