

Passive Solarenergienutzung in bewohnten Eigenheimen

Meßergebnisse und energetische Analyse für das Solarhaus in Landstuhl

3689



Johann Reiß, Hans Erhorn und Dirk Oswald

1. Einleitung

Ein wesentlicher Teil des Energieverbrauchs in der Bundesrepublik Deutschland entfällt auf die Beheizung privater Haushalte [1]. Dieser Energieverbrauch ließe sich bei konsequentem Einsatz heute am Markt verfügbarer Techniken und Baukonzepte erheblich reduzieren, wodurch auch ein wesentlicher Beitrag zur Verringerung der Umweltbelastungen erfolgen könnte [2]. Hemmend bei der Umsetzung wirken sich vor allem fehlende Kenntnisse über die Möglichkeiten energiesparenden Bauens sowie Risiken hinsichtlich der Funktionsfähigkeit und Wirtschaftlichkeit neuer Techniken und der Mangel an „Anschauungsobjekten“ aus [3]. Das Bundesministerium für Forschung und Technologie förderte daher ein Modellvorhaben, das die Umsetzung in die Praxis demonstrieren sowie ferner dazu dienen sollte, noch bestehende technische, wirtschaftliche, rechtliche und gesellschaftliche Schwierigkeiten aufzuzeigen und beseitigen zu helfen [4]. Zur Realisierung des Vorhabens wurde ein Architektenwettbewerb durchgeführt, aus dem in dem von der Stadt Landstuhl bereitgestellten Bebauungsgebiet bzw. in dessen näheren Umgebung 12 Häuser zur Ausführung gelangten. Daneben wurden weitere 10 mit den Konzepten der Entwürfe aus dem Architektenwettbewerb vergleichbare Gebäude an anderen Standorten in der Bundesrepublik Deutschland sowie 3 konventionelle Referenzhäuser in das Forschungsprogramm mit einbezogen [5]. In *Bild 1* sind die Ansichten und die Standorte aller im Projekt eingebundenen Objekte dargestellt. Mit den Gebäuden wurden unterschiedliche Konzepte zur energiesparenden Bauweise verfolgt. Alle Häuser sind bewohnt und mit einer umfangreichen Meßtechnik ausgestattet. Im folgenden soll auf die thermische und energetische Bewertung des Solarhauses in Landstuhl näher eingegangen werden. Begleitende Untersuchungen zum Investitions- und Nutzungsverhalten der Bauherren sollen Aufschlüsse für die Anwendung neuer Techniken, über Schwierigkeiten bei deren Handhabung und über deren Auswirkungen auf die Wohnqualität geben [6].

Dipl.-Ing. (FH) Johann Reiß, Dipl.-Ing. Hans Erhorn, Dr.-Ing. Dirk Oswald, Fraunhofer-Institut für Bauphysik (IBP), Bereich Wärme/Klima (Inst.Leiter: o. Prof. Dr.-Ing. habil. K. A. Gertis).

Das Forschungsvorhaben wurde unter dem Förderkennzeichen 03 E-4339-C vom Bundesministerium für Forschung und Technologie gefördert.

2. Beschreibung des untersuchten Solarhauses

Das untersuchte Solarhaus ist ein aus dem Architektenwettbewerb realisierter Entwurf des Architekten *Schneider-Wessling*. Bei der Begutachtung der Entwürfe des Wettbewerbs von Bauwilligen, die eine Projektteilnahme erwogen, war dieses Gebäude der umstrittenste Entwurf. Während 27% der Interessierten dem Entwurf eindeutig zustimmten, sprachen sich 18% eindeutig dagegen aus [3]. Da das Gebäude innerhalb des Projektes dreimal realisiert wurde (vgl. auch [7], [8]), muß allerdings davon ausgegangen werden, daß der Entwurf – trotz aller anfänglicher Skepsis und der vorgebrachten Einwände bezüglich des Kostenumfanges – großes Interesse zur Umsetzung geweckt hat. Das Gebäude wurde in dem von der Stadt Landstuhl bereitgestellten Bebauungsgebiet errichtet. In *Bild 2* ist die Südansicht des Gebäudes dargestellt.

2.1 Gebäude

Das untersuchte Solarhaus ist ein dreigeschossiges Einfamilienhaus mit Einliegerwohnung und Wintergarten. Der Entwurf hob sich durch seinen achteckigen Grundriß besonders von der traditionellen Gebäudeplanung ab. In *Bild 3* ist das Gebäude in Grundrissen und Schnitt dargestellt.



Bild 2. Photographische Aufnahme der Südansicht des untersuchten Solarhauses.

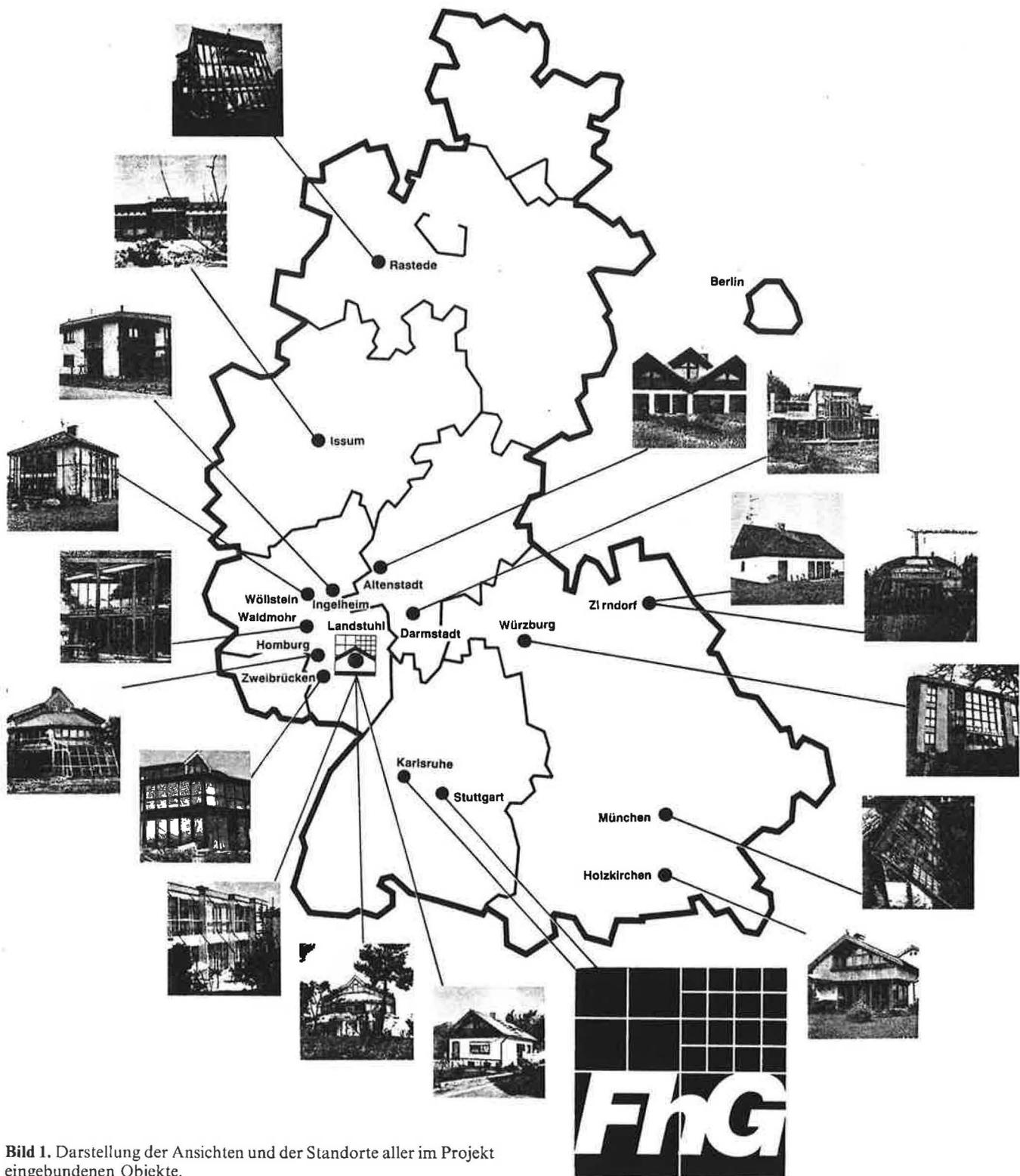


Bild 1. Darstellung der Ansichten und der Standorte aller im Projekt eingebundenen Objekte.

stellt. Aus dem Bild geht auch die Gebäudenutzung hervor. Bei der Auswahl der Gebäudeentwürfe im Wettbewerb wurde auf die Einhaltung eines exzellenten Wärmeschutzes geachtet. Die ausgeführten Bauteile sind meist deutlich besser wärmegeämmt, als dies in der Wärmeschutzverordnung [9] gesetzlich vorgeschrieben ist. In Tab. 1 sind die Aufbauten, die Materialkennwerte und die Flächen aller wärmetauschenden Bauteile des Hauses zusammengestellt, die den beheizten Wohnraum umschlie-

ßen. Außer der beheizten Wohnfläche von $210,1 \text{ m}^2$ hat das Gebäude im Untergeschoß eine nicht beheizte Nutzfläche von $37,1 \text{ m}^2$. Die Außenfassade des Wintergartens besteht aus einer Zweischeiben-Isolierverglasung und überdeckt eine Grundfläche von $59,2 \text{ m}^2$. Der Wohnbereich und der Wintergarten sind durch eine Zweischeiben-Isolierverglasung voneinander abgetrennt. An diesen Fenstern ist raumseitig ein temporärer Wärmeschutz angebracht, der auch als Sonnenschutz verwendbar ist. Er

