

Ökobilanzierung von Holzprodukten – Methodik und Beispiele

Eco-balances for wood products –
methods and examples

L'écobilan de produits en bois –
méthodologie et exemples

DI Dr. Franz Dolezal
Holzforschung Austria
Fachbereich für Bauphysik
AT-Wien



Ökobilanzierung von Holzprodukten – Methodik und Beispiele

Durch die Fähigkeit des Holzes CO_2 zu speichern kommt dem Holzbau im Rahmen der derzeitigen Klima- und Nachhaltigkeitsdiskussion eine zentrale Bedeutung zu, da durch die Baustoffwahl signifikant Treibhausgas-Äquivalente eingespart werden können. In einer umfassenden Kooperation unterschiedlicher Forschungseinrichtungen wurden im Rahmen dieses nationalen Teilprojekts zum europäischen Forschungsprojekts „ CO_2 - Wood in carbon efficient constructions“, methodische Grundlagen zur Ökobilanzierung erarbeitet und diskutiert, Grundlagendaten v.a. aus der Holzindustrie gesammelt und die Ergebnisse aus der Methodendiskussion mit den internationalen Partnern auf die Analyse des Lebenszyklus von Holzprodukten angewendet. Anhand gewonnener Erkenntnisse wurde der Produktlebenszyklus bilanziert. Bestehende frei zugängliche Kataloge von geprüften Holzkonstruktionen (dataholz.com) wurden bezüglich ihrer ökologischen Kenndaten aktualisiert und durch, dem aktuellen Gebäudestandard entsprechende, Plus-Energie-Haus-Konstruktionen erweitert. Weiter wurden im Rahmen dieses Forschungsprojektes Detailspekte der Umweltwirkungen von Holz und Holzprodukten vom Forst bis hin zur Entsorgung des gesamten Gebäudes unter die Lupe genommen.

1. Besonderheiten von Holz in der Lebenszyklusanalyse – Methodik

Holz unterscheidet sich in einigen grundlegenden Eigenschaften von anderen Baustoffen die für vergleichbare Zwecke eingesetzt werden. Hier ist nicht der erfreuliche Aspekt des Nachwachsens der Biomasse gemeint, sondern einerseits die Speicherung von Kohlenstoff und andererseits der Energiegehalt die beide in Ökobilanzen Berücksichtigung finden müssen. Einen wesentlichen Einfluss auf den Umgang mit diesen beiden Eigenschaften hat die Herkunft des Holzes, nämlich in Hinblick auf die nachhaltige Bewirtschaftung des jeweiligen Forstes.

1.1. Kohlenstoffbindung von Holz

Wie bereits vielfach beschrieben besteht Holz zu ungefähr 50 % aus Kohlenstoff. Daraus resultiert eine der Atmosphäre entzogene Menge von 1,83 kg CO_2 pro kg Holz. Dies kann nun bei der Produktion mit der entsprechend gesetzten Systemgrenze im Forst mit einbezogen werden, muss aber dann, um die Input- und Outputströme ausgeglichen zu halten, in der Entsorgungsphase auch wieder als Emission in die Atmosphäre ausgewiesen werden. Ein möglicher Vorteil kann im temporären Entzug des CO_2 in langlebigen Produkten, wie in der Bauwirtschaft üblich, gesehen werden. Unter der Betrachtung des kompletten Lebenszyklus, und damit auch dem Ersatz von Materialien (B4), sind sämtliche Kohlenstoffspeicher dann gemäß Abbildung 1 in der Entsorgungsphase C wieder zu leeren (besonders schnell bei Verbrennung). Zusätzlich wird bei der Verbrennung von Holz in Müllverbrennungsanlagen oder Heizkraftwerken Energie gewonnen, welche fossile Energieträger (man spricht von marginal technology) ersetzen kann, was, unter Berücksichtigung von unterschiedlichen Verbrennungswirkungsgraden, zu "negativen" CO_2 -Emissionen in Phase D führt (Abbildung 1).

