

Zeitschrift: Schweizer Ingenieur und Architekt
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 103 (1985)
Heft: 44

Artikel: Messungen an Sonnenhäusern
Autor: Schäfer, Ueli
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-75920>

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: 14.01.2026

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

Messungen an Sonnenhäusern

Von Ueli Schäfer, Binz

Die Initiative zu diesen Messungen kam vom Architekten. Nach mehrjähriger Praxis bestand der Wunsch, Erreichtes zu überprüfen, es mit den Erwartungen bei der Projektierung zu vergleichen, die gemachten Erfahrungen zu konsolidieren und wenn möglich zu verallgemeinern. Unter der Leitung des Instituts für Hochbautechnik der ETH Zürich, Prof. **Hans H. Hauri**, wurde dem Nationalen Energie-Forschungs-Fonds NEFF ein Gesuch eingereicht, das 1981 bewilligt wurde. Die Messungen dauerten über zwei Heizperioden von 1981–83. Der Schlussbericht erschien 1985 unter dem Titel «Messungen an Sonnenhäusern» im Verlag der Fachvereine, Zürich. Er enthält neben einer ausführlichen Darstellung der Ergebnisse vier Anhänge mit detaillierten Messprotokollen.

Die vier gemessenen Häuser gehören zum Typ der passiven bzw. hybriden Sonnenenergie-Nutzung, bei der dem Baukörper selbst die Hauptaufgabe bei der Energiegewinnung und -speicherung zukommt. Alle vier Häuser nutzen den «direkten Gewinn» durch die Südfenster, der in massiven, raumumschliessenden Flächen gespeichert wird. Bei dreien kommt «konvektiver Gewinn» hinzu, in Kollektoren aufgeheizte Luft, die zusätzliche Massenspeicher erwärmt. Besonderes Interesse galt einigen unkonventionellen Elementen, die hier erstmalig oder in besonderer Form angewandt worden waren, so den faltbaren, inneren Isolierläden, den Luftführungen mit Schwerkraft-, Solarzellen- und Netzstrom-Antrieb und den allseitig isolierten Massenspeichern, die die Wärme dennoch passiv, ohne gesteuerte Entnahme, abgeben. Wichtig schien zudem auch, die beweglichen Elemente wie die Isolierläden, die Store im Fensterkollektor und die von der Sonnenenergie-Anlage unabhängigen Holz-Zusatzheizungen im normalen täglichen Betrieb, gehandhabt durch die Bewohner selbst, zu erfassen.

Messanlage

Um allzu grosse Datenmengen zu vermeiden und die automatische Datenerfassungsanlage mehrfach ausnützen zu können, wurde das Messprojekt aufgeteilt. Das einfachere Grobmessprogramm, bei dem über zwei Heizperioden jeden Morgen zwischen 7 und 8.30 Uhr 10 Massen- und 4–7 Minima-Maxima-Raum- und Aussenlufttemperaturen abgelesen und zusammen mit dem Holz-, Strom- und Warmwasserverbrauch des vergangenen Tages in Tabellen eingetragen wurden, konnte sofort nach der Auftragserteilung installiert und in Betrieb genommen werden. Das Feinmessprogramm, ein HP 3497 Data Acquisition/Control Unit, der 60–70 Messwertgeber alle 50 s ablas und als

Mittelwert viertelstündlich registrierte, wurde nach einer Vorbereitungszeit von einem Jahr in den Perioden Januar bis März 1983 und 1984 während je 4–6 Wochen durchgeführt. Es diente der Überprüfung der Messwerte des Grobmessprogramms, der Ermittlung von Kennzahlen für die einzelnen Systembestandteile und der Darstellung von Wärmeströmen und Wärmebilanzen.

Der Verfasser möchte es hier nicht unterlassen, den Hausbewohnern für ihre Geduld bei der Installation der Messan-

lagen und den über zwei Heizperioden dauernden Handablesungen noch einmal herzlich zu danken.

Messobjekte

Die Projekte der vier Häuser entstanden in den Jahren 1976–80; ausgeführt wurden sie 1978–81. In energietechnischer Hinsicht bestanden folgende Grundgedanken:

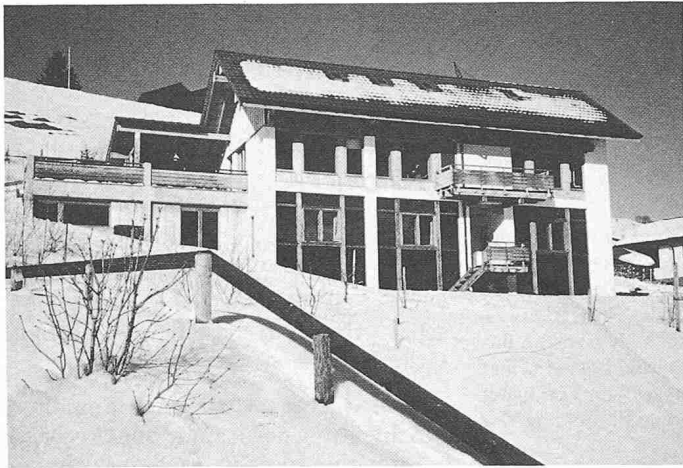
- konsequente Südorientierung und Schichtung der Räume entsprechend ihren thermischen Anforderungen
- Ausnützung des direkten Wärmegewins durch Südfenster im 24-h-Zyklus in Schönwetterperioden
- Speicherung von konvektiv gewonnener Wärme in grösseren, besser geschützten Speichern für Schlechtwetterperioden
- Holzzusatzheizungen, gefeuert aus den Wohnräumen und ohne Zwischenspeicherung, mit einem bilanzierten Restenergiebedarf von 6–7 Ster Buchenholz

Tabelle 1. Die wichtigsten Gebäudedaten

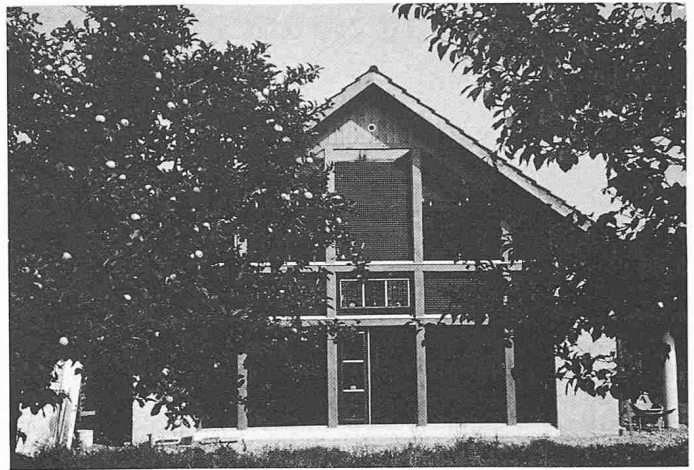
		Gonten	Oberglatt	Rothenfluh	Binz
Projekt		1977–78	1980–81	1978–79	1976–77
Bau		1978–79	1981–82	1979–80	1978–79
SIA	m ³	1295	784	850	950
Preis	Fr./m ³	364.–	380.–	350.–	280.–
davon: Anteil SE-Anlage	Fr./m ³	40.–	45.–	30.–	8.–
beheizte Fläche (netto)	m ²	190	140	140	180
beheiztes Volumen	m ³	530	380	430	480
Bewohner		5	3	2	4
konvektiver Gewinn					
koll. Fläche, netto	m ²	37,1	19,3	45	
Speicherinhalt	kWh/°C	29	10,7	13	
direkter Gewinn					
Südfenster, netto	m ²	14,3	10,3	7	18,7
Ost/Westfenster	m ²	10	5	14	18,8
Primärspeichermasse	kWh/°C	7	8,6	10,1	10
Sekundärspeichermasse	kWh/°C	10,5	6,5	4	7