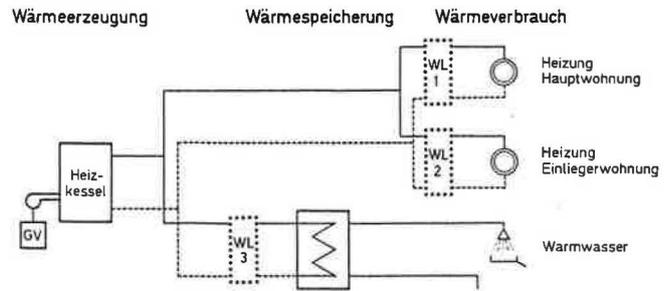
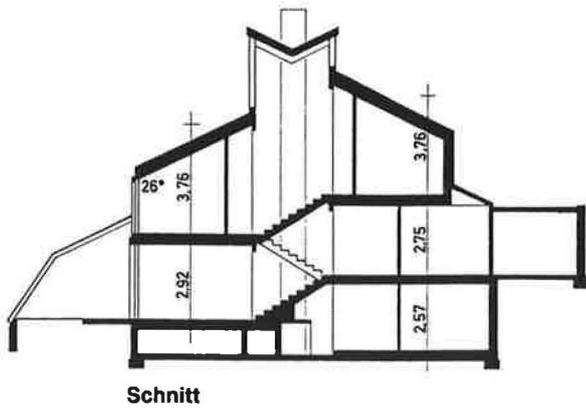
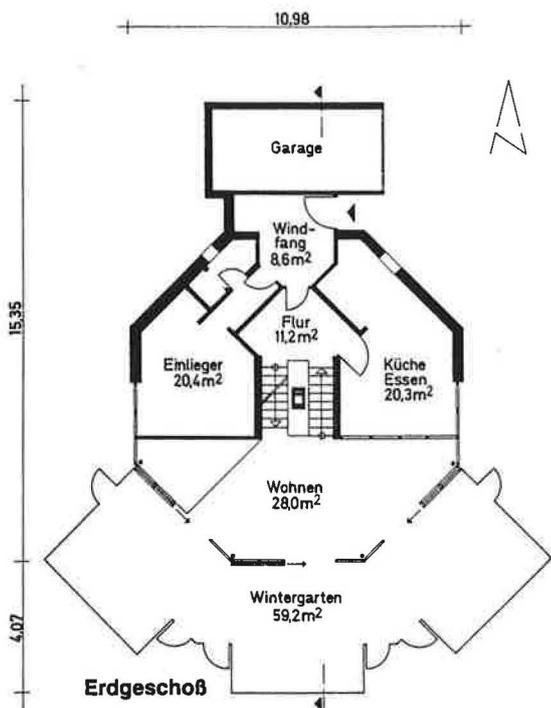


Bild 4. Schematische Darstellung der Heizanlage mit Angabe der Meßstellen für die Energieverbrauchserfassung. GV: Gasverbrauch, WL: Wärmeleistung.



besteht aus einem mehrlagigen, kurz- und langwellig reflektierenden Folienverbund. Der zusätzliche Dämmwert dieses Systems beträgt nach Herstellerangaben ca. 1,2 m² K/W. Durch Öffnen der in den beiden südlichen Kinderzimmern eingebauten Fensterklappen kann in der kalten Jahreszeit erwärmte Wintergartenluft in die Zimmer strömen. Von der höchsten Stelle des Hauses kann diese dann über ein Kanalsystem in einen Kiesspeicher transportiert werden, der sich im Kellergeschoß unter dem Wohnraum befindet. Bei Bedarf kann die im Kiesbett abgespeicherte Wärme zur Unterstützung der Raumheizung abgerufen werden. Die mit Tracergas durchgeführten Luftwechsellmessungen ergaben bei geschlossenen Fenstern, bei einer Außenluftgeschwindigkeit von 3 m/s, im Mittel einen auf das Volumen des Gebäudes bezogenen Luftwechsel von 0,6 · h⁻¹. Dieser Wert liegt geringfügig über dem Mittelwert aller im Vorhaben gemessenen Gebäude [10].

2.2 Heizanlage

In **Bild 4** ist das Schema der Heizanlage dargestellt. Das gesamte Wohngebäude ist mit einer Warmwasserfußbo-

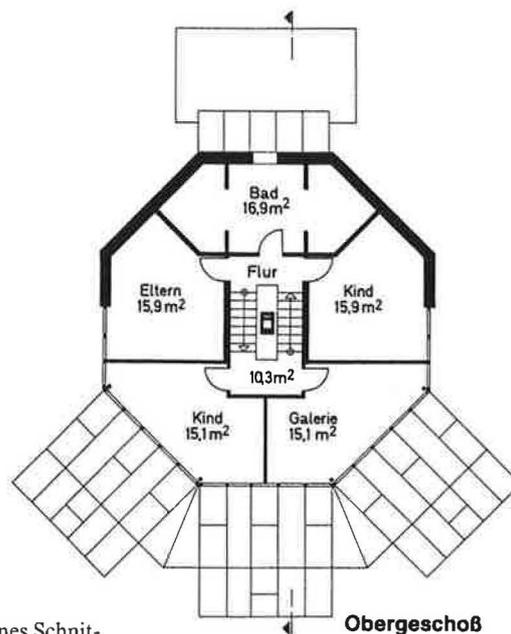
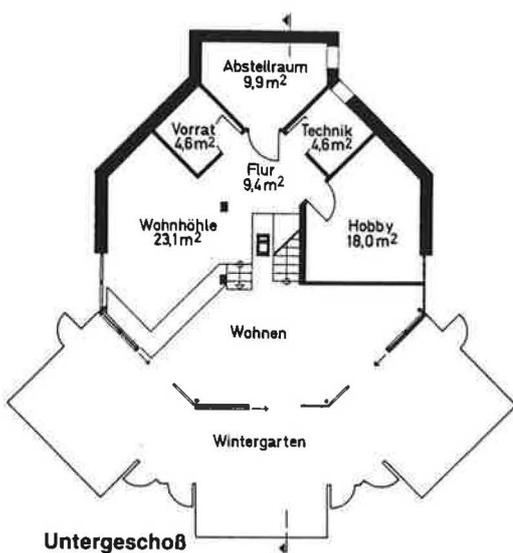


Bild 3. Darstellung der Grundrisse aller Geschosse und eines Schnittes des untersuchten Solarhauses.

Tabelle 1. Zusammenstellung der Aufbauten, der Materialkennwerte und der Fläche für alle wärmeaustauschenden Bauteile.

Bauteil	Aufbau	Schicht-	Rohdichte	Wärmeleit-	k-Wert	Fläche
		dicke		fähigkeit		
		cm	kg/m ³	W/mK	W/m ² K	m ²
Außenwand	Innenputz	1,5	1400	0,7	0,29	76,7
	Mauerwerk	24,0	2200	1,3		
	Dämmung	12,0	30	0,04		
	Luftschicht	3,0				
	Holzschalung	3,0				
	Stahlbeton	20,0	2400	2,1	0,45	17,8
	Dämmung	8,0	30	0,04		
	Gipskarton	2,0	900	0,21		
	Dämmung Beton	12,0 10,0	2400 30	2,1 0,04		
	Holzleimbinder	12,0	600	0,13	0,85	11,4
Fenster	3-Scheiben- Isolierverglasung	—	—	—	2,2	59,6
	2-Scheiben- Isolierverglasung	—	—	—	2,6	155,1
Innenwand	Stahlbeton	20,0	2400	2,1 ²	2,90	54,2
	Mauerwerk	11,5	2200	1,3	2,95	76,6
	Holzschalung	2,0	600	0,13	1,43	50,0
	Luftschicht Holzschalung	2,0 2,0	— 600	— 0,13		
Boden	Fliesen	2,0	2000	1,2	0,49	36,5
	Estrich	6,0	2000	1,4		
	Dämmung	7,0	30	0,04		
	Stahlbeton	15,0	2400	2,1		
Zwischendecke	Fliesen	2,0	2000	1,2	0,45	69,8
	Estrich	6,0	2000	1,4		
	Dämmung	7,0	30	0,04		
	Stahlbeton	15,0	2400	2,1		
	Fliesen	2,0	2000	1,2	1,01	98,3
	Estrich	5,0	2000	1,4		
Dämmung Holzschalung Balken	2,0 2,4 —	30 600 —	0,04 0,13 —			
Dach	Holzschalung	10,0	30	0,04	0,35	107,1
	Luftschicht					
	Dämmung		600	0,13		
	Holzschalung		2,4			

denheizung ausgestattet, die eine Außentemperaturgesteuerte Vorlauftemperaturregelung besitzt. Zusätzlich befindet sich im Haus noch ein Kachelofen. Das Brauchwasser wird in einem gesonderten Standspeicher im Winter durch den Heizkessel und im Sommer mit Nachtstrom erwärmt. Die max. Heizleistung des Gaskessels mit atmosphärischem Brenner beträgt 16,5 kW.

2.3 Meßanlage

Die Meßeinrichtungen sind so ausgewählt, daß mit den Meßwerten zu jeder Zeit vollständige Energiebilanzen des Gebäudes gebildet werden können. Dies erfordert die Erfassung der Verluste durch Transmission und Lüftung und der Gewinne durch Haushaltsgeräte (interne Gewinn-

ne), Heizanlage und Solareinstrahlung. Darüber hinaus wurden der Primärenergieeinsatz für das Gesamtsystem und die Wirkungsgrade einzelner Komponenten der Heizanlage ermittelt.

Die Erfassung der zur Wärmeerzeugung notwendigen Gasmenge erfolgte am Brennereingang mit einem Gaszähler. Auf der Kesselausgangsseite wurden die der Haupt- und Einliegerwohnung zugeführten Heizleistungen und die an den Brauchwasserspeicher abgegebene Leistung mit den in *Bild 4* angegebenen Wärmeleistungsmessern erfaßt. Der Hausbewohner notierte täglich die im Kachelofen verbrannten Holz- und Brikettmengen. Unter Zugrundelegung eines mittleren Wirkungsgrades von 70% [21] wurde daraus die ans Haus abgegebene Wärmemenge berechnet.

