

---

# Ökobilanz Vollholzsystem holzpur

---

Autoren

**Philippe Stolz, Rolf Frischknecht**

Kunde

**Walter Küng AG**

Uster, 30. April 2015

---

## Impressum

---

Titel	Ökobilanz Vollholzsystem holzpur
Autoren	Philippe Stolz;Rolf Frischknecht treeze Ltd., fair life cycle thinking Kanzleistr. 4, CH-8610 Uster <a href="http://www.treeze.ch">www.treeze.ch</a> Phone +41 44 940 61 91, Fax +41 44 940 61 94 info@treeze.ch
Kunde	Walter Küng AG
Copyright	All content provided in this report is copyrighted, except when noted otherwise. Such information must not be copied or distributed, in whole or in part, without prior written consent of treeze Ltd. or the customer. A provision of this report or of files and information from this report on other websites is not permitted. Any other means of distribution, even in altered forms, require the written consent. Any citation naming treeze Ltd. or the authors of this report shall be provided to the authors before publication for verification.
Liability Statement	Information contained herein have been compiled or arrived from sources believed to be reliable. Nevertheless, the authors or their organizations do not accept liability for any loss or damage arising from the use thereof. Using the given information is strictly your own responsibility.
Version	527-Oekobilanz-holzpur-v1.1, 30.04.2015 14:42:00

---

## Abkürzungsverzeichnis

---

a	Jahr (annum)
CH	Schweiz
CO <sub>2</sub>	Kohlendioxid
CO <sub>2</sub> -eq	Kohlendioxid-Äquivalente
GWP	Treibhauspotenzial (engl. global warming potential)
kWh	Kilowattstunde
MJ	Megajoule
RER	Europa
UBP	Umweltbelastungspunkte

---

## Zusammenfassung

---

Die Holzbauunternehmung Walter Küng AG produziert in Alpnach-Dorf das Vollholzsystem holzpur. Dieses Produkt zeichnet sich durch den vollständigen Verzicht auf Metallteile, Klebstoffe und Holzschutzmittel sowie durch das Nutzen regionalen Holzes aus. In der vorliegenden Studie wurde eine Ökobilanz gemäss den Anforderungen der Plattform Ökobilanzdaten im Baubereich erstellt.

Die Herstellung wird in verschiedene Prozessschritte unterteilt: Produktion von Rundholz im Forst Giswil, Herstellung und Trocknung von Schnittholz in der Lang-Sägewerk AG und Fertigung des Vollholzsystems holzpur in der Walter Küng AG. Es wurden spezifische Daten für die einzelnen Schritte in der Lieferkette erhoben, um die Herstellung des Vollholzsystems holzpur der Firma Walter Küng AG ganzheitlich abzubilden. Bei Datenlücken wurde auf vergleichbare Prozesse aus dem ecoinvent-Datenbestand v2.2+ zurückgegriffen oder es wurden realistische Annahmen getroffen. Die Entsorgung des Vollholzsystems holzpur wurde analog zur Entsorgung anderer Holzwerkstoffen modelliert. Dabei wurde angenommen, dass 50 % des Holzes recycelt und die restlichen 50 % der Verbrennung zugeführt werden.

Zur Wirkungsabschätzung wurden gemäss den Anforderungen der Plattform Ökobilanzdaten im Baubereich die Gesamtumweltbelastung nach der Methode der ökologischen Knappheit 2013, der kumulierte Primärenergiebedarf (gesamt und nicht erneuerbar) sowie die Treibhausgasemissionen ausgewertet (Frischknecht 2013). Die Ergebnisse sind in Tab. Z. 1 aufgelistet.

Die Gesamtumweltbelastung beträgt 539 UBP/kg holzpur, wobei 512 UBP/kg auf die Herstellung und 27 UBP/kg auf die Entsorgung entfallen. Für die Gesamtumweltbelastung sind vor allem die Wirkungskategorien Landnutzung, die Emissionen von Schadstoffen und Partikeln in die Luft, Treibhausgasemissionen sowie Energieressourcen von Bedeutung. Knapp 80 % der Gesamtumweltbelastung werden durch die Ernte von Rundholz im Forst Giswil und die Produktion von Schnittholz in der Lang-Sägewerk AG verursacht.

Der Primärenergiebedarf wird zum überwiegenden Teil aus erneuerbaren Quellen gedeckt. Hauptverantwortlich für den gesamten Primärenergiebedarf von 37.7 MJ/kg ist die im Holz gespeicherte Energie, die in den Endprodukten enthalten ist oder bei der Wärmeversorgung aus Holzfeuerungen eingesetzt wird. Der nicht erneuerbare Primärenergiebedarf von 1.67 MJ/kg wird vor allem durch die Nutzung fossiler Energieträger bei Transporten verursacht.

Die Treibhausgasemissionen der Herstellung und Entsorgung von holzpur-Elementen betragen 95 gCO<sub>2</sub>-eq/kg respektive 10 gCO<sub>2</sub>-eq/kg. Die Anteile der Produktion von Rundholz, von Schnittholz und von holzpur betragen 15.8 %, 46.2 % und 24.7 %. Die Holztrocknung ist mit einem Anteil von 3.6 % an den totalen Treibhausgasemissionen von untergeordneter Bedeutung.

Tab. Z. 1 Ergebnisse der Wirkungsabschätzung der Herstellung und Entsorgung von holzpur-Elementen nach den Umweltindikatoren Gesamtumweltbelastung, Primärenergiebedarf (gesamt und nicht erneuerbar) und Treibhausgasemissionen.

Indikator	Einheit	holzpur		
		Total	Herstellung	Entsorgung
Gesamtumweltbelastung	UBP/kg	539	512	26.9
Primärenergiebedarf gesamt	MJ oil-eq	37.7	37.6	0.125
Primärenergiebedarf nicht erneuerbar	MJ oil-eq	1.67	1.54	0.123
Treibhausgasemissionen	kg CO <sub>2</sub> -eq	0.105	0.095	0.010

---

# Inhalt

---

1	AUSGANGSLAGE UND ZIELSETZUNG	1
2	UNTERSUCHUNGSUMFANG	2
2.1	Bezugsgrösse	2
2.2	Systemumfang	2
2.3	Allokation	2
2.4	Datengrundlage	3
2.5	Bewertungsmethoden	3
3	SACHBILANZ	4
3.1	Überblick	4
3.2	Forst	4
3.3	Sägerei	7
3.4	Holzbau	11
3.5	Entsorgung	13
4	WIRKUNGSABSCHÄTZUNG	14
4.1	Überblick	14
4.2	Gesamtumweltbelastung nach der Methode der ökologischen Knappheit 2013	14
4.3	Kumulierter Primärenergiebedarf	16
4.4	Treibhausgasemissionen	17
4.5	Vergleich mit anderen Holzwerkstoffen	18
5	DATENQUALITÄT	20
	REFERENZEN	21

