



Lignum Compact

Ökobilanzen

- Grundlagen



Die Schweiz strebt an, bis 2050 klimaneutral zu werden. Dabei spielt auch das Bauwesen eine zentrale Rolle: Produktion und Entsorgung von Baustoffen haben einen grossen Einfluss auf die Umwelt. Die Herstellung von Zement und Stahl ist zum Beispiel für je etwa 8% der weltweiten CO₂-Emissionen verantwortlich. [11] [12] Es braucht effektive Methoden zur Bewertung der Umweltauswirkungen von Materialien und Produkten der Bauwirtschaft, damit die Auswirkun-

gen reduziert und hinsichtlich Material- und Produktwahl die richtigen Entscheide gefällt werden können. Hier kommen die Ökobilanzdaten von Bauprodukten ins Spiel: Sie erlauben Architekten, Ingenieuren und allen weiteren Bauteilscheidern, die Umweltauswirkungen der Bauprodukte und -materialien von Beginn weg zu berücksichtigen. Die Eingliederung der Ökobilanzierung in die BIM-Arbeitsmethode kann diese Prozesse deutlich erleichtern.

Lebenszyklusbetrachtung (LCA)

Im Zentrum einer zielführenden Optimierung von Gebäuden steht die Betrachtung des gesamten Lebenszyklus. Das heisst, dass auch in der Optimierung der Ökobilanz von Gebäuden nicht nur die Effizienz in der Nutzung, sondern auch die Herstellung und Entsorgung der Baustoffe mitberücksichtigt werden müssen. [1] [2] Die LCA ist eine systematische Analyse der potentiellen Umweltauswirkungen und der Energiebilanz von Produkten während des gesamten Lebenszyklus eines Gebäudes. Das Life Cycle Assessment (LCA) erfolgt nach der Festlegung des Ziels und des Untersuchungsrahmens und ist gemäss SN EN ISO 14040 [25] und SN EN ISO 14044 [26] ein dreigliedriger Prozess:

1. Berechnung der Sachbilanz ‹Life Cycle Inventory› (LCI)
2. Beurteilung der ökologischen Auswirkungen ‹Life Cycle Impact Assessment› (LCIA)
3. Interpretation der Ergebnisse

Berechnung der Sachbilanz: Life Cycle Inventory (LCI)

Die Grundlage für das LCI sind alle Inputs, also die für die Herstellung benötigte Energie und Stoffe aus der Umwelt, sowie alle Outputs, also die Endprodukte, Co-Produkte, Abfälle und Emissionen in die Umwelt aus den Stoff- und Energieflüssen von Produktionsbetrieben. Um eine vollständige Sachbilanz (LCI) zu erstellen, stützen sich Ökobilanzspezialisten auf:

1. Primärdaten wie angegebene Produktionsdaten von Herstellern
2. Sekundärdaten aus ‹LCI-Datenbanken› wie z. B. [ecoinvent](#) [38], [GaBi](#) [39] [ÖKOBAUDAT](#) [40]

Beurteilung der ökologischen Auswirkungen: Life Cycle Impact Assessment (LCIA)

Die ökologische Auswirkungsbeurteilung (LCIA) beinhaltet die Kategorisierung und Charakterisierung der Sachbilanz (LCI) und ermöglicht deren Umwandlung in verschiedene Indikatoren. Hierbei werden LCA-Softwaretools wie beispielsweise SimaPro oder OpenLCA eingesetzt. In diesem Prozess werden beispielsweise Treibhausgase wie Methan (CH_4) oder Lachgas (N_2O) auf einen einzigen Indikator umgerechnet, der als Treibhausgasemissionen in CO_2 -Äquivalenten zusammengefasst wird. Dies erfolgt für das Treibhausgaspotential über einen spezifischen Charakterisierungsfaktor (GWP20 oder GWP100). Diese Summe wird schliesslich als Wert für den Indikator Treibhausgaspotential (THG) (oder in englischer Bezeichnung: Global Warming Potential (GWP)) aufgeführt. Die Resultate der LCIA können schliesslich in einer Umweltproduktdeklaration (EPD) nach SN EN 15804 dokumentiert werden, mit welcher Hersteller die umweltrelevanten Eigenschaften eines Produktes deklarieren können.

Interpretation der Ergebnisse

Um die Reproduzierbarkeit und Vergleichbarkeit der Ergebnisse zu gewährleisten, sollten die verwendeten Daten auf der Grundlage derselben Life-Cycle-Inventory-(LCI)-Datenbank berechnet worden sein. Denn zwischen den verschiedenen Anbietern und Versionen können wesentliche Unterschiede auftreten. Zudem dürfen Analysen und vergleichende Aussagen zu unterschiedlichen Materialien, Bauteilen oder Gebäuden nur auf der Grundlage einer vergleichbaren funktionalen Einheit (funktionales Äquivalent) [26] [27] getroffen werden (z. B. einer Wand mit vergleichbaren Eigenschaften), nie aber in der deklarierten Einheit wie z. B. Masse (kg) oder Volumen (m^3), da dies zu falschen Interpretationen der Ergebnisse führt.

Label-Typen nach ISO

Nach ISO 14020 [18] gibt drei unterschiedliche Typen von Umweltzeichen bzw. Labels:

- **Label Typ I** SN EN ISO 14024 [20]:
Qualitativ mit Wertung mittels Fremdzertifizierung nach spezifischen Kriterienkatalogen
- **Label Typ II** SN EN ISO 14021 [19]:
Qualitativ und einfach, meist nach einzelnen Eigenschaften mittels Selbstdeklaration
- **Label Typ III** SN EN ISO 14025 [21]:
Quantitativ und mit detaillierten Daten ohne Wertung mittels unabhängiger Prüfung

Umweltdeklaration mit qualitativen Aussagen (Typ I)

Die Typ-I-Umweltzeichen [20] sind nationale oder internationale Labels von privaten oder öffentlichen Institutionen. Mittels obligatorischer Fremdzertifizierung ordnen sie bestimmte Produkteigenschaften über Bewertung, Gewichtung, Benchmarks oder Richtwerte qualitativ ein und versehen das Produkt mit einem Label. Solche Labels sind für den Kunden einfach und schnell zu erkennen, weshalb sie besonders auch für Konsumprodukte verwendet werden.