Tabelle 2. Heizperiode (p) 1982–1983

		Gonten	Oberglatt	Rothenfluh	Binz
Wohnfläche	m ²	220	160	152	195
E-Heizung	MJ/m ² a	154	210	235	230
E-Jahr	MJ/m ² a	264	343	337	370
Höhe ü.M.	m	900	430	500	670
HGT (eff. RT/AT)	°Cd	3688	2868	2917	2268
Mittl. Temp. Wohnr.	°C	19,3	19	19,2	16,4
Mittl. Temp. allg.	°C	18,9	18,3	18,6	15,6
Wärmeleistungsbedarf					
AT-abhängig	kWh/°Cdm ²	0,028	0,027	0,030	0,046
Tot. (gem. Bilanz)	kWh/°Cdm ²	0,032	0,029	0,033	0,051
Wärmebedarf	kWh/p	25614	13201	14422	22687
Holzheizung	kg/p	2195	2167	2305	2894
Feuerungswirkungsgrad		0,8	0,55	0,6	0,7
Heizenergie (net.)	kWh/p	7549	5125	5947	8710
Innere Wärmequelle	kWh/p	4230	2545	2430	5604
Sonnenenergie	kWh/p	13835	5529	6045	8373
Sonnenenergie-Anteil	%	54	42	42	37
Heizenergie-Einsp.	%	65	52	50	49



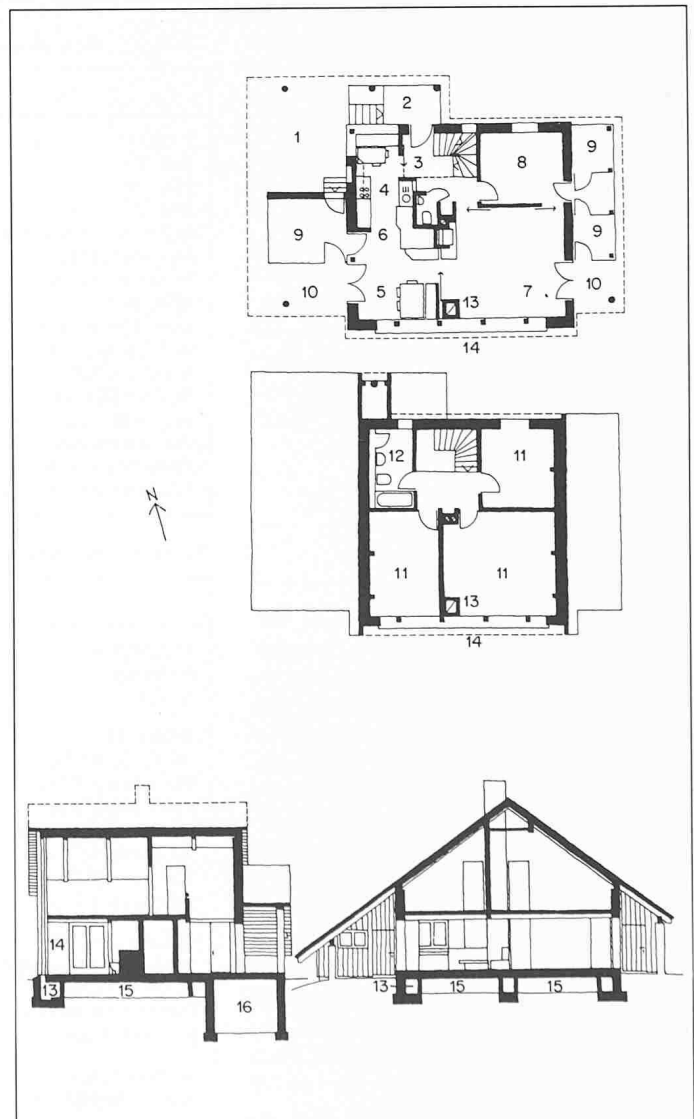
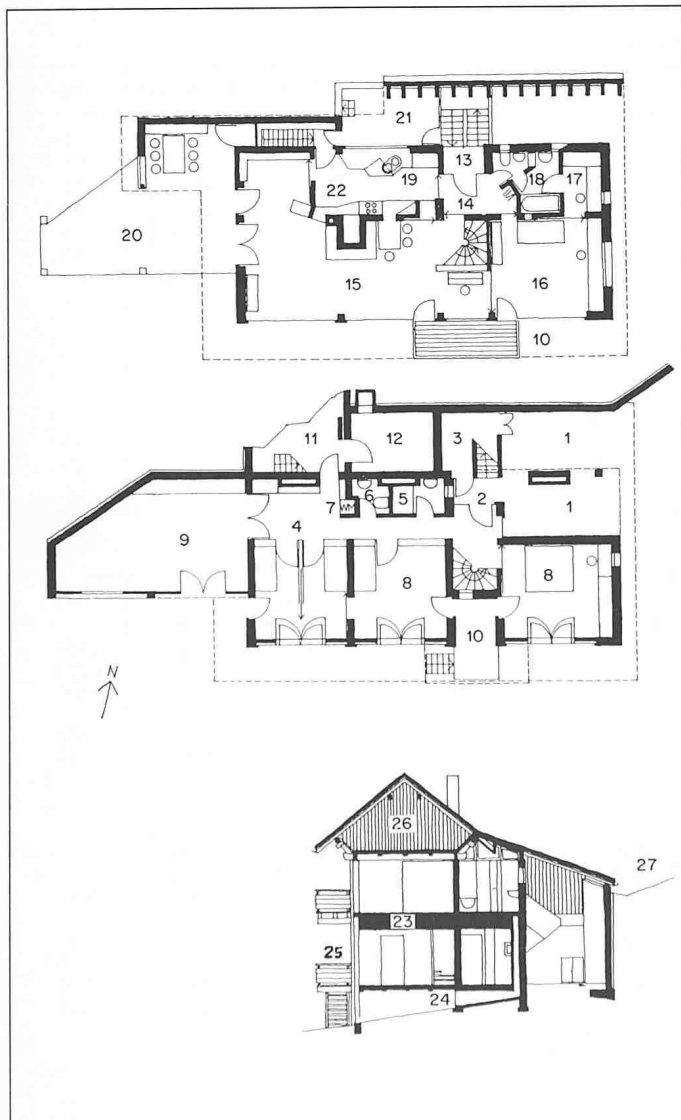
Haus Dr. H. Gmür, Gonten. Passives Sonnenwärmesystem mit Luftkollektoren und wärmespeichernder Betondecke im Schwerkraft-Kreislauf, Boiler-Vorwärmeregister, Zentralheizung vom Kachelofen im Wohnbereich; Statik: J. Hersche, Appenzell; lufitechnische Berechnungen: Dr. R. Kriesi, Benglen

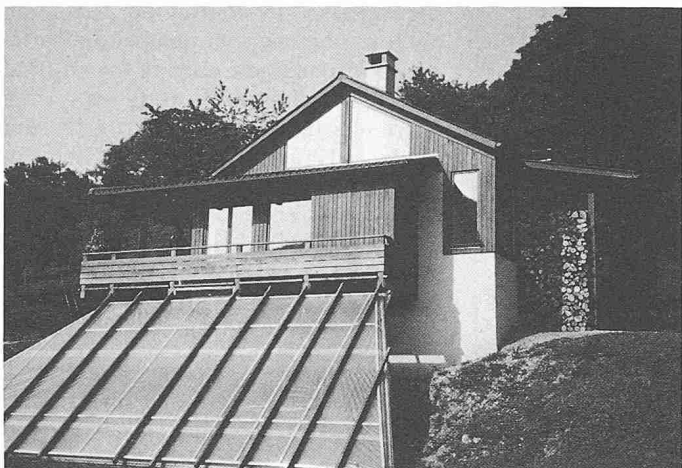


Haus M. Wieland, Oberglatt. Sonnenwärmesystem mit dunkler Lamellenstore im Luftraum von zwei Zweifachverglasungen bzw. Lamellen-Luftkollektor hinter Zweifachverglasung, sonnenzellengetriebenem Ventilator und Geröllwärmespeicher, Kachelofen, Warmwasserbereitung und Trocknung des Luftsystems mit Wärmepumpen-Boiler; Statik: Dr. W. Bosshard, Dübendorf

