Ist solares Bauen ökologisch?: eine Annäherung in vier Beispielen

Autor(en): **Haas, Anne / Gerber, Dorothe**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizer Ingenieur und Architekt**

Band (Jahr): **118 (2000)**

Heft 27/28

PDF erstellt am: **19.03.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-79944

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Anne Haas, Zürich, Dorothe Gerber, Brugg

Ist solares Bauen ökologisch ?

Eine Annäherung in vier Beispielen

Im Auftrag des BFE wurden vier Solarhäuser hinsichtlich ihrer ökologischen Bilanzen untersucht [1]. Im Mittelpunkt stand die Frage, inwieweit sich die solaren Komponenten bezüglich Gesamtenergieverbrauch und Emissionen amortisieren. Zum Vergleich wurde eine hypothetische Variante des jeweiligen Objekts ohne solare Komponenten herangezogen. Unsere Antwort auf die im Titel gestellte Frage lautet: ja, aber...

Die Gesamtstoffströme im Baubereich (Hochbau, Strassen- und Schienenwege, Kanalisation) betrugen laut Infras [2] Anfang der neunziger Jahre in der Schweiz:

- Input: 40 - 75 Mio. t/a
- Output: 7 - 30 Mio. t/a

Das Lager wird für diese Zeit mit 1,6 - 2,3 Mia. t angegeben. Der Anteil des Bedarfsfelds Wohnen an der gesamten Materialentnahme wurde für Deutschland (alte Bundesländer) auf knapp 30% geschätzt [3]. Für Raumwärme werden dort etwa 30% des Endenergieverbrauchs aufgewendet [4]. Diese Zahlen mögen kurz umreissen, welche Bedeutung die Bautätigkeit und der Betrieb von Gebäuden am gesamten Energieverbrauch, aber auch an den Emissionen in die Umwelt und am Materialumsatz hat. Hinzu kommt, dass Gebäude sehr langlebige Güter sind, und daher «Altlasten» noch lange fortwirken, und heutige Entscheidungen weit in die Zukunft reichen.

Da viele Umweltbelastungen direkt mit einem Energieumsatz gekoppelt sind, galt als Hauptziel ökologischer Massnahmen in den vergangenen Jahrzehnten die Reduktion des Energieverbrauchs. Im Baubereich gingen die Anstrengungen dementsprechend in Richtung der Begrenzung des Raumwärmebedarfs.

Dabei sind grob drei Strategien denkbar. Die eine verfolgt das Ziel, alle Verlustquellen durch Dämmung soweit als möglich zu reduzieren. Die transparenten Öffnungen werden auf das für die Beleuchtung der Räume erforderliche Mass begrenzt. Eine andere Strategie setzt nicht nur auf die Minimierung der Verluste. Denn eine noch so gute Dämmung kann nie auch nur eine Kilowattstunde Wärme liefern, und damit den Rest an (eventuell fossilem) Energiebedarf für die Raumheizung ersetzen. Deshalb werden die transparenten Öffnungen auf der Südseite vergrössert. Etwas höhere Verluste werden in Kauf genommen, damit über die transparenten Flächen Sonnenwärme in den Räumen gewonnen werden kann. Eine dritte Strategie schliesslich setzt auf die aktive Sonnenenergienutzung mittels Kollektoren und Speichern als Ergänzung oder Ersatz der konventionellen Heizungsanlage.

Im Lauf der Zeit geriet neben der für den Betrieb notwendigen Energie auch immer mehr die in dem Gebäude inkorporierte Energie ins Blickfeld. Es gab - auch in dieser Zeitschrift - Debatten darüber, ob sich der materielle Mehraufwand für solare Elemente jemals durch die erzielbaren Gewinne amortisieren liesse. Nachdem zunächst für die ökologische Beurteilung von Produktvarianten Methoden der Ökobilanzierung entwickelt wurden, entstand auch ein Interesse, das Produkt «Gebäude» nach einem solchen Verfahren zu analysieren. Erstmals könnten dann Umweltfolgen der Bautätigkeit und Baunutzung gesamtheitlich(er) bewertet werden. Energie muss nicht mehr unbedingt als alleiniger «Leitwert» für das Mass an Umweltbelastung benutzt werden. Dass Energie als Leitwert nicht immer geeignet ist, und in bestimmten Fällen zu falschen Schlüssen führen würde, wird auch bei den hier untersuchten Beispielen deutlich. Inzwischen gibt es einige Instrumente [5], die speziell für den Baubereich entwickelt wurden. Insbesondere wurden auch die notwendigen Datenbasen entsprechend aufgebaut.

Damit konnte die Frage der Amortisation von solaren Elementen unter einem erweiterten Blickwinkel aufgegriffen werden.

Grundlagen der Untersuchung

Die Amortisationszeiten solarer Komponenten sollen für den Vergleich des «Solarhauses» mit «demselben Haus ohne solare Komponenten» angegeben werden. Die Amortisation soll allein für Beiträge zur Raumheizung ausgewiesen werden. Warmwasser- und Strombedarf und deren Deckung werden nicht in der Bilanz eingeschlossen. Dementsprechend werden alle Elemente der Gebäudehülle bilanziert. Massive Innenbauteile werden berücksichtigt, soweit sie für den Heizenergiebedarf von Bedeutung sind. Der Innenausbau wird nicht in die Bilanz einbezogen. Auch der Strombedarf für die Heizung bleibt unberücksichtigt.