Winter

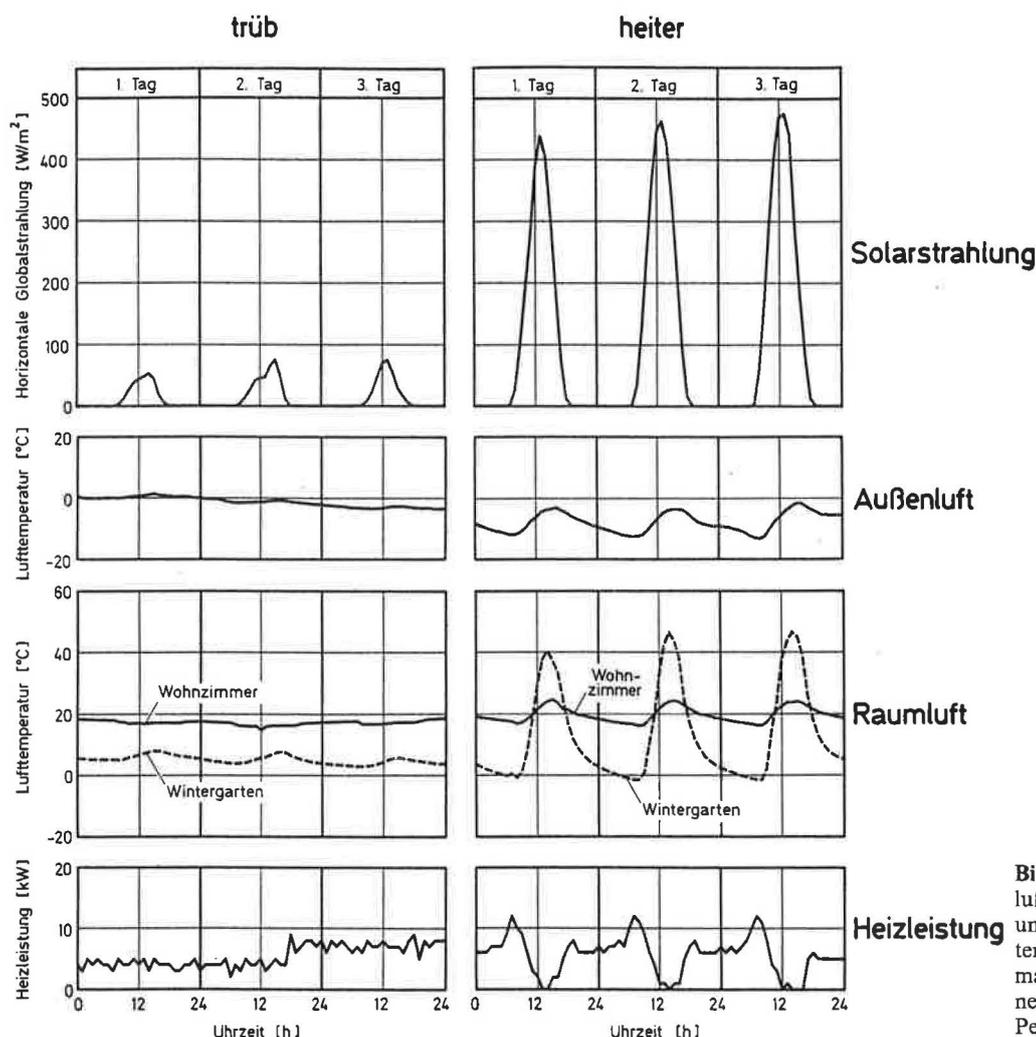


Bild 5. Zeitliche Verläufe der Raumlufttemperatur von Wohnzimmer und Wintergarten und der benötigten Heizleistung mit Angabe der klimatischen Randbedingungen für eine trübe und eine heitere winterliche Periode.

Die Messung der elektrischen Leistung geschah über Wandler und Umformer in den Stromleitungen, die ein der elektrischen Leistung proportionales analoges Ausgangssignal erzeugen, das auf eine Datenerfassungsanlage geleitet wurde. Bei der Messung der Klimaparameter wurden die horizontale Globalstrahlung sowie die Einstrahlung auf die Südseite erfaßt. Aus beiden Messungen können die Einstrahlwerte auf die übrigen Richtungen rechnerisch ermittelt werden. Die Fühler für die Messung der Außenlufttemperatur und für die Feuchte wurden in einem belüfteten Strahlungsschirm untergebracht. Außerdem wurden noch die Windrichtung und die Windgeschwindigkeit gemessen. Alle Klimameßgeräte befanden sich mindestens ein Meter über dem Dachfirst. Die Bestimmung der Raumlufttemperatur in den einzelnen Räumen dient der Berechnung der Transmissions- und Lüftungsverluste und gibt gleichzeitig Aufschluß über die Nutzungsgewohnheiten der Bewohner.

Zur Messung der Fensterstellung wurden Kontakte an den Fenstern so angebracht, daß zwischen geschlossenem Zustand sowie Dreh- und Kippstellung unterschieden werden konnte. Der Status des temporären Wärmeschutzes wurde ebenfalls erfaßt. Alle Fühler waren mit einer Datenerfassungsanlage verbunden. Die Messungen er-

folgten viertelstündlich. Die Meßwerte wurden zu stündlichen Mittel- und Summenwerten komprimiert und auf einem Datenträger gespeichert, um auf dem institutseigenen Rechner aufbereitet werden zu können. Zur Überbrückung etwaiger Datenausfälle wurden in Abständen von 1 bis 2 Wochen die Zählwerke der Wärmeleistungsmesser sowie des Strom- und Gaszählers manuell abgelesen und notiert. Insgesamt wurden in dem Gebäude 56 Meßwertempfänger installiert. Während des 24monatigen Meßzeitraums wurden ca. 1 Mio. Meßwerte registriert, die zur Auswertung des thermischen und energetischen Verhaltens des Gebäudes herangezogen wurden.

3. Thermisches Gebäude- und Systemverhalten

Aufgrund des umfangreichen Datenmaterials können detaillierte Aussagen zum Gebäude-, Heizsystem- und Nutzerverhalten gemacht werden. Das Eigentümliche eines Solarhauses sollte sein, daß Gebäude und Heizsystem schnell auf anfallende Solarstrahlung reagieren. Durch das Zusammenspiel der beiden Komponenten soll eine möglichst rationelle Verwendung der Solarenergie ermöglicht werden und der Heizbedarf an fossilen Brennstoffen

minimiert werden. Der im Winter wünschenswerte Effekt der effektiven Solarenergienutzung sollte im Sommer jedoch nicht zu unerträglichen Temperaturen führen. Im folgenden wird daher das Temperaturverhalten des Gebäudes und gleichzeitig das Regelverhalten der Heizanlage in extremen Perioden in der Winter- und in der Sommerzeit dargestellt.

3.1 Trübe, kalte Wintertage

Die Temperatur- und Heizleistungsverläufe an extrem trüben und kalten Tagen sind in *Bild 5 links* dargestellt. Man erkennt, daß sich die Einstrahlung auf die diffuse Strahlung beschränkt und daß die Tagesmitteltemperaturen der Außenluft im Bereich von 1°C bis -4°C schwanken. Die Raumlufttemperatur im nach Süden orientierten Wohnzimmer bewegt sich zwischen 16°C und 19°C . Die Wintergartenlufttemperatur liegt ca. 5 K über der Außenlufttemperatur und steigt jeweils in den Nachmittagsstunden etwas an. Ein Einfluß der Solarstrahlung auf die Lufttemperatur im Wohnraum ist nicht zu erkennen. Aus dem Verlauf der Heizleistung ist zu sehen, daß kontinuierlicher Heizbetrieb gefahren wurde. Nachdem die Außenlufttemperatur am zweiten Tag weiter abnahm, erhöhte sich die Heizleistung.

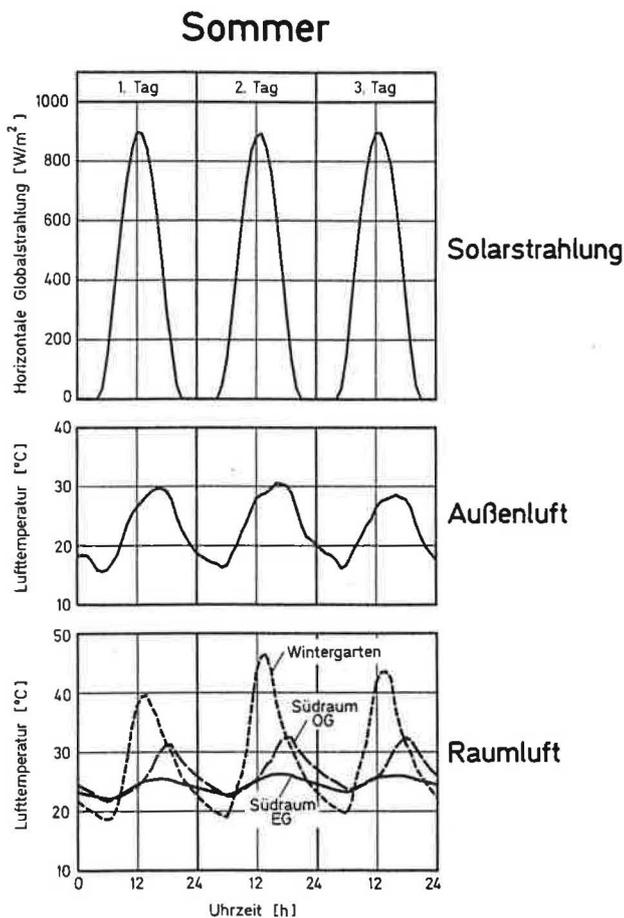


Bild 6. Zeitliche Verläufe der gemessenen Raumlufttemperatur im Wintergarten und den südlich orientierten Erdgeschoß- und Obergeschoßräumen mit Angabe der klimatischen Randbedingungen für eine sommerliche Dreitageperiode.

3.2 Heitere, kalte Wintertage

Die Verläufe an kalten und strahlungsreichen Tagen sind zum Vergleich in *Bild 5 rechts* dargestellt. Die sehr intensive Solareinstrahlung bei Tagesmitteltemperaturen der Außenluft im Bereich von -3°C bis -13°C übt deutliche Einflüsse auf das Temperatur- und Heizleistungsverhalten aus. Qualitativ ist der Kurvenverlauf während der 3 dargestellten Tage jeweils etwa gleich: Nachts geht die Außenlufttemperatur zurück und erreicht in den Morgenstunden den Tiefstwert. Die Raumlufttemperatur sinkt ebenfalls. Nach der Nachtabsenkung nimmt die Heizung wieder den vollen Betrieb auf und erreicht um ca. 7 Uhr eine Leistung von 12 kW. Kurze Zeit darauf setzt die Solarstrahlung ein, die eine Außen- und Raumlufttemperaturerhöhung zur Folge hat.

Die Heizleistung nimmt infolgedessen kontinuierlich ab. In den Nachmittagsstunden, wenn die Raumlufttemperatur durch Sonnenstrahlung ihr Maximum erreicht, ist kurzzeitig keine Heizleistung mehr notwendig. Danach sinkt die Raumlufttemperatur, und die Heizleistung steigt wieder an. Die morgendliche hohe Heizspitze ist auf die Trägheit der Fußbodenheizung zurückzuführen. Der Tiefstwert der Wintergartentemperatur liegt etwa 10 K höher als das Minimum der Außenlufttemperatur. Tagsüber steigen die Temperaturen im Wintergarten auf über 45°C an. Ein Beladen des Kiesspeichers war nicht möglich, da dies zu einer unzumutbaren thermischen Belastung der Kinderzimmer, durch die die Wintergartenluft anlagenbedingt strömen muß, geführt hätte.

3.3 Heitere, warme Sommertage

Um aufzuzeigen, wie das Gebäude im Sommer auf Solareinstrahlung reagiert, wurde eine sehr strahlungsreiche, warme Witterungsperiode in *Bild 6* dargestellt. Die Höchstwerte der aufgezeigten Globalstrahlung stellen das Maximum in der Meßperiode dar, und auch die max. Außenlufttemperatur von ca. 31°C war der höchste Meßwert. Die Raumlufttemperatur im dargestellten Erdgeschoß-Südraum stieg jedoch nicht über 27°C an. Dies liegt am Einsatz des Sonnenschutzes und an der Verschattungswirkung der Wintergartenpflanzen. Die Südräume des Obergeschosses, die keinen Sonnenschutz besitzen, erreichen Temperaturen, die deutlich über den Außenlufttemperaturen liegen. Nachts kühlen beide Räume auf gleiches Niveau, etwa 23°C , aus. Im Wintergarten stellen sich Temperaturen bis zu 45°C ein. Sie lagen, trotz Betätigung der Lüftungsklappen, ca. 10 bis 15 K über den Außenlufttemperaturen. Aus den Ergebnissen läßt sich erkennen, daß Gebäude mit großflächiger Südverglasung einen besonders effektiven Sonnenschutz besitzen müssen.

