

*Jahresbericht 2002*

# *Ökologische Optimierung von Solargebäuden über deren Lebenszyklus*

Autor	Dr. Annick Lalive d'Epinay Steinle
beauftragte Institution	Basler & Hofmann, Ingenieure und Planer AG
Adresse	Forchstrasse 395, 8029 Zürich
E-Mail, Internetadresse	alalive@bhz.ch; www.bhz.ch
BFE Vertrags-Nummer	79'946
Dauer des Projekts (von – bis)	1.12.2000 – 30.9.2003

## **ZUSAMMENFASSUNG**

Solargebäude versuchen unter Ausnutzung der Sonnenenergie den Passivhausstandard zu erreichen. Ein Passivhaus beschränkt den Betriebsenergiebedarf auf ein Minimum. Um den Passivhausstandard zu erreichen, gibt es sehr verschiedene Haustechnikkonzepte: Von der total passiven Nutzung der Sonnenenergie bis zur aktiven Nutzung dieser Quelle.

In diesem Projekt wird der Frage nachgegangen, ob sich über den gesamten Lebenszyklus betrachtet die Aufwändungen für die Haustechnik und die Erstellung des Gebäudes lohnen verglichen mit den Einsparungen an Betriebsenergie. Dafür wird die Methodik der Ökobilanz angewendet.

Zwei Gebäude wurden mit zwei verschiedenen Instrumenten bewertet. Die Resultate sind provisorisch. Im einen Instrument kann die Haustechnik nur ungenügend abgebildet werden, deshalb erscheint sie auch nicht als relevant. Im anderen Instrument weisen die Anlagen für Wärme und Strom die höchste Umweltbelastung auf, gefolgt von den Wänden und Böden.

Im Internationalen Projekt wurde die Analyse der Passivhäuser, die im Beispiel-Buch Sustainable Solar Housing präsentiert werden, vorangetrieben. Im folgenden Jahr wird ein grosser Arbeitsschub anstehen. Es werden weitere Gebäude ökobilanziert und im Speziellen werden drei Haustechnikkonzepte im Detail studiert.

## Projektziele

Es ist das Ziel des Projektes *Ökologische Optimierung von Solargebäuden über deren Lebenszyklus*, anhand vorhandener Methoden zur ökologischen Bewertung von Gebäuden.

- die ökologischen Auswirkungen verschiedener Passivhäuser über deren gesamten Lebenszyklus zu erfassen und zu analysieren
- und daraus Planungsgrundlagen für zukünftige Projekte zu verfassen und in einem Handbuch festzuhalten.

In der ersten Phase werden verschiedene Passivhäuser, die sich insbesondere durch ihre Haustechnik unterscheiden, mit der Methodik der Ökobilanz untersucht. Es wird geprüft, ob sich die Aufwendungen an Haustechnik, um den Passivhausstandard zu erreichen, über den gesamten Lebenszyklus des Gebäudes betrachtet auszahlen oder nicht. Die Resultate fliessen in das Beispielbuch *Marketable Sustainable Solar Housing* des internationalen Projektes *SHC Task 28 Sustainable Solar Housing* ein.

Das Projekt dient dazu, nicht nur eine einseitige Betriebsenergieoptimierung zu erreichen, sondern eine Gesamtsicht der Dinge im Auge zu halten. Es werden Energiesparpotentiale aufgedeckt.

Für das Jahr 2002 mussten die ursprünglichen Ziele wegen einer längeren Abwesenheit der Projektverantwortlichen reduziert werden. Folgende Ziele wurden neu gesteckt:

- Bewertung zweier Gebäude mit *OGIP*
- Verschiedene Beiträge zur Beispielsammlung *Marketable Sustainable Solar Housing*
- Auswerten der Resultate der Checkliste für mehrere Beispielbauten
- Erarbeiten der Kapitel „Einführung“ und „Methoden“

## Durchgeführte Arbeiten und erreichte Ergebnisse

### ANALYSE ZWEIER PASSIVHÄUSER

#### *Das Passivhaus Sunny Woods*

In Zürich Höngg, an bevorzugter, sonniger Hanglage, entstand in den Jahren 2000/2001 das Passivhaus Sunny Woods des Architekten Beat Kämpfen. Es ist ein Haus im gehobenem Standard für sechs Familien.