# 1 Ausgangslage und Zielsetzung

Die Holzbauunternehmung Walter Küng AG produziert in Alpnach-Dorf das Vollholzsystem holzpur. Dieses Produkt zeichnet sich durch den vollständigen Verzicht auf Metallteile, Klebstoffe und Holzschutzmittel sowie durch das Nutzen regionalen Holzes aus. Im Rahmen einer Diplomarbeit hat Herr Patrick Stalder eine Primärenergie-Bilanz des Produktes holzpur erstellt (Stalder 2013). Hierbei hat sich gezeigt, dass die heute in der KBOB-Empfehlung 2009/1:2014 (KBOB et al. 2014a) verfügbaren Ökobilanzdaten zur Holzgewinnung die spezifische Situation des Vollholzsystems holzpur nicht angemessen widerspiegeln.

In der vorliegenden Studie wird die Primärenergie-Bilanz ausgebaut und eine Ökobilanz gemäss den Anforderungen der Plattform Ökobilanzdaten im Baubereich erstellt. Es werden zusätzliche Daten für die einzelnen Prozessschritte erhoben, um die Herstellung des Vollholzsystems holzpur der Firma Walter Küng AG ganzheitlich abzubilden. Das Ziel ist die Aufnahme der ermittelten Umweltkennwerte als herstellereinspezifische Daten in die KBOB-Empfehlung 2009/1 bei der nächsten Aktualisierung.

## 2 Untersuchungsumfang

### 2.1 Bezugsgrösse

Die Ökobilanz des Vollholzsystems holzpur bezieht sich auf einen Kubikmeter ( $\text{m}^3$ ) eines Vollholz-Elements, das verladefertig in der Produktionshalle der Walter Küng AG steht. Mit der Rohdichte der holzpur Bretter von  $420 \text{ kg/m}^3$  (Stalder 2013) kann die Bezugsgrösse in Kilogramm umgerechnet werden.

### 2.2 Systemumfang

Die Ökobilanz des Vollholzsystems holzpur umfasst

- den Forstbetrieb der Korporation Giswil als hauptsächlicher Holzlieferant der Walter Küng AG mit der benötigten Infrastruktur und den Energie- und Materialaufwänden zur Bewirtschaftung des Waldes sowie den dabei entstehenden Emissionen;
- die Lang-Sägewerk AG mit allen Prozessen zur Herstellung von rohen Brettern aus Rundholz inklusive der benötigten Infrastruktur und den Energie- und Materialaufwänden sowie den dabei entstehenden Emissionen;
- die Produktion des Vollholzsystems holzpur in der Produktionshalle der Walter Küng AG inklusive der benötigten Infrastruktur und den Energie- und Materialaufwänden sowie den dabei entstehenden Emissionen;
- sämtliche Transportaufwendungen für Bau- und Betriebsstoffe sowie für Abfälle;
- jegliche Umweltauswirkungen der Gewinnung von Ressourcen und der Herstellung von Maschinen und Infrastruktur;
- die Entsorgung des Vollholzsystems holzpur am Ende seiner Nutzungsdauer.

### 2.3 Allokation

Bei Prozessen mit mehreren Produkten (Multi-Output Prozessen) müssen die Aufwendungen für Infrastruktur, Energie und Materialien sowie die Emissionen von Schadstoffen den einzelnen Produkten zugeordnet werden. In der vorliegenden Studie wird dafür der Ansatz der ökonomischen Allokation angewendet, wobei die Umweltauswirkungen entsprechend dem Herstellungspreis und dem jeweiligen Volumenanteil eines Produktes aufgeteilt werden. Der Allokationsfaktor eines Produkts (das heisst sein Anteil an den Umweltauswirkungen des betrachteten Prozesses) ist grösser, je höher der Herstellungspreis und je höher der Volumenanteil des Produkts im Vergleich zu den Koprodukten ist.

## 2.4 Datengrundlage

Für die Primärenergie-Bilanz wurden bereits etliche Daten beim Holzbauunternehmen Walter Küng AG und bei Lieferanten erhoben (Stalder 2013). Die für eine Ökobilanz erforderlichen weiteren Daten werden ergänzend beim Forstbetrieb der Korporation Giswil, bei der Sägerei Lang AG sowie bei der Walter Küng AG erhoben.

Prozesse, für die keine spezifischen Daten des Vollholzsystems holzpur verfügbar sind, werden auf Basis des ecoinvent Datenbestandes v2.2+ modelliert (KBOB et al. 2014b).

## 2.5 Bewertungsmethoden

Die Umweltauswirkungen der Herstellung des Vollholzsystems holzpur der Walter Küng AG werden mit drei Indikatoren bewertet:

- Gesamtumweltbelastung in Umweltbelastungspunkten (UBP) nach der Methode der ökologischen Knappheit 2013 (Frischknecht & Büsser Knöpfel 2013).
- Kumulierter Primärenergiebedarf (gesamt und nicht erneuerbar) in MJ Öl-eq (Frischknecht et al. 2007).
- Treibhausgasemissionen in t CO<sub>2</sub>-eq nach IPCC (2013, Tab. 8.A.1).

Die Angabe dieser drei Umweltkennwerte entspricht den Anforderungen der Plattform Ökobilanzdaten im Baubereich (Frischknecht 2013).

## 3 Sachbilanz

### 3.1 Überblick

Die Sachbilanz wird unterteilt in die drei Schritte der Holzproduktion im Forst (Kapitel 3.2), der Holzverarbeitung in der Sägerei (Kapitel 3.3) und der Produktion des Vollholzsystems holzpur im Holzbauunternehmen Walter Küng AG (Kapitel 3.4). Die Entsorgung des Vollholzsystems holzpur am Ende des Lebenszyklus wird in Kapitel 3.5 beschrieben.

### 3.2 Forst

Zur Herstellung des Vollholzsystems holzpur wird regionales Fichten- und Weisstannenholz von der Korporation Giswil verwendet (Stalder 2013). Die Prozesse der Holzproduktion und der Waldbewirtschaftung werden mit den ecoinvent-Datensätzen für „Softwood“ (Nadelholz) modelliert (Werner et al. 2007).

Die Kohlenstoff- und Energiespeicherung in Bäumen wird mit Hilfe der Trockendichte des Holzes berechnet. Das für holzpur-Elemente verwendete Nadelholz hat eine Trockendichte von  $400 \text{ kg/m}^3$  (Stalder 2013). Der Kohlenstoffanteil im Holz (49.4 %) sowie der Brennwert (20.4 MJ/kg) werden mangels spezifischer Daten aus ecoinvent übernommen (Werner et al. 2007).

