

## Vergleich LCA-basierter Gebäudebewertungs- und Planungsinstrumente

Daniel Kellenberger, Abteilung 293 (Technologie und Gesellschaft), Gruppe LCA



### Zusammenfassung

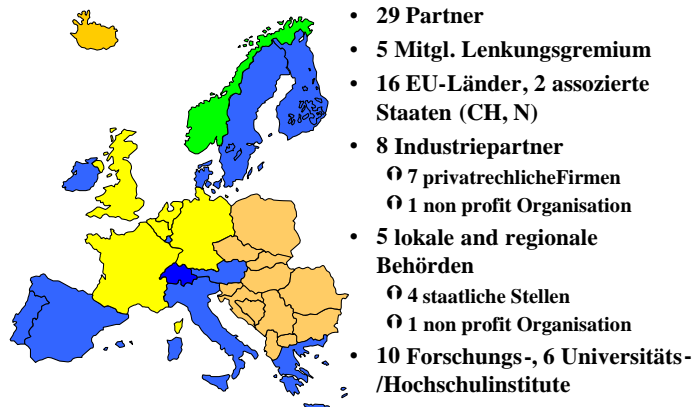
Das Hauptziel des thematischen Netzwerkes PRESCO (Practical recommendations for sustainable construction) ist die Definition eines europäischen Leitfadens zu nachhaltigen Bauen. Neben der Erstellung einer Liste von Nachhaltigkeitsempfehlungen war das Ziel des zweiten Arbeitsblocks der Vergleich von LCA-basierter Gebäudebewertungs- und Planungsinstrumente. Anhand eines Kubus (Stahl, Beton, elektrische Energie) wurden die Eigenschaften und Unterschiede der Methoden anhand einer beschränkten Anzahl Materialien und einer Energieform diskutiert. Weiter wurde anhand eines Gebäudes in drei Ausführungen (Holz, Beton, Wandziegel) die Resultate mit dem einzigen gemeinsamen Indikator „Treibhauseffekt“ (CO<sub>2</sub>-Äq.), verglichen. Die Resultate zeigen eine Streuung von etwa +/- 15 bis 25% im den Mittelwert für die einzelnen bewerteten Materialien Beton, Stahl und Wandziegel wie auch für die Gesamtgebäudebewertung. Als letztes wurden einige Empfehlungen aus der Liste der PRESCO Nachhaltigkeitsempfehlungen auf das Betongebäude angewendet. Die Anwendung jeder einzelnen dieser Empfehlungen zieht nur eine sehr kleine ökologische Verbesserung am Gesamtgebäude nach sich. Eine signifikante ökologische Verbesserung kann durch die Anwendung mehrerer Empfehlungen erreicht werden. Die aus den Resultaten gewonnenen Erfahrungen wurden zur Erstellung einer Liste von Empfehlungen zur Entwicklung und Optimierung von Gebäudebewertungs- und Planungsinstrumente verwendet.

### Summary

Within the PRESCO-network, which main objective is to define a European Code of Practice for Sustainable Building, the objective of the second work package is an intercomparison and benchmarking of LCA-based environmental assessment and design tools, in order to define good practice. The first action consisted in an analysis of a simple geometrical volume, with only two materials concrete and steel (the CUBE). The aim of this part was to see how different the results from each of the tools would be if there are only a limited number of parameters. The following action was the assessment of a complete building in three different structures (with wooden, concrete and brick structure). The results of the first two actions showed a straggling of around +/-15 to 25% of the mean value for all the materials concrete, steel, and brick and for the assessment of the whole building. The final step was to use in a virtual exercise a number of PRESCO recommendations to the concrete structure house. The impact of each of these recommendations – one by one – will be investigated. The influence of each recommendation to the total result is very small. A clear improvement can be achieved when applying several recommendations together. All the different experiences which were made during this work package were used to define a list of recommendation which is useful to improve or design a building environmental assessment and design tool.

## 1. Ausgangslage

Der Vergleich LCA-basierter Gebäudebewertungs- und Planungsinstrumente ist ein Ergebnis aus dem thematischen Netzwerk PRESCO (Practical recommendations for sustainable construction). Im Jahre 2000 wurde von der Europäischen Gemeinschaft die finanzielle Unterstützung für dieses Netzwerk bewilligt, das sich zum Ziel gesetzt hat, einen international abgestützten, praxisnahen Leitfaden zur nachhaltigen Erstellung und Betreibung von Wohn-, Gewerbe- und Industriegebäuden zu erarbeiten. Am Netzwerk nehmen 29 unabhängige Institutionen aus 16 europäischen Ländern teil, die aus den Sparten Bauindustrie, Generalunternehmung, Behörden, Forschungsinstitute und Universitäten kommen. Das Netzwerk wird von Mitarbeitern des belgischen Bauforschungsinstitutes (BBRI) koordiniert, und von einem 5-köpfigen Lenkungsgremium geleitet und hat eine Laufzeit von 4 Jahren. Die Schweiz wird im Netzwerk durch die EMPA Dübendorf vertreten, die erforderlichen finanziellen Mittel hierzu werden vom Bundesamt für Bildung und Wissenschaft in Bern zur Verfügung gestellt.



