

Anlage III

Anforderungen an eine Gebäude-Dokumentation für die Qualifikation als Passivhaus-Planer / -Berater

(vgl. Abschnitt 3 der Prüfungsordnung)

Eine Gebäude-Dokumentation kann bei einer vom Passivhaus Institut (im Folgenden PHI) akkreditierten Prüfstelle für Gebäude-Dokumentationen eingereicht werden. Gebäude-Dokumentationen können in den Sprachen verfasst sein, die die jeweilige Prüfstelle anbietet. Jede Gebäude-Dokumentation muss zusätzlich eine Zusammenfassung in englischer Sprache beinhalten (vgl. Kapitel 1 der Beispieldokumentation).

Die Prüfstelle behält sich vor, Änderungen an der eingereichten Gebäude-Dokumentation oder zusätzliche Informationen zu verlangen, die dazu dienen, die Tauglichkeit des jeweiligen Passivhaus-Projektes als Grundlage für die Qualifizierung des Antragstellers zu belegen.

Die Gebäude-Dokumentation wird als Ganzes in Form einer pdf-Datei auf der Internetseite www.passivhausplaner.eu veröffentlicht. Das PHI behält sich vor, die Dokumentation unter Angabe der Urheberschaft zusätzlich für eigene Veröffentlichungen im Internet oder als Druckschrift zu verwenden.

1. Anforderungen an das dokumentierte Gebäude

Das dokumentierte Gebäude muss folgende Bedingungen erfüllen:

- Das Gebäude ist fertiggestellt und wird genutzt.
- Das Gebäude ist ein vom PHI oder von einer durch das PHI akkreditierten Zertifizierungsstelle zertifiziertes Passivhaus, eine zertifizierte EnerPHit-Sanierung oder ein zertifiziertes PHI-Energiesparhaus.
- Das Gebäude ist in der Passivhaus-Datenbank eingetragen (www.passivhausprojekte.de). Die Verantwortlichkeit für den Eintrag des dokumentierten Gebäudes in dieser Datenbank liegt beim Antragsteller.

2. Einzureichende Unterlagen

Folgende Unterlagen sind einzureichen:

- Antrag „zertifizierter Passivhaus-Planer/- Berater“, Qualifikation über Gebäude-Dokumentation (Anlage IIa). Dieser Antrag muss als zweimal unterschriebenes Original eingereicht werden.
- Eine detaillierte Beschreibung des Gebäudes gemäß Anlage III als pdf- und Word-Datei (alternativ im rtf-Dateiformat).
- Die der Zertifizierung zugrunde liegende PHPP-Berechnung für das dokumentierte Gebäude in elektronischer Form (nicht gesperrte Excel-Datei).
- Eine Kopie des Gebäude-Zertifikates mit Angabe der Zertifizierungsstelle.
- Die Projekt ID-Nummer, unter der das Gebäude in der Passivhaus-Datenbank (www.passivhausprojekte.de) geführt wird.
- Sollten Antragsteller und Entwurfsverfasser nicht identisch sein, ist eine formlose schriftliche Bestätigung des Entwurfsverfassers einzureichen, dass der Antragsteller für die Passivhaus-relevanten Planungsteile verantwortlich war (vgl. Abschnitt 3 der Prüfungsordnung).
- Die Kopie eines Ausbildungsnachweises, falls der Antragsteller den Titel „zertifizierter Passivhaus-Planer“ erwerben möchte (vgl. Abschnitt 7 der Prüfungsordnung).

3. Anforderungen an eine Gebäude-Dokumentation

Für die Gebäude-Dokumentation wird die Gliederung der Beispiel-Dokumentation in Abschnitt 4 dieser Anlage vorgeschlagen. Die Reihenfolge und das Layout der Zusammenfassung (Kapitel 1) dieser Beispiel-Dokumentation sind beizubehalten. Ab Kapitel 2 können Reihenfolge und Layout verändert werden.

Die Dokumentation darf keine Werbeanzeigen und keine Logos von Firmen oder Marktteilnehmern enthalten. Die Bezeichnungen von Produkten und ihre Hersteller dürfen in der Dokumentation (jeweils einmal) genannt werden. Bis auf die Links zu Internetseiten der verantwortlichen Projektbeteiligten (vgl. Kapitel 1.3) darf die Dokumentation keine Links zu anderen Internetseiten enthalten.

Die in der folgenden Checkliste aufgeführten Daten müssen in der Gebäude-Dokumentation enthalten sein; weitere Daten dürfen aufgenommen werden, sofern sie für das Passivhaus relevant sind.

Checkliste für die Gebäude-Dokumentation

1	Ansichtsfoto des Gebäudes	
1.1	Gebäudedaten	
1.2	Kurzbeschreibung der Bauaufgabe	
1.3	Verantwortliche Projektbeteiligte, Zertifizierungs-ID, Passivhaus-Datenbank-ID, Name und Unterschrift des Verfassers der Gebäude-Dokumentation	
2	Ansichtsfotos aller zugänglichen Seiten und exemplarisches Innenfoto	
3	Schnittzeichnung mit Beschreibung – Stand: Ausführungsplanung	
4	Grundrisse mit Beschreibung (bei Großobjekten reichen die typischen Grundrisse)	
5.1	Beschreibung der Konstruktion der Bodenplatte / Kellerdecke inkl. Dämmung (ggf. mit Anschlusspunkten zu Außen- und Innenwänden)	
	... mit mindestens einer Zeichnung oder einem Ausführungsfoto	
5.2	Beschreibung der Konstruktion der Außenwände inkl. Dämmung (ggf. mit Anschlusspunkten zu anderen Wänden)	
	... mit mindestens einer Zeichnung oder einem Ausführungsfoto	
5.3	Beschreibung der Konstruktion des Daches / der Dachgeschossdecke inkl. Dämmung mit Anschlusspunkten zu Außen- und ggf. Innenwänden	
	... mit mindestens einer Zeichnung oder einem Ausführungsfoto	
5.4	Beschreibung der Fensterschnitte inkl. Einbauzeichnung (erkennbarer Maßstab) mit Angabe von:	
	- Fabrikat Fenster(-rahmen) / Fenstertyp ; Rahmen-U-Wert U_f	
	- Bauart der Verglasung (zum Bsp: 3-fach WSVG); Glas-U-Wert U_g ; g-Wert	
	... mit mindestens einer Zeichnung oder einem Ausführungsfoto	
6	Beschreibung der luftdichten Hülle (Angabe der Bauteile/Schichten, die die luftdichte Ebene im Bereich des Dachs, der Außenwand und des Bodens bilden und wie diese miteinander verbunden sind)	
	Darstellung des Drucktestergebnisses (ggf. Nennung der ausführenden Person/Firma)	
	... mit mindestens einer Zeichnung oder einem Ausführungsfoto	

Tabelle wird fortgesetzt

...

... Fortsetzung der Tabelle

7.1	Beschreibung der Planung des Lüftungs-Kanalnetzes (exemplarisch) (Ansaugung der Frischluft im Bereich von ...; Zuluft in den Räumen A,B und C; Überströmung im Bereich Z; Abluft aus X und Y; Erdwärmeübertrager vorh.? ...)	
	... mit mindestens einer Zeichnung oder einem Ausführungsfoto	
7.2	Beschreibung der Planung der (Lüftungs-)Zentraleinheit / des Lüftungsgerätes mit Angabe von:	
	- Fabrikat Lüftungsanlage	
	- eff. Wärmebereitstellungsgrad	
	- Elektroeffizienz (in Wh/m ³)	
	... mit mindestens einer Zeichnung oder einem Ausführungsfoto	
8	Beschreibung der Wärmeversorgung (exemplarisch)	
	... mit mindestens einer Zeichnung oder einem Ausführungsfoto	
9	Kurzdokumentation wichtiger PHPP-Ergebnisse (mindestens die im Tabellenblatt „Nachweis“ enthaltenen Informationen) Hinweis: Häufig wird von der Möglichkeit Gebrauch gemacht, den relevanten Bereich des PHPP-Tabellenblatts „Nachweis“ zu kopieren und an der entsprechenden Stelle der Objektdokumentation einzufügen. Wählt der Autor diese Vorgehensweise, so ist er dazu verpflichtet, die Einverständnis zur Veröffentlichung der (persönlichen) Adressdaten des Bauherrn einzuholen (Merke: die Objektdokumentation wird unmittelbar nach Abschluss der Zertifizierung, bzw. der Verlängerung auf www.passivhausplaner.eu in der Rubrik "Muster-Passivhausprojekt" unter "Objektdokumentationen" veröffentlicht). Auf Wunsch des Bauherrn kann in der Objektdokumentation auf die Angabe "Straße des Objekts" („Ort“ des Objekts ist jedoch anzugeben!) und auf seine namentliche Nennung verzichtet werden.	
10.1	Baukosten: €/m ² Wohn-/Nutzfläche (Kostengruppe 300 bis 400)	
10.2	Bauwerkskosten	
11	<i>Falls vorhanden:</i> Erfahrungen (Urteil der Nutzer, tatsächliche Verbrauchswerte)	
12	<i>Falls vorhanden:</i> Hinweis auf vorliegende Untersuchungen/Veröffentlichungen zu diesem Projekt	

4. Beispiel einer Gebäude-Dokumentation

Project Documentation Gebäude-Dokumentation

Platzhalter für Siegel
"Zertifiziertes PH"
oder
"EnerPHit-Modern."