Die Landnutzung von Wald und Waldstrassen pro Kubikmeter geerntetes Holz wird gemäss dem Betriebsbeschrieb des Forsts Giswil an die örtlichen Bedingungen angepasst (Korporation Giswil 2014). Der Kiesbedarf für die Waldstrassen wird aus ecoinvent entnommen und auf die Strassenfläche des Forsts Giswil skaliert (Werner et al. 2007; Korporation Giswil 2014). Die verwendeten Parameterwerte zur Bestimmung der Landnutzung sind in Tab. 3.1 zusammengestellt.

Tab. 3.1 Landnutzung von Wald und Waldstrassen bezogen auf die Produktion von 1 m<sup>3</sup> Nadelholz (ohne Rinde).

Parameter	Einheit	Wert	Referenz
Produktive Waldfläche	ha	2'588	Korporation Giswil 2014
Holznutzung	m <sup>3</sup> /a	14'500 (14'000–15'000)	Korporation Giswil 2014 (Annahme)
Lebensdauer Wald	a	1'000	Werner et al. 2007 (Annahme)
Landnutzung Wald	m <sup>2</sup> ·a/m <sup>3</sup>	1'780	Berechnung
Landtransformation Wald	m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>	1.78	Berechnung
Erschliessung durch Waldstrassen	m/ha	15	Korporation Giswil 2014
Strassenbreite	m	2	Werner et al. 2007 (Annahme)
Strassenfläche	ha	7.76	Berechnung
Landnutzung Waldstrassen	m <sup>2</sup> ·a/m <sup>3</sup>	5.35	Berechnung
Landtransformation Waldstrassen	m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>	0.00535	Berechnung
Kiesbedarf Waldstrassen	kg/m <sup>3</sup>	34.3	Werner et al. 2007 (skaliert auf Strassenfläche)

Die Bestimmung des Dieserverbrauchs von Baumaschinen und der Nutzung von Motorsägen für die Bewirtschaftung (Bestandesgründung, Kulturpflege, Läuterung) des Waldes ist schwierig zu bestimmen, weil die Korporation Giswil neben der Holzproduktion für diverse weitere Arbeiten zuständig ist.<sup>1</sup> Aus diesem Grund werden Werte aus ecoinvent für die Nutzung von Baumaschinen und Motorsägen in der Waldbewirtschaftung verwendet (Werner et al. 2007).

Stalder (2013) hat den Dieserverbrauch von Baumaschinen (1.25 L/m<sup>3</sup> geerntetes Holz) und die Aufwendungen zum Transport des Forstpersonals für die Korporation Giswil erfasst. Die Transportdistanz beträgt 5 km und die durchschnittliche Fällleistung von vier Personen ist 120 m<sup>3</sup>/d. Für den Benzin- und Schmierölverbrauch von Motorsägen werden zusätzliche Daten erhoben. Pro Tag ist eine Motorsäge im Durchschnitt während 7.5 Stunden in Betrieb und braucht 5 L Benzin und 2.5 L biogenes Schmieröl.<sup>2</sup> Während dieser Zeit werden ungefähr 30 m<sup>3</sup> Holz gefällt und entastet. Der ecoinvent-Datensatz für die Nutzung einer Motorsäge ohne Katalysator wird entsprechend den spezifischen Benzin- und Ölverbräuchen angepasst, während der Einsatz der Motorsäge sowie der Verbrauch von Sägeketten unverändert bleiben. Die Schadstoffemissionen,

<sup>1</sup> Persönliche Mitteilung André Halter, Revierförster der Korporation Giswil, vom 16.12.2014.

<sup>2</sup> Persönliche Mitteilung André Halter, Revierförster der Korporation Giswil, vom 16.12.2014 und 17.12.2014.

die durch die Verbrennung von Benzin und den Austritt von Schmieröl verursacht werden, werden gemäss dem Verbrauch von Benzin und Schmieröl skaliert.

Neben Rundholz entstehen beim Fällen von Bäumen zusätzlich Industrieholz, das zu Papier verarbeitet wird, und Brenn- oder Schnitzelholz.<sup>3</sup> Die Aufwendungen für die Maschinen sowie für das Wachstum und die Bewirtschaftung des Waldes müssen somit auf die verschiedenen Produkte aufgeteilt werden. Die Aufwendungen zur Holzproduktion werden gemäss einem ökonomischen Allokationsfaktor unter den Produkten aufgeteilt (Tab. 3.2).

Tab. 3.2 Allokationsfaktoren für die Koprodukte Rundholz, Industrieholz und Brennholz basierend auf Angaben von André Halter, Revierförster der Korporation Giswil (persönliche Mitteilung vom 16.12.2014).

Produkt	Allokationsfaktor (%)
Rundholz	75.7
Industrieholz	8.5
Brenn-/Schnitzelholz	15.8

Die Eingangsgrössen für das Wachstum und die Bewirtschaftung des Waldes sowie die Ernte von Holzprodukten aus dem Wald in Giswil sind in Tab. 3.3 bis Tab. 3.5 aufgelistet.

Tab. 3.3 Sachbilanzdaten für das Wachstum von Nadelbäumen im Forst Giswil.

	Name	Location	InfrastructureProcess	Unit	s softwood, standing, under bark, holzpur, in forest	UncertaintyType	StandardDeviation95%	GeneralComment
	Location				CH			
	InfrastructureProcess				0			
	Unit				m3			
product	softwood, standing, under bark, holzpur, in forest	CH	0	m3	1			
resource, land	Occupation, forest, intensive, normal	-	-	m2a	1.96E+3	1	1.56	(2,1,1,1,1,5,BU:1.5); ; Forstbetrieb Giswil 2014, ecoinvent report 9
	Transformation, from forest, extensive	-	-	m2	1.96E+0	1	2.05	(2,1,1,1,1,5,BU:2); ; Forstbetrieb Giswil 2014, ecoinvent report 9
	Transformation, to forest, intensive, normal	-	-	m2	1.96E+0	1	2.05	(2,1,1,1,1,5,BU:2); ; Forstbetrieb Giswil 2014, ecoinvent report 9
resource, biotic	Wood, soft, standing	-	-	m3	1.10E+0	1	1.30	(4,1,1,1,3,1,BU:1.05); including bark (10 %); ecoinvent report 9
	Energy, gross calorific value, in biomass	-	-	MJ	8.98E+3	1	1.30	(4,1,1,1,3,1,BU:1.05); Density (dry) = 400 kg/m3, Gross calorific value = 20.4 MJ/kg; ecoinvent report 9, Stalder 2013
resource, in air	Carbon dioxide, in air	-	-	kg	7.97E+2	1	1.30	(4,1,1,1,3,1,BU:1.05); Density (dry) = 400 kg/m3, C-content = 49.4 %; ecoinvent report 9, Stalder 2013

<sup>3</sup> Persönliche Mitteilung André Halter, Revierförster der Korporation Giswil, vom 16.12.2014.

