

**Zeitschrift:** Schweizer Ingenieur und Architekt  
**Herausgeber:** Verlags-AG der akademischen technischen Vereine  
**Band:** 104 (1986)  
**Heft:** 33-34

**Artikel:** Sonnenenergie - Modellsimulation: parametrische Sensitivitätsanalysen für verschiedene Konzepte der passiven Sonnenenergienutzung  
**Autor:** Filleux, Charles  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-76213>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **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. [Voir Informations légales.](#)

### **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. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 18.03.2025

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

Wohnen erfordert die Einhaltung eines Behaglichkeitsbereiches. Dieser soll sehr häufig erreicht werden. Extremwerte sind nicht erwünscht. Behaglich heisst: nicht zu kalt, aber auch nicht zu heiss.

Sonnenenergiegewinnung erfordert die Charakteristiken eines Sonnenkollektors. Der Wintergarten soll möglichst rasch sehr stark überhitzen, um konvektiv Wärme ins Haus transportieren zu können. Je heisser der Wintergarten, desto besser.

Diese beiden Forderungen stehen im Zielkonflikt. Wer im Wintergarten wohnt, entzieht dem Haus fast zwangsläufig Wärme. Das Extrembeispiel ist Adliswil. Aber auch die anderen Wintergärten liegen in dieser Tendenz. Man beachte, dass der Aufenthalt im Wintergarten schon ab 12 °C Wintergartentemperatur möglich ist. Diese Möglichkeit wurde auch genutzt. Dies bedeutet doch, dass die Türe zum Wintergarten sehr oft offensteht, wenn es im Wintergarten kälter ist als im Haus. Ein Luft-

austausch ergibt somit Wärmeentzug. Erst wenn es im Wintergarten wärmer ist als im Haus, kehrt der konvektive Wärmestrom um. Dann wird es aber meistens für den Aufenthalt zu heiss. Es werden Gegenmassnahmen ergriffen.

Daraus schliessen wir: Wer im Wintergarten wohnen will, muss dessen Wärmeschutz maximieren. Wenn nicht, wird es ein Wohnen in schlechter Bauhülle. Wer Sonnenenergie gewinnen will, muss einen Sonnenkollektor gestalten. Er muss in Kauf nehmen, dass er sich im Sonnenkollektor aufhält.

Diese Aspekte sind bei der Planung und beim Betrieb zu beachten. Auch der Benutzer muss sich dieser Problematik bewusst sein. Einen energetisch optimierten Wintergarten kann der Benutzer zum Energieloch umfunktionieren.

Diese Schlussfolgerungen haben nicht zum Zweck, den Wintergarten zu verdrängen bzw. zu disqualifizieren. Planer und Bewohner müssen sich dieser Problematik von Anfang an klar sein

und danach handeln. Dann ist es durchaus möglich, mit dem Wintergarten Energieverluste zu verhindern, vielleicht sogar etwas Energie zu gewinnen. Positiv handelt der Bewohner, wenn er:

- den Sonnenschutz selten einsetzt
- Aussenfenster geschlossen hält
- Innentüren nur öffnet, wenn der Wintergarten wärmer ist als das Haus (also das Haus möglichst auf tiefem Temperaturniveau beheizt)
- Möbel und Pflanzen für Extremtemperaturen auswählt.

#### Literatur:

- [1] Fanger, P.O.: Thermal Comfort, Copenhagen 1970
- [2] Eggenberger, A.: Thermische Messungen in Wintergärten von Mehrfamilienhäusern, Klima - Benützung - Behaglichkeit, Juni 1985

Adresse des Verfassers: A. Eggenberger, Ing. HTL, c/o Eggenberger Bauphysik AG, Brunnmattstrasse 6, 3400 Burgdorf.

## Sonnenenergie - Modellsimulation

### Parametrische Sensitivitätsanalysen für verschiedene Konzepte der passiven Sonnenenergienutzung

Von Charles Filleux, Zürich

Durch Modellsimulationen lassen sich Energiehaushalt und thermischer Komfort von Gebäuden mit verschiedenen Konzepten der passiven Sonnenenergienutzung vorausberechnen und optimieren. Zu diesem Zweck sind in der Schweiz im Rahmen des Teilprojekts B der IEA Solar Task VIII verschiedene dynamische Simulationsmodelle evaluiert und zwei Computerprogramme (SERIRES und DEROB) installiert und durch Vergleich mit Messungen überprüft worden. Anhand von parametrischen Sensitivitätsanalysen an einem Reiheneinfamilienhaus schweizerischer Bauart konnten allgemeingültige Regeln für die Planung und Berechnung von Gebäuden mit passiver Sonnenenergienutzung abgeleitet werden. Berechnungsmethode und Regeln für die verschiedenen Konzepte sind im «Handbuch der passiven Sonnenenergienutzung» (vgl. Artikel von Mark Zimmermann in diesem Heft) dargestellt worden. Detaillierte Resultate findet man in drei Berichten [1, 2 und 3], welche bei INFOSOLAR, Postfach, CH-5200 Brugg, zu beziehen sind.

#### Simulationsmodelle für Solar Task VIII

##### Zielsetzung

Mit dem Teilprojekt B der IEA Solar Task VIII wurden folgende Zielsetzungen verfolgt:

- Evaluation und Überprüfung von dynamischen Simulationsmodellen
- Erarbeiten von Testbeispielen mit möglichst exakten Lösungen für die

Überprüfung von vereinfachten Rechenmodellen

- Durchführen von parametrischen Sensitivitätsanalysen für das «Handbuch der passiven Sonnenenergienutzung»
- Optimierungsanalysen für drei passiv-solare Demonstrationsbauten.

Im folgenden wird das Schwergewicht auf die Darstellung von Resultaten der parametrischen Sensitivitätsanalysen für verschiedene Konzepte der passiven

Sonnenenergienutzung gelegt. Auf die Evaluation und Überprüfung der gewählten Simulationsmodelle wird nur kurz eingegangen. Die Resultate der Optimierungsanalysen für drei Sonnenhaus-Projekte sind Gegenstand des Artikels von Armin Binz in diesem Heft.

#### Evaluation und Validierung

Durch eine im In- und Ausland durchgeführte Umfrage konnte etwa ein Dutzend dynamischer Simulationsprogramme gefunden werden. Die Evaluation ergab, dass nur sehr wenige den folgenden Anforderungen genügen:

- Fähigkeit, die verschiedenen passiv-solaren Systeme zu simulieren
- Aufteilung des Gebäudes in mehrere Zonen
- Analytisch verifizierte Algorithmen und ausreichende Rechengenauigkeit
- Benutzerfreundlichkeit
- Gute Dokumentation.

Die Wahl fiel auf die zwei in den USA entwickelten Rechenprogramme DEROB (Dynamic Energy Response of Buildings) und SERIRES (Solar Energy Research Institute Residential Energy Simulator).

Die Überprüfung von Rechenprogrammen lässt sich nach drei Gesichtspunkten durchführen:

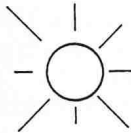
- die analytische Verifikation
- die empirische Validierung
- der Vergleich von Modell zu Modell.