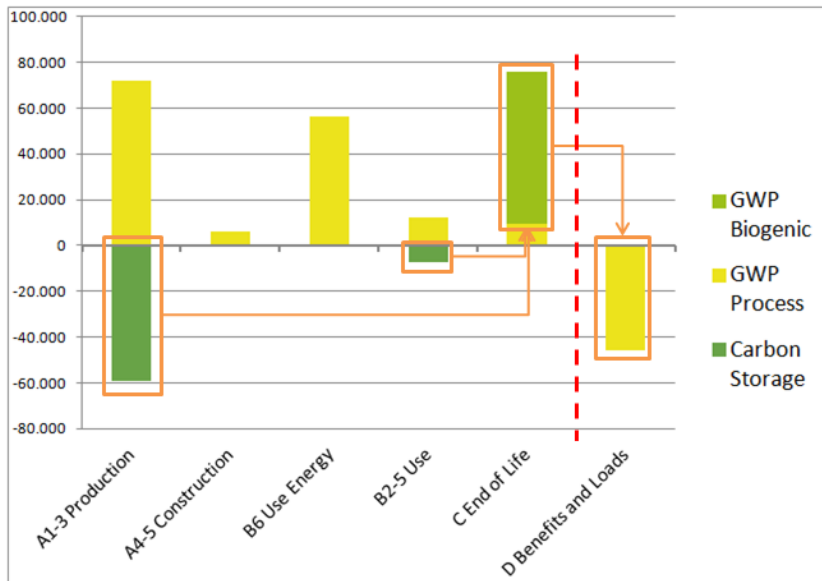


Abbildung 1: CO₂-Ströme von Holz und Holzprodukten in einer Gebäudebilanz

In der in Abbildung 1 gezeigten Bilanz werden jedoch nur die Emissionen aus den verbauten Hölzern berücksichtigt. Nicht dargestellt sind biogene CO₂ Emissionen die während der Produktion beispielsweise durch Holz Trocknung mit Holzabfällen, oder in der Nutzungsphase durch die Beheizung oder Warmwasserbereitung mit Biomasse anfallen. Verbreitet verwendete Datenbanken wie Ecoinvent gehen hier von weitgehender CO₂-Neutralität bei Verwertung als Energieträger, also Holz aus nachhaltig bewirtschafteten Wäldern aus (Bauer 2007, Werner 2007).

1.2. Energieinhalt von Holz

Eine weitere aus der Reihe der Baustoffe herausragende Eigenschaft des Holzes ist dessen Energieinhalt oder Material inhärente Energie. Simplifiziert ausgedrückt handelt es sich dabei um gespeicherte Sonnenenergie, da der Baum nur durch Hilfe von Sonnenlicht in der Lage ist CO₂ und Wasser in Biomasse um zu wandeln. Der Heizwert des Holzes hängt neben der Holzfeuchte von der Zusammensetzung des Holzes, also vom Anteil der verschiedenen Makromoleküle ab (Bauer 2007). Dabei wird oberem Heizwert (auch Brennwert) und unterem Heizwert unterschieden. In Lebenszyklusanalysen wird mittlerweile einheitlich der untere Heizwert (auch Heizwert) für die Berechnungen herangezogen. Für Laubholz (Hartholz) liegt der Heizwert bei etwa 18,3 MJ/kg, für Nadelholz (Weichholz) bei ungefähr 19,1 MJ/kg.

Die Betrachtung des kompletten Lebenszyklus eines Holzgebäudes hinsichtlich der Primärenergie in Abbildung 2 zeigt nun ein ähnliches Bild wie die GWP-Betrachtung: Material inhärente Primärenergie aus der Produktion und der Austauschphase wird in der Entsorgungsphase – sofern das Szenario thermische Verwertung gewählt wurde – freigesetzt und kann in der Phase D zur Substitution von Energie aus fossilen Quellen heran gezogen werden. Neben dieser dem Material eigenen Energie werden auch die für die Produktion erforderlichen Primärenergien (erneuerbar und nicht erneuerbar) angeführt. Generell wird als Primärenergieinhalt (abgekürzt PEI, auch Primärenergieverbrauch bzw. -bedarf) der zur Herstellung eines Produktes oder einer Dienstleistung erforderliche Gesamtverbrauch an energetischen Ressourcen bezeichnet. Angegeben wird er üblicherweise in MJ, wobei eine Unterscheidung in den Primärenergieinhalt nicht erneuerbar – PEI_{ne} (berechnet sich aus dem unteren Heizwert aller nicht erneuerbaren energetischen Ressourcen, wobei als nicht erneuerbare Energieträger Erdöl, Erdgas, Braun- und Steinkohle sowie Uran gelten) und dem Primärenergieinhalt erneuerbar – PEI_{ern} (berechnet sich aus dem unteren Heizwert aller erneuerbaren energetischen Ressourcen, wobei als erneuerbare Ressourcen Holz (aus nachhaltiger Forstwirtschaft), Wasserkraft, Sonnenenergie und Windenergie gelten) üblich ist und auch in den einschlägigen Normen gefordert wird.