Tab. 3.4 Sachbilanzdaten für die Bewirtschaftung des Forsts Giswil.

	Name	Location	InfrastructureProcess	Unit	softwood, stand establishment / tending / site development, under bark, holzpur, in forest	UncertaintyType	StandardDeviation95%	GeneralComment
	Location				CH			
	InfrastructureProcess				0			
	Unit				m3			
product	softwood, stand establishment / tending / site development, under bark, holzpur, in forest	CH	0	m3	1			
resource, land	Occupation, traffic area, road embankment	-	-	m2a	5.35E+0	1	1.56	(2,1,1,1,1,5,BU:1.5); ; Forstbetrieb Giswil 2014, ecoinvent report 9
	Transformation, from forest, extensive	-	-	m2	5.35E-3	1	2.05	(2,1,1,1,1,5,BU:2); ; Forstbetrieb Giswil 2014, ecoinvent report 9
	Transformation, to traffic area, road embankment	-	-	m2	5.35E-3	1	2.05	(2,1,1,1,1,5,BU:2); ; Forstbetrieb Giswil 2014, ecoinvent report 9
technosphere	diesel, burned in building machine, with particle filter	GLO	0	MJ	2.06E+0	1	1.13	(1,3,3,2,1,1,BU:1.05); ; ecoinvent report 9
	gravel, crushed, at mine	CH	0	kg	3.43E+1	1	1.15	(1,4,3,2,1,1,BU:1.05); Scaled to land occupation by road; Forstbetrieb Giswil 2014, ecoinvent report 9
	power sawing, without catalytic converter, holzpur	CH	0	h	2.01E-2	1	1.13	(1,3,3,2,1,1,BU:1.05); Forest cultivation; ecoinvent report 9
	transport, lorry 3.5-20t, fleet average	CH	0	tkm	6.86E-1	1	2.09	(4,5,na,na,na,na,BU:2); Standard distance for gravel (20 km); ecoinvent report 1

Tab. 3.5 Sachbilanzdaten für die Produktion von Rundholz, Industrieholz und Brennholz aus dem Forst Giswil. Die Aufwendungen des Multi-Output Prozesses werden den drei Koprodukten gemäss ökonomischen Allokationsfaktoren angerechnet.

	Name	Location	InfrastructureProcess	Unit	round wood, softwood, under bark, u=70%, holzpur, at forest road	industrial wood, softwood, under bark, u=140%, holzpur, at forest road	residual wood, softwood, under bark, u=140%, holzpur, at forest road	UncertaintyType	StandardDeviation95%	GeneralComment
	Location				CH	CH	CH			
	InfrastructureProcess				0	0	0			
	Unit				m3	m3	m3			
product	round wood, softwood, under bark, u=70%, holzpur, at forest road	CH	0	m3	1	0	0			
product	industrial wood, softwood, under bark, u=140%, holzpur, at forest road	CH	0	m3	0	1	0			
product	residual wood, softwood, under bark, u=140%, holzpur, at forest road	CH	0	m3	0	0	1			
technosphere	softwood, standing, under bark, holzpur, in forest	CH	0	m3	1.00E+0	1.00E+0	1.00E+0	1	1.05	(1,1,1,1,1,1,BU:1.05); ;
	softwood, stand establishment / tending / site development, under bark, holzpur, in forest	CH	0	m3	1.26E+0	5.68E-1	6.31E-1	1	1.05	(1,1,1,1,1,1,BU:1.05); ; André Halter, personal communication 16.12.2014
	diesel, burned in building machine, with particle filter	GLO	0	MJ	5.67E+1	2.55E+1	2.84E+1	1	1.22	(2,1,1,1,1,5,BU:1.05); Converted to MJ using values from ecoinvent report 1 (1.25l diesel), economic allocation; Stalder 2013
	transport, van <3.5t	CH	0	tkm	1.42E-2	6.39E-3	7.10E-3	1	2.09	(4,5,na,na,na,na,BU:2); Transport of people to the forest; converted to MJ using values from ecoinvent report 14 (10km transport), economic allocation; Stalder 2013, Forstbetrieb Giswil 2014
	power sawing, without catalytic converter, holzpur	CH	0	h	3.15E-1	1.42E-1	1.58E-1	1	1.22	(2,1,1,1,1,5,BU:1.05); Cutting down of trees; converted to h using values from ecoinvent reports 1 and 7 (0.02 petrol), economic allocation; Stalder 2013

### 3.3 Sägerei

Im Prozessschritt Sägerei sind der Transport des Rundholzes vom Wald zur Sägerei, die Entrindung, das Aufschneiden des Baumstamms zur Produktion von Holzbrettern sowie deren Trocknung enthalten. Die Infrastruktur der Sägerei wird mit dem entsprechenden ecoinvent-Datensatz modelliert (Werner et al. 2007).

Die geschätzte Transportdistanz von Rundholz vom Wald in Giswil zur Lang-Sägewerk AG in Hochdorf-Ligschwil (50.5 km) wird von Stalder (2013) übernommen. Die Transporte mit einem Seitenstapler zwischen den verschiedenen Prozessschritten der Sägerei werden mit einem geschätzten Dieserverbrauch von 1.5 L pro Stunde Schnittholzproduktion angenähert (Stalder 2013).

Für den Betrieb der benötigten Maschinen wird die elektrische Leistung gemäss Aufstellung von Stalder (2013) auf 385 kW geschätzt. Die Lang-Sägewerk AG bezieht Strom aus Wasserkraftwerken vom Wasserwerk Zug.<sup>4</sup> Pro Stunde werden in der Sägerei 14.6 m<sup>3</sup> Rundholz verarbeitet (Stalder 2013).

Neben Schnittholz werden beim Einsägen von Rundholz auch Lattenware, Industrierestholz (Sägemehl) sowie Rindenschnitzel produziert. Die Aufwendungen für die Verarbeitung von Rundholz werden gemäss einem ökonomischen Allokationsfaktor, der über den Volumenanteil und den Preis jedes Koprodukts berechnet wird, unter den Produkten aufgeteilt. Die verwendeten Allokationsfaktoren sind in Tab. 3.6 zusammengefasst.

Tab. 3.6 Allokationsfaktoren für die Koprodukte Schnittholz, Lattenware, Industrierestholz (Sägemehl) und Rindenschnitzeln basierend auf Angaben von Peter Lang, Geschäftsführer des Lang-Sägewerks (persönlichen Mitteilung vom 13.01.2015).