Untersucht werden sollten einzelne, als exemplarisch erachtete Objekte. Die Untersuchung war nicht darauf angelegt, statistisch verwertbare Aussagen zu liefern. Trotzdem lassen die Ergebnisse auf dem Hintergrund anderer Untersuchungen gewisse Interpretationen und Schlussfolgerungen zu, die wir hier zur Diskussion stellen möchten. Die Auswahl der zu untersuchenden Objekte sollte mehrere Kriterien berücksichtigen:

- Die Häuser sollen neueren Datums sein.
- Die Häuser sollen unterschiedliche solare Strategien repräsentieren.
- Die Häuser sollen auch ohne solare Komponenten einen sehr niedrigen Wärmebedarf aufweisen.
- Die Häuser sollen gut dokumentiert sein und Messungen des tatsächlichen Energiebedarfs sollen vorliegen.

Die wichtigsten Daten der ausgewählten Objekte sind in Bild 1 zusammengefasst.

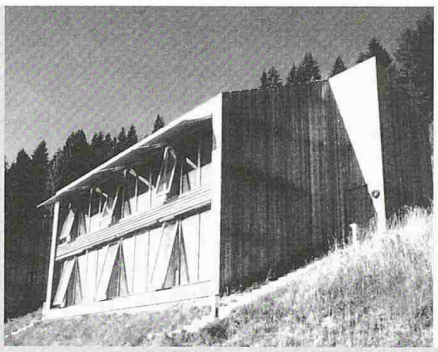
Leichtbau

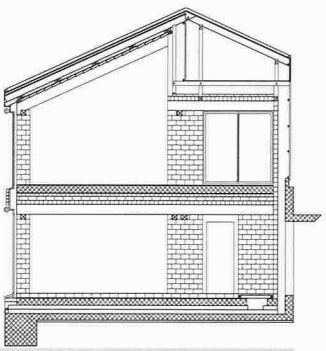
Zum Zeitpunkt der Untersuchung gab es keine Messungen an einem aktuellen Leichtbau. Deshalb konnten nur in Massivbauweise erstellte Häuser berücksichtigt werden. Obwohl dies kein Auswahlkriterium war, erheben auch alle Häuser den Anspruch, in der Materialwahl ökologischen Kriterien zu genügen. Drei der vier Objekte sind Einfamilienhäuser, das vierte ist ein Reihenhaus mit acht Einheiten. Alle Objekte wurden in den Jahren 1993-1995 erstellt.

1
Kurzbeschrieb der untersuchten Objekte (Bilder Trin und Zollikofen: Yvonne Kaiser, Winterthur; Ormalingen: Ernst Schweizer AG; Leuk: Empa-Zen, Hans Bertschinger)

Haus Trin
Architekt und Energiekonzept:
Andrea Rüedi, Chur
Einfamilienhaus, Baujahr: 1993;
Energiebezugsfläche: 234 m²;
Heizenergie: 4 MJ/m²a;

System: Direktgewinn; Komponenten:
- grossflächige Südverglasung
- grosse thermisch aktive Masse
- natürliche Lüftung
- Verzicht auf aktive Komponenten
- (kein Heizsystem)

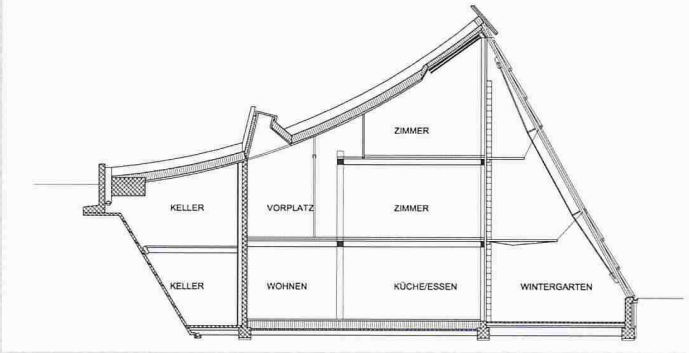




Haus Zollikofen
Architekt und Energiekonzept:
Aarplan, Rolf Schoch, Bern
Reihenhaus (8 Einheiten), Baujahr: 1995
Energiebezugsfläche: 1019 m²
Heizenergie (hochgerechnet): 88 MJ/m²a

System: Wintergarten
Komponenten: Wintergarten
- grosse Südverglasung
- thermisch aktive Masse
- Lüftung über Wintergarten
- PV-Anlage

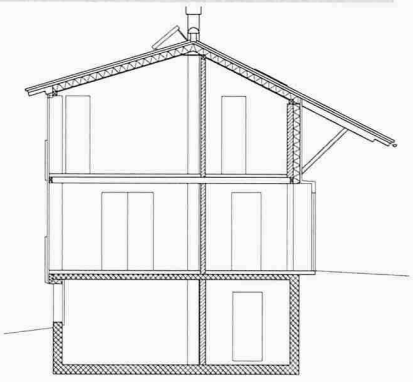




Haus Ormalingen
Architekt:
Hans Jakob Rüegg, Basel
Energiekonzept:
Dieter Völlmin, «Sopra» Solarpraxis AG, Ormalingen
Einfamilienhaus, Baujahr: 1993
Energiebezugsfläche: 181 m²
Heizenergie: 108 MJ/m²a

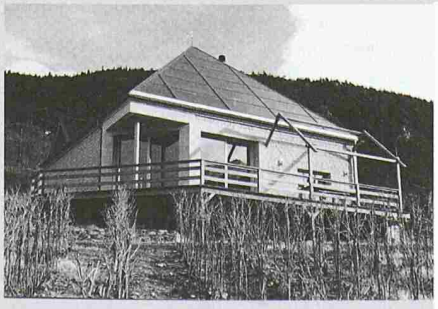
System: Transparente Wärmedämmung
Komponenten:
- TWD
- Betonspeicherwand
- grosse Südverglasung
- thermisch aktive Masse
- Solare Brauchwassererwärmung