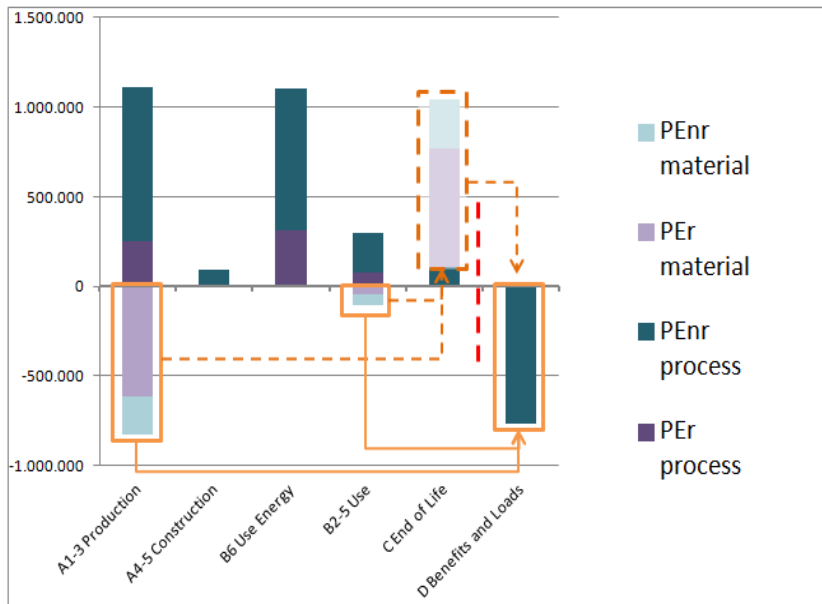


Abbildung 2: Primärenergieströme von Materialien in einer Gebäudebilanz

Auch Kunststoffe haben einen Energieinhalt, naturgemäß einen höheren als Holz und außerdem einen nicht erneuerbaren, da sie aus fossilen Rohstoffen hergestellt werden. Auch diese Energieströme sind in Abbildung 2 dargestellt und werden ebenso konsequent verfolgt wie die erneuerbaren Primärenergien aus nachwachsenden Quellen.

2. Rahmenbedingungen der Bilanzierung

2.1. Datenerhebung

Die Datenerhebung erfolgte mit Datenerhebungsbögen, welche an die uns genannten und im Betrieb für die Bearbeitung des Projekts zuständigen Personen, inklusive eines beispielhaften Produktionsflussdiagrammes, versandt wurden.

Nach Rücklauf des Datenerhebungsbogens wurden im Zuge der Berechnung sich ergebende offene Fragen geklärt. Zur Qualitätssicherung wurde ausnahmslos bei jedem Teilnehmer auch ein Werkbesuch durchgeführt.

Für Hintergrunddaten wurde allgemein auf die aktuelle ecoinvent-Datenbank zurückgegriffen.

2.2. Systemgrenzen

Die Bestimmung der Systemgrenzen basiert gemäß EN 15804, 6.3.4.1 auf zwei Prinzipien:

- Das „Modularitätsprinzip“: Wo Prozesse die Umweltqualität des Produkts während seines Lebenszyklus beeinflussen, werden sie dem Modul der Phasen des Lebenszyklus zugeordnet, in dem sie anfallen. Alle Umweltaspekte und -wirkungen werden in den Stadien des Lebenszyklus deklariert, in denen sie auftreten;
- Das „Verursacherprinzip“: Die Prozesse der Abfallbehandlung werden dem Produktsystem zugeordnet, das den Abfall verursacht hat, bis eine vollständige Abfallbehandlung erreicht ist.

Rohstoffe

Die Rohstoffe und Halbzeuge, die in den Datenerhebungsbögen angeführt wurden, wurden durch Basismodule aus der aktuellen ecoinvent-Datenbank abgedeckt, so dass die Vorketten bereits inkludiert sind, wie beispielsweise die Herstellung von Oberflächenbeschichtungen. In diesen Basismodulen wird bereits Folgendes berücksichtigt: Energie für die Herstellungsprozesse, Transporte, Rohstoffe, Hilfsmittel und Zusatzstoffe. Dies gilt für alle Basismodule. Bei Holz-Basismodulen kommen noch Allokationskorrekturen hinzu. Weiter ist in den Holz-Basismodulen Holz als Rohstoff von der Pflanzung bzw. Bestandsgründung weg enthalten.

Energie

Für die vom Hersteller deklarierte Stromerzeugung wurden die entsprechenden länderspezifischen Basisdaten aus ecoinvent herangezogen. Für Ökostrom musste ein Zertifikat vorgelegt werden und der darin deklarierte Strommix wurde aus den vorliegenden ecoinvent Modulen zusammengestellt. Thermische Energieprozesse wurden mit den am besten passenden europäischen ecoinvent Modulen angenähert.