Produkt	Allokationsfaktor (%)
Schnittholz	84.7
Lattenware	8.4
Industrierestholz	1.6
Rindenschnitzel	5.3

Die rohen Holzbretter haben eine Feuchtigkeit von 70 % und müssen nach der Produktion getrocknet werden. Bis zu einer Feuchtigkeit von 18–20 % wird das Schnittholz für ungefähr acht Monate im Freien gelagert.<sup>5</sup> Die Parameter für die Bestimmung der für die Freilufttrocknung genutzten Landfläche sind in Tab. 3.7 aufgelistet.

---

<sup>4</sup> Persönliche Mitteilung Peter Lang, Geschäftsführer der Lang-Sägewerk AG, vom 23.02.2015.

<sup>5</sup> Persönliche Mitteilung Peter Lang, Geschäftsführer des Lang-Sägewerks, vom 20.01.2015.

Tab. 3.7 Landnutzung zur Trocknung von Schnittholz in der freien Luft.

Parameter	Einheit	Wert	Referenz
Landfläche für Freilufttrocknung	m <sup>2</sup>	700	Persönliche Mitteilung Peter Lang, 13.01.2015
Gelagerte Menge Schnittholz	m <sup>3</sup>	650	Persönliche Mitteilung Peter Lang, 13.01.2015
Dauer Holz-trocknung	a	0.67	Persönliche Mitteilung Peter Lang, 20.01.2015
Nutzungsdauer Lagerfläche	a	100	Werner et al. 2007 (Annahme)
Landnutzung Lagerfläche	m <sup>2</sup> ·a/m <sup>3</sup>	0.72	Berechnung
Landtransformation Lagerfläche	m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>	0.0072	Berechnung

Nachdem das Schnittholz eine Feuchtigkeit von ungefähr 20 % erreicht hat, wird es mit dem Seitenstapler in eine beheizte und belüftete Trocknungskammer transportiert. Die Infrastruktur für die technische Holz-trocknung wird mit dem entsprechenden ecoinvent-Prozess modelliert (Werner et al. 2007). Die luft-trockenen holzpur Bretter werden für 7 Tage in der Kammer getrocknet bis sie eine Feuchtigkeit von 6 % erreicht haben. Im Verlauf der Trocknung nimmt das Volumen des Holzes um 5 % ab (Stalder 2013). Der Stromverbrauch der 9 Ventilatoren in der Trocknungskammer wird mit deren elektrischer Leistung von je 0.75 kW berechnet. Die Heizung der Sägerei wird mit Rindenschnitzeln aus eigener Produktion betrieben. Dabei wird angenommen, dass sich die saisonalen Schwankungen (Verkauf von Rindenschnitzeln im Sommer, Zukauf im Winter) im Jahresverlauf ausgleichen. Der Energieverbrauch für die Kammertrocknung wird mit Hilfe des Wasserentzugs der Bretter von 56 kg/m<sup>3</sup> berechnet. Mit einem angenommenen Energiebedarf von 4.6 MJ/kg entzogener Wassermenge (Stalder 2013) beträgt der totale Heizenergiebedarf für die technische Holz-trocknung 271 MJ/m<sup>3</sup> getrocknetes Schnittholz.

Neben der Trocknungskammer werden auch die Werkstatt und Büros der Sägerei Lang sowie 11 Wohneinheiten mit Wärme aus der Holzfeuerung der Sägerei versorgt. Zur Bestimmung des Wärmebedarfs der einzelnen Verbraucher müssen Standardwerte herangezogen werden, weil der Energieverbrauch nicht gemessen wird. Die Daten zur Erzeugung und zum Verbrauch von Wärme aus der Holzfeuerung der Sägerei sind in Tab. 3.8 zusammengefasst. Es wird angenommen, dass die Wärmeenergie, die nicht für die Versorgung der Trocknungskammer und der 11 Wohneinheiten aufgewendet wird, für die Beheizung der Gebäude der Lang-Sägewerk AG verbraucht wird. Dies entspricht einem Heizenergiebedarf von 870 MJ/m<sup>3</sup> verarbeitetes Rundholz.

Die Holz-schnitzelheizung wird mit dem entsprechenden ecoinvent-Datensatz modelliert (Werner et al. 2003), wobei als Brennstoff die Rindenschnitzel aus dem Sägeprozess eingesetzt werden.





holzpur eingesetzt. Der totale Strombedarf beträgt  $44.9 \text{ kWh/m}^3$  zu holzpur verarbeitetes Schnittholz. Die ermittelten Energieverbräuche zur Beheizung der Produktionshalle (Fernwärme) und der Büros (Holzschnitzelheizung) bezogen auf das zu holzpur verarbeitete Schnittholz sind  $97.5 \text{ MJ/m}^3$  respektive  $9.5 \text{ MJ/m}^3$ .

Bei der Herstellung von holzpur-Elementen aus getrocknetem Schnittholz fällt Holzschnitzel als Nebenprodukt an. Es werden ökonomische Allokationsfaktoren bestimmt, um die Umweltauswirkungen des Multi-Output Prozesses den beiden Produkten zuzuordnen (Tab. 3.11).

Tab. 3.11 Allokationsfaktoren für die Koprodukte holzpur und Restholz bei der Herstellung von holzpur-Elementen basierend auf Angaben von Patrick Stalder und Stephan Küng, Walter Küng AG (persönliche Mitteilungen vom 02.02.2015 und 26.02.2015).

Produkt	Allokationsfaktor (%)
holzpur	99.3
Restholz	0.7

Buchendübel werden verwendet, um die einzelnen Holzbretter zu einem holzpur-Element zusammen zu halten. Das Volumen von Buchendübeln beträgt  $0.006 \text{ m}^3/\text{m}^3$  holzpur. Die Buchendübel werden näherungsweise mit dem ecoinvent-Datensatz für getrocknetes und gehobeltes Schnittholz aus Laubbäumen modelliert. Um die Winddichtigkeit von holzpur zu gewährleisten, wird ein Windpapier aus 100 % Zellulosefasern zwischen die geschichteten Holzbretter gelegt. Pro Kubikmeter holzpur werden 1.05 kg Windpapier eingesetzt.<sup>7</sup> Das Windpapier wird mit dem ecoinvent-Datensatz für gebleichtes Kraftpapier modelliert. Die Umweltauswirkungen der Buchendübel und des Windpapiers werden nur dem Produkt holzpur angerechnet.

Die Sachbilanzdaten für die Herstellung von holzpur-Elementen sind in Tab. 3.12 aufgelistet.