Punktesysteme

Punktesysteme werden häufig für nationale Umweltzeichen Typ I gewählt. Dabei wird die Sachbilanz in eine einzige Kennzahl überführt. Die Gewichtung der Sachbilanz (LCI) wird von einem Gremium vorgenommen. Hier können auch aktuelle politische Zielsetzungen mitberücksichtigt werden:

- Schweiz: Umweltbelastungspunkte (UBP) vom Bundesamt für Umwelt (BAFU) [7]
- Österreich: Oekoindex OI3 vom Österreichischen Institut für Baubiologie (IBO)
- EU: Product Environmental Footprints (PEF) von der Europäischen Kommission können als Kontrolle beigezogen werden, eignen sich aber wie andere Indikatoren nicht als alleinige Bewertungsgrundlage.

Umweltbelastungspunkte (UBP)

Die UBPs wurden in der Schweiz zur Erfassung der Umweltauswirkungen wie Emissionen, Landnutzung, Abfall und Ressourcennutzung in einer einzigen Kennzahl auf der Methode der ökologischen Knappheit (MÖK) des Bundesamts für Umwelt (BAFU) [7] entwickelt. Entsprechend den aktuellen politischen Zielen und naturwissenschaftlichen Grundlagen wird periodisch eine neue Gewichtung der Umweltauswirkungen festgelegt. Da beispielsweise Wasser in verschiedenen Weltregionen unterschiedlich knapp ist, kann diese Gewichtung in den UBPs je nach Herkunftsland der Ressource variieren.

Informationen zur Bauwerksbeurteilung

Angaben zum Lebenszyklus des Bauwerks				Ergänzende Informationen ausserhalb des Lebenszyklus des Bauwerks
Module A		Module B	Module C	Modul D
A1– A3 Herstellungsphase	A4 – A5 Bauphase	B1– B7 Nutzungsphase	C1– C4 Entsorgungsphase	Vorteile und Belastungen ausserhalb der Systemgrenze
A1 Rohstoff-bereitstellung	A4 Transport	B1 Nutzung	C1 Rückbau, Abbruch	D Wiederverwendungs-, Rückgewinnungs-, Recyclingpotential
A2 Transport	A5 Bau-/ Einbauprozess	B2 Instandhaltung	C2 Transport	
A3 Herstellung		B3 Reparatur	C3 Abfallbewirtschaftung	
		B4 Ersatz	C4 Deponierung	
		B5 Umbau/ Erneuerung		
		B6 betrieblicher Energieeinsatz		
		B7 betrieblicher Wassereinsatz		

SN EN 15804 Phasen und Module des Lebenszyklus für die Bewertung von Bauwerken

Anwendbarkeit

Für Vergaben nach WTO sind Label Typ I aufgrund des WTO-Prinzips der Nichtdiskriminierung und mit Blick auf Mutual Recognition Agreements (MRA) als Zuschlagskriterium im öffentlichen Beschaffungswesen meist nicht geeignet, da sie als technische Handelshemmnisse qualifiziert werden können. Umweltdeklarationen mit qualitativen Aussagen können jedoch Orientierung für grundlegende Entscheidungen, Analysen und Strategien im Beschaffungsprozess bieten.

Geschützte Begriffe (Typ II)

Zu den Typ-II-Umweltzeichen nach SN EN ISO 14021 [19] gehören geschützte Begriffe, z. B. «kompostierbar», «zerlegbar konstruiert», «recyclingfähig», «reduzierter Energieverbrauch», «Carbon Footprint» oder «CO₂-neutral», welche in dieser Norm genau beschrieben sind. Sie können durch Selbstdeklaration für die Kennzeichnung von Produkten genutzt werden. Dazu gehören auch absolute Unterschiede oder relative Verbesserungen von Produkteigenschaften, wie zum Beispiel der gesteigerte Anteil an Rezyklaten oder die erhöhte Lebensdauer, welche gemäss einer veröffentlichten Norm gemessen wurden.

Umweltdeklaration mit quantitativen Aussagen (Typ III)

Als Typ-III-Umweltzeichen werden Umweltdeklarationen von Baustoffen mit quantitativen Aussagen nach SN EN ISO 14025 [21] eingestuft. Sie bilden die Grundlage für eine Vielzahl von Anwendungen. Denn hier werden für unterschiedliche Indikatoren der Umweltauswirkungen präzise Werte pro deklarierte Einheit ausgegeben. Die europäische Bauprodukteverordnung (CPR) stützt sich auf diese Art von Deklaration und wird daher mit der Übernahme in das BauPG [17] auch für Schweizer Hersteller relevant. [37]

Umweltproduktdeklarationen nach SN EN 15804

Zu den ISO-Typ-III-Labels gehören auch die Umweltproduktdeklarationen gemäss SN EN 15804 [32], welche auch in der Schweiz als «EPD» bekannt sind. Dieser Norm liegt die ISO 21930 [27] zugrunde, was bedeutet, dass die EPD nicht nur ein europäischer, sondern ein weltweiter Standard für Ökobilanzdaten von Baustoffen sind. Die Werte der Umweltauswirkungen pro berechnete Einheit werden in einer Tabelle innerhalb der beiden Achsen «Indikatoren» und «Lebenszyklusphasen» dargestellt und müssen vor Veröffentlichung von einer unabhängigen Stelle geprüft werden. Der Untersuchungsrahmen mit seinen definierten Systemgrenzen wird Produktsystem genannt.