Transporte

Als Basisdaten wurden die ecoinvent-Transportprozesse nach (Spielmann 2007) herangezogen. Für den LKW Transport der Rohstoffe wurde, wenn vom Hersteller keine spezifischen Angaben deklariert wurden, immer das europäische Modul für einen Lastwagen 16-32 t der Euroklasse 3 eingesetzt. Für Transporte mit dem Schiff wurden entweder das Modul "Transport, Frachter Übersee" oder "Transport, Frachter, Binnengewässer" gewählt. Für den Bahntransport gibt es landesspezifische Module für "Transport, Fracht, Schiene". Die Angaben zu den Transportdistanzen wurden vom Hersteller übernommen, mit dem Routenplaner Nokia Maps <http://maps.nokia.com> und dem Distanzkalkulator von <http://www.portworld.com/map/> bzw. gemäß <http://www.dataloy.com> an Hand der Lieferantenquelle überprüft oder berechnet.

2.3. Basisdaten aus dem Forst als Grundlage für die Lebenszyklusanalyse

Neben Transport, Materialwahl und Energieeinsatz kann die Auswahl des Basisdatensatzes aus allgemein akzeptierten Datenbanken wie Ecoinvent bei den Lebenszyklusanalysen von Holzprodukten das Ergebnis entscheidend beeinflussen. Hier ist vor allem das Datenmodul der Holzernte in Ecoinvent, der von uns und auch in ganz Europa, verwendeten Basisdatenbank, zu nennen, welches wesentlichen Einfluss auf Umweltauswirkungen von Holzprodukten hat. Eine der ersten Aufgaben war daher die Plausibilität dieses Datensatzes für österreichische Verhältnisse zu untersuchen und gegebenenfalls zu ersetzen bzw. zu adaptieren.

Dazu wurden die Holzernte im Forst begleitet und deren Dauer, Holzmenge und der dabei anfallende Energieverbrauch sowohl für Ernte mit Motorsäge als auch Harvester, ermittelt. Die Ergebnisse werden in Abbildung 3 mit jenen aus der Datenbank Ecoinvent Version 2.2 verglichen.

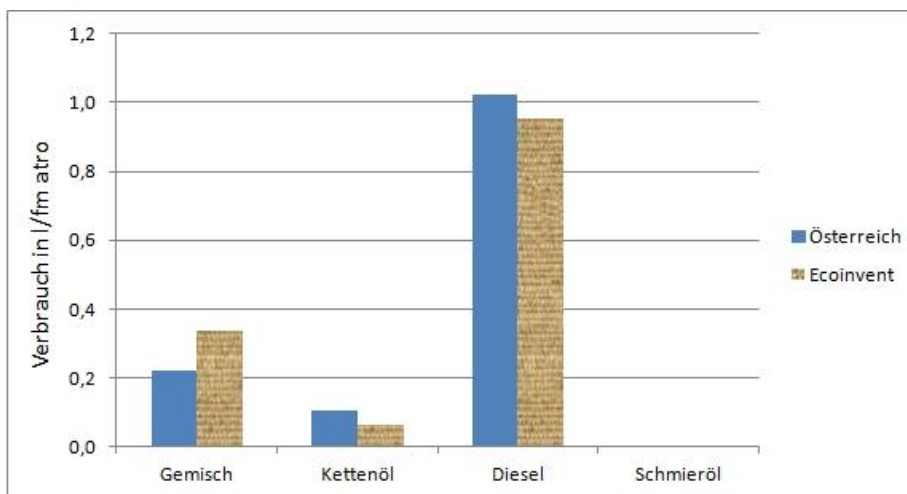


Abbildung 3: Holzernte Vergleich Erhebung HFA – Ecoinvent in l/fm atro

Ein Vergleich mit den generischen Daten aus Ecoinvent zeigt durchaus ähnliche Größenordnungen. Differenzen treten vor allem beim Rücken auf. Generell wird in Ecoinvent ausschließlich von Ernte mit Motorsäge ausgegangen. Die in Österreich, wie oben angeführt, übliche Verwendung von Harvestern (20%) erhöht den Dieselanteil und reduziert den Gemischanteil in der Gesamtbetrachtung der Holzernte. Außerdem ist zu beachten, dass die Ecoinvent-Daten vom Einsatz von Rückewagen ausgehen. Wie bereits oben erwähnt, werden aber nur die von Harvestern aufgearbeiteten Fraktionen von 19,8 %

des Gesamteinschlags mit Forwardern, weitere 55 % des Gesamteinschlags mit Seilzug, 18 % mit Seilgeräten und 7,2 % händisch mit Schwerkraft und Sappel gerückt. Dabei beruhen die erwähnten Daten auf Angaben von (Pröll 2006).

