

*Jahresbericht 2003*

# *Ökologische Optimierung von Solar-gebäuden über deren Lebenszyklus*

Autor und Koautoren	Alex Primas; Dr. Annick Lalive
beauftragte Institution	Basler & Hofmann, Ingenieure und Planer AG
Adresse	Forchstrasse 395, CH-8029 Zürich
E-mail, Internetadresse	alalive@bhz.ch; aprimas@bhz.ch; www.bhz.ch
BFE Vertrags-Nummer	79 946
Dauer des Projekts (von – bis)	1.12.2000 – 31.3.2004

## **ZUSAMMENFASSUNG**

Ziel des Projekts ist es, die ökologischen Auswirkungen verschiedener Passivhauskonzepte über deren gesamten Lebenszyklus zu erfassen, mit der Methode der Ökobilanz zu analysieren und daraus Planungsgrundlagen zu verfassen.

Die Analyse des Passivhauses Sunny Woods in Zürich zeigte, dass das Gebäude über die gesamte Lebensdauer nur 36% der Belastungen eines Referenzgebäudes im üblichen Baustandard aufweist (Bewertung mit Ökoindikator 99). Ein grosser Anteil an der Gesamtbelastung des Gebäudes Sunny Woods machen trotz der Holzbaukonstruktion die massiven Baumaterialien aus (Keller, Unterlagsböden).

Auch die Analyse von Standardlösungen für Solarhäuser zeigte den grossen Einfluss der Grundstruktur des Hauses auf das Resultat. Der Anteil der Dämmmaterialien dagegen überschreitet in keinem Fall 10% der Gesamtbelastung der Gebäude. Weiter zeigte es sich, dass in den energetisch optimierten Gebäuden der Belastungsanteil aus dem Betrieb des Gebäudes je nach Gebäudevariante und Bewertungsmethode nur noch einen Drittel bis ein Zweitel der Gesamtbelastung ausmacht. Aus diesem Grund ist es von Bedeutung, bei der Planung von Passivhäusern nicht allein die Senkung der Betriebsenergie als Ziel zu verfolgen, sondern auch die ökologischen Gesamtbeurteilung des Gebäudekonzepts und die Materialwahl zu berücksichtigen.

## 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 und Handlungsanweisungen für Architekten und Planer für zukünftige Projekte zu verfassen.

Die Untersuchungen wurden auf zwei Ebenen durchgeführt. Zum einen wurden real gebaute Passivhäuser analysiert und zum andern verschiedene Lösungsstrategien für die Erstellung von Solarhäusern mithilfe von Gebäudesimulationen und Ökobilanzierung 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. Diese Resultate fließen in das Handbuch *Guide to cost effective design* des internationalen Projektes *SHC Task 28 Sustainable Solar Housing* ein. Das Projekt dient dazu, nicht nur einseitige Betriebsenergieoptimierungen zu erreichen, sondern eine Gesamtsicht der Dinge vor Augen zu halten. Es werden Energiesparpotentiale aufgedeckt.

Für das Jahr 2003 war in diesem Projekt ein grosser Arbeitsfortschritt geplant. Folgende Ziele wurden gesteckt:

- Bewertung und Darstellung der analysierten Passivhäuser anhand der Ökobilanzmethodik
- Auswahl möglicher Typenlösungen (Typical Solution Sets TSS) zur ökologischen Analyse treffen
- Drei TSS ökobilanzieren
- Entwurf Schlussbericht mit Planungsgrundlagen

Infolge einer längeren Abwesenheit der Projektverantwortlichen mussten die ursprünglichen Ziele vor allem bei der Analyse der Beispielhäuser reduziert werden. Aus diesem Grund wurde auch der Projektendtermin auf Ende März 2004 verschoben.

## Durchgeführte Arbeiten und erreichte Ergebnisse

### ANALYSE VON PASSIVHÄUSER

Es wurden Daten von vier unterschiedlichen Passivhäusern aufgenommen (Sunny Woods, Zürich; Wegere, Nebikon; Wechsel, Stans; Chräbsbach, Winterthur). Eine vollständige Analyse liegt für das Haus Sunny Woods in Zürich vor. Die nachfolgend präsentierten Resultate wurden mit einer, auf Excel basierenden Methode (EcoCheck, vergleiche [3]) berechnet.

