

Zeitschrift: Tec21
Herausgeber: Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein
Band: 127 (2001)
Heft: 27/28: Energiebilanz

Artikel: Lebenszyklus von Gebäuden: ganzheitliche Ökobilanzierung für eine umfassende Betrachtung von Planungs- und Bauprozessen
Autor: Künzler, Philippe
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-80178>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

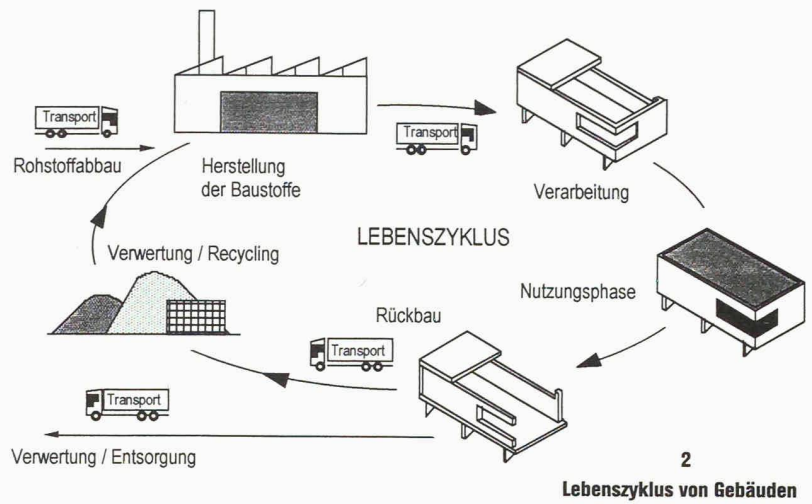
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 18.03.2025

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



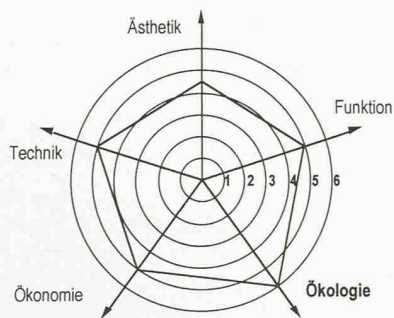
Philippe Künzler

Lebenszyklus von Gebäuden

Ganzheitliche Ökobilanzierung für eine umfassende Betrachtung von Planungs- und Bauprozessen

Der Charakter eines Baukörpers ist durch ästhetische, funktionale, technische und ökonomische Anforderungen weit gehend bestimmt – die Frage der Nachhaltigkeit in Bezug zur Umwelt ist oft zweitrangig. Während es bei den erstgenannten Parametern keinesfalls an Erfahrung und Planungsinstrumenten mangelt, gibt es dagegen wenig objektive Grundlagen zur Erfassung der Umweltverträglichkeit von geplanten Gebäuden. Eine Lebenszyklus-Analyse, welche alle drei Phasen – Herstellung, Nutzung und Rückbau eines Gebäudes – berücksichtigt, füllt diese Lücke.

Im Zuge der Diskussion um den viel zitierten Begriff «Nachhaltigkeit» werden heute vermehrt die Auswirkungen von anthropogenen Massnahmen auf Mensch und Umwelt untersucht. Daher ist es notwendig, auch die ökologischen Aspekte des Bauens von Anfang an als Entscheidungsgrundlage in die Bauwerksplanung einfließen zu lassen (Bild 1). Bauwerke sind zu komplex, um ein pauschales Urteil über die Umweltverträglichkeit zu fällen. Es bedarf einer Betrachtungsweise, welche die unzähligen Wechselwirkungen mit einbezieht, die von der Herstellung bis zum Rückbau – also im gesamten Lebenszyklus (Bild 2) – auftreten. Dazu gehört neben dem Sicherstellen eines niedrigen Energieverbrauchs die Wahl derjenigen Materialien, die bei der Herstellung, in der Nutzungsphase und bei der späteren Wiederverwertung oder Entsorgung die Umwelt möglichst wenig beeinträchtigen. Eine umfassende ökologische Bilanzierung, die eine Lebenszyklus-Analyse erst möglich macht, ist dazu notwendig.