das Siegel erhalten
Sie nach Antragstellung

1 Abstract / Zusammenfassung



Reihenhaus mit vier Einheiten in Darmstadt Kranichstein

1.1 Data of building / Gebäudedaten

Year of construction / Baujahr	1991	Space heating / Heizwärmebedarf	14 kWh/(m ² a)
U-value external wall / U-Wert Außenwand	0,138 W/(m ² K)	Primary Energy Renewable (PER) / Erneuerbare Primärenergie (PER)	30 kWh/(m ² a)
U-Wert Kellerdecke / U-Wert Kellerdecke	0,131 W/(m ² K)	Generation of renewable Energy / Erzeugung erneuerb. Energie	135 kWh/(m ² a)
U-Wert Dach / U-Wert Dach	0,108 W/(m ² K)	Non-renewable Primary Energy (PE) / Nicht erneuerbare Primärenergie (PE)	54 kWh/(m ² a)
U-Wert Fenster / U-Wert Fenster	0,78 W/(m ² K)	Pressurization test n ₅₀ / Drucktest n ₅₀	0,2 h-1
Wärmerückgewinnung / Wärmerückgewinnung	80 %		
Besonderheiten / Besonderheiten	Sonnenkollektoren für die Warmwasserbereitung, Grauwasser- Wärmerückgewinnung, Regenwassernutzung		

1.2 Brief Description ...

Passive House Darmstadt Kranichstein

This terraced housing is the first Passive House building to be realised and used normally. The four terraced housing units each with a living area of 156 m² and identical floor layouts was built in the development area K7 of the City of Darmstadt and is an exactly south-facing solid construction with a full basement, with large accommodation units, each of which extends over three storeys. These houses have been inhabited since 1991 by the same private clients who commissioned the architectural firm Bott/Ridder/Westermeyer with its planning in 1990 [Feist 1988].

50% of the additional construction costs for the project and its scientific evaluation were provided by the Hesse State Government. The objective of this research project first and foremost was to examine the extent to which energy consumption in residential buildings could be reduced through passive measures alone. After the evaluation of more than 16 years of monitoring, the building has met the expectations with regard to energy efficiency. Compared with average residential buildings in Germany, the measured heat consumption was reduced to approximately one-twentieth, and the total consumption of final energy for space heating, hot water and domestic electricity was reduced to roughly ten percent of the usual values.

1.2 Kurzbeschreibung der Bauaufgabe

Passivhaus Darmstadt Kranichstein

Dieses Reihenhhaus ist das erste realisierte und normal bewohnte Passivhaus. Die vier Reihenhauseinheiten mit je 156 m² Wohnfläche und identischen Grundrissen wurden im Baugebiet K7 der Stadt Darmstadt als exakt südorientierter, voll unterkellertes Massivbau mit großen, über jeweils drei Geschosse gehenden Wohnungen realisiert. Die Häuser werden seit 1991 von den gleichen vier privaten Baufamilien bewohnt, die 1990 den Auftrag zur Planung an das Architekturbüro Bott/Ridder/Westermeyer erteilt haben. [Feist 1988]

Die baulichen Mehrkosten des Projektes und die wissenschaftliche Auswertung wurden zu 50% durch die hessische Landesregierung gefördert. Die Zielsetzung des Forschungsprojektes war es vor allem, zu überprüfen, wie weit der Energieverbrauch in Wohngebäuden durch ausschließlich passive Maßnahmen gesenkt werden kann. Nach der Auswertung von mehr als 16 Messjahren erfüllt das Haus die Erwartungen in Bezug auf die Energieeffizienz. Gegenüber dem Durchschnitt deutscher Wohngebäude ist der gemessene Heizenergieverbrauch auf ungefähr ein Zwanzigstel gesenkt, der gesamte Endenergieverbrauch für Heizung, Warmwasser und Haushaltsstrom auf ungefähr 10% der üblichen Werte.

1.3 Responsible project participants / Verantwortliche Projektbeteiligte

Architect / Entwurfsverfasser	Prof. Dr. Bott, Ridder, Westermeyer http://www.uni-stuttgart.de/si/stb/	
Implementation planning / Ausführungsplanung /	Prof. Dr. Bott, Ridder, Westermeyer http://www.uni-stuttgart.de/si/stb/	
Building systems / Haustechnik	Ingenieurbüro inPlan, Dipl.-Ing. Norbert Stärz http://www.inplan-pfungstadt.de/	
Structural engineering / Baustatik		
Building physics / Bauphysik	Prof. Dr. Wolfgang Feist, Passive House Institute Darmstadt www.passiv.de	
Passive House project planning / Passivhaus-Projektierung	Prof. Dr. Wolfgang Feist, Passive House Institute Darmstadt www.passiv.de	
Construction management / Bauleitung		
Certifying body / Zertifizierungsstelle	Passivhaus Institut Darmstadt www.passiv.de	
Certification ID / Zertifizierungs ID	Project-ID (www.passivehouse-database.org) Projekt-ID (www.passivhausprojekte.de)	0195
Author of project documentation / Verfasser der Gebäude-Dokumentation	Passivhaus Institut Darmstadt www.passiv.de	
Date, Signature / Datum, Unterschrift		

2 Ansichtsfotos Passivhaus Darmstadt Kranichstein

Die Südseite ist auf dem Deckblatt abgebildet.



Westseite Passivhaus Darmstadt Kranichstein mit kleinem Balkon und Zugangsleiter zum Dach. Die Wetterstation ist gut erkennbar (Foto: Feist)



Aufnahme Passivhaus Darmstadt Kranichstein von **Nordosten**; der Wintergarten ist gut erkennbar, in Höhe der Decke über EG die Luftansauggitter der vier individuellen Lüftungsanlagen.

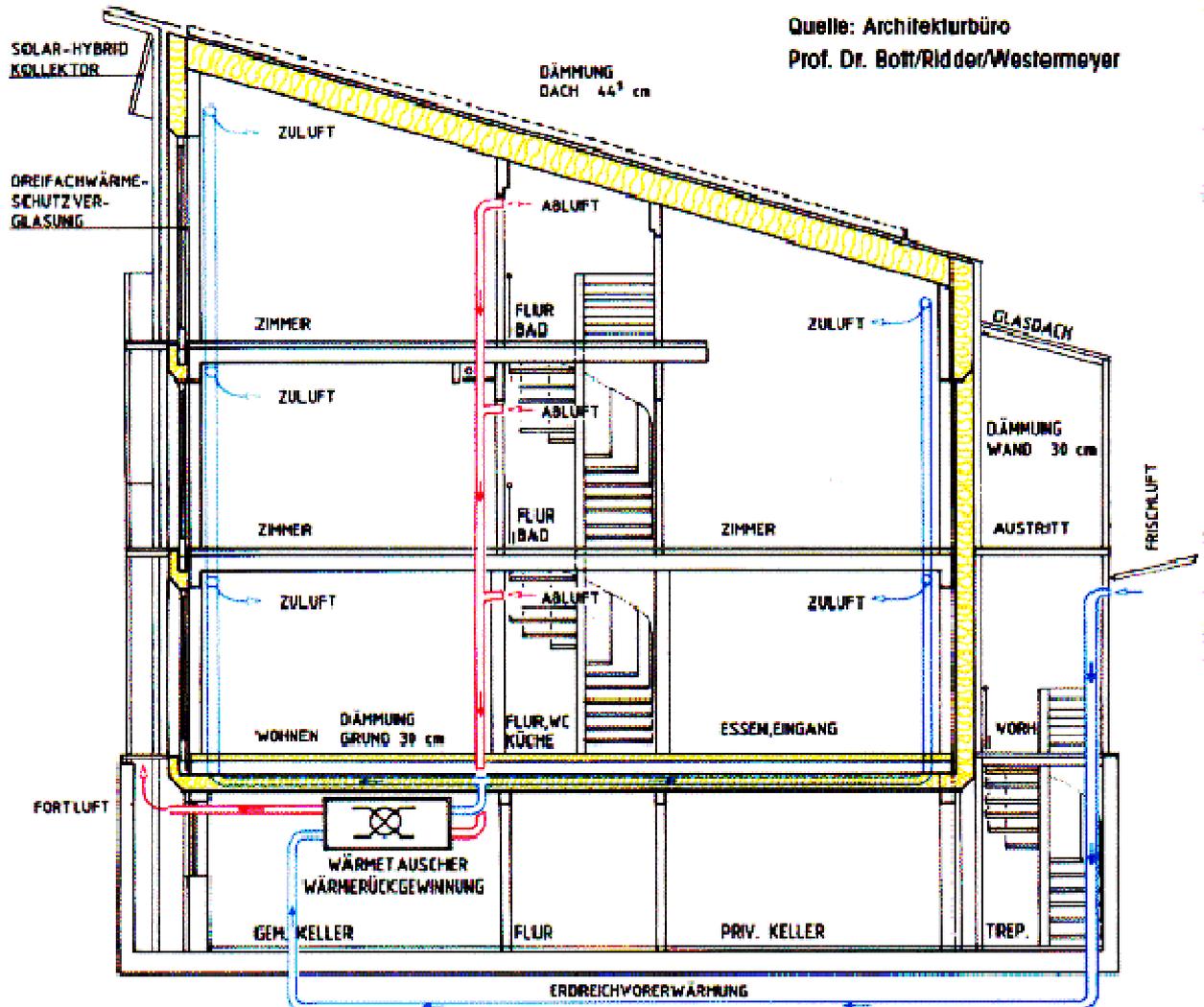


Passivhaus Darmstadt Kranichstein, Ansicht von Südosten: In der straßenseitigen Giebelwand gibt es nur ein kleines Ost-Fenster im OG. Gut erkennbar: Der Fortluftauslass und der überdachte zentrale Zugang zum Gemeinschaftskeller.