4. Energetische Bewertung des Solarhauses

Zur energiewirtschaftlichen Beurteilung eines Gebäudeentwurfes können nur Kenngrößen herangezogen werden, die sich betriebswirtschaftlich auswirken. Bei der Be-

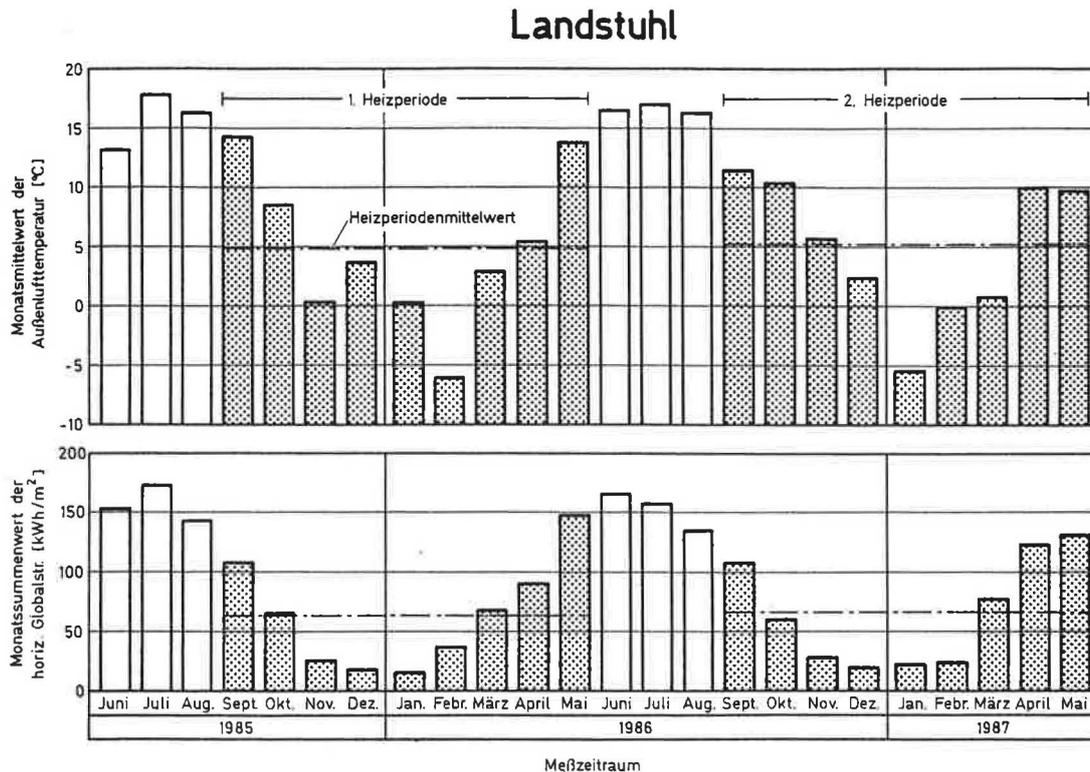


Bild 7. Gemessene Monatsschnittwerte der Außenlufttemperatur und der Monatssummenwerte der horizontalen Globalstrahlung für die Meßperiode 1. Juni 1985 bis 31. Mai 1987.

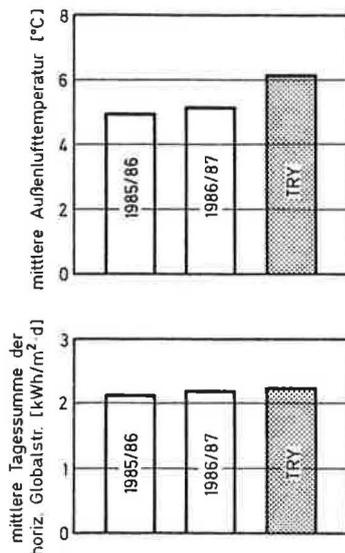


Bild 8. Gegenüberstellung der gemessenen mittleren Außenlufttemperaturen und der mittleren Tagessumme der horizontalen Globalstrahlung in den Heizperioden 1985/86 und 1986/87 mit den Werten des Testreferenzjahres (TRY) für mittlere deutsche klimatische Verhältnisse.

wertung eines Gebäudes ist dies der Energieverbrauch. So werden alle Maßnahmen zur Solarenergienutzung nur über die Reduzierung des Energieverbrauches bewertbar sein. Im folgenden wird daher stets der Energieverbrauch als Bewertungsgröße verwendet. Zur Einstufung des Energieverbrauches müssen auch die meteorologischen Randbedingungen bekannt sein, um Aussagen darüber machen zu können, ob es sich im Meßzeitraum um mittlere oder ungewöhnliche Witterungsbedingungen gehandelt hat.

4.1 Meteorologische Randbedingungen

Die Verläufe der Monatsmitteltemperatur der Außenluft und des Monatssummenwertes der Globalstrahlung im Meßzeitraum sind in *Bild 7* dargestellt. Die Parameter weisen übliche Verläufe auf. Der Monatsmittelwert der Außenlufttemperatur lag im Februar 1986 am tiefsten. In der zweiten Heizperiode war der Januar 1987 der kälteste Monat bei vergleichsweise niedriger Einstrahlung. Die mildesten Monate in der Heizperiode stellen der September 1985 (höchste Außenlufttemperatur) und der Mai 1986 (höchste Einstrahlung) dar. Die Mittelwerte von Außentemperatur und Strahlung liegen in der Heizperiode 1985/86 geringfügig unter den Mittelwerten der Heizperiode 1986/87. In *Bild 8* sind sie den Werten des Testreferenzjahres (TRY) [11] für mittlere deutsche Verhältnisse [12] gegenübergestellt. Es ist zu ersehen, daß die Außenlufttemperaturen ca. 1 K unter dem langjährigen Mittelwert lagen, die Globalstrahlungssummen dagegen nahezu gleich waren.

4.2 Heizenergieverbräuche

Bei der Bestimmung des Heizenergieverbrauches ist es wichtig, zu unterscheiden, ob eine Aussage über das Gebäude, über die Heizanlage oder über beides getroffen werden soll. Für die Bewertung des Gebäudes ist die den Räumen zugeführte Heizenergie (Netto) die Bewertungsgröße. Die Heizanlage wird durch den Vergleich der zur Wärmeerzeugung benötigten Energie (Brutto) mit der den Räumen zugeführten Heizenergie (Netto) charakterisiert, während das Gebäude inklusive Heizsystem durch

Tabelle 2. Zusammenstellung der gemessenen Energieverbrauchswerte an den verschiedenen Meßstellen in den 2 untersuchten Heizperioden. Die abgegebene Wärmemenge des Kachelofens wurde aus den Angaben des Holzprotokolls berechnet.

Energieverbrauch			Meßstelle gemäß Bild 4	1. Heizperiode kWh/a	2. Heizperiode kWh/a
Energieeinsatz (Brutto)	Wärme- erzeuger	Gaskessel	GV	21 310	34 850
		Kachelofen	Holzprotokoll	12 422	-
Energienutzung (Netto)	Verbraucher	Heizung Hauptwohnung	WL 1	12 065	20 628
		Ofenheizung Hauptwohnung	-	8 696	-
		Heizung Einliegerwohnung	WL 2	365	1 365
		Warmwasser (Einschließlich Speicherverluste)	WL 3	2 956	3 073

die zur Wärmeerzeugung benötigte Energie (Brutto) beschrieben wird. Bei der Installation der Meßanlage (vgl. 2.3) wurden daher die Wärmemengen an verschiedenen Stellen im Heizsystem erfaßt. In *Bild 4* sind die Meßstellen für Energieverbrauchserfassung im Heizschema dargestellt. Die gemessenen Energieverbräuche in den 2 Heizperioden für die in *Bild 4* dargestellten 4 Meßstellen sind in *Tab. 2* zusammengestellt. Beim Bruttoenergieeinsatz handelt es sich um die Energieeinheit, die am Eingang der Wärmeerzeuger zur Verfügung stand. Etwaige davor liegende Energieprozeßketten oder Umwandlungsverluste [13], wie z. B. bei der Stromerzeugung, wurden nicht berücksichtigt.

Man erkennt, daß die Wärmeerzeugung in der Heizperiode 1985/86 im wesentlichen und in der Heizperiode 1986/87 ausschließlich über den Gaskessel erfolgte. Durch den Kachelofen, der bis Januar 1986 in Betrieb war, wurden in der ersten Heizperiode ca. 37% der Bruttoenergie umgesetzt, gleichzeitig wurden ca. 36% der Nutzenergie bereitgestellt. Von der erzeugten Nutzenergie wurden ca. 12% für die Brauchwasserbereitung aufgewendet. Dieser Anteil enthält auch die Speicher- und Zirkulationsverluste. In *Bild 9* sind jeweils die zur Wärmeerzeugung notwendigen Bruttoenergien den zur Wohnungsbeheizung und Brauchwassererwärmung nutzbaren Nettoenergien gegenübergestellt. Der Gesamtwirkungsgrad des Gaskessels lag in beiden Heizperioden bei ca. 72%. Hierbei sind bei der Wirkungsgradermittlung neben den Kessel- und Abgasverlusten noch die Verluste der Rohrleitungen vom Kessel bis zu den Wärmeleistungszählern, die in den Heizungsrohren am Wohnungseingang eingebaut waren, enthalten.

4.3 Energiebilanzen

Da die energetische Bewertung des Solarhauses ein Schwerpunkt des Projektes ist, wird für den beheizten Wohnraum die Energiebilanz meßtechnisch ermittelt. Die Bilanz ergibt sich zu:

$$Q_H + Q_I + Q_S = Q_T + Q_L + Q_V + Q_{SP}$$

mit

- Q_H ... den Räumen zugeführte Heizenergie
- Q_I ... in den Räumen produzierte interne Wärmelasten
- Q_S ... Solargewinne in den Räumen
- Q_T ... Transmissionswärmeverluste durch Bauteile
- Q_L ... Lüftungswärmeverluste infolge Mindestluftaustausch
- Q_V ... Lüftungswärmeverluste durch Zusatzlüftungsmaßnahmen
- Q_{SP} ... in den Bauteilen abgespeicherte Wärmemengen.