Es handelt sich um einen viergeschossigen Holzelementbau aus drei Einheiten mit jeweils zwei übereinander liegenden Maisonettewohnungen. Jede Wohnung im Haus hat den Charakter eines Einfamilienhauses mit einer getrennten Erschliessung von aussen. Zudem hat jede Wohnung ihre eigene Haustechnikzentrale.

#### Energiekonzept

Ein wichtiges Element des Energiekonzeptes ist die konsequente Zonierung in einen beheizten und einen unbeheizten Bereich, was eine weitgehend lückenlose Konstruktion der Wärmedämmung mit minimalen Wärmebrücken ermöglichte. Zudem wird die Energie der Sonne konsequent genutzt, sowohl passiv wie auch aktiv.

### **Die Passivhaussiedlung Wegere**

Es handelt sich um eine Reihenhaussiedlung im luzernischen Schötz, welche in drei Etappen gebaut wird. Die siebzehn Häuser werden von der Holzbaufirma *Renggli AG* geplant und erstellt.

Die Häuser sind versetzt zueinander angeordnet und die Wohnflächen verteilen sich auf zwei Etagen (4½-Zimmer-Wohnungen auf einer Nettowohnfläche von 128 m<sup>2</sup>). Konstruktiv sind die Häuser in Holzbauweise mit vorgefertigten Elementen, ausgefüllt mit Steinwolle, erstellt worden.

#### Energiekonzept

Neben der passiven Sonnenenergienutzung sind die dichte, gut isolierte Gebäudehülle, ein Erdregister, eine kontrollierte Wohnungslüftung mit Wärmerückgewinnung und eine Wärmepumpe wichtige Elemente des Haustechnikkonzeptes. Jedes Haus hat seine eigene Lüftung und Wärmebereitstellung.

### **Analyse mit OGIP**

OGIP steht für **O**ptimierung der **G**esamtanforderungen (Kosten/Energie/Umwelt) - ein Instrument für die **I**ntegrale **P**lanung.

Neben der Bewertung der Umweltverträglichkeit werden auch die Kosten und der Energiebedarf evaluiert. Für die Bewertung der Umweltverträglichkeit wird die Methode der Ökobilanzierung verwendet. Das Instrument benutzt die Elementkostengliederung des *CRB* (Centre de Rationalisation du Bâtiment) für die Aufnahme des Gebäudes.

Die Ökoinventardaten stammen aus der Datenbank *Ecoinvent* [1]. Bewertet werden sie mit der schweizerischen Methode der Umweltbelastungspunkte [2] des *BUWAL* (Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft). Die Resultate werden in einer Spinnengrafik präsentiert, und zwar jeweils für die Betriebsphase und für die Herstellungsphase mit den Kriterien Franken, MJ Energiebedarf und Umweltbelastungspunkte.

### **Analyse mit EcoCheck**

Die Gebäude werden zusätzlich mit einer einfachen, auf Excel basierenden Methode *EcoCheck* (vergleiche [3]) berechnet. Im Gegensatz zu *OGIP* sind dort nur die Materialien und keine Bauvorgänge wie Kranstunden etc. berücksichtigt. Auch fallen die Transportwege weg. Die Entsorgung der Baumaterialien wird berücksichtigt.

Auch *EcoCheck* beruht auf der Ökobilanzmethodik. Es werden Angaben zur Betriebsenergie und zu allen im Gebäude verarbeiteten Baumaterialien benötigt. Die Baumaterialien werden elementweise anhand der Schichtdicken und Materialdichten in kg eingegeben.