Nationale EPD-Programme

Es gibt nationale EPD-Programme, welche die in der Norm vorgegebenen Spielräume für den nationalen Kontext eindeutig definieren und zudem auch generische Datensätze bereitstellen. Die nationalen Festlegungen für die Schweiz wurden im Vorwort der Norm SN EN 15804 [32] festgehalten.

Darstellung der Daten

In der Lebenszyklusbetrachtung Typ I und Typ III kann grundsätzlich zwischen den Modulen des Lebenszyklus und den Indikatoren der Umweltauswirkungen unterschieden werden. Diese beiden Elemente bilden die Hauptachsen einer Matrix, in der die Informationen zu Umweltauswirkungen von Bauprodukten und Bauwerken dargestellt werden können.

Indikatoren der Umweltauswirkungen

Die unterschiedlichen Indikatoren der Umweltauswirkung von Baustoffen können einer deklarierten Einheit des Produkts wie kg, Stk. oder m³ zugeordnet werden. Zu den wesentlichen Indikatoren zählen die Primärenergie (PE = Primary Energy) und die Treibhausgasemissionen (GWP = Global Warming Potential). Wichtig ist, die Zusammensetzung dieser Werte (Unterindikatoren) zu kennen, ohne die keine genaue Interpretation der Ergebnisse möglich ist. So besteht die Primärenergie zum Beispiel aus vier Unterindikatoren (Indikatoren PE erneuerbar und PE nicht erneuerbar), welche ihrerseits aus den Indikatoren «stofflich» bzw. «energetisch verwendet» bestehen.

Lebenszyklusphasen

Der Lebenszyklus von Gebäuden nach SN EN 15978 [33] und Bauprodukten nach SN EN 15804 wird in Phasen unterteilt, welche wiederum in Module unterteilt sind. [32] Für Bauprodukte, welche noch ohne Bezug zu einer Nutzung stehen, können Hersteller nur Aussagen zu den Phasen Herstellung und Entsorgung machen. Die Umweltauswirkungen aus der Nutzungsphase sind projektspezifisch zu kalkulieren.

Generische Daten

Mit generischen Daten kann eine ganze Gruppe von spezifischen Produkten auf der Grundlage von Durchschnittsdaten repräsentiert werden. Diese kommen besonders in frühen Planungsphasen zur Anwendung, wenn noch keine spezifischen Hersteller definiert sind oder wenn der Hersteller über keine spezifischen Daten verfügt.

Spezifische Daten

Neben diesen generischen Daten existieren auch spezifische Datensätze, etwa von Herstellern, die sich durch innovativere Herstellungsprozesse oder kürzere Transportwege von den Durchschnittsdaten unterscheiden möchten. Um die vielen möglichen projektspezifischen Parameter zu den Rohstoffen, Produktionsstandorten und den entsprechenden Transportdistanzen einfacher abbilden zu können, hat das Bundesamt für Umwelt (BAFU) spezifische Rechner entwickelt, so zum Beispiel den Holzrechner [6] oder den Betonrechner, wobei der jeweilige Stand der Datengrundlagen zu beachten ist.

KBOB-Ökobilanzdaten im Baubereich

Die öffentlichen «Ökobilanzdaten im Baubereich» des Koordinationsgremiums der Bauorgane des Bundes (KBOB) [5] basieren auf der ecoinvent-LCI-Datenbank [38]. Die KBOB-Ökobilanzdaten liefern eine umfassende Sammlung der Umweltauswirkungen von Baumaterialien und Bauelementen, für welche die Umweltbelastungspunkte (UBP), die Primärenergie und Treibhausgasemissionen für die Herstellungs- und die Entsorgungsphase sowie der während der Nutzungsphase gespeicherte biogene Kohlenstoff berechnet worden sind. Die KBOB-Ökobilanzdaten sind grösstenteils generisch und damit auf unterschiedliche Hersteller übertragbar, so auch die Ökobilanzdaten zu Holz.

Unterschiede zwischen KBOB und SN EN 15804

Gemäss einer Vergleichsstudie [8] weichen die Rechenregeln und die Abgrenzung der Lebenszyklusphasen zwischen KBOB [5] und EPD nach SN EN 15804 [32] zwar quantitativ voneinander ab, führen aber qualitativ zu keinen widersprüchlichen Aussagen. In der KBOB-Liste:

- fehlt das Modul D. In diesem Modul werden Nutzen und Lasten ausserhalb des Systemgrenzen angegeben. Dazu gehört das Potential für Wiederverwendung und Recycling des Bauproduktes, also die rückgewinnbare, erneuerbare Energie aus der Verbrennung von biogenen Baustoffen, mit welchen nichterneuerbare Energieträger ersetzt werden können.
- wird jeweils der obere Brennwert angenommen statt der untere.
- wird der gespeicherte biogene Kohlenstoff als zusätzlicher Indikator in kg C angegeben.
- Die Primärenergie wird in KBOB in kWh angegeben und in EPD in MJ.

Wichtige Indikatoren für Holz

Bewertung von Baustoffen

Neben den Indikatoren zu den ökologischen Nachteilen auf die Umwelt (Belastungen) gibt es auch Indikatoren, welche Aussagen zu den möglichen ökologischen Vorteilen von Baustoffen machen. Insbesondere für Holz ist es daher wichtig, diese zu kennen. Sowohl in der KBOB-Liste als auch in EPD nach SN EN 15804 [32] sind enthalten:

- Der Kohlenstoffgehalt von Baustoffen, welcher durch biologische Sequestrierung aufgenommen wurde, wird als biogener Kohlenstoff in «kg Kohlenstoff» ausgewiesen.
 - Differenzierung des Primärenergiegehalts:
 - a) Primärenergie stofflich genutzt, entspricht dem Brennwert des eingesetzten Materials
 - b) Primärenergie energetisch genutzt: verbrauchte Primärenergie zur Herstellung des Baumaterials
- Nur in EPD nach SN EN 15804 [32]:
- Modul D mit den Wiederverwendungs-, Rückgewinnungs- und/oder Recyclingpotentialen, z. B. in Form der Energie-rückgewinnung aus Altholz, oder die mögliche spätere Senkenleistung durch Kohlenstoffabscheidung und Speicherung (CCS und BECCS).