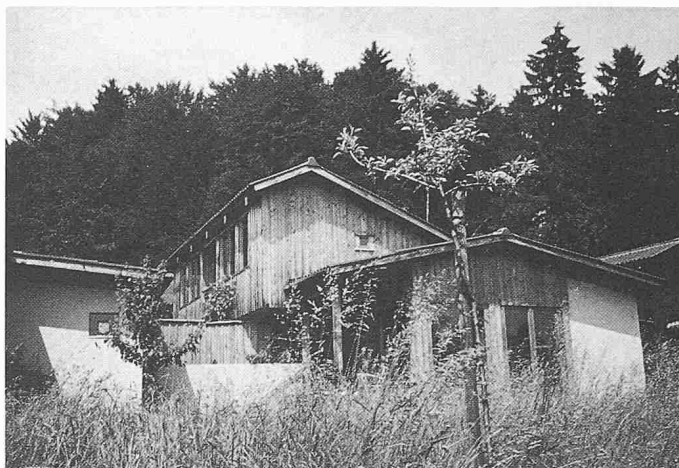
1 Gedeckter Abstellplatz, 2 Unterer Eingang, 3 Abstellraum, 4 Gang, 5 Dusche, 6 WC, 7 Waschplatz, 8 Schlafzimmer, 9 Freizeitraum, 10 Balkon, 11 Keller, 12 Schutzraum, 13 Oberer Eingang, 14 Halle, 15 Wohnraum, 16 Studio, 17 Kleider, 18 Bad, 19 Küche, 20 Terrasse, 21 Brennholz, 22 Kachelofen, 23 Speichende Betondecke, 24 Luftkanal, 25 Kollektorfläche, 26 Estrich, 27 Gemüsegarten

1 Gedeckter Abstellplatz, 2 Vorplatz, 3 Halle, 4 Küche, 5 Essplatz, 6 Kachelofen, 7 Wohnraum, 8 Arbeitsraum, 9 Nebenräume, 10 Gedeckte Sitzplätze, 11 Schlafräume, 12 Bad, 13 Luftkanal, 14 Fassadenkollektor, 15 Geröllkoffer, 16 Naturkeller



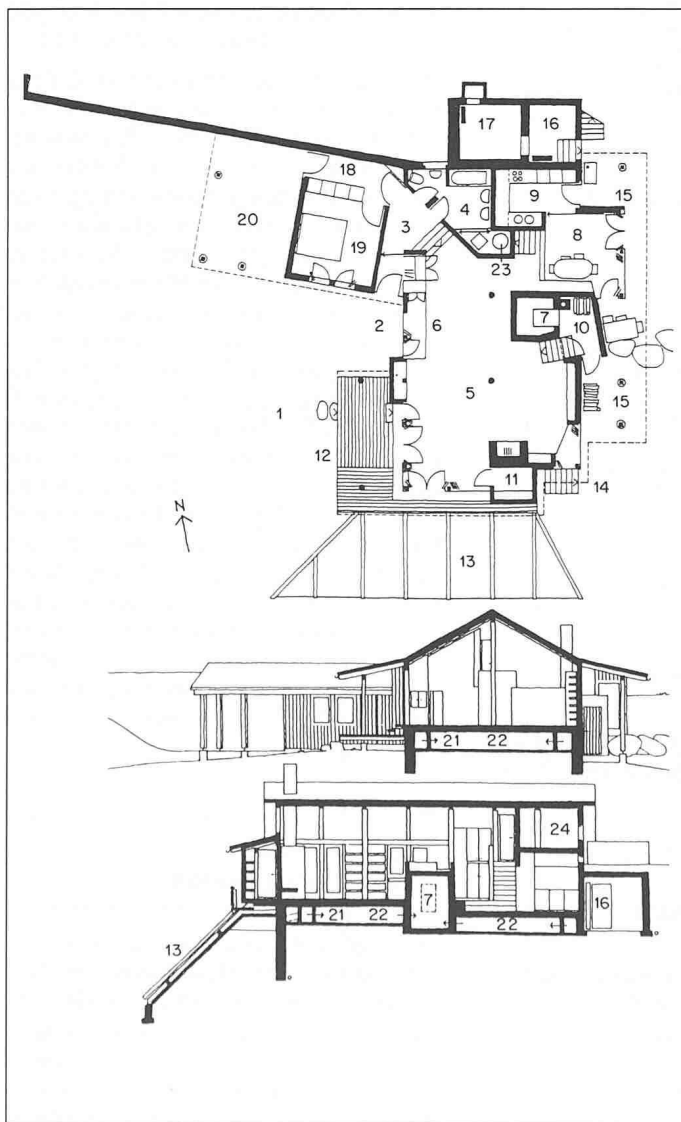


Haus P. Schaub, Rothenfluh. Gemischt aktives und passives Sonnenwärmesystem mit Luftkollektoren, Geröllspeicher unter dem Wohnbereich und unabhängiger Zentralheizung von eingemauerten Holzofen, Warmwasserbereitung und Trocknung des Luftsystems mit Wärmepumpenboiler; Statik: Dr. E. Bosshard, Dübendorf