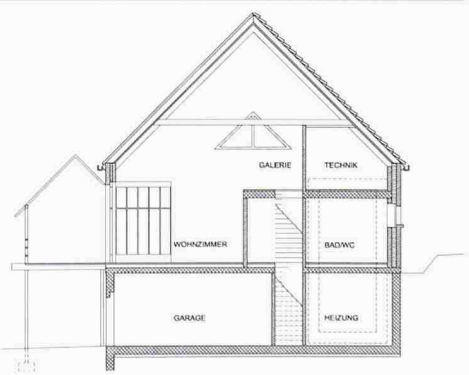




Haus Leuk
Architekt und Energiekonzept:
Andy Schnider, Leuk
Einfamilienhaus, Baujahr: 1994
Energiebezugsfläche: 171 m²
Heizenergie: 59 MJ/m²a

System: Solarwarmwasseranlage
Komponenten:
- Solarkollektor
- Saisonalspeicher





Referenzfall

Damit Amortisationszeiten angegeben werden können, muss ein Referenzfall definiert werden. Dazu muss die Spezifikation «dasselbe Haus ohne solare Komponente» präziser gefasst werden. Bei multifunktionalen Elementen wie Fenstern bestehen dabei beachtliche Spielräume. Grundsätzlich sind solare Komponente diejenigen Konstruktionen und Anlagen, die Solarenergie gewinnen, und nicht diejenigen, die Verluste vermindern. Das bedeutet:

- Die Dämmung, und damit der Aufbau der opaken Hüllfläche wird beim Referenzhaus gegenüber dem Solarhaus nicht geändert, genauso wird der k-Wert der Verglasung beibehalten.
- Überdurchschnittlich grosse Südfensterflächen werden auf durchschnittliche Masse verkleinert.
- Überdurchschnittlich grosse thermisch aktive Massen werden auf das für einen Massivbau übliche Mass verringert.
- Wintergärten, TWD-Wände, Warmwasser-Solaranlagen fallen weg.
- Wird durch Wegfall oder Verkleinerung einer solaren Komponente die Gebäudehülle oder die Konstruktion unvollständig, werden hausübliche Elemente eingesetzt (frei werdende Fensterfläche zum Beispiel wird durch die sonst bei diesem Haus verwendete Fassadenkonstruktion ersetzt).

Unterschiede der Solar- und Referenzhäuser

Die Unterschiede der Solar- und Referenzhäuser sind in Bild 2 aufgeführt. Weiterhin müssen für die Angabe der Amortisationszeiten bei der Berechnung der Ökobilanzen für alle Häuser - in der Solarvariante und im Referenzfall - die gleichen Randbedingungen gelten. Dies betrifft die Nutzung, das Heizsystem und das Klima. Es muss also auch für die Solarhäuser von der realen Situation abstrahiert werden. Der Heizenergiebedarf wird mittels dynamischer Gebäudesimulation bestimmt. Der gemessene Heizenergiebedarf dient zur Eichung des Gebäudemodells in der Simulation.

Standardnutzung

Die Standardnutzung der Häuser wurde in Anlehnung an SIA 380/1 definiert (Bild 3). Die Belegung ist damit zum Teil höher als bei der tatsächlichen Nutzung. Die rechnerische Standardbelegung entspricht in allen vier Fällen einem Elternpaar und einem Kind pro verbleibendem Raum. Der gemessene elektrische Energiebedarf liegt für alle Häuser recht nahe am Standardwert. Der tatsächliche Luftwechsel ist - ausser beim Haus Trin - nicht bekannt. Mit dem extrem niedrigen gemessene Luftwechsel ist das Haus Trin real tatsächlich ein Null-Heizenergiehaus. Beim Standardluftwechsel ergibt sich entsprechend der höheren Verluste ein deutlich von Null verschiedener Heizenergiebedarf. Die Raumlufttemperaturen in den realen Solarhäusern liegen zum Teil für einige Tage unter der für die Standardnutzung vorgegebenen Raumtemperatur, sodass sich auch hier in der Rechnung (leicht) höhere Verluste ergeben.

Für Heizsysteme mit sehr niedrigen Leistungen, wie sie in den untersuchten Häusern allenfalls benötigt würden, liegen keine belastbaren Daten zu den Umweltwirkungen vor. Als Heizsystem wurde deshalb für alle Hausvarianten ein Gasheizkessel im Kleinwärmeverbund gerechnet. Für die Wärmeverteilung im Haus wurden Radiatoren angenommen. Da die Umweltwirkungen pro gelieferter Energie angegeben werden, wird jedem Haus entsprechend seinem Heizenergiebedarf ein Teil der Umweltwirkungen des Wärmeverbundes angelastet.

Klimatische Randbedingungen

Für die klimatischen Randbedingungen wurden drei Varianten als für die Schweiz typische Standorte definiert: Mittelland (Beispiel Zürich), hochalpiner Raum (Beispiel Davos) und Alpensüdseite (Beispiel Lugano).