### **Systemgrenzen**

Für alle Gebäude und beide Berechnungsmethoden werden dieselben Teile der Gebäude in die Bewertung einbezogen. Berücksichtigt werden folgende Bauelemente:

- Elementgruppe C: Baugerüste, falls notwendig (bei vorfabrizierten Bauelementen fällt diese Gruppe häufig weg)
- Elementgruppe D: Fundamente (nicht berücksichtigt werden Aushub und Hinterfüllungen)
- Elementgruppe E: Rohbau
- Elementgruppe I: Haustechnik (Heizungsanlagen, lufttechnische Anlagen und Wasser- & Abwasser, inkl. Solaranlagen)
- Elementgruppe M: Innenausbau nur Bodenbeläge, Deckenverkleidungen, Sonnenstoren und Trennwände

## Erste Resultate

Tab. 1: Resultate für das Haus Sunny Woods aus den Berechnungen mit OGIP

		UBP Bau [UBP]	UBP Betrieb [UBP]	
	Beheizen/Belüften/Beleuchten	0	13'513'955'003	
D2 2	Bodenplatten	80'976'586	551'457	
D2 5	Oberfl'behandlungen im Rohbau	9'374'040	18'790'054	
E0 1	Decken	59'571'647	31'455'277	
E0 3	Balkone	7'127'448	4'199'349	
E0 4	Treppen, Podeste, Rampen	6'727'801	43'619	
E1 0	Dächer	38'871'564	147'421	
E1 5	Flachdachbeläge	779'726	1'635'851	
E3 1	Aussenwände tragend	29'084'069	174'867	
E4 1	Aussenwände tragend	34'878'237	3'141'676	
E4 4	Aussenbekleidungen mit Wärmedämmung	4'357'092	11'849'511	
E4 5	Aussenbekleidungen ohne Wärmedämmung	608'674	8'677'895	
E5 1	Fenster, Fenstertüren	27'157'381	68'501'562	
E5 2	Aussentüren	0	1'174'128	
E6 2	Innenwände nichttragend	9'895'444	66'100	
M1 1	Trennwände fest	15'256'969	84'379'040	
M1 6	Innentüren	401'208	1'945'070	
M3 1	Unterlagsböden	104'120'621	222'627'196	
M3 4	Plattenbeläge	4'889'969	5'006'512	
M3 6	Holzbodenbeläge	639'342	3'669'027	
M4 2	Wandbekleidungen	983'107	5'037'383	
M5 2	Deckenbekleidungen abgehängt	4'104'582	8'249'934	
T5 4	Treppen, Rampen	1'927'828	3'892'157	<b>Total</b>
			<b>13'999'170'089</b>	<b>14'440'903'425</b>
<b>TOTAL 80 Jahre</b>		<b>441'733'336</b>		
<b>TOTAL pro Jahr</b>		<b>5'521'667</b>	<b>174'989'626</b>	<b>180'511'293</b>

UBP: Umweltbelastungspunkte

Da noch keine Vergleichsdaten vorhanden sind (d.h. andere Passivhäuser analysiert wurden), lassen sich die Daten nicht auf absolutem Niveau diskutieren. Nur der Vergleich innerhalb der Elementgruppen macht vorläufig Sinn. Es lässt sich also zum jetzigen Zeitpunkt nicht sagen, ob das Gebäude generell als umweltschonend bezeichnet werden kann.

Gemäss den Berechnungen in *OGIP* sind die Unterlagsböden ganz besonders umweltrelevant. Ob dies der Realität entspricht, kann nicht bestätigt werden, da die Daten nicht detailliert analysiert werden konnten. Dies ist ein grosser Nachteil von *OGIP*: die hohe Aggregation der Daten erlaubt es nicht, den Resultaten detailliert auf die Spur zu gehen und allfällige Fehler zu identifizieren. In der oben aufgeführten Tabelle (Tab.1) finden sich noch mehr fragwürdige Resultate: Da es sich um ein Nullenergiehaus handelt, wurde für Wärme und Strom während des Betriebs Null MJ eingegeben, trotzdem wird eine Umweltbelastung im Betrieb ausgewiesen. Das Element Aussentüren weist in der Erstellung keine Umweltbelastung auf, im Betrieb jedoch relativ viel. Zudem konnte in *OGIP* der Bau der Haustechnikanlagen und insbesondere der Solaranlagen nicht eingegeben werden.