## GEBÄUDE MIT DIREKTGEWINN

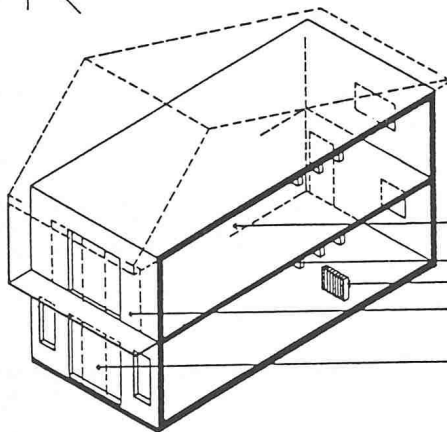
Grunddaten Gebäude:	
Energiebezugsfläche EBF	100.0 m <sup>2</sup>
Beheiztes Volumen	22.0 m <sup>3</sup>
Gebäudemasse	1092 kg/m <sup>2</sup> EBF
Speicherkapazität	1,15 MJ/K m <sup>2</sup> EBF
Aussenlufttrate	0.5/h

Grundvariante Direktgewinn:	
Fenster Süd	40%, 3-IV 9.8 m <sup>2</sup>
Nord	3-IV 2.1 m <sup>2</sup>

Spezifischer stationärer Wärmeverlust inkl. Süd- und Aussenluftwechsel	97.3 W/K
--	----------

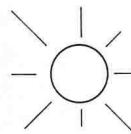


KLIMA:  
ZÜRICH, GENÈVE  
LUGANO, DAVOS

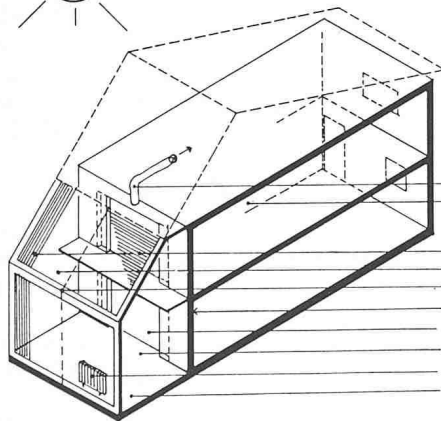


SEITENWAND HAUS: ALS ZWISCHEN- UND AUSSENWAND  
BETONDECKEN, HOLZBALKENDECKEN  
KOMFORT: 18°C/21°C, 2°/25°C  
FENSTERANTEIL: 20%, 30%, 40%, 50%, 60%  
VERGLASUNG: IV, IV(NACHTISO.), 3IV, HV

## GEBÄUDE MIT WINTERGARTEN



KLIMA:  
ZÜRICH, GENÈVE  
LUGANO, DAVOS

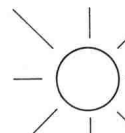


Grunddaten wie bei Direktgewinn

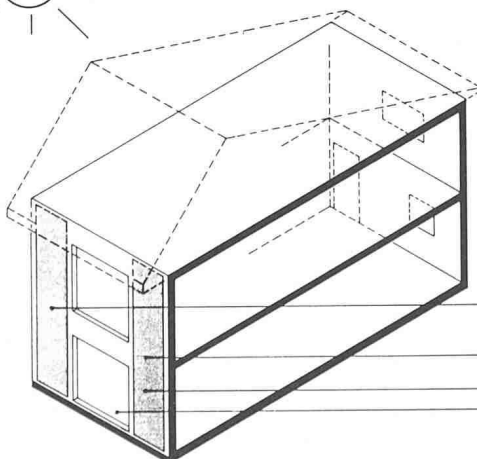
Grundvariante Wintergarten:	
Verglasung Süd	2-IV 21,8 m <sup>2</sup>
Aussenlufttrate	0.5/h
Fenster Zwischenwand	2-IV 9.8 m <sup>2</sup>
Volumen Wintergarten	62 m <sup>3</sup>

VENTILATOR: OHNE, MIT  
SEITENWAND HAUS: ALS ZWISCHEN- BZW. AUSSENWAND  
NACHISOLATION, SONNENSCHUTZ  
VERGLASUNG: IV, EV  
WG-BREITE: 1, 1/2  
WÄRMEDÄMMUNG: SEITE WG, SEITE HAUS  
VERGLASUNG: 40%, 60% IV  
SEITENFLÄCHEN: OPAK, VERGLAST IV  
HEIZUNG IM WG: KEINE, MIT THERMOSTAT 5°C  
LUFTWECHSEL IM WG: 0,5 h<sup>-1</sup>, 1,0 h<sup>-1</sup>

## GEBÄUDE MIT WÄRMESPEICHERWAND



KLIMA:  
ZÜRICH, GENÈVE  
LUGANO, DAVOS



Grunddaten wie bei Direktgewinn

Grundvariante Wärmespeicherwand:	
Fenster Süd	20%, 3-IV 4.9 m <sup>2</sup>
Wärmespeicherwand	2-IV+NI 12.3 m <sup>2</sup>

VARIIERTE PARAMETER:  
SPEICHERWAND: BETON, LATENTMATERIAL, OHNE, MIT LUFTÖFFNUNGEN  
VERGLASUNG: 2-IV, 2-IR, 3-IV  
NACHISOLATION  
FENSTER: 3-IV

Bei der *analytischen Verifikation* geht es um die Überprüfung der numerischen Lösungsmethode. Für die beiden ausgewählten Rechenprogramme konnte davon ausgegangen werden, dass die analytische Verifikation erfolgreich durchgeführt worden ist.

Unter *empirischer Validierung* versteht man allgemein den Vergleich von simulierten und gemessenen Daten. Die Validierung kann mit unterschiedlichem Detaillierungsgrad durchgeführt werden. Bei einer einfachen Validierung wird man sich aus Kostengründen auf den Vergleich der wichtigsten Größen mit Messdaten beschränken, so etwa der Jahresenergiebilanz, der Stundenwerte und Mittelwerte der Innentemperaturen (Haus, Wintergarten usw.) über eine ausgewählte Periode sowie der Heizenergie über dieselbe Periode. Eine umfassende Validierung würde:

- Rechengänge für mehrere Klimazonen,
- Ausweitung von ausgewählten Perioden auf ein ganzes Jahr,
- mehrere verschiedene Gebäudetypen derselben Art (z.B. direkter Gewinn, Trombe usw.)
- sowie die Erweiterung auf Gebäude (nicht nur Testkabinen) umfassen.

In der Schweiz wurde lediglich eine einfache Validierung an Testkabinen vorgenommen. Der *Vergleich von Modell zu Modell* wurde im Rahmen des internationalen Programmes der IEA Solar Task VIII durchgeführt.

Die im folgenden beschriebenen Resultate der parametrischen Sensitivitätsanalyse an verschiedenen passiv-solaren Systemen sind mit dem Rechenprogramm SERIRES erzielt worden.