Die Innenaufnahme vom Esszimmer in Richtung Wohnzimmer zeigt einen offenen Grundriss, der durch die großzügige Südverglasung direkt in die Terrasse überzugehen scheint.

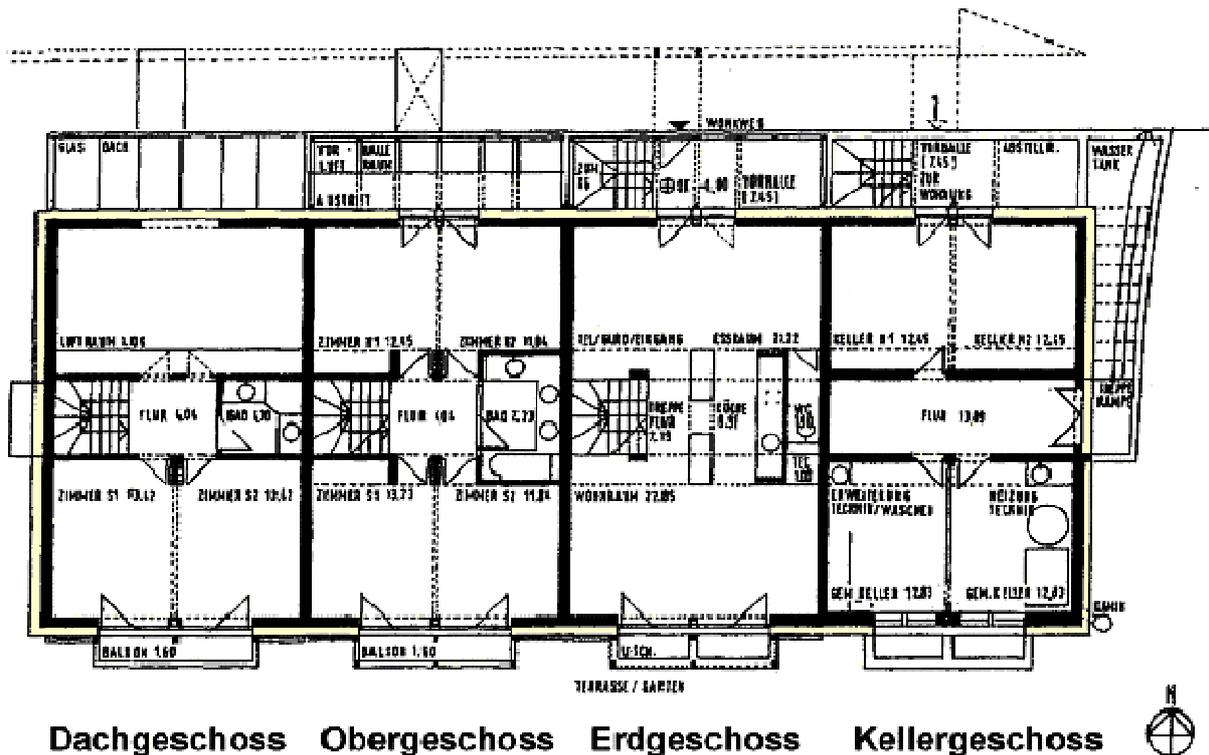
3 Schnittzeichnung Passivhaus Kranichstein



Querschnitt durch das Passivhaus Darmstadt Kranichstein. Gut erkennbar ist die ringsum geschlossene thermische Hülle mit jeweils guter Wärmedämmung. Die thermische Abtrennung des Kellergeschosses und der individuelle Zutritt zum Keller durch die im Nord-Glasvorbau gelegenen Kellertreppen wird deutlich. Der Querschnitt zeigt auch die Leitungsführung der Lüftungsanlage: Über einen Filterkasten im Glasvorbau wird Außenluft angesaugt, die im Erdreichwärmetauscher vorerwärmt wird und nach Durchströmen des Gegenstromwärmetauschers den Wohnräumen im Norden und Süden des Hauses zugeführt wird. Verbrauchte Abluft wird zentral im Haus aus Bädern, WC und Küche abgesaugt und nach der Wärmerückgewinnung nach außen geführt. Das Kellergeschoss ist thermisch abgetrennt und nicht beheizbar; im Süden des von Westen her über eine breite Treppe zugänglichen zentralen Flurs liegen gemeinschaftlich genutzte Räume. Das Erdgeschoss ist eine zentrale Installationszone (Küche, WC und Technikraum), ein

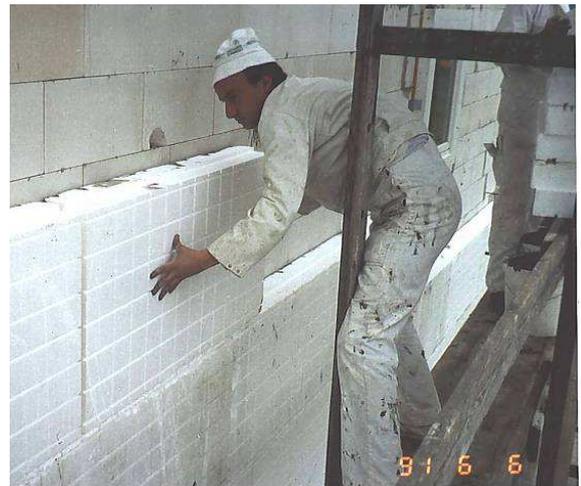
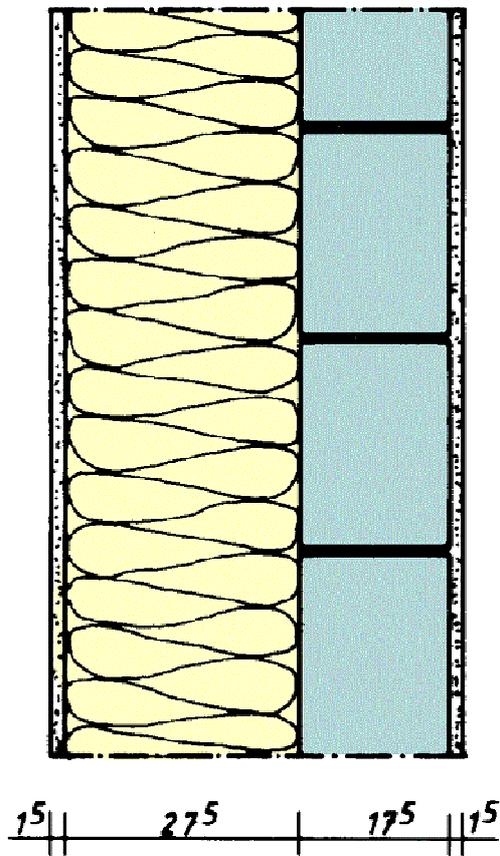
Esszimmer im Norden und das Wohnzimmer nach Süden auf. Im Obergeschoss wird der zentrale Bereich von Treppe und Bad eingenommen, im Norden und Süden befinden sich optional teilbare Räume (z.B. Schlaf- und Kinderzimmer). Im Dachgeschoss ist nur der südliche Teil des Grundrisses nutzbar; durch das Pultdach entsteht hier ein großzügiger, sich nach Süden öffnender Raum, der optional unterteilt werden kann.

4 Grundrisse Passivhaus Darmstadt Kranichstein



Grundrisse des Passivhauses in Darmstadt Kranichstein. Rechts das Kellergeschoss, das in einen privaten Teil im Norden, zusätzlich zugänglich von jeder individuellen Wohnen über eine Stahlterre in der überglasten Vorhalle, und einen Gemeinschaftsteil mit zentralem Erschließungsgang in der Mitte und Gemeinschaftsräume (Technikraum, Waschküche, Trockenkeller, Fahrradraum und Gemeinschaftswerkstatt) im Süden unterteilt ist. Der Flur hat einen zusätzlichen gemeinsamen Zugang über die Rampe an der Ostseite. Im Keller befinden sich auch die vier individuellen Lüftungsanlagen.

