

Zeitschrift: Schweizer Ingenieur und Architekt
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 100 (1982)
Heft: 30/31

Artikel: Passive Sonnenenergienutzung: ein Beitrag zur Berechnung der Wärmeeinsparung
Autor: Filleux, Charles / Kurer, Thomas V.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-74838>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 16.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Passive Sonnenenergienutzung: Ein Beitrag zur Berechnung der Wärmeeinsparung

Von Charles Filleux und Thomas V. Kurer, Zürich

Immer häufiger wird versucht, die Sonnenenergie mit passiven Mitteln, das heisst mit Hilfe von Massnahmen der Architektur und der Bauweise zu nutzen. Dabei zeigt sich, dass die Wärmeeinsparung durch passive Sonnenenergienutzung sehr schwer zu erfassen ist und oft nur mit Hilfe von Computersimulationen errechnet werden kann. Im folgenden Beitrag wird eine vereinfachte Methode zur Berechnung der Wärmeeinsparung durch passive Sonnenenergienutzung beschrieben.

Einleitung

Das Bauen war in allen Kulturen immer auch eine Antwort auf das vorhandene Klima. Die Menschen wussten sich mit Hilfe von überlieferten Bautraditionen vor Kälte, Hitze, Regen und Wind zu schützen. Je nach Klimazone wurde verschieden gebaut, und aus den vorhandenen Baumaterialien wurden jeweils die geeignetsten gewählt und entsprechend verwendet. Diese Kunst, klimagerecht zu bauen, ist in der jüngsten Vergangenheit vielerorts verloren gegangen. In den letzten Jahren hat nun – auch gefördert durch die weltweite Energieverknappung – eine Rückbesinnung auf die lokale Bautradition stattgefunden. Dabei sind auch die Zusammenhänge zwischen Klima und lokaler Bautradition wiederentdeckt worden. Es ist heute jedoch nicht mehr ohne weiteres möglich, an die traditionellen Bauweisen anzuknüpfen, denn die Bautechnik ist inzwischen weiterentwickelt worden, und die Anforderungen an die Gebäude haben sich geändert. Es müssen deshalb neue Planungsmittel, Entwurfshilfen und Berechnungsmethoden entwickelt und in der Praxis erprobt werden.

Der vorliegende Aufsatz ist ein Diskussionsbeitrag zur Erfassung der Wärmeeinsparung durch passive Sonnenenergienutzung. Es wird versucht, einen Weg aufzuzeigen, wie die Wärmebilanz passiver Elemente ermittelt und einfach in die Wärmebedarfsrechnung eines Hauses eingerechnet werden kann. Anhand von ausgewählten passiven Systemen, die in der Praxis erprobt worden sind, soll diese Berechnungsmethode dargestellt werden. Schliesslich soll aufgezeigt werden, wie man die

Wärmeeinsparung der verschiedenen passiven Systeme untereinander vergleichen kann.