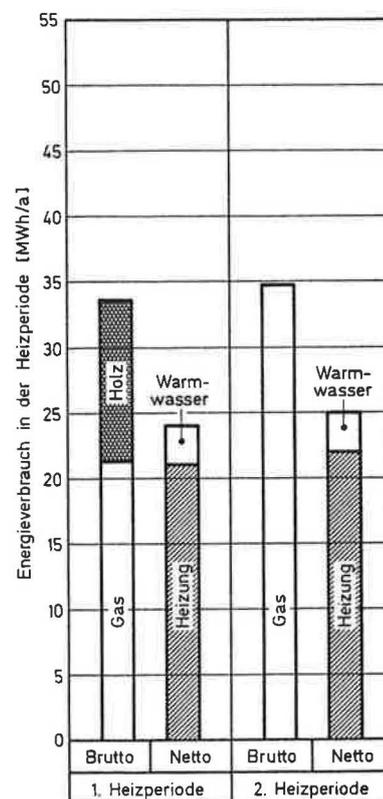


Bild 9. Gegenüberstellung der zur Wärmeerzeugung eingesetzten Energie (Brutto) und der für den Wärmeverbrauch benötigten Energie (Netto) für die 2 untersuchten Heizperioden.

Auf der Gewinnseite wurden die Heizenergie und die in den Räumen durch den Einsatz elektrischer Energie anfallende Wärme auf der Datenanlage registriert. Die durch die anwesenden Personen abgegebenen Wärmemengen wurden aufgrund der aus den Befragungen [6] ermittelten durchschnittlichen Anwesenheit bestimmt. 30% des Warmwasserverbrauchs wurden gemäß [15] als interne Gewinne berücksichtigt. Die Solargewinne ergeben sich aus den meßtechnisch ermittelten orientierungsabhängigen Globalstrahlungen, den strahlungsphysikalischen Kennwerten der Fenstersysteme und den Fensterflächen. Bei der Ermittlung der Werte wurde davon ausgegangen, daß in der Heizperiode die Sonnenschutzvorrichtungen nicht betätigt wurden, da der Status des Sonnenschutzes im Meßprogramm nicht erfaßt werden konnte. Beim Einsatz des Sonnenschutzes reduzieren sich die ermittelten Solargewinne.

Die Verlustseite wird durch die Transmissionswärmeverluste, die sich aufgrund der Dämmwerte und der Abmessungen der wärmetauschenden Bauteile, gemäß *Tab. 1*, und den vorherrschenden Außenluft- und Raumlufttemperaturen ergeben, sowie durch die Lüftungswärmeverluste bestimmt. Bei den Lüftungswärmeverlusten wurde hierbei in den Anteil, der sich aufgrund hygienischer Anforderungen als Mindestluftaustausch ergibt [14] und den über dieses Maß hinausgehenden, aufgrund weiterer Fensteröffnung (z. B. zur Vermeidung von Überhitzung), unterschieden. Der hygienisch erforderliche Mindestluftwechsel wurde hierbei zu $0,5 \text{ h}^{-1}$ gewählt [14]. Der Speicherterm der Energiebilanz ist nur bei kurzzeitiger Betrachtung bedeutend. Wie in [19] gezeigt wurde, ist die bei monatlicher Bilanzbetrachtung durch Speicherung zwischen den Monaten übertragene Wärmemenge zu vernachlässigen. Dieser Effekt wurde daher hier nicht berücksichtigt.

Da bis auf die Lüftungswärmeverluste alle Bilanzanteile meßtechnisch bestimmt wurden, konnten die aufgetretenen Luftwechselraten aus der Bilanzgleichung direkt bestimmt werden. Die Werte für die Luftwechselraten ergaben sich aus der Annahme, daß der Sonnenschutz in der Heizperiode nicht betätigt wurde. Sie stellen somit obere Grenzwerte dar. Bei Verwendung des Sonnenschutzes zur Vermeidung von Überhitzung in der Heizperiode reduzieren sich die ermittelten Luftwechselraten. Dies trifft vermutlich häufiger in der Übergangsjahreszeit zu als in den kalten Wintermonaten. Zur Überprüfung der ermittelten Luftwechselraten wurde auf die meßtechnisch erfaßten Fensteröffnungszeiten zurückgegriffen. In *Bild 10* sind die aus der Energiebilanz bestimmten Luftwechselzahlen den Fensteröffnungszeiten gegenübergestellt. Von der Tendenz her korrelieren beide Verläufe, jedoch ist eine exakte Zuordnung von Fensteröffnungszeit und Luftwechsel nicht möglich, da neben der Fensteröffnung auch die vorherrschenden meteorologischen Bedingungen, wie Außenlufttemperatur, Windgeschwindigkeit und -richtung und der Einsatz des Sonnenschutzes den sich einstellenden Luftaustausch beeinflussen. Man erkennt aus *Bild 10*, daß zum Beginn und Ende der Heizperiode relativ hohe mittlere Luftwechselzahlen auftreten. Dies resultiert aus erforderlicher Fensterlüftung zur Vermeidung von Überwärmung in den Räumen, wenn der Sonnenschutz nicht eingesetzt würde. Die realen Werte sind sicher niedriger. Während der Heizzeit ergeben sich Luftwechselzahlen um und unter $0,6 \text{ h}^{-1}$. Bei den sehr geringen Luftwechselzahlen waren die Fensteröffnungszeiten und Windgeschwindigkeiten sehr gering.

In *Tab. 3* sind die monatlichen Bilanzwerte sowie die wichtigen Temperatur- und Einstrahlungswerte und Angaben zum Lüftungsverhalten und zur Solarenergienutzung zusammengestellt. Aus der *Tabelle* ist zu entnehmen,

Lüftungsverhalten

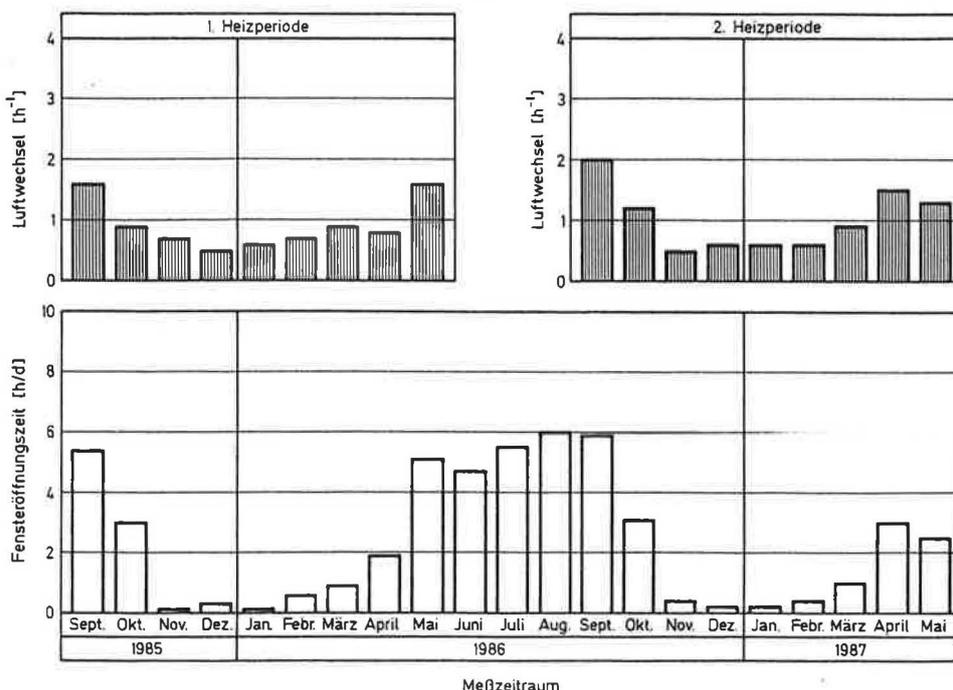


Bild 10. Monatliche Werte der ermittelten mittleren Luftwechselzahlen in den 2 Heizperioden und der gemessenen mittleren Fensteröffnungszeiten in der Meßperiode 1. September 1985 bis 31. Mai 1987.

Tabelle 3. Zusammenstellung aller ermittelten monatlichen Energiebilanzanteile sowie der hierfür wichtigen Einflußgrößen für die 2 untersuchten Heizperioden.

	Monat					Temperaturen			Globalstrahlung		Lüftungsverhalten		
	Außenluft	Raumluft	Gradtagzahl	Tagessumme Horizontal	Süd	Heizenergie	Interne Lasten	Solargewinne	Transmission	Mindestluftwechsel	Erhöhte Lüftung	Fensteröffnungszeiten	Luftwechsel
	°C	°C	Kd	kWh/m ² ·d	kWh/m ² ·d	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	h/d	h ⁻¹
September	14,3	23,0	261	3,63	3,64	0	502	2818	1503	538	1279	5,4	1,6
Oktober	8,7	21,1	384	2,13	3,16	878	502	2242	2180	847	595	3,0	0,9
November	0,5	20,3	594	0,86	1,07	4274	502	811	3825	1311	451	0,1	0,7
Dezember	3,8	20,2	508	0,59	1,04	3143	565	709	3294	1123	0	0,3	0,5
Januar	0,4	18,6	564	0,55	0,72	4003	516	517	3575	1242	219	0,1	0,6
Februar	-5,9	18,9	694	1,34	2,54	4253	479	1407	4145	1530	464	0,6	0,7
März	3,2	19,5	505	2,22	1,63	2901	460	1565	3057	1119	750	0,9	0,9
April	5,7	20,2	435	3,03	1,87	1674	491	1846	2478	958	575	1,9	0,8
Mai	13,8	22,3	263	4,81	2,57	0	500	2725	1451	579	1195	5,1	1,6
Heizperioden- Tagesmittelwert	4,9	20,5	15,4	2,13	2,03	77,4	16,5	53,6	93,4	33,9	20,2	1,9	0,8
Heizperioden- Summenwert	-	-	4208	-	-	21126	4517	14640	25508	9247	5528	-	-
September	11,7	21,5	294	3,62	3,51	924	455	2773	1678	648	1826	5,9	2,0
Oktober	10,5	20,7	316	1,98	2,39	1510	382	1799	2096	701	894	3,1	1,2
November	5,9	19,9	420	0,99	1,45	2342	337	1013	2754	929	0	0,4	0,5
Dezember	2,6	19,4	521	0,66	1,06	3642	445	755	3400	1149	293	0,2	0,6
Januar	-5,2	18,6	738	0,78	1,40	4951	425	955	4488	1626	217	0,2	0,6
Februar	0,0	19,2	538	0,86	1,21	3500	349	848	3370	1184	203	0,4	0,6
März	1,0	20,4	601	2,51	2,79	3219	405	2170	3518	1325	951	1,0	0,9
April	10,0	21,1	333	4,15	2,87	978	389	2670	1875	739	1423	3,0	1,5
Mai	9,8	20,3	325	4,25	2,34	867	378	2478	1902	718	1103	2,5	1,3
Heizperioden- Tagesmittelwert	5,1	20,1	14,9	2,2	2,11	80,6	13,1	56,6	91,8	33,0	25,5	1,7	0,9
Heizperioden- Summenwert	-	-	4086	-	-	21933	3565	15461	25081	9019	6919	-	-

