

Passivhaus

Objektdokumentation

Passivhaus mit
fünf Wohneinheiten

Haus Carmen

in Künzell / Fulda



Verantwortlicher Planer Dipl.-Ing. Thomas Weber M. Eng.
36093 Künzell, Weyherer Weg 44

<http://www.thweber.de>
Email: info@thweber.de

Dieses Mehrfamilienhaus wurde für die Ehefrau des Planers an einer Innerortsstraße in Künzell bei Fulda errichtet. Es handelt sich um einen voll unterkellerten, südwestorientierten Massivbau mit 5 Wohnungen. 2 Zweizimmerwohnungen (75 m²) und 3 Dreizimmerwohnungen (85 + 95 m²). Das Haus wird seit 2000 bewohnt, drei der Wohnungen von den Mietern des Erstbezugs.

Besonderheiten: Sonnenkollektoren für die Warmwasserbereitung, Regenwassernutzung, PV-Anlage zur Solarstromgewinnung

U-Wert Außenwand 0,127 W/(m²K)

U-Wert Bodenplatte 0,139 W/(m²K)

U-Wert Dach 0,087 W/(m²K)

U-Wert Fenster 0,80 W/(m²K)

Wärmerückgewinnung 83%

PHPP Jahres-
Heizwärmebedarf **14** kWh/(m²a)

PHPP Primärenergie 77 kWh/(m²a)

Drucktest n₅₀ 0,31 h⁻¹

1 Kurzbeschreibung der Bauaufgabe

Mehrfamilien-Passivhaus Carmen in Künzell bei Fulda

Beim Mehrfamilien-Passivhaus Carmen handelt es sich um das erste Passivhaus im Landkreis Fulda. Nach dem sich der bauvorlageberechtigte Bauingenieur Thomas Weber bereits jahrelang mit dem Bau von Niedrigenergiehäusern beschäftigt hatte, sollte dieses Bauprojekt der Einstieg in die Königsklasse des energieeffizienten Bauens sein. Das Grundstück war vorgegeben, und es sollte mit dem Bauvorhaben der Beweis erbracht werden, dass die Investition in energiesparendes Bauen auch für den Vermieter eine wirtschaftliche Alternative darstellt. Das Baugrundstück sollte optimal ausgenutzt werden und die baulichen Mehrkosten durch eine rationelle konventionelle Bauweise möglichst kompensiert werden. Die baulichen Mehrkosten des Projektes beliefen sich auf ca. 37.000 €. Die Gesamtbaukosten KG 300 + 400 betragen 499.800 €. Bezogen auf den qm Wohnfläche sind dies ca. 1.176 €/m². Durch die Installation eines Wärmepumpenkompaktgerätes war es möglich, die Ausnahmeregelung der Heizkostenabrechnungsverordnung in Anspruch zu nehmen und die Wohnungen „warm“ zu vermieten. Die verbrauchte Heizenergie ist mit der Miete pauschal abgedeckt, das Risiko des Mehrverbrauchs trägt der Vermieter. Ortsüblich waren im Jahre 2000 in Künzell für Neubauwohnungen ca. 5,50 €/m². Vereinbart wurden 7,37 €/m². Nach Abzug der Nebenkosten für Heizenergie, Allgemeinstrom, Versicherungen, Grundsteuer und Müll verbleibt ein Reinertrag von 6,86 €/m², d.h. ein Mehrertrag ggü. der Standardbauweise von 1,36 €/m² und Monat oder 24,73 %. Das Bauvorhaben konnte auf Grund des Passivhausstandards mit zinsverbilligten Darlehen der KfW in Höhe von 50.000 €/WE finanziert werden. Der Zinsvorteil liegt bei ca. 2 % /Jahr. Bei dem vorliegenden Passivhaus sind dies 5.000 €/Jahr. Zählt man den Mehrertrag der Mieteinnahmen in Höhe von 6.900 €/Jahr hinzu, stehen den einmaligen Mehrkosten von 37.000 € jährliche Mehreinnahmen von 11.900 € gegenüber. Die Zielsetzung des Bauvorhabens wurde demnach erreicht. Nach der Auswertung von 6 Betriebsjahren erfüllt das Haus die Erwartungen in Bezug auf die Energieeffizienz. Es wurde ein Heizenergieverbrauch von **10,65 kWh/m²a** ermittelt. Die Prognose nach PHPP lag bei 13,7 kWh/m²a.

2 Ansichtsfotos Passivhaus Carmen in Künzell



Nord-Ostseite Passivhaus Carmen in Künzell: Eingangsseite und Grenzwandseite mit Balkonen. Auf der von der Sonne abgewandten Seite wurde bewusst auf Fensteröffnungen verzichtet, lediglich das Treppenhaus hat ein Fenster im OG. (Foto: Thomas Weber)



Passivhaus Carmen, Ansicht von Südosten: Südwesten mit großzügiger Verglasung und auf der Südostseite die aufgeständerten Balkone mit transparenten Geländerfüllungen. Im Vordergrund sind die 2 Ansaugtürme des Erdwärmetauschers zu erkennen. (Foto: Thomas Weber)

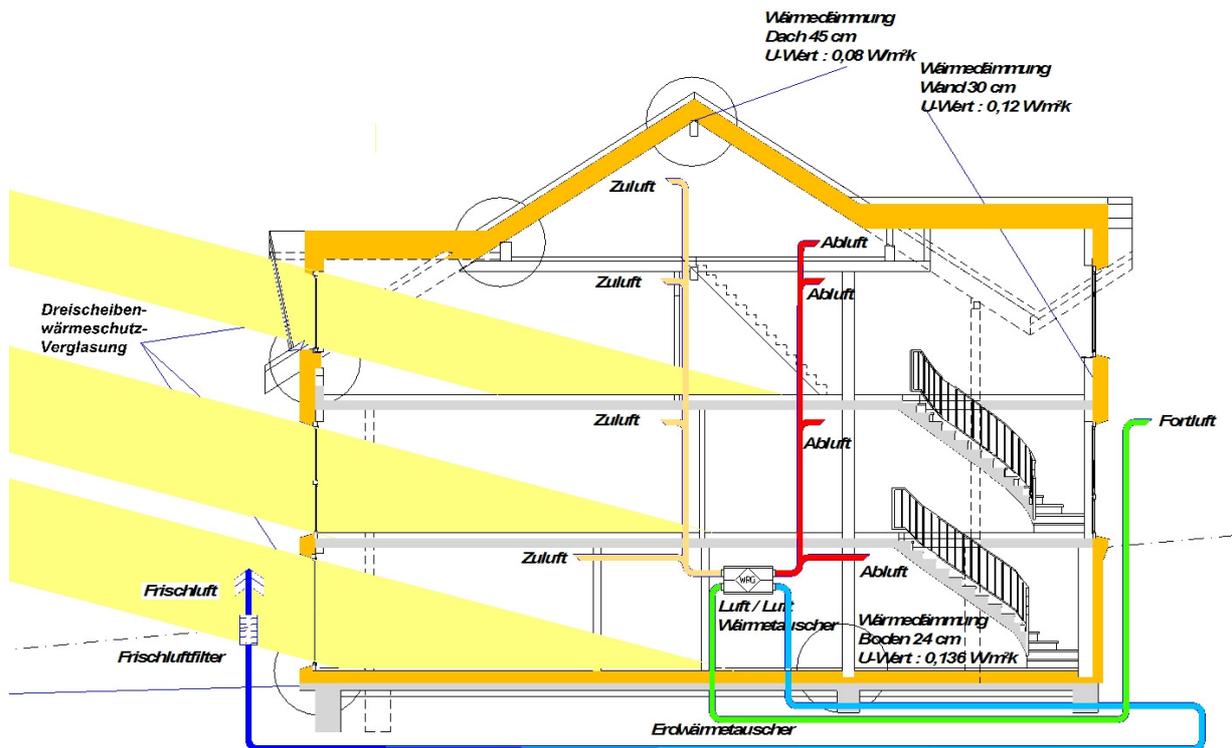


Aufnahme Passivhaus Carmen von *Nordwesten*; die Balkone mit den transparenten Geländern sind gut erkennbar. (Foto: Thomas Weber)