Wärmebilanz passiver Systeme

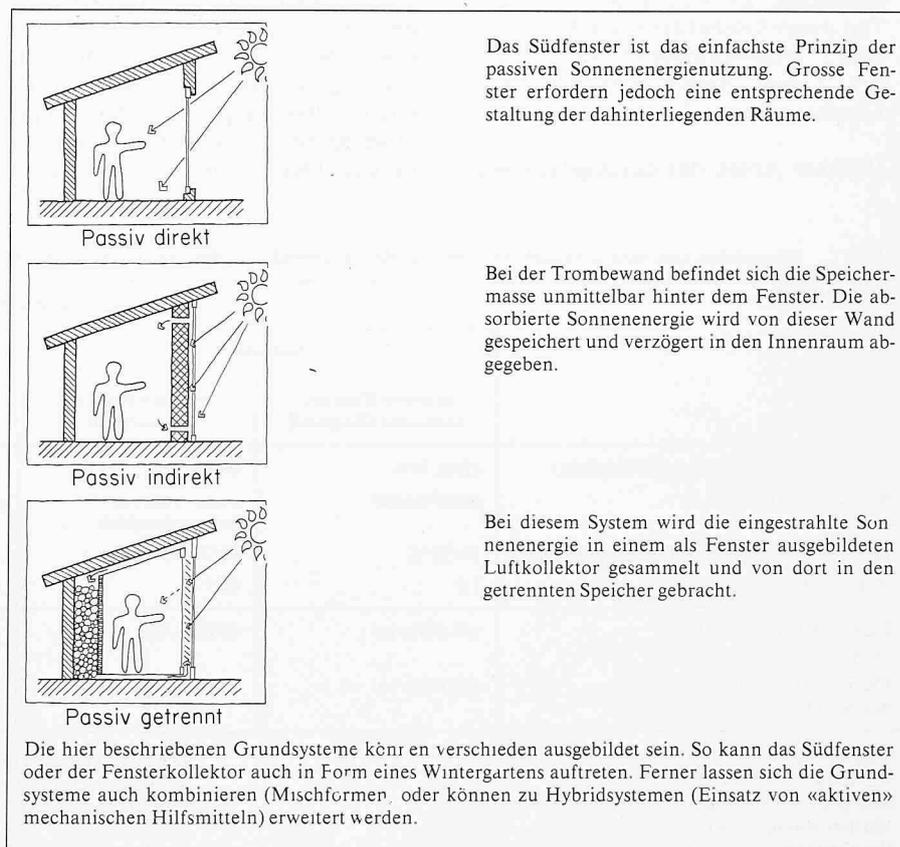
Grundsätzlich kommt die Sonnenstrahlung jedem Gebäude zugute. Von einem passiven Sonnenenergiehaus spricht man jedoch nur dann, wenn die Nutzung der Sonnenenergie zur Herab-

setzung des Heizenergieverbrauches als wesentliches Ziel des Hausentwurfes – «architektonische Idee des Hauses» – erklärt wird.

Man unterscheidet drei Grundsysteme der passiven Sonnenenergienutzung (Bild 1): Das richtig orientierte (Süd-)Fenster, die Trombewand und der als Fenster ausgebildete Luftkollektor. Der oft angewendete Wintergarten ist je nach Verwendung eine Ausgestaltung eines der oben genannten Systeme. Wesentliches Merkmal eines passiven Sonnenenergienutzungssystems ist seine Integration als Bauteil in die architektonische Gestaltung des Gebäudes. Dabei kann es auch andere Funktionen des Hauses übernehmen, wie z. B. die Sichtverbindung zur Umgebung.

Die passive Bauweise ist durch grosse Energieströme gekennzeichnet. Durch ein Südfenster kann an einem sonnigen Tag eine beachtliche Energiemenge gewonnen werden. Diesem Gewinn steht aber an bewölkten Tagen und nachts ein grosser Verlust an Transmissionswärme und je nach Fensterkonstruktion an Rahmen- und Fugenverlusten gegenüber. Die Wärmebilanz eines Südfensters beispielsweise wird von folgenden Grössen beeinflusst [1–6]:

Bild 1. Grundsysteme der passiven Sonnenenergienutzung



Passives System	Gesamtheit der zum Sammeln, Speichern und Verteilen der Sonnenenergie/-wärme notwendigen Elemente/Bauteile
Passives Element	Als Sammel-, Speicher- oder Verteilelement ausgebildeter Bauteil. Oft kann ein Element mehr als eine Funktion übernehmen
Glaslicht	
	<p>Das Diagramm zeigt einen Querschnitt durch eine Fassade mit drei verschiedenen Lichtarten: MAUERLICHT (Mauerwerk), RAHMENLICHT (Rahmen) und GLASLICHT (Glas). Die Fassade ist als FASSADE beschriftet.</p>
Globalstrahlung G_{13}	Summe der diffusen und direkten Strahlung auf eine vertikale Südfläche während einer vorgegebenen Zeitspanne
Glaskennwert g_d	Summe der von der Verglasung durchgelassenen diffusen und direkten Strahlung und der sekundären Wärmeabgabe der Verglasung infolge Erwärmung nach innen, unter Berücksichtigung der laufenden Änderung des Einfallwinkels der Sonnenstrahlung im Tagesgang [2]
Ausnutzungsgrad η	Infolge von Übererwärmung kann die in den Raum eingestrahelte Sonnenenergie nicht voll ausgenutzt werden. Der Ausnutzungsgrad hängt von den Eigenschaften des Raumes ab und muss mit Hilfe von Simulationen errechnet werden
Dynamischer k-Wert	Der dynamische k -Wert k_{dyn} berücksichtigt die verminderten Transmissionsverluste infolge der Erwärmung der Verglasung während der Dauer der Sonnenstrahlung
Elementbilanz (oft auch Wärmebilanz genannt)	Gewinn-/Verlustbilanz eines passiven (Sammel-)Elementes, bezogen z. B. auf die Glasfläche (= Glaslicht) des Elementes. (Unter der Annahme, dass der Wirkungsgrad des Wärmeabgabesystems nahe bei eins liegt, kann die Systembilanz näherungsweise der Elementbilanz gleichgesetzt werden)

Bild 2. Definitionen

- Ein vertikal nach Süden orientiertes Fenster empfängt Sonnenlicht in Form von direkter und diffuser Strahlung. Es wird jedoch nur ein Teil dieser Globalstrahlung G_{13} (siehe Bild 2 «Definitionen») durchgelassen. Dieser Anteil entspricht dem Glaskennwert g_d der Verglasung.
- Welcher Anteil der durchgelassenen

Strahlung tatsächlich zu einer Wärmeeinsparung führt, hängt von vielen Faktoren ab, wie z. B. Verhältnis Strahlungsangebot zu Wärmebedarf des Raumes, Speichermasse im Raum, Warmluftverteilung im Haus, Lüftungsverluste, interne Wärmequellen, Regelung der Heizung, zugelassener Bereich der Raumtemperatur usw. Der Einfluss dieser Faktoren

wird im *Ausnutzungsgrad η* zusammengefasst.

- Durch das Südfenster geht aber auch Wärme verloren: Zur Bestimmung des Transmissionswärmeverlustes der Verglasung kann für grobe Abschätzungen der statische Wärmedurchgangskoeffizient k in die Bilanzrechnung eingesetzt werden. Für unsere Zwecke ist jedoch unbedingt der *dynamische k -Wert k_{dyn}* zu verwenden, welcher die Erwärmung des Glases und die damit verbundenen geringeren Transmissionsverluste während der Sonnenscheindauer berücksichtigt.

Der Ausnutzungsgrad η und der dynamische k -Wert k_{dyn} sind sehr schwierig zu erfassen. Eine Quantifizierung dieser Größen kann nur durch eine detaillierte Wärmebilanz eines Fensters einschliesslich des dahinterliegenden Raumes mit Hilfe von Computersimulationen erreicht werden. Damit diese Rechengänge nicht für jeden Anwendungsfall wiederholt werden müssen, wird im folgenden die Wärmebilanz für die verschiedenen passiven Systeme ermittelt und in einer allgemein anwendbaren Form dargestellt. Zu diesem Zweck wurden die drei Grundsysteme, nämlich das Südfenster, die Trombewand und der Fensterkollektor mit erzwungener Luftführung (System «Solar Trap») auf ihre Wärmebilanz hin untersucht. Im Freiluftprüfstand STESO an der *ETH Lausanne* sind diese drei Systeme unter realen Bedingungen getestet worden. Mit Hilfe von Computermodellen, die anhand der im Teststand erfassten Daten geprüft wurden, hat man schliesslich die genauen Wärmebilanzen unter Berücksichtigung der instationären Einflüsse ermittelt.