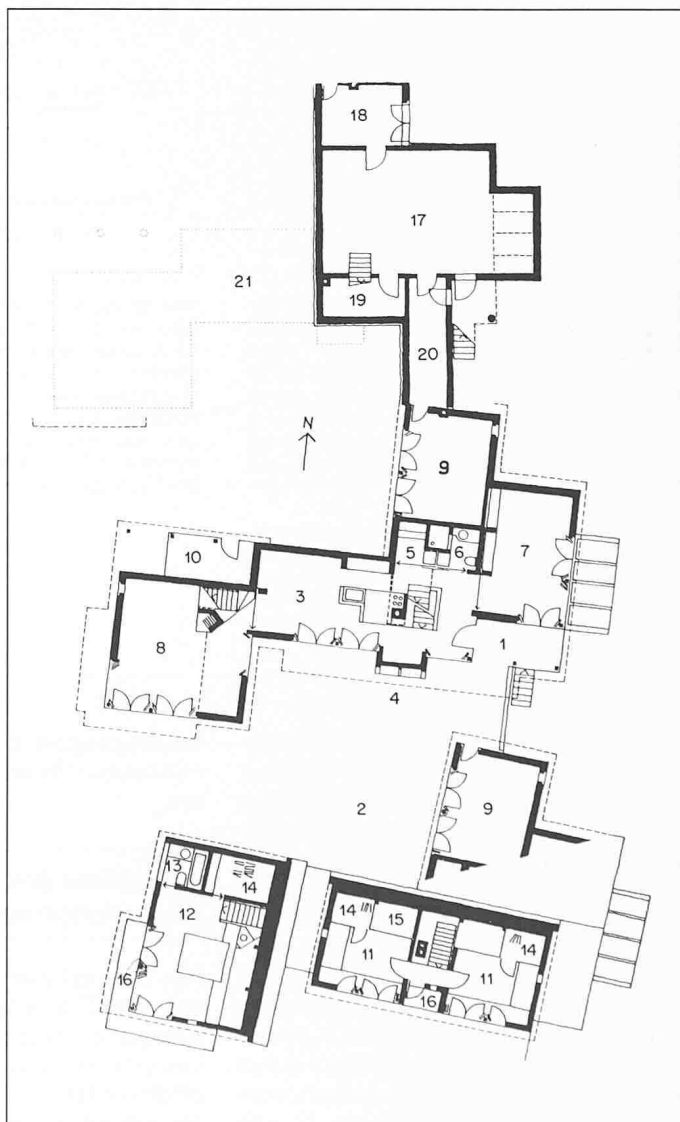


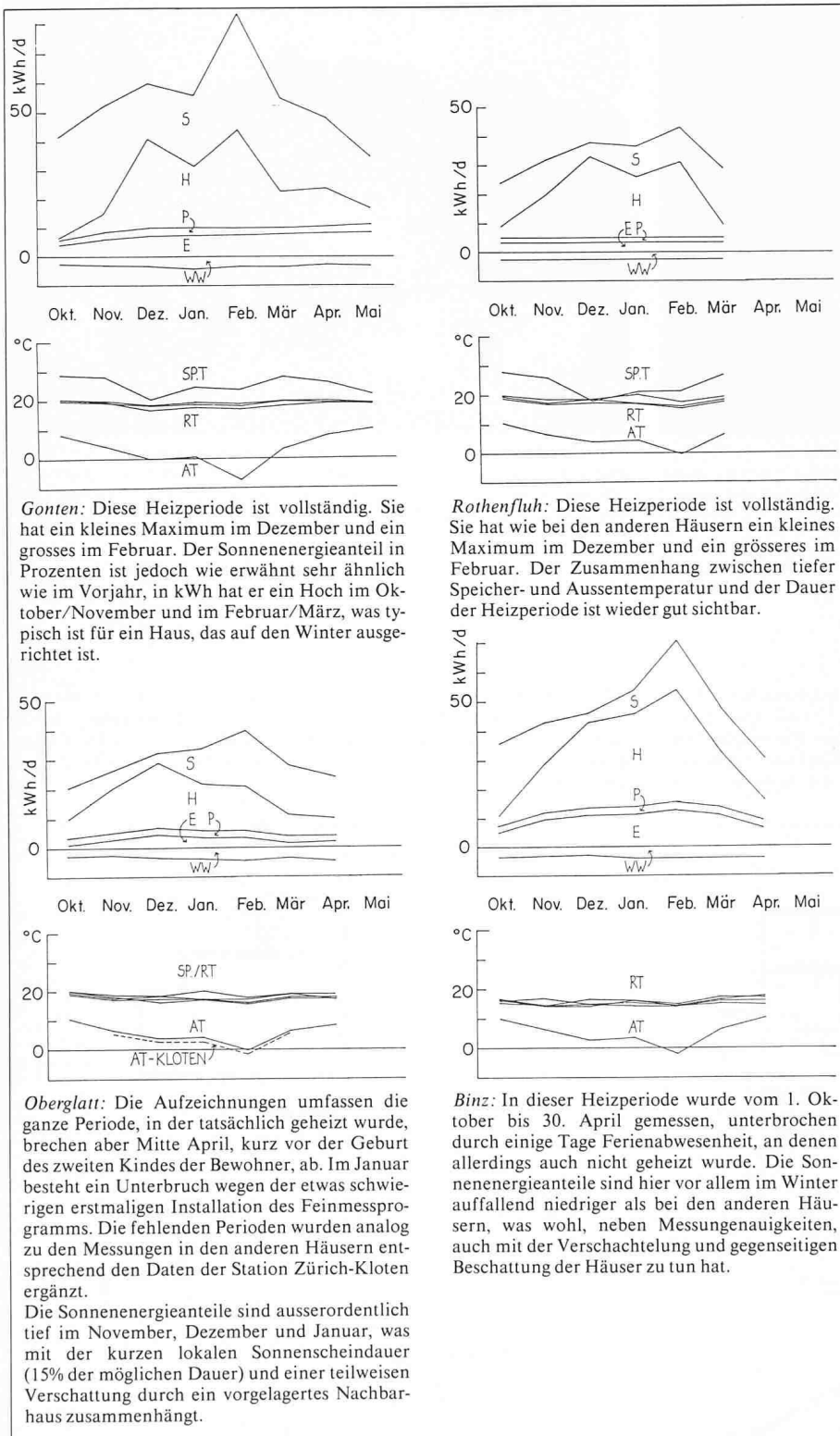
Haus S. Schäfer, Binz. Direktes System in einer dichten, vorstädtischen Häusergruppe, mit Sonnenenergiegewinn durch südgerichtete Fenster, mit inneren Isolierläden, normal schwerer Baumasse und einer Holzzentralheizung vom Lehmofen in der Küche; Statik: Dr. W. Bosshard, Dübendorf

1 Garten, 2 Eingang, 3 Halle, 4 WC, Bad, 5 Wohnraum, 6 Arbeitsplatz, 7 Holzofen, 8 Essplatz, 9 Küche, 10 Heizraum, 11 Abstellraum, 12 Gedeckte Terrasse, 13 Sonnenkollektor, 14 Abgang zum Holzplatz, 15 Gedeckte Wirtschaftsfläche, 16 Keller, 17 Schutzraum, 18 Gang, 19 Schlafzimmer, 20 Spätere Erweiterung, 21 Gemauerte Luftkanäle, 22 Geröll-Wärmespeicher, 23 Wärmepumpen-Boiler im Lufikanal, 24 Studio



1 Gedeckter Eingang, 2 Atrium, 3 Essküche, 4 Sonnenkollektor, 5 Vorräte, 6 WC-Dusche, 7 Studio, 8 Wohnraum, 9 Gartenraum, 10 Geräteraum, 11 Kinderzimmer, 12 Schlafbalkon der Eltern, 13 Bad, 14 Kleiderstrich, 15 Warmwasser-Boiler, 16 Balkon, 17 Spielraum, 18 Werkstatt, 19 Archiv, 20 Keller, 21 Nicht unterkellert





Energieverbrauchs- und Temperaturdiagramme, Heizperiode 1982-83

Mit Ausnahme der besonderen Aufgabenstellung handelte es sich um ganz normale Aufträge, die in engem Kontakt mit den Bauherren und, in besonderen Fällen, wie der mit Schwerkraft betriebenen Speicherdecke in Gonten, mit befreundeten Sonnenenergie-Fachleuten bearbeitet wurden. Die angewandten Bautechniken sind weitgehend konventionell, die Isolierstärken mit 8-10 cm (in Oberglatt 10-20 cm) normal. Die Ausführung erfolgte durch das örtliche Baugewerbe, in besonderen Fällen sogar in Eigenleistung. In den

Bewilligungsverfahren der Gemeinden entstanden keine besonderen Probleme.

Ergebnisse des Grobmessprogramms

Aus den täglichen Aufzeichnungen waren die Temperaturverläufe und die Energieverbräuche bekannt. Damit konnten mittlere Raumtemperaturen, effektive Heizgradtage und Jahresenergieverbräuche und -kennzahlen berech-

net werden. Der Beitrag der Sonne an die Raumheizung wurde über die Differenz zwischen gemessenen Innen- und Aussentemperaturen und über den Wärmeleistungsbedarf bestimmt, der für jedes Haus rechnerisch aus den Daten von 4-10 jeweils sechstägigen Schlechtwetterperioden ermittelt wurde. Der Feuerungswirkungsgrad, der die effektiv nutzbare Heizenergie ergab, wurde dabei den Auswertungen des Feinmessprogramms entnommen.

Die Ergebnisse sind in Tabelle 2 enthalten. Die Verbrauchswerte sind in drei Häusern niedriger, als bei der Projektierung angenommen worden war. Von den fünf Atriumhäusern in Binz haben zwei, die nur mit Öl geheizt werden, den erwarteten Verbrauch von 2000 l/a leicht überschritten. Zwei teilweise mit Holz geheizte Häuser liegen etwas darunter, insbesondere weil in der Übergangszeit der automatische Heizbetrieb wegfällt. Das ganz mit Holz geheizte Haus der Architektenfamilie, dessen Verbrauch sich nur wenig von den Häusern in Gonten, Oberglatt und Rothenfluh unterscheidet, zeigt, dass bei einem weniger gut gebauten Sonnenhaus manchmal auch der Arbeitsaufwand bei der Brennholzbeschaffung und -verarbeitung der limitierende Faktor ist.