Das Arbeitsprogramm von PRESCO gliedert sich in zwei Arbeitsblöcke. Das Ziel des ersten Arbeitsblockes ist die Definition eines europäischen Leitfadens für nachhaltiges Bauen. Es wird eine klar strukturierte Zusammenfassung von bestehenden europäischen Empfehlungen zu nachhaltigen Bauen sein, welche Ende 2004 als Datenbank im Internet angeboten werden soll.

Der zweite Arbeitsblock sieht vor, computergestützte Ökobilanzprogramme, die zur integralen Gebäudeplanung eingesetzt werden zu charakterisieren und untereinander zu vergleichen. Ziele sind die Entwicklung benutzerfreundlicher Methoden für ökologischere Gebäudeplanungen, die Förderung des Informations- und Erfahrungsaustausch zwischen neun europäischen Programmentwickler, die Ermöglichung einer Standortbestimmung, die Ermöglichung einer Analyse und der Vergleich der Programme sowie die Erstellung einer Liste allgemeingültiger Empfehlungen für Gebäudebewertungsprogramme. Die EMPA (ZEN: Zentrum für Energie und Nachhaltigkeit) ist mit dem Programm OGIP (Optimierung der Gesamtanforderungen (Kosten/Energie/Umwelt) - ein Instrument für die Integrale Planung) beteiligt. Das Programm ist ein Produkt der t.h.e. Software GmbH in Frankfurt und wurde im Auftrag der CRB (Schweizerische Zentralstelle für Baurationalisierung) entwickelt. Die EMPA hat einen Teil der Sachbilanzdaten geliefert und prüft die Anwendung. Im Rahmen von PRESCO werden an virtuellen oder bestehenden Referenzgebäuden, die von Mitgliedern des Netzwerks vorgeschlagen wurden, Bewertungen der Umweltauswirkungen mit den verfügbaren Programmen vorgenommen. Die Ergebnisse werden verglichen, diskutiert und als Grundlage für einen harmonisierten Ansatz für die Bewertungs- und Planungsmethodik herangezogen. Gleichzeitig wird auch getestet, wie sich die Anwendung von Empfehlungen des im ersten Arbeitsblock entwickelten 'Code of Practice' (Richtlinie) auf die Resultate der Ökobilanz-Programme auswirken. Damit kann dieser 'Code of Practice' überprüft und gegebenenfalls verbessert werden.

## 2. Beschreibung der untersuchten Gebäudebewertungs- und Planungsinstrumente

Die an der Untersuchung beteiligten Gebäudebewertungs- und Planungsinstrumente basieren alle auf der Ökobilanzmethode. Für die Anwendung benötigen sie eine Beschreibung des Gebäudes entweder anhand von CAD-Pläne oder anhand einer Beschreibung der Geometrie. Zusätzlich verlangen alle eine mehr oder weniger exakte Materialbeschreibung. Einige der Programme beinhalten eine Berechnungsroutine für die Ermittlung des jährlichen Energiebedarfes. Die mit dem Modell verknüpften LCI-Daten (Sachbilanzdaten oder Life Cycle Inventory Data) sind je nach Programm sehr unterschiedlich. Einige beziehen Sachbilanzdaten von der SimaPro-Datenbank (Goedkop & Oele (2001)), andere von den Ökoinventaren der ETH Zürich (Frischknecht et al. (1996)) und wieder andere von nationale Datenbanken.

Bei den angebotenen Umweltindikatoren sind die Unterschiede ebenfalls gross. Viele bieten die CML 92 Bewertungsmethode an. Zusätzlich werden von den Programmen aggregierten Grössen wie Energieverbrauch und weitere Indikatoren wie Wasserverbrauch, Abfälle, direkte und/oder externe Kosten, etc. angeboten.

Folgende Gebäudebewertungs- und Planungsinstrumente sind Bestandteil des Vergleichs. Neben dem Namen und der Herkunft sind einige, den oben genannten Eigenschaften abweichende Spezialitäten, aufgeführt. Auf dem Markt sind weitere Instrumente erhältlich, die im Vergleich nicht berücksichtigt werden konnten.