1
Bewertungsmaßstab zur Charakterisierung eines Gebäudes

Ganzheitliche Ökobilanzierung von Gebäuden

Das Konzept der Prozessketten

Ein Bauwerk ist ein System, das aus einer Vielzahl von Subsystemen besteht. Drei Haupthierarchieebenen sind definierbar – Baustoff, Bauteil und Bauwerk (Bild 3). Die beiden ersten Ebenen lassen sich in Einzelprozesse aufteilen. Eine ganzheitliche ökologische Bilanzierung basiert daher auf der Erfassung einer Reihe von Einzelprozessen, von denen jeder einzelne Verknüpfungen zu anderen Prozessen aufweist. Diese Verknüpfungen werden auch als Input- und Outputprozesse bezeichnet. Dadurch kann der Heterogenität von Gebäuden Rechnung getragen werden. Die Prozess-

kette, die ein Bauwerk darstellt, kann wiederum als einzelner Summenprozess angesehen werden. Für die umfassende Bilanzierung sind Kenntnisse über Anfang und Ende dieser Prozessketten notwendig. Daher ist der Untersuchungsrahmen von vornherein festzulegen.

Systemgrenzen

Der Untersuchungsrahmen – auch Systemgrenze genannt – ist stark abhängig vom formulierten Ziel einer Untersuchung. Für eine ganzheitliche ökologische Bilanzierung eines Bauwerks sollte die Systemgrenze alle relevanten Stoff- und Energieströme zurück bis zur Ressource umfassen. Darin eingeschlossen sind somit alle weltweit auftretenden, relevanten Einflüsse auf das Ökosystem Erde. Denn es genügt nicht – auch wenn Bauprodukte marktnah produziert und vertrieben werden –, die Landesgrenze als Untersuchungsrahmen festzulegen, da die Rohstoffe und Energieträger in den meisten Fällen aus dem Ausland stammen.

In einer Ökobilanzstudie geht man bei der Definition der räumlichen Systemgrenze übrigens allgemein – nicht nur bei Bauwerken – vom so genannten Globalansatz aus. Doch nicht nur räumliche, auch zeitliche Grenzen müssen gezogen werden.

Bilanzzeit

Die Bilanzzeit – die Zeitspanne also, für die man eine Bilanzierung vornimmt – ist so festzulegen, dass eine möglichst aussagekräftige Momentaufnahme entsteht. Anzustreben ist ein Zeitraum, der Phasen von kurzfristig

erhöhten Umweltlasten oder saisonalen Schwankungen in Produktion, Betrieb und Nutzung erfasst, so dass sich ein repräsentativer Mittelwert bilden lässt. Ein typisches Beispiel hierfür ist die Umweltbelastung durch das Heizen – in der kalten Jahreszeit ein wichtiger Faktor, in den Sommermonaten jedoch irrelevant. Um einen repräsentativen Mittelwert zu erhalten, ist ein Jahr als Bilanzzeit optimal. Diese Festlegung ist allgemein üblich.

Gebäude können durchaus eine Lebensdauer von 100 oder mehr Jahren aufweisen. Um die Gebrauchstauglichkeit über eine so lange Zeit sicherzustellen, bedürfen gewisse Subsysteme eines Gebäudes, wie etwa Fenster oder Flachdächer, periodischer Erneuerungen, die wiederum zu berücksichtigende Stoff- und Energieströme zur Folge haben und somit das ökologische Profil mitbestimmen (Bild 4).

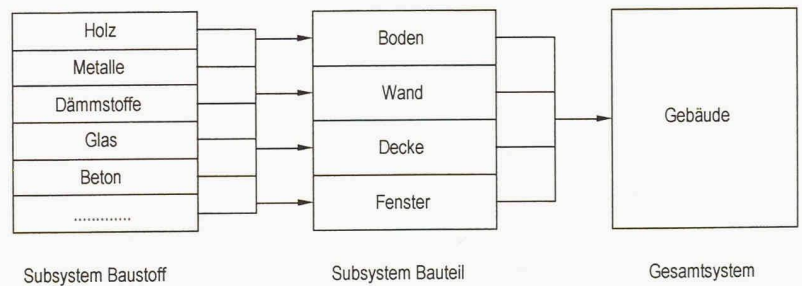
Die Beiträge zur Umweltbeeinflussung durch die einzelnen Lebensphasen können jedoch von Gebäude zu Gebäude stark variieren. Je besser ein Gebäude etwa bezüglich des Energieverbrauchs in der Nutzungsphase optimiert ist, umso mehr Gewicht haben die anderen Phasen im Lebenszyklus. Wie sich ein Gebäude genau auf die Umwelt auswirkt, wird mittels Wirkbilanz untersucht.

