

Ökobilanzergebnisse ausgewählter Bauteil-Aufbauten eines Einfamilienhauses

D. RIXRATH

Forschung Burgenland, Pinkafeld, Österreich

C. WARTHA

FH-Burgenland, Pinkafeld, Österreich

ABSTRACT: The use of regional resources in the building sector should help to achieve the EU climate objectives. CO₂ emissions and the share of non-renewable primary energy can be reduced when increasing the share of energy from renewable sources.

The EU-funded project „REACT – Renewable Energy & Efficiency Action“ is a cross-border cooperation between Burgenland (Austria) and western Slovakia. Within this project zero energy concepts for new built single-family homes will be developed. For existing non-residential buildings zero energy concepts are investigated while maximizing the utilization of regional resources. Various building structures for single-family houses are defined and ecologically evaluated over the entire life cycle. The environmental evaluations of the defined concepts are presented in the present paper.

The calculation for the different single-family house types is done separately for the life cycle stages production and deconstruction with disposal. The Life Cycle Assessment (LCA) was done to calculate the potential environmental impacts which are associated with the different building materials. The method is standardized by DIN EN ISO 14040 (2006) and DIN EN ISO 14044 (2006). The LCA was calculated using commercial software. The composition of the different building elements was defined by the project team. The life cycle inventory data of the raw material production were taken from different databases and literature.

The results for 3 different building concepts are shown and compared. The basis is a solid construction made of brick, as alternative a solid timber construction and a lightweight construction made of timber were defined. The environmental impacts are shown for the construction and the deconstruction. One finding so far carried out within the project is that the deconstruction with disposal of building materials should not be neglected. For some impact assessment categories the deconstruction with disposal can become even more important than the production. Another result is, that building materials made of renewable resources, like timber or sheep wool, can be connected with high environmental burdens especially when their production need a lot of fossil energy.

1. EINLEITUNG

Im Zuge des Projektes REAct – Renewable Energy & Efficiency ACTions (finanziert durch die European Union – European Regional Development Fund: creating the future – Programm zur grenzüberschreitenden Zusammenarbeit Slowakei-Österreich 2007–2013) wird eine ökologische Bewertung der betrachteten Beispielgebäude durchgeführt. Für das Haus werden unterschiedliche Varianten in Bezug auf Bauteilaufbauten und Energieversorgung definiert.

Im Rahmen des Projektes wird ein geometrisch definiertes Beispielhaus mit verschiedenen Bauweisen und Energieversorgungssystemen hinsichtlich der Umweltauswirkungen über den Lebenszyklus bewertet. Die Berechnung der Umweltauswirkungen über den Lebenszyklus erfolgt getrennt für die Lebensphasen Herstellung, Nutzung und Rückbau. Hier werden die Ergebnisse der Herstellung und des Rückbaus des Gebäudes erläutert.

Beim Gebäude wird nur die thermisch aktive Gebäudehülle betrachtet. Diese besteht aus der oberen und unteren Geschosßdecke sowie den Außenwänden inkl. Fenster.

Die vorliegende LCA-Studie wurde nach den Anforderungen der internationalen Norm (EN ISO 14044:2006) erstellt.

2. ZIEL UND UNTERSUCHUNGSRAHMEN

2.1 ZIEL

Ziel ist die Berechnung der ökologischen Auswirkungen eines definierten Gebäudes mit unterschiedlichen Aufbauten. Es werden die Herstellung und der Rückbau inkl. Entsorgung des Gebäudes untersucht. Zusätzlich werden die jeweiligen Vor- und Nachteile der einzelnen Komponenten evaluiert.

2.2 UNTERSUCHUNGSRAHMEN

Als funktionelle Einheit wurde die Nutzung des Gebäudes auf 20 Jahre festgelegt. Für die Herstellung und Entsorgung der Bauteile wird lediglich die thermische Hülle (obere und untere Geschoßdecke, Außenwände inkl. Fenster und die Bodenplatte) berücksichtigt.