Damit Angebote fair deklariert werden können, macht es Sinn, materialspezifische Konventionen in der Umweltproduktdeklaration (EPD) vorzugeben. Aus diesem Grund bestehen Normen mit zusätzlichen Produktkategorie-Regeln. Für Holz sind die folgenden Regeln in der SN EN 16485 [35] angegeben.

- Holzfeuchte für Vollholz/Hobelwaren: 12 %
- Holzfeuchte für Holzwerkstoffe: 7 %
- Biogener Kohlenstoffgehalt von Holz mit einem Feuchtegehalt von 12 %: 1,63 kg CO₂ pro kg Holz
- Biogener Energiegehalt: 14,1 MJ pro kg Holz
- Der Kohlenstofffaktor *cf* für Holz gemäss SN EN 16449 [34] ist 0,5; in einer Tonne Holz steckt somit eine halbe Tonne C. Wissenschaftlich liessen sich für verschiedene Holzarten noch differenziertere Kohlenstofffaktoren *cf* ermitteln.

Berechnungen des Kohlenstoffkreislaufs

In der Industrie wird oft mit 1835 kg gebundenem CO₂ pro Tonne absolut trockenes Holz gerechnet, also die Masse nach Abzug des Wassergehalts (atro).

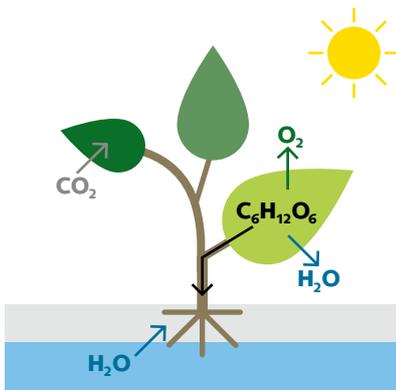
Aufnahme

Kohlenstoffdioxid (CO₂) wird durch die Fotosynthese der Pflanze aufgenommen und gebunden (Sequestrierung).



Diese Gleichung zeigt, dass sechs Moleküle Kohlenstoffdioxid (CO₂) und sechs Moleküle Wasser (H₂O) unter Einfluss von Lichtenergie in ein Molekül Glukose (C₆H₁₂O₆) und sechs Moleküle Sauerstoff (O₂) umgewandelt und gleichzeitig sechs Moleküle Wasser verdunstet werden.

Die Glukose wiederum wird in die Wachstumszone (Kambium) geleitet, wo sie z. B. in Zellulose (C₆H₁₀O₅)_n verwandelt wird.



Die Fotosynthese der Pflanze

Abgabe

Das biogen gespeicherte Kohlenstoffdioxid in Holz, das bei der Zersetzung wieder emittiert wird, kann nach SN EN 16449 berechnet werden. [34]

Dabei wird zunächst die darrtrockene Masse des Holzes ermittelt. Diese wird mit dem jeweiligen Kohlenstoffanteil multipliziert und anschliessend mit dem Faktor für Kohlenstoffdioxid verrechnet.

Die Umrechnung auf Kohlenstoffdioxid beruht auf dem Verhältnis der Atommassen von Kohlenstoffdioxid (CO₂) zu Kohlenstoff (C) von 44:12, was einem Faktor von 3,67 entspricht.

$$P_{\text{CO}_2} = \frac{\rho_w \cdot V_w}{1 + \frac{w}{100}} \cdot cf \cdot \frac{44 \text{ Mol CO}_2}{12 \text{ Mol C}}$$

P_{CO_2} der als Kohlenstoffdioxidemission aus dem Produktsystem in die Atmosphäre oxidierte biogene Kohlenstoff (z. B. Energieträger am Lebensende) (kg)

cf der Kohlenstoffanteil der Holzbiomasse (darrtrockene Masse), 0,5 als Standardwert

w der Feuchtegehalt des Produkts (z. B. 12%)

ρ_w die Rohdichte der Holzbiomasse des Produkts bei diesem Feuchtegehalt (kg/m³)

V_w das Volumen des Vollholzprodukts bei diesem Feuchtegehalt (m³)

Bei Holzprodukten ist der Holzvolumengehalt $V_w = V \cdot VP$

V prozentualer Holzanteil

VP Bruttovolumen des Holzproduktes

Bewertungen

Die Bewertung der Nachhaltigkeit von Bauwerken nach SN EN 15643 [31] beinhaltet ökologische, soziale und ökonomische Aspekte. Erst auf der Grundlage einer vergleichbaren funktionalen Einheit können ökologische Bewertungen zum Vergleich von Varianten vorgenommen werden. Diese werden hier nur erwähnt.

Bewertung von Bauteilen

Auf www.lignumdata.ch werden zunächst die vom Bund publizierten Daten der «KBOB-Liste Ökobilanzdaten im Baubereich» (Angaben pro kg) den Baustoffen zugewiesen und über die jeweilige Dichte der Baumaterialien auf das Volumen umgelegt, um dies anschliessend in den Bauteilen gemäss ihren Anteilen pro Quadratmeter zusammenzuzählen. Dadurch ergeben sich Werte, die zur relativen Vergleichbarkeit von Bauteilen mit ähnlichen Leistungen genutzt oder auch für erste Abschätzungen in frühen Planungsphasen beigezogen werden können. Zwischen KBOB-Ökobilanzdaten [5] und EPD nach SN EN 15804 [32] besteht noch keine offiziell anerkannte Konvergenz. «Herstellung» entspricht den Modulen A1–A3. «Entsorgung» entspricht C1–C4, und «Kohlenstoffgehalt» entspricht in EPD dem Indikator «biogener Kohlenstoffgehalt im Produkt».