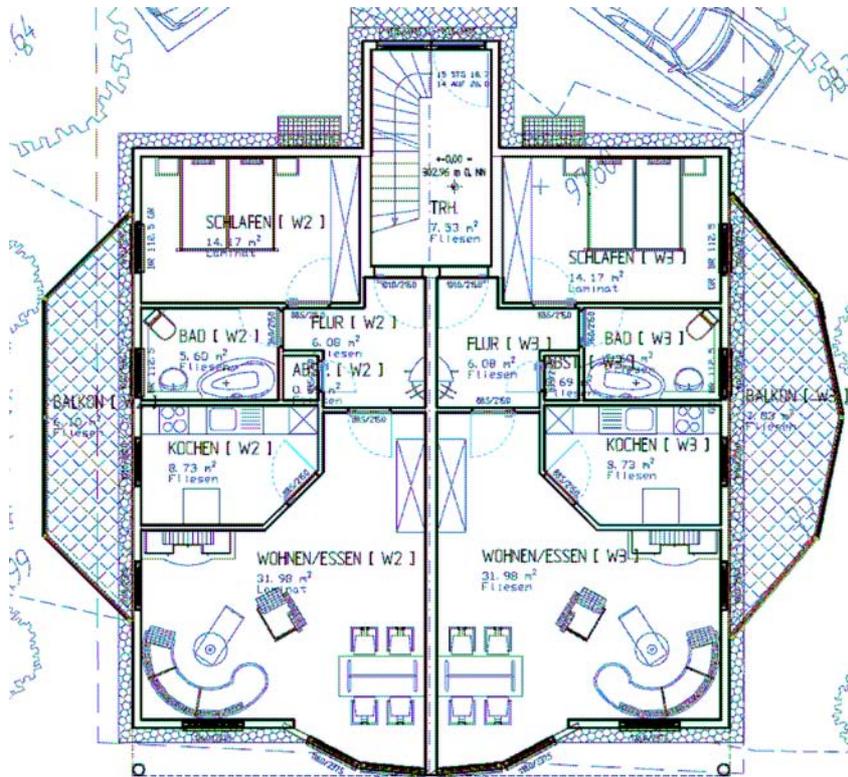
Die Innenaufnahme vom Wohnzimmer im EG in Richtung Süden zeigt die großzügige Verglasung und die gute Belichtung der Wohnung. (Foto: Thomas Weber)

3 Schnittzeichnung Passivhaus Carmen



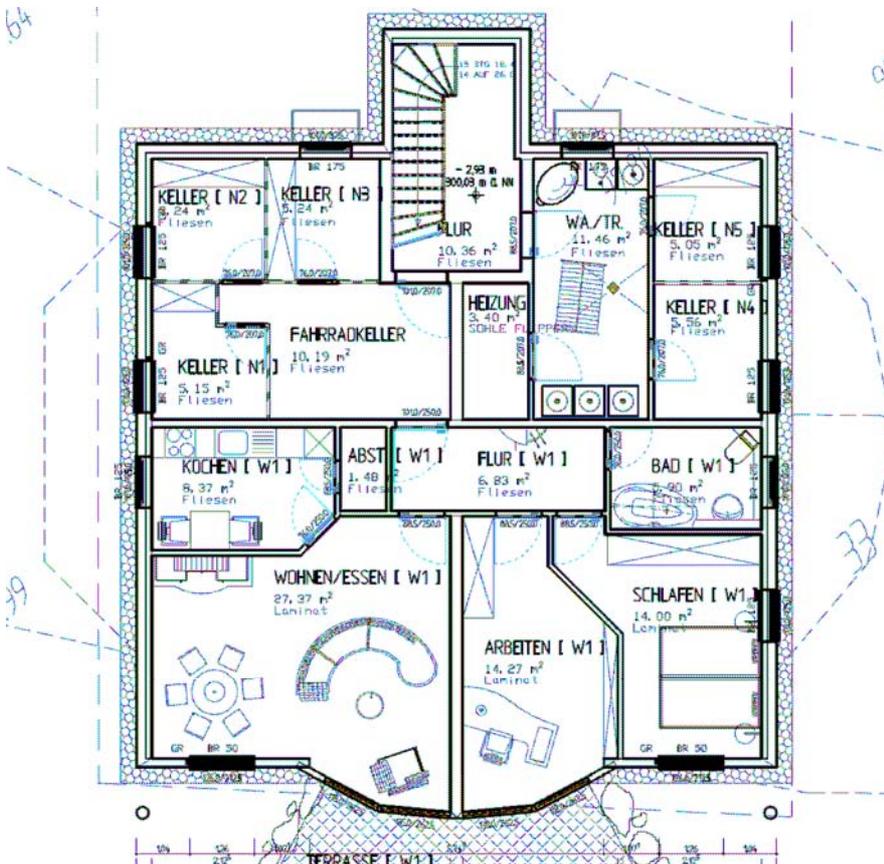
Querschnitt durch das Passivhaus Carmen in Künzell. Die geschlossene thermische Hülle mit der guten Wärmedämmung ist klar erkennbar. Das komplette Kellergeschoß ist in die warme Gebäudehülle integriert. Der Querschnitt zeigt auch die Leitungsführung der Lüftungsanlage: Über einen äußeren V-Filter wird die 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. Im Erdgeschoss ist eine zentrale Installationszone (Küche, WC und Abstellraum), ein Schlafzimmer im Norden und das Wohnzimmer nach Süden. Im Ober- und Dachgeschoss wird ein Teil des Flures durch die individuelle Treppe zum DG eingenommen. Hier oben befindet sich noch ein Schlafrum und ein WC. Im KG ist die Wohnung durchgängig südorientiert lediglich Küche und Bad sind west- bzw. ostorientiert. Im Norden des KG's sind die Keller-, Technik- und Abstellräume untergebracht.

4 Grundrisse Passivhaus Carmen Künzell



EG-Grundriss des Passivhauses Carmen in Künzell.