3. Ergebnisse aus den Lebenszyklusanalysen

Von den verschiedenen Produkten werden hier output-gewichtete Durchschnittswerte mehrerer Produkte einer Produktkategorie angeführt. Eine Bewertung der LCA-Ergebnisse in einer Produktkategorie wird damit möglich und eventueller Optimierungsbedarf erkennbar.

Generell wurden die Vorgaben der relevanten Normen EN ISO 14040, EN ISO 14044 und EN 15804 zu Lebenszyklusanalysen von Bauprodukten eingehalten. Die Sachbilanzen der Produkte wurden auf Grundlage der Empfehlungen von (Hischier et al. 2009), (Frischknecht et al. 2007a und b), (Werner et al. 2007) und (Bauer 2007) erstellt. Die Berechnungsmethodik der Umweltwirkungen basiert auf (CML 2001).

Hier soll stellvertretend für alle Umweltwirkungen das Treibhauspotential bezogen auf 100 Jahre (GWP 100) und der Primärenergieinhalt nicht erneuerbar (PEI ne) dargestellt werden.

Für die Produktphasen A1 – A3, berechnet nach ÖNORM EN 15804, können erhobene Daten eingesetzt werden, für alle weiteren Produktphasen (A4-A5, B, C und D) können nur Szenarien angenommen werden. Man bezeichnet dieses Stadium A1-A3, die einzigen die auch zusammengefasst werden dürfen, auch als „cradle to gate“ bzw. von der „Wiege bis zum Werkstor“. Siehe hierzu auch Tabelle 1 gemäß ÖNORM EN 15804.

Tabelle 1: Lebenszyklusphasen gemäß ÖNORM EN 15804

Herstellung			Errichtung		Nutzung							Entsorgung				erg.Info
A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D
Rohstoff	Transport	Herstellung	Transport	Einbau	Nutzung	Instandhaltung	Reparatur	Ersatz	Umbau Erneuerung	Energie	Wasser	Abbruch	Transport	Abfallwirtschaft	Deponierung	Lasten und Gutschriften

Die vorliegenden Ökobilanzen sind sogenannte Blackbox – Ökobilanzen, d.h. die einzelnen Prozessschritte zur Herstellung wie zum Beispiel Verklebung oder Verpackung werden nicht separat nach Energieaufwand, In- und Output erfasst, sondern gesamthaft betrachtet. Eine detaillierte Erfassung wäre nur durch eine Detailerhebung jedes Prozessschrittes während der Produktion im Betrieb möglich.

Biogenen Emissionen werden in den Grafiken nicht ausgewiesen, obwohl diese prinzipiell in fast allen Lebensphasen auftreten, aber in den üblicherweise verwendeten Datenbanken als CO₂-neutral (also von nachhaltig bewirtschafteten Wäldern stammend) betrachtet werden. Es können daher als biogene Emissionen nur jene aus dem Material Holz selbst und auch nur bei der thermischen Entsorgung berücksichtigt werden.

3.1. Ergebnisse Ökobilanz Mehrschichtparkett

Die in Abbildung 4 dargestellten Ergebnisse der Indikatoren beruhen auf den output-gewichteten Durchschnittswerten der Ergebnisse von 8 Mehrschichtparkettprodukten.