Bilanzierung der Umweltwirkungen

Die Bilanzierung der Umweltwirkungen erfolgt über den gesamten Lebensweg des Gebäudes. Die Lebensdauer des Gesamtgebäudes wird mit 80 a angenommen. Die Nutzungszeit von Gebäudeteilen und damit die Erneuerungsintervalle werden aus [6] entnommen. Mit «Ecopro» [7] werden die Stoff- und Energieflüsse inklusive Umweltauswirkungen von Herstellung und Betrieb der Häuservarianten berechnet. Die Umweltauswirkungen werden anhand der folgenden Wirkungskriterien gemessen:

- Treibhauseffekt (Greenhouse Warming Potential GWP)
- Versauerungspotential
- Ökoindikator 95; er beziffert Schäden an: Leben, Gesundheit, Ökosystem, Energieressourcen

Grosse Direktgewinne und Erträge von Solaranlagen können mit den üblichen Monatsverfahren zur Ermittlung des Heizenergiebedarfs nicht oder nur unzureichend bilanziert werden. Deshalb werden die Solarerträge und der resultierende Heizenergiebedarf mittels dynamischer Gebäudesimulation berechnet. Als Simulationsprogramm kommt «TRNSYS» [8] zum Einsatz.

Resultate

Die Amortisationszeit T_A wird für den Energieeinsatz sowie für jedes betrachtete Kriterium K definiert als

$$TA = T_N \times \frac{K_{(K,\,Sol)} - K_{(K,\,Ref)}}{(K_{(B,\,Ref)} - K_{(B,\,Sol)})}$$

mit Lebensdauer $T_N = 80$ a

$K_{(K,\,Sol)} - K_{(K,\,Ref)}$
Differenz Konstruktion Solarhaus-Referenzhaus

$K_{(B,\,Ref)} - K_{(B,\,Sol)}$
Differenz Betrieb Referenzhaus-Solarhaus

Die Resultate werden im Folgenden beispielhaft anhand des Energieeinsatzes und der Ökoindikatorpunkte dargestellt. Im Bericht [1] werden noch das Treibhauspotential und die Versauerung ausgewertet. Es zeigt sich, dass das Treibhauspotential stark mit dem Energieeinsatz korreliert ist, während der Ökoindikator und die Versauerung viele gemeinsame Tendenzen aufweisen.

Die Überdüngung hat sich im Lauf der Arbeit als für unsere Fragestellung nicht aussagekräftig erwiesen und wurde nicht weiter betrachtet.

Die Amortisationszeiten der vier Objekte sind tabellarisch in Bild 4 wiedergegeben.

Energieeinsatz und Ökoindikatorpunkte

Die zugrunde liegenden Werte des Energieeinsatzes und der Ökoindikatorpunkte sind in Bild 5 und in Bild 6 jeweils für das Solar- und das Referenzhaus dargestellt. Die Stapelbalken repräsentieren die Werte für die Konstruktion, aufgeschlüsselt nach Elementgruppen. Rechts daneben finden sich für jedes Objekt die Werte für den Betrieb, aufgeschlüsselt nach Standorten.

Amortisationszeit

Die Amortisationszeit wird aus den Differenzen zwischen Solarhaus und Referenzhaus gebildet. Sie ist daher unabhängig von Gebäudeelementen, die in beiden Varianten nicht berücksichtigt werden (wie etwa dem Innenausbau). Die Balkendiagramme zeigen dagegen den relativen Einfluss der Solarkomponenten auf den Wert eines Kriteriums für das Gesamtgebäude.

Die Werte für die Amortisationszeiten sind auf Grund der zum Teil unsicheren Datenlage und der zum Teil auch noch fehlenden Erfahrung mit der Lebensdauer der Komponenten fehlerbehaftet. Zudem können Fehler in den Eingangsdaten bei der Division durch eine kleine Differenz zu einem grossen Fehler im Resultat führen. Die Werte der Amortisationszeiten sind deshalb eher als Grössenordnung denn als genauer Wert zu verstehen. Bei den Amortisationszeiten für das Haus Trin liegt die Differenz im Nenner in der gleichen Grössenordnung wie die Summanden. Der numerische Fehler ist deshalb klein. Beim Haus Zollikofen ist dagegen die Differenz im Nenner klein gegen den Wert der Summanden. Mit einer etwas anderen Bilanzierung des Wintergartens könnte eventuell eine endliche Amortisationszeit berechnet werden. Diese würde aber sicher auch noch weit jenseits von der angenommenen Lebensdauer des Gebäudes liegen.

Stoffströme

Die Stoffströme werden von «Ecopro» nur für die Konstruktion angegeben. Damit können für die Stoffströme keine Amortisationszeiten berechnet werden. Bild 7 gibt die Stoffflüsse wieder, die durch die Konstruktion verursacht werden.

Objekt / Komponente	Solarhaus	Referenzhaus 1)
Trin		
Südfenster	48 m², davon 8% Rahmen	28 m², davon 20% Rahmen
Anteil an der Südfassade	56%	33%
Speichermasse innerhalb der Dämmschicht	277 t	190 t
Südwand	leicht gedämmte Holzständer, Wand- und Deckenstirnen	15 cm Kalksandstein, 30 cm Zellulose
Zollikofen		
Südfenster zum Wintergarten	322 m², davon 34% Rahmen	146 m², davon 20% Rahmen
Anteil an der Südfassade	71%	32%
Südwand	gegen Wintergarten innen leicht gedämmte Zementsteine	20 cm Zementstein, 20 cm Mineralwolle
Wintergarten	Verglasung 432 m²	entfällt
Lüftung	über Wintergarten	nach aussen
Ormalingen		
Transparente Wärmedämmung	41 m², davon 24% Rahmen	entfällt
Südfenster	28 m², davon 40% Rahmen	14 m², davon 33% Rahmen
Westfenster	10 m², davon 17% Rahmen	7 m², davon 20% Rahmen
Anteil an der Fassade	Süd 39%, West 24%	Süd 20%, West 16%
Südwand	ausschliesslich Fenster und TWD-Elemente	18 cm Vollziegel, 16 cm Mineralwolle
Leuk		
Dach	43 m² Solarkollektoren, 128 m² Ziegel	171 m² Ziegel
Speicher	19 m³ Saisonalpeicher	entfällt
Wärmeverteilung	Fussbodenheizung	Radiatoren