Tabelle 1. Wärmebilanz verschiedener passiver Systeme für die Heizperiode Oktober 1980 bis April 1981 für Lausanne-Ecublens

	Passives Sonnenenergienutzungssystem			
	Südfenster ¹		Trombewand	Solar Trap
	in einem Haus mit normalem Glasanteil	in einem passiven Sonnenhaus		
Glasanteil an der Südfassade (Glaslicht)	klein, 18%	gross, 55%	gross, 55%	bis zu 75% ²
Bauweise des Hauses ³	mittelschwer	massiv, passive Solararchitektur	massiv	leicht bis mittelschwer
Bereich der zugelassenen Raumtemperatur ⁴	19/23 °C	18/25 °C	18/25 °C	18/25 °C
Ausnutzungsgrad ⁵	1,0	0,85	-	-
Elementbilanz (nur Glas) ⁶ ohne Nachtisolation	134 kWh/m ²	85 kWh/m ²	-	170 kWh/m ² ⁷
Elementbilanz (nur Glas) mit Nachtisolation ⁸	169 kWh/m ²	120 kWh/m ²	20 kWh/m ²	185 kWh/m ²

¹ Doppelverglasung, ohne Beschichtung
² Nur dank vorgehängter Fassade möglich
³ Sehr gut wärmedämmend, Luftwechsel $n = 0,6 \text{ h}^{-1}$
⁴ Mittlere Raumtemperatur bei allen: 20 °C
⁵ Resultierend aus Simulationsberechnungen

⁶ Die Systembilanz wird im folgenden der Elementbilanz gleichgesetzt, da der Wirkungsgrad für die Wärmeabgabe sehr schwer erfassbar ist und deshalb gleich eins angenommen wird
⁷ Energieaufwand für Ventilator wurde in Abzug gebracht
⁸ Nachtisolation: z. B. Wärmeschutzrolleau

In Tabelle 1 sind die Ergebnisse dieser Berechnungen dargestellt. Unter *Wärmebilanz* eines passiven Elements verstehen wir die Bilanz aller gewinn- und verlustbringenden Energieströme unter Berücksichtigung der instationären Effekte einschliesslich des dahinterliegenden Raumes. Die Bilanzen beziehen sich immer auf den Glasanteil, d. h. Rahmen- und Fugenverluste sind nicht eingerechnet. Wärmebilanzen können auch negativ ausfallen, wie z. B. bei einem Südfenster mit Einfachverglasung und ohne Nachtisolation im mittelländischen Klima. Die Resultate für das doppelverglaste, unbeschichtete Südfenster und für die Trombewand sind Arbeiten der «Groupe de Recherche en Energie Solaire» der ETH Lausanne entnommen [7, 8], die Resultate für das System «Solar Trap» stammen aus einer eigenen Arbeit [9]. Die dargestellten Werte gelten nur für die Klimaregion Lausanne und für die definierten Bedingungen (optimale Südorientierung, keine Beschattung, Bauweise usw. entsprechend den Angaben in Tabelle 1). Für andere Orte/Situationen/Bauweisen sind die entsprechenden Werte noch auszuarbeiten. Nebenbei kann anhand von Tabelle 1 festgestellt werden, dass für Klimaverhältnisse, wie sie in der Region Lausanne und auch in weiten Teilen des schweizerischen Mittellandes herrschen, sich entweder das System der direkten Nutzung (Südfenster) oder der Fensterkollektor mit erzwungener Luftführung (z. B. System «Solar Trap») eignen. In dieser Klimazone fällt die Trombewand eindeutig ab. Ein weiteres wichtiges Resultat ist, dass für Südfenster der Ausnutzungsgrad mit zunehmendem Glasanteil abnimmt. Dieser Effekt kann durch geschickte Anordnung und Vergrösserung der Speichermasse im Haus nur teilweise kompensiert werden.

Berechnung der Wärmeersparnis durch passive Systeme

Die in Tabelle 1 aufgeführten Wärmebilanzen erlauben bereits in einer ersten Entwurfsphase, den Einfluss der passiven Sonnenenergienutzung auf den Wärmebedarf des geplanten Hauses abzuschätzen. Will man in der Projektierungsphase den Wärmebedarf des Hauses genau berechnen, so ist dies ebenfalls mit Hilfe dieser Wärmebilanz möglich. Das Vorgehen ist einfach: Man muss dazu nur die Wärmebilanz des passiven Elementes in den Wärmebedarf des restlichen Hauses «einsetzen».