2.3 SYSTEMGRENZEN

Für die Herstellung und den Rückbau werden die Ergebnisse je für den Bau bzw. Rückbau des Gebäudes berechnet, die Lebensdauer der Bauteile wird in die Berechnung einbezogen. Die Bewertung erfolgt „cradle to cradle“. Die vorgelagerten Prozesse werden ohne Rücksicht auf geografische Grenzen zurückverfolgt. Die einzelnen Prozessmodule finden mit den zugehörigen Vorketten Berücksichtigung, d. h. von der Herstellung der Rohstoffe bis zur Herstellung des auslieferfertigen Produktes.

Außerhalb der Betrachtung liegen: thermisch inaktive Bauteile der Außenhülle, die Eingangstür, alle Innenausbauten – Wände und Türen, die Sanitäreinrichtungen und die Module der technischen Gebäudeausrüstung – wie Kessel, Verkabelung, Rohrleitungen, Wärmespeicher, Wärmeabgabesysteme. Diese Module sind für die betrachteten Szenarien unerheblich, da im vorliegenden Fall der Fokus auf der thermischen Gebäudehülle mit verschiedenen Materialien liegt.

Keine Berücksichtigung findet biogenes CO₂, der biogene Kohlenstoff wird aus der Berechnung ausgenommen.

Die Berechnung erfolgt über die gewählte Betrachtungszeit von 20 Jahren.

3. SACHBILANZ

3.1 DATENERHEBUNG

Das Beispielhaus ist als eingeschossiges Einfamilienhaus mit den Abmessungen 13,50 x 11,90 m und einer Bruttogeschoßfläche von 154 m² ausgeführt.

Die verschiedenen untersuchten Aufbauten der thermischen Hülle können in drei Varianten zusammengefasst werden: Variante Ziegel, Variante Holz Massivbau, Variante Holz Leichtbau (LB). Für diese Varianten ändert sich die Gebäudegeometrie nicht, sie wird als konstant angenommen. Die einzelnen Bauteile weisen aufgrund der verwendeten Materialien unterschiedliche technische Lebensdauern auf. Die für die LCA verwendeten Nutzungsdauern sind in Tabelle 1 angegeben.

Die für die einzelnen Aufbauten verwendeten Materialien sowie deren Dicke und Wärmeleitfähigkeit sind in Tabelle 2, Tabelle 3 und Tabelle 4 aufgelistet. Das Plattenfundament ist für alle drei Varianten identisch.

Tabelle 1: Nutzungsdauer der verschiedenen Bauteile

Bauteil	Jahre	Quelle
Tragende Außenwand und Geschossdecken (aus Ziegel, Stahlbeton oder Leichtbeton)	100	Zelger et al., 2009 (S. 81)
Tragende Außenwand, Geschossdecke in Riegelbauweise und Massivholzbauweise	100 ¹⁾	Zelger et al., 2009 (S. 81)
Fassadenbekleidung Weichholz	40	Zelger et al., 2009 (S. 87)
Holzunterkonstruktion Fassade	50	Zelger et al., 2009 (S. 110)
Dämmstoffe Fassade	50	Zelger et al., 2009 (S. 37 ff.)
Putz auf WDVS	50	Zelger et al., 2009 (S. 59)
Putz auf Mauer	70	Zelger et al., 2009 (S. 60)
Holz-Alu Fenster	50	Zelger et al., 2009 (S. 162)
Estrich (Beton, Trocken)	60	Zelger et al., 2009 (S. 123)
Holz Schwingboden	50	Zelger et al., 2009 (S. 123)
Parkett, Holzboden	25	Zelger et al., 2009 (S. 161)

1) Annahme, ÖNORM B 3804, bzw. DIN 68800 und ÖNORM B2320 sind erfüllt

Tabelle 2: Aufbauten – Variante Ziegel (baubook, 2014)