Wirkbilanz

In der Wirkbilanz werden die potentiellen Umweltbeeinflussungen, die von den Stoff- und Energieströmen im gesamten Lebenszyklus sowohl als Input- wie auch als Outputprozesse verursacht werden, erfasst –

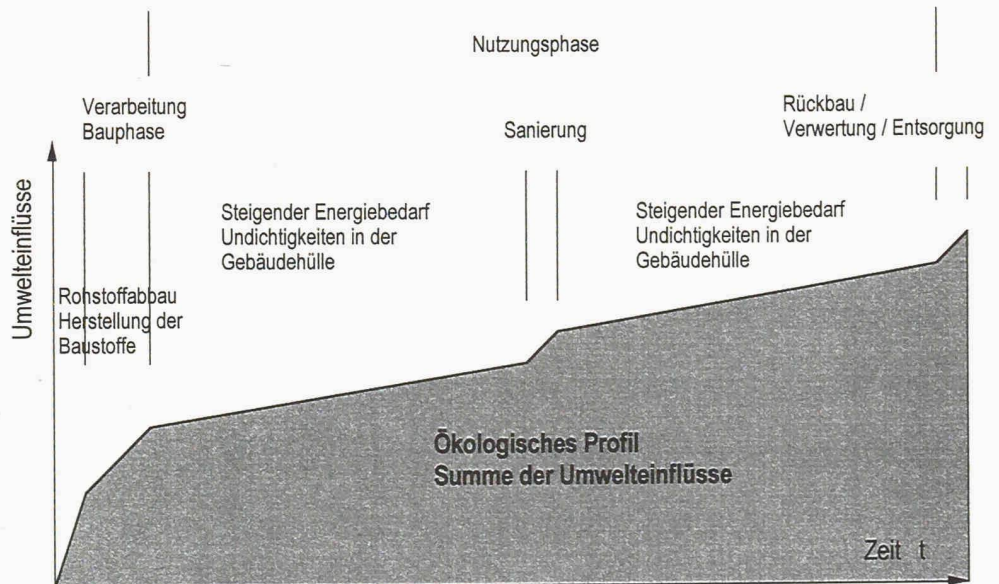
3

Darstellung der Hierarchieebenen des Gesamtsystems Gebäude



4

Zeitliche Aspekte des ökologischen Profils eines Gebäudes



zum Beispiel Klimaveränderung, Überdüngung, saurer Regen oder Ozonbildung.

Die Wirkkategorien orientieren sich an den Schutzziele der Nachhaltigkeit – Ressourcenschonung, am globaler Schutz der Ökosphäre, Schutz der menschlichen Gesundheit und der Stabilität der Ökosysteme – und werden zu einem Gewichtungsmo­dell zusammengefasst (Bild 5), das sich jeweils nach Ziel und Rahmen der entsprechenden Untersuchung richtet.

Lebenszyklus-Analyse

Herstellung der Bauteile und des ganzen Gebäudes

Um die Herstellungsphase eines Gebäudes bezüglich ihrer Umweltauswirkungen erfassen zu können, bedarf es einer möglichst intensiven und exakten Grundlagendatenerhebung (Massenauszüge, Baustoffkennwerte) über die verwendeten Baumaterialien. Die Verteilung der Umweltauswirkungen innerhalb eines Bauteils gibt Aufschluss darüber, welche Materialien für welche Wirkungen relevant sind. Ähnlich einer U-Wert-Berechnung eines Bauteils werden die einzelnen Baustoffkomponenten zu einem Summenprozess zusammengefasst (Bild 6). Die so berechneten Einzelbauteile werden dann zu einem nächsthöheren Summenprozess zusammengefasst, um die Herstellung des gesamten Gebäudes zu erfassen (Bild 7). Vergleichbar ist diese Gesamtbilanz mit der Berechnung des Heizenergiebedarfs.

Nutzung eines Gebäudes

Die Umweltauswirkungen, die während der Nutzungsphase eines Gebäudes entstehen, werden hauptsächlich durch den Heizenergiebedarf bestimmt (Bild 8). Hinzu kommen je nach Nutzungszweck eines Gebäudes die Bereitstellung von Warmwasser, der Stromverbrauch sowie Sanierungs- oder Umbaumaßnahmen. Alle daraus entstehenden Umweltauswirkungen können – analog der Herstellung eines Gebäudes – als Einzel- oder als zu Summenprozessen zusammengefasste Einzelprozesse berechnet und miteinander verglichen werden.