Ein weiteres, weit grösseres Problem beim Arbeiten mit *OGIP* ist die Eingabestruktur der Elemente. Da die NPKs nicht nur das Material, sondern auch die Dimensionen des Materials bestimmen, müssen z.B. für verschieden dicke Holzlatten verschiedene NPKs definiert werden. Die Anzahl der Reservepositionen, auf welchen eigene NPKs definiert werden können, ist jedoch beschränkt. Um das Gebäude trotzdem abbilden zu können, werden NPKs aus anderen Gattungen verwendet, um die Holzlatten zu definieren.

	Erstellung [UBP]	Erneuerung [UBP]	Total [UBP]
Garage	53'751'000	0	53'751'000
Keller inkl. Fundamente	45'736'000	0	45'736'000
E0 Böden	108'461'000	63'456'000	171'917'000
E1 Dach	5'383'000	2'663'000	8'046'000
E4 Aussenwände	289'588'000	1'4013'000	303'601'000
E5 Fenster und Aussentüren	5'071'000	4'064'000	9'135'000
T5 Holzsteg3030	1'231'000	0	1'231'000
M1 Innentüren, Innenwände	25'360'000	3'752'000	29'111'000
M3 Treppe, Bodenbelag	1'679'000	793'000	2'472'000
M4 Wandbelag	374'000	374'000	748'000
M5 Deckenbekleidung	9'371'000	3'744'000	13'115'000
Anlagen Wärme	135'843'000	297'667'000	433'511'000
Anlagen Strom	94'318'000	282'953'000	377'270'000
Anlagen Lüftung	7'925'000	7'214'000	15'139'000
<b>Total in 80 Jahren</b>	<b>784'090'000</b>	<b>680'694'000</b>	<b>1'464'784'000</b>
<b>Total pro Jahr</b>	<b>9'801'000</b>	<b>8'509'000</b>	<b>18'310'000</b>

UBP: Umweltbelastungspunkte

Tab. 2 Resultate für das Haus Sunny Woods aus EcoCheck

In Tab. 2 sind die Resultate der Berechnungen mit *EcoCheck* dargestellt. In diesen Berechnungen stellen die Haustechnikanlagen für Wärme und Strom die grösste Umweltbelastung dar, gefolgt von der Elementgruppe E4. **Auch hier sind die Resultate erst als provisorische Werte zu verstehen und dürfen nicht für verallgemeinernde Aussagen verwendet werden!**

Es ist deutlich ersichtlich, dass die beiden Methoden, obwohl sie mit denselben Basisdaten arbeiten, zu völlig verschiedenen Resultaten führen. Dies liegt zum einen daran, dass unterschiedlich Systemgrenzen gewählt werden: in *OGIP* sind Aufwendungen für den Bau (Kranstunden etc.) und für Transporte enthalten; in *EcoCheck* sind Aufwendungen für die Entsorgung der Baumaterialien berücksichtigt.

Viele Unterschiede liegen jedoch in der Unterschiedlichkeit der Gebäudeaufnahme und an Fehlern der Programme. Vor allem bei *OGIP* tauchen nicht nachvollziehbare Resultate auf. Für das weitere Vorgehen muss genau überlegt werden, ob mit diesen Instrumenten gerechnet werden soll, vor allem bei *OGIP* ist der grosse Nachteil, dass die Haustechnikanlagen nicht detailliert aufgenommen werden können.

## BEITRÄGE ZUM BEISPIELBUCH MARKETABLE SUSTAINABLE SOLAR HOUSING

Verschiedene Beiträge zum Beispielbuch wurden in englisch verfasst und liegen als überarbeitete Entwürfe vor.