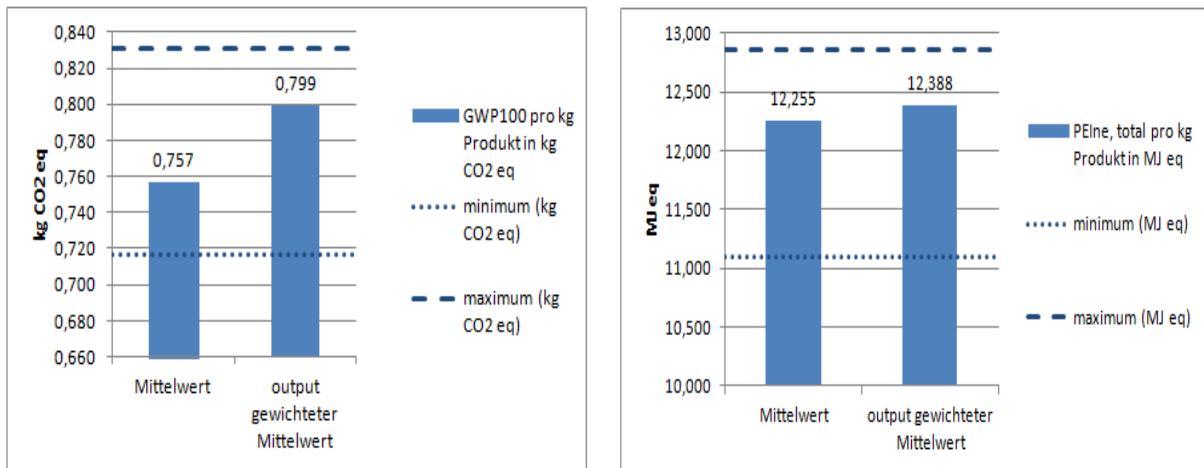


Abbildung 4: Herstellung (A1-A3) Mehrschichtparkett GWP (links) und PEIne (rechts) pro kg

Für alle weiteren Lebensphasen nach der Herstellung müssen plausible Szenarien angenommen werden. Bei Mehrschichtparkett wurden u.a. folgende Annahmen getätigt:

- Transportentfernungen zur Baustelle: 250 km
- Verluste beim Einbau sowie thermische Entsorgung dieser Verluste nichtberücksichtigt
- Nutzungsdauer 25 Jahre
- Keine Wartung, Reinigung oder Pflege berücksichtigt
- Instandhaltung ist 1x Erneuerung Decklack
- Thermische Entsorgung mit Energiegewinnung
- Substitution von Erdgas

Unter Zugrundelegung obiger Annahmen resultiert daraus das in Abbildung 5 dargestellte Treibhauspotential aus dem output-gemittelten Durchschnittswert, umgelegt über die Rohdichte auf 1 m², Parkettboden für den gesamten Lebenszyklus.

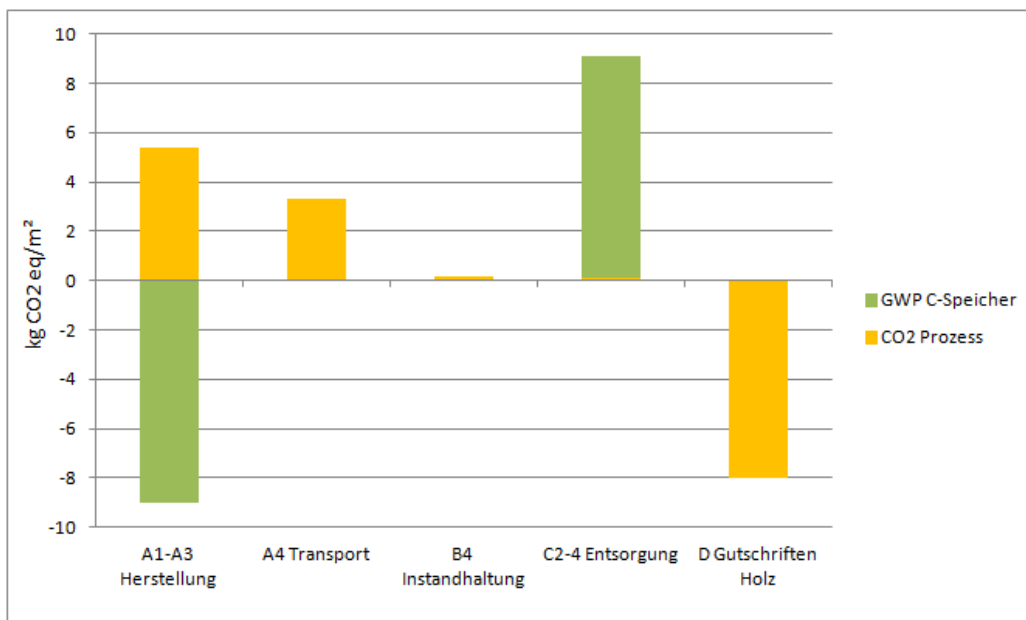


Abbildung 5: Treibhauspotential (GWP) Mehrschichtparkett nach Lebensphasen A-D

Die Betrachtung des kompletten Lebenszyklus von Mehrschichtparkett zeigt, dass die wesentlichen Belastungen in der Herstellung und im Transport zu finden sind. Außerdem ist das gespeicherte, biogene CO₂ höher als sämtliche fossile Treibhausgasemissionen während des gesamten Lebenszyklus. Bei der (üblichen) thermischen Entsorgung wird das biogene CO₂ wieder freigesetzt, wobei durch die energetische Nutzung fossile Emissionen (in diesem Fall aus Erdgas) in Phase D substituiert werden.