#### *Das Passivhaus Sunny Woods*

Das in Zürich Höngg stehende Haus „Sunny Woods“ ist eines der ersten Mehrfamilienhäuser in der Schweiz in einer viergeschossigen, reinen Holzbauweise. Die Wärmeproduktion für Heizung und Warmwasser erfolgt mit einer Wärmepumpe und Solarkollektoren. Zudem produziert eine Photovoltaikanlage den für Heizung und Warmwasser benötigten Strom (kein externer Strombezug angenommen).

Mithilfe der Baugrundlagen (Pläne, Devis) wurde eine Ökobilanz des Gebäudes durchgeführt. Dabei wurden sowohl Erstellung, Erneuerung, Betrieb wie auch die Entsorgung berücksichtigt. Bei einer Bewertung der Daten mit der Methode Ökoindikator 99 weist Sunny Woods über den gesamten Gebäudelebenszyklus (inkl. Betrieb) nur 36% der Belastungen eines Referenzgebäudes im üblichen Bau-

standard auf (siehe Fig. 1). Ein grosser Anteil (33%) an der Gesamtbelastung des Gebäudes Sunny Woods machen die massiven Baumaterialien aus. Dies ist hauptsächlich auf den verwendeten Beton im Keller und die Unterlagsböden der Fussböden zurückzuführen. Es zeigte sich, dass die Dämmmaterialien nur einen Anteil von 5% an der Gesamtbelastung ausmachen. Bei der Haustechnik sind die grössten Anteile auf die Photovoltaikanlage und die Solaranlage zurückzuführen.

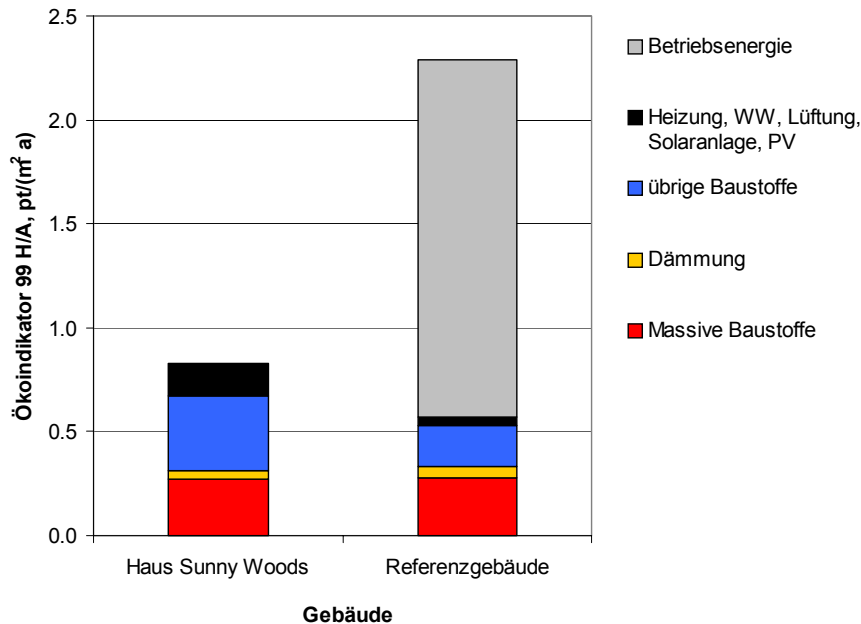


Fig. 1: Haus Sunny Woods, Anteile einzelner Gebäudekomponenten, Analyse mit Ökoindikator 99 H/A

Im Gebäude Sunny Woods wird neben der Minimierung der Wärmeverluste eine Maximierung der Solargewinne erzielt, was sich positiv auf die Ökobilanz auswirkt. Eine weitere Optimierung der ökologischen Leistung ist für dieses Gebäude schwierig und könnte negative Auswirkungen auf andere Faktoren wie z.B. Brandschutz (geringerer Einsatz von Beton), Schallschutz (keine Verwendung von Unterlagsböden) oder das Raumkonzept (kein Keller) zur Folge haben.

### ANALYSE VON TYPISCHEN STANDARDLÖSUNGEN (TSS)

Innerhalb von IEA SHC Task 28 Sustainable Solar Housing [4, 5, 6] wurden drei unterschiedliche Gebäudetypen (Mehrfamilienhaus, Reihenhaushaus, Einfamilienhaus) mithilfe von Gebäudesimulationen untersucht. Für die ökologische Beurteilung wurde das Reihenhaushaus ausgewählt, da es ein häufiger Gebäudetyp bei den Niedrigenergiehäusern darstellt. Auch liegen die pro Quadratmeter Wohnfläche verwendeten Baustoffmengen zwischen denen eines Mehrfamilienhauses (geringe spezifische Baustoffmenge) und denen eines Einfamilienhauses (hohe spezifische Baustoffmenge), was eine Übertragung der Resultate auf die anderen beiden Gebäudetypen leichter ermöglicht.