Nr.	Schichten (von innen nach aussen)	d	λ	R
		cm	W/mK	m ² K/W
	Außenwand (U=0,098 W/m².K)			
1	KalkzementPutz KZP 65	1,5	0,83	0,018
2	POROTHERM 25-38 M.i Plan (natureplus)	25	0,14	1,786
3	weber.therm 022 plus ultra Dämmplatte	18	0,022	8,182
4	RÖFIX Silikatputz	0,19	0,7	0,003
	obere Geschoßdecke (U=0,101 W/m².K)			
1	Heraklith-EPV	2,5	0,1	0,25
2	AUSTROTHERM EPS W20 PLUS	14	0,031	4,516
3	AUSTROTHERM EPS W20 PLUS	14	0,031	4,516
4	POROTHERM Ziegeldecke EZ 45/21 + 4 (Einzelträger)	25	0,649	0,385
5	KalkzementPutz KZP 65	1,5	0,83	0,018
	Plattenfundament (U=0,098 W/m².K)			
1	Weitzer Fertigparkett 2-Schicht (Fertigparkett 2-Schicht)	1	0,16	0,063
2	RÖFIX 970 Zementestrich	6	1,6	0,038
3	Hakofelt T (PP-Vlies)	0,01	0,1	0,001
4	AUSTROTHERM EPS T650 PLUS	5	0,033	1,515
5	Blähperlite (lose) (100 kg/m ³)	5	0,06	0,833

Nr.	Schichten (von innen nach aussen)	d	λ	R
		cm	W/mK	m ² K/W
6	Bauder Elastomerbitumen-Dampfsperbahnen	0,4	0,17	0,024
7	Beton mit Bewehrung 2 % in WU-Qualität (2400 kg/m ³)	30	2,5	0,12
8	Hakofelt T (PP-Vlies)	0,01	0,1	0,001
9	AUSTROTHERM XPS TOP 30	14	0,038	3,684
10	AUSTROTHERM XPS TOP 30	14	0,038	3,684
11	Sauberkeitsschicht: Magerbeton (Magerbeton / Schütt- und Stampfbeton)	6	1,35	0,044
12	Schüttungen aus Sand, Kies, Splitt (1800 kg/m ³)	30		

Tabelle 3: Aufbauten – Variante Holz Massiv (baubook, 2014)

Nr.	Schichten (von innen nach aussen)	d	λ	R
		cm	W/mK	m ² K/W
	Außenwand (U=0,100 W/m².K)			
1	Lehmputz	3	0,81	0,037
2	Schilfdämmplatte (145 kg/m ³) vgl. Schilfmatte	0,5	0,061	0,082
4	55,9 cm 89 % Flachshaus Wärmedämmplatte DP, Dämmplatte DP	6	0,04	1,5
5	6,6 cm 11 % Nutzholz (475 kg/m ³ -z. B. Fichte/Tanne) – rauh, luftgetrocknet	6	0,12	0,5
6	Binderholz Brettsperrholz BBS	12	0,12	1
8	50,5 cm 81 % ISOCELL Zellulosefaserdämmstoff	36	0,039	9,231
9	12 cm 19 % Binderholz Brettsperrholz BBS	36	0,12	3
10	Nutzholz (475 kg/m ³ – z. B. Fichte/Tanne) – rauh, luftgetrocknet	2,4	0,12	0,2
11	ISOCELL OMEGA Winddichtung	0,059	0,22	0,003
12	55,9 cm 89 % Luftschicht stehend, Wärmefluss horizontal 35 < d <= 40 mm	4	0,222	0,18
13	6,6 cm 11 % Nutzholz (475 kg/m ³ – z. B. Fichte/Tanne) – rauh, luftgetrocknet	4	0,12	0,333
14	Schalung: Nutzholz (525 kg/m ³ -Lärche) -rauh, techn. getro. (Nutzholz (525 kg/m ³ – z. B. Lärche) – rauh, technisch getrocknet)	2	0,13	0,154
	obere Geschoßdecke (U=0,098 W/m².K)			
1	Nutzholz (475 kg/m ³ – z. B. Fichte/Tanne) – rauh, luftgetrocknet	2,4	0,12	0,2
2	56,5 cm 90 % Schafwolle-Dämmfilz (37 kg/m ³)	6	0,04	1,5
3	6 cm 10 % Binderholz Brettsperrholz BBS	6	0,12	0,5
4	Dampfbremse PE (Polyethylenbahn, -folie (PE))	0,02	0,5	0
5	Holz – Schnittholz Nadel, rauh, technisch getrocknet	16	0,12	1,333
6	56,3 cm 90 % Hanfdämmplatte	16	0,04	4