Bewertung von Gebäuden in Europa

Die Bewertung von Gebäuden nach SN EN 15978 [33] erfolgt auf Basis der EPD. Der minimale Umfang einer Umweltdenkung (EPD) nach SN EN 15804 [32] enthält die Phasen Herstellung und Entsorgung mit den Modulen A1–A3 + C1–C4 + D, also noch ohne die projektspezifischen Effekte aus der Errichtungsphase (A4–A5) und der Nutzungsphase (B1–B7) wie z. B. Materialaufwand für Ersatz, Unterhalt sowie Betrieb.

Bewertung von Gebäuden in der Schweiz

Vorschriften

- Der Gebäudeenergieausweis der Kantone (GEAK) und die Mustervorschriften der Kantone im Energiebereich (MuKE) berücksichtigen nur die Energieeffizienz in der Nutzungsphase von Gebäuden.

Merkmale und Normen

- Das energiepolitische Modell der 2000-Watt-Gesellschaft hat zum Ziel, den Energiebedarf auf 2000 Watt Dauerleistung zu reduzieren und die CO₂-Emissionen auf eine Tonne pro Kopf und Jahr zu reduzieren. Es schliesst dabei Wohnen und Mobilität mit ein.
- Das Modell der 2000-Watt-Gesellschaft diene als Grundlage für das SIA-Merkblatt 2040 [23], welches 2024 durch die SIA-Norm 390-1 «Klimapfad – Treibhausgasbilanz über den Lebenszyklus von Gebäuden» [24] abgelöst werden soll.
- Berechnungen für die Graue Energie (Primärenergie nicht erneuerbar) werden nach SIA-Merkblatt 2032 «Graue Energie – Ökobilanzierung» [22] durchgeführt, wobei sich diese Berechnungen auf die SIA-Phase «Erstellung» beziehen, welche aus den Modulen A1–A3 & B4 + C1–C4 nach SN EN 15804 besteht. [32] Grundlage sind hier die KBOB-Ökobilanzdaten im Baubereich [5].

Labels

- Minergie-Eco berücksichtigt neben der Energieeffizienz in der Nutzungsphase auch die Graue Energie (Primärenergie nicht erneuerbar) aus Herstellung und Entsorgung. Seit 2022 werden auch die Treibhausgasemissionen und die Kohlenstoffspeicherung in der Erstellung bei allen Minergie-Neubauten ausgewiesen.
- Der Standard Nachhaltiges Bauen Schweiz (SNBS) berücksichtigt unter einer Vielzahl von weiteren Aspekten auch die Umweltauswirkungen von Baustoffen gemäss KBOB-Liste.

Konventionen

Konventionen sind festgelegte Annahmen oder Regeln, die in bestimmten Kontexten oder Fachgebieten anerkannt und verwendet werden. Sie dienen dazu, eine einheitliche Basis für Entscheidungen, Bewertungen oder Handlungen zu schaffen.

Zur einheitlichen Bewertung von Gebäuden bedarf es verschiedener Konventionen, die Gegenstand aktueller politischer [16] [13], wirtschaftlicher und wissenschaftlicher Diskussionen sind. So haben die Annahme der zu erwartenden Lebensdauer von Bauteilen und Gebäuden sowie der Umgang mit den Abfällen am Ende des Lebenszyklus einen erheblichen Einfluss auf die Bewertung der Umweltauswirkungen. Die Festlegung der Konventionen bestimmt somit auch, ob Bauentscheidungen effektiv beeinflusst werden können.

Lebensdauer

Die Lebensdauer umfasst den gesamten Zeitraum von der Herstellung eines Produkts bis zu seiner endgültigen Entsorgung oder dem Recycling. Die gesamte Lebensdauer ist wichtig für die Analyse der Gesamtauswirkungen eines Produkts auf die Umwelt.

Nutzungsdauer

Die Nutzungsdauer bezieht sich auf den Zeitraum, in dem ein Produkt effektiv in seiner vorgesehenen Funktion verwendet wird. Die Nutzungsdauer ist entscheidend für die Berechnung der Umweltauswirkungen pro Nutzungseinheit. Ein Produkt mit einer längeren Nutzungsdauer kann beispielsweise trotz höherer initialer Umweltauswirkungen über seinen Lebenszyklus hinweg umweltfreundlicher sein, weil es länger genutzt werden kann und weniger oft ersetzt werden muss.

Amortisationszeiten

Ökologische Bewertungen von Gebäuden werden oft auf einen Zeitraum von einem Jahr standardisiert, um verschiedene Objekte unter einheitlichen Bedingungen relativ miteinander zu vergleichen oder um Grenzwerte festzulegen.

Das Merkblatt SIA 2032 «Graue Energie – Ökobilanzierung für die Erstellung von Gebäuden» [22] legt für die Schweiz unterschiedliche «Amortisationszeiten» von Baustoffen für die Bewertung von Gebäuden fest. Diese stehen im Gegensatz zur effektiven Nutzungsdauer, die situativ unterschiedlich sein kann.

Nachteile der festgelegten «Amortisationszeiten» sind:

- Während die Verlängerung der effektiven Nutzungsdauer zu keinen Vorteilen in der Bewertung führt, bleiben die negative Auswirkungen aus der Verkürzung der Nutzungsdauer unberücksichtigt.
- Die Umweltauswirkungen, welche über den Lebenszyklus anfallen, werden unabhängig vom Zeitpunkt der Emission auf die festgelegte Amortisationszeit verteilt.