Die Auswertungen der Fragebögen zu den Beispielgebäuden (hier ein Beispiel aus Schweden) gestalten sich wie folgt (Fig.1):

Kontext	Massstab	Projekt: Reihenhäuser – Göteborg – Schweden.
Das Projekt liegt in Schweden, in einer kalten Klimazone in einem Vorort von Göteborg.	Land	Es handelt sich um eine Wohnüberbauung mit 20 Wohnungseinheiten im Reihenhäusstil mit 3-Zimmer Wohnungen.
Das suburbane Wohnquartier befindet sich auf einem Plateau eines steilen Abhangs. Die benachbarten Häuser sind freistehende Einfamilienhäuser, manchmal zu Zweiergruppen angeordnet. Einkaufsmöglichkeiten, Arzt, Post, Primar- und Sekundarstufenschulhaus sind in weniger als 10 Minuten zu Fuss zu erreichen. Eine Universität befindet sich in einer Velodistanz von ca. 10 Minuten. Auch öffentliche Verkehrsbetriebe (städtisch und regional) sind in der Nähe.	Stadt	Das Projekt fügt sich in die gegebene Topografie ein und bringt eine neue öffentliche Erschliessungsstrasse. Die Bebauung respektiert die ursprüngliche Struktur des Bebauungsmusters und entspricht den schwedischen « Normen ». Das Projekt profitiert von den verschiedenen Infrastrukturbauten in der Nähe und bringt der Nachbarschaft seinerseits einen öffentlichen grünen Platz.
Das Grundstück ist Nord-Süd orientiert. Ursprünglich war die Parzelle unüberbaut. Auf der einen Seite grenzen die Gärten der Gebäude an die Gärten der Einfamilienhäuser, auf der anderen Seite an den Abhang des Plateaus. Im Vergleich zu den Einfamilienhäusern stellt die Überbauung eine dichte Überbauung dar; sie hat typischen Vorortscharakter.	Gebäude	Der Grundriss basiert auf einem klassischen Passivhausgrundriss mit geöffneten Lebensräumen gegen Süden und Serviceräumen mit kleinen Öffnungen im Norden. Im Eingangsbereich (ausserhalb der Wohnung) bilden kleine Schöpfungselemente eine Abtrennung zu den Nachbarn und somit eine private Ambiance beim Eingang. Die Gebäude haben alle denselben Grundriss und gehen somit nicht ein auf die verschiedenen Situationen (am Hang oder an der Strasse liegend). Der grüne öffentliche Platz jedoch, als Übergang zu den Einfamilienhäusern gedacht, verbindet die bestehenden Strukturen gut mit der neuen Überbauung. Jede Wohnung hat im Süden seinen privaten Garten. Eine Nutzungsflexibilität der Räume ist gegeben aufgrund der einfachen Gestaltung der Räume und der ebenmässigen Grössen.
Es handelt sich um ein Passivhaus in Schweden, also einem kalten Klima mit wenig Sonne vor allem in den Wintermonaten. Der Zusatzenergiebedarf wird mit einer Holzfeuerung geliefert. Es sind Massivbauten, was den örtlichen Gegebenheiten entspricht. Ursprünglich wurde in der Region jedoch eher in Holz gebaut. Die Kosten betragen ungefähr 800 Euro pro m <sup>2</sup> .	Material, Systeme	Es war ein Ziel des Projektes, aufzuzeigen, dass auch in skandinavischem Klima Passivhäuser erstellt werden können. Dies wird mit einer sehr dicken Isolationsschicht und mit einem kompakten Baukörper erreicht. Auch die Fenster weisen einen sehr guten Isolationswert auf und garantieren somit auch Komfort im Sommer. Auf dem Dach sind Solarpanels montiert. Das Brauchwasser ist ans städtische Netz angeschlossen. Konstruktionsabfälle wurden separat gesammelt und artgerecht entsorgt (nach schwedischem Standard). Die Materialien wurden bewusst nach ökologischen Kriterien ausgewählt und sind recyclingfähig. Die Kosten des Gebäudes sind in der Grössenordnung der üblichen Preise in Schweden.

Fig. 1: Beispiel einer Auswertung der Fragebögen im internationalen Projekt (Entwurf).

## Nationale Zusammenarbeit

Auf nationaler Ebene wurde vor allem mit dem Projektleiter des internationalen Projektes, Robert Hastings, zusammengearbeitet, indem für ihn einige Beiträge zu einem Buch zur Methodik der Ökobilanzierung verfasst wurden.