Die vier Energieverbrauchs- und Temperaturdiagramme für die Heizperiode 1982-83 zeigen, dass diese Art passiver Grundlastheizung an zwei Stellen ansetzt: Zum einen wird die Heizgrenze, besonders bei gefülltem Speicher, was in der Übergangszeit häufig der Fall ist, gesenkt und damit die Heizperiode verkürzt. Andererseits kann, auch in der engeren Heizperiode an sonnigen Tagen, eine grössere Wärmemenge aufgenommen und nutzbringend gespeichert werden. Scheinbar unterscheiden sich die drei Häuser mit konvektivem Gewinn sehr stark. Die Unterschiede sind jedoch vor allem vom Feuerungswirkungsgrad der verschiedenen Heizungen geprägt: Schon die Energiekennzahlen für Netto-Heizenergie (ohne Kaminverluste) liegen zwischen 118,5 und 140,8 MJ/m² EBFA, die mittleren Raumtemperaturen zwischen 19 und 19,3 °C (Wohnraum) bzw. 18,3 und 18,9 °C (ganzes Haus).

Ergebnisse des Feinmessprogramms

Für das Feinmessprogramm war vor dem Beginn der Messungen ein Auswertprogramm festgelegt worden. Es umfasste detaillierte Aufzeichnungen ausgewählter Tage, Aufzeichnungen mehrtägiger Perioden für Temperaturen und Wärmeströme und Tageswär-

mebilanzen, die in Energieflussdiagramme umgezeichnet werden konnten.

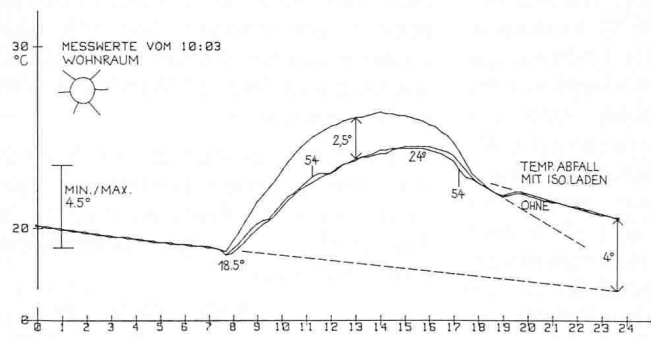
An den Tagesverläufen konnte die Wirkung besonderer Elemente und Vorgänge dargestellt werden. Die Beispiele sind vom Haus in Gonten:

Tagesverläufe Gonten

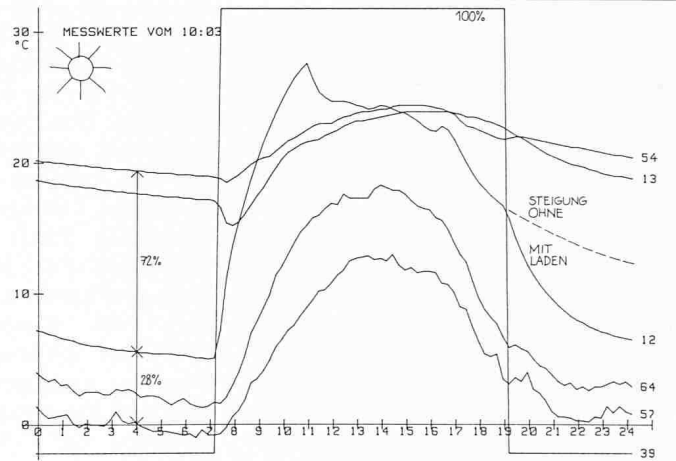
Raumtemperaturverlauf bei sonnigem Wetter

Die Raumtemperatur wurde in drei Zonen je dreifach gemessen: Reine Lufttemperatur mit einem zweifach verspiegelten Aluminiumrohr (54), Luft- und Strahlungstemperatur ohne sichtbares

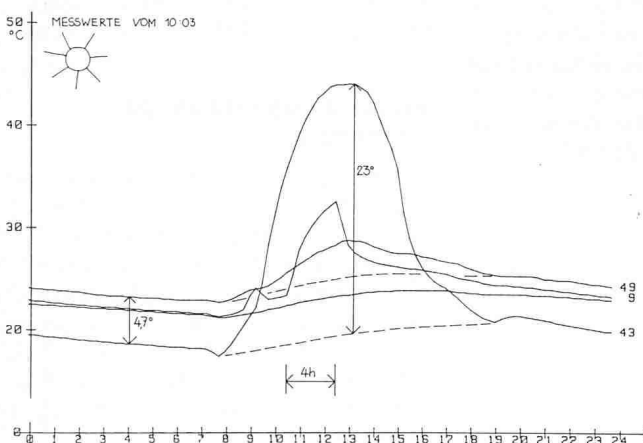
Licht mit einer weissen (03), mit dem sichtbaren Licht mit einer schwarzen Kugel (04). Das Diagramm zeigt, dass sich diese Werte tagsüber in einem hellen Raum stark unterscheiden können und dass zwischen hellen und dunklen Flächen auch am Schatten grosse kli-



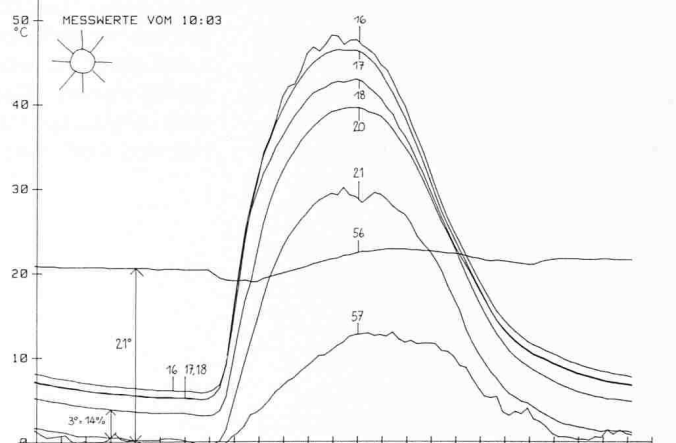
Raumtemperatur bei sonnigem Wetter



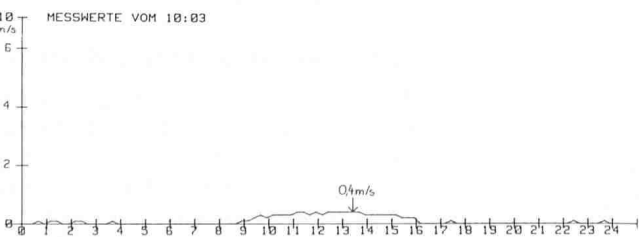
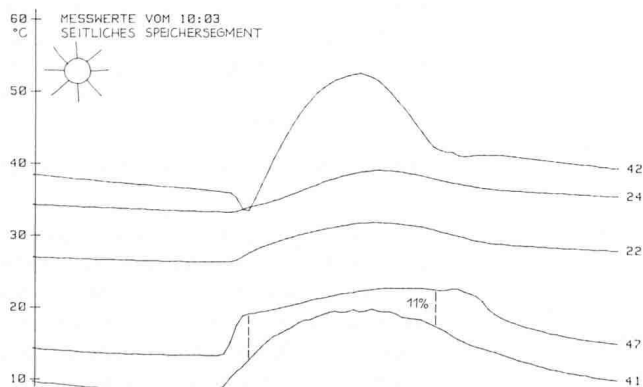
Wirkung der Isolierläden