## Referenzhaus und Klimadaten

Als Modellgebäude ist ein beidseitig angebautes Einfamilienhaus (IEA-Referenzhaus) benutzt worden. Das Referenzhaus ist den schweizerischen Verhältnissen angepasst und mit einem guten Wärmeschutz versehen worden ( $G\text{-Wert} = 0,4 \text{ W/m}^3$ ). Der Bruttoenergiebedarf für die Raumheizung pro m<sup>2</sup> Energiebezugsfläche beträgt je nach dem gewählten passiv-solaren System 250 bis 330 MJ/m<sup>2</sup>, der Nettoenergiebedarf noch 100–150 MJ/m<sup>2</sup> für eine Heizperiode im schweizerischen Mittelland. In Bild 1 sind die Gebäudedaten für drei verschiedene Systeme der passiven Sonnenenergienutzung dargestellt.

Bild 1. Gebäudedaten für die Modellierung von drei passiv-solaren Systemen

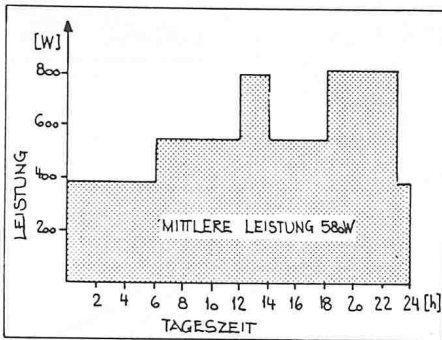


Bild 2. Tagesverlauf der internen Wärme

In gut wärmegeprägten Häusern kann der Anteil der internen Wärme einen bedeutenden Anteil des Bruttoenergiebedarfs für Raumheizung ausmachen. Für Sonnenenergiehäuser liegt er erfahrungsgemäss im Bereich von 20–50%. Der obere Wert gilt für zukunftsgerichtete massive Reihenhäuser mit geringem Wärmebedarf, wie z.B. das IEA-Referenzhaus. Für die Simulationen mit SERIRES sind die internen Wärmequellen in Form von Abwärme von Personen, Warmwasser, Beleuchtung, Kochen und übrige Geräte für einen 4-Personen-Haushalt ermittelt worden. Damit das Benutzerverhalten berücksichtigt werden kann, ist der in Bild 2 gegebene Tagesverlauf der internen Wärme eingesetzt worden.

Die Möglichkeiten der Simulation des Benutzerverhaltens mit SERIRES sind beschränkt. Die thermischen Komfortansprüche des Benutzers werden über die Heizung und über die aktive Lüftung (Öffnen von Fenstern) berücksichtigt. Im Normalfall wurde angenommen, dass die Heizung bei 20 °C einsetzt und der Benutzer die Fenster bei Temperaturen über 25 °C öffnet. Darüber hinaus sind diese beiden Schaltpunkte variiert worden (z.B. 18/27 °C).

Für die Simulationen mit SERIRES benötigt man stündliche Werte der Aussenlufttemperatur, der Globalstrahlung auf die Horizontalebene und der Direktstrahlung auf eine Ebene normal zur Sonne. Da ausschliesslich gemessene Daten verwendet werden sollen, kamen folgende Datenbanken in Frage:

UNI Genf:	Klimajahre	Genf
	1980/81	
EPP-Lausanne:	Klimadaten für Ecu-	
	blens	
SMA/EMPA:	Klimadaten für Basel,	
	Bern, La Chaux-de-	
	Fonds, Davos, Inter-	
	laken, Lugano, Luzern,	
	Visp und Zürich-Klo-	
	ten	

Die vier ausgewählten Stationen sind für folgende Klimaregionen repräsentativ:

- Kloten 1966: Mittelländisches Klima mit viel Herbstnebel
- Genf 1981: Mittelländisches Klima mit wenig Herbstnebel
- Davos 1979: Alpines Klima mit tiefen Aussenlufttemperaturen und viel Sonne im Winter
- Lugano 1980: Mediterranes Klima mit milden und sonnigen Wintern

Für die Simulation mit SERIRES sind neben den oben beschriebenen Klimadaten auch die Albedo und der saisonale Temperaturverlauf im Erdreich zu definieren. Die Albedo (Reflexionsvermögen des Bodens) ist monatsweise berücksichtigt und im Winter (Schnee!) wesentlich höher als während den übrigen Jahreszeiten. Der Verlauf der Bodentemperatur ist saisonal variiert worden und entspricht der Erdtemperatur in 1 bis 2 m Tiefe.

### Gebäude mit Direktgewinn

Unter einem Gebäude mit Direktgewinn versteht man ein solches mit grosszügig verglaste Südfassade, durch welche die Wintersonne direkt ins Gebäude einstrahlt und Wände und Boden erwärmt. Massgebend für eine günstige Energiebilanz sind vor allem eine massive Baukonstruktion und ein nächtlicher Wärmeschutz. Bei Gebäuden mit Direktgewinn muss jedoch eine gewisse Raumtemperaturschwankung in Kauf genommen werden.

Vor diesem Hintergrund ging es bei den parametrischen Sensitivitätsanalysen zuerst darum, die energierelevanten Grössen zu definieren und zu variieren. Es sind dies einerseits der Fensteranteil und die Verglasungsart, andererseits die Komfortbedingungen (vgl. Bild 1). Die Baukonstruktion wurde nur geringfügig variiert, da für den Direktgewinn von einer massiven Bauweise ausgegangen wird.

Wie eingangs dieses Artikels erwähnt, dienen die Resultate der parametrischen Sensitivitäts-Studien der Entwicklung von Planungshilfsmitteln. Da der Spielraum in konstruktiver Hinsicht beim Direktgewinn nur gering ist (im Gegensatz etwa zum Wintergarten), ging es vor allem darum, eine Quantifizierung des Einflusses der verschiedenen Parameter auf die Energiebilanz zu untersuchen. Dazu musste eine einfache Wärmebedarfsrechnung entwickelt werden, mit der verschiedenen Entwurfsvarianten vom energietechnischen Gesichtspunkt her beurteilt werden können. Die Wärmebedarfs-

rechnung erfolgt am einfachsten durch Aufstellen folgender Wärmebilanzgleichung:

$$(1) \quad Q_h = Q_v - \eta Q_f$$

$Q_v$ : Bruttoenergiebedarf-Heizung (Verluste infolge Transmission und Lüftung)

$Q_f$ : Freie Wärme (Gewinne infolge Sonnenstrahlung, Personen, Beleuchtung, Apparaten)

$Q_h$ : Heizenergiebedarf (Nettoenergiebedarf für Raumheizung)

$\eta$ : Ausnutzungsfaktor der Freien Wärme (Anteil, der nicht zur Übererwärmung führt)

In dieser vereinfachten Form wird die Wärmebilanzgleichung z.B. in der SIA-Empfehlung 380/1 «Energie im Hochbau» verwendet. Dort wird der Heizenergiebedarf für die ganze Heizperiode ermittelt. Bei passiven Sonnenhäusern ist der Beitrag der freien Wärme wesentlich höher als bei einem gewöhnlichen, gut isolierten Haus. Dies trifft insbesondere für die Übergangsmonate zu. Die Wärmebilanzgleichung [1] ist deshalb auf monatlicher Basis aufzustellen und weiter zu verfeinern, indem die Gewinne durch Sonnenstrahlung und interne Wärmequellen separat betrachtet werden. Sie lautet somit:

$$(2) \quad Q_h = Q_v - \eta_i Q_i - \eta_s Q_s$$

$Q_i$  Wärmegewinne durch interne Wärmequellen

$Q_s$  Wärmegewinne durch Sonnenstrahlung

$\eta_i, \eta_s$  Monatliche Ausnutzungsfaktoren für interne Wärme bzw. Sonnenwärme.