Aus Klimasicht ist aber der effektive Zeitpunkt der Emission relevant, weil die Klimawirkung der Treibhausgase vom Zeitpunkt der Emissionen an unmittelbar eintritt.

Biogener Kohlenstoff

Es besteht ein Konsens, dass eine Verzögerung der biogenen CO₂-Emissionen durch einen temporären Speicher (z. B. nachwachsende Baustoffe) einen temporären Einfluss auf den Verlauf des Anstiegs der globalen Mitteltemperatur hat. [14]

Für die Bilanzierung des biogenen Kohlenstoffs in der Ökobilanz von Gebäuden existieren unterschiedliche Methoden und Regelungen.

Methode nach SN EN 15804

Der Kohlenstoffgehalt der Produkte wird zunächst mit einem negativen Treibhauspotential bewertet, welches mit der Entsorgung zu 100% wieder in die Atmosphäre gelangt. Dadurch ergibt sich während der Nutzungsdauer des Materials eine temporäre Speicherung. Diese wird in der Regel durch die Emissionen am Ende der Nutzungsdauer mit einem positiven Wert ausgeglichen.

Methode nach KBOB

In der KBOB-Liste «Ökobilanzdaten» wird der in Bauprodukten enthaltene biogene Kohlenstoff nicht in das Treibhausgaspotential eingerechnet, separat ausgewiesen und in kg C angegeben. Mit dieser Kenngrösse wird der in nachwachsenden Rohstoffen enthaltene Kohlenstoff quantifiziert. [5]

Dynamischer Ansatz

Mit Dynamic LCA (DLCA) wird zusätzlich ein Zeitparameter in die traditionelle Lebenszyklusanalyse (LCA) eingeführt. [13] Beim dynamischen Ansatz kann z. B. die Regeneration nachwachsender Rohstoffe während der Nutzungsdauer berücksichtigt werden.

Es existieren unterschiedliche Umsetzungen des dynamischen Ansatzes in Bezug auf den biogenen Kohlenstoff, welche grossen Einfluss auf die Bilanzierung haben:

- In Frankreich wurde ein dynamischer Ansatz in der «Réglementation environnementale» RE2020 eingeführt. Die Emissionen biogener Baustoffe werden dabei am Ende ihres Lebenszyklus mit zunehmender Nutzungsdauer geringer gewichtet.
- Verfeinerte Methoden berücksichtigen den Zeitpunkt der Aufnahme von biogenem Kohlenstoff durch das Wachstum der Pflanzen sowie den Einfluss der Rotationsdauer (Zeitdauer zwischen Aussaat bis Ernte) von nachwachsenden Rohstoffen.

Stoffflussanalyse

Der gespeicherte Kohlenstoff in biobasierten Bauprodukten wird über die Zeit mit einer Stoffflussanalyse (Inflow/Outflow-Betrachtung) bilanziert. Bei einer Zunahme der Menge wirkt der zusätzlich eingespeicherte Kohlenstoff als Senke. Diese Betrachtung eignet sich für einen gesamten Gebäudepark, jedoch nicht für die Bilanzierung einzelner Gebäude.

Kreislaufwirtschaft: Wiederverwendung und Rezyklierung

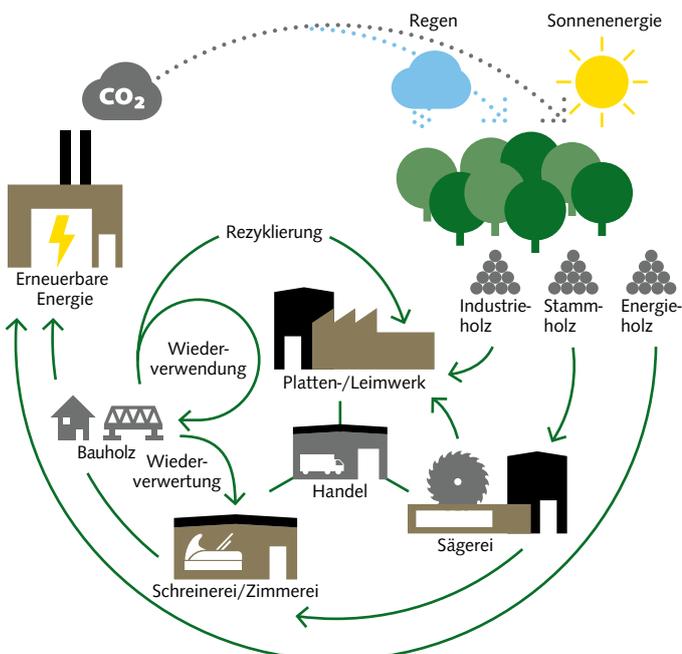
Im Schweizer Hochbau sind schätzungsweise 1,5 Milliarden Tonnen Baumaterial enthalten. Jährlich entstehen rund 15,5 Millionen Tonnen Bauabfall, das sind 65% des jährlich anfallenden Abfalls in der Schweiz. Allein beim Rückbau eines Einfamilienhauses entstehen etwa 400 Tonnen Bauabfall. Er besteht zu 90% aus Ziegeln, Beton und Putz. Die restlichen 10% sind Holz, gipshaltige Baustoffe sowie Metalle, Wärmedämmungen und Kunststoffe. Heute werden rund 80% der Schweizer Bauabfälle separiert, aufbereitet und als Recyclingbaustoff verwertet. Der Rest der Bauabfälle wird entweder in Kehrlichtverbrennungsanlagen (KVA) verbrannt oder direkt auf Deponien abgelagert. [9]

Wiederverwendung und Rezyklierung

Der Ansatz der Kreislaufwirtschaft bietet ein grosses Potential, den hohen Ressourcenverbrauch im Bausektor zu reduzieren. Gebäude sollten heute so geplant und gebaut werden, dass sie möglichst lange genutzt und am Ende ihrer Lebensdauer für ein hochwertiges Recycling rückgebaut werden können. Bei der Holzverwendung bedeutet dies, dass das Material so lange und so hochwertig wie möglich in stofflichen Anwendungen genutzt wird und erst am Schluss thermisch verwertet wird (Kaskadennutzung).