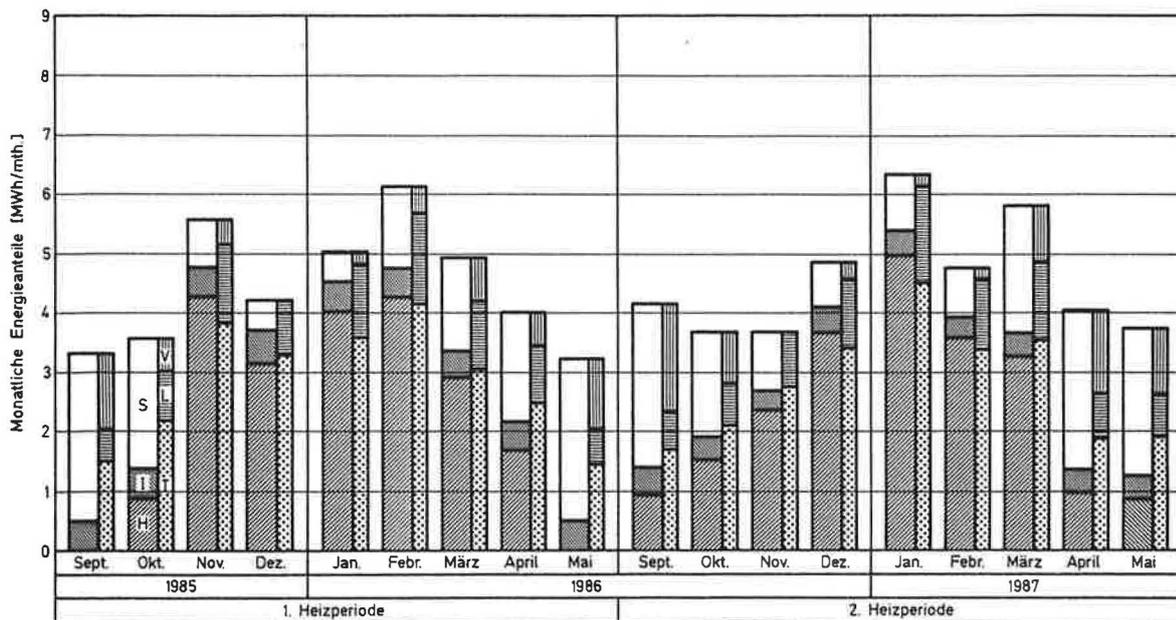


Bild 11. Monatliche Anteile der Energiebilanz. Die linken Säulen stellen die Gewinne, die rechten die Verluste dar. Die einzelnen Anteile sind:

- | | |
|------------------------|---|
| Gewinne | Verluste |
| H: Heizenergie | T: Transmissionswärmeverluste |
| I: Interne Gewinne | L: Lüftungswärmeverluste bei Mindestluftwechsel |
| S: Solarenergiegewinne | V: Zusätzlicher Lüftungswärmeverlust bei geöffneten Fenstern. |

daß im Mittel über beide Heizperioden die Transmissionswärmeverluste ca. 62% der Gesamtverluste, die aus hygienischen Gründen erforderlichen Verluste durch den Mindestluftwechsel ca. 23% und die Verluste durch erhöhte Lüftung (bewirkt durch Öffnen der Fenster insbesondere bei hoher Sonneneinstrahlung und milden Außentemperaturen, z. B. zur Vermeidung von Überhitzung in den Räumen) 15% betragen. Auf der Gewinnseite machen die zur Verfügung stehenden Solargewinne ca. 37% aus. Die internen Gewinne liefern einen Beitrag von ca. 10%. Sie liegen mit 16,5 kWh/d (1. Heizperiode) bzw. mit 13,1 kWh/d (2. Heizperiode) etwas über dem nach [15]

ermittelten Wert von 12,2 kWh/d für eine Durchschnittsfamilie. Den wesentlichen Beitrag auf der Gewinnseite liefert die zur Verfügung gestellte Heizenergie mit ca. 53%. In Bild 11 sind alle Bilanzanteile monatlich getrennt in Gewinn- und Verlustsäulen dargestellt. Der mittlere monatliche Summenwert der Energiegewinne bzw. -verluste liegt in beiden Heizperioden bei ca. 4500 kWh. Die Solargewinne (S) folgen in der Tendenz den Außentemperaturen. Die größten Gewinne liegen bei den höchsten Temperaturen vor. Da sie zum Decken der Verluste dann nur noch partiell verwendet werden können, wird eine erhöhte Lüftung durch Fensteröffnen bzw. der

Einsatz des Sonnenschutzes notwendig. Die internen Gewinne (I) sind nahezu witterungsunabhängig. Die in der Bilanz fehlenden Gewinne müssen durch die Heizung (H) erbracht werden. Aus den Verläufen erkennt man, daß in den strahlungsreichen Übergangsmonaten die Heizenergie nur einen Bruchteil der Transmissionswärmeverluste deckt. In den strahlungsarmen Wintermonaten deckt die Heizenergie die gesamten Transmissionswärmeverluste. Der Kiesspeicher konnte in den beiden Heizperioden nur an wenigen Tagen beladen werden, da das notwendige Belüften der Kinderzimmer und die damit verbundene Temperaturerhöhung durch die warme Wintergartenluft von den Bewohnern als störend empfunden wurde. Daneben wirkten sich die Kiesspeicherlage und die manuelle Regelung energetisch ungünstig aus. Der Kiesspeicher lieferte daher keinen Beitrag auf der Gewinnseite.

4.4 Bewertung der Energienutzung

Ein Solarhaus unterscheidet sich von einem konventionellen Gebäude dadurch, daß durch die Gestaltung des Hauses die einfallende Solarenergie in erheblichem Maße zur Raumerwärmung genutzt werden soll und so die benötigte Heizenergie deutlich reduziert wird. Die mögliche Nutzung sollte jedoch stets in Verbindung mit dem Heizenergieverbrauch genannt werden. Eine sehr effektive Nutzung würde sich bei sehr hohen Verlusten einstellen, jedoch würden auch hier sehr große Heizenergien benötigt [16]. Daher wurde auf eine Bewertung der sog. „nutzbaren“ Solarenergie verzichtet, da diese keine aussagekräftige Größe darstellt. Zur Bewertung wurde vielmehr eine Kenngröße verwendet, die sowohl die thermische Güte des Hauses, das Bewohnerverhalten, die meteorologischen Einflüsse und auch die Solarenergienutzung beinhaltet. Bei der Beurteilung der effektiven Verluste eines Gebäudes muß davon ausgegangen werden, daß diese durch die dem Gebäude zugeführten „nicht erneuerbaren“ zur Raumerwärmung eingesetzten Energien gedeckt werden. Diese „nicht erneuerbaren“ Energien stellen die Heizenergie und die internen Wärmelasten dar. Es wurde daher ein auf die beheizte Wohnfläche bezogener effektiver Verlustwert des Gebäudes wie folgt definiert:

$$q_{\text{eff}} = \frac{Q_H + Q_I}{A_H}$$

mit

q_{eff} ... effektiver Gebäudeverlustwert

Q_H ... Heizenergie

Q_I ... Interne Wärmelasten

A_H ... beheizte Wohnfläche.

Bei einer beheizten Wohnfläche von 210,1 m² ergeben sich für das untersuchte Gebäude die folgenden effektiven Gebäudeverlustwerte:

1. Heizperiode: $q_{\text{eff}} = 122 \text{ kWh/m}^2 \text{ a}$

2. Heizperiode: $q_{\text{eff}} = 122 \text{ kWh/m}^2 \text{ a}$.

Hierbei handelt es sich jedoch um die Nettoenergien. Die zur Wärmeerzeugung benötigten Bruttoenergien liegen hier um ca. 40% höher. Zur Einstufung der Verlustwerte ist der Mittelwert der Bruttoenergie des bundesdeutschen

Gebäudebestandes von 280 kWh/m²a, der sich aus den statistisch abgesicherten Werten nach [1; 15; 17] ergibt, heranzuziehen. Ein nach den Anforderungen der Wärmeschutzverordnung [9] errichtetes konventionelles Einfamilienhaus [16] würde einen Netto-Gebäudeverlustwert von 153 kWh/m²a aufweisen. Das untersuchte Gebäude wies unter den bei der Untersuchung zugrundeliegenden Randbedingungen einen um ca. 20% geringeren Energieverbrauch auf.

4.5 Einfluß von nutzungsbedingten, klimatischen und baulichen Veränderungen auf den Energieverbrauch

Zur Beurteilung der Auswirkungen einzelner Einflüsse auf den Heizenergieverbrauch wurde das untersuchte Gebäude rechnerisch mit dem Programmsystem „Suncode/Serires“ [18] untersucht. Dieses Programmsystem ist in [19] an umfangreichen Meßreihen validiert worden. Die Ergebnisse der folgenden 11 unterschiedlichen Fälle wurden betrachtet:

Fall I:

Meßergebnisse für das ausgeführte Gebäude in der Heizperiode 1985/86.

Fall II:

Meßergebnisse für das ausgeführte Gebäude in der Heizperiode 1986/87.

Fall III:

Rechenergebnisse für das ausgeführte Gebäude unter Beibehaltung des in der Heizperiode 1985/86 meßtechnisch erfaßten realen Nutzerverhaltens, jedoch bei mittleren deutschen Witterungsbedingungen.

Fall IV:

Rechenergebnisse für das ausgeführte Gebäude unter Vorgabe eines als sparsam bezeichneten Nutzerverhaltens bei mittleren deutschen Klimabedingungen. Das „sparsame“ Nutzerverhalten wurde durch folgende gewählte Randbedingungen definiert:

Raumlufttemperaturen:	18 °C
Nachttemperaturabsenkung:	22 bis 6 Uhr
Luftwechselraten:	extreme Wintermonate: 0,3 h ⁻¹ , gleitend angehoben bis milde Übergangszeit: 0,6 h ⁻¹

Interne Gewinne: nach [15]

Temporärer Wärmeschutz: benutzt von Sonnenuntergang bis Sonnenaufgang.

Fall V:

Rechenergebnisse für das ausgeführte Gebäude unter Vorgabe eines als durchschnittlich bezeichneten Nutzerverhaltens bei mittleren deutschen Klimabedingungen. Das „durchschnittliche“ Nutzerverhalten wurde durch folgende gewählte Randbedingungen definiert:

Raumlufttemperatur:	20 °C
Nachttemperaturabsenkung:	22 bis 6 Uhr
Luftwechselrate:	extreme Wintermonate: 0,6 h ⁻¹ , gleitend angehoben bis milde Übergangszeit: 1,0 h ⁻¹

Interne Gewinne: nach [15]
 Temporärer Wärmeschutz: benutzt von Sonneneintritt bis Sonnenaufgang.