Damit wurde eine Berechnungsmethode gefunden, bei der Gewinne und Verluste einfach ermittelt werden können. Die monatlichen Ausnutzungsfaktoren für verschiedene Kombinationen der zu variierenden Parameter wurden mit dem dynamischen Simulationsprogramm ermittelt. Die Ausnutzungsfaktoren für interne Wärme und Sonnenwärme sind vom Verhältnis der Gesamtgewinne zu den Verlusten im Gebäude, vom dynamischen Verhalten an der Wärmespeicherung beteiligten Gebäudemasse sowie von den thermischen Komfortansprüchen der Benutzer abhängig. Für die weitere Diskussion war es deshalb notwendig, einen weiteren Parameter, das Gewinn/Last-Verhältnis, einzuführen. Es ist das Verhältnis der Sonnenenergiegewinne durch transparente Bauteile (z.B. Direktgewinnfenster) zum Bruttoenergiebedarf-Heizung abzüglich der für die Heizung nutzbaren internen Wärmegewinne, d.h.

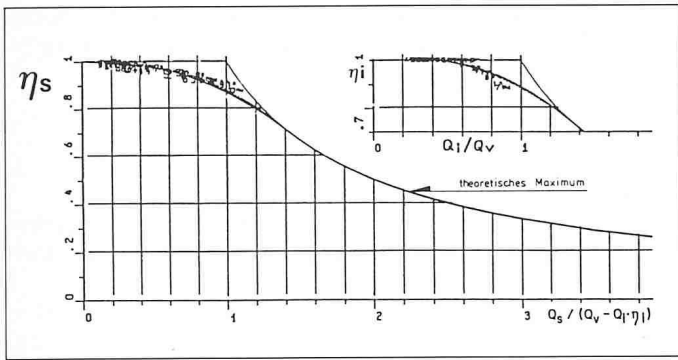
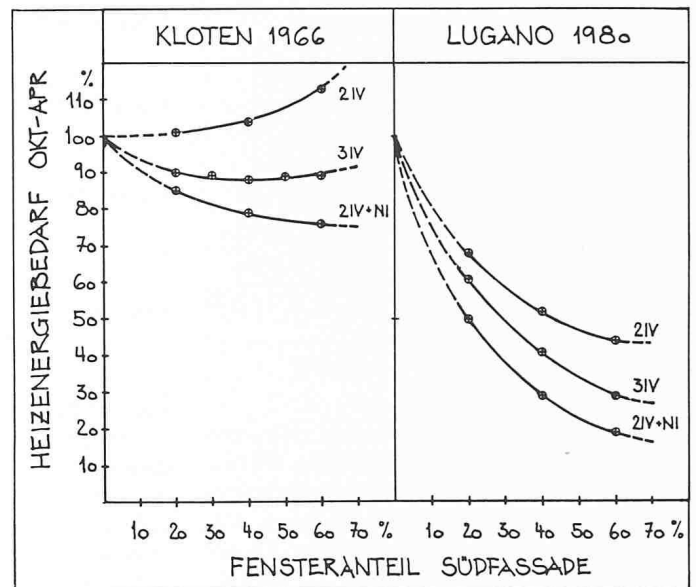


Bild 3. Monatliche Ausnutzungswerte für Solarstrahlung und interne Wärme für Kloten ( $T_i = 20/25^\circ\text{C}$ , Massivbauweise  $1,0\text{ MJ/m}^2\text{ EBF}$  und 9 Gebäudevariationen)

Bild 4. Veränderung des Heizenergiebedarfs während der gesamten Heizperiode in Abhängigkeit des Fensteranteils und der Verglasungsart für Kloten und Lugano



Gewinn/Last-Verhältnis (GLV) =

$$(3) \text{ Gewinn/Last-Verhältnis (GLV)} = \frac{Q_s}{Q_v - \eta_i Q_i}$$

Bild 3 zeigt monatliche Ausnutzungsfaktoren für Sonnenstrahlung und interne Wärme in Abhängigkeit des Gewinn/Last-Verhältnisses bzw. des Verhältnisses von interner Wärme zu Bruttoenergiebedarf für Kloten. Das Bild enthält Monatswerte für neun verschiedene Parametervariationen (Verglasungsarten: 2-IV, 2-IV+NI, 3 IV; je mit Südverglasungsanteil von 20%, 40% und 60%).

Die Werte für Oktober und April streuen wegen des sehr geringen Wärmebedarfs in diesen Übergangsmonaten sehr stark und sind in Bild 3 weggelassen worden. Dies ist weiter nicht von Bedeutung, da die Übergangsmonate ohnehin wenig zum Jahresenergiebedarf beitragen. Die wichtigste Erkenntnis war, dass alle Monatswerte des Ausnutzungsfaktors auf dieselbe Kurve fallen, unabhängig von Verglasungsart bzw. Südfensteranteil. Da auch die Monatswerte für andere Komfortbedingungen, z.B.  $18/27^\circ\text{C}$ , auf dieselbe Kurve fallen, kommt man mit einem einzigen Datensatz aus. Zwei Einschränkungen müssen allerdings gemacht werden: Die monatlichen Ausnutzungsfaktoren in Bild 3 wurden für ein massives Gebäude ermittelt (für Leichtbauweise liegen die Werte für  $\eta_s$  ungefähr um 0,1 tiefer) und gelten für ein ideal regelndes Heizungssystem. Für ein träges Heizsystem sind die Ausnutzungsfaktoren bei einem hohen Anteil freier Wärme deutlich tiefer.

Die Berücksichtigung verschiedener Klimata führt zu keinem wesentlich an-

deren Verlauf der Ausnutzungsfunktion. Für ein alpines Klima (Davos) verschieben sich die einzelnen Monatswerte auf der Kurve von Bild 3 nach links ( $\text{GLV} \leq 0,9$ ), für ein mediterranes Klima (Lugano) reichen die Monatswerte bis zu einem GLV-Wert von 1,6 (viel Sonne, weniger Heizgradtage).