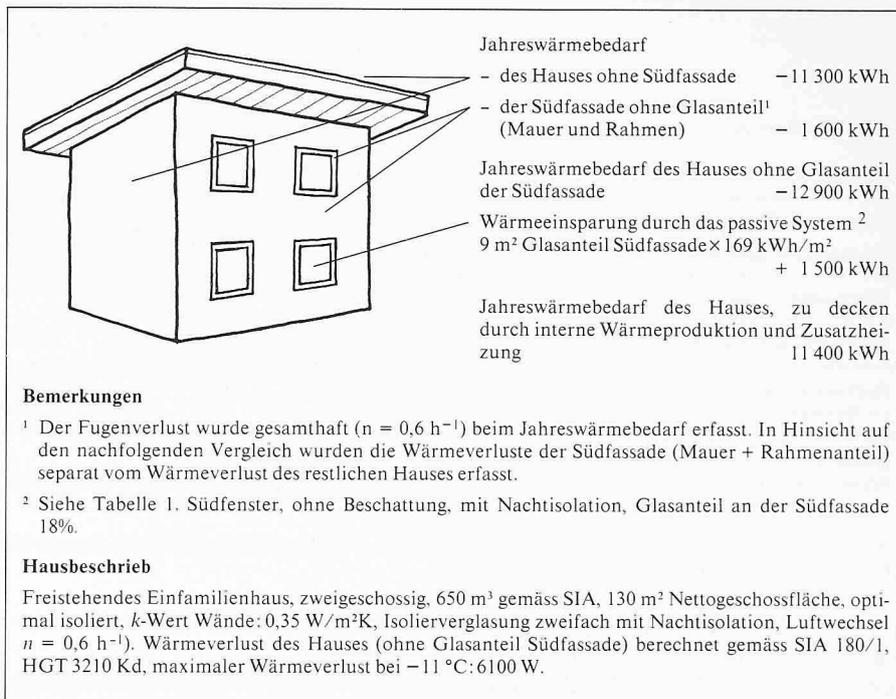


Bild 3. Berechnung der Wärmeeinsparung durch passive Sonnenenergienutzung am Beispiel eines gut isolierten Hauses mit normalem Fensteranteil an der Südfassade (Basishaus)

In Bild 3 ist dieser Arbeitsschritt für ein Haus mit normalem Fensteranteil durchgeführt. Zuerst wird mit Hilfe der gängigen - stationären - Berechnungsmethoden (SIA 180/1) der Wärmebedarf des Hauses ohne den Glasanteil des passiven Elementes erfasst (= Jahreswärmebedarf des Hauses ohne Glasanteil Südfassade). Dann wird die Wärmebilanz des gewählten passiven Elementes entsprechend seiner Grösse eingesetzt (= Wärmeeinsparung durch das passive System). Zusammen ergibt dies den *Jahresrestwärmebedarf*, der durch interne Wärmeproduktion und Zusatzheizung gedeckt werden muss.

Wie bereits erwähnt worden ist, beziehen sich die Wärmebilanzen jeweils nur auf den *Glasanteil* des Elementes. Der Fensterrahmen wird nicht in der Elementbilanz, sondern im Jahreswärmebedarf des Hauses berücksichtigt, da je nach gewählter konstruktiver Lösung des Rahmens sehr grosse Unterschiede auftreten können. So hat ein festverglastes Fenster bedeutend weniger Rahmenanteil und Fugen und somit weniger Wärmeverluste als ein mehrflügeliges Fenster.

In ähnlicher Weise können die andern in Tabelle 1 auf Grund von Computersimulationen ermittelten Wärmebilanzen weiterverwendet werden, wobei diese vorerst nur für die *Klimaregion Lausanne* vorliegen. Die hier vorgeschlagene Berechnungsmethode hat den Vorteil, dass sie die instationäre Berechnungsweise für die Wärmebilanz des passiven Elementes mit dem herkömmlichen stationären Berechnungsgang für den Rest des Hauses verknüpft

und mit geringem Zeitaufwand durchgeführt werden kann.