Fall VI:
 Rechenergebnisse für das ausgeführte Gebäude unter Vorgabe eines als verschwenderisch bezeichneten Nutzerverhaltens bei mittleren deutschen Klimabedingungen. Das „verschwenderische“ Nutzerverhalten wurde durch folgende gewählte Randbedingungen definiert:

Raumlufttemperatur: 22°C
 Nachttemperaturabsenkung: keine
 Luftwechselraten: extreme Wintermonate: 0,9 h⁻¹ gleitend angehoben bis milde Übergangszeit: 1,5 h⁻¹

Interne Gewinne: nach [15]
 Temporärer Wärmeschutz: nicht benutzt.

Fall VII:
 Rechenergebnisse für das ausgeführte Gebäude bei durchschnittlichem Nutzerverhalten gemäß Fall V und mittleren deutschen Klimaverhältnissen unter der Annahme, daß das Gebäude in seiner Orientierung um 180° gedreht wurde.

Fall VIII:
 Rechenergebnisse für das ausgeführte Gebäude, jedoch mit um 50% reduzierter Fensterfläche zwischen Wohnzimmer und Wintergarten an den Südost-, Süd- und Südwestseiten bei durchschnittlichem Nutzerverhalten gemäß Fall V und mittleren deutschen Klimaverhältnissen.

Fall IX:
 Rechenergebnisse für das ausgeführte Gebäude, jedoch ohne Wintergarten, bei durchschnittlichem Nutzerverhalten gemäß Fall V und mittleren deutschen Klimaverhältnissen.

Fall X:
 Rechenergebnisse für das ausgeführte Gebäude, jedoch ohne Wintergarten und ohne temporären Wärmeschutz bei durchschnittlichem Nutzerverhalten gemäß Fall V und mittleren deutschen Klimaverhältnissen.

Fall XI:
 Rechenergebnisse für das ausgeführte Gebäude, jedoch ohne Wintergarten und mit um 50% reduzierter Fensterfläche an den Südost-, Süd- und Südwestseiten bei durchschnittlichem Nutzerverhalten gemäß Fall V und mittleren deutschen Klimaverhältnissen.

Die ermittelten Heizenergieverbräuche sind in Bild 12 einander gegenübergestellt. Man erkennt, daß die Heizenergieverbräuche in den beiden Heizperioden etwas höher waren, als dies unter mittleren deutschen klimatischen Verhältnissen der Fall wäre. Der reale Nutzer verbraucht gegenüber dem als durchschnittlich definierten Bewohner 12% mehr. Dies liegt an den höheren Innenlufttemperaturen und dem größeren Luftwechsel bei realer Bewohnung. Der sparsame Bewohner liegt im Nettoheizenergieverbrauch 38% unter und der verschwenderische 82% über dem durchschnittlichen Bewohner. Die Spanne im Heizenergieverbrauch bedingt durch Nutzergewohnheiten beträgt ca. 190%. Der Nutzereinfluß kann sich sehr viel deutlicher auf den Heizenergieverbrauch auswirken als alle untersuchten baulichen Veränderungen. Wäre das Gebäude um 180° gedreht und wären somit die verglasten Flächen nach Norden ausgerichtet, würde sich der Heizenergieverbrauch infolge der erheblich reduzierten Solargewinne um ca. 15% vergrößern. Das teilweise Ersetzen der Fensterfläche zwischen Wohnraum und Wintergarten durch eine Außenwandfläche würde sich nicht auf den Heizenergieverbrauch auswirken. Die verringerten Verluste würden gerade die verminderten Solargewinne auffangen. Das Gebäude ohne Wintergarten hätte einen um 8% höheren Heizenergieverbrauch. Der Wintergarten wirkt als Pufferraum und verkleinert somit die Transmissionsverluste, reduziert aber auch – vermehrt noch, wenn raumhohe Pflanzen aufgestellt sind – die Direktstrahlung in den Wohnraum. Das Gebäude ohne Wintergarten und ohne temporären Wärmeschutz würde ca. 20% mehr Heizenergie benötigen. Eine Verkleinerung der Fensterflächen am Gebäude ohne Wintergarten hätte keinen Einfluß auf die Heizenergie. In Tab. 4 sind für alle untersuchten Fälle die zu erwartenden Heizenergieverbräuche und die anfallenden internen Gewinne sowie die vorherrschenden Gradtagszahlen zusammengestellt. Daneben sind die ermittelten effektiven Gebäudeverlustwerte aufgetragen. Sie bewegen sich zwischen 70 kWh/m² a, ein Wert, der üblicherweise nur im Mehrgeschoßwohnbau erreicht wird, und 180 kWh/m² a. Der Bewohner unter realen Klima- und Nutzerbedingungen liegt mit 122 kWh/m² a in der Mitte des Spektrums.

Variante	Nutzung	Klima	Fall	Heizenergieverbrauch [MWh]								
				5	10	15	20	25	30	35		
Messung Heizperiode	1985/86	real	real	I	[Bar chart showing consumption between 20 and 25 MWh]							
	1986/87	real	real	II	[Bar chart showing consumption between 20 and 25 MWh]							
Rechnung	Nutzerverhalten	real	mittleres	III	[Bar chart showing consumption between 20 and 25 MWh]							
		sparsam	mittleres	IV	[Bar chart showing consumption between 10 and 15 MWh]							
		durchschnittlich	mittleres	V	[Bar chart showing consumption between 15 and 20 MWh]							
		verschwenderisch	mittleres	VI	[Bar chart showing consumption between 30 and 35 MWh]							
	Gebäude um 180° gedreht	durchschnittlich	mittleres	VII	[Bar chart showing consumption between 20 and 25 MWh]							
	Südfenster im Erdgeschoß um 50% reduziert	durchschnittlich	mittleres	VIII	[Bar chart showing consumption between 15 and 20 MWh]							
	ohne Wintergarten	durchschnittlich	mittleres	IX	[Bar chart showing consumption between 20 and 25 MWh]							
	ohne Wintergarten u. ohne temporären Wärmeschutz	durchschnittlich	mittleres	X	[Bar chart showing consumption between 25 and 30 MWh]							
	ohne Wintergarten und Südfenster um 50% reduziert	durchschnittlich	mittleres	XI	[Bar chart showing consumption between 20 and 25 MWh]							

Bild 12. Vergleich der gemessenen Heizenergieverbräuche mit rechnerisch ermittelten Heizenergieverbräuchen, die sich bei mittleren deutschen Klimabedingungen, unterschiedlichem Wohnverhalten und veränderten Gebäudekonzepten einstellen würden.

Tabelle 4. Zusammenstellung der zur Raumerwärmung einzusetzen- den nicht erneuerbaren Energien sowie die vorhersehenden Grad- tagszahlen und die ermittelten effektiven Gebäudeverlustwerte für die untersuchten Fälle.

Fall	Heiz- energie	Interne Lasten	Summe nicht erneuer- barer Energien	Gradtags- zahl	effektiver Gebäude- verlustwert
	MWh	MWh	MWh	Kd	KWh/m ² · a
I	21,1	4,5	25,6	4208	122
II	22,0	3,6	25,6	4086	122
III	21,0	3,5	24,5	3964	117
IV	11,6	3,3	14,9	3571	71
V	18,7	3,3	22,0	3808	105
VI	34,1	3,3	37,4	4471	178
VII	21,6	3,3	24,9	3702	119
VIII	18,8	3,3	22,1	3784	105
IX	20,4	3,3	23,7	3794	113
X	22,6	3,3	25,9	3751	123
XI	20,4	3,3	23,7	3754	113

5. Zusammenfassung

Im Rahmen eines vom Bundesministerium für Forschung und Technologie geförderten Demonstrationsvorhabens sollte aufgezeigt werden, wie sich mit der Umsetzung heute am Markt verfügbarer Techniken und Baukonzepte der Heizenergieverbrauch privater Haushalte deutlich reduzieren läßt. Zu diesem Zweck wurden 22 sog. Solarhäuser, die in einem Architektenwettbewerb nach den Grundsätzen des energiesparenden Bauens entworfen wurden sowie 3 konventionelle Referenzhäuser meßtechnisch detailliert untersucht. Im vorliegenden Bericht werden die Ergebnisse der energetischen Bewertung des Solarhauses in Landstuhl dargestellt, die sich wie folgt zusammenfassen lassen:

- Bei dem Gebäude handelt es sich um ein Objekt mit einem Brutto-Heizenergieverbrauch, der ca. 40 % unter dem Mittelwert des bundesdeutschen Gebäudebestandes liegt.
- Der Wohnraum mit vorgebautem Wintergarten und temporärem Wärme- bzw. Sonnenschutz erwärmt sich im Sommer auf Temperaturen, die unterhalb der Außenlufttemperaturen liegen. Die Südräume im Obergeschoß ohne Sonnenschutz erreichen jedoch Temperaturen, die die Außenlufttemperaturen z.T. erheblich übersteigen. Ein gut funktionierender Sonnenschutz ist bei Solarhäusern Voraussetzung für behagliche Verhältnisse.
- Die Klimabedingungen in den 2 Meßperioden bedingten höhere Heizenergieverbräuche, als dies unter mittleren klimatischen Verhältnissen erforderlich gewesen wäre.
- Der Bewohner setzte über das durchschnittliche Maß hinausgehende interne Wärmelasten frei, die jedoch zur Raumerwärmung beitragen.
- Das Nutzerverhalten kann den Heizenergieverbrauch stärker beeinflussen als jede untersuchte bauliche Maßnahme.

- Der temporäre Wärmeschutz beeinflusst den Energieverbrauch des Gebäudes deutlich. Der Wintergarten trägt nur geringfügig zur Reduzierung des Heizenergieverbrauches bei.
- Eine Verkleinerung der Fensterfläche zwischen Wohnraum und Wintergarten würde den Heizenergieverbrauch nicht verändern.
- Der Kiesspeicher konnte in der bisherigen Konzeption aufgrund damit verbundener nicht akzeptierbarer thermischer Belastungen der an den Wintergarten angrenzenden Räume nicht genutzt werden. Der Gebäudeentwurf läßt diese Betriebsweise nicht zu.
- Der Gesamtwirkungsgrad der eingesetzten Heizanlage entspricht üblicher Größenordnung. Bei der Ausführung von realen Niedrigenergiehäusern bedarf es einer engen Zusammenarbeit aller beteiligten Gewerke.
- Mängel bei der Bauausführung können besonders bei Gebäuden mit geringen Heizenergieverbräuchen zu einer spürbaren Erhöhung der Verluste führen.