---

<sup>7</sup> Persönliche Mitteilung Patrick Stalder, Walter Küng AG, vom 26.02.2015.



## 4 Wirkungsabschätzung

### 4.1 Überblick

Die Umweltauswirkungen der Herstellung von holzpur-Elementen werden mit den Indikatoren Gesamtumweltbelastung nach der Methode der ökologischen Knappheit 2013 (Kapitel 4.2), Kumulierter Primärenergiebedarf gesamt und nicht erneuerbar (Kapitel 4.3) sowie Treibhausgasemissionen (Kapitel 4.4) bewertet. Die drei Umweltkennwerte werden dann mit jenen anderer Holzwerkstoffe verglichen (Kapitel 4.5). Da sich die in der KBOB-Empfehlung aufgeführten Umweltkennwerte jeweils auf das Gewicht eines bestimmten Produkts beziehen, werden die Indikatoren in Bezug auf 1 Kilogramm des Vollholzsystems holzpur ausgedrückt. Die Umrechnung von Kubikmeter in Kilogramm geschieht durch Division durch die Rohdichte eines holzpur-Elements, die  $420 \text{ kg/m}^3$  beträgt (Stalder 2013).

### 4.2 Gesamtumweltbelastung nach der Methode der ökologischen Knappheit 2013

Der Indikator Gesamtumweltbelastung nach der Methode der ökologischen Knappheit 2013 (Frischknecht & Büsser Knöpfel 2013) berücksichtigt alle politisch regulierten Schadstoffemissionen und Ressourcenverbräuche und wird in Umweltbelastungspunkten (UBP) ausgedrückt.

Die Gesamtumweltbelastung der Herstellung von holzpur-Elementen ist in Fig. 4.1 dargestellt und beträgt  $539 \text{ UBP/kg}$ , wobei  $512 \text{ UBP/kg}$  auf die Herstellung und  $27 \text{ UBP/kg}$  auf die Entsorgung entfallen. Bei der Herstellung wird zusätzlich unterschieden zwischen den verschiedenen Prozessschritten zur Produktion von Rundholz im Forst Giswil, zur Herstellung und Trocknung von Schnittholz in der Lang-Sägewerk AG sowie zur Fertigung des Vollholzsystems holzpur in der Walter Küng AG. Die Ernte und das Aufschneiden von Holz tragen mit  $38.2 \%$  und  $40.4 \%$  die grössten Anteile zur Gesamtumweltbelastung von holzpur bei. Die Beiträge der Holztrocknung und der Herstellung von holzpur im Holzbauunternehmen entsprechen  $6.3 \%$  und  $11.2 \%$ . Der Anteil der Entsorgung an der Gesamtumweltbelastung von holzpur beträgt  $4.0 \%$ .

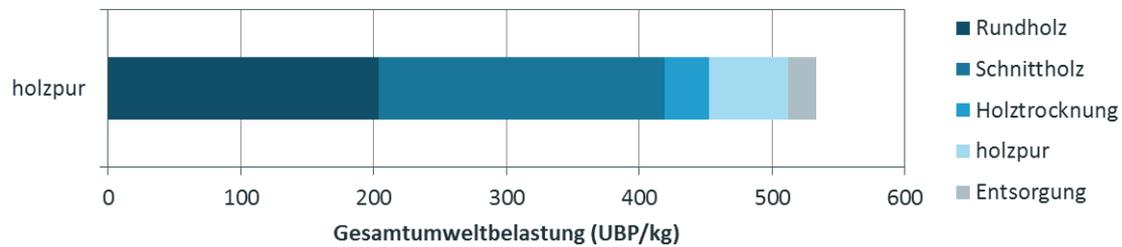


Fig. 4.1 Gesamtumweltbelastung der Herstellung und Entsorgung von 1 Kilogramm des Vollholzsystems holzpur.

Bei der Betrachtung der einzelnen Wirkungskategorien der Methode der ökologischen Knappheit 2013 wird deutlich, dass die Landnutzung das Gesamtergebn mit 43,8 % mit Abstand am stärksten bestimmt (Fig. 4.2). Diese Umweltauswirkung wird fast ausschließlich (94,8%) durch die Nutzung des Waldes zur Produktion von Holz verursacht.

An zweiter Stelle folgt die Wirkungskategorie der Luftschadstoff- und Partikelemissionen, die für 17,2 % der Gesamtumweltbelastung verantwortlich ist. Mehr als die Hälfte dieser Emissionen (53,4 %) wird durch die Holzfeuerung in der Sägerei verursacht. Es fällt auf, dass nur 17,0 % der Emissionen von Luftschadstoffen und Partikeln in der Holzfeuerung dem Prozess der Holz Trocknung zugeschrieben werden kann, während die restlichen 83,0 % auf die Beheizung der Gebäude der Sägerei zurück zu führen sind.

Die dritt wichtigste Wirkungskategorie umfasst die Emission von Treibhausgasen mit einem Anteil von 9,0 % an der Gesamtumweltbelastung. Treibhausgasemissionen entstehen bei allen Prozessschritten.

Die Nutzung von Energieressourcen trägt weitere 8,4 % zur Gesamtumweltbelastung der Produktion von holzpur bei. Das natürliche Wachstum der Bäume im Wald verursacht durch die Absorption von Sonnenstrahlung 82,8 % der Umweltbelastung in dieser Wirkungskategorie.

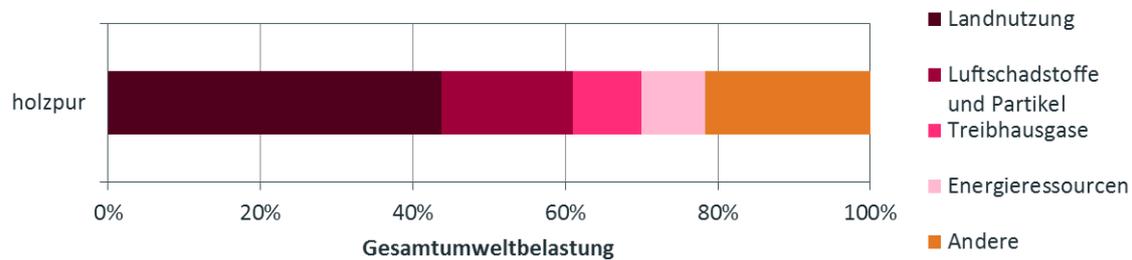


Fig. 4.2 Anteile der vier wichtigsten Wirkungskategorien an der Gesamtumweltbelastung der Herstellung und Entsorgung von 1 Kilogramm des Vollholzsystems holzpur.