Nr.	Schichten (von innen nach aussen)	d	λ	R
		cm	W/mK	m ² K/W
7	6,3 cm 10 % Holz – Schnittholz Nadel, rau, technisch getrocknet	16	0,12	1,333
8	56,3 cm 90 % Hanfdämmplatte	16	0,04	4
9	6,3 cm 10 % Holz – Schnittholz Nadel, rau, technisch getrocknet	16	0,12	1,333
10	Windsperre PE, diffusionsoffen (Polyethylenbahn, -folie (PE))	0,008	0,5	0
11	Holz – Schnittholz Nadel, gehobelt, technisch getrocknet	2,5	0,12	0,208
	Plattenfundament (U=0,098 W/m².K) analog Variante Ziegel (Tabelle 2)	30		

Tabelle 4: Aufbauten – Variante Holz LB (baubook, 2014)

Nr.	Schichten (von innen nach aussen)	d	λ	R
		cm	W/mK	m ² K/W
	Außenwand (U=0,101 W/m².K)			
1	Lehmputz	3	0,81	0,037
2	Schilfdämmplatte (145 kg/m ³) vgl. Schilfmatte (Schilfdämmplatte (145 kg/m ³))	0,5	0,061	0,082
3	57,5 cm 92 % Hanffaserdämmstoff (41 kg/m ³)	6	0,045	1,333
4	5 cm 8 % Nutzholz (475 kg/m ³ – z. B. Fichte/Tanne) – rau, luftgetrocknet	6	0,12	0,5
5	ISOCELL AIRSTOP Dampfbremse	0,03	0,22	0,001
6	STEICO universal naturharzgebunden	2,4	0,055	0,436
7	50,5 cm 81 % ISOCELL Zellulosefaserdämmstoff	34	0,039	8,718
8	12 cm 19 % STEICOjoist SJ60, B60xH400, gedämmt m. Steico Flex	34	0,067	5,075
9	Nutzholz (475 kg/m ³ – z. B. Fichte/Tanne) – rau, luftgetrocknet	2,4	0,12	0,2
10	ISOCELL OMEGA Winddichtung	0,059	k.A.	k.A.
11	57,5 cm 92 % Luftschicht stehend, Wärmefluss horizontal 45 < d <= 50 mm	5	k.A.	k.A.
12	5 cm 8 % Nutzholz (475 kg/m ³ – z. B. Fichte/Tanne) – gehobelt, techn. getrocknet	5	k.A.	k.A.
13	Schalung: Nutzholz (525 kg/m ³ – Lärche) – rau, technisch getrocknet (Nutzholz (525 kg/m ³ – z. B. Lärche) – rau, technisch getrocknet)	2	k.A.	k.A.
	obere Geschoßdecke (U=0,098 W/m².K)			
1	Nutzholz (475 kg/m ³ – z. B. Fichte/Tanne) – rau, luftgetrocknet	2,4	0,12	0,2
3	56,5 cm 90 % Schafwolle-Dämmfilz (37 kg/m ³)	35	0,04	8,75
4	6 cm 10 % STEICOjoist SJ60, B60xH400, gedämmt m. Steico Flex	35	0,067	5,224