Zusätzliche planerische Anstrengungen für eine verbesserte Kreislauffähigkeit von Bauteilen in anderen Gebäuden, zum Beispiel mit Massnahmen wie Design for Disassembly (DfD), Re-Use oder Recycling, können in Ökobilanzrechnungen berücksichtigt werden. In EPDs werden diese im Modul D angegeben.

- Für Recycling und Re-Use werden die vermiedenen Umweltauswirkungen aus der Herstellung neuer Produkte (Substitution) deklariert.
- Für DfD werden die Vorteile einer verlängerten Lebensdauer dargestellt.



Die Kaskadennutzung im erneuerbaren Kreislauf von Holz

Produktkategorieregeln (PCR)

Die Norm SN EN 16485 [35] legt allgemeine Produktkategorieregeln (PCR) für Typ-III-Umweltdeklarationen von Holz- und Holzwerkstoffprodukten im Bauwesen fest. Sie ergänzt die in EN 15804 beschriebenen Grundregeln. Durch die Nutzung dieser Möglichkeiten entstehen in der Planung wichtige Anreize für die Berücksichtigung der Kaskadennutzung von verbauten Ressourcen.

Allokationsmethoden am Ende des Lebenszyklus gemäss der SN EN 16485

In Ökobilanzierungen können die Umweltauswirkungen des Outputs von Ausbau, Rückbau oder Abbruch am Ende des Lebenszyklus je nach Szenario unterschiedlich alloziert werden; dabei darf es zu keinen Doppelzählungen kommen.

Gelangen wiederverwertbare Produkte, Stoffe und/oder nutzbare Energieträger erneut in einen weiteren Lebenszyklus, verlassen sie das Produktsystem und erreichen damit das Ende ihrer Abfalleigenschaften. Dieser Vorgang wird auch «End-of-Waste» (EoW) genannt und gilt, wenn gemäss SN EN 16485 [35] folgende Kriterien erfüllt werden:

1. Verwendung für bestimmte Zwecke
2. Vorhandener Markt oder Nachfrage
3. Erfüllung technischer Anforderungen und gesetzlicher Vorschriften
4. Keine schädlichen Umwelt- oder Gesundheitsfolgen

Die entsprechenden Umweltauswirkungen aus der Entsorgung werden dann an das nächste Gebäude weitergegeben. Zum Beispiel muss der Energiegehalt des Produkts in Modul C3 von den Indikatoren für den gesamten Einsatz Primärenergie erneuerbar, total und Primärenergie erneuerbar Herstellung, stofflich gebunden abgezogen werden. Es wird angenommen, dass dieser Energiegehalt im nächsten Lebenszyklus genutzt wird. [36]

Die Abfallbehandlung ist Teil des Produktsystems, das nach dem Verursacherprinzip untersucht wird.

Wird EoW nicht erreicht und als Abfall entsorgt, werden diese Prozesse als Gutschriften und Lasten jenseits der Grenzen des Produktsystems Modul D zugeordnet. Wird z. B. Holz als «Sekundärbrennstoff» zur Herstellung eines anderen Produkts verwendet, kann das ursprüngliche Produkt im Modul D eine Gutschrift für die vermiedene Nutzung von «Primärbrennstoffen» erhalten.

Abfälle, die während der Herstellungsphase und nicht am Ende des Lebenszyklus entstehen, können ebenfalls den Status «Abfallende» erreichen, aber die damit verbundenen potentiellen Lasten und Vorteile können in der Regel nicht in Modul D ausgewiesen werden. Diese Abfälle werden als Co-Produkte zugeordnet, und die Allokation ihrer Emissionen beruht in der Regel auf den ökonomischen Werten.

Digitale Arbeitsabläufe (Workflows)

Dank der BIM-Methode und den unterstützenden Berechnungstools können Gebäude schon in frühen Planungsphasen optimiert werden. Der Online-Kurs www.bim-ica.ch zeigt anhand unterschiedlicher Workflows, wie das Thema in der digitalen Welt bereits heute angewendet werden kann. [3] Zur Gewährleistung des reibungslosen Datenaustauschs hat Lignum die Übersetzung gemäss SN EN ISO 23386 [30] und die Integration der EPD-Datenstruktur gemäss SN EN ISO 22057 [29] in den buildingSMART data dictionary massgeblich vorangetrieben (Dictionary: LCA indicators and modules). [4] [10]