Neben dem Referenzgebäude, welches einen Energiebedarf aufweist der einer aktuell üblichen Bauweise entspricht (113 kWh/(m²·a) Primärenergiebedarf), werden Gebäudevarianten mit tiefem Energiebedarf (max. 60 kWh/(m²·a) Primärenergiebedarf) untersucht. Die Reduktion des Energiebedarfs wird dabei mit zwei unterschiedlichen Strategien erreicht:

- Strategie 1: erhöhter Wärmeschutz
- Strategie 2: aktive Solarnutzung

Für beide Strategien sowie für das Referenzgebäude wurde für die gemässigte Klimaregion (Referenzstandort: Zürich) je eine Ökobilanz über die Gebäudelebensdauer durchgeführt. Zudem wurden drei

verschiedene Bauweisen unterschieden um Unterschiede in der Materialwahl aufzeigen zu können. Folgende Bauweisen wurden untersucht:

- Konstruktionsvariante A: Massivbau mit Backsteinwänden und Kompaktwärmedämmung an der Fassade sowie hauptsächlich Verwendung von erdölbasierten Dämmstoffen (EPS).
- Konstruktionsvariante B: Massivbau mit Kalksandsteinwänden und hinterlüfteter Fassade sowie hauptsächlich Verwendung von mineralischen Dämmstoffen (Steinwolle).
- Konstruktionsvariante C: Hybridbau mit Wänden ausgebildet als Holzrahmen-Elemente gedämmt mit Zelluloseflocken. Böden aus armiertem Beton.

Im Folgenden sind einige der wichtigsten Resultate für die gemässigte Klimaregion (Referenzstandort: Zürich) und der Bewertung mit Ökoindikator 99 dargestellt (siehe Fig. 2).

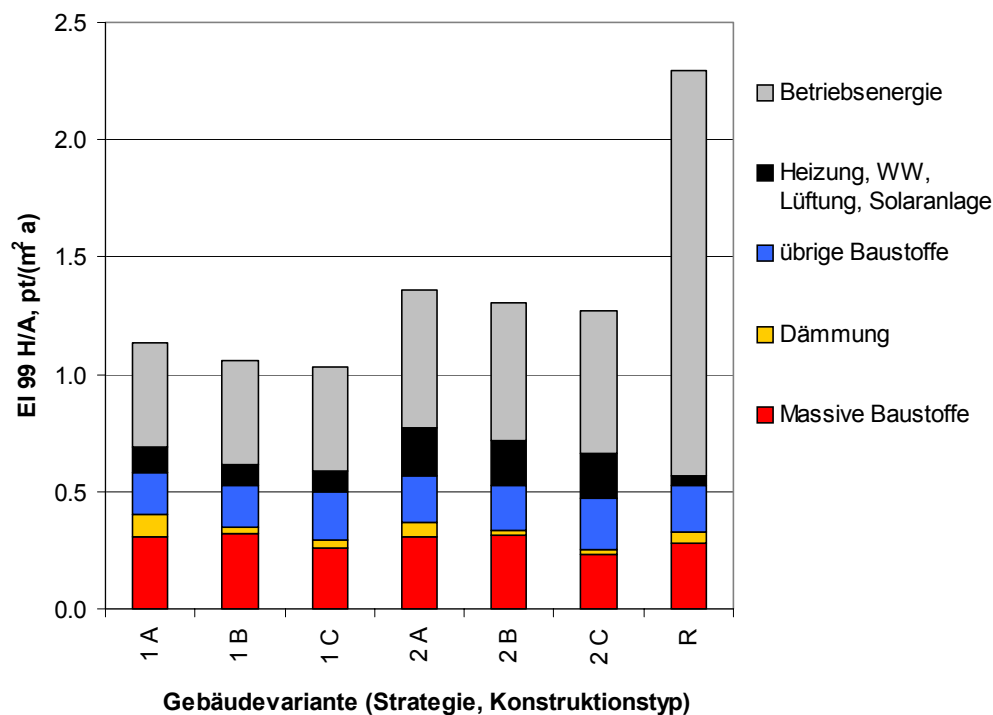


Fig. 2: Analyse der Gebäudekomponenten der Standardlösungen, berechnet mit Ökoindikator 99 H/A. Legende: Strategie: 1 = Wärmeschutz; 2 = Solarer Ertrag; A, B, C = Konstruktionsvarianten; R = Referenzgebäude (Konstruktionsvariante A)

Bei einer Bewertung der Daten mit der Methode Ökoindikator 99 weisen die energieoptimierten Gebäude nur 59-45% der Gesamtbelastung eines Referenzgebäudes im üblichen Baustandard auf (Siehe Fig. 2). Es ist zu erkennen, dass die Betriebsenergie (Heizung, Elektrizität) von energetisch optimierten Gebäuden nur 39-48 % der Gesamtenergie beträgt, während sie sich beim Referenzgebäude auf 73% beläuft.