Vergleich der Wärmeeinsparung durch verschiedene passive Systeme

Es bleibt nun noch zu zeigen, wie man den Anteil der Wärmeeinsparung am Wärmebedarf eines Hauses berechnet, und wie man die Wärmeeinsparung der verschiedenen passiven Systeme untereinander vergleicht.

Um Missverständnisse aus dem Weg zu räumen, sind folgende zwei Punkte von Bedeutung:

- Als Wärmeeinsparung darf nicht die ganze eingestrahelte Sonnenenergie betrachtet werden, sondern nur jener Teil, der nach Abzug des Wärmeverlustes des passiven Elementes (Fenster, Fensterkollektor usw.) verbleibt. Dieser Teil entspricht den in Tabelle 1 gezeigten Wärmebilanzen.
- Je nach Zielsetzung des Vergleiches muss eine entsprechende Vergleichsbasis gewählt werden, z. B. ein der Sonne zugewandtes Haus mit normalem Fensteranteil (Basishaus). Es könnte auch ein Haus im Schatten gewählt werden.

Ausgangspunkt für den Vergleich der verschiedenen Systeme ist das in Bild 3 beschriebene Basishaus mit normalem Fensteranteil. Der Jahreswärmebedarf (ohne Südfassade) ist für die Vergleichsobjekte gleich gross zu wählen, denn nur so lässt sich die Wärmeeinsparung

	Passives Sonnenenergienutzungssystem		
	Haus mit normalem Fensteranteil (Basishaus)	Passives Sonnenhaus	Solar Trap
Glasanteil Südfassade Bauweise des Hauses ¹	18% mittelschwer	55% schwer	70% leicht
Jahreswärmebedarf des Hauses ohne Südwand	-11 300 kWh	-11 300 kWh	-11 300 kWh
Jahreswärmebedarf der Südfassade (Mauer + Rahmen)	- 1 600 kWh	- 1 000 kWh	- 700 kWh
Wärmeeinsparung durch das passive System ²	+ 1 500 kWh	+ 3 300 kWh	+ 6 500 kWh
Restwärmebedarf des Hauses ³	-11 400 kWh	- 9 000 kWh	- 5 500 kWh
Reduktion des Restwärmebedarfs gegenüber Basishaus (= Mehreinsparung)	0%	21% (11 400-9000)/11 400 = 21%	52% (11 400-5500)/11 400 = 52%

¹ Bauweise entsprechend Angaben in Bild 3

² Wärmebilanz des passiven Systems inkl. Nachtisolation (Elementbilanz gemäss Tabelle 1 x Glasanteil in m²)

³ Deckbar durch interne Wärmeproduktion und Zusatzheizung

Tabelle 2. Wärmeeinsparung bzw. Reduktion des Restwärmebedarfs verschiedener passiver Systeme im Vergleich zum «Basishaus» (Heizperiode 80/81, Lausanne-Ecublens)

durch die verschiedenen Systeme überhaupt vergleichen. Die Wärmeeinsparung wird in Tabelle 2 gleich dem Produkt aus Elementbilanz mal Glasanteil der Südfassade gesetzt und ist in Kilowatt-Stunden angegeben. Dabei sieht man, dass bereits das Basishaus eine Wärmeeinsparung aufweist, die zu einer deutlichen Reduktion (1500 kWh) des Jahreswärmebedarfs führt. Interessanterweise wird in unserem Beispiel die Wärmeeinsparung gerade durch die Wärmeverluste von Mauer und Fensterrahmen der Südfassade kompensiert, so dass die Südfassade als ganzes thermisch neutral wird. Diese Feststellung ist für Häuser mit normalem Fensteranteil übrigens auch von anderen Autoren gemacht worden. Im passiven Sonnenhaus und im Solar-Trap-Haus ist die Wärmeeinsparung wesentlich grösser als im Basishaus und beträgt 3300 kWh bzw. 6500 kWh.