1) Richtlinien für die Definition des Referenzobjekts.
Das Referenzhaus ist das Solarhaus ohne Solarkomponenten, insbesondere
Masse: nur konstruktiv notwendige Bauteile und Bauteilstärken.
Fensterfläche: insgesamt (alle Orientierunen) 20% der Wohnfläche.
Fassade: Solarkomponenten durch normale Fassade ersetzen

2
Unterschiede zwischen Solarhaus und Referenzhaus

Diskussion

Mit der gewählten Definition des Referenzobjekts wird die Messlatte für das jeweilige Solarhaus sehr hoch angesetzt. Multifunktionale Elemente wurden nur zurückhaltend reduziert. Schwer quantifizierbare «Elemente» wie Kompaktheit, Orientierung, Fensterflächenverteilung wurden unverändert belassen. Die Referenzobjekte weisen daher selbst noch gewisse solare Elemente auf, und sind zudem sehr gut gedämmt.

Dementsprechend ist auch ihr Energieeinsatz für den Betrieb der Heizung sehr niedrig. Er bewegt sich zwischen ungefähr 50 MJ/m²a für Haus Zollikofen am Standort Lugano und etwa 300 MJ/m²a für das Haus Leuk am Standort Zürich. Einzige Ausnahme ist das Haus Leuk am Standort Davos, das den höhenkorrigierten Zielwert nach SIA 380/1 knapp nicht erfüllt.

Zu beachten ist, dass der Energieeinsatz den Anlagenwirkungsgrad und die Bereitstellung des Energieträgers berücksichtigt. Der eigentliche Heizenergiebedarf beträgt etwa 75% des in Bild 5 angegebenen Betriebsenergieeinsatzes.

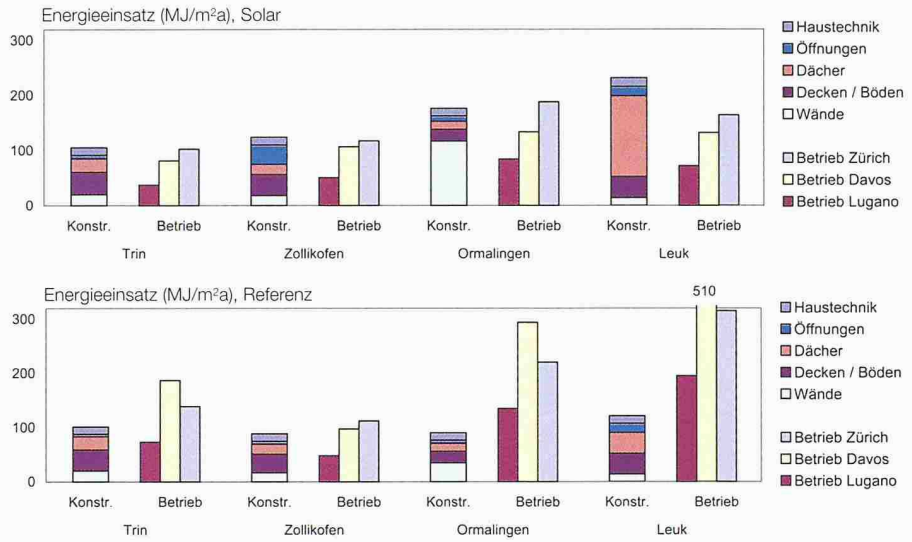
Die Definition des Referenzobjekts, sowie die Annahme einer konventionellen Heizung auch für die Solarhäuser (real hat

3
Standardnutzung

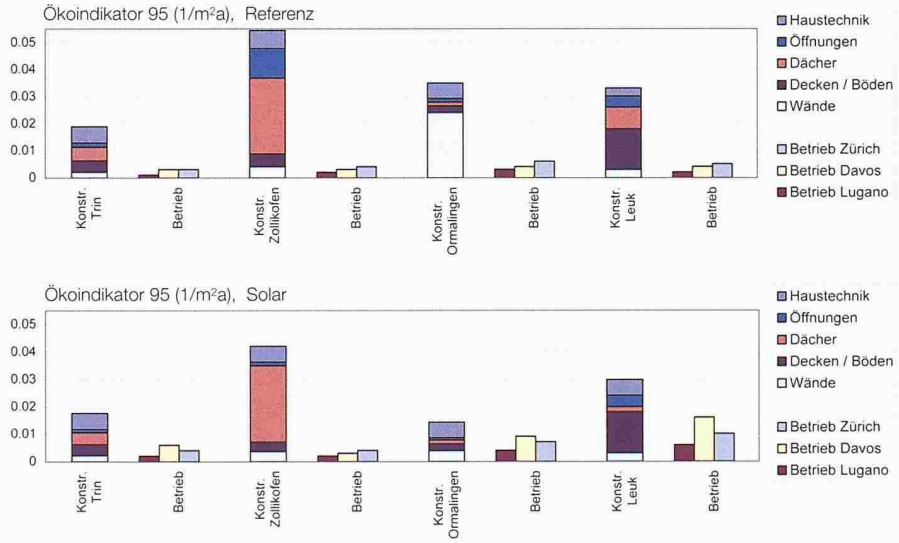
Variante	Personen (Anwesenheit)	Elektrische Energie	Reduktionsfaktor Elektroabwärme	Luftwechsel	Raumtemperatur
		MJ/(m²a)	-	h-1	°C
Solar- und Referenzhaus	50 m²/P (je 12 h/d)	80	0,7	0,4	20