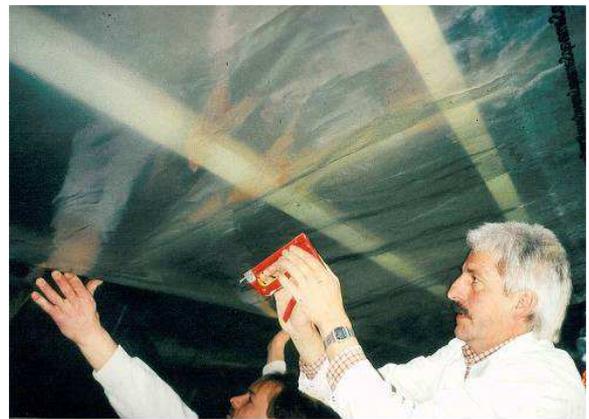
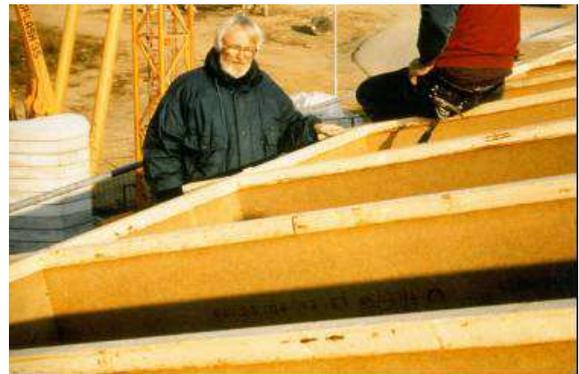
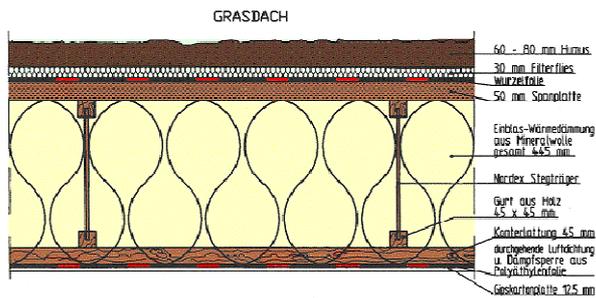
5.2 Konstruktion inkl. Dämmung der Außenwände



Der Aufbau der Außenwand. Eine gemauerte Kalksandsteinwand (in der Regel 17,5 cm dick) ist innen mit Gipsputz verputzt. Außen ist ein zweilagiges Wärmedämmverbundsystem mit einer Dämmdicke von 275 mm aufgebracht, das außen einen mineralischen Verputz aufweist. Der k-Wert dieses Aufbaus beträgt 0,138 W/(m²K). Rechts oben: Die Anbringung der ersten Dämmlage mit 150 mm dicken Dämmplatten aus expandiertem Polystyrol (EPS). Die Platten werden mit einem zementgebundenem Kleber direkt auf das Mauerwerk geklebt; jede Platte wird mit einem am Rand umlaufenden Kleberwulst versehen, um die Hinterströmung zusammenhängender Lufträume zwischen Platten und Wand zu verhindern. Unten rechts: Die Anbringung der 2. Dämmlage mit weiteren 125 mm Dämmplatten auf die erste Lage. 1991 gab es noch keinen WdVS-Anbieter, der eine Dämmung in der vollen Stärke liefern konnte.

Außenwand	Mineralischer Außenputz; 275 mm Polystyrol-Hartschaum; 175 mm Kalksandsteinmauerwerk; 15 mm durchgehender Innen-Gipsputz; Raufasertapete, Dispersionsfarbenanstrich.	U-Wert 0,14 W/(m ² K)
------------------	--	--

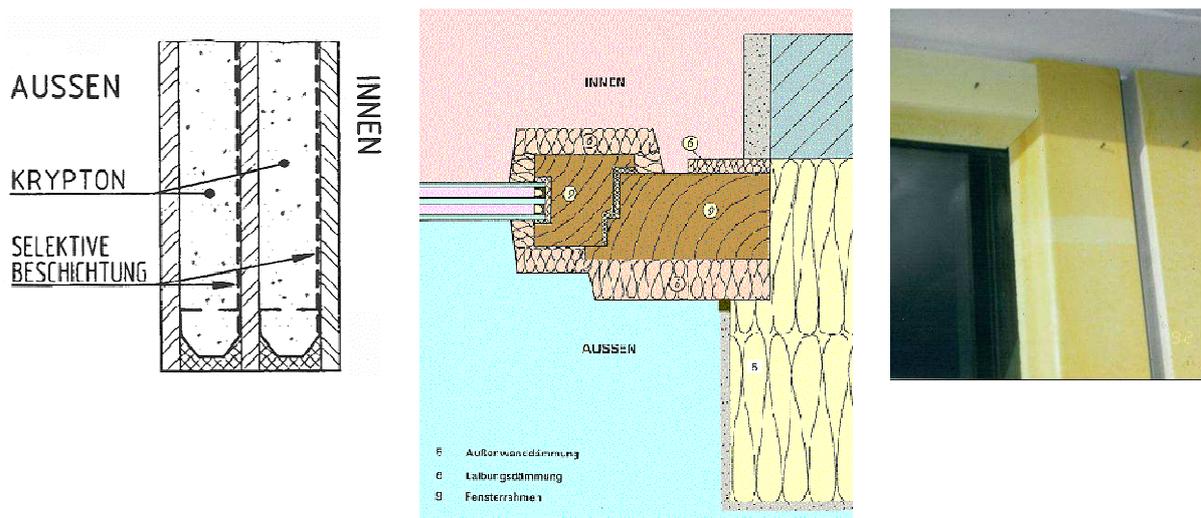
5.3 Konstruktion inkl. Dämmung des Daches



Der Dachaufbau im Passivhaus Darmstadt Kranichstein. Die Verwendung von Gründächern war im Baugebiet bindend festgelegt. Der Grasdachaufbau liegt auf einer von Stegträgern abgetragenen Spanplatte. Der Achsabstand der Stegträger konnte mit 1,08 m gewählt relativ hoch werden. Zum Raum hin folgt eine Konterlattung (45 mm), die durchgehende Luft- und Dampfdichtung (Polyäthylenfolie) und eine Gipskartonplatte. Bei 445 mm Dämmstoffdicke ergibt sich ein Dach-U-Wert unter $0,1 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$.

Dach	Grasdach, Filtervlies, Wurzelfolie, formaldehydfreie Spanplatte, Doppel-T-Träger aus Holz (Steg aus Hartfaserplatte), Konterlattung, fugenlos verklebte Luftdichtung aus Polyäthylenfolie , Gipskartonplatte, Raufasertapete, Dispersionsfarbenanstrich, gesamter Hohlraum (445 mm) mit Mineralwolle ausgefüllt.	0,1 W/(m ² K)
-------------	--	-----------------------------

5.4 Fensterschnitte inkl. Einbauzeichnung



Die verwendete Superverglasung mit drei Scheiben (links). Je eine Oberfläche ist in jedem Scheibenzwischenraum für Wärmestrahlung reflektierend; bei den nun marktgängigen Verglasungen sind die äußerste und die innerste Scheibe beschichtet. Der U_g -Wert dieser Superverglasung beträgt (im Zentrum des Glases) noch $0,7 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Heute gibt es Verglasungen ab $U_g \geq 0,49 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Die Rahmendämmschalen aus CO_2 -geschäumtem Polyurethan wurden auf der Innenseite der Fensterrahmen aufgeklebt (Zeichnung Mitte, Foto rechts), auf der Innenseite angeschraubt. Diese Maßnahme führte zu Rahmen- U_f -Werten um $0,7 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ und zu einer Abdeckung des Randbereiches der Verglasung, der wegen des Aluminium-Randverbunds eine starke Wärmebrücke aufweist. Diese Details wurden im Zuge der Bauvorbereitung erstmals mit mehrdimensionalen Wärmestromprogrammen berechnet. [Feist 1993]

Die Fenster sind die passiv solaren „Kollektoren“ des Passivhauses. Echte solare Wärmegewinne sind in Deutschland allerdings nur mit sehr hochwertigen Verglasungen zu erreichen: Die U -Werte müssen unter $0,8 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ liegen; damit wird auch sichergestellt, dass die inneren Oberflächentemperaturen nicht unter etwa 17°C absinken. Das ist für eine hohe Behaglichkeit im Raum auch ohne ausgleichende Heizflächen wichtig. Im Passivhaus Darmstadt Kranichstein konnte erstmals in Deutschland die speziell entwickelte Dreischeiben-Wärmeschutzverglasung mit einem U_g -Wert in Scheibenmitte von $0,7 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ eingesetzt werden. Wenn im kalten Winter die Sonne scheint, erwärmt sich die Innenoberfläche dieser Fenster auf über 35°C - ein unmittelbar für Besucher fühlbares Kennzeichen des Passivhaus-Prinzips.

Daten zum Fenster

Fenster	Dreifach-Wärmeschutzglas mit Edelgasfüllung. Holzfensterrahmen mit Rahmendämmung aus Polyurethan-Integralschaumschalen (CO_2 -geschäumt, FCKW-frei).	$0,7 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
----------------	--	--------------------------------------

6 Beschreibung der luftdichten Hülle; Dokumentation des Drucktestergebnisses

Für das Passivhaus ist eine sehr dichte Gebäudehülle erforderlich. Aus den bisher vorliegenden Erfahrungen mit luftdichten Gebäuden wurde in [Feist 1993] ein Zielwert von unter $0,6 \text{ h}^{-1}$ für den 50 Pa-Drucktestluftwechsel gesetzt. Der Hintergrund für dieses Ziel stellte sich wie folgt dar:

- Bisher gebaute Niedrigenergiehäuser in Deutschland wiesen Drucktestluftwechsel zwischen 1 und 4 h^{-1} mit einer Häufung um 3 h^{-1} auf. Nur wenige Objekte kamen nahe an 1 h^{-1} heran. In der deutschen Baupraxis lagen noch wenig Erfahrungen mit dem Bau von sehr gut luftdichten Gebäudehüllen vor.
- Andererseits wurden in Schweden bereits seit einigen Jahren bei Neubauten regelmäßig Drucktestluftwechsel um 1 h^{-1} erreicht, und dies bei meist vollständig aus Holzständerkonstruktionen aufgebauten Gebäudehüllen. Einige schwedische Drucktests kamen auch bereits auf Werte um $0,5 \text{ h}^{-1}$ herunter. Damit war erwiesen, dass derart geringe Restleckagen auf der Basis der schwedischen Baupraxis durchaus erreichbar sind.
- Rechnet man in der Infiltrationsformel mit $e=0,04$, so ergibt sich bei einem n_{50} -Zielwert von $0,6 \text{ h}^{-1}$ eine mittlere jährliche Infiltration von $0,024 \text{ h}^{-1}$; dies bedeutet Infiltrationswärmeverluste für das gesamte Haus von um 320 kWh/a oder wohnflächenspezifisch von um $2 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$. Bei einem Ziel für den Energiekennwert Heizwärme von etwa $10 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ ist dies bereits ein bedeutender Beitrag.