Nr.	Schichten (von innen nach aussen)	d	λ	R
		cm	W/mK	m ² K/W
5	Nutzholz (475 kg/m ³ – z. B. Fichte/Tanne) – rauh, luftgetrocknet	2,4	0,12	0,2
6	ISOCELL AIRSTOP Dampfbremse	0,03	0,22	0,001
8	56,5 cm 90 % Schafwolle-Dämmfilz (37 kg/m ³)	6	0,04	1,5
	6 cm 10 % Nutzholz (475 kg/m ³ – z. B. Fichte/Tanne) – rauh, luftgetrocknet	6	0,12	0,5
	Schilfdämmplatte (145 kg/m ³) vgl. Schilfmatte	0,5	0,061	0,082
	Lehmputz	2	0,81	0,025
	Plattenfundament (U=0,098 W/m².K) analog Variante Ziegel (Tabelle 2)	0,008	0,5	0

Aus der Zusammensetzung der Aufbauten (Tabelle 2, Tabelle 3 und Tabelle 4) und der Beschreibung der einzelnen Baustoffe konnten die dafür benötigten Materialmengen errechnet werden. Die Aufwendungen für die Herstellung und Entsorgung dieser Materialien wurden aus der Baustoffe-Datenbanken (PE International GmbH, 2009) und ecoinvent 2.1 (Ecoinvent, 2007) entnommen.

Für die Schafwollämmung konnte kein Datenbank-Prozess verwendet werden. Die nötigen Daten stammen aus der Literatur (siehe dazu Murphy und Norton, 2008).

Der Materialeinsatz entspricht der Menge, die für das gesamte Haus benötigt wird. Nicht betrachtet wurden die Aufwendungen (Energie und Hilfsstoffe) die für den Bau des Hauses selbst gebraucht werden. Hier konnten keine Daten erhoben werden.

3.2 BESEITIGUNG UND RECYCLING

Aufgrund der gewählten Allokationsmethode, Cut off, werden beim Rückbau nur die Aufwendungen für den Abriss, das Sortieren und das Entsorgen der Materialien berücksichtigt. Die Anteile der verschiedenen Baustoffe, die in ein open-Loop Recycling gehen, findet keine weitere Berücksichtigung. Recyclingmaterialien welche als Rohstoffe in der Herstellung der verwendeten Bauteile verwendet werden sind berücksichtigt. Die Recyclingrate zu den einzelnen Baustoffen wurde aus unterschiedlicher Literaturen erhoben. Die Informationen für die Berechnung liefern die Studie des IBO – Österreichisches Institut für Baubiologie und Bauökologie: Assessment of Buildings and Construction (ABC) – Disposal Maßzahlen für die Entsorgungseigenschaften von Gebäuden und Konstruktionen für die Lebenszyklusbewertung; Anhang 4 bzw. A2 (Mörtl & Pladerer, 2010) und eine Studie vom Fraunhofer-Institut – ISI: Werkstoffeffizienz, Einsparpotenziale bei Herstellung und Verwendung energieintensiver Grundstoffe (Eberhard et al., 2004).

4. WIRKBILANZ

Mit Hilfe der Wirkabschätzung werden die Umweltauswirkungen der betrachteten Produktsysteme berechnet. Für die vorliegende Arbeit erfolgt die Auswertung nach der CML-Methode (Guinée et. al, 2002). Dieser Methode liegt eine auswirkungsorientierte Klassifizierung der Stoff- und Energieströme zu Grunde.

Die Auswahl der betrachteten Wirkkategorien wurde in Anlehnung an die ISO 21930:2007 Sustainability in building construction – Environmental declaration of building products getroffen (ISO 21930, 2007).