Rückbau, Rezyklierung und Entsorgung eines Gebäudes

Bauteile und Baustoffe können bezüglich ihres Recyclingpotentials miteinander verglichen und bewertet werden. Als Grundlage für eine solche Bewertung dienen beispielsweise produktespezifische Deklarationen von Herstellern und Lieferanten. Doch weil sich der Lebenszyklus eines Gebäudes über 100 oder sogar mehr Jahre erstrecken kann, ist eine Aussage bezüglich der im Zeitpunkt des Rückbaus gängigen Verwertungs- und Entsorgungspraxis verständlicherweise schwierig. Die verwendeten Annahmen basieren daher auf dem aktuellen Stand der Technik. Zentral für die Rezyklierbarkeit eines Bauteils ist die Art und Weise, wie die Einzelkomponenten aufeinander abgestimmt und zusammengefügt sind. Voneinander lösbare Verbindungen sind beispielsweise ein Indiz für gute Rezyklierbarkeit.

Die Erfassung der Umweltauswirkungen von Baukonstruktionen geht einher mit der Wiederaufgliederung von Prozessketten in Einzelprozesse, die ähnlich wie bei der Herstellung berechnet und bilanziert werden können.

Treibhauspotential
Ozonbildungspotential
Säurebildungspotential
Eutrophierungspotential
Ozonabbau­potential
Toxizität Luft
Toxizität Wasser
Deponierte Abfälle
Energetische Ressourcen, nicht erneuerbar
Ecoindicator
UBP (Umweltbelastungspunkte)

5

Gewichtungsmo­dell nach Emis (Environmental Management and Information System, siehe Kästchen)

Zur Lebenszyklus-Analyse

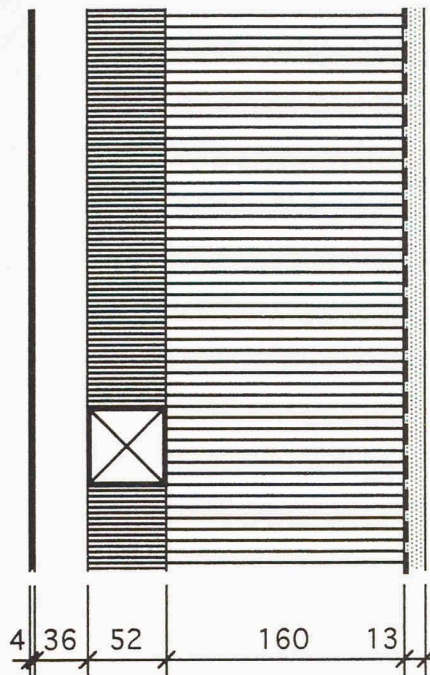
Philippe Künzler erstellte die Lebenszyklus-Analyse eines Baukörpers als abschliessende Diplomarbeit im Rahmen des Nachdiplomstudiums «Umwelt» am Institut für Umwelttechnik der FHBB, Fachhochschule beider Basel, in Muttenz. Weiterführende Studien und Untersuchungen zu diesem Thema und der Aufbau eines entsprechenden Dienstleistungsangebots sind in Arbeit.