- Eco-Quantum (Niederlande): Diese Programm beschränkt sich auf Wohnhäuser und die verwendete SimaPro-Datenbank (Goedkop & Oele (2001)) kann nicht erweitert oder verändert werden. Der kumulierte Indikator errechnet sich aus einer subjektiven Gewichtung. Enthält auch Standarddatensatz für Möbel und Installationen. Infos unter: [www.ecoquantum.nl](http://www.ecoquantum.nl)
- OGIP (Schweiz): OGIP basiert auf der Elementmethode des CRB (Schweizerische Zentralstelle für Baurationalisierung), die es schon in frühen Projektphasen erlaubt, über die Bauelemente (z.B. Aussenwände oder Decken), die Baukosten von Gebäuden zu berechnen. Die Bauelemente in OGIP sind einerseits mit den Kalkulationsgrundlagen des CRB und der Fachverbände, andererseits mit Ökoinventaren (v.a. der EMPA (Brunner et al. (2001)) und der ETH Zürich (Frischknecht et al. (1996)) verknüpft. Über eine Schnittstelle zu SIA 380/1 „Energie im Hochbau“ kann auch die benötigte Betriebsenergie berechnet werden. Die Bewertungsgrössen sind Umweltbelastungspunkte (UBP) nach der Methode der ökologischen Knappheit (BUWAL (1998)), Primärenergie sowie effektive und externe Kosten. OGIP '98 ist die Beta-Version des Programms. Eine Neuauflage mit den aktuellen Ecoinvent Daten ([www.ecoinvent.ch](http://www.ecoinvent.ch)) soll im Herbst 2004 folgen. Infos unter [www.ogip.ch](http://www.ogip.ch)
- EQUER (Frankreich): Die hinterlegten Sachbilanzdaten für Materialien und Prozesse (Energie, Wasser, Abfall und Transporte) stammen mehrheitlich aus den Ökoinventaren der ETH Zürich (Frischknecht et al. (1996)) und von Daten aus einem grossen französischen Projekt. EQUER ist mit einem französischen Energiesimulationsprogramm verknüpft. Infos unter: <http://www.izuba.fr/equer.htm>
- ENVEST (England): Die Sachbilanzdaten basieren auf verschiedene Quellen (Bsp. APME (Boustead (1999)), SimaPro (Goedkop & Oele (2001) etc.) welche auf die BRE Methode angepasst sind (BRE: Building Research Establishment Ltd. in England). Die Daten beziehen sich vorwiegend auf Produkte die in England produziert und konsumiert werden. Das Programm beschränkt sich auf Bürogebäude. Infos unter <http://investv2.bre.co.uk/>
- BECOST (Finnland): Die Sachbilanzdaten stammen von einer finnischen Datenbank. Infos unter <http://www.vtt.fi/rte/projects/environ/becost.html>

- ECOSOFT (Österreich): Die verwendeten Material-, Energie und Transportdaten stammen aus den Ökoinventaren der ETH Zürich (Frischknecht et al. (1996) den Baustoffdaten-Ökoinventaren (Kohler & Klingele (1995)) und der IBO-Datenbank (Stand 2002). Die Bewertung der Materialien erfolgt mit SimaPro (Goedkop & Oele (2001)). ECOSOFT beinhaltet keine Entsorgungsmassnahmen, weil das Institut für Baubiologie und –ökologie (IBO) die richtungsstabile Voraussagbarkeit allfälliger Entsorgungsszenarios anzweifelt. Infos unter <http://www.ibo.at/forschung.htm>
- WEITERE: Folgende Gebäudebewertungsprogramme wurden ebenfalls in die Beurteilung einbezogen, doch fehlen auf der momentanen Projektstufe noch die Programmbeschreibungen und gewisse Resultate: ESCALE (Frankreich), SIMA-PRO (Niederlande) und LEGEP(Deutschland)

### 3. Gemeinsame Bewertungsgrösse für Vergleich

Die Bewertungsgrösse mit der die Programme miteinander verglichen wurden ist das Treibhauspotential in kg CO<sub>2</sub>-Äquivalent. Da die E+S Komponenten (Energie- und Stoffflusskomponenten) in OGIP die kumulierten CO<sub>2</sub>-Emissionen beinhaltet, diese aber nicht ausgewertet, wurde dies für die erste einfache Fallstudie (Kubus) manuell berechnet.

### 4. Vorgehen

Das Vorgehen gliedert sich in drei Teile. Im ersten Teil wurde eine möglichst einfache Konstruktion, ein beheizter Stahlbetonkubus ohne Fenster und Türen gewählt. Damit konnten Aussagen auf der Stufe einiger weniger Baustoffe, der benötigten Mengen und der den Sachbilanzdaten zugrunde liegenden Modelle und Annahmen gemacht werden.

Im zweiten Teil konnte anhand eines Gebäudes in drei Ausführungen die Unterschiede der Bewertungsmodelle, der Eingabemöglichkeiten, der von den Programmen gewählte Systeme u.v.m. beschrieben werden. Das Gebäude ist ein vorfabriziertes Holzhaus im Niedrigenergiestandard. Es heisst FUTURA und wird von der Firma Renggli AG angeboten. Als Vergleich dienen zwei fiktive Gebäude mit einer grundsätzlich gleichen Struktur, jedoch einmal mit einem Wandziegelaufbau und einmal mit einem Betonaufbau anstelle von Holz. Die Grundlagendaten stammen aus einem bereits vorhandenen Vergleich (Winzeler et al. (2002)).

Im dritten Teil wurden einige Empfehlungen aus der Liste der PRESCO Nachhaltigkeitsempfehlungen auf das FUTURA Gebäude (Betonausführung) einzeln angewendet und bewertet. Der Einfluss auf das Gesamtbewertungsergebnis wird ebenfalls einzeln und als ganzes diskutiert.