Der letzte Punkt zeigt, dass eine wesentlich höhere Restleckage beim Passivhaus nicht hätte toleriert werden können, ohne die Gesamtzielsetzung in Gefahr zu bringen. Andererseits zeigt Punkt 1, dass eine Dichtheit entsprechend der Zielsetzung bereits sehr hohe Anforderungen in Relation zur gängigen Baupraxis in Deutschland bedeutet. Es musste das Niveau sehr guter Niedrigenergiehäuser übersprungen und eine noch weit bessere Dichtheit erreicht werden.

Dach: Für das Dach wurden spezielle Doppel-T-Leichtbauträger verwendet, die eine extrem dicke Wärmedämmung bei nur sehr geringer Wärmebrückenwirkung erlauben. Die Dichtheit dieser Konstruktion wird durch eine durchgehende Polyäthylenfolie erreicht, die in großen Bahnen unter der Konterlattung angetackert wurde. Die Planung sah vor, dass in jedem Raum des Dachgeschosses nur ein groß Folienstück von Giebelwand zu Giebelwand verlegt wird; dadurch waren keine Verklebungen zwischen Folienstücken erforderlich. (Solche Verklebungen können im übrigen mit zweiseitigem Butyl-Klebeband dauerhaft und zuverlässig dicht ausgeführt werden; es

spart aber Arbeit, wenn dies nicht erforderlich wird und die Folien wirklich in einem Stück verlegt werden können.)



Beim Dach (Leichtbauteil) bildet die PE-Folie die luftdichte Lage, bei der Massivwand der durchgehende Gipsputz. Ein absolut dichter Anschluss dieser beiden Ebenen wurde durch Einputzen möglich: Die Folie wurde vor dem Anbringen des Innenputzes verlegt - dies hat darüber hinaus den Vorteil, dass die Feuchtigkeit während des Putzens nicht in die Leichtbaukonstruktion eindringen kann. An den Rändern zu Massivbauteilen wird die

Folie 8 bis 20 cm überstehen gelassen und auf das (Rohbau-) Massivbauteil aufgelegt. Am Massivbauteil wird sodann ein Streckmetall-Putzträger fixiert (genagelt bzw. Krampfenhalterung). Die Fixierungen dürfen auch durch die Folie hindurchgehen, jedoch sollte ein Abstand von mindestens 5 cm zur Stoßkante der Bauteile gehalten werden. Im letzten Arbeitsgang kann die Folie nun beim standardmäßigen Aufbringen des Innenputzes vollständig in diesen eingeputzt

werden. Der so entstehende Anschluss ist einfach auszuführen und absolut luftdicht.



Außenwand: Für die Luftdichtung im Bereich der Außen- und Wohnungstrennwände wurde im Passivhaus ein vollflächig aufgebrachter Innenputz aus Gips verwendet. Es wurde speziell darauf geachtet, dass alle Mauerwerksbereiche vollständig verputzt wurden: Insbesondere auch die Bereiche, die im fertigen Innenraum gar nicht sichtbar sind. Der Putz reicht also von Oberkante Rohfußboden bis Unterkante Rohdecke.

Fenster: Die Fensterkanteln aus Holz sind luftdicht. In sie sind die Verglasungen mit einer umlaufenden Silikondichtung eingedichtet. Der Putz endet am Fenster etwa 10 mm vor dem Rahmen mit einer Anputzleiste (blauer Pfeil). Der

Raum zwischen der Leiste und dem Fenster wurde mit Acryl luftdicht verfugt (gelber Pfeil).

Kellerdecke: Die Ortbetondecke ist in sich dicht. Durchbrüche wurden mit flüssigem Anhydrit verfüllt, der sich beim Trocknen ausdehnt und so auch kleine Spalte verschließt.

Der erste Drucktest wurde nach Fertigstellung der luftdichten Hülle am 24.5.1991 durch das Ingenieurbüro ebök durchgeführt.

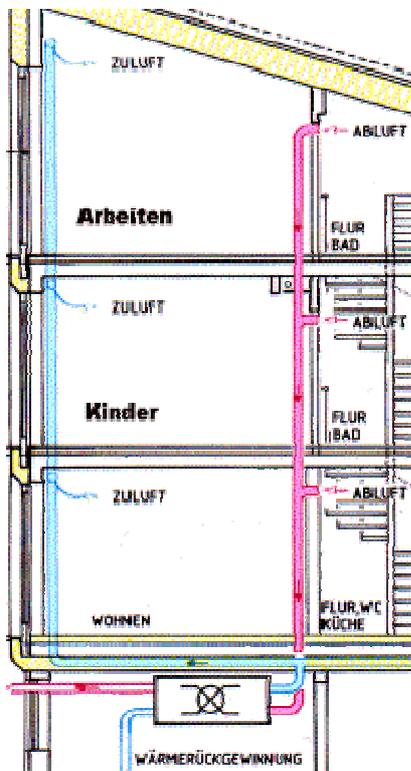
**Drucktestmessergebnisse vom 24./25.5.1991
aus dem Passivhaus Darmstadt Kranichstein**

Messung	50 Pa-Drucktest- luftwechsel $n_{50} h^{-1}$
Haus 1 regulär	0,403
Haus 2 regulär	0,276
Haus 3 regulär	0,258
Haus 4 regulär	0,240
Haus 1, Haustür abgeklebt	0,253
Haus 3, ein Fenster im EG gekippt	12,886



7 Lüftungsplanung Kanalnetz (exemplarisch)

Um die Lüftungsverluste stark zu reduzieren, wurde eine balancierte Zu/Abluft-Anlage mit einem hocheffizienten Gegenstrom-Luft-Luft-Wärmetauscher eingesetzt. Im Betrieb wurde eine Rückwärmzahl dieses Gerätes von über 80% gemessen.



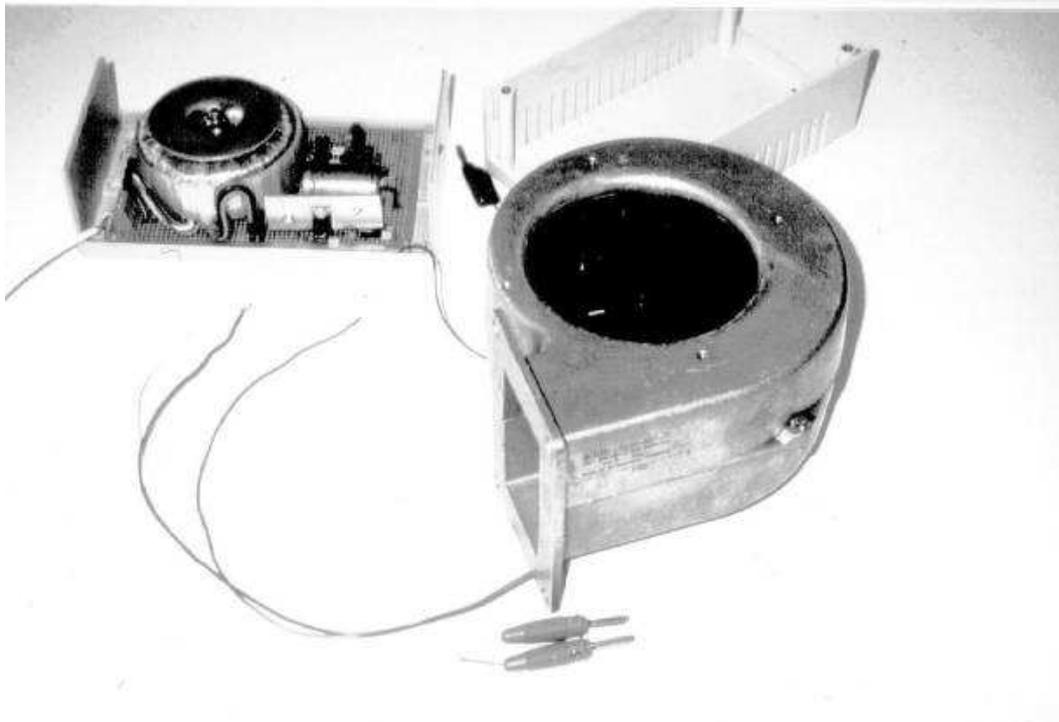
Zulufrume sind alle Hauptaufenthaltsrume (links in blau: Zuluftkanäle): Arbeitszimmer, Kinderzimmer, Schlafzimmer, Esszimmer und Wohnzimmer.

Ablufrume sind Bäder, WCs und die Küche.

Die Überströmung erfolgt durch Überstromgitter in den Innentüren in den Flur und das Treppenhaus. Von dort über Überströmöffnungen über den Türen in die Feuchtrume. Von hier wird die verbrauchte Luft über ein Abluftkanalnetz (auf dem Bild links in rot) zurück zum Wärmeübertrager gebracht.