3.2. Ergebnisse Ökobilanz Brettsperrholz

Die in Abbildung 6 dargestellten Ergebnisse der Indikatoren der Phasen A1-A3 beruhen auf den output-gewichteten Durchschnittswerten der Ergebnisse von mehreren Brettsperrholzprodukten. Für alle weiteren Lebensphasen nach der Herstellung müssen auch hier plausible Szenarien angenommen werden. Für die gewöhnlich als tragende Elemente eingesetzten CLT-Produkte sind lange Nutzungsdauern, sowie keine Wartung, Reinigung oder Pflege zu berücksichtigen. Wesentlich ist für diese Produkte die Entsorgungsphase bzw. die Vorteile die sich durch deren thermische Entsorgung als Gutschriften in der Phase D ergeben.

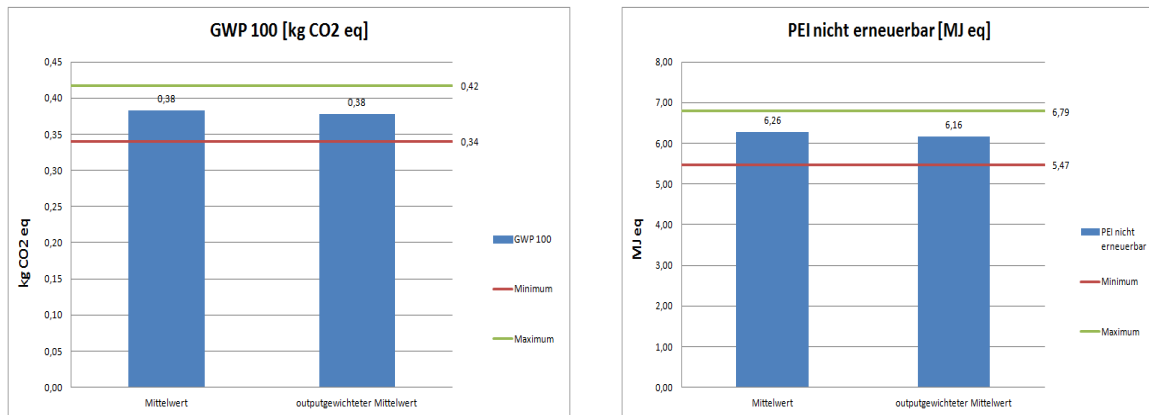


Abbildung 6: Herstellung (A1-A3) Brettsperrholz GWP (links) und PEI ne (rechts) pro kg

3.3. Produktökobilanzen in dataholz.com

In der online-Datenbank geprüfter Holzkonstruktionen sind neben den bauphysikalischen Daten auch die wichtigsten Ökoindikatoren für die Herstellung von Holzprodukten angeführt. Dabei wurden die Umweltwirkungen der Materialien mit aktuellen Daten berechnet und das erforderliche Softwaretool für ein vereinfachtes automatisiertes update (gleichzeitig mit der Baustoffdatenbank baubook) implementiert. Bisher waren Ökodaten nur als pdf, aufwändig aktualisierbar, auf der Baustoffseite abrufbar, nun wurde dieser Nachteil behoben und die Daten wie im Beispiel für OSB-Platten in Abbildung 7 ersichtlich, in einer Tabelle, in der Plattformstruktur implementiert. Diese Vorgangsweise ermöglicht ein vereinfachtes update der Umweltindikatoren im Falle von Änderungen.

Ökologische Bewertung
OSB/3 Kleber MUPF/PDMT

O13	GWP [kg CO ₂ Äqv.]	AP [kg SO ₂ Äqv.]	PEI ne [MJ]	PEI e [MJ]	EP [kg PO ₄ Äqv.]	POCP [kg C ₂ H ₄ Äqv.]
	-35.413,7	-1.168,5	6,0	9.319,9	23.029,4	1,2

O13	GWP [kg CO ₂ Äqv.]	AP [kg SO ₂ Äqv.]	PEI ne [MJ]	PEI e [MJ]	EP [kg PO ₄ Äqv.]	POCP [kg C ₂ H ₄ Äqv.]
	-35.702,5	-1.087,9	2,9	12.787,9	22.727,3	0,5

ergänzte, updatebare Tabelle

Abbildung 7: Neue Struktur für die Umweltindikatoren von Holzprodukten in dataholz.com

4. Anwendung in Bauteilen

Die Lebenszyklusanalyse basiert auf einer Massenbilanz der Gebäude, dem Endenergiebedarf für den Betrieb und einem generischen Datenset zu den Wirkungsindikatoren der verwendeten Prozesse. Setzt man nun die Materialien zusammen, so ergeben sich beispielsweise für ein untersuchtes Reihenhaus die in Abbildung 8 dargestellten Treibhauspotentiale für die Herstellung der einzelnen Bauteile. Hier zeigt sich, dass vor allem Fundamente und Keller wesentlich zum Treibhauseffekt beitragen, wiewohl auch die (kurzlebige) Haustechnik, vor allem PV-Anlagen für Nullenergiehäuser (NZEB) eine wesentliche Rolle spielt.