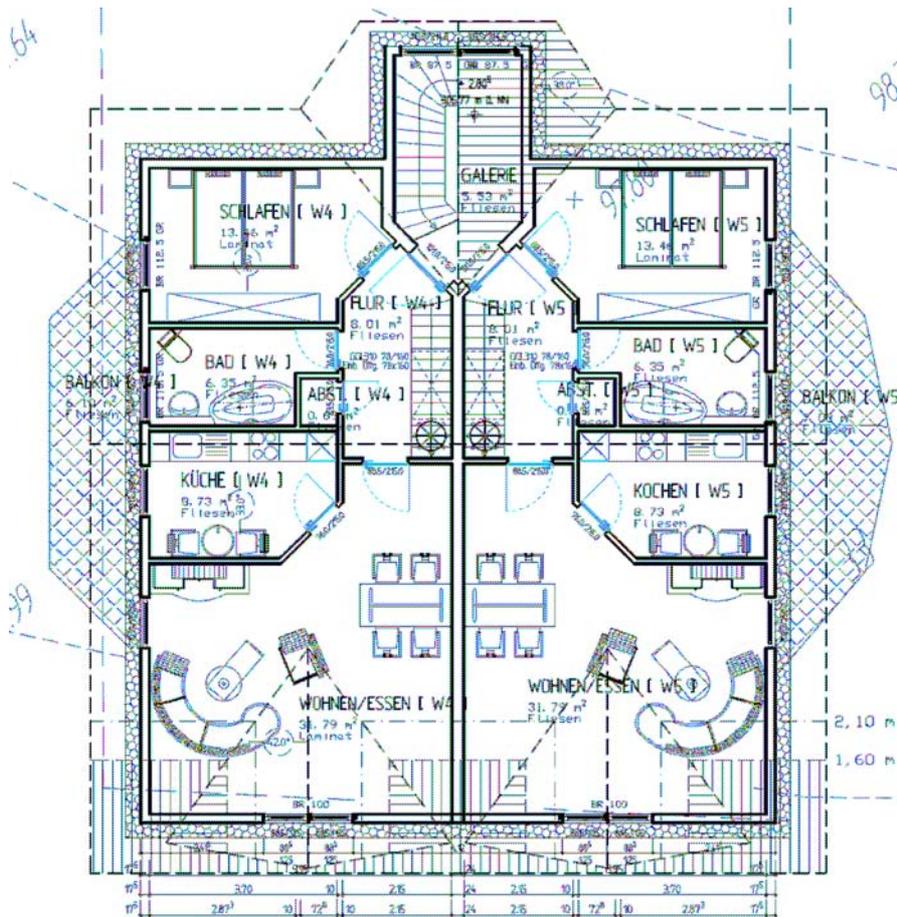
Hier sind 2 spiegelbildliche 75 m² große Zweizimmerwohnungen untergebracht. Der Wohn-Essraum mit der großzügigen Verglasung ist jeweils süd-west-orientiert. Die Ablufträume Küche, Abstellraum und Bad befinden sich im Zentrum der Wohnungen. Auf der Nordseite mit jeweils einem Fenster auf der West- bzw. Ostseite liegt das großzügige Schlafzimmer. Im Abstellraum werden die Luftleitungen vertikal verzogen. Der Balkon ist jeweils giebelseitig angeordnet und vom Wohnzimmer und der Küche zugänglich. Die kompakte, nahezu quadratische Grundrissform ist die Gewähr für ein gutes A/V-Verhältnis



KG-Grundriss des Passivhauses Carmen in Künzell.

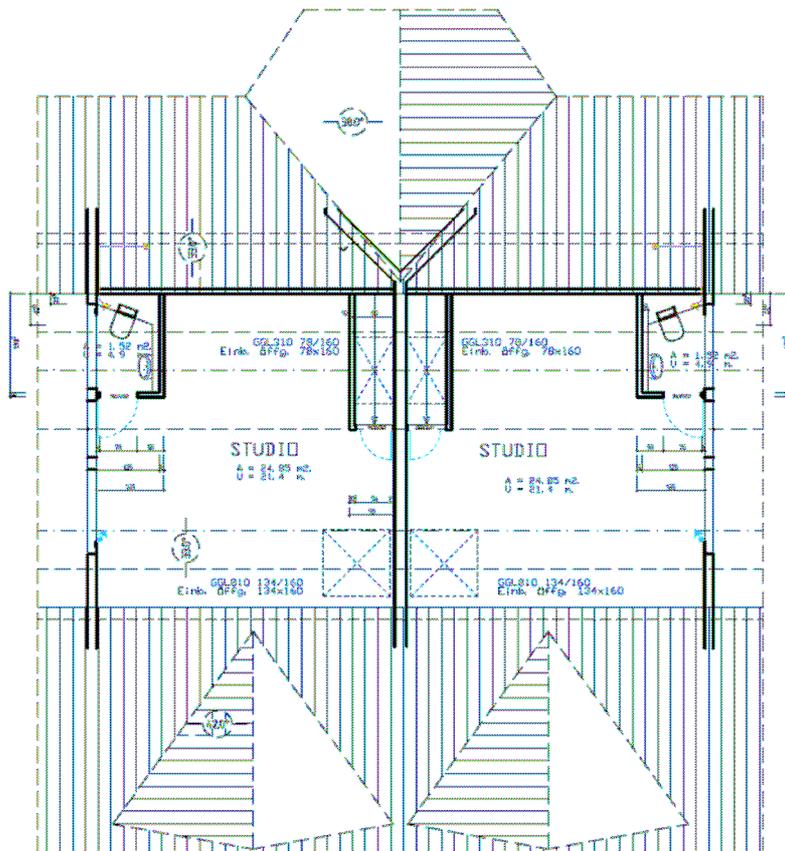
Neben den allgemeinen Kellerräumen enthält das KG eine 85 m² große Dreizimmerwohnung. Der Wohn-Essraum und das Arbeitszimmer mit der großzügigen Verglasung ist jeweils süd-west-orientiert. Die Ablufträume Küche, Abstellraum und Bad befinden sich im Zentrum der Wohnungen. Auf der Nordseite mit jeweils einem Fenster auf der West- bzw. Ostseite liegt

das geräumige Schlafzimmer. Das Wohnzimmer und das Arbeitszimmer haben einen direkten Zugang zur Terrasse.



DG1-Grundriss des Passivhauses Carmen in Künzell. Hier sind 2 spiegelbildliche 95 m² große Dreizimmerwohnungen untergebracht. Der Wohn-Essraum mit der Gaube ist jeweils süd-west-orientiert. Die Ablufträume Küche, Abstellraum und Bad befinden sich im Zentrum der Wohnungen. Auf der Nordseite mit jeweils einem Fenster auf der West- bzw. Ostseite liegt das großzügige Schlafzimmer. Im Abstellraum werden die Luftleitungen vertikal verzogen. Der Balkon ist jeweils giebelseitig angeordnet und vom Wohnzimmer und der Küche zugänglich. Im Flur ist jeweils eine

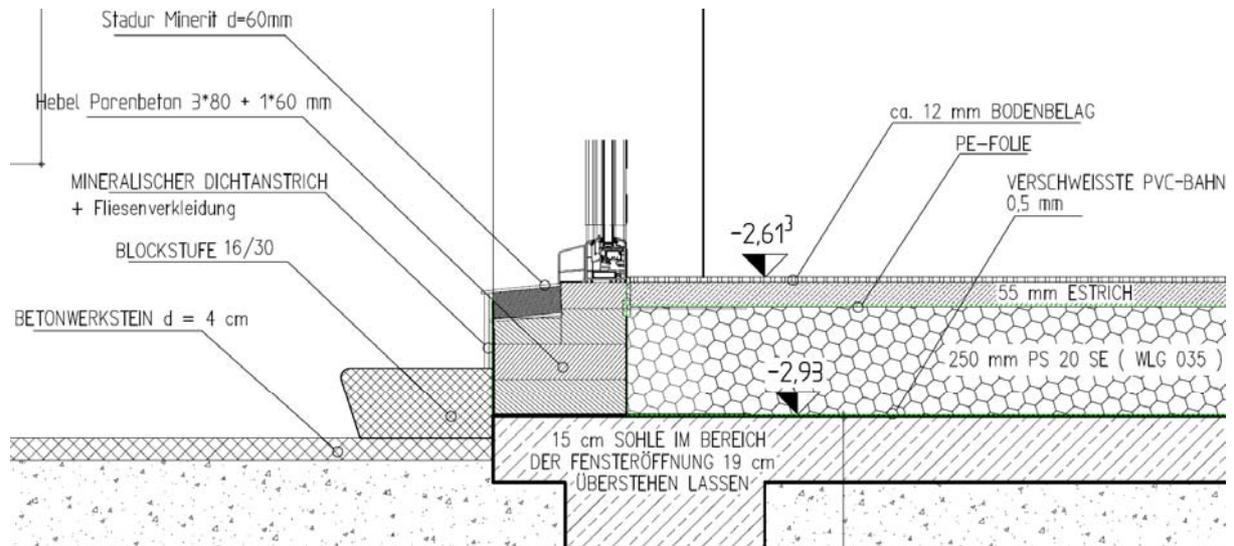
Innentreppe angeordnet, welche diese Ebene mit der zweiten Ebene verbindet.