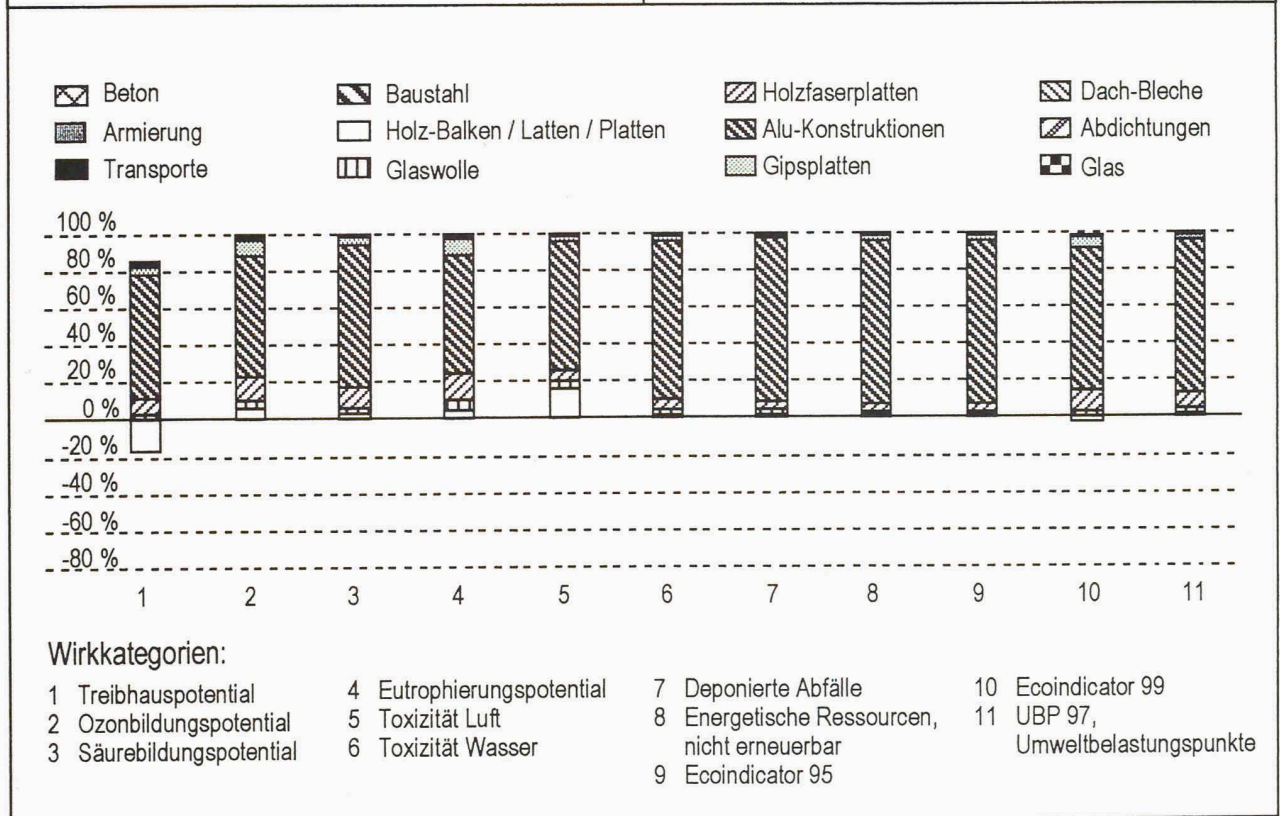
Die im Artikel erwähnten Berechnungen wurden mit der Software Emis (Environmental Management and Information System) durchgeführt, einer Spezialsoftware zur Erstellung von Öko- oder Standortbilanzen. Diese Software wurde gewählt, da sie über eine umfangreiche Datenbasis verfügt, welche die Umweltauswirkungen von Baumaterialien, Energiesystemen, Transporten, metallischen und polymeren Werkstoffen etc. enthält. Zudem bietet sie eine hohe Flexibilität bei der Erfassung und Bewertung von Stoff- und Energieströmen von Produktionsprozessen, Produktionsstandorten sowie Lebenszyklen von Produkten und Dienstleistungen. Emis ist eine Software-Entwicklung der Firma Carbotech AG, Basel, die in Zusammenarbeit mit Industrien und Bundesämtern entwickelt wurde.

Zum Gebäude

Das Atelier, das für die vorliegende Lebenszyklus-Analyse herangezogen wurde, hat Baujahr 2000 und liegt an der Grenze zwischen Kur- und Einfamilienhauszone in Fürigen am Bürgenstock (Kanton Nidwalden). Als eigenständiger Baukörper lagert er auf drei Betonscheiben und beansprucht das Terrain kaum. Zwischen den organischen Formen der Umgebung und der Geometrie des präzise geschnittenen Baukörpers entsteht eine Spannung, welche die Eigenständigkeit des Ateliers unterstreicht. Wie eine grosse, leicht spiegelnde Plakatwand erscheint die Aluminiumfassade, die mittels austauschbarer Platten, deren Einteilung und Farbe dem Grafikatelier als Gestaltungs- und Präsentationsfläche dienen kann.