Allgemein wurde festgestellt, dass ein grosser Teil der Belastungen aus den für die Grundstruktur des Hauses verwendeten Materialien resultiert (Böden, Wände, Dach). Auch verursacht die Erneuerung von Bauelementen über die Gebäudelebensdauer eine ähnlich hohe Belastung wie die Erstellung des Gebäudes. Der Anteil der Dämmmaterialien an der Gesamtbelastung des Gebäudes (inkl. Betrieb) ist gering und überschreitet in keinem Fall 10%. Es zeigten sich leichte Vorteile in der Gesamtbilanz für eine Holzbauweise und Dämmstoffe mit geringem Primärenergieinhalt.

Nicht zu vernachlässigen ist der Einfluss von der Energie, die für Abbau und Entsorgung aufgebracht werden muss (12-17%). In allen Fällen zeigte sich, dass die Transporte zur Baustelle nur eine untergeordnete Rolle spielen.

Die höheren Belastungen der Gebäude mit Strategie 2 (Solargewinne) ist neben dem thermischen Solarkollektor, welcher 10% der Gesamtbelastung ausmacht (einschliesslich Rohre, Wärmeaustauscher und zusätzlich benötigter Speicher) auch auf die Art der eingesetzten Betriebsenergie zurückzuführen. Während in Strategie 1 eine Wärmepumpe eingesetzt wird, erfolgt die Deckung des Restenergiebedarfs in Strategie 2 mit einer Gasheizung (wie beim Referenzgebäude). Die Berechnungen wurden mit dem europäischen Strommix auf Niederspannungsebene durchgeführt.

#### ***BEMERKUNG ZU DEN BEWERTUNGSMETHODEN***

Die Berechnung des kumulierten Energieaufwandes ergab ähnliche Resultate wie die Bewertung mit Ökoindikator 99 mit Ausnahme der Entsorgungsprozesse, welche im kumulierten Energieaufwand nur ein geringes Gewicht haben. Die Bewertung der Resultate mit der Methode der ökologischen Knappheit [2] ergab keine klaren Vorteile für die energieoptimierten Gebäude. Dies liegt daran, dass diese Bewertungsmethode den Ressourcenverbrauch kaum gewichtet. Aus diesem Grund scheint diese Methode nicht geeignet für die Bearbeitung dieser Fragestellungen.

#### ***ALLGEMEINE FOLGERUNGEN***

Für energetisch optimierte Gebäude liegt der Belastungsanteil aus dem Betrieb des Gebäudes je nach Gebäudevariante und Bewertungsmethode nur noch bei einem Drittel bis zur Hälfte der Gesamtbelastung. Damit werden auch Fragen der Materialisierung im Rohbau und der Haustechnikinstallation wichtig. Es ist jedoch schwierig, klare Empfehlungen für das ökologische Optimum einzelner Bauteile (z.B. Kollektorfläche, Art der Wärmeerzeugung) abzugeben, da sich die Belastungen je nach verwendeter Bewertungsmethode für ein Material stark verändern können. Es ist klar, dass bei Bauteilen, welche sich auf den Energiebedarf auswirken (wie z.B. Dämmung, Solarkollektoren, Lüftung) eine Optimierung zusammen mit dem Betriebsenergiebedarf bzw. dessen Reduktion wichtig ist.

Da ein grosser Teil der Belastungen in der Grundstruktur des Hauses liegt, sind Überlegungen zur ökologischen Optimierung bereits in sehr frühen Planungsphasen notwendig, um die Grundkonzeption des Gebäudes entsprechend beeinflussen zu können.

### ***Nationale Zusammenarbeit***

Auf nationaler Ebene wurde vor allem mit dem Projektleiter des internationalen Projektes, Robert Hastings, zusammengearbeitet sowie mit den Architekten der Beispielgebäude kooperiert. Für die Bilanzierung der Lüftungskomponenten wurden die Synergien mit dem Projekt „Ökologische Aspekte von Komfortlüftungen“ genutzt.