DG2-Grundriss des Passivhauses Carmen in Künzell. Hier befinden sich die 2 spiegelbildlichen Studioräume der 95 m² großen Dreizimmerwohnungen. Diesem Zimmer zugeordnet ist jeweils ein kleines WC. Hierdurch ist dieser Raum jeweils als Schlafzimmer prädestiniert. Die Belichtung findet ausschließlich über die Giebelfenster statt, die geplanten Dachfenster wurden nicht ausgeführt, weil es zum Zeitpunkt der Bauausführung keine passivhaustauglichen Produkte marktverfügbar waren.

5 Konstruktionsdetails der Passivhaus-Hülle und - Technik Passivhaus Carmen in Künzell

5.1 Konstruktion inkl. Dämmung der Bodenplatte mit Anschluss- punkten zu Außen- und Innenwänden



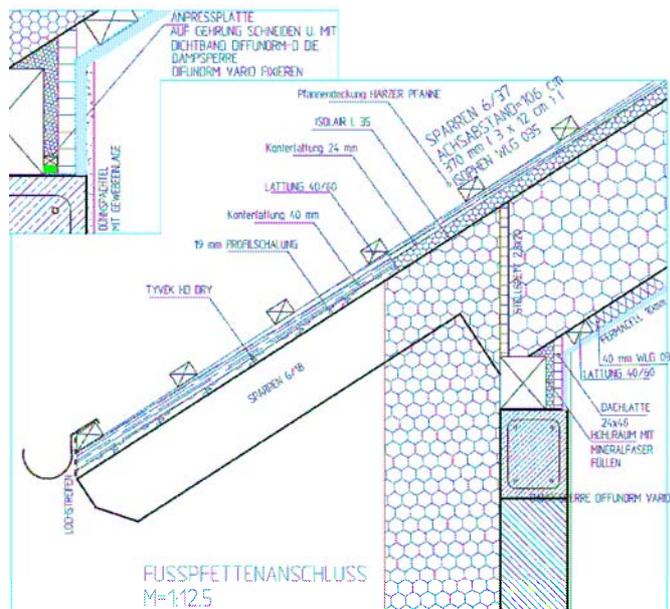
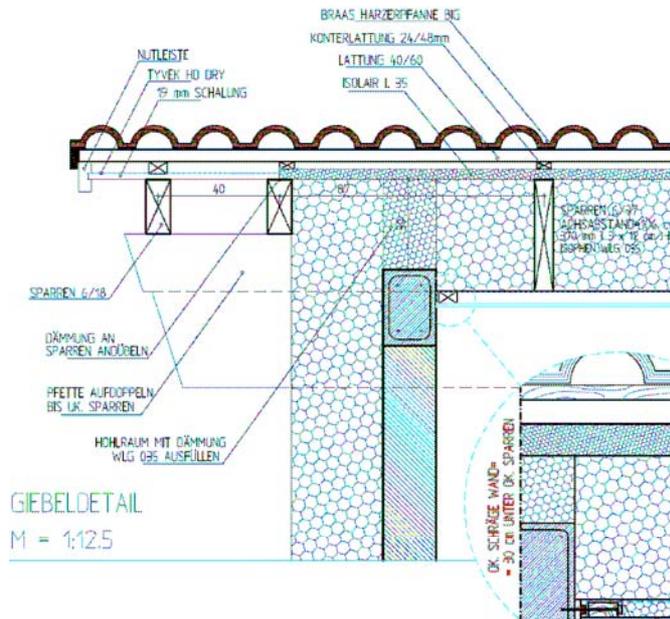
Vermeidung von Wärmebrücken am Fußpunkt des aufsteigenden Mauerwerks. Die Wände mit Erdanschüttung werden aus hochwärmedämmendem Porenbeton WLG 100 hergestellt. Der untere Abschluss wurde mit Purenit WLG 070 hergestellt. Im Bereich der Fenster sind Mineralschaumplatten mit einer WLG 045 als druckfester Dämmstoff eingesetzt worden. Die Bodenplatte selbst ist mit einer 25 cm dicken Wärmedämmung

WLG 035 belegt worden. Das Foto zeigt die unterste Steinreihe (Purenit) während der Ausführung.

Aufbau der Bodenplatte:

Bodenplatte	Bodenplatte; Bauwerksabdichtung; 250 mm Polystyrol-Hartschaumplatten; 60 mm Heiz-Estrich; 8 mm Stäbchenparkett, geklebt; Versiegelung	U-Wert 0,136 W/(m ² K)
--------------------	---	---

5.3 Konstruktion inkl. Dämmung des Daches



Der Dachaufbau im Passivhaus Carmen in Künzell. Es wurden Brettschichtholzsparrnen in den Abmessungen 6/37 cm im Abstand von 1,06 m eingesetzt. Der Zwischenraum wurde mit Mineralwolle der WLG 035 verfüllt. Raumseitig wurde eine Dampfbremssfolie aus Polyamid verwendet. Die Zwischenräume der Traglattung innen wurden dann erneut mit einer Wärmedämmung in 5 cm Stärke verfüllt. Den inneren Abschluss stellt eine 10 mm dicke Gipsfaserplatte dar. Auf die Sparren wurde eine 35 mm dicke latexierte Holzfaserplatte als regensicheres Unterdach montiert. Bei der so ausgeführten Konstruktion ergibt sich ein U-Wert von 0,088 W/(m²K).

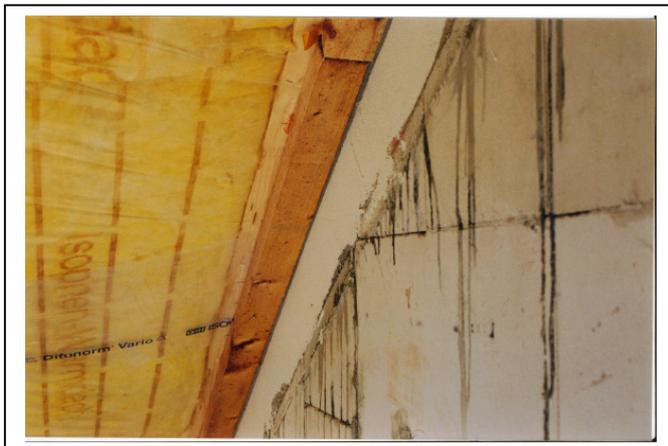
Dach	Betondachsteine; latexierte Holzfaserplatte; Sparren aus BSH; Konterlattung, fugenlos verklebte Luftdichtung aus Polyamidfolie; Gipsfaserplatte; Raufasertapete; Dispersionsfarbenanstrich, gesamter Hohlraum (430 mm) mit Mineralwolle WLG 035 ausgefüllt	U-Wert 0,088 W/(m²K)
-------------	--	----------------------------

6 Beschreibung der luftdichten Hülle; Dokumentation des Drucktestergebnisses

Für das Passivhaus ist eine sehr dichte Gebäudehülle erforderlich, da nur so die Lüftungswärmeverluste entscheidend gesenkt und der Luftaustausch über den Wärmeüberträger sichergestellt werden können

Nachfolgend wird das Luftdichtungskonzept des Passivhauses Carmen dargestellt..