Die Zusammenhänge zwischen Fensteranteil bzw. Verglasungsart und Heizenergiebedarf sind in Bild 4 für Kloten und Lugano dargestellt. Im Klima Kloten ist die Bilanz von 2fach verglasten Südfenstern ohne Nachtisolation negativ, so dass mit wachsendem Fensteranteil der Heizenergiebedarf zunimmt. Bei 3fach-Verglasungen und 2fach-Verglasungen mit Nachtisolation nimmt der Heizenergiebedarf vorerst ab. Für einen Fensteranteil ab rund 40% bzw. 60% macht sich die Überwärmung bemerkbar, und der Heizenergiebedarf steigt wieder an. Im Klima von Lugano nimmt der Heizenergiebedarf für alle Verglasungsarten ab. Die Resultate für Genf und Davos sind hier nicht dargestellt, jedoch kann gesagt werden, dass für Genf ähnliche Resultate wie für Kloten erzielt werden und die Resultate für Davos zwischen denjenigen für Kloten und Lugano liegen.

Es ist auch der Einfluss der Komfortansprüche des Benutzers auf den Heizenergiebedarf untersucht worden. Für einen Fensteranteil von 40% und 3fach-Verglasung zeigte sich für alle Klimata, dass der Übergang von  $20/25^\circ\text{C}$  (Schaltpunkte für Heizen und aktives Lüften) zu  $18/27^\circ\text{C}$  zu einer Reduktion des Heizenergiebedarfs um etwa ein Drittel bis die Hälfte führt. Die Sonne vermag je nach Verglasungsart, Fensteranteil an der Südfassade und Klima (Kloten, Genf, Davos, Lugano) zwischen 30% und 90% des Restwärmebedarfs (Bruttoenergiebedarf abzüglich

der ausnutzbaren internen Wärme) zu liefern. Der Höchstwert gilt für Lugano mit 2-IV und Nachtisolation.

### Gebäude mit Wintergarten

Im Gegensatz zum Direktgewinn stehen beim Gebäude mit Wintergarten Fragen der Ausgestaltung und Baukonstruktion im Vordergrund. Der im folgenden untersuchte Wintergarten ist von der Typologie her ein rein passiv genutzter, angebauter Wintergarten. Ein angebauter Wintergarten besitzt im Verhältnis zur Oberfläche der Zwischenwand eine grosse Glasfläche gegen aussen. Ziel dieser Studie ist es, den Einfluss von Ausgestaltung und Baukonstruktion (Grösse und Geometrie des Wintergarten, wärmetechnische Qualität der Verglasung, sommerlicher Wärmeschutz) auf den Heizenergiebedarf im Haus und auf den Komfort im Wintergarten zu untersuchen. Der unbekannte Faktor ist das Verhalten des Benutzers, welches nur schlecht vorausgesagt werden kann. Das unkontrollierte Öffnen der Verbindungstür in den Wintergarten z.B. führt meist zu einer negativen Wärmebilanz (vgl. die Untersuchungen von A. Eggenberger in diesem Heft).

Für die parametrischen Studien ist dasselbe Referenzhaus wie für den Direktgewinn verwendet worden. Einzig die Südfassade ist zur Anpassung an den angebauten Wintergarten umgestaltet worden. Der Wintergarten selbst ist  $2,85\text{ m}$  tief und weist in der Grundvariante eine Breite von  $4,8\text{ m}$  auf. Eine erste sinnvolle Variation ist sicher die Reduktion des Wintergartens auf die Hälfte der Fassadenbreite, da für das aktive Lüften des Hauses ins Freie führende Fenster benötigt werden. Eine

andere Frage, die immer wieder auftritt, ist die des Einflusses des Wärmeschutzes der Zwischenwand (Art und Grösse der Verglasung, Wärmedämmung innen oder aussen usw.) auf den Heizenergiebedarf. In Bild 1 sind die variierten Parameter zusammengefasst.

Anhand der für das Referenzhaus durchgeführten Simulationen liess sich der Einfluss der variierten Parameter auf den Heizenergiebedarf im Haus und auf den Komfort im Wintergarten ermitteln. In Bild 5 sind die Heizenergie, die interne Wärme sowie der Anteil Sonnenenergie, die interne Wärme sowie der Anteil Sonnenenergie, welche zusammen den Bruttoenergiebedarf Heizung im Referenzhaus im Klima Kloten decken, für die verschiedenen Varianten 1 bis 18 aufgetragen.

Zwecks Vergleich mit dem Direktgewinnhaus aus dem vorangehenden Abschnitt sind auch die zwei Direktgewinn-Varianten mit 40% Fensteranteil eingetragen, wobei Variante A eine 2fach-Verglasung ohne Nachtisolation und Variante B eine 3fach-Verglasung aufweist. In bezug auf den Heizenergiebedarf lassen sich folgende Aussagen machen: Vergleicht man die Variante B des Direktgewinns mit der Grundvariante des Gebäudes mit Wintergarten (Variante 1 mit 40% Glasanteil an Zwischenwand), so fällt vor allem die Pufferwirkung des Wintergarten auf. Es resultiert eine Reduktion des Bruttowärmebedarfs für Raumheizung um etwa 20%. Demgegenüber beträgt die Reduktion des Heizenergiebedarfs jedoch höchstens 5-10%. Dies trifft für die meisten Varianten zu, ausgenommen für jene mit Einfachverglasung und Eckhaus. Bei Variante 17 mit halb so grossem Wintergarten wurde für die Süd Fenster eine 2fach-Verglasung ohne Nachtisolation angenommen, was das schlechte Resultat erklärt. Der Anteil der ausnutzbaren Sonnenenergie ist für alle Varianten kleiner als im Gebäude mit Direktgewinn und beträgt im Klima Kloten je nach Variante 100-200 MJ/m<sup>2</sup> Zwischenwand.

Bis dahin war lediglich vom Wärmehaushalt eines Gebäudes mit Wintergarten die Rede. Der Wintergarten will aber in der Regel nicht nur als Pufferraum und Sonnenenergie-Gewinnungs-Element angesehen werden, sondern vor allem als bewohnbarer Raum. Im folgenden soll deshalb dargestellt werden, welches der thermische Komfort im Wintergarten ist und wie häufig er benutzt werden kann. Diese Ergebnisse sind ebenfalls mit dem Computerprogramm errechnet worden. In Bild 6 ist der Einfluss des Klimas (Sonnenstrahlung, Aussenluft-Temperatur) auf die Temperatur im Wintergarten in den Monaten Januar und März für die