Treibhauseffekt (GWP 100)

Mithilfe der Wirkkategorie GWP 100 wird eine Auskunft darüber gegeben wieviel das betrachtete Produktsystem zum Klimawandel beiträgt. Dabei geht es um die Auswirkungen der anthropogenen Emissi-

onen. Die bedeutendsten vom Menschen emittierten Treibhausgase sind CO₂, CH₄, N₂O und FCKWs. (Guinée et. al, 2002)

Versauerung (AP)

Säurebildende Schadstoffe weisen viele verschiedene Auswirkungen auf den Boden, das Grundwasser, Oberflächenwässer, Organismen, Ökosysteme und Materialien, wie Gebäude auf. Die wichtigsten Schadstoffe, die zu Versauerung beitragen sind SO₂, NO_x und NH_x. (Guinée et. al, 2002)

Eutrophierung (EP)

Unter dem Begriff Eutrophierung werden alle Auswirkungen aufgrund übermäßig hoher Nährstoffangebotes zusammengefasst. Verantwortlich dafür sind vorrangig Stickstoff (N) und Phosphor (P). Nährstoffanreicherung kann eine Verschiebung der Artenzusammensetzung und eine erhöhte Biomasseproduktion, was vor allem in Gewässern zu Problemen führen kann, zur Folge haben. (Guinée et. al, 2002)

Ozonabbau, Stratosphäre (ODP)

Diese Kennzahl bezieht sich auf die Verdünnung der Ozonschicht in der Stratosphäre als Ergebnis anthropogener Emissionen. Durch den Abbau der Ozonschicht kommt es zu vermehrter Belastung durch UV-Strahlen. Dies hat schädliche Auswirkungen auf Menschen, Tiere und Ökosysteme. (Guinée et. al, 2002)

Photooxidantienbildung – Sommersmog (POCP)

Unter POCP versteht man die Bildung von reaktiven chemischen Verbindungen, wie Ozon, in der Troposphäre aus flüchtigen organischen Verbindungen (VOCs) und Kohlenmonoxid (CO) in Beisein von Stickoxiden. Diese Verbindungen entstehen unter Einwirkung von UV-Licht und können schädlich für die menschliche Gesundheit, Ökosysteme und auch Pflanzen sein. (Guinée et. al, 2002)

Primärenergiebedarf nicht erneuerbar (PE n.e.)

Der Primärenergiebedarf beschreibt den gesamten Energiebedarf von der Gewinnung des Rohstoffes bis hin zur Fertigstellung des jeweiligen Produktes.

5. ERGEBNISSE

Die Ergebnisse der LCA in den einzelnen Wirkkategorien für Herstellung und Rückbau inkl. Entsorgung für alle drei Varianten werden relativ in Abbildung 1 dargestellt. Um alle Wirkkategorien gleichzeitig darstellen zu können, wurden die Ergebnisse der einzelnen Wirkkategorien für die Variante Ziegel als 100 % Basis herangezogen. Werte kleiner 100 % bedeutet geringer Umweltauswirkung in dieser Wirkkategorie, Werte größer 100 % größere Umweltauswirkung in dieser Wirkkategorie als Variante Ziegel.

Im Vergleich zur Variante Ziegel weist die Bauvariante Holz Leichtbau eine Reduktion bzw. gleichbleibende Werte in den Wirkkategorien auf.

Die Variante Holz Massiv weist in den Wirkkategorien GWP 100, EP, AP, POCP und PE n.e. die höchsten Werte auf. Diese stammen zum überwiegenden Teil aus der Errichtung. Speziell die obere Geschosdecke aber auch die Außenwand benötigen große Mengen Bauholz (Schnittholz Lerche) technisch getrocknet, was vor allem, aufgrund des Energiebedarfs hohe Belastungen mitbringt.

In den beiden Wirkkategorien ODP und POCP hat die Ziegel Variante die höheren Umweltbelastungen. Das ist auf die Herstellung der Dämmplatten für die obere Geschosdecke und die Außenwand zurückzuführen.

Dass die Holz Leichtbau Variante für die Herstellung in der Wirkkategorie ODP einen hohen Wert verglichen mit der Variante Ziegel aufweist, ist auf die Schafwolldämmung zurückzuführen, die einen hohen Energiebedarf (Strom und Erdgas) in der Herstellung hat.

Die generell hohen Werte für ODP im Rückbau kommen aus dem Rückbau und Entsorgung der Bodenplatte (Deponierung der Inertstoffe und die Treibstoffaufwendungen für den LKW bzw. den Abriss).