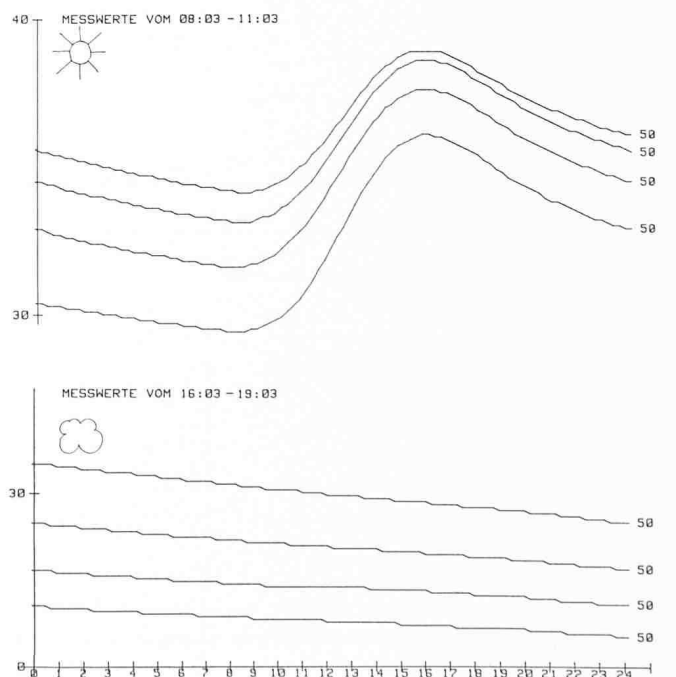
Wärmeaufnahme des besonnten Fussbodens



Oberflächentemperaturen des Kollektors



Kreislauftemperaturen und Luftmengen



Speicherwärmeaufnahme und -abgabe

matische Unterschiede bestehen. Der Raum, der ausser durch die Grundlastwärmeeabgabe des Bodens nicht geheizt wurde, zeigt einen kontinuierlichen Temperaturabfall in der Nacht mit einem steilen Wiederanstieg am Morgen. Interessant ist, wie die Raumtemperatur nach dem Schliessen der Isolierläden noch einmal ansteigt: Da sie ein Mittelwert ist zwischen Speicher- und Aussentemperatur, kann sie durch die Verstärkung der Isolation nach aussen für ein paar Stunden nahezu konstant gehalten werden. Das Einfeuern am Abend entfällt.

Wirkung der Isolierläden

Die Betätigung der Isolierläden (39) wurde durch die Bewohner in den den Datalogger steuernden Computer eingegeben. Die Veränderung des Temperaturanstiegs bzw. -abfalls der Glas- und Ladenoberfläche (12, 13) beim Öffnen und Schliessen ist markant. Der neue k-Wert des Fensters beträgt statt 3,0 mit dem durch 33 mm Weichfaserplatte isolierten Laden $1,5 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$, was leider weniger ist, als erwartet worden war. Die raumseitige Oberfläche hat nachts eine Temperatur von $18\text{--}19 \text{ } ^\circ\text{C}$ statt $12\text{--}15 \text{ } ^\circ\text{C}$, so dass die wegfallende Einstrahlung kompensiert ist.

Wärmeaufnahme des besonnten Fussbodens

Zur Messung der Wärmeaufnahme des Fussbodens wurde die Oberflächentemperatur der besonnten (49) und unbesonnten (9) Bodenfläche und, als Referenzwerte, jene besonders dünner, nach unten isolierter, im einen Fall besonnter (43), im anderen schattierter, aber mit 35 W/m^2 elektrisch beheizter (44), speziell angefertigter Tonplatten gemessen. Aus der Differenz der beiden letzteren liess sich ein Wärmeübergangswert von $8 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$ errechnen, der den Angaben in der Literatur gut entspricht. Die Leerlaufumtemperatur der besonnten Platte erhöhte sich um $23 \text{ } ^\circ\text{C}$, was unter Berücksichtigung der noch vorhandenen Speicherwirkung auf eine Absorption von über 200 W/m^2 schliessen lässt. Reduziert man die gemessene Horizontalstrahlung um 30% entsprechend der Durchlässigkeit der 2-Scheiben-Verglasung, ergibt dies einen Absorptionsfaktor von etwa 60% für die orange-rote Plattenoberfläche. Unerwartet war, dass der gemessene Bodenpunkt nur 4 h lang besonnt war. Mehrere Auszählungen der beschienenen Bodenplatten ergaben eine nahezu konstante beschienene Fläche von 4 m^2 oder 30% der Südfenster-

fläche während des ganzen Tags und über die ganze Messperiode.

Oberflächentemperaturen und Wärmeaufnahme der Kollektoren

In der Mitte der Kollektorflächen wurden Temperaturen (16–21) an den Schichtgrenzen genommen. Die Verläufe sind ähnlich wie die Strahlungskurven, was auf die beabsichtigte, geringe Trägheit schliessen lässt. Der nächtliche K-Wert liess sich für das Haus in Gonten errechnen: Er beträgt nach einem sonnigen Tag $0,85$, nach einem Schlechtwettertag $0,55 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$, was dem projektierten Wert von $0,6 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$ nahekommmt.

Tagesbilanzen zeigten, dass die hier eingebauten isolierten Kollektoren etwa $\frac{1}{2}$, die Fensterkollektoren etwa $\frac{1}{3}$ der eingestrahnten Energie nutzbringend abführen können:

	Reflexion	Nutzwärme	Abwärme
Gonten	23%	47%	30%
Rothenfluh	20%	48%	32%
Oberglatt	22%	32%	46%

Kreislaufumtemperen und Luftmengen

In den Speichern wurden sowohl Luft-, wie Massentemperaturen gemessen. Die Lufttemperaturen zeigen die Wärmeaufnahme zwischen Kollektorein- und -austritt (41, 42), die Wärmeabgabe im vorderen, isolierten (24) und im hinteren, unisolierten Speicherbereich (22) und den Temperaturabfall in den Rücklaufkanal (47). Da die Luftmenge, die mit einem Flügelradanemometer mit $0,1 \text{ m/s}$ Anlaufgeschwindigkeit gemessen wurde, immer gleich ist, sind die Differenzen proportional zur Aufnahme und Abgabe in den verschiedenen Speicherbereichen. Hier gehen 11% zwischen Speicheraus- und Kollektoreintritt verloren.

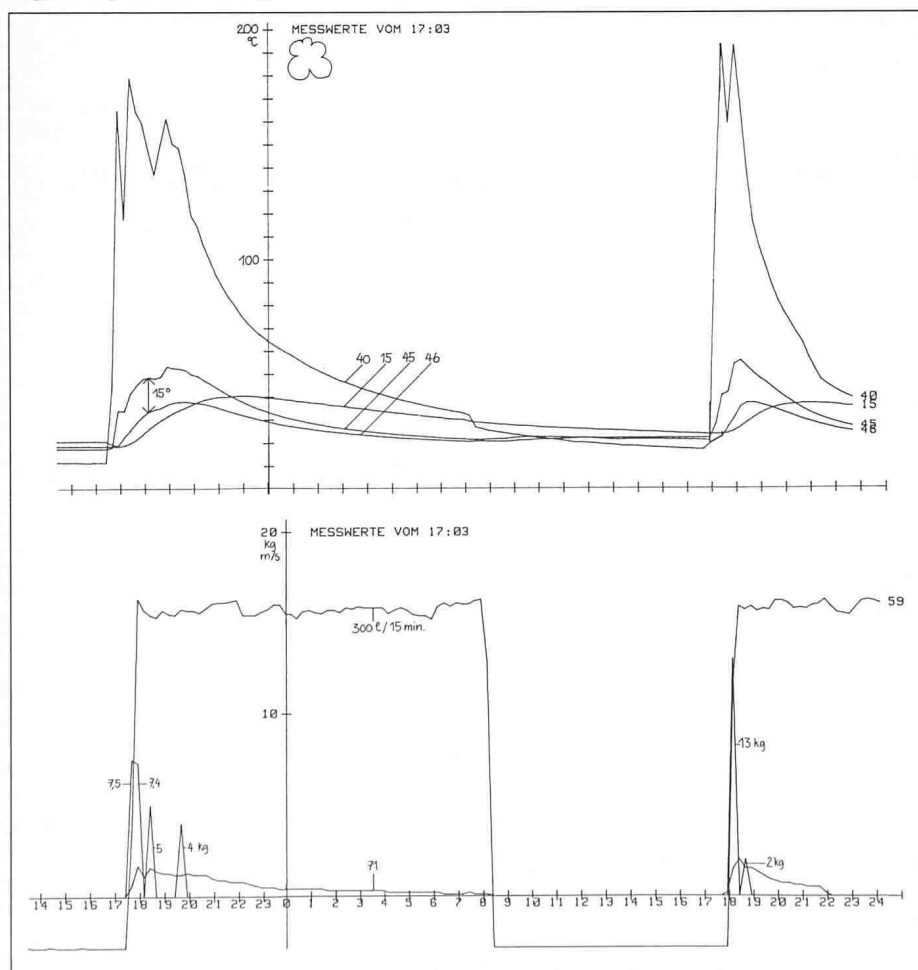
Die Messwerte sind in Tabelle 3 zusammengefasst.