Die Untersuchungen zeigen, welchen Einfluß Gebäude, Bewohner und Heizanlage auf den Heizenergieverbrauch haben. Nur durch eine enge Abstimmung der Bau- und Heizungstechnik bei der Gebäudeplanung und -ausführung ist der beabsichtigte Schritt zur deutlichen Reduzierung der Heizenergieverbräuche und der damit verbundenen Umweltbelastungen erreichbar.

Danksagung

Die Untersuchungen wurden durch die Förderung des Vorhabens durch das *Bundesministerium für Forschung und Technologie (BMFT) in Bonn* ermöglicht (Förderkennzeichen: 03E-4339-C). Eine besondere Unterstützung bei der Abwicklung erfolgte auch durch den Projektträger für das *Biologie-, Ökologie- und Energieforschungsprogramm (PBE) in Jülich*. Die Bereitschaft der projektbeteiligten Bauherren, die die zum Teil erheblichen Beeinträchtigungen während der Projektlaufzeit wohlwollend duldeten, hat wesentlich zum Erfolg des Vorhabens beigetragen. Infolge der guten Zusammenarbeit mit dem *Fraunhofer-Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung in Karlsruhe*, dem *Solarbüro in Landstuhl* sowie den anderen am Vorhaben beteiligten Instituten und Beratern steht abschließend ein umfassendes Bewertungsmaterial zur Verfügung. Das Vorhaben konnte durch den engagierten Einsatz aller wissenschaftlichen und technischen Mitarbeiter sowie eines großen Stabs von studentischen Hilfskräften inhaltlich und zeitlich befriedigend abgeschlossen werden. Die Autoren danken allen am Vorhaben beteiligten Institutionen und Personen, ohne deren Unterstützung die Abwicklung eines solchen Vorhabens nicht möglich gewesen wäre, für das entgegengebrachte Verständnis und die Mithilfe.

Literatur

- [1] *Erhorn, H. und Gertis, K.*: Was trägt die Energieeinsparung im Hochbau zum Umweltschutz bei? *Bauphysik* 9 (1987), H. 3, S. 65–74.
- [2] *Gertis, K. und Erhorn, H.*: Verbesserte Wärmeschutz- und Heizungstechniken entlasten die Umwelt in den Ballungsgebieten. *CCI* 21 (1987), H. 3, S. 56–62.
- [3] *Gruber, E.*: Hemmnisse für innovatives energiesparendes Bauen. Bericht aus dem Fraunhofer-Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung, Karlsruhe (unveröffentlicht).
- [4] *Gruber, E. et alii*: Demonstrationsprojekt Landstuhl „Energieeinsparung und Solarenergienutzung in Eigenheimen. Forschungsbericht T84-287 des Bundesministeriums für Forschung und Technologie, Bonn (1984).

- [5] *Erhorn, H., Krötz, T. und Meyer, T.*: Demonstrationsprojekt Landstuhl – Ein Modellvorhaben zur Umsetzung energiesparender Bauweisen. Rationelle Primär- und Umweltenergienutzung im Bauwesen, Statusbericht 1987, S. 128–139, Krammer-Verlag, Düsseldorf (1987).
- [6] *Gruber, E. et alii*: Demonstrationsprojekt „Passive Solarenergienutzung in bewohnten Eigenheimen“. Ergebnisse der sozialwissenschaftlichen Begleitforschung für das Solarhaus in Zweibrücken. Bericht aus dem Fraunhofer-Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung, Karlsruhe (unveröffentlicht).
- [7] *Oswald, D. et alii*: Demonstrationsprojekt „Passive Solarenergienutzung in bewohnten Eigenheimen“. Meßergebnisse und energetische Analyse für das Solarhaus in Zweibrücken. Bericht WB 17/87 des Fraunhofer-Instituts für Bauphysik, Stuttgart (unveröffentlicht).
- [8] *Reiß, J. et alii*: Demonstrationsprojekt „Passive Solarenergienutzung in bewohnten Eigenheimen“. Meßergebnisse und energetische Analyse für das Solarhaus in Homburg. Bericht WB 20/87 des Fraunhofer-Instituts für Bauphysik, Stuttgart (unveröffentlicht).
- [9] Verordnung über einen energiesparenden Wärmeschutz (Wärmeschutzverordnung – WSVO), Bundesgesetzblatt (1982), Teil I, H. 7, S. 209–219.
- [10] *Erhorn, H., Oswald, D. und Reiß, J.*: Demonstrationsprojekt „Passive Solarenergienutzung in bewohnten Eigenheimen“. Vergleichende energetische Analysen der am Projekt beteiligten Objekte. Berichte aus dem Fraunhofer-Institut für Bauphysik, Stuttgart (unveröffentlicht).
- [11] *Esdorn, H., Fortak, H. und Jahn, A.*: Entwicklung von Testreferenzjahren (TRY) für Klimaregionen der Bundesrepublik Deutschland. Vorhaben 03E-5280-A des BMFT. Statusbericht Regionale Energieverwendung im Haushalt und Kleinverbrauch. Verlag TÜV-Rheinland, Köln (1985), S. 426–437.
- [12] *Erhorn, H., Reiß, J. und Oswald, D.*: Solar Energy Use in Occupied Single-Family Houses in Germany. Landstuhl – A Pilot Project for the Implementation of Energy-Saving Construction Methods. Proc. 3rd Intern. Congress on Building Energy Management, Lausanne (1987), Part III, pp. 381–386.
- [13] *Gertis, K.*: Zehn Jahre Energieeinsparung. Können wir zufrieden sein? WKSB 30 (1986), H. 20, S. 1–7; Trockenbau (1986), H. 8, S. 5–21.
- [14] *Erhorn, H. und Gertis, K.*: Mindestwärmeschutz oder/und Mindestluftwechsel? GI 107 (1986), H. 1, S. 12–14 und 71–76.
- [15] *Rouvel, L.*: Wärmegewinne in Wohnungen aufgrund innerer Wärmequellen. GI 105 (1984), H. 3, S. 104–142.
- [16] *Erhorn, H. und Stricker, R.*: Wärmedämmung und passive Solarenergie. DBZ 34 (1986), H. 2, S. 229–236.
- [17] *Erhorn, H. und Weiland, T.*: Wirkt sich die Wohnsituation in der Bundesrepublik Deutschland auf die Anforderungen an den Mindestluftwechsel aus? Bauphysik 8 (1986), H. 3, S. 85–88.
- [18] *Palminter, L. und Wheeling, T.*: SUN CODE – A Program User's Manual. Ecotope Group (1981).
- [19] *Erhorn, H., Gertis, K., Rath, J. und Wagner, J.*: Stimmen Computerberechnungen des wärmetechnischen Verhaltens von Gebäuden mit praktischen Messungen überein? Bericht WB 9/87 des Fraunhofer-Instituts für Bauphysik, Stuttgart (unveröffentlicht).
- [20] *Erhorn, H.*: Möglichkeiten zur Verbesserung des Wärmeschutzes von Mehrfachverglasungen. Fenster und Fassade 10 (1985); H. 4, S. 105–110.
- [21] *Recknagel, H., Sprenger, E. und Hönnmann, W.*: Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik. 63. Aufl., Oldenbourg-Verlag München (1985).

Messen, Ausstellungen, Kongresse, Tagungen, Lehrgänge 1989 (ohne Gewähr und kein Anspruch auf Vollständigkeit)

20. bis 24. September 1989	Würzburg: Kongreß der Deutschen Ges. f. d. Badewesen
25. bis 28. September 1989	Helsinki/Finnland: 10. AIVIC-Konferenz „Fortschritte und Entwicklung bei Luftaustausch und in der Lüftung“
26. bis 28. September 1989	Duisburg: AUBE '89, 9. Intern. Konferenz über Automatische Brandentdeckung. Inf.: Universität Duisburg, Fachgebiet Nachrichtentechnik
9. bis 14. Oktober 1989	Düsseldorf: Messe Interkama
10. bis 11. Oktober 1989	Nürnberg: Tagung „Praxis des Schallschutzes im Hochbau und in der Technischen Gebäudeausrüstung“. Auskunft: VDI-Ges. Bautechnik, TGA und Kommission Lärminderung
13. bis 15. Oktober 1989	Las Vegas/USA: PHCP Expo-Ausstellung Sanitär, Heizung, Klima, Rohrleitungsbau
18. bis 22. Oktober 1989	Saarbrücken: Energie- und Umwelt, Fachausstellung f. umweltfreundliche Energieanwendung
19. bis 21. Oktober 1989	Essen: Messe IKK – Kälte-Klimatechnik
20. Oktober 1989	Berlin: 20. Berliner Gesundheitstechnische Tagung „Sanierung von Schulen und Verwaltungsgebäuden mit Großraumbüros“
22. bis 26. Oktober 1989	Rigadh/Saudi Arabien: Saudi Build '89, Baufachmesse
23. bis 27. Oktober 1989	Hamburg: 2. Intern. Kongreß Leitungsbau. Auskunft: CCH, Postfach 302480, Hamburg 36
23. bis 27. Oktober 1989	Utrecht (Niederlande): Eco-Tech '89 und Machero Process Equipment, Int. Fachmesse f. Abfallverarbeitung, Recycling und Umwelttechnik.
24. bis 29. Oktober 1989	Shanghai/China: China Energy – Intern. Energy and Conservation Equipment and Technology, Ausstellung
25. Oktober 1989	München: Thermische Nutzung der Energiehaushalte von Abfallstoffen. Seminar TU München, Lehrstuhl für Wassergütwirtschaft und Gesundheitswesen
26. bis 27. Oktober 1989	München: Neue Technologien in der Trinkwasseraufbereitung. Seminar TU München, Lehrstuhl für Wassergütwirtschaft und Gesundheitswesen
1. bis 6. November 1989	Guangzhou/China: Coldtech China, Intern. Fachmesse f. Kältetechnik
2. bis 3. November 1989	Paris/Frankreich: FRANCOKLIM 89, Congrès Francophone du Génie Climatique. Inf.: 7 rue Royale, 75008 Paris
6. bis 7. November 1989	Eindhoven/Niederlande: EUROTHERM, Domestic Heating and Ventilating. TU Eindhoven
6. bis 10. November 1989	Brüssel/Belgien: AQUA-EXPO, Intern. Fachmesse d. Wassertechnik
7. bis 11. November 1989	Paris/Frankreich: INTERCLIMA, Intern. Fachausstellung der Heizungs-, Kälte- u. Klimatechnik
8. bis 10. November 1989	Essen: Lehrgang Betrieb und Wartung von Klima- und Kälteanlagen. Kraftwerksschule, Postfach 103932, Essen
22. bis 24. November 1989	Hannover: DKV-Tagung 1989
22. bis 29. November 1989	Aschchabad/Türkei: Intern. Fachsalon Apparatur und Werkzeuge f. d. Ausnutzung der Solarenergie