Die Wärmeeinsparung kann auch als prozentuale Reduktion des Wärmebedarfs gegenüber dem Basishaus ausgedrückt werden. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die angegebenen Prozentzahlen von der Beschaffenheit des Basishauses abhängig sind. Die in Tabelle 2 errechneten Prozentangaben mögen auf den ersten Blick niedrig erscheinen, sie sind aber, als «Mehreinsparung» betrachtet, durchaus realistisch. Nur im Vergleich mit einem Basishaus im Schatten würde man höhere Werte erhalten.

Abschliessend möchten wir darauf hinweisen, dass in den USA von J.D. Balcomb [10] eine Methode entwickelt worden ist (Solar Savings Fraction), die un-

Literatur

- [1] Werner, H. (1980): «Auswirkungen meteorologischer Einflussgrössen auf die Wärmebilanz von Fenstern während der Heizperiode», Gesundheits-Ingenieur 101, H 3: 63 ff.
- [2] Handbuch Planung und Projektierung, Wärmetechnische Gebäudesanierung, Bundesamt für Konjunkturfragen, EDMZ 1980.
- [3] Trogisch, A. (1974): «Zur Berechnung der Strahlungslast bei direkter und diffuser Strahlung», Luft- und Kältetechnik, 2.
- [4] Rouvel, L. und Wenzl, B. (1979): «Kenngrössen zur Beurteilung der Energiebilanz von Fenstern während der Heizperiode», HLH 30, Nr. 8.
- [5] Sagelsdorff, R. (1980): «Wärmeschutz im Hochbau», Element 23.
- [6] Gertis, K., Hauser, G.: «Energieeinsparung infolge Sonneneinstrahlung durch Fenster», Klima- und Kälteingenieur, Heft Nr. 3: 107-111.
- [7] Erikson, C., Gay, J.-B. and Rey, Y. (1981): «Mathematical Modelisation of a direct gain Test Cell», ISES, Solar World Forum, Brighton.
- [8] Rey, Y., Gay, J.-B. and Faist, A. (1981): «Measurements and modelisation of a trombe wall», Solar World Forum, Brighton.
- [9] Filleux, C., Kurer, T. und Gasser, H. (1982): «NEFF-Forschungsprojekt Solar Trap», Schlussbericht.
- [10] Balcomb, J.D. (1980): «Passive Solar Design Handbook», Vol. 2.

serer Berechnungsweise ähnlich ist. Auf die Unterschiede kann im Rahmen dieses Aufsatzes nicht eingegangen werden.

Ausblick

Die vorliegende Methode für die Berechnung und den Vergleich passiver Sonnenenergienutzungssysteme kann unseres Erachtens in der Hand von Architekten und Energieberatern als wertvolles Hilfsmittel bei der Projektierung und Wärmebedarfsberechnung eingesetzt werden.

Bereits im Vorprojekt kann die zu erwartende Wärmeeinsparung mit Hilfe der Wärmebilanzen schnell erfasst und verglichen werden. In einer späteren Phase kann – ausgehend von den üblichen Wärmebedarfsberechnungen –

die Wärmeeinsparung und der verbleibende Jahresrestwärmebedarf ohne grossen Aufwand berechnet werden. Der Vergleich der verschiedenen passiven Systeme kann durch einfaches Auswechseln der passiven Elemente und ihrer Wärmebilanzen erfolgen. Voraussetzung ist allerdings, dass die dazu notwendigen Wärmebilanzen der passiven Elemente, die hier nur für drei Systeme in einer einzigen Klimazone vorliegen, für verschiedene Varianten, Klimazonen und Parameter berechnet werden. Im Rahmen des IEA-Forschungsprojektes «Passive and hybrid solar low energy buildings», an dem die Schweiz beteiligt ist, könnten diese Lücken gefüllt werden.

Adresse der Verfasser: Dr. Ch. Filleux, dipl. Physiker, c/o Basler & Hofmann, Ingenieure und Planer AG, Forchstr. 395, 8029 Zürich; Th. V. Kurer, dipl. Arch. ETH, Freudenbergstr. 126, 8044 Zürich.