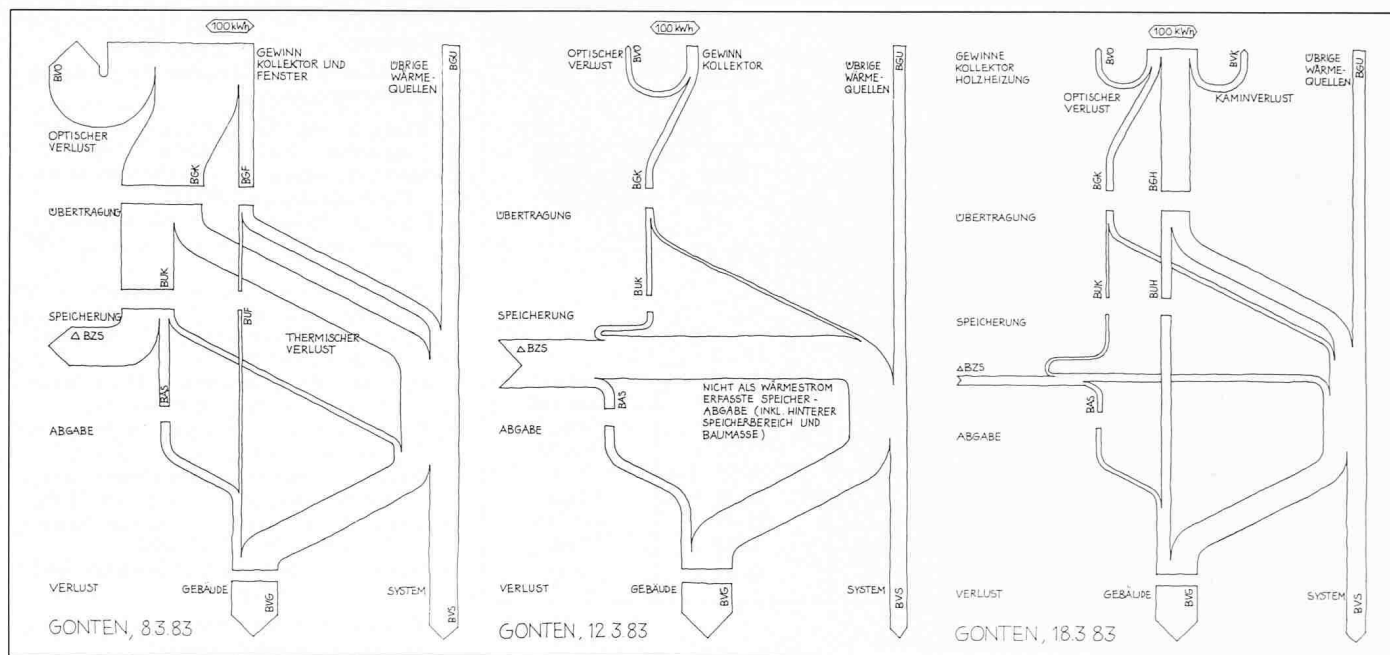
Die Auftragung der Luftgeschwindigkeit zeigt, dass es auch nachts Luftbewegungen gibt, deren Ursache – Negativ-Zirkulation oder konvektive Strömungen im Kanal selbst infolge unterschiedlicher Oberflächentemperaturen – allerdings nicht einwandfrei festgestellt werden konnte.

Speicherwärmeaufnahme und -abgabe

Bereits in den täglichen Ablesungen des Grobmessprogramms liess sich feststellen, dass die Temperaturen der Speicher in parabelähnlichen Kurven gegen eine Grenztemperatur ansteigen und gegen die Raumtemperatur abfallen. Dies kann auch durch viertägige Lade-

Tagesverlauf Gonten: Heizung und Kaminverlust





Tagesverlauf Gonten: Wärmestrom-Diagramme sonniger Tag, Schlechtwettertag ohne und mit Heizung

und Entladeperioden für einen Messpunkt zwischen zwei luftführenden Tonhordissteinen (50) im Speicher dargestellt werden. Die Temperaturzunahme nimmt ab von 2,5 auf 1 °C/d, der Temperaturabfall von 2° auf 1 °C/d.

Heizung und Kaminverlust

Bei der Auswertung des Heizbetriebs interessierte die Aufteilung zwischen der Wärmeaufnahme der Zentralheizung, der Wärmeabgabe des Ofenkörpers an den Raum und dem Kaminverlust. Gemessen wurde die Rauchgasgeschwindigkeit (71), ebenfalls mit Flügelrad-Anemometer mit 0,1 m/s Anlaufgeschwindigkeit, die Förderleistung der Umwälzpumpe (59) und die aufgetragenen Temperaturen. Die Holzmenge (19) wurde beim Beschieben in den Computer eingetippt. Die Diagramme zeigen das typische Heizverhalten in Gonten: Kurzer Anheizvorgang, bei dem die ganze Holzmenge geladen wird, Rauchgastemperaturen (40) bis 180 °C und -geschwindigkeiten bis 2 m/s. Die Zentralheizung nimmt hier bei 1200 l/h Umwälzleistung und 15 °C Temperaturdifferenz zwischen Vor- und Rücklauf (45, 46) etwa 21 kW Leistung auf. Die Ofenwand (15) erwärmt sich beim Messpunkt um 20 °C.

Tagesenergiebilanz

Drei der im Bericht dargestellten Tagesenergiebilanzen, die aus den Messwerten und den Kennzahlen der Anlagen durch den Rechner ermittelt und von Hand gezeichnet wurden, zeigen typische Eigenschaften solcher passiver Energienutzungs-Systeme:

- 2-3fache Energieumsätze in Lade-

gegenüber Entladeperioden

- Graduelle Reduktion des messtechnisch und konzeptionell «kontrollierten» Energieanteils zwischen Einstrahlung und Verlust durch die Gebäudehülle
- zusätzliche Systemverluste, besonders an Ladetagen, wegen der gegenüber der Raumtemperatur erhöhten Systemtemperaturen

Besondere Feststellungen

Das Messprogramm und, damit verbunden, die intensiven Kontakte auch nach beendigten Bauarbeiten halfen das Verständnis für die hier gebauten Energienutzungs-Systeme zu vertiefen. Es entstanden eine Reihe von Beobachtungen und Überlegungen, die über die gestellte Aufgabe hinaus auf neue, komplexere, aber vielleicht wirksamere Möglichkeiten hinweisen:

Tageslicht und Behaglichkeit

Das Tageslicht kompensiert tagsüber die Abstrahlung des Raums und der sich darin aufhaltenden Menschen gegenüber der kühlen Fensteroberfläche. Nachts wird deren Temperatur durch Schliessen der Läden erhöht. Im Ansatz zeigt sich ein Behaglichkeitskonzept aus niederen Lufttemperaturen, teilweise kühlen Umschliessungsflächen und einer Zusatzheizung, die von der Fensterbrüstung unabhängig ist.

Temperaturgefälle im Rauminnen

Im Gegensatz zu Zentralheizungen, die eine homogene Temperaturverteilung im Raum anstreben, erzeugen Systeme

mit einem warmen Kern, im alten Haus der Kachelofen, hier der Grundlast-Wärmespeicher, ein Temperaturgefälle zwischen diesem und der Aussenwand, was, wie es scheint, den Wärmeabfluss verlangsamt. Die Komforteinbusse, die bestehen muss, ist bei gut isolierten Häusern wie hier kaum wahrnehmbar.