### 4.3 Kumulierter Primärenergiebedarf

Der kumulierte Primärenergiebedarf wird nach der Methode von Frischknecht et al. (2007) bestimmt. Die Anteile der einzelnen Prozessschritte am gesamten und am nicht erneuerbaren Primärenergiebedarf der Herstellung und Entsorgung von holzpur sind in Fig. 4.3 und Fig. 4.4 dargestellt.

Der gesamte Primärenergiebedarf beträgt 37.6 MJ/kg. Ein Anteil von 60.7 % wird dabei durch die Produktion von Rundholz verursacht. Die Herstellung von Schnittholz trägt 28.5 % zum gesamten Primärenergiebedarf bei, während die Holz Trocknung und die Fertigung von holzpur-Elementen für Anteile von 5.7 % respektive 5.1 % verantwortlich ist. Der Primärenergiebedarf der Entsorgung von holzpur ist vernachlässigbar.

Der überwiegende Teil des Primärenergiebedarfs stammt aus erneuerbaren Quellen in Form von im Holz gespeicherter Energie, die in den Endprodukten enthalten ist oder bei der Wärmeversorgung aus Holzfeuerungen eingesetzt wird. Dies wird deutlich bei der Betrachtung des nicht erneuerbaren Anteils am kumulierten Primärenergiebedarf der Herstellung von holzpur, der 1.67 MJ/kg beträgt. Der nicht erneuerbare Primärenergiebedarf wird hauptsächlich mit fossilen Energieträgern gedeckt und durch Transporte verursacht, die bei jedem Prozessschritt benötigt werden. Neben den Transporten trägt auch die Infrastruktur zum nicht erneuerbaren Primärenergiebedarf bei.

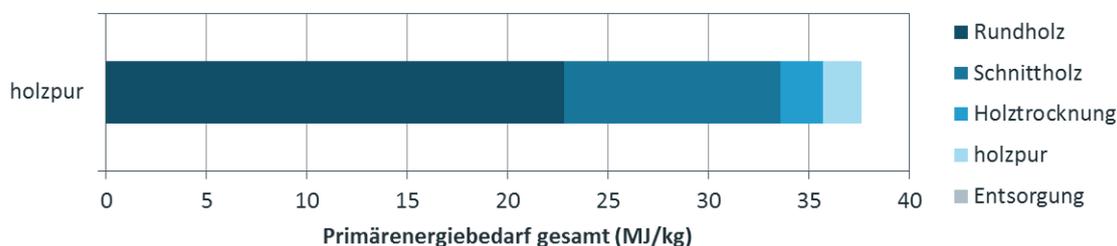


Fig. 4.3 Gesamter kumulierter Primärenergiebedarf der Herstellung und Entsorgung von 1 Kilogramm des Vollholzsystems holzpur.

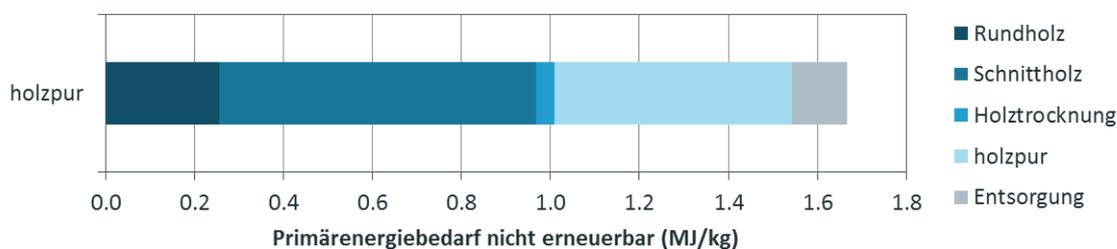


Fig. 4.4 Nicht erneuerbarer kumulierter Primärenergiebedarf der Herstellung und Entsorgung von 1 Kilogramm des Vollholzsystems holzpur.

#### 4.4 Treibhausgasemissionen

Zur Bestimmung der Treibhausgasemissionen, die bei der Herstellung und Entsorgung von holzpur-Elementen verursacht werden, werden die aktuellsten Treibhauspotenziale gemäss IPCC (2013) angewandt. Die Emissionen der unter dem Kyoto-Protokoll regulierten Treibhausgase werden mit dem Treibhauspotenzial (global warming potential, GWP) über einen Zeitraum von 100 Jahren gewichtet und summiert.

Die Treibhausgasemissionen der Herstellung und Entsorgung von holzpur-Elementen betragen 95 gCO<sub>2</sub>-eq/kg respektive 10 gCO<sub>2</sub>-eq/kg. In Fig. 4.5 Beiträge der einzelnen Prozessschritte zu den totalen Treibhausgasemissionen von 1 Kilogramm holzpur dargestellt. Die Anteile der Produktion von Rundholz, von Schnittholz und von holzpur betragen 15.8 %, 46.2 % und 24.7 %. Bei der Trocknung von Schnittholz entstehen 3.6 % der totalen Treibhausgasemissionen. Die Entsorgung von holzpur-Elementen trägt 9.7 % zu den totalen Treibhausgasemissionen bei. Die Treibhausgasemissionen entstehen vor allem durch den Verbrauch fossiler Energieträger und werden somit hauptsächlich durch Transporte und die Bereitstellung der Infrastruktur verursacht. Daneben trägt das Windpapier im holzpur-Element gemessen an seinem Gewichtsanteil (0.3 %) mit 3.9 % stark zu den Treibhausgasemissionen bei.

Das mit einem Anteil von 87.0 % mit Abstand wichtigste Treibhausgas ist Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>). Die Treibhausgase Methan (CH<sub>4</sub>) und Lachgas (N<sub>2</sub>O) tragen 4.4 % und 7.7 % zum Treibhauspotenzial der Herstellung und Entsorgung von holzpur bei. Während Methan vor allem durch die Verbrennung fossiler Energieträger entsteht,

liegen die wichtigsten Emissionsquellen von Lachgas bei den Holzfeuerungen, die die Sägerei und das Holzbauunternehmen mit Wärme versorgen.

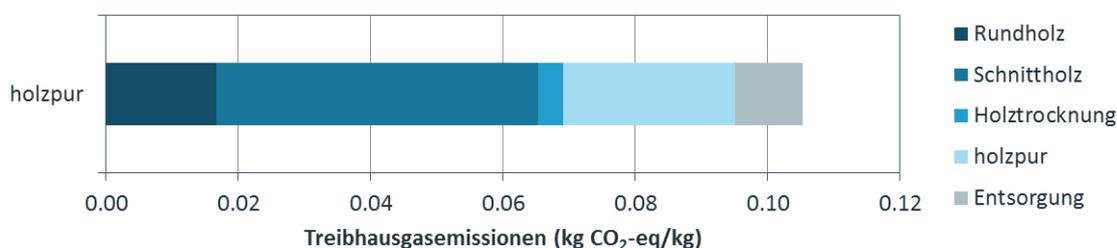


Fig. 4.5 Treibhausgasemissionen der Herstellung und Entsorgung von 1 Kilogramm des Vollholzsystems holzpur.