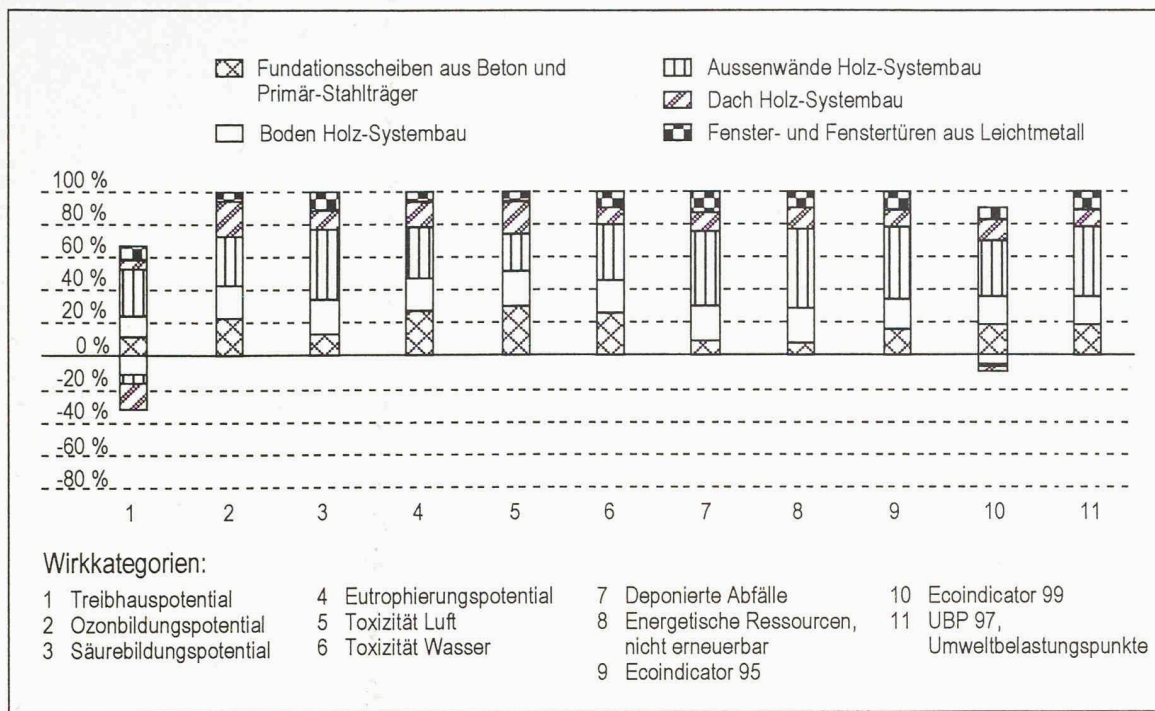
Wärmeenergie bezieht der Baukörper aus Holz, das aus der näheren Umgebung stammt. Die hochwärmedämmte Holzbaukonstruktion, gefertigt in Elementen, weist folgende U-Werte für Einzelbauteile auf: Flachdach 0,17 W/m²K, Aussenwand 0,25 W/m²K und Boden 0,22 W/m²K. Der resultierende Wärmeleistungsbedarf von knapp 3 KW wird von einem einzigen Holzofen abgedeckt.

 <p>Skizze Mst. 1:5</p>	Konstruktionsaufbau von innen nach aussen	Bedarf kg/m² Bauteil
	Fermacell-Verkleideplatten 13 mm Dampfsperre Flamex N, Polyäthylenfolie Ständerkonstruktion, Fichten-Schnittholz Glaswolle Isover Isorooft natur 52 mm Anteil extr. Polystyrol, Zusatzdämm. Fenster Alu-Winkelprofile 2 mm, hutförmig 35 mm Reynobond-Aluminiumverbundplatten 4 mm	24,69 0,18 19,95 2,12 16,90 0,13 7,96 5,50
	U-Wert:	0,28 W / m ² K
		inkl. Verschnitt