Überheizung

Dass hier die bei Sonnenhäusern gefürchtete Überheizung ausbleibt und die Räume nie wärmer als 23-24 °C werden, kann darauf zurückgeführt werden, dass die direkten Einstrahlungsgewinne massvoll sind und infolge schattierender Vordächer in der Übergangszeit abnehmen. Die Baumasse bleibt relativ kühl. Da die Speicher aussen mit zusätzlicher Baumasse abgepuffert sind, wird die tagsüber ausströmende Wärme gestaut und auf den Abend verschoben.

Benützerverhalten

Bei allen Häusern wurde ein relativ optimales Benützerverhalten festgestellt. Es kann sicher z. T. darauf zurückgeführt werden, dass die eingebauten beweglichen Teile wie Isolierläden, Storen im Fensterkollektor, handbeschickte Heizungen und kleine Lüftungsöffnungen die Bewohner zu richtigem Verhalten animieren.

Wirkung der Grundlast-Wärmespeicher

Die Messergebnisse vertieften das Verständnis für die Wirkung der eingebauten Grundlast-Wärmespeicher, insbesondere für ihren Beitrag zur Verkürzung der Heizperiode und zur Verbesserung des Wärmeertrags grosser Glasflä-

		Gonten	Oberglatt	Rothenfluh
Install. Leistung	W	0	99	440
Max. Luftgeschw. im Kanal	m/s	0,4	1,5	2,2
im Koll.	m/s	0,3	0,5	1,1
Max. Stundenleistung	m ³ /h	1555	1200	3750
Max. Tagesleistung	m ³ /d	9300	6600	17000
Kollektorfläche (netto)	m ²	37,1	29,6	45
Max. Stundenl. pro m ² Koll.	m ³ /m ² h	42	41	83

Tabelle 3

Tabelle 4

	Speichergrenz- temperatur (°C)	Speicherinhalt/m ² Koll. fläche (kWh/m ² °C)	Günstiger Bereich (°C)	Dauer im günstigen Bereich
Gonten	38/30	0,8	25-32	4 Tage
Oberglatt	26	0,4	22-24	1-2 Tage
Rothenfluh	35/28	0,2	25-32	2 Tage
Erwünscht:	60	0,6	30-45	6 Tage

chen im Winter. Es zeigte sich allerdings auch, dass ihre Wirkung besonders in Ladeperioden an der Grenze der Heizperiode widersprüchlich ist und nur mit einiger Erfahrung optimiert werden kann. Sollten Grundlast-Wärmespeicher eine grössere Verbreitung finden, müsste die Kenntnis ihres dynamischen Verhaltens bei den regional unterschiedlichen Temperatur- und Besonnungsverhältnissen vertieft werden.

Speichergrenztemperatur

Die bei der Projektierung erwarteten, hohen Speichertemperaturen wurden nicht erreicht, da das Gleichgewicht zwischen zu- und abfließenden Wärmemengen nicht genügend beachtet wurde. Bestrahlungsverhältnisse, Kollektorfläche, Speicherinhalt und -isolation bestimmen die erreichbare Grenztemperatur des Speichers und die Zeitdauer, während der er sich im günstigen Steigungs- und Sinkbereich befindet. Festgestellte und wünschbare Werte unterscheiden sich gemäss Tabelle 4.

Ausnutzung der eingestrahltten Energie

Nachrechnungen ergaben, dass im allgemeinen einfachere, in die Bauten integrierte Systeme die eingestrahltte Energie besser ausnützen, sie aber auch leichter wieder verlieren, im Gegensatz zu aufwendigeren Systemen, die vom Gebäude stärker abgetrennt sind. Die grösste Ausnützung ergab sich beim direkten Gewinn in Binz mit 54%, die geringste beim frei vor das Haus gestellten Kollektor in Rothenfluh mit 17%.

Gonten und Oberglatt liegen mit 41 bzw. 34% dazwischen.

Folgerungen

Die drei Häuser mit konvektivem Wärmegewinn haben mit einem Brennstoffverbrauch von 2100-2300 kg das projektierte Ziel erreicht und unterschritten. Die Atriumhäuser in Binz, die nicht primär als Sonnenenergie-Häuser konzipiert wurden, dokumentieren, dass sich in dichten Überbauungen mit Innenhöfen sehr angenehme Mikrokimate realisieren lassen, die eine intensive Nutzung der Einstrahlung keineswegs ausschliessen.

Der schöne Erfolg der Speicherdecke in Gonten, aber auch manche Fehler, die im Bericht nicht verschwiegen werden, zeigten die Notwendigkeit auf, alle vorgesehenen Wärmegewinne rechnerisch zu überprüfen, vor allem hinsichtlich der gewünschten (oder unfreiwilligen) Beschattung, der aus der Einstrahlung gewonnenen Wärmemengen und der daraus resultierenden Temperaturen im Gleichgewicht der Wärmekapazität des betrachteten Bauteils und der zu- und wegströmenden Energie. Besondere Einzelaspekte sind vermehrt zu beachten, so die natürliche Thermik innerhalb des Gebäudes, die höhere konvektive Verluste verursacht als der gelegentliche Wind, die thermischen Anschlüsse zum Fundament, die Frage des Komforts im Brüstungsbereich der

Literatur

Aufgeführt sind Publikationen, die die Bauten detaillierter darstellen.

Hanke, S.: «Mit Kachelofen und Sonnenwärme heizen». Das Ideale Heim, 9/1981 (G)

Hanke, S.: «Spielerisch versetzte Schachteln». Das Ideale Heim, 6/1983 (B)

Infosolar: «Passive und hybride Sonnenenergie-Nutzung in der Schweiz». Brugg 1983 (G, O, B)

Lignum: «Wohnbauten in Gruppen». Holz Bulletin 4/1980 (B)

Lignum: «Energiegerechte Bauten mit Holz». Holz Bulletin 8/1982 (R)

Oertli AG: «Energiesparende Gebäudesysteme in der Schweiz». Dübendorf 1980 (G)

Schäfer, U.: «Sonnenenergie - Sieben Jahre später». Sonnenenergie 4/1981 (G, R, B)

Schäfer, U.: «Passive Sonnenenergie-Nutzung: Wo stehen wir?» Sonnenenergie 5/1983 (O)

Schäfer, U.: «Hofgarten - Universum des kleinen Mannes». AC 110, 10/1984

Stohler, F.: «Heizen mit alternativen Energien». Aarau 1981 (G)

(G) Haus Dr. H. Gmür, Gonten

(O) Haus M. Wieland, Oberglatt

(R) Haus P. Schaub, Rothenfluh

(B) Haus S. Schäfer, Binz

Fenster und die Bedeutung der Strahlung für die Behaglichkeit ganz allgemein.

Der Bericht zeigt, dass das Ziel eines niedrigen Energieverbrauchs nicht nur auf dem Weg der Verringerung der Verluste, wie bei superisolierten Häusern, oder mit dem Einsatz von hochwertiger Energie, wie bei Wärmepumpen, erreicht werden kann, sondern auch über eine Erhöhung des allgemeinen Energieumsatzes mit Hilfe der Sonneneinstrahlung und einer Architektur, die mit grossen Glasflächen, hellen Innenräumen, offenen, grosszügigen Raumgefügen und engen Beziehungen zur Umgebung die Anliegen der Moderne weiterentwickelt. Das dabei entstehende Innenklima aus leicht erwärmten Böden, mässig warmen Wand- und Deckenflächen, tagsüber kühlen, die Einstrahlungswärme kompensierenden Glasflächen und geringen Luftbewegungen wirkt angenehm und abwechslungsreich, so dass es fast weniger einem gut geschützten Innen-, als einem durch geschickte bauliche Massnahmen modifizierten Aussenraum entspricht - ein Anzeichen mehr dafür, dass wir doch lernen, die starren Abtrennungen gegenüber der Natur abzubauen, die vielleicht die fundamentalste Ursache sind für die gegenwärtige Umweltproblematik.

Adresse des Verfassers: Ueli Schäfer, dipl. Arch ETH/SIA, Zollikonstrasse 20, 8122 Binz.