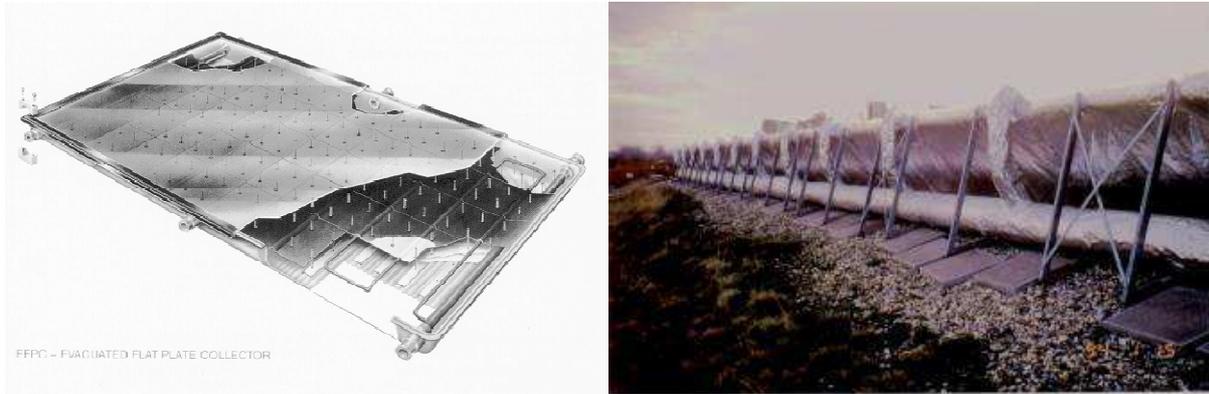
Der verwendete Gegenstrom-Luft-Luft-Wärmeübertrager für die Warmerrückgewinnung. Die Aufnahme zeigt den Blick auf das Plattenpaket von der Abluftseite/Zuluft-Seite. An dieser Stelle wird der Kasten mit den beiden Gebläsen aufgesetzt.



Erstmals in Darmstadt-Kranichstein in Wohnungslüftungsanlagen eingesetzt: **das elektronisch kommutierte Gebläse mit hoher Stromeffizienz**. Es wurde eine passende Steuer- und Regeleinheit entwickelt (Gleichstromversorgungseinheit oben im Bild).

8 Wärmeversorgung

Etwa 66% beträgt der solare Deckungsbeitrag der thermischen Flachkollektoren im Passivhaus Darmstadt Kranichstein. Weil die Bereitstellung von Warmwasser den höchsten Energiebedarf dieses Hauses darstellt, ist ein effizientes Brauchwassersystem hier von großer Bedeutung.



Der **thermische Flachkollektor** wurde auf dem Dach des Passivhauses aufgeständert. Verwendet wurden auf etwa 50 mbar evakuierte Flachkollektoren (bei diesem Unterdruck ist Konvektion im Füllgas (Argon) praktisch unterdrückt; es bleibt der Wärmeverlust durch Wärmeleitung im Füllgas).

Die übrige Warmwasserbereitung und die Raumheizung erfolgt über einen zentralen Gasbrennwertkessel für alle vier Wohneinheiten gemeinsam. Dieser versorgt einen 1 m³ Trinkwarmwasserspeicher, in den auch die Solaranlage einspeist. Der Brennwertkessel ist mit einer Zeitsteuerung versehen (Winterbetrieb Anfang Dezember bis Mitte März; im Rest des Jahres nur Warmwassernachheizung, falls dies erforderlich ist).

9 PHPP-Berechnungen

Zum Zeitpunkt des Baus des Passivhauses Darmstadt Kranichstein gab es noch kein Passivhaus Projektierungspaket (PHPP). Alle Analysen und Berechnungen wurden mit einem detaillierten dynamischen Simulationsprogramm (DYNBIL) durchgeführt. Erst später stellte sich durch Auswertung der Messergebnisse heraus, dass auch für Häuser dieser Qualitätsklasse eine Berechnung mit speziell angepassten Bilanzprogrammen noch möglich ist – das führte zur Entwicklung des PHPP [AkkP 13].

Bei Eingabe der Daten des Endhauses Passivhaus Darmstadt Kranichstein erhält man die im Folgenden dokumentierten PHPP-Ergebnisse (Klima Frankfurt a.M.).

Passivhaus-Nachweis



Architektur: Prof. Bott/Ridder/Westermeyer
 Straße: Jahnstr. 8
 PLZ/Ort: 64285 Darmstadt
 Provinz/Land: Hessen DE-Deutschland

Energieberatung:
 Straße:
 PLZ/Ort:
 Provinz/Land:

Baujahr: 1991
 Zahl WE: 1
 Personenzahl: 2.9
 Innentemperatur Winter [°C]: 20.0
 Interne Wärmequellen (IWQ) Heizfall [W/m²]: 2.4
 spez. Kapazität [Wh/K pro m² EBF]: 204
 Innentemp. Sommer [°C]: 25.0
 IWQ Kühlfall [W/m²]: 2.4
 Mechanische Kühlung:

Objekt: Passivhaus-Endhaus Kranichstein
 Straße:
 PLZ/Ort: 64289 Darmstadt
 Provinz/Land: Hessen DE-Deutschland
 Objekt-Typ: Reihenhaus
 Klimadatensatz: DE-9999-PHPP-Standard
 Klimazone: 3: Kühl-gemäßigt Standorthöhe: -

Bauherrschaft: Bauherrengemeinschaft Passivhaus
 Straße:
 PLZ/Ort: 64289 Darmstadt
 Provinz/Land: Hessen DE-Deutschland

Haustechnik: oeb Dipl.-Ing. Norbert Stärz
 Straße: Bahnhofstr. 49
 PLZ/Ort: 64319 Pfungstadt
 Provinz/Land: Hessen DE-Deutschland

Zertifizierung: Passivhaus Institut
 Straße: Rheinstr. 44/46
 PLZ/Ort: 64289 Darmstadt
 Provinz/Land: DE-Deutschland

Gebäudekennwerte mit Bezug auf Energiebezugsfläche und Jahr

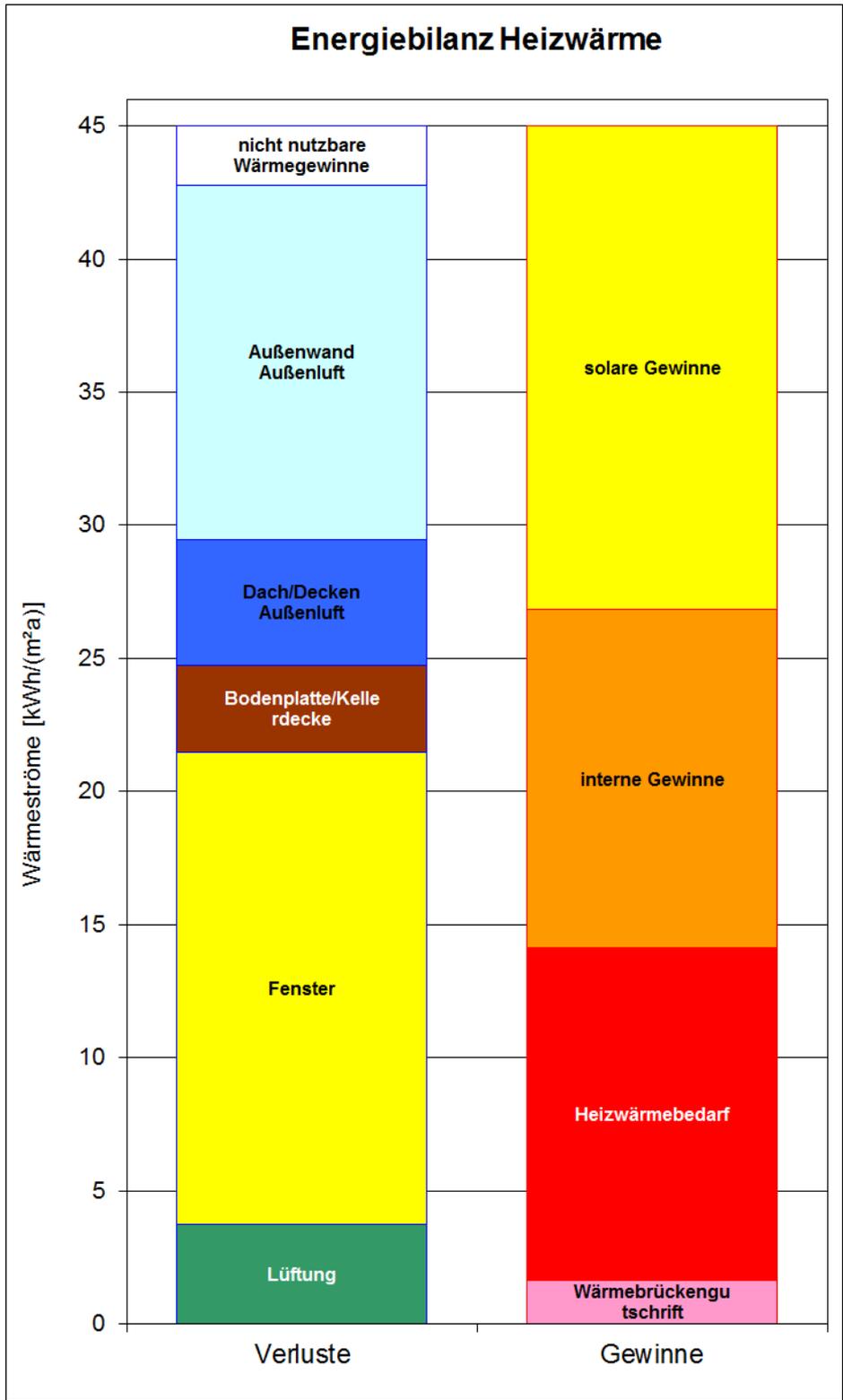
		Energiebezugsfläche m²		Kriterien	alternative Kriterien	Erfüllt? ²
Heizen	Heizwärmebedarf kWh/(m²a)	156.0	≤	15	-	ja
	Heizlast W/m²	10	≤	-	10	
	Kühl- + Entfeuchtungsbedarf kWh/(m²a)	-	≤	-	-	
Kühlen	Kühllast W/m²	-	≤	-	-	-
	Übertemperaturhäufigkeit (> 25 °C) %	1	≤	10		ja
	Häufigkeit überhörter Feuchte (> 12 g/kg) %	0	≤	20		ja
Luftdichtheit	Drucktest-Luftwechsel n ₅₀ 1/h	0.2	≤	0.6		ja
Nicht erneuerbare Primärenergie (PE)	PE-Bedarf kWh/(m²a)	54	≤	-		-
Erneuerbare Primärenergie (PER)	PER-Bedarf kWh/(m²a)	30	≤	60	60	ja
	Erzeugung erneuerb. Energie (Bezug auf überbaute Fläche) kWh/(m²a)	135	≥	-	-	