Dach: Für das Dach wurden Brettschichtholzsparrren 6/37 mit einem Abstand von 1,06 m verwendet, die eine extrem dicke Wärmedämmung bei nur sehr geringer Wärmebrückenwirkung erlauben (6% Holzanteil). Die Dichtheit dieser Konstruktion wird durch eine durchgehende Polyamidfolie erreicht, die in großen Bahnen unter der Konterlattung angetackert wurde. Die Verklebung erfolgte mit beidseitig klebenden Butylklebebändern. Der Wandanschluss wurde mit einer Holzlatte und Kompribändern hergestellt.



Beim Dach bildet die Polyamidfolie die luftdichte Ebene, bei der Massivwand der durchgehende Gipsputz. Der Anschluss dieser beiden Ebenen wurde durch das Vorputzen der Anschlussbereiche möglich. Auf diese so vorbereiteten Flächen wurde die Dampfbremssfolie mit einer Holzlatte und Kompriband dauerhaft befestigt. 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.

Außenwand: Im Bereich der Außen- und Wohnungstrennwände wurde für die Luftdichtung ein vollflächig aufgetragener 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 Fensterrahmen aus PVC-Profilen sind luftdicht. Der Putz überdeckt die EPDM-Folien, die die Verbindung zwischen Mauerwerk und Fensterrahmen herstellt. Das Bild zeigt die Fenster, die vor der Mauerwerkswand befestigt und mit schwarzen EPDM-Folien in der Laibung verklebt wurde.



Kellersohle: Die Ortbetonsohle ist in sich dicht und wurde mit einer Bitumendichtbahn V60 abgeschweißt. Die Folie zur Abdeckung der Wärmedämmung wurde an alle aufgehenden Wände mit Holzlatten und Kompriband angeschlossen. Der auf dem Bild dargestellte Folienlappen wurde später nach auflegen der Wärmedämmung mit der

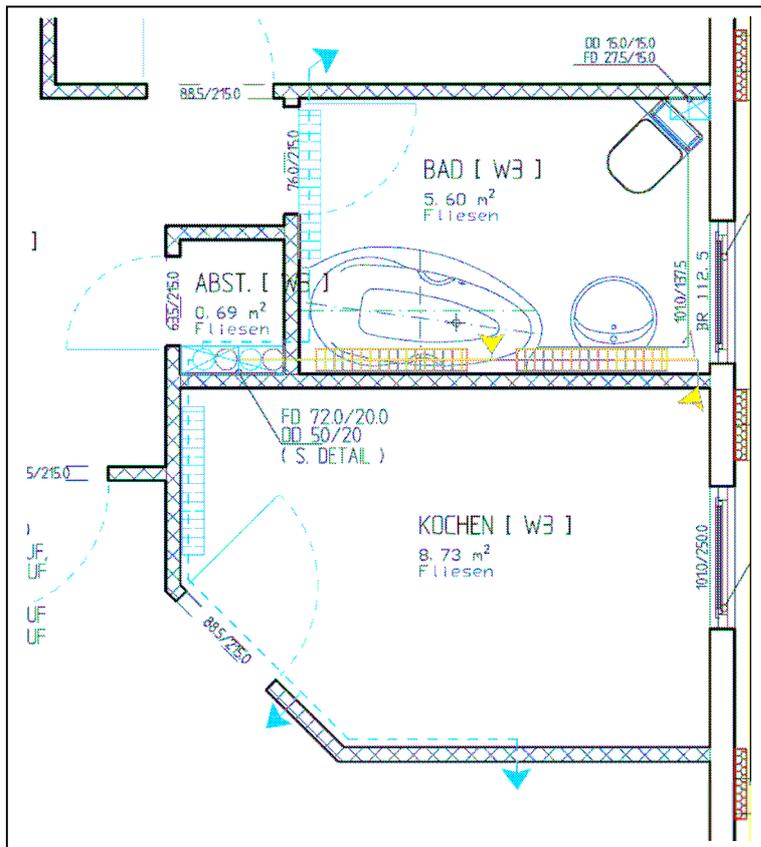
Abdeckfolie verklebt. Auf dem Bild ist der Purenitfuß und der vorgeputzte Anschlussbereich erkennbar

Der erste Drucktest wurde nach Fertigstellung der luftdichten Hülle am 27.4.2000 durch das Ingenieurbüro Kolb + Müller durchgeführt.

Drucktestmessergebnisse vom 27.4.2000 aus dem Passivhaus Carmen in Künzell

Messung	50 Pa-Drucktest-Luftwechsel $n_{50} \text{ h}^{-1}$
Passivhaus Carmen	0,31

Lüftungsplanung Kanalnetz (exemplarisch)



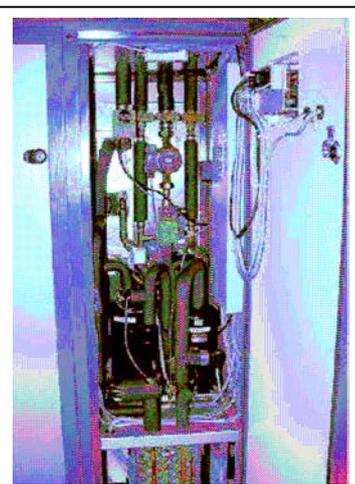
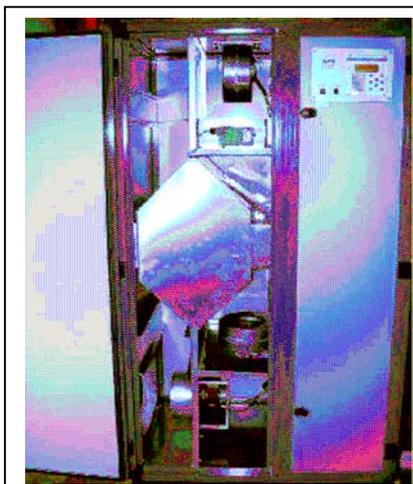
Die Leitungsführung wurde wohnungszentral vertikal durch die Abstellräume geführt. Die horizontale Leitungsführung ist in der obigen Abbildung exemplarisch zu erkennen. Die Lüftungswege sind kurz und mit wenig Druckverlusten verbunden. Vor jedem Raum wurden Telefoneschalldämpfer eingebaut.

Zulufräume sind alle Hauptaufenthaltsräume (oben in blau: Zuluftkanäle), Schlafzimmer, und Wohnzimmer. Ablufträume sind Bäder, WCs und die Küche.

Die Überströmung erfolgt jeweils durch den Türspalt unter Innentüren in den Flur. Von dort über den Türspalt unter den Türen in die Feuchträume. Und von hier wird die verbrauchte Luft über ein Abluftkanalnetz (auf dem Bild in gelb) zurück zum Wärmeübertrager gebracht.