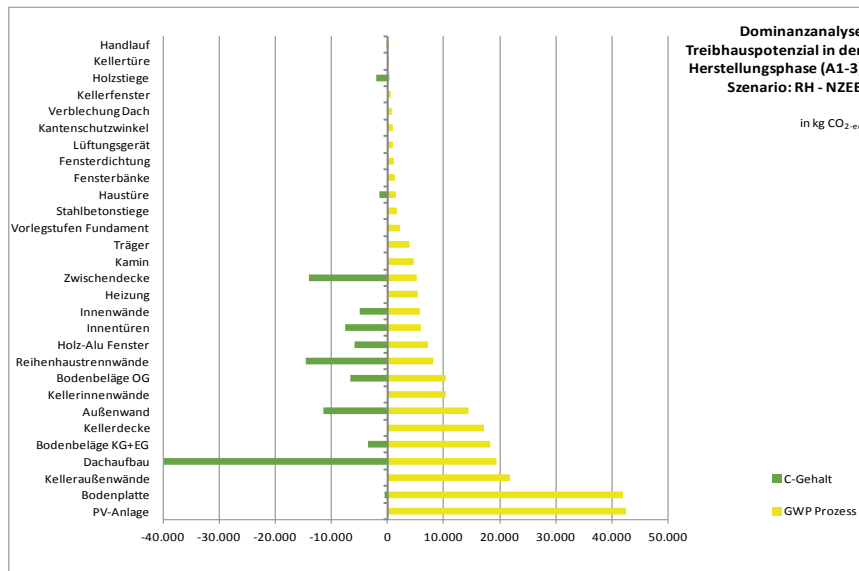


Abbildung 8: Dominanzanalyse des Treibhauspotentials der Bauteile eines Reihenhauses mit 5 Wohneinheiten

5. Literaturverzeichnis

- [1] baubook. [Online]. Verfügbar auf <http://baubook.info> [Abgefragt am 30.9.2013]
- [2] Bauer, C.: Holzenergie. Ecoinvent report No. IX, Data v2.0. Villingen 2007
- [3] CML Centre of Environmental Science, Leiden University. Life Cycle assessment: An operational guide to the ISO standards. Final Report, 2001.
- [4] dataholz.com. [Online] Verfügbar auf <http://www.dataholz.at> [Abgefragt am 30.9.2013]
- [5] Ecoinvent center. Swiss Center for Life Cycle Inventories <http://www.ecoinvent.org/database/>
- [6] Frischknecht et al.(a): Overview and Methodology. Data v2.0, Dübendorf 2007
- [7] Frischknecht et al.(b): Implementation of Life Cycle Impact Assessment Methods. Data v1.1, Dübendorf 2007
- [8] Hischer et al.: Implementation of Life Cycle Impact Assessment Methods. Data v2.1, St. Gallen 2009.
- [9] Pröll, W.: Mechanisierung der Waldarbeit. Hg. V. BFW Bundesamt für Wald. Wien 2006.
- [10] Spielmann et al.: Transport Services. Ecoinvent report No. 14, Data v2.0. Paul Scherrer Institut. Villingen und Uster 2007.
- [10] Werner et al.: Life Cycle Inventories of Wood as Fuel and Construction Material, Data v2.0, Dübendorf 2007.

6. Relevante Normen

ÖNORM EN ISO 14040:2009 Umweltmanagement – Ökobilanz – Grundsätze und Rahmenbedingungen. Österreichisches Normungsinstitut.

ÖNORM EN ISO 14044:2006 Umweltmanagement – Ökobilanz – Anforderungen und Anleitungen. Österreichisches Normungsinstitut.

ÖNORM EN ISO 14025:2010 Umweltkennzeichen und –deklarationen – Typ III Umweldklarationen – Grundsätze und Verfahren. Österreichisches Normungsinstitut.

ÖNORM EN 15804:2012 Nachhaltigkeit von Bauwerken – Umweldklarationen für Produkte – Grundregeln für die Produktkategorie Bauprodukte. Österreichisches Normungsinstitut.