#### **KUBUS**

Der untersuchte Kubus hat folgende Innenmasse: 7m x 8m x 2,5m und hat eine Wand-, Decken- und Bodenstärke von 20cm. Das verwendete Material ist armerter Ortsbeton mit 3 %<sub>vol</sub> Stahl (vergl. Tab. 1 für die Materialeigenschaften). Die Lebensdauer des Kubus beträgt 50 Jahre. Der Unterhalt und Ersatz von Komponenten werden vernachlässigt. Geheizt wird mit einer Elektroheizung. Der bezogene Strom ist der UCPTE-Mix (europäischer Produktions- und Konsummix). Aufgrund der grossen Unterschiede zwischen den Ländern sollten die Teilnehmer bezüglich Entsorgungs- und Recycling-Szenarien die vom Programm vorgeschlagen und/oder die im jeweiligen Land üblichen Szenarien verwenden. Der Kubus soll in der Schweiz stehen und entsprechend sollen Klimadaten zur Berechnung des Heizwärmebedarfes verwendet werden. Für den Fall das ein Bewertungsprogramm keinen entsprechenden Berechnungsmodus besitzt, wurde mit einem Standard-Heizwärmebedarf von 38'900 kWh oder 700 kWh/m<sup>2</sup>/a gerechnet. Der Wert ist sehr hoch, weil alle Wände ungedämmte Aussenwände sind.

Die gewählten Materialien haben folgende Eigenschaften:

Material	Dichte (kg/m <sup>3</sup> )	Wärmeleitfähigkeit (W/m/K)	Spez. Wärmekapazität (J/kg/K)
Beton	2,100	1.28	820
Stahl	7,850	46	490

Tab. 1 Charakterisierung der Materialien

## FUTURA

Für die Gesamtbewertung dient ein Fertighaus der Firma Renggli AG mit dem Namen FUTURA (Bild 1). Es ist ein 2-stöckiges Einfamilienhaus in der Schweiz und besitzt 210 m<sup>2</sup> beheizte Fläche. Es ist vorbildlich gedämmt und besitzt eine südausgerichtete Fensterfront. Das Holzhaus wird mit je einer Massivbauvariante gleicher Geometrie aus Ziegel und Beton verglichen.



Bild 1 Ansicht Renggli FUTURA Haus

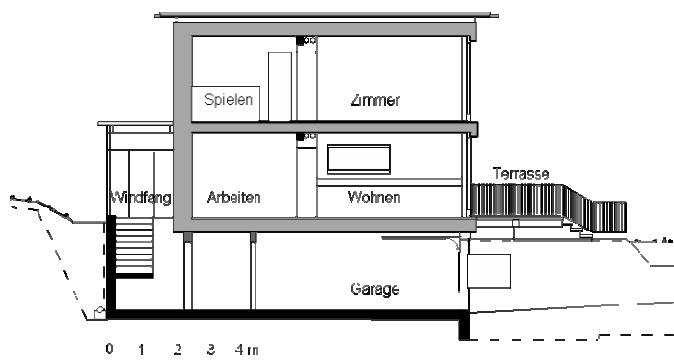


Bild 1 Querschnitt Renggli FUTURA Haus

Die Energie für Heizung und Warmwasser wird mit Gas gedeckt. Für den Strombedarf wird ebenfalls der UCPT-Strommix verwendet. Die Lebensdauer wird auf 80 Jahre festgelegt. Die Materialisierung wurde vom Zentrum für Energie und nachhaltiges Bauen (ZEN) der EMPA vorgegeben und allen Beteiligten ausgehändigt.

## BEWERTUNG VON ÖKOLOGISCHEN VERBESSERUNGSMASSNAHMEN

Die Anzahl der Empfehlungen für nachhaltiges Bauen, welche vom Netzwerk erarbeitet wurde, ist beachtlich und beträgt ca. 200 Stück. Im Gegensatz dazu ist die Anzahl der mit den untersuchten Programmen bewertbaren ökologischen Empfehlungen sehr klein. Dies liegt daran das Ökobilanzbasierte Bewertungsprogramme vom gesamten Angebot an Nachhaltigkeitsempfehlungen nur ökologische berücksichtigen kann, davon nur quantifizierbare und in den einzelnen Programmen berücksichtigte Empfehlungen. Eine Auswahl daraus wurde einzeln auf das FUTURA-Haus mit Betonkonstruktion angewendet:

1. Ersetzen der Doppelverglasung bei den Fenstern durch 3-fach-Verglasung; einerseits Auswirkungen auf Betriebsenergieverbrauch (Reduktion um 11 bis 13 %) und andererseits Mehraufwand beim Materialeinsatz.
2. Reduktion des Trinkwasserverbrauchs mittels Massnahmen wie beispielsweise Wasserspararmaturen. Dabei reduziert sich einerseits die Bezugsmenge des Kalt- und Heisswasser und andererseits die dafür erforderliche Energie.
3. Reduktion der Materialtransporte von der Produktionsstätte bis zur Baustelle.
4. Benutzung von erneuerbaren Energien für die Beheizung. Die Gasheizung wird durch eine Holzheizung ersetzt.
5. Reduktion des Wasserverbrauchs durch Regenwassernutzung für die Toilettenspülung.
6. Ersetzen der Steinwollendämmung durch eine Dämmung aus nachwachsenden Rohstoffen; Bsp. Zellulosedämmung oder dämmende Faserplatten.