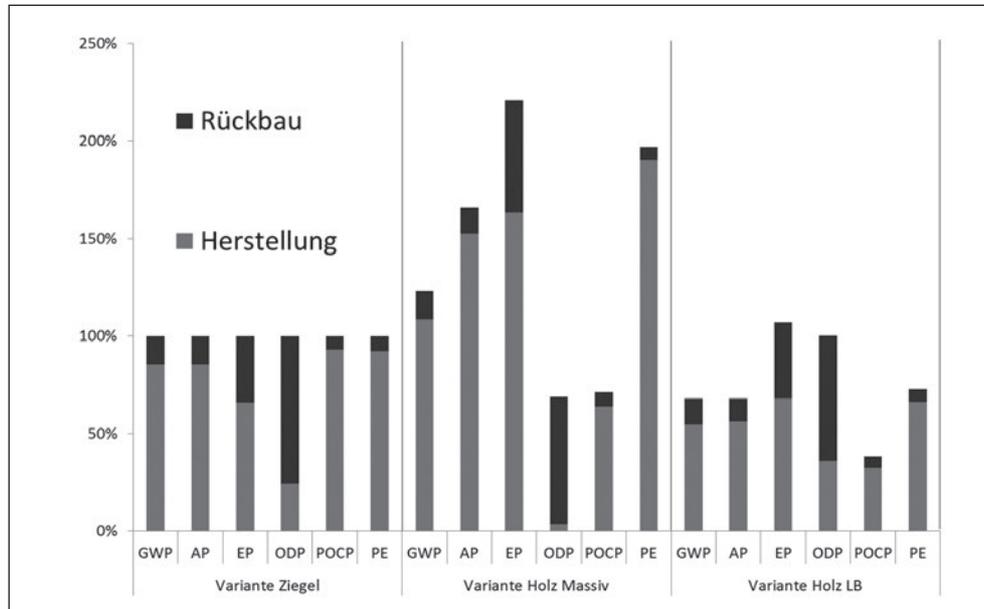


Abbildung 1: LCA-Ergebnis in Prozent (Variante Ziegel auf 100 % gesetzt)

Die Abbildung 2 stellt die LCA-Ergebnisse der Herstellung unterteilt in die einzelnen Aufbauten für die einzelnen Wirkkategorien, relativ zur Variante Ziegel (auf 100 % gesetzt) dar. Die Herstellung der oberen Geschoßdecke weist im Vergleich zur Ziegelvariante hohe Werte in den Wirkkategorien GWP100, EP, AP, POCP und PE auf, diese kommen überwiegend von Schnittholz Lärche technisch getrocknet. Der Hohe Wert für die Herstellung der oberen Geschoßdecke der Variante Holzleichtbau ist auf die Herstellung der Schafwolldämmung zurückzuführen.