Literatur

- [1] Lignatec Nr. 25 – «Klimaschonend und energieeffizient bauen mit Holz – Grundlagen», 2011
- [2] Lignatec Nr. 26 – «Klimaschonend und energieeffizient bauen mit Holz – Umsetzung», 2012
- [3] Online-Schulung: www.bim-lca.ch, Christelle Ganne Chédeville, BFH AHB, 2021
- [4] Templates von CEI-Bois [Digital Templates | CEI-Bois](https://www.cei-bois.ch/digital-templates), CEI-Bois, 2021
- [5] KBOB-Ökobilanzdaten im Baubereich, KBOB/ecobau/IPB, 2022
- [6] Holzrechner <https://treeze.ch/de/rechner>
- [7] Ökofaktoren Schweiz 2021 gemäss der Methode der ökologischen Knappheit, BAFU, 2021
- [8] Arbeitsbericht «Technische Grundlagen zur Prüfung eines Wechsels auf die europäischen EPD-Normen für die ökologische Bewertung von Baustoffen und Gebäuden», F. Werner & R. Frischknecht, 2018
- [9] «Ent-Sorgen, Abfall in der Schweiz illustriert», BAFU, 2016
- [10] [Building smart Data Dictionary \(bSDD\)](https://www.bim-lca.ch/bim-lca-dictionary)
- [11] «Making Concrete Change: Innovation in Low-carbon Cement and Concrete», Royal Institute of international Affairs, 2018
- [12] R. M. Andrew, «Global CO₂ emissions from cement production 1928–2018», *Earth Syst. Sci. Data*, 11, 1675–1710, 2019
- [13] Collinge, William et al., «Dynamic life cycle assessment: Framework and application to an institutional building», *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 2012
- [14] H. D. Matthews et al., «Temporary nature-based carbon removal can lower peak warming in a well-below 2 °C scenario», *Commun Earth Environ* 3, 65, 2022
- [15] Sustainable finance taxonomy – Regulation (EU) 2020/852
- [16] SR 641.711 «Verordnung über die Reduktion der CO₂-Emissionen», Stand 1. Januar 2024
- [17] SR 933.0 «Bundesgesetz über Bauprodukte (Bauproduktengesetz, BauPG)», Stand 1. September 2023
- [18] SN EN ISO 14020 «Umwelterklärungen und -programme für Produkte – Grundsätze und allgemeine Anforderungen», 2023
- [19] SN EN ISO 14021 «Umweltkennzeichnungen und -deklarationen – Umweltbezogene Anbietererklärungen (Umweltkennzeichnung Typ II)», 2016
- [20] SN EN ISO 14024 «Umweltkennzeichnungen und -deklarationen – Umweltkennzeichnung Typ I – Grundsätze und Verfahren», 2019
- [21] SN EN ISO 14025 «Umweltkennzeichnungen und -deklarationen – Typ III Umweltdeklarationen – Grundsätze und Verfahren», 2010
- [22] Merkblatt SIA 2032 «Graue Energie – Ökobilanzierung für die Erstellung von Gebäuden», 2020
- [23] Merkblatt SIA 2040 «SIA-Effizienzpfad Energie», 2017
- [24] SN 591390-1, (SIA 390-1) «Klimapfad – Treibhausgasbilanz über den Lebenszyklus von Gebäuden», 2017
- [25] SN EN ISO 14040/A1 «Umweltmanagement – Ökobilanz – Grundsätze und Rahmenbedingungen», 2021
- [26] SN EN ISO 14044 «Umweltmanagement – Ökobilanz – Anforderungen und Anleitungen», 2006
- [27] ISO 21930 «Nachhaltigkeit von Bauwerken – Grundregeln für die Umweltdeklaration von in Bauwerken verwendeten Bauprodukten und technischen Anlagen», 2017
- [28] SN EN ISO 21931 «Nachhaltigkeit von Bauwerken – Rahmenbedingungen für Methoden zur Bewertung der umweltbezogenen Qualität von Bauwerken», 2010
- [29] SN EN ISO 22057 (SIA 490.056) «Nachhaltigkeit von Gebäuden und Ingenieurbauwerken – Datenvorlagen für die Verwendung von Umweltproduktdeklarationen (EPDs) für Bauprodukte in der Bauwerksinformationsmodellierung (BIM)», 2022
- [30] SN EN ISO 23386, (SIA 440.003) «Bauwerksinformationsmodellierung und andere digitale Prozesse im Bauwesen – Methodik zur Beschreibung, Erstellung und Pflege von Merkmalen in miteinander verbundenen Datenkatalogen», 2020
- [31] SN EN 15643, (SIA 490.001) «Nachhaltigkeit von Bauwerken», 2021
- [32] SN EN 15804+A2, (SIA 490.052+A2) «Nachhaltigkeit von Bauwerken – Umweltproduktdeklarationen – Grundregeln für die Produktkategorie Bauprodukte», 2022
- [33] SN EN 15978, (SIA 490.010) «Nachhaltigkeit von Bauwerken – Bewertung der umweltbezogenen Qualität von Gebäuden – Berechnungsmethode», 2011
- [34] SN EN 16449, (SIA 265.576) «Holz und Holzprodukte – Berechnung des biogenen Kohlenstoffgehalts im Holz und Umrechnung in Kohlenstoffdioxid», 2014
- [35] SN EN 16485, (SIA 265.577) «Rund- und Schnittholz – Umweltproduktdeklarationen – Produktkategorieregeln für Holz und Holzwerkstoffe im Bauwesen», 2014
- [36] prEN 16485: Entwurf «Rund- und Schnittholz – Umweltproduktdeklarationen – Produktkategorieregeln für Holz und Holzwerkstoffe im Bauwesen», 2023
- [37] Whitepaper «[Digital vernetzte Bauproduktdaten als Grundlage für die Zirkularität](https://www.bauen.digital.ch/)», Bauen digital Schweiz, 2024
- [38] Ecoinvent-Datenbank, Zürich www.ecoinvent.org
- [39] GaBi, Software und Datenbank zur Produktnachhaltigkeit von Sphera, USA, www.gabi-software.com
- [40] ÖKOBAUDAT, Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR), Deutschland www.oekobaudat.de



Lignum
Holzwirtschaft Schweiz
Economie suisse du bois
Economia svizzera del legno

Mühlebachstrasse 8
CH-8008 Zürich
Tel. 044 267 47 77
info@lignum.ch
www.lignum.ch

Herausgeber
Lignum, Holzwirtschaft Schweiz
Erschienen im November 2024

Dieses Projekt wurde realisiert mit Unterstützung des Bundesamts für Umwelt (BAFU) im Rahmen des Aktionsplans Holz

In Zusammenarbeit mit
Swiss Timber Engineers ste
www.swisstimberengineers.ch

Redaktion
Hansueli Schmid, Lignum
Dr. Christelle Ganne-Chédeville und Prof. Dr. Aude Chabrelie, Berner Fachhochschule (BFH) Architektur, Holz und Bau, Biel

Coverbild
Pixabay

Gestaltung
BN Graphics, Zürich