## 5. Resultate

### KUBUS

Der Betrieb beinhaltet nur die Beheizungsaufwendungen. Da das Gebäude nicht gedämmt ist, werden die CO<sub>2</sub>-Emissionen von der Betriebsphase (nur Beheizungsaufwendungen dominiert (vergl. Bild 3)). Die Erstellung beinhaltet vorwiegend die Herstellung von Stahl und Beton. An der Bewertung über den gesamten Lebenszyklus spielt die Erstellungsphase (vorwiegend Materialien) eine untergeordnete Rolle.

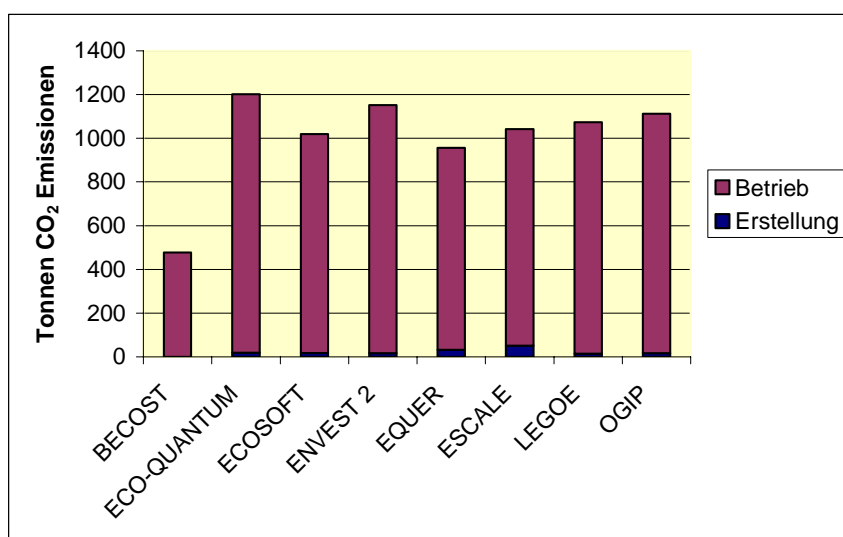


Bild 3 Bewertungsergebnis Kubus aufgrund Treibhauseffekt

Die Gesamtbewertung aufgrund des Treibhauseffektes (CO<sub>2</sub>-Äquivalent) zeigt ein Resultat welches, ausgenommen BECOST, ein sehr kleines Unsicherheitsband von +/- 15% aufweist. Eine Analyse hat gezeigt, dass die Bewertungsergebnisse der Erstellungsphase einerseits durch den verwendeten Beton und andererseits durch den Armierungsstahl bestimmt wird. Die isolierte Betrachtung der Bewertungsergebnisse von Beton hat eine Abweichung von ca. +/- 20 % um den Mittelwert aller Programmresultate ergeben. Diese Abweichung stammt von den Unterschieden in den verwendeten Betonmengen, den unterschiedlichen Zementanteilen (zw. 120 bis 300 kg/m<sup>3</sup>), den unterschiedlichen Herstellungsprozessen und Energien, sowie den unterschiedlichen Allokationsmethoden. Eine isolierte Betrachtung der Betriebsphase (elektrische Energie) zeigt eine Abweichung vom Mittelwert von ca. +/- 10% um den Mittelwert aller Bewertungsergebnisse. Dafür verantwortlich sind hauptsächlich unterschiedliche verwendete Konsummische und unterschiedliche Annahmen zu den Transportverlusten im Stromnetz. Die Abweichungen der Bewertungsergebnisse von Stahl liegen bei etwa +/- 40% um den Mittelwert aller Bewertungsergebnisse. Hier liegt der grosse Unterschied an den in gewissen Programmen unveränderbaren Stahlanteilen im bewehrten Beton (zwischen 0.83 und 3 %<sub>vol</sub> vom Gesamtvolumen), an den unterschiedlichen Stahlsachbilanzdaten (Blasstahl oder Elektro Stahl und die Anteile bei verwendeten Mischungen), an den unterschiedlichen Verschnittmengen bei der Verarbeitung, etc. Weitere generelle Unterschiede wurden bei den Transportdistanzen des Materials vom Fabrikator zur Baustelle und des Abfalls von der Baustelle zur Entsorgungsstelle festgestellt. Die Lebensdauer der einzelnen Materialien und Komponenten wurden je nach Bewertungsprogramm ebenfalls unterschiedlich gehandhabt.

## **FUTURA**

Die folgenden Resultate beinhalten keine Ergebnisse aus OGIP, weil dort keine CO<sub>2</sub>-Äquivalente ausgewertet werden konnten und eine manuelle Berechnung zuviel Aufwand bedeutet hätte.