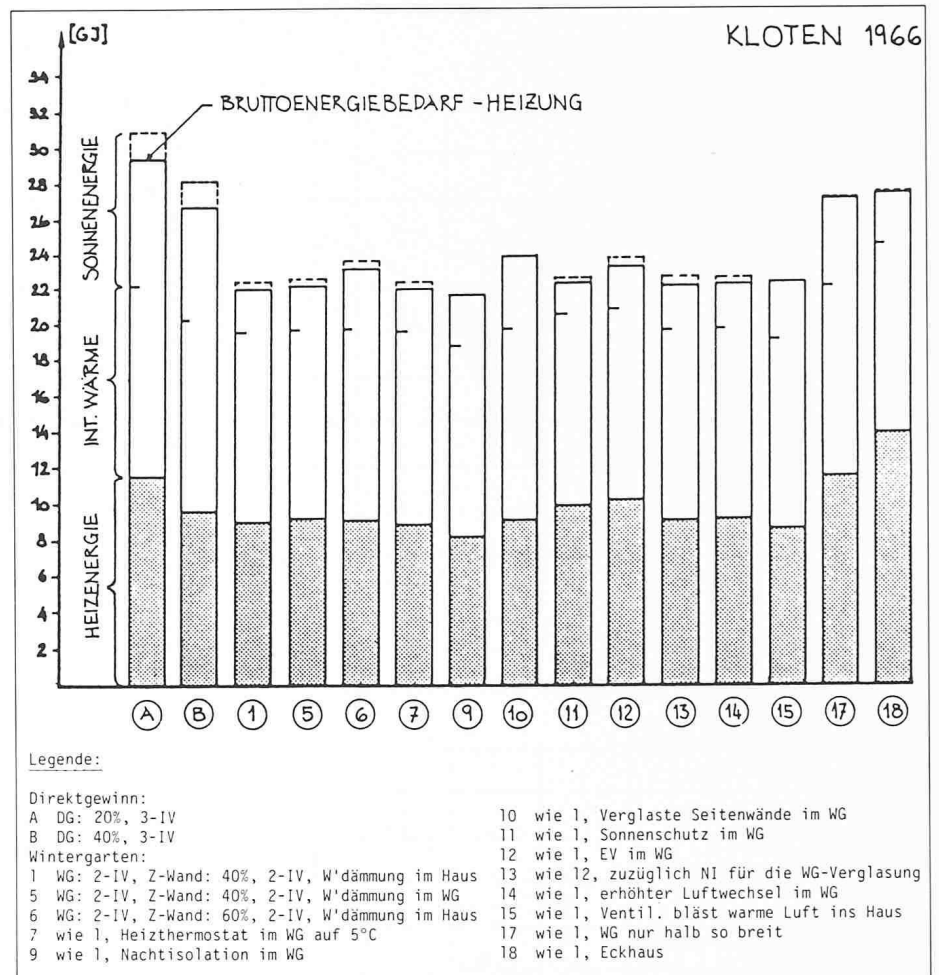


Bild 5. Heizenergie, interne Wärme und Anteil Sonnenenergie für verschiedene Varianten des Gebäudes mit Wintergarten im Klima von Kloten

Grundvariante (Zweifachverglasung im Wintergarten) dargestellt.

Es wurde dabei zwecks Vergleich von gemessenen und berechneten Werten dieselbe Regressionsberechnung verwendet, wie sie im Artikel von A. Eggenberger in diesem Heft dargestellt wird. Ein verhältnismässig grosser Abstand der Regressionsgeraden drückt aus, dass die Auswirkung der Sonnenenergie gross ist, was auf den hohen Verglasungsanteil zurückzuführen ist. Desgleichen gibt die Steilheit der Geraden ein Mass für den Einfluss der Aussen-Temperatur. Aus Bild 6 ist klar ersichtlich, dass auch bei einer Zweifachverglasung im Januar eine grosse Anzahl Stunden mit Temperaturen unterhalb 5°C auftreten und deshalb lokale Frostgefahr für Pflanzen besteht (die angegebenen Temperaturen sind lediglich ein Mittelwert über den ganzen Wintergarten). Zur Abschätzung der Nutzungszeit sind in Bild 6 für die Monate Januar und März die Temperaturen im Wintergarten zur Tageszeit – aufgeteilt in Vormittag und Nachmittag – auch gesondert dargestellt. Es darf angenommen werden, dass für Wintergarten-Temperaturen im Bereich 14 bis 26°C der Wintergarten bei angepasster Bekleidung benutzt werden kann. Un-

ter diesen Bedingungen kann der zweifach verglaste Wintergarten im Januar während etwa 80 Stunden, im März während etwa 210 Stunden benutzt werden.

Für einen Wintergarten mit höherem Verglasungsanteil (auch Ost- und Westseite zweifach verglast) oder mit Einfachverglasung nimmt die Nutzungszeit im Januar auf etwa die Hälfte ab, im März bleibt sie hingegen etwa gleich. Zur Illustration dieser Verhältnisse sind in Bild 7 die Häufigkeiten der Temperaturdifferenz Wintergarten/Haus in Stunden pro Monat dargestellt. Daraus wird deutlich, dass die Nutzungszeit im Januar bei den angenommenen Komfortbedingungen von 14 bis 26°C bescheiden ist. Im März wird diese zwar deutlich höher, doch steigen die Temperaturen rasch über 26°C.

Aus dem Vergleich des Heizenergiebedarfs und des thermischen Komforts für die verschiedenen Varianten mit Wintergarten lassen sich einige Regeln für die Ausgestaltung und Konstruktion eines Wintergartens ableiten, die sich nicht nur auf den hier untersuchten Typ beschränken:

– Im Klima des schweizerischen Mittelandes sollte unbedingt darauf ge-

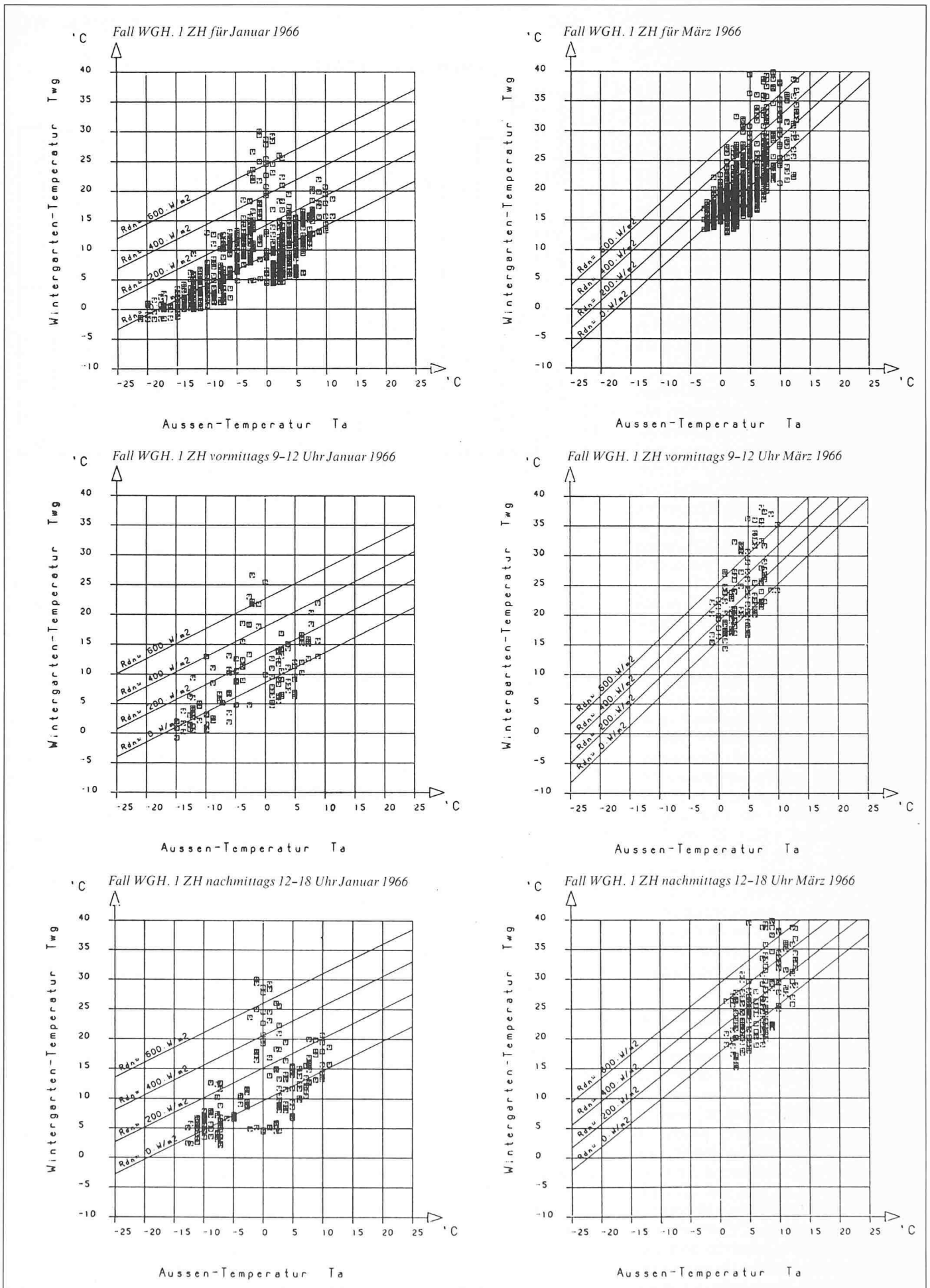


Bild 6. Abhängigkeit der Wintergartentemperatur von der Sonnenstrahlung und Aussenluft in Januar und März für die Grundvariante mit zweifach verglastem Wintergarten im Klima Kloten

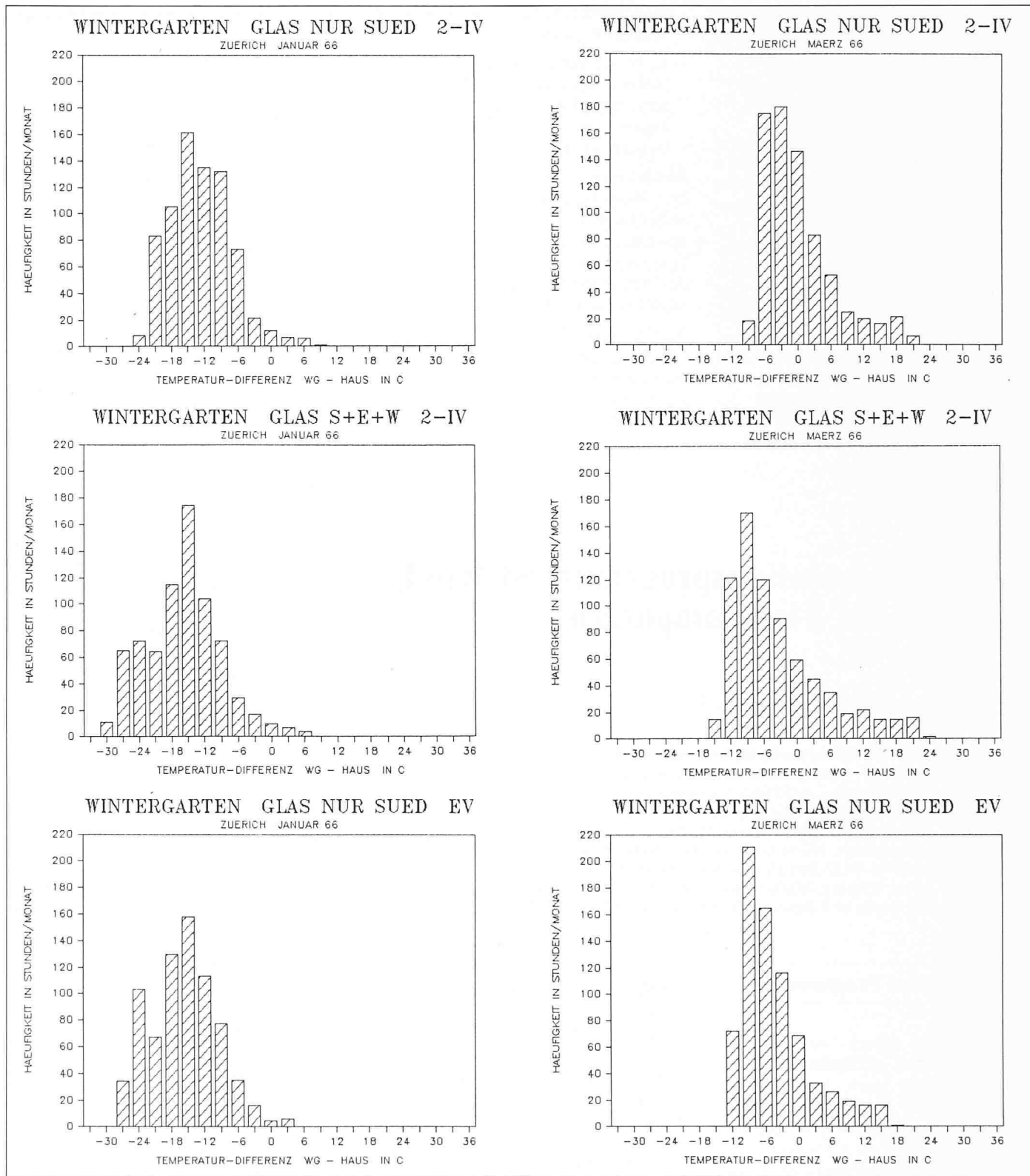


Bild 7. Häufigkeitsverteilung der Temperaturdifferenzen Wintergarten/Haus im Januar und März für drei Varianten. Klima von Kloten, alle Stundenwerte pro Monat aufgetragen

achtet werden, dass die wärmetechnische Qualität der Wintergartenkonstruktion (Verglasung und Rahmen) gut ist. In bezug auf den Heizenergiebedarf im Haus und die Anzahl Froststunden im Wintergarten ist eine zweifach verglaste Wintergartenkonstruktion einer einfach verglasten eindeutig vorzuziehen, obwohl in dieser Studie die interessante Feststellung gemacht wurde, dass die Nutzungszeit für die verschiedenen

Varianten nicht sehr verschieden ist. Die Wahl einer Zweifachverglasung löst gleichzeitig die für Einfachverglasung typischen Oberflächenkondensationsprobleme.

- Weist ein nach Süden orientierter, angebauter Wintergarten auch an der Ost- und Westseite einen hohen Verglasungsanteil auf, so ist der Einfluss des Aussenklimas gegenüber dem nur nach Süden verglasten Wintergarten verstärkt. Aus energetischen

Gründen sollte darauf geachtet werden, dass der Verglasungsanteil an der Ost- und Westseite nicht allzu gross ist.