Um die Lüftungsverluste stark zu reduzieren, wurde eine balancierte Zu/Abluft-Anlage mit einem hocheffizienten Gegenstrom-Luft-Luft-Wärmetauscher eingesetzt. Zum Einsatz kam die Anlage Syntec LG2WP2 der Fa. Herget KG. Die Anlage verfügt über eine Rückwärmzahl von 90%. Dem Lüftungsteil ist eine Luftwärmepumpe mit zusätzlichem Außenluftanschluss nachgeschaltet. Die folgenden Bilder zeigen zu-

nächst den Lüftungsteil und dann den Wärmepumpenteil

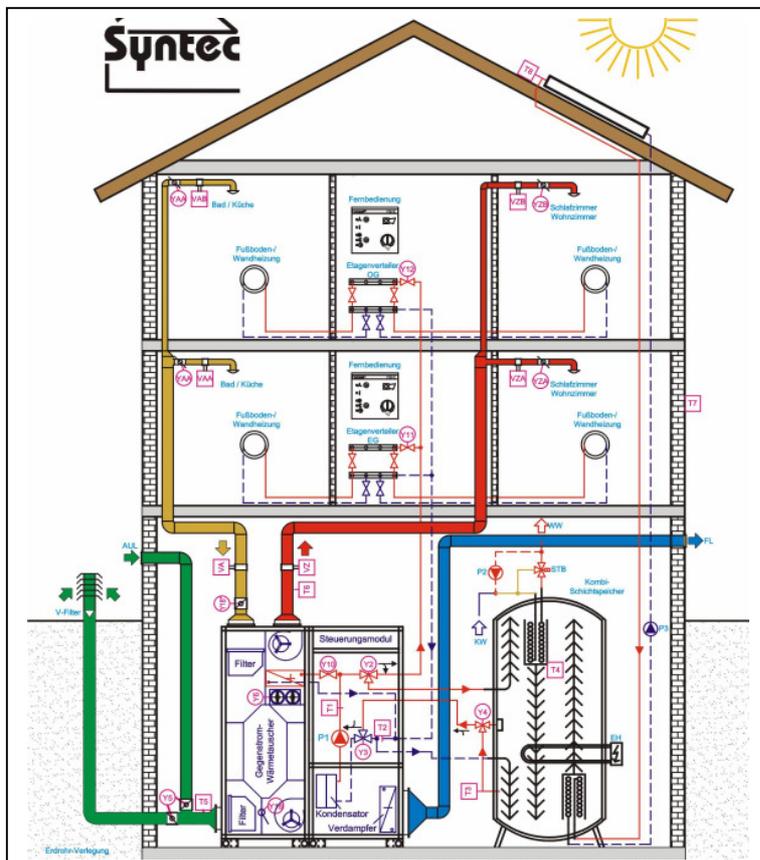


Der verwendete Gegenstrom-Luft-Luft-Wärmeübertrager für die Wärmerückgewinnung. Die Aufnahme zeigt den Blick links in den Lüftungsteil und rechts in den Wärmepumpenteil.

Der verbrauchten Abluft des Hauses wird zunächst im Gegenstromwärmetauscher (Wirkungsgrad über 90%) die Wärme entzogen. Der restliche Energieentzug vollzieht sich in der nachgeschalteten Fortluftwärmepumpe. Mittels einem im Lüftungsgerät integrierten "Frischluf-Fortluftbypass" mit Gleichstrom-Zusatzventilator wird der Luftstromdurchsatz der Wärmepumpe bedarfsweise um das ca. zwei- bis achtfache erhöht, ohne dass durch das Haus mehr Luft strömen muss. Gegenüber konventionellen Fortluftwärmepumpen wird damit die Heizleistung circa verdreifacht und das bei erheblich besserer Leistungsziffer. Die volumenstromgeregelten Ventilatoren mit Gleichstrommotoren (stufenlose oder dreistufige Sollwertwahl) sorgen auch bei unterschiedlicher Filterverschmutzung für ausgeglichene Zu- und Abluftströme. Im Sommer kann durch die im Erdreich abgekühlte Frischluft eine spürbare Klimatisierung erreicht werden. Eine im Lüftungsgerät befindliche Motorstellklappe regelt die Temperatur. D. h. die Zuluft wird automatisch nach Erfordernis über einen Bypass an dem Gegenstromwärmetauscher vorbeigeführt. Ein Heißgasabtausystem sorgt im Winter für die automatische Enteisung des Verdampfers im Bedarfsfall.

7 Wärmeversorgung

Der Deckungsbeitrag der thermischen Solarkollektoren beträgt im Passivhaus Carmen in Künzell etwa 67%. Die Bereitstellung von Warmwasser stellt den höchsten Energiebedarf dieses Hauses dar, daher ist ein effizientes Brauchwassersystem von großer Bedeutung.



Der **thermische Vakuumkollektor** wurde auf dem Dach des Passivhauses aufgebracht.

Die Abbildung links verdeutlicht das Anlagenschema.

Die übrige Warmwasserbereitung und die Raumheizung erfolgt über die oben beschriebene Luftwärmepumpe, die den zentralen WW-Pufferspeicher (1000 l) belädt. Die WW-Bereitung erfolgt in Durchlaufprinzip, durch im Speicher angeordnete Wärmetauscherrohre. Die Zirkulation erfolgt bedarfsweise durch an den Zapfstellen angebrachte Taster, die über ein „Treppenhausrelais“ die Zirkulationspumpe für 2 Minuten laufen lassen bis Warmwasser an der Zapfstelle ansteht.

8 PHPP-Berechnungen

Die Gebäudesimulation wurde mit dem PHPP '99 durchgeführt. Die folgende Grafik zeigt das Deckblatt des Nachweises.

Passivhaus Qualitätsnachweis			
			
Objekt	5 Familienhaus		
Standort	KÜNZEL-Bachrain		
Straße	Weyhersex Weg 44		
PLZ/Ort	36093 Künzell		
Land	Hessen		
Energiekennwert Heizwärme:	Vorhanden: 13,7 kWh/(m²a)	Anforderung: 15 kWh/(m²a)	Erfüllt? <input checked="" type="checkbox"/>
Drucktest-Ergebnis:	0,24 h ⁻¹	0,6 h ⁻¹	<input checked="" type="checkbox"/>
Primärenergie-Kennwert:	77,4 kWh/(m²a)	120 kWh/(m²a)	<input checked="" type="checkbox"/>
Objekt-Typ:	Mehrfamilienwohnhaus		
Bauherr(en):	Carmen Weber		
Straße:	Weyhersex Weg 44		
PLZ/Ort:	36093 Künzell		
Architekt:	DIPL.-ING. THOMAS WEBER BDB		
Straße:	Weyhersex Weg 44		
PLZ/Ort:	36093 Künzell		
Haus Technik:	Hergert KG		
Straße:	Wachtkuppelstr. 2		
PLZ/Ort:	36124 Eichenzell		
Baujahr:	1999		
Zahl WE:	5		
Energiebezugsfläche:	je WE: 448,2 m²	gesamt: 2241 m²	Ausgestellt am: 09.12.1999
Umbautes Volumen:	1819,4 m³	9097 m³	gezeichnet: Thomas Weber
Personenzahl:	10	50	