Der Vergleich der verwendeten Materialien und des Betriebs anhand einer Gasheizung zeigt die in Tab. 2 dargestellten Unterschiede. Beton und Stahl werden nicht mehr diskutiert. Die Resultate sind jenen vom Kubus (Stahl, Beton, Elektrizität und Gesamtkubus) sehr ähnlich; die relativen Unterschiede zwischen den Bewertungsinstrumenten liegen ebenfalls bei etwa +/- 15% um den Mittelwert der Bewertungsergebnisse (vergl. Tab. 2)

Funktionale Einheit	Mittelwert CO <sub>2</sub> -Äq.	Relativer Unterschied für den Tiefstwert	Relativer Unterschied für den Höchstwert
1 kg Backstein	0.255 kg	-15%	+25%
1 TJ Gas (Endenergie)	64'400 kg	-15%	+15%
Gesamtgebäude, Holzkonstruktion, 80 Jahre	540 t	-15%	+15%

*Tab. 2 Bewertungsergebnisse und relative Unterschiede zu Mittelwert von Backstein, Betrieb und Total über 80 Jahre für das FUTURA Haus*

Holz als Baumaterial wird in den Gebäudebewertungsmethoden unterschiedlich gehandhabt. Einige Methoden berücksichtigen sowohl die Aufnahme von CO<sub>2</sub> während der Wachstumsphase als auch die CO<sub>2</sub>- und Methan-Emissionen in die Atmosphäre bei der Entsorgung des Holzes. Andere Methoden gehen bezüglich CO<sub>2</sub> von einer Neutralität aus und berücksichtigen die Aufnahme während der Wachstumsphase und die Abgabe bei der Entsorgung nicht. Über den gesamten Lebenszyklus ergibt dies das gleiche Resultat. Problematisch wird es, wenn eine Bewertung vorgenommen wird ohne die Entsorgung mit zu berücksichtigen.

Ein Vergleich der verschiedenen Ausführungen des FUTURA Hauses hat ergeben, dass das in Holzfertigteil ausgeführte Gebäude bei allen Bewertungsmethoden den kleinsten Anteil an den Gesamt-CO<sub>2</sub>-Äquivalenten Emissionen besitzt (vergl. Bild 4).

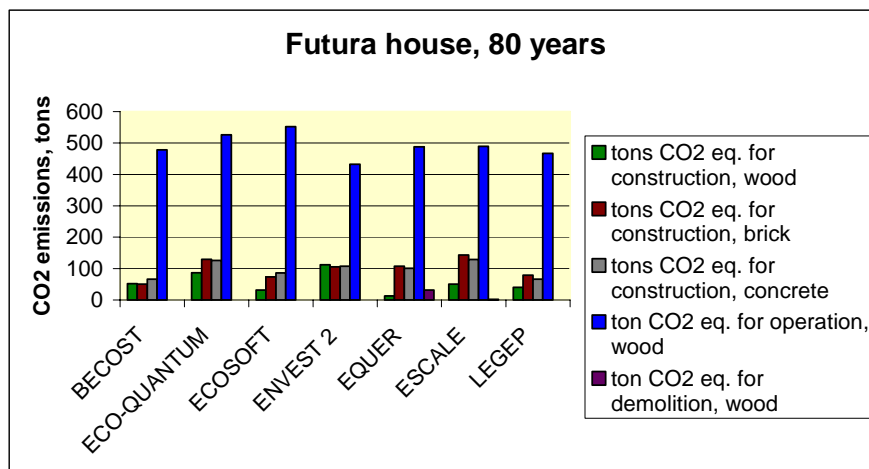


Bild 4 Bewertungsresultate FUTURA aufgrund Treibhauseffekt

Die Auswirkungen durch das FUTURA Gebäude mit Beton- und Wandziegelkonstruktion liegen bei allen Methoden dicht beieinander. Bezüglich der Betriebsphase der Holzkonstruktion liegen die Emissionen zwischen den Bewertungsinstrumenten ebenfalls sehr nahe beieinander (+/- 5 % vom Mittelwert der Bewertungsergebnisse). Die Gesamtbetrachtung aller Gebäude wird von der Betriebsphase dominiert.

### BEWERTUNG VON ÖKOLOGISCHEN VERBESSERUNGSMASSNAHMEN

Die Anwendung der Empfehlungen „Dreifachverglasung statt Doppelverglasung“, „Trinkwasserverbrauch reduzieren“ und „Reduktion der Materialtransporte“ ergaben für alle Bewertungsprogramme eine kleine Reduktion der Auswirkungen. Die Anwendung der Empfehlung „Regenwasser verwenden“ zeigte gegensätzliche Resultate, weil die Umsetzung der Massnahme bei gewissen Bewertungsprogrammen einen Mehraufwand in der Installation nach sich zog. Ebenfalls gegensätzlich fielen die Resultate aus der Anwendung der Empfehlung „Erneuerbare Energie für die Heizung verwenden“ aus, da bei gewissen Bewertungsprogrammen die Emissionen während der Betriebsphase einer Holzheizung höher sind als bei einer Gasheizung. Die Empfehlung „Ersatz Steinwolle-Dämmung durch Alternativdämmung aus nachwachsenden Rohstoffen“ führte je nach Ersatzprodukt ebenfalls zu teilweise gegensätzlichen Resultaten.