² leeres Feld: Daten fehlen; !: keine Anforderung

Ich bestätige, dass die hier angegebenen Werte nach dem Verfahren PHPP auf Basis der Kennwerte des Gebäudes ermittelt wurden. Die Berechnungen mit dem PHPP liegen diesem Nachweis bei.

Passivhaus Classic? ja

PHPP-Dokument des Endhauses Passivhaus Darmstadt Kranichstein. Die beteiligten Planer sind hier ebenfalls angegeben. Für das Mittelhaus (ohne Giebelwand) ergibt sich mit ansonsten gleichen Daten ein Heizwärmebedarf von 8,2 kWh/(m²a). Für die gesamte Zeile resultiert q_H = 9,4 kWh/(m²a).



Die mit PHPP berechnete Heizwärmebilanz des Endhauses Passivhaus Darmstadt Kranichstein.

Bei den Verlusten tragen die Fenster fast die Hälfte bei, die Außenwände etwa ein Viertel.

Fast die Hälfte der Verluste wird wieder durch Solargewinne der Fenster gedeckt (rechts).

Innere Wärmequellen tragen etwa ein Viertel bei, die Heizung nur das verbleibende Viertel von etwas mehr als 10 kWh/(m²a).

10 Baukosten

Das Passivhaus Darmstadt Kranichstein wurde im Jahr des Baubooms nach der Wiedervereinigung (1991) gebaut. Die Zinsen waren damals sehr hoch, der Baukostenindex untypisch hoch.

Zum Bau des Hauses gibt es eine umfassende Kostendokumentation [Militzer/Feist 1999]. Danach betragen die

reinen Baukosten (Kostengruppen 300 bis 400) 1825 €/m²

das ist ein relativ hoher Wert – insbesondere die Vollunterkellerung, der große Nordglasvorbau und die Südbalkonanlage müssen in Betracht gezogen werden, um diese Kosten einzuordnen. Die baulichen Mehrinvestitionen für die Energieeffizienz lagen nach der o.z. Studie bei

Passivhaus-Mehrinvestitionen Kranichstein 292 €/m²

Oder etwa 16% der Baukosten. Diese hohen Mehrinvestitionen waren vor allem auf die innovativen Baukomponenten, die zu bedeutenden Teilen in Einzelfertigung hergestellt werden mussten, zurückzuführen. Die Mehrinvestitionen konnten in den vergangenen 15 Jahren durch Weiterentwicklung der Methoden und Produkte, größere Stückzahlen und Vereinfachungen bei Reihenhäusern auf unter 8% der üblichen Baukosten reduziert werden. Von den o.g. Mehrinvestitionen hat das Bundesland Hessen 50% gefördert. Für die Bauherren waren damit 146 €/m² zu finanzieren.

11 Messergebnisse aus dem bewohnten Passivhaus Darmstadt Kranichstein

1.1 Messdatenerfassung

Das Ingenieurbüro für Energieberatung und ökologische Konzepte (ebök) führte im Passivhaus eine umfassende **kontinuierliche Messdatenerfassung** durch. Es wurden über 200 Messgrößen kontinuierlich erfasst, u.a.:

- Klima (Außenlufttemperatur und -feuchte, Windgeschwindigkeit und -richtung, Solarstrahlung)
- Raumlufttemperaturen (in allen Häusern, allen Räumen)
- Raumluftfeuchten (Haus IV, alle Räume)
- Heizkörpertemperaturen (Haus IV, alle Räume)

- Wandtemperaturquerschnitt, Wärmeflussmessung Wand
- Dachtemperaturquerschnitt, Wärmeflussmessung Dach
- Oberflächentemperaturen der Fenster
- Status der Dämmschiebeläden
- Luftvolumenströme der Lüftungsanlage (sowie Temperatur und Feuchte)
- Volumenströme Kaltwasser, Regenwasser und Warmwasser und Temperaturen
- Wärmemengenzähler für Heizung, Warmwasser, Zirkulation und Sonnenkollektor

In zeitlich begrenzten Messaktionen wurden darüber hinaus ermittelt:

- Mit Thermographie: evtl. Inhomogenitäten der Wärmedämmung
- Mit Drucktests: Dichtheit der Hülle
- Mit Tracergasmessungen: Luftwechselzahl, Effizienz der Lüftung

Nach der Auswertung von sechzehn Messjahren (Messdaten von Oktober 1991 bis September 2007, Ausschnitt vgl. Tabelle) erfüllt das Haus die Erwartungen in Bezug auf die Energieeffizienz [AkkP 5] [Feist/Werner 1994]. Gegenüber dem Durchschnitt deutscher Wohngebäude ist der gemessene Heizenergieverbrauch auf ungefähr **ein Zwanzigstel** gesenkt.