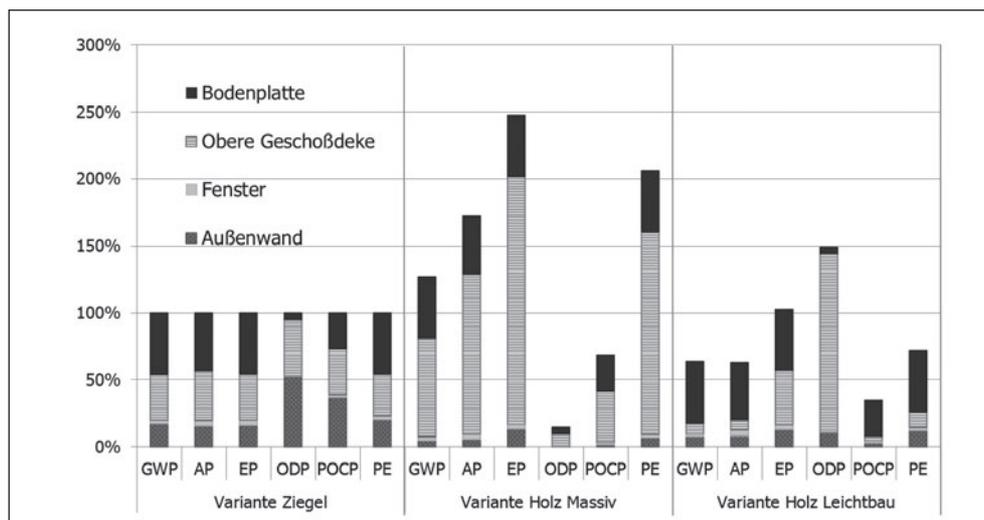


Abbildung 2: LCA-Ergebnis Herstellung in Prozent (Variante Ziegel auf 100 % gesetzt)

LITERATUR

- baubook (2014): baubook – Rechner für Bauteile. baubook GmbH und Energieinstitut Vorarlberg. www.baubook.at. Abgerufen am 8.5.2014.
- Eberhard, J.; Schön, M.; Angerer, G.; Ball, M.; Bradke, H.; Celik, B.; Eichhammer, W.; Mannsbart, W.; Marscheider-Weidemann, F.; Nathani, C.; Walz, R.; Wietschel, M. (2004): Werkstoffeffizienz, Einsparpotenziale bei Herstellung und Verwendung energieintensiver Grundstoffe. Ein Projekt für das Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit. Förderkennzeichen 0327313A. Fraunhofer Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung ISI. Fraunhofer IRB Verlag, Karlsruhe, Deutschland.
- Ecoinvent (2007): Database Ecoinvent v2.1. Datenbank inkludiert im Software System GaBi 6. Swiss Centre for Life Cycle Inventories. St. Gallen, Schweiz.
- EN ISO 14040 (2006) Umweltmanagement – Ökobilanz – Grundsätze und Rahmenbedingungen (ISO14040:2006). Deutsche und englische Fassung EN ISO 14040:2006 (Environmental management – Life cycle assessment- Principles and framework). CEN. Brüssel, Belgien.
- EN ISO 14044 (2006) Umweltmanagement – Ökobilanz – Anforderungen und Anleitungen (ISO14044:2006). Deutsche und englische Fassung EN ISO 14044:2006 (Environmental management – Life cycle assessment-Requirements and guidelines). CEN. Brüssel, Belgien.
- Guinée JB (Ed.), Gorée M, Heijungs R, Huppes G, Kleijn R, de Koning A, van Oers L, Wegener Sleeswijk A, Suh S, Udo de Haes HA, de Bruijn H, van Duin R, Huijbregts MAJ. (2002): Handbook on Life Cycle Assessment Operational Guide to the ISO Standards. Dordrecht: Kulwer Academix Publishers. The Netherlands.
- ISO 21930 (2007): Sustainability in building construction – Environmental declaration of building products. Brüssel, Belgien.
- Möltzl, H., & Pladerer, C. (2010): Assessment of Buildings and Construction (ABC) – Disposal Maßzahlen für die Entsorgungseigenschaften von Gebäuden und Konstruktionen für die Lebenszyklusbewertung. Berichte aus Energie- und Umweltforschung. Wien, Österreich.
- Murphy, R. und Norton, A. (2008): Life Cycle Assessments of Natural Fibre Insulation Materials. Final Report. Prepared for NNFCC. Imperial College London. London, Großbritannien.
- PE International GmbH (2009): Baustoffe Datenbank. LBP-GaBi. Universität Stuttgart. Datenbank inkludiert im Software System GaBi 6 (“Ganzheitliche Bilanzierung”). Leinfelden-Echterdingen, Deutschland.
- Zelger, T.; Mötzl, H.; Scharnhorst, A. und Wurm, M. (2009): Erweiterung des OI3-Index um die Nutzungsdauer von Baustoffen und Bauteilen. Endbericht. IBO Österreichisches Institut für Baubiologie und -ökologie GmbH. Wien, Österreich.