Im Allgemeinen kann ausgesagt werden, dass alle Bewertungsprogramme den Einfluss einzelner Empfehlungen auf die untersuchten Indikatoren sehr gut darstellen konnten. Der Einfluss jeder einzelnen Massnahme auf die Gesamtauswirkung eines Gebäudes ist sehr klein. Um ökologisch eine signifikante Verbesserung zu erreichen müssen viele Empfehlungen gemeinsam angewendet werden.

## 6. Erkenntnisse/Empfehlungen

Die Analyse der Resultate hat eine Liste von Empfehlungen für bestehende und zukünftige Bewertungsprogramme ergeben. Der erste Teil der Liste beinhaltet Empfehlungen zu den Sachbilanzdaten, welche wie folgt gegliedert sind:



- LCI Methode: Einheitliche Erhebungsmethode anstreben, gleiche Systemgrenzen, wenn möglich produktspezifische Daten (z.B. ökologische Produktedeklaration), die In- und Outputdaten für ein spezifisches Produkt nicht aus verschiedenen Quellen mischen, hohe Transparenz anstreben, etc.
- Geographie: Wenn möglich produktspezifische Daten für einen klar zu beschreibenden Markt verwenden; wenn aggregierten Daten verwendet werden, so muss die Anwendungsregion ebenfalls klar beschrieben sein.
- Transportmodell: Zu berücksichtigen sind alle Transporte (auch Vorkettenprodukte), Hin- und Rückfahrten müssen transparent bilanziert werden (wann volle Ladung, wann leere Ladung), anzustreben ist die Verwendung von Transportmodulen, welche die Infrastruktur (Lastwagen) schon beinhalten und die In- und Outputs pro Tonnenkilometer berücksichtigen.
- Landverbrauch: Information über Landverbrauch wenn möglich berücksichtigen.
- Alter der Daten: je jünger desto besser.
- Recycling: Der Gebrauch von Recyclingmaterial als Input und das Recycling von Abfall am Ende der Lebensdauer sollen gefördert werden; methodische Verbesserungen bei der Ermittlung der Umweltlasten von Recyclingmaterial sind nötig (Bsp. wertkorrigierte Substitution).
- „Cut-off“ Regeln: Alle In- und Outputs, welche mehr als 2 %<sub>Masse</sub> des Endproduktes besitzen, müssen unabhängig von ihrer Umweltrelevanz erfasst werden. Eine Ausnahme besteht, wenn die Umweltrelevanz von Einsatzstoffen unter 2 %<sub>Masse</sub> nachweisbar ist.
- Verpacken/Verpackung: Die Verpackung, das Verpacken und die Entsorgung der Verpackung sollten berücksichtigt werden.
- Infrastruktur (Strassen, Fahrzeuge, Produktionsmaschinen, Gebäude, etc.): Heute üblicherweise nicht berücksichtigt; ist abhängig vom Produkt; dennoch sollten Standardwerte von den Programmen angeboten werden, welche spezifiziert werden können.
- Administration: Kann vernachlässigt werden (oft ist der Stromverbrauch aus der Administration im Gesamtstromverbrauch berücksichtigt)
- Validierung: Massenbilanz und Emissionen überprüfen, Datenquelle überprüfen.

Der nächste Teil der Liste beinhaltet Empfehlungen zum gesamten Gebäudebewertungsmodell und zu den Bewertungsindikatoren und ist wie folgt gegliedert:

- Transporte (von und zur Baustelle): Sollten berücksichtigt werden; falls keine Werte bekannt, können für jedes Land Durchschnittsdistanzen empfohlen werden.
- Erstellungs- und Renovationsphase: Energieverbrauch meist vernachlässigbar, da unwesentlich; der Konstruktionsabfall hingegen ist wichtig und sollte mit beispielsweise 2 %<sub>Masse</sub> für vorfabrizierte Produkte und 10 %<sub>Masse</sub> für auf der Baustelle verarbeitete Produkte angegeben werden.
- Ersetzungen: Ersatz nach Ablauf der Lebensdauer; Standardwerte (basierend auf Statistiken) für Konstruktion sollten angegeben werden; das Zusammenspiel von Material und Komponente sollte bei der Bestimmung der Standardwerte mitberücksichtigt werden; ebenfalls wichtig ist die Tatsache, dass eine gewisse Zeit vor einem geplanten Rückbau keine Ersetzungen mehr gemacht werden; diese Zeitspanne sollte ebenfalls festgelegt werden.
- Unterhalt: Keine Empfehlung möglich, da kein gemeinsamer Ansatz gefunden werden konnte.
- Abbruch/Rückbau: Energie vernachlässigbar, für die Entsorgungsarten vergl. „Abfall“.