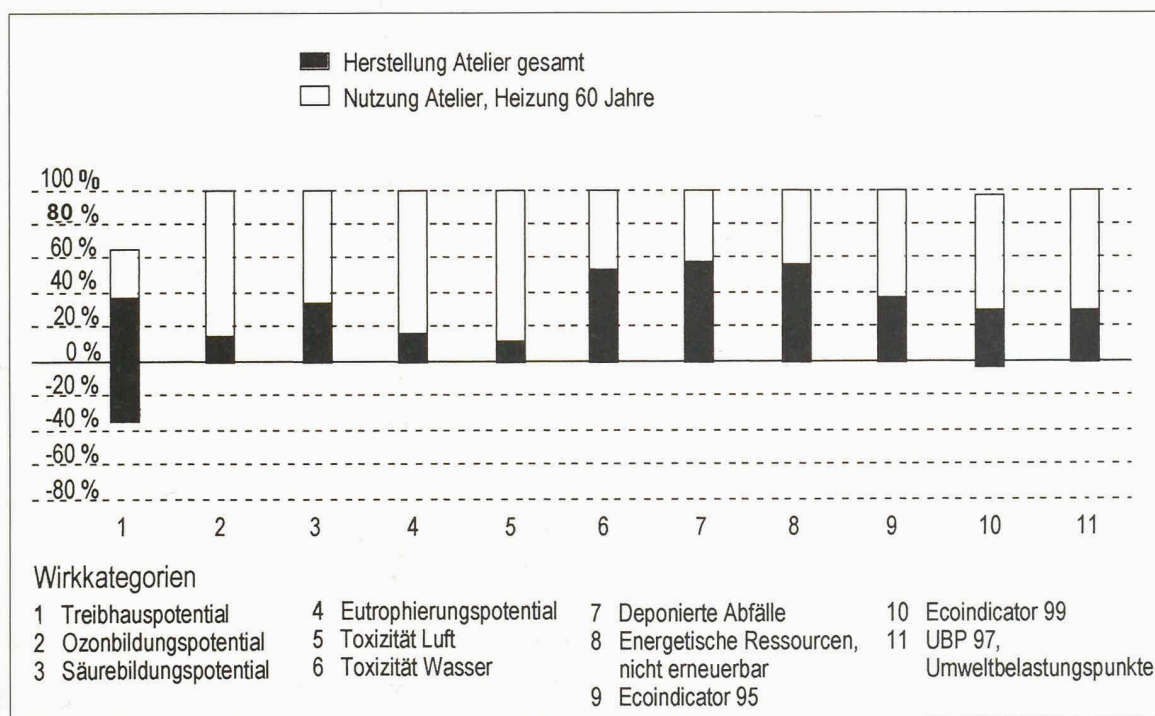
6

Summenprozess, mit Verteilung der Wirkkategorien, bei der Herstellung eines Bauteils von 1 m² im Wand-Holz-Systembau



7

Summenprozess, mit Verteilung der Wirkkategorien, bei der Herstellung eines Gebäudes (eingeschossiger Baukörper, ausgeführt im Holz-Systembau)



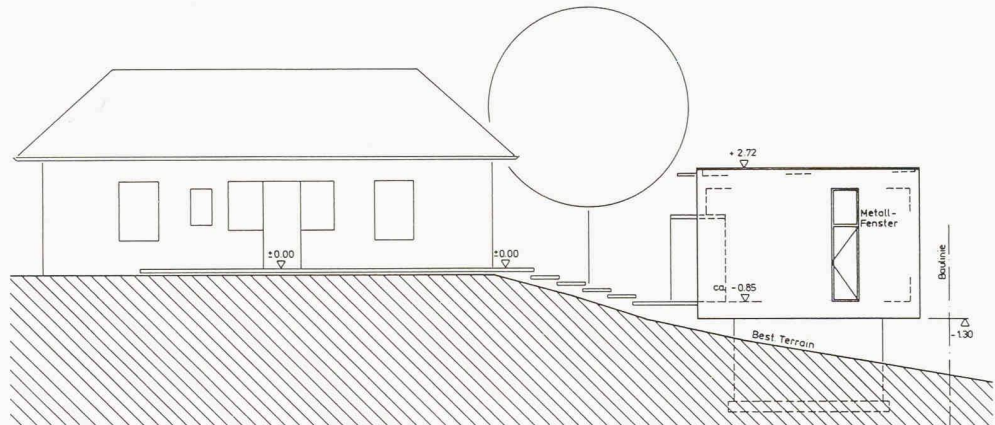
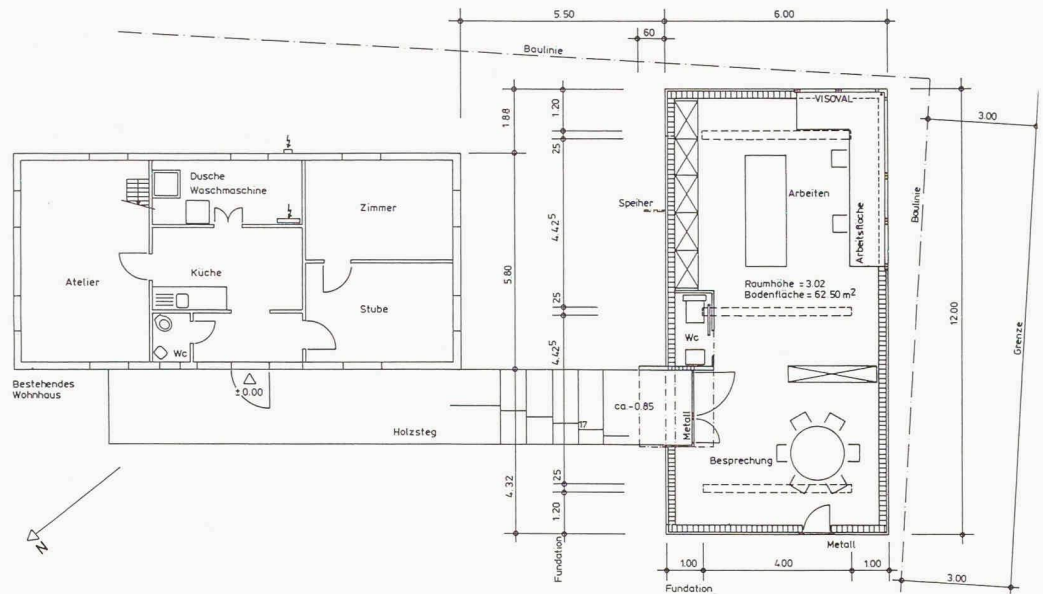
8