- Ein guter Wärmeschutz der Zwischenwand ist Voraussetzung für eine optimale Nutzung der Pufferwirkung des Wintergartens, unabhängig davon, wie dieser verglast ist. Für den Heizenergiebedarf des Hauses spielt es keine Rolle, ob die opaken Bauteile der Zwischenwand win-



tergartenseitig oder hausseitig gedämmt werden. Bei einer Dämmung auf der Wintergartenseite treten in diesem grössere Temperaturschwankungen auf, und die Frostgefahr erhöht sich.

- Die Verglasung der Zwischenwand soll zweifach sein, und es empfiehlt sich, einen Verglasungsanteil von 40 bis 60% zu wählen. Der Sonnendurchtritt, ausgedrückt als das Verhältnis «Sonnenenergie hinter Verglasung Zwischenwand» zu «Sonnenenergie im Wintergarten» liegt dabei im Bereich von 10 bis 35%. Dieses ist abhängig von der Jahreszeit, von der Beschattung und vom Verglasungsanteil des Wintergartens.
- Die Gestaltung der Südfassade des Hauses und des Wintergartens soll

eine Fensterlüftung des Hauses direkt ins Freie ermöglichen.

- Es ist unbedingt für einen leistungsfähigen sommerlichen Wärmeschutz zu sorgen. Die Erfahrung zeigt, dass dieser auch in der Übergangszeit oft benutzt wird.

Abschliessend soll daran erinnert werden, dass die zusätzliche Heizenergieeinsparung von rund 10%, verglichen mit einem gleichwertigen Gebäude mit Direktgewinn, bei falscher Benutzung des Wintergartens entfällt, ja sogar eine negative Energiebilanz auftreten kann.

Aus Platzgründen muss hier auf die Behandlung des Gebäudes mit Wärmespeicherwand («Trombe-Wand») verzichtet werden. Dieses Konzept der passiven Sonnenenergienutzung bringt bei

unserer Bauweise wenig Gestaltungsfreiheit und ist in unseren Breitengraden daher wenig vertreten.

#### Literaturverzeichnis

- [1] Grolimund R., Parameterstudie: Massives Reihenhaus mit direktem Sonnenenergiegewinn, HTL Brugg-Windisch, Juli 1985
- [2] Filleux Ch. / Riniker W., Energie und Komfort in Gebäuden mit Wintergärten, Basler & Hofmann, Februar 1986
- [3] Filleux Ch. / Grolimund R., Parameterstudien: Wärmespeicherwände und konvektive Systeme, in Vorbereitung (1986)

Adresse des Verfassers: Dr. phil. Ch. Filleux, Physiker, c/o Basler & Hofmann, Ingenieure und Planer AG, Forchstrasse 395, 8029 Zürich.

## Gebäudesimulationsprogramm SERIRES nun auch auf Tischcomputern

Von Reto Grolimund, Dübendorf

«SERIRES neuerdings auf Tischcomputern». Diese Schlagzeile wird zum Anlass genommen, um das Programm, das vorher nur auf Grosscomputern vorwiegend zu Forschungszwecken verwendet wurde, vorzustellen. SERIRES eignet sich zur Berechnung von passivsolaren Häusern mit direktem Solargewinn, Wintergarten und Wärmespeicherwänden. Das in den USA in Fortran 77 geschriebene Programm ist seit 1981 in der Schweiz auf den Grosscomputern Prime und VAX installiert. SUNCODE-PC, eine Version dieses Programms, ist nun für Tischcomputer mit MS-DOS-Betriebssystem erhältlich. Folgende Hardware wird mindestens benötigt: 256 kByte Memory, Mathematikprozessor, 2 Floppy-Disk und Drucker. Die hier vorgestellte Arbeit wurde im Rahmen der IEA Solar-Task VIII Subtask C durchgeführt.

### Fähigkeiten des Programms

Das Programm besteht aus den zwei Programm-Teilen «Eingabe» und «Berechnung»: Mit dem 1. Programm «EDIT» können die zur Beschreibung des Gebäudemodells notwendigen Eingaben komfortabel erstellt werden. Folgende Eingaben sind gewöhnlich vorhanden: Zonen, Fenster, Wände, Aussenoberflächen, Heizung-Lüftung-Kühlung, Wandtypen, Wandschichten, Verglasungstypen, Horizontverlauf, Wetterstation und Ausgabewahl. Weitere Eingaben können sein: Zonenverknüpfung (z.B. für Wintergarten oder Luftwechsel zwischen Zonen), Trombewände, Ventilatoren, Geröllspeicher, Latentspeicherschichten, Schattenblenden horizontal/vertikal, Zeitschaltuhr.

Das 2. Programm «LOADS» rechnet stündlich für jede Zone die Wärme-flussbilanz und Temperatur. Zur Simu-

lation des thermischen Verhaltens wird ein Netzwerkmodell verwendet. Es sind bis zu 10 Zonen vorgesehen. Als Input werden stündliche Werte von Aussenlufttemperatur, Globalstrahlung horizontal und Direktstrahlung in Sonnenrichtung benötigt. Ein Jahressatz braucht 86 kByte; es haben somit 4 Klimasätze auf einer Floppy-Diskette von 360 kByte Platz.

«LOADS» berücksichtigt Globalstrahlung auf Aussenflächen und durch Fenster sowie interne Wärme von Personen, Beleuchtung usw. als Gewinne. Aussenluftwechsel, Wärmefluss durch Wände und Boden werden als Verluste gerechnet. Die Speicherfähigkeit von Wänden und allenfalls spezieller Speicher gehen ebenso in die Rechnung ein.

Die Ausgabe des LOADS-Programms ist in 27 verschiedenen Datenlisten sehr detailliert. Jede Liste kann für Stunden-, Tages- und/oder Monatswerte für die ganze Berechnung oder auch nur

einen Ausschnitt davon verlangt werden. Ein- und Ausgaben sind in SI-Einheiten: Temperaturen in Grad Celsius, Energien in kJ, MJ und GJ. Tabellenüberschriften und Programm-Dialog sind in englischer Sprache.

### Erfahrungen

Vergleiche mit Messungen an Testkabinen mit direktem Sonnenenergiegewinn (Maugwil), einer Trombewand (Ecublens) und einem Wintergarten (Trevano) zeigten eine gute Übereinstimmung von Zonentemperaturen und Heizleistungen. In der Schweiz wurde das Programm zur Erforschung der Sonnenenergienutzungssysteme wie Direktgewinn, Trombewand und Wintergarten für ein Reihenhaus eingesetzt. Es wurden auch schon Probleme des sommerlichen Wärmeschutzes von Büros untersucht.

### Vergleich mit SERIRES auf Grossrechnern

Bei der Installation auf dem Tischcomputer musste nur ein kleiner Fehler in der Einleseroutine der Wetterdaten behoben werden. Überprüft wurde das Programm durch den Vergleich von Resultaten, erzeugt mit gleichen Eingaben für die beiden Programme SERIRES und SUNCODE-PC.

Zur Prüfung dienten zwei Testbeispiele: 1. Ein kompliziertes Gebäude bestehend aus zwei Zonen mit Trombewand, Geröllspeicher und Ventilator.