Passivhaus-Projektierung HEIZWÄRMELAST												
Objekt:	5 Familienhaus					Gebäudepf/Butzung:	Mehrfamilienwohnhaus					
Standort:	KÜNZEL-Bachrain					Energiebezugsfläche AEB:	448 m²					
Wetterregion (01-13): 11 Reichtagen der südlichen und westlichen Mittelgebirge, z.B. Hof												
Ausgangstemperat. (Strahlung) Ort: Süd West Nord Horizontal												
Wetter 1:	-9,0	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	
Wetter 2:	-4,0	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	
Bauteile	Fläche m²	U-Wert W/(m²K)	Faktor	Temperatur K	Temperatur K	P ₁ Watt	P ₂ Watt					
1: Fassade Ost+West	210,8	0,127	1,0	29	24	779	645					
2: Fassade Süd	57,8	0,127	1,0	29	24	213	177					
3: Giebel Süd	10,5	0,085	1,0	29	24	29	22					
4: Wände im Erdreich	83,5	0,125	1,0	10	10	104	104					
5: Fassade Nord	63,8	0,127	1,0	29	24	236	195					
6: Dach	226,2	0,087	1,0	29	24	569	471					
7: Grund	192,9	0,139	1,0	10	10	258	268					
8: Fenster	95,0	0,802	1,0	29	24	2207	1827					
Transmissionswärmelast P_T						Summe	4402	3708				
						A _{ext} m²	lichte Raumhöhe m					
 Lüftungsanlage:						wirksames Luftvolumen V _L m³	449,2	2,40	= 1076 h			
Volumenberechnungsgrund						η _{vol} %	75%					
die Platznutzungscharakter						η _{pl} %	33%					
Erdreichnutzungscharakter						η _{er} %	0,450	0,83	= 10,104			
energetisch wirksamer Luftwechseln:						0,450	0,83					
						Y _L m³/h	η _l %	0,33	TempDiff1 K	TempDiff2 K	P ₁ Watt	P ₂ Watt
Luftungswärmelast P_L						1075,6	0,104	0,33	29,0	24,0	1070	885
Summe Wärmelast P_V						P _T + P _L = 5472 bzw. 4593						
Wärmeangebot Solarlast P_S												
Ausrichtung						Fläche m²	g-Wert	Reduktionsfaktor	Strahlung 1 W/m²	Strahlung 2 W/m²	P ₁ Watt	P ₂ Watt
der Fläche						(senkr. Einstrahlungs) Blatt Fenster						
1. Ost	20,86	0,53	0,40	10	5	44	22					
2. Süd	29,82	0,53	0,46	40	5	288	36					
3. West	39,35	0,53	0,36	10	5	74	37					
4. Nord	10,23	0,53	0,38	5	5	10	10					
5. Horizontal	0,00	0,53	0,45	5	5	0	0					
6.						0	0					
Wärmeangebot Solarlast P_S						Summe	418	106				
						spez. Leistung W/m²	A _{ext} m²	P ₁ Watt	P ₂ Watt			
Interne Wärmelast P_I						1,6	448	717	717			
Wärmegewinne P_G						P _S + P _I = 1135 bzw. 823						
						P _V - P _G = 4338 bzw. 3770						
Heizwärmelast P_H						= 4338 W						
						= 9,7 W/m²						
Zulufttemperatur ohne Nachheizung						θ _{Zuluft} 15 °C	Zulufttemperatur Max:	θ _{Zuluft} 52 °C	Watt			
Wärmelast, von Zuluft transportiert P_{Zuluft}						= 5884 bzw. 13,1 W/m²						

PHPP-Dokument des Passivhauses Carmen in Künzell. Die beteiligten Planer sind hier ebenfalls angegeben. Rechts ist die mit PHPP durchgeführte Heizlastberechnung dargestellt.

Bei den Verlusten tragen die Fenster fast die Hälfte bei, die Außenwände etwa ein Viertel. Etwa 20% der Fensterverluste wird wieder durch Solargewinne der Fenster gedeckt. Innere Wärmequellen tragen etwa 15% bei, die Heizung deckt den restlichen Heizwärmebedarf von ca. 14 kWh/(m²a).

9 Baukosten

Das Passivhaus Carmen in Künzell wurde im Jahr 1999-2000 gebaut. Die Zinsen waren damals relativ günstig ca. 5% ähnlich wie heute.

Die reinen Baukosten (Kostengruppen 300 bis 400) lagen bei **1.176 €/m²**. In der Summe bei **499.800 €**. Die Kosten waren im Verhältnis der errichteten Gebäudequalität angemessen. Baulichen Mehrinvestitionen für die Energieeffizienz lagen nach meiner Zusammenstellung bei **37.000 €**. Passivhaus-Mehrinvestitionen im Haus Carmen **87 €/m²**. Oder etwa **7,4 %** der Baukosten. Diese Mehrinvestitionen waren vor allem auf die teureren Fenster, die Lüftungsanlage und die Mehrstärken in der Gebäudedämmung zurückzuführen. Die Mehrkosten konnten durch die Passivhausfinanzierung der KfW (3,5%) gut finanziert werden.