- Recycling: Der Gebrauch von Recyclingmaterial als Input und das Recycling von Abfall am Ende der Lebensdauer sollen gefördert werden.
- Wasserverbrauch während der Betriebsphase: Sollte berücksichtigt werden, Standardwasserbrauch pro Einwohner festlegen, andere Wasserquellen (Regen- oder Quellwasser, etc.) als Alternativen anbieten.
- Abfall (in der Betriebsphase und am Ende der Gebäudelebensdauer): Abfall während Betriebsphase nicht berücksichtigen, da dieser durch andere Faktoren als das Gebäude beeinflusst ist; Entsorgungsszenarios für Materialien aus dem Gebäude anbieten.
- Lebensdauer Gebäude und Materialien: Vergl. „Ersetzungen“
- Sensitivitätsanalyse und Optimierung: Weitere Untersuchungen sind nötig um herauszufinden, welche Aspekte den grössten Einfluss auf das Gesamtergebnis haben.

Die Bewertungsrelevanten Empfehlungen gliedern sich wie folgt in:

- Landver- und gebrauch: Quantität und Qualität beschreiben; Bewertungsmethoden sollten/werden in Zukunft diese Indikatoren berücksichtigen.
- Energie (erneuerbar, nicht-erneuerbar, Energierohstoff, etc.): Energie ist kein Umweltbelastungsindikator und sollte entsprechend vorsichtig verwendet werden. Eine Unterteilung in die verschiedenen Energieformen ist zwingend (Biomasse, Wasser, Nuklear, Wind/Solar/Geothermie, Fossil). Offene Frage: Auf welcher Basis soll die Primärenergie aus nuklearen Ressourcen berechnet werden?
- Wasser (Bezugsquelle, Menge): Muss berücksichtigt werden, obwohl es kein Umweltindikator ist.
- Ressourcenknappheit: Sollte berücksichtigt werden, indem das aktuelle Vorkommen, die Abbaumenge und die –geschwindigkeit erfasst werden und entsprechend in Zukunft bewertet werden können.
- Abfall: Sollte berücksichtigt werden und mittels der üblichen Bewertungsindikatoren in die Gesamtbewertung einfließen (unterteilt in Anteile aus Erstellung, Betrieb und Entsorgung)
- Bewertungsindikatoren: Auswahl beliebig, sollte aber begründet werden. Bei kumulierten Indikatoren ist Vorsicht geboten da verschiedene Umweltauswirkungen zu einem Wert verrechnet werden.

## 7. Ausblick

Für eine Harmonisierung und Vereinfachung der Bewertungsinstrumente sind weitere Arbeiten nötig. Für die Interpretation der Resultate muss der Anwender (Architekten, Bauingenieure u.a.) geschult werden. Viele der Programme müssen transparenter werden.

Zu OGIP kann vermerkt werden, dass im Herbst 2004 eine neue Version veröffentlicht wird und dabei viele der besprochenen Punkte Eingang gefunden haben.

## 8. Literatur/Referenzen

Boustead (1999)

Boustead I. (1999) Ecoprofiles of plastics and related intermediates, Steam (on-site average). European Centre for Plastics in the Environment (APME), Brussels, Online-Version under: <http://www.apme.org>

- Brunner et al. (2001) Brunner K., Künniger T., Richter K., Werner F. and Althaus H.-J. (2001) Environmental Database of Building Products (EDIP) from auf CD.
- BUWAL (1998) BUWAL (1998) Bewertung in Ökobilanzen mit der Methode der ökologischen Knappheit, Ökofaktoren 1997. In: Schriftenreihe Umwelt SRU 297, Ökobilanzen. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), Bern.
- Frischknecht et al. (1996) Frischknecht R., Suter P., Bollens U., Bosshart S., Ciot M., Ciseri L., Doka G., Hischer R., Martin A., Dones R. and Gantner U. (1996) Ökoinventare von Energiesystemen, Grundlagen für den ökologischen Vergleich von Energiesystemen und den Einbezug von Energiesystemen in Ökobilanzen für die Schweiz. 3. Aufl. Edition. Bundesamt für Energiewirtschaft (BEW/PSEL), Bern.
- Goedkoop, M. und M. Oele (2001): User Manual. Introduction into LCA methodology and practice with SimaPro 5. PRé Consultants, Amersfoort, <http://www.pre.nl/simapro/>.
- Kohler & Klingele (1995) Kohler N. and Klingele M. (1995) Baustoffdaten-Ökoinventare. Institut für Industrielle Bauproduktion der Universität Karlsruhe (TU), Lehrstuhl Bauklimatik und Bauökologie (ifib) an der Hochschule für Architektur und Bauwesen (HAB) Weimar, Institut für Energietechnik (ETH) Zürich, M. Holliger Energie Bern, Karlsruhe/Weimar/Zürich.
- Winzeler et al. (2002) Winzeler R., Althaus H.-J., Hofer P. and Richter K. (2002) Evaluation der ökologischen Datenbank und Bewertungsmethodik des Programms OGIP; Holzbauteilen und Holzkonstruktionen. In: Holzforschung Schweiz. Schweizerische Arbeitsgemeinschaft für Holzforschung SAH, Dübendorf.