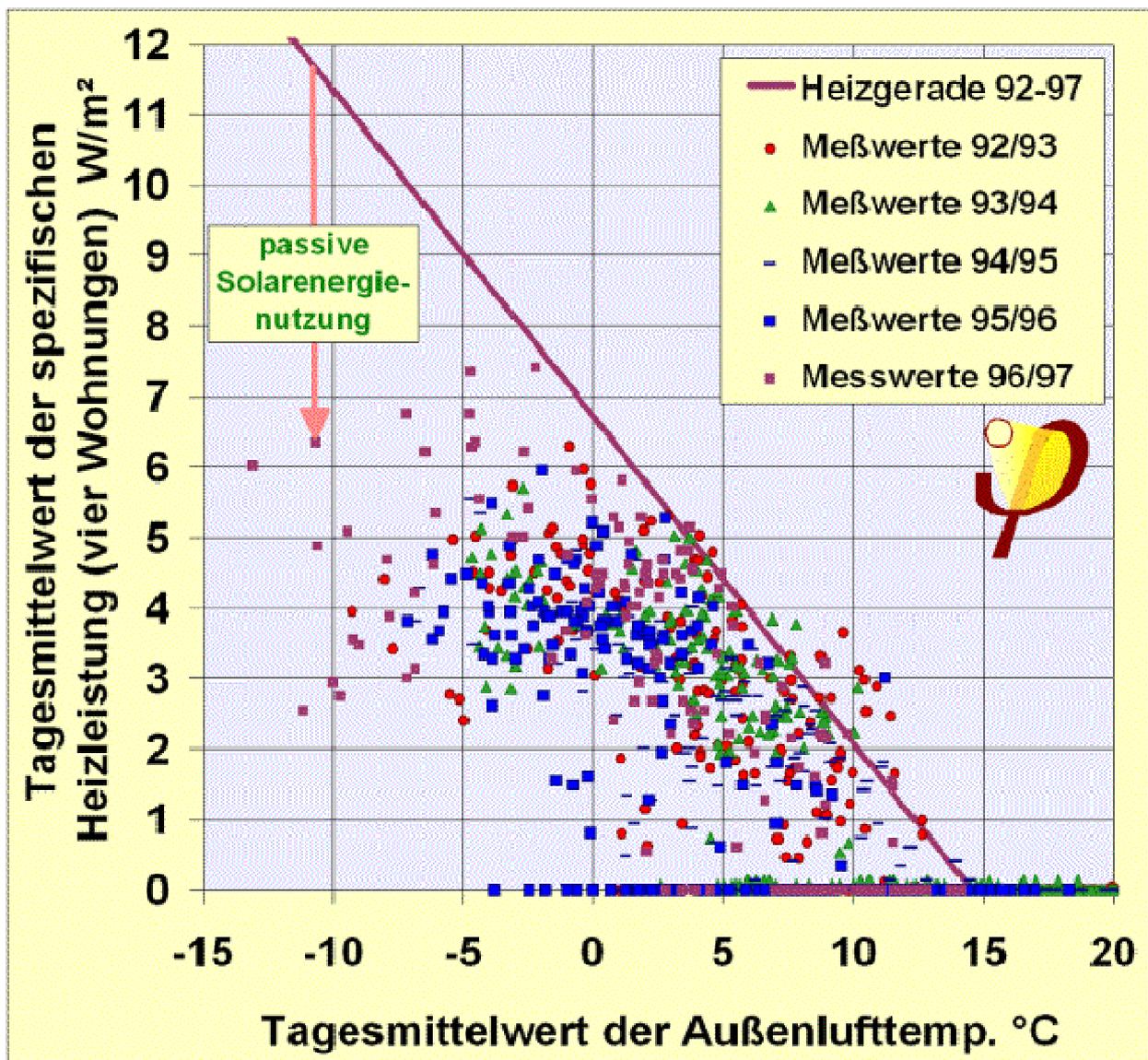
1.2 Gemessene Energieverbrauchswerte

In der Summe betrug der gemessene Gesamtenergiekennwert (Haushaltsstrom, Gemeinschaftsstrom, Kochgas, Lüftung, Warmwasser und Heizung) im Passivhaus im Messzyklus jeweils im zweiten bis vierten Jahr weniger als 33 kWh/(m²a). [Ebel/Feist 1997] Damit wurde der angestrebte Zielwert von 30 kWh/(m²a) nur geringfügig überschritten. Wie in der Zielsetzung angestrebt, ist der gesamte Energieverbrauch im Passivhaus **geringer** als allein der Haushaltsstromverbrauch in durchschnittlichen deutschen Gebäuden (bezogen auf die Wohnfläche). Damit ist der Gesamtendenergiekennwert des Passivhauses um fast 90 % geringer als in vergleichbaren bestehenden Einfamilienhäusern.

Die folgende Abb. zeigt die gemessenen tagesdurchschnittlichen Heizlasten der vier Wohnungen bezogen auf die Wohnfläche. Im ab dem zweiten Jahr reduzierte sich der Wärmebedarf durch die Rahmendämmung weiter; auch im dritten bis fünften Messjahr lag die gemessene maximale Heizlast immer unter 7,2 Watt/m². Dies sind extrem geringe Heizleistungen: Zum Beispiel ergibt sich damit für das Wohnzimmer mit 22 m² Wohnfläche eine Spitzenleistung von etwa 150 Watt. Das Zimmer wäre daher bequem mit zwei gewöhnlichen Glühlampen "beheizbar".

1.3 Nutzerzufriedenheit, Nutzerverhalten

Für das Passivhaus Darmstadt Kranichstein wurde eine unabhängige sozialwissenschaftliche Studie durchgeführt. Dabei wurden die Bewohner nach ihrer Bewertung des Raumklimas im Sommer und im Winter befragt und dies mit der Statistik aus Niedrigenergiehäusern verglichen [Rohrman 1994]. Die Ergebnisse waren im Durchschnitt besser als in der Vergleichsgruppe – auf Grund der kleinen Gesamtheit jedoch nicht signifikant. Dieses Ergebnis war allerdings ausreichend, um weitere, umfangreichere Demonstrationsvorhaben als sinnvoll anzusehen.



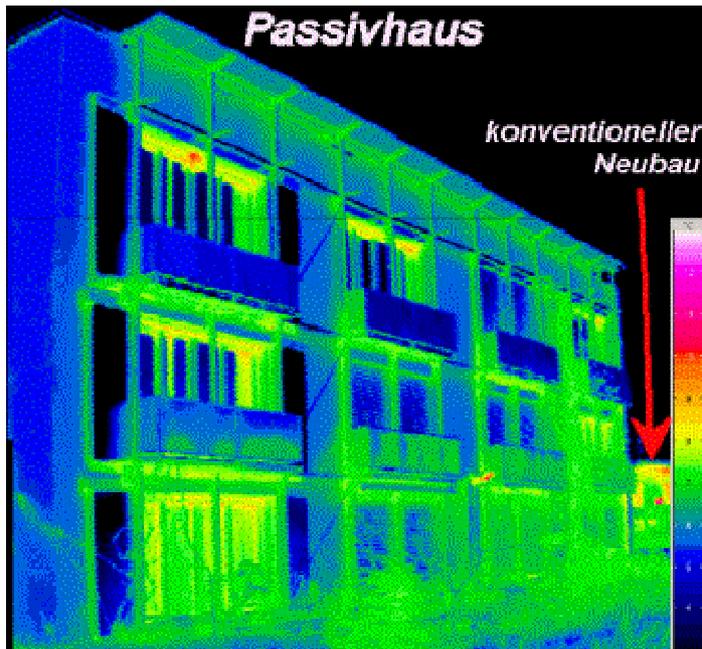
Tägliche spezifische Heizleistung, gemessen über zwei Heizperioden im Passivhaus (Mittelwert über alle 4 Wohnungen, jede hat 156 m² Wohnfläche) (aus [Feist 2005]).

Tabelle: Messergebnisse: Energiekennwerte im Passivhaus Darmstadt Kranichstein, Jahre 1 bis 4

Energiekennwert (Endenergie) kWh/(m ² a) (Wohnfläche)	Energie- träger	Passivhaus Messung 91/92	Passivhaus Messung 92/93	Passivhaus Messung 93/94	Passivhaus Messung 94/95
Haushaltsstrom	STROM	6,27	6,17	7,11	7,48
Lüftung (Strom)		2,65	2,93	2,93	2,93
Gemeinschaftsstrom		2,85	2,10	1,87	1,82
Kochgas	ERDGAS	2,43	2,60	2,89	2,85
Warmwasser		8,28	6,12	7,52	7,45
Heizung		20,81	11,91	11,45	7,42
Gesamt		43,29	31,83	33,77	29,95



Messwerte für den Jahresheizenergieverbrauch im Durchschnitt aller vier Wohnungen im Zeitraum zwischen 1991 und 2006. Der Mittelwert der Messungen liegt geringfügig unter dem mit PHPP auf 9,4 kWh/(m²a) berechneten Wert. Diese Messungen wurden am Erdgaszähler vorgenommen und nach Wärmezählermessungen der Kreise Heizung und Warmwasser aufgeteilt. Der Verbrauchswert ist (abgesehen von Wetterschwankungen) seit 15 Jahren stabil.



Das nebenstehende Bild zeigt eine **Wärmebildaufnahme (Thermographie) des Passivhauses**. Die Intensität der Wärmestrahlung zeichnet ein Bild der Oberflächentemperaturen: weiß sind die höchsten, schwarz sehr niedrige Temperaturen dargestellt. Erkennbar ist, dass die Außenwand durchgehend extrem geringe Oberflächentemperaturen aufweist; auch der Superfensterrahmen ist offensichtlich wirksam. Die Superverglasungen haben ebenfalls nur geringe Wärmeverluste. Besonders auffällig sind die höheren Oberflächen-Temperaturen eines konventionellen Neubaus im Hintergrund.

Literatur

[AkkP 5] Energiebilanz und Temperaturverhalten – mit Messergebnissen aus dem Passivhaus Darmstadt Kranichstein; Protokollband Nr. 5 des Arbeitskreises kostengünstige Passivhäuser, 1. Auflage, Passivhaus Institut, Darmstadt 1997

[AkkP 13] Energiebilanzen mit dem Passivhaus Projektierungs Paket; Protokollband Nr. 13 des Arbeitskreises kostengünstige Passivhäuser, 1. Auflage, Passivhaus Institut, Darmstadt 1998

[Ebel/Feist 1997] Witta Ebel und Wolfgang Feist: "Ergebnisse zum Stromverbrauch im Passivhaus Darmstadt Kranichstein" in "Stromsparen im Passivhaus"; Protokollband Nr. 7 zum Arbeitskreis Kostengünstige Passivhäuser; PHI; Darmstadt, 1997.

[Feist 1988] Forschungsprojekt Passive Häuser; Projektziele - mit einem Kommentar des Autors zur 2. Auflage 1995, Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt, 1. Aufl. 1988, 2. Aufl. 1995

[Feist 1993] Passivhäuser in Mitteleuropa; Dissertation, Universität Kassel, 1993

[Feist/Werner 1994] Wolfgang Feist und Johannes Werner: "Gesamtenergiekennwert < 32 kWh/(m²a)"; Bundesbaublatt 2/1994

[Feist 1997a] Wolfgang Feist, Tobias Loga: "Vergleich von Messung und Simulation" in "Energiebilanz und Temperaturverhalten"; [AkkP 5]; PHI; Darmstadt, Januar 1997.

[Feist 1997b] Wolfgang Feist: "Der Härtestest: Passivhäuser im strengen Winter 1996/97"; GRE-Inform, 12/1997.

[Feist 1997c] Wolfgang Feist: "Passivhaus Darmstadt Kranichstein - Planung, Bau, Ergebnisse", Fachinformation PHI 1997/4, 1. Auflage, 16 Seiten,

[Feist 2000] Wolfgang Feist: "Erfahrungen objektiv: Messergebnisse aus bewohnten Passivhäusern"; in: Tagungsband zur 4. Passivhaus Tagung. Passivhaus Dienstleistung GmbH, 1. Auflage, Darmstadt 2000

[PHPP 2007] Feist, W.; Pfluger, R.; Kaufmann, B.; Schnieders, J.; Kah, O.: Passivhaus Projektierungs Paket 2007, Passivhaus Institut Darmstadt, 2007

[Rohrmann 1994] Bernd Rohrmann: "Sozialwissenschaftliche Evaluation des Passivhauses in Darmstadt"; Passivhaus-Bericht Nr. 11; Institut Wohnen und Umwelt; Darmstadt, September 1994.