4
Amortisationszeiten für Energieeinsatz und Ökoindikatorpunkte in den gewählten Klimaregionen

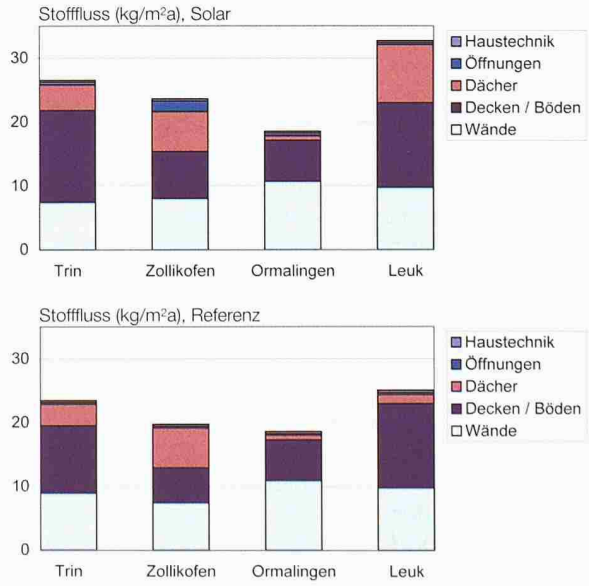
Objekt	Klima	Amortisationszeit (Jahre) bezüglich: Energieeinsatz	Ökoindikator 95
Trin	Lugano	6	55
	Davos	2	19
	Zürich	6	55
Zollikofen	Lugano	keine	keine
	Davos	keine	keine
	Zürich	keine	keine
Ormalingen	Lugano	145	1047
	Davos	46	330
	Zürich	229	1652
Leuk	Lugano	33	226
	Davos	21	159
	Zürich	42	316



5
Energieeinsatz für Konstruktion und Betrieb. Die Stapelbalken repräsentieren die Werte für die Konstruktion, aufgeschlüsselt nach Elementgruppen. Rechts daneben finden sich für jedes Objekt die Werte für den Betrieb, aufgeschlüsselt nach Standorten.



6
Ökoindikatorpunkte für Konstruktion und Betrieb. Die Stapelbalken repräsentieren die Werte für die Konstruktion, aufgeschlüsselt nach Elementgruppen. Rechts daneben finden sich für jedes Objekt die Werte für den Betrieb, aufgeschlüsselt nach Standorten.



7
Stofffluss für Konstruktion. Die Stapelbalken repräsentieren die Werte aufgeschlüsselt nach Elementgruppen.

nur das Haus Zollikofen eine solche Anlage), die Nicht-Berücksichtigung möglicher Recyclat-Anteile und eher vorsichtige Ansätze für die Lebensdauer führen insgesamt zu einer konservativen Abschätzung der Amortisation der Solarkomponenten.

Bei den hier untersuchten Solarhäusern und ihren Referenzobjekten liegt der Energieeinsatz für Konstruktion und Betrieb etwa in der gleichen Grössenordnung. In einigen Fällen übertrifft die in der Konstruktion inkorporierte Energie den Energieeinsatz für den Betrieb. Die Konstruktion kann bei Niedrigenergiehäusern weder in der solaren Version noch im Referenzfall gegenüber dem Betrieb vernachlässigt werden.

Anders stellt sich die Situation beim Blick auf den Ökoindikator 95 dar. Bei den Solarhäusern dominiert hier eindeutig die Konstruktion. Auch im Referenzfall stammt der grössere Beitrag von der Konstruktion. Die auffälligsten einzelnen Beiträge stammen beim Haus Zollikofen (Solar und Referenz) vom Dach (Stahlkonstruktion und Styropordämmung), beim Haus Zollikofen (Solar) von der grossflächigen Verglasung des Wintergartens (inklusive Stahlrahmen) und der Südfassade, beim Haus Ormalingen (Solar) von den TWD-Elementen (Material und Lebensdauer), beim Haus Leuk (Solar und Referenz) vom Boden (PU-Dämmung im EG).

Mit Ausnahme von Haus Zollikofen (Solar, Verglasung des Wintergartens mit Stahlrahmen) und von Haus Leuk (Solar und Referenz, Fenster mit Holz-Alu-Rahmen) spielen die Fenster in der Gesamtbilanz hier eine untergeordnete Rolle. Die grosse Masse im Haus Trin (Solar) führt nicht zu Bilanzwerten, die stark vom Referenzobjekt oder den anderen Häusern abweichen. Insbesondere wird der Stofffluss durch massive, aber langlebige Bauteile weniger stark beeinflusst, als zunächst vermutet werden könnte. Im Referenzobjekt wird die Schichtdicke des Betons in der Deckenkonstruktion stark reduziert und die Kalksandsteinschicht durch eine Unterlage aus einer Hartfaserplatte ersetzt. Da die Herstellung von Hartfaserplatten relativ energieaufwendig ist, bleiben die Umweltwirkungen fast gleich.

Hier und an weiteren Stellen zeigte sich, dass die Materialgruppe einen grösseren Einfluss haben kann als die Menge.

Die Amortisationszeiten (Bild 4) fokussieren die Betrachtung nun auf die Auswirkungen der solaren Elemente. Das Haus Trin weist als einziges Objekt an allen Standorten und für alle Kategorien Amortisationszeiten auf, die unterhalb der Nutzungsdauer liegen. Selbst am Standort Zürich mit ausgedehnten Hochnebellagen in der Heizperiode kann eine energetische Amortisation in nur sechs Jahren erreicht werden. Beim realen Objekt dürfte die Amortisation sogar eher noch günstiger ausfallen, da das Haus weder Heizung noch Chemineeofen besitzt und der tatsächliche Heizenergiebedarf nahe bei Null liegt.