10 Messergebnisse aus dem bewohnten Gebäude

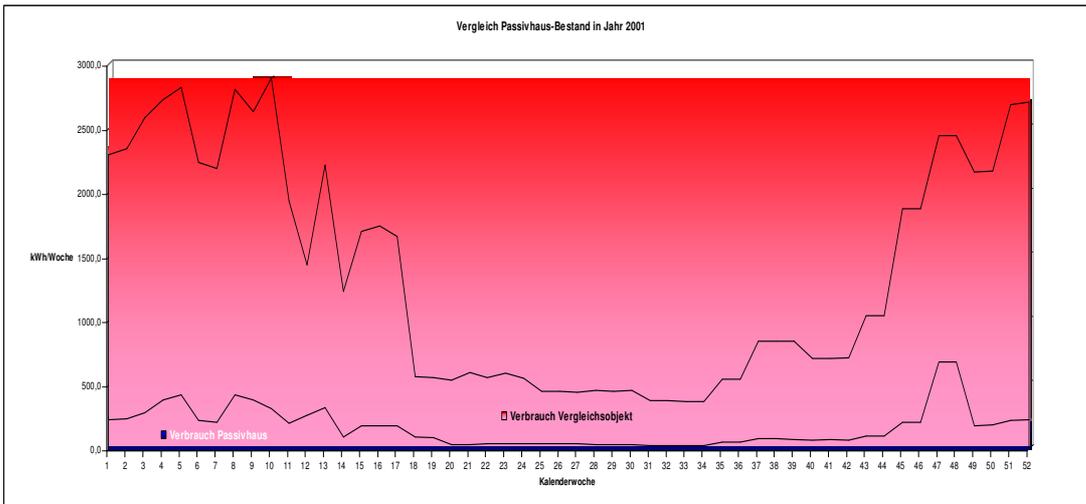
10.1 Messdatenerfassung

Energieverbrauch Heizung + Warmwasserbereitung Passivhaus Carmen Weber								
belegt mit 8 Personen + 1 Baby, 425 m² Wfl. und 5 Wohnungen								
Energieverbrauch für HZ + WW vom 01.07.- 29.12.2000				2.688 kWh		= 403,20 DM		
Energieverbrauch für Lüftung vom 01.07.- 29.12.2000				691 kWh		= 207,30 DM		
Kalender- Woche 2001	Durchschnittl. Temperatur Innen/außen	Energie- verbrauch HZ + WW	Energie- verbrauch Lüftung	Energie- verbrauch HZ + WW+Lü	Energieverbrauch HZ- WW Vergleichsobjekt	Energie- kosten Passivhaus DM	Energie- kosten Haus Bj 1989 DM	Ersparnis pro Woche
1	22	201,7	22,1	223,8	2.071,0	36,89 DM	242,72 DM	205,83 DM
2	22	212,3	22,3	234,6	2.107,0	38,54 DM	246,94 DM	208,41 DM
3	22	256,0	21,9	277,9	2.307,0	44,97 DM	270,38 DM	225,41 DM
4	22	360,4	22,2	382,6	2.344,0	60,72 DM	274,72 DM	213,99 DM
5	22	394,9	24,1	419,0	2.401,0	66,47 DM	281,40 DM	213,93 DM
6	22	192,5	28,5	221,0	2.013,0	37,43 DM	235,92 DM	198,50 DM
7	22	163,6	41,3	204,9	1.983,0	36,93 DM	232,41 DM	195,48 DM
8	22	380,4	41,4	421,8	2.382,0	69,48 DM	279,17 DM	209,69 DM
9	22	338,4	41,4	379,8	2.254,0	63,18 DM	264,17 DM	200,99 DM
10	22,2	275,1	41,1	316,2	2.574,5	53,60 DM	301,73 DM	248,14 DM
11	22 / 2,5	160,9	39,11	200,0	1.730,5	35,87 DM	202,81 DM	166,94 DM
12	22/2/8	230,7	31,4	262,1	1.177,0	44,03 DM	137,95 DM	93,92 DM
13	24/11,8	275,0	44,7	319,7	1.896,6	54,66 DM	222,28 DM	167,62 DM
14	23/13,5	62,7	32,4	95,1	1.132,9	19,13 DM	132,78 DM	113,65 DM
15	22/17,5	146,0	34,5	180,5	1.517,9	32,25 DM	177,90 DM	145,65 DM
16	22/10,2	150,2	32,5	182,7	1.556,9	32,28 DM	182,47 DM	150,19 DM
17	23/13,6	141,8	36,5	178,3	1.478,9	32,22 DM	173,33 DM	141,11 DM
18	24/16	37,1	54	91,1	471,8	21,77 DM	55,29 DM	33,53 DM
19	25/21	34,0	54,1	88,1	456,9	21,33 DM	54,60 DM	33,27 DM
20	25/24	0,9	32,2	33,1	501,3	9,80 DM	58,75 DM	48,96 DM
21	24/23	0,7	32,6	33,3	561,3	9,89 DM	65,78 DM	55,90 DM
22	23/21	9,1	28,9	38,0	521,2	10,04 DM	61,08 DM	51,05 DM
23	24/22	9,7	28,1	37,8	550,2	9,89 DM	64,48 DM	54,60 DM
24	25/21	8,9	29,5	38,4	510,2	10,19 DM	59,80 DM	49,61 DM
25	25/22	4,6	31,8	36,4	409,9	10,23 DM	48,04 DM	37,81 DM
26	26/24	4,7	32,8	37,5	411,3	10,55 DM	48,20 DM	37,66 DM
27	27/29	4,5	30,9	35,4	408,8	9,95 DM	47,91 DM	37,96 DM
28	27/29	1,2	28,77	30,0	423,8	8,81 DM	49,67 DM	40,86 DM
29	26/27	0,6	28,77	29,4	420,0	8,72 DM	49,22 DM	40,50 DM
30	26/27	0,6	28,77	29,4	427,5	8,72 DM	50,11 DM	41,39 DM
31	23/25	0,4	26,74	27,1	346,7	8,08 DM	40,63 DM	32,55 DM
32	21/25	0,4	26,74	27,1	346,7	8,08 DM	40,63 DM	32,55 DM
33	22/26	0,0	27,5	27,5	339,1	8,25 DM	39,74 DM	31,49 DM
34	23/27	0,0	27,5	27,5	339,9	8,25 DM	39,84 DM	31,59 DM
35	24/15	23,3	30	53,3	488,0	12,50 DM	57,19 DM	44,70 DM
36	24/15	23,1	29,9	53,0	490,0	12,44 DM	57,43 DM	44,99 DM
37	24/16	47,3	28,5	75,8	760,7	15,65 DM	89,15 DM	73,51 DM
38	23/16	47,2	29	76,2	761,7	15,78 DM	89,27 DM	73,49 DM
39	24/17	47,0	28	75,0	762,6	15,45 DM	89,38 DM	73,93 DM
40	25/18	19,7	49,1	68,8	638,2	17,69 DM	74,80 DM	57,11 DM
41	24/17	20,1	49,1	69,2	636,3	17,75 DM	74,57 DM	56,83 DM
42	24/18	19,3	49,1	68,4	640,1	17,63 DM	75,02 DM	57,39 DM
43	24/15	69,5	30,1	99,6	939,4	19,46 DM	110,10 DM	90,64 DM
44	23/13	69,5	30	99,5	939,5	19,43 DM	110,11 DM	90,68 DM
45	"22/5"	168,4	36,9	205,3	1.664,9	36,33 DM	195,12 DM	158,79 DM
46	"22/5"	170,0	36,9	206,9	1.664,9	36,57 DM	195,12 DM	158,55 DM
47	"22/3"	631,0	42,8	673,8	1.767,0	107,48 DM	207,09 DM	99,61 DM
48	"22/4"	631,0	42,8	673,8	1.767,0	107,48 DM	207,09 DM	99,61 DM
49	22/-7	148,0	32,5	180,5	1.980,0	31,95 DM	232,06 DM	200,11 DM
50	22/-6	150,0	34,5	184,5	1.984,0	32,85 DM	232,52 DM	199,67 DM
51	21/-8	182,0	35,5	217,5	2.470,0	37,95 DM	289,48 DM	251,53 DM
52	21/-7	186,0	37,5	223,5	2.484,0	39,15 DM	291,12 DM	251,97 DM
				8471,7	63.221,1			5.874,86 DM

Erläuterung zur Tabelle : in der Tabelle wird der gemessene Endenergieverbrauch des 1. Passivhauses im Landkreis Fulda mit dem eines etwa gleich (405 m²) großen Fünffamilienhauses Baujahr 1989 verglichen. Für die Berechnung der Energiekosten wird für das Passivhaus 0,15 DM/kWh und für das Vergleichsobjekt 0,1172 DM/kWh angenommen. Beim Vergleichsobjekt sind die Kosten für die Hilfsenergie (Pumpenstrom) nicht enthalten!
Beachten Sie, dass der Betrag der Ersparnis pro Woche anfällt und bei "Warmvermietung" Ihren zusätzlichen Gewinn darstellt.
Oder sofern Sie das Objekt selbst nutzen als zusätzliches Finanzierungspotenzial zur Verfügung steht.
Man kann leicht erkennen der Passivhausstandard rechnet sich !

Den Energieverbrauch des Passivhauses Carmen habe ich im 1. Betriebsjahr wöchentlich durch Ablesung der Stromzählerstände dokumentiert. Es wurde separat der Stromverbrauch der Lüftungsmotoren und der Wärmepumpe mit Elektroheizstab abgelesen.

Um einen Vergleich zum Gebäudebestand ziehen zu können, habe ich parallel den Energieverbrauch eines etwa gleich großen Wohnhauses mit 5 Wohneinheiten, welches mit Flüssiggas beheizt wird, an dessen Gaszähler abgelesen.



Die obige Grafik verdeutlicht den Unterschied der Gebäudestandards anschaulich.

10.2 Gemessene Energieverbrauchswerte

Nach der Auswertung der Messdaten von Januar bis Dezember 2001 erfüllt das Haus die Erwartungen in Bezug auf die Energieeffizienz. Gegenüber dem Vergleichsgebäude (Bj. 1988) ist der gemessene Energieverbrauch für Heizung, Warmwasser und Lüftung lediglich 13,4 % oder anders ausgedrückt 86,6 % geringer.

Nach Abzug des gemessenen Warmwasserverbrauchs ergab sich im 1. Betriebsjahr ein Heizenergieverbrauch von 10,35 kWh/m²a. Der Durchschnitt der ersten 6 Betriebsjahren lag bei **10,65 kWh/m²a**. Im PHPP wurden 13,7 kWh/m²a berechnet.

10.3 Nutzerzufriedenheit, Nutzerverhalten

Das Passivhaus Carmen in Künzell wird seit 2000 ohne Leerstand kontinuierlich vermietet. In 2 der 5 Wohnungen wohnen noch die 1. Mieter. Der Kontakt zu den Bewohnern ist gut und deren Zufriedenheit mit der Wohnsituation durchweg sehr gut. Der Wohnungswechsel der anderen Bewohner war durch Änderungen im persönlichen und beruflichen Umfeld bedingt.