### ***Internationale Zusammenarbeit***

Im Jahr 2003 fanden wiederum zwei internationale Meetings des *IEA Projekts IEA SHC Task 28 / BCS Annex 38, Sustainable Solar Housing*, statt: eines in der Tschechischen Republik (Prag), eines in Australien (Brisbane). Eine Teilnahme erfolgte am Meeting in Prag, wo neben der Diskussion der bisherigen Arbeiten vor allem auch die Ökobilanzierung der typischen Lösungsvarianten (TSS) mit den Arbeitsgruppen, welche die Gebäudesimulationen durchführen, abgestimmt wurde. Auf die Teilnahme am Meeting in Australien wurde verzichtet.

Im Weiteren wurden zwei Arbeitstreffen mit den Experten aus der LCA-Gruppe des internationalen Projektes durchgeführt: eines im Januar in Deutschland (Köln) und eines im September in der Schweiz (Zürich). Gemeinsam wurden die Systemgrenzen und Grundannahmen für die Ökobilanz der typischen Lösungsvarianten diskutiert und festgelegt. Im weiteren wurden Möglichkeiten zur internationalen Publikation der Beispielhäuser diskutiert und dem Verlagshaus James & James Publisher unterbrei-

tet. Die Erarbeitung weiterer Kapitel betreffend ökologischer Bewertung wurden gemäss den nationalen Projektvorgaben auf die verschiedenen Teilnehmer/-innen aufgeteilt. Die Zusammenarbeit mit dieser LCA-Kerngruppe war produktiv und interessant.

Die bis Herbst 2003 erarbeiteten Resultate zu den Beispielhäusern und den typischen Lösungsvarianten (TSS) wurde durch den Subtask Leader der LCA Gruppe (Carsten Pettersdorff) am internationalen Meeting in Australien präsentiert.

## ***Bewertung 2003 und Ausblick 2004***

### ***BEWERTUNG 2003***

Die anfangs Jahr definierten Ziele wurden mehrheitlich erreicht. Zu Schwierigkeiten haben vor allem die Probleme bei der Erfassung und Bewertung der Gebäude mit *OGIP* geführt. Aufgrund dieser Schwierigkeiten wurde entschieden, die Beispielgebäude nicht mit *OGIP* sondern mit einer auf Basis von Excel und den zugrundegelegten Basisinventardaten erfolgenden Berechnung durchzuführen (Grundlagen dazu siehe in [3]).

Resultate liegen für das Passivhaus Sunny Woods vor. Für die drei weiteren Häuser sind die Materialeingaben vorhanden aber noch keine Auswertung verfügbar. Aussagekräftige Schlussfolgerungen werden mit dem Vergleich aller vier Gebäude möglich.

Die Analyse der typischen Standardlösungen (TSS) wurde wie vorgesehen durchgeführt. Durch die Unterscheidung verschiedener Materialvarianten innerhalb einer Strategie sind hier viele Resultate verfügbar, für welche noch die entsprechenden Schlussfolgerungen und Handlungsanweisungen ausgearbeitet werden sollen.

In einem Zwischenbericht wurden die erarbeiteten Resultate dokumentiert.

### ***AUSBLICK 2004***

Im Jahre 2004 erfolgt der Abschluss dieses Projekts. Folgende Arbeiten sind bis zum Projektendtermin (Ende März 2004) noch zu erledigen:

#### ***Nationales Projekt***

- Bewertung und Darstellung aller vier Passivhäuser anhand der Ökobilanzmethodik
- Abschliessen der Berechnung und Resultatdiskussion für die TSS
- Fertigstellen des Schlussberichts mit den Planungsgrundlagen und Handlungsanweisungen

#### ***Internationales Projekt***

- Abschluss der Beiträge zum Handbuch *Guide to cost effective design* (Standardlösungen)
- Einbezug der Resultate aller vier Beispielhäuser.

## ***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.
- [4] J. Smeds et al., *Draft Working Document on Regional Reference Buildings and TSS*, Task 28 Subtask B, Design and Analysis, Lund, 2002.
- [5] M. Wall, R. Hastings, *Energy Targets for Simulations of Typical Solutions for High Performance Housing*, Working Document December 2002, Task 28 Subtask B, Design and Analysis, Lund, 2002.
- [6] J. Morhenne & U. Gieseler, *Simulation Results for Row House in Temperate Climate*, Working Document, Task 28 Subtask B, Design and Analysis, Prag, 2003.