Das Haus Zollikofen ist, absolut betrachtet, in der Konstruktion energetisch sehr günstig und profitiert im Betrieb energetisch von der kompakten Bauweise als Reihenhaus und von der Erdabdeckung. Da aber das Referenzobjekt nicht nur in der Konstruktion, sondern auch im Betrieb in allen Kategorien günstiger abschneidet als das Solarhaus, ist keine Amortisation möglich.

Der hochverglaste Wintergarten wird im Referenzfall ersetzt durch eine gut gedämmte Fassade, wodurch die Transmissionsverluste in beiden Fällen fast gleich sind. Höheren Lüftungsverlusten im Referenzobjekt stehen andererseits höhere direkte Solargewinne im Wohnbereich gegenüber, was zu leichten Einsparungen an Betriebsenergie im Vergleich zum Solarhaus führt.

Das Haus Zollikofen ist in diesem Sinne weniger ein Solarhaus denn ein Haus mit einer «bewohnbaren Wand», dem Wintergarten, der eine Nutzung des Aussenraums an einer lärmbelasteten Lage und während einer längeren Periode des Jahres zulässt.

Beim Haus Ormalingen amortisiert die transparente Wärmedämmung nur energetisch, und da auch nur am sehr einstrahlungsreichen alpinen Standort Davos. Günstig für die Amortisationszeit ist die sehr lange Heizperiode. Nicht nutzbare Erträge der TWD fallen in Davos praktisch nicht an. Aufgrund der Materialien (Metalle, Kunststoffe, Glas) und der Lebensdauer der TWD wird eine Amortisation der Ökoindikatorpunkte in keinem Fall erreicht. Die TWD ist ein zusätzliches Element am Gebäude, und ihr Ertrag ist nur während der Heizperiode nutzbar. Ausserhalb der Heizperiode müssen eventuell sogar zusätzliche Massnahmen getroffen werden, um dann unerwünschte solare Erträge zu vermeiden. Damit fällt relativ viel konstruktiver Aufwand bei zeitlich begrenztem Nutzen an.

Die Solaranlage beim Haus Leuk amortisiert sich immerhin energetisch an allen betrachteten Standorten, wenn auch erst nach einem Viertel bis der Hälfte der Lebensdauer des Gebäudes. Eine Amortisation nach Ökoindikatorpunkten ist nicht möglich, auch wenn die Bilanz weniger negativ ausfällt als beim Haus Ormalingen. Wie dort liegt hier das Problem zum einen in den Kollektor- und Speichermaterialien und der angenommenen Lebensdauer dieser Komponenten. Zum anderen entstehen auch bei einem Saisonalspeicher im Sommer grosse, nicht nutzbare Ertragsüberschüsse, die die Gesamtbilanz negativ beeinflussen, obwohl bei der Berechnung der Amortisationszeiten eine Gutschrift für den Warmwasserertrag berücksichtigt wurde.

Fazit

Die Beurteilung der ökologischen Qualität eines Gebäudes anhand des Energieeinsatzes ist ein geläufiges Verfahren. Die Untersuchung zeigt aber, dass in allen Fällen die Amortisationszeit für die Ökoindikatorpunkte wesentlich länger dauert als für den Energieeinsatz. Zwar lässt sich keine allgemein verbindliche Gewichtung der Kriterien angeben. Trotzdem zeigen die Resultate, dass die Energie nicht der alleinige Bewertungsmassstab sein sollte. Es ist zu vermuten, dass das Optimierungspotential bezüglich anderer Kriterien noch wenig ausgeschöpft ist.

Solare Komponenten und ökologische Gesamtbilanz

Einerseits weisen vor allem hybride oder aktive solare Komponenten zur Raumheizung Probleme mit der Amortisation auf. Andererseits kann auch eine ungünstig gewählte Konstruktion für ein nicht solares Element erhebliche Umweltwirkungen aufweisen (zum Beispiel das Dach beim Haus Zollikofen). Eine günstige Gesamtbilanz kann auf vielen Wegen erreicht werden. Solare Komponenten sind dabei ein mögliches Gestaltungselement.

Standort und Systemwahl

Die Mehraufwendungen für Material zur Nutzung des solaren Direktgewinns sind gering. Dadurch ergeben sich auch bei mässigen Solargewinnen wie im Mittelland kurze Amortisationszeiten. Indirekte passive Solarnutzung zum Beispiel mittels TWD benötigt einen grösseren Materialaufwand ohne einen entsprechenden Mehrgewinn an Solarenergie, da die Erträge ausserhalb der Heizperiode nicht nutzbar sind. Eine Amortisation wird nur energetisch und nur an sehr sonnenreichen Standorten mit langer Heizperiode erreicht.

Aktive Solarsysteme zur Heizung amortisieren sich dank der zusätzlichen Nutzbarkeit eines Teils der Überschüsse für die Warmwasserbereitung energetisch an allen Standorten, müssen aber bezüglich ihrer anderen Umweltwirkungen noch optimiert werden.

Fenster

Der Anteil der Fensterverglasung (mit k-Wert um 1 W/m²K) an der Ökobilanz der gesamten Konstruktion ist gering. Dies bedeutet, dass die Fensterfläche allein aus einer Optimierung von Solargewinnen gegenüber thermischem Verlusten bestimmt werden kann. Fensterrahmen mit Metall (zum Beispiel bei Haus Zollikofen und Haus Leuk) haben dagegen einen spürbaren Einfluss auf die Bilanz.