Daneben wurde mit den Architekten der Beispielgebäude kooperiert. Die Zusammenarbeit beschränkte sich auf das Austauschen von Informationen zu den Häusern, das Liefern von Plänen und die gemeinsame Besichtigung einiger Bauten.

Um mit OGIP zurecht zu kommen, wurde ein Tag an der EMPA bei Herrn Mark Zimmermann verbracht, wo gemeinsam die Fragen und Probleme des Programms diskutiert wurden.

## Internationale Zusammenarbeit

Im Jahr 2002 fanden wiederum zwei internationale Meetings des *IEA Programms IEA SHC Task 28 / BCS Annex 38, Sustainable Solar Housing*, statt: eines in Italien, eines in Schweden. An beiden Treffen wurde nicht teilgenommen, da im Projekt wegen der anfangs erwähnten Abwesenheit zu wenig Fortschritte erzielt worden waren und noch zu wenig interessante Beiträge hätten geliefert werden können.

So beschränkte sich die internationale Zusammenarbeit auf einen intensiven telefonischen und elektronischen Kontakt mit den Leuten aus der LCA-Gruppe des internationalen Projektes, insbesondere mit Kristel de Myttenaere, Belgien, Carsten Petersdorff, Deutschland und Rüdiger Schuchardt, Deutschland. Gemeinsam wurde die Auswertung der Checkliste und die Präsentation der

Resultate erarbeitet. Die anderen Kapitel wurden gemäss den nationalen Projektvorgaben auf die verschiedenen Teilnehmer/-innen aufgeteilt. Die Zusammenarbeit mit dieser LCA-Kerngruppe ist äusserst produktiv und interessant.

Für den zweiten Teil des Projektes, das Bewerten von typischen Lösungsvarianten (auf Haustechnikebene), wurde die Zusammenarbeit mit Maria Wall und Karsten Voss intensiviert. Ein im Januar 2003 stattfindendes Treffen jener Gruppe wird von uns begleitet, damit die Wahl dieser Lösungsvarianten für die Ökobilanzierung geeignet ausfällt.

## Bewertung 2002 und Ausblick 2003

### BEWERTUNG 2002

Die anfangs Jahr neu definierten Ziele wurden nur teilweise erreicht. Zu Schwierigkeiten hat vor allem die sehr aufwändige Erfassung der Gebäude in *OGIP* geführt. Es muss nun evaluiert werden, ob die weiteren Häuser überhaupt noch in *OGIP* erfasst werden sollen.

Das Gebäude Sunny Woods wurde vollständig erfasst mit beiden Instrumenten. Aussagekräftige Schlussfolgerungen sind jedoch erst im Vergleich mit den anderen Gebäuden möglich.

### AUSBLICK 2003

Im Jahre 2003 wird in diesem Projekt ein grosser Arbeitsschub anstehen. Folgende Ziele wurden gesteckt:

#### *Nationales Projekt*

- Bewertung und Darstellung der analysierten Passivhäuser anhand der Ökobilanzmethodik
- Auswahl möglicher Typical Solutions Sets zur ökologischen Analyse treffen
- Drei Typical Solutions Sets ökobilanzieren
- Schlussbericht mit Planungsgrundlagen

#### *Internationales Projekt*

Beiträge zum Buch *Marketable Sustainable Solar Housing* (Beispielbauten)

Beiträge zum *Guide to Cost Effective Design*

## Referenzen:

- [1] R. Frischknecht et al., **Ökoinventar von Energiesystemen**. 3. Auflage, ENET, Bern, 1996
- [2] Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, **Methode der ökologischen Knappheit – Ökofaktoren 1997**. Schriftenreihe Umwelt: Ökobilanzen, Bern, 1998
- [3] A. Lalive d'Epinay, **Die Umweltverträglichkeit als eine Determinante des architektonischen Entwurfs**. Diss ETH Nr. 13610, Abteilung für Umweltnaturwissenschaften, ETH Zürich, März 2000