Vergleich zwischen der Herstellung eines Gebäudes und der Nutzungsphase während 60 Jahren (nur Heizung)



9/10/11

Das Gebäude, das für die Lebenszyklus-Analyse herangezogen wurde, ist ein Alu-Kubus (Bild: H. Krähenbühl). Grundriss und Nord-West-Fassade 1:200 (Pläne: P. Künzler)



Fazit

Ein Bauprozess beinhaltet vielseitige Wechselwirkungen zwischen Ästhetik, Funktion, Technik, Ökonomie und Ökologie. Bei Gegenüberstellungen und Vergleichen sollte dieser Komplexität Rechnung getragen werden – ein Konsens über technische wie auch wirtschaftliche Kriterien ist daher nötig.

Die grösste Bedeutung bezüglich der Einflüsse, die ein Gebäude während seines Lebenszyklusses auf die Umwelt ausübt, hat die Nutzungsphase wegen des permanenten Energiebedarfs, der stark von der Gesamt-Systemqualität des Gebäudes abhängt – etwa von der Wärmedämmung, der Haustechnik und davon, wie gut die Einzelkomponenten in den Bauteilen aufeinander abgestimmt sind. Nachbesserungen, etwa an der Gebäudehülle oder an haustechnischen Systemen, sind von geringerer Bedeutung.

Das ökologische Profil eines Gebäudes ist ein Mittelwert, der sich aus den Umweltbelastungen zusammensetzt, die in allen Phasen des Lebenszyklusses entstanden sind. Das Wechselspiel der differenzierten und integralen Betrachtungsweise ist das Mittel, um dank optimaler Kombination von Einzelprozessen eine hohe Gesamt-Systemqualität zu erzielen und allen Anforderungen – die der Ökologie gleichermassen wie die der Ästhetik, der Funktion, der Ökonomie und der Technik – gerecht zu werden.

Literatur

- Clausen, J. und Fischer, K.: Umweltbericht, Umwelterklärung, Praxis glaubwürdiger Kommunikation von Unternehmen. Carl-Hanser-Verlag, München, Wien. 1996
- Deutsche Norm DIN: Europäische Norm EN ISO 14001. Umweltmanagementsysteme. 1996
- Dinkel, F.: Benutzerhandbuch zu Emis Environmental Management and Information System, Carbotech AG, Basel. 1998
- Dinkel, F. und Heim, T.: Skript Ökobilanzen, IFU Institut für Umwelttechnik. FHBB Fachhochschule beider Basel Muttensz. 1999
- Eyerer, E. und Reinhardt, H.-W.: Ökologische Bilanzierung von Baustoffen und Gebäuden, Wege zu einer ganzheitlichen Bilanzierung. Birkhäuser-Verlag. 2000
- Kanton Luzern: Vollzugs-Leitfaden Wärmeschutzverordnung 94. Baudepartement und Volkswirtschaftsdepartement, Fachstelle Energiefragen, in Zusammenarbeit mit dem Amt für Umweltschutz
- Krieger, D. J.: Einführung in die allgemeine Systemtheorie. Wilhelm-Fink-Verlag, München. 1998
- Schweizer Energiefachbuch: 16. Jahrgang, Infothek. 1999
- SIA: Empfehlung 380/1 «Energie im Hochbau», Ausgabe 1988, SN Schweizer Norm 565 und 380/1
- SIA: Empfehlung 493, Deklaration ökologischer Merkmale von Bauprodukten, Ausgabe 1997

Philippe Künzler, dipl. Arch. HTL, dipl. Umweltingenieur
NDS/FH, Alpenquai 4, 6005 Luzern, butphk@tic.ch