Materialwahl und Konstruktion

Speicherfähige und energieintensive Materialien sollten dort eingesetzt werden, wo sie sich positiv auf das Raumklima und den Heizenergiebedarf auswirken können. Mauerwerk ausserhalb der Dämmschicht (zum Beispiel bei Haus Leuk) hat keinen Einfluss auf den Temperaturausgleich im Gebäude.

Extrem viel Masse innerhalb der Dämmschicht bringt nur noch wenige Prozentpunkte an Heizenergieeinsparung gegenüber einem «normal massiv» gebauten Haus. Die Masse wirkt sich aber kaum negativ auf die Bilanz aus und kann unter günstigen Umständen eine Heizungsanlage überflüssig machen.

Prioritäten

Vorausgesetzt wird eine sehr gute Wärmedämmung der Gebäudehülle. Langlebigen, möglichst wenig umweltbelastenden Materialien sollte immer der Vorzug gegeben werden. Dann sollten Massnahmen zur Minimierung der Gesamtbelastung durch Herstellung, Erneuerung und Betrieb in folgender Reihenfolge in der Planung berücksichtigt werden:

- 1. Massnahmen ohne Materialaufwand (zum Beispiel Öffnung nach Süden, Kompaktheit)
- 2. Bauliche Massnahmen ohne spezielle Materialien (zum Beispiel Speichermasse, Fensterfläche)
- 3. Aktivsysteme (zum Beispiel Solarkollektor und Saisonalspeicher).

Problematisch scheint die Passiv-Solarnutzung mittels Komponenten aus Metallen und/oder Kunststoffen (TWD, Wintergarten). Der Ertrag ist geringer als bei Aktivsystemen, und Überschüsse ausserhalb der Heizperiode sind nicht nutzbar.

Aktivsysteme wie in Leuk profitieren dagegen von der Gutschrift für Warmwasser, das heisst die höheren Materialaufwendungen ermöglichen einen höheren, ganzjährigen Solarertrag.

Renovation

Die oben gemachten Aussagen gelten, sofern anwendbar, auch für Renovationen.

Offene Fragen

- *Nutzungszeiten:* Es fehlen noch realistische Werte für die Nutzungszeiten mancher Komponenten. Dies betrifft Solaranlagen, aber auch zum Beispiel witterungsgeschützte Fenster zwischen Wintergarten und Wohnbereich. Die angenommenen Nutzungszeiten liegen oft unter derjenigen des entsprechenden Fassadenelementes. Darüber hinaus sollten die Material- und Systementwicklung möglichst lange Nutzungszeiten anstreben.
- *Recycling:* Zum möglichen Umfang und Effekt von Recycling gibt es kaum belastbare Daten. Gerade die Ökobilanz von Solarsystemen würde aber von der bestmöglichen Wiederverwendung der eingesetzten Materialien profitieren.
- *«Einfache» Systeme:* Es ist nicht bekannt, wie bewusst einfach (und kostengünstig) gehaltene aktive Systeme im Vergleich zu ertragsoptimierten Systemen abschneiden würden. Als Beispiel kann das Haus Trun genannt werden, das mit einem einfach verglasten Solar-Luft-Kollektor und der dahinter liegenden Holzfassade als Absorber, sowie einem Hypokaustboden ausgestattet ist.
- *Materialien:* Kritische Punkte sind die nicht-energetischen Wirkungen der eingesetzten Materialien. Es ist nicht bekannt, inwieweit hier neue Werkstoffe Fortschritte bringen können.

Adresse der Verfasserinnen:
Anne Haas, Dr. rer. nat., Empa, Überlandstrasse 129, 8600 Dübendorf, (vormals Solararchitektur, ETH Zürich). *Dorothe Gerber,* dipl. sc. nat., Metron Raumplanung AG, Stahlrain 2, 5200 Brugg

Literatur

[1] *Gerber D. und Haas A.*: Vergleichende Ökobilanz von Niedrigenergiehäusern mit und ohne solare Heizunterstützung. Empa-ZEN. 8600 Dübendorf, 2000

[2] *Mauch U. und Scheidegger, A.*: Nachhaltigkeit des Bauens in der Schweiz. Infras AG. Zürich, 1996

[3] *Loske R. und Bleischwitz R.*: Zukunftsfähiges Deutschland. Birkhäuser Verlag. Basel, 1996

[4] *Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit* (Hrsg.): Umweltpolitik - Klimaschutz in Deutschland. Erster Bericht der Regierung der Bundesrepublik Deutschland nach dem Rahmenübereinkommen der Vereinten Nationen über Klimaveränderungen. Bonn, 1994

[5] *Koch P., Lalive d`Epinay A. und Gugerli H.*: Instrumente für ökologisches Bauen im Vergleich. SI+A Nr. 27/28, 1999. S. 615ff

[6] *Amt für Bundesbauten* (Hrsg.): Nutzungszeiten von Gebäuden und Bauteilen. AFB, Effinger Strasse 20, 3003 Bern, 1995

[7] *Kohler N. et al.*: Schlussbericht 996OGI/7DATO Optimierung von Gesamtenergieverbrauch, Umweltbelastung und Baukosten. ifib, Universität Karlsruhe. Karlsruhe, 1996

[8] *Klein S. A. et al.*: TRNSYS - A Transient System Simulation Program. Solar Energy Laboratory, University of Wisconsin - Madison. 1500 Engineering Drive, Madison, WI 53706, 1996

Dank

Wir möchten den Architekten und Planern der Häuser für die Bereitschaft danken, Unterlagen zur Verfügung zu stellen und offene Fragen zu diskutieren.
Anne Haas, Dorothe Gerber