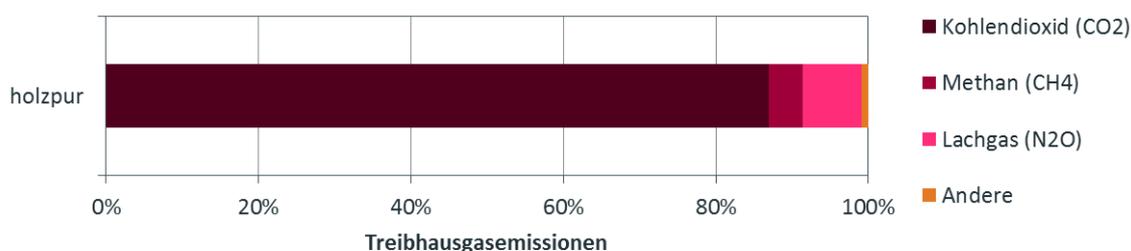


Fig. 4.6 Anteile der einzelnen Substanzen an den Treibhausgasemissionen der Herstellung und Entsorgung von 1 Kilogramm des Vollholzsystems holzpur.

## 4.5 Vergleich mit anderen Holzwerkstoffen

In der KBOB-Empfehlung werden die Umweltkennwerte der Herstellung und Entsorgung verschiedener Baumaterialien zusammengefasst und publiziert (KBOB et al. 2014a). Diese Daten erlauben einen Vergleich der Umweltkennwerte von holzpur mit jenen anderer Baumaterialien aus Holz. Die Materialien „Brettschichtholz, UF-gebunden, Trockenbereich“ (ID-Nummer 07.002) und „Brettschichtholz, MF-gebunden, Feuchtbereich“ (ID-Nummer 07.003) sind besonders geeignet für einen Vergleich mit dem Vollholzsystem holzpur. Letzteres besteht auch aus einer Schicht von Holzbrettern, die aber durch Holzdübel zusammen gehalten werden anstatt durch Formaldehydbasierte Kunstharze. Zusätzlich wird das Baumaterial „Massivholz Fichte / Tanne / Lärche, kammergetr., gehobelt“ (ID-Nummer 07.011) für einen Vergleich mit holzpur herangezogen.

Die Kennwerte Umweltbelastungspunkte, Primärenergiebedarf gesamt und nicht erneuerbar sowie Treibhausgasemissionen der erwähnten Baumaterialien sind in Tab. 4.1 aufgelistet. holzpur wird nach der Methode der ökologischen Knappheit 2013 deutlich besser bewertet als UF- oder MF-gebundenes Brettschichtholz. Die Gesamtumweltbelastung liegt aber leicht höher als jene von getrocknetem und gehobeltem Massivholz, was vor allem auf die Wirkungskategorie Landnutzung zurück zu führen ist. Der Wald in Giswil wird weniger intensiv bewirtschaftet als der in

ecoinvent modellierte Wald, wodurch eine grössere Fläche pro Kubikmeter geerntetes Holz benötigt wird.

Der gesamte Primärenergiebedarf von holzpur übersteigt jenen der vergleichbaren Baumaterialien. Der Grund für diese Abweichung liegt im hohen Primärenergiebedarf der Produktion von Schnittholz. Beim nicht erneuerbaren Primärenergiebedarf sowie bei den Treibhausgasemissionen wird holzpur besser bewertet als die anderen Baumaterialien aus Holz, was mit dem hohen Anteil erneuerbarer Energien im eingesetzten Strommix begründet werden kann.

Die Treibhausgasemissionen von holzpur-Elementen sind tiefer als jene von vergleichbaren Holzwerkstoffen. Der Grund dafür liegt in der Nutzung von stark auf Wasserkraft basierendem Strom sowie von biogenen Energieträgern für die Wärmebereitstellung. Im Vergleich zu Formaldehyd-gebundenem Brettschichtholz wird zudem die Herstellung des Kunstharzes eingespart.

Tab. 4.1 Vergleich der Umweltkennwerte der Herstellung und Entsorgung von holzpur mit den KBOB-Kennwerten anderer Holzwerkstoffe (KBOB et al. 2014a).

Baumaterialien	Bezug	UBP13			Primärenergiebedarf ges.			Primärenergiebedarf n.e.			Treibhausgasemissionen		
		Total	Herst.	Ents.	Total	Herst.	Ents.	Total	Herst.	Ents.	Total	Herst.	Ents.
		UBP	UBP	UBP	MJ <sub>oil</sub> <sub>eq</sub>	kgCO <sub>2</sub> -eq	kgCO <sub>2</sub> -eq	kgCO <sub>2</sub> -eq					
holzpur	kg	539	512	26.9	37.7	37.6	0.125	1.67	1.54	0.123	0.105	0.095	0.010
Brettschichtholz, UF-gebunden, Trockenbereich	kg	950	863	86.8	34.4	34.2	0.212	8.13	7.92	0.208	0.545	0.424	0.121
Brettschichtholz, MF-gebunden, Feuchtbereich	kg	995	908	86.8	35.1	34.9	0.212	8.86	8.65	0.208	0.584	0.463	0.121
Massivholz Fichte / Tanne / Lärche, kammergetr., gehobelt	kg	496	469	26.9	25.0	24.9	0.125	3.61	3.49	0.123	0.138	0.128	0.010

## 5 Datenqualität

Die vorliegende Ökobilanz beruht weitgehend auf belastbaren Informationen, die spezifisch für die Lieferkette der Walter Küng AG und die Herstellung des Vollholzsystems holzpur erhoben wurden. Die Eingangsdaten für die meisten Prozesse konnten mit zufrieden stellender Genauigkeit ermittelt werden.

Unsicherheiten bestehen vor allem bei der Holzfeuerung, die von der Lang-Sägewerk AG betrieben wird. Die in der Holzfeuerung erzeugte Energie wurde mit Hilfe des Volumens der eingesetzten Rindenschnitzel geschätzt. Zudem sind keine Daten zur bezogenen Wärmemenge der einzelnen Verbraucher verfügbar. Da der Energieverbrauch der Wohneinheiten und der Trocknungskammer mit Standardwerten abgeschätzt werden konnte, wurde die restliche Energiemenge der Beheizung der Gebäude der Sägerei angerechnet.

Für die Aufteilung des Wärme- und Stromverbrauchs der neuen Produktionshalle und der Büros der Walter Küng AG wurde der Anteil der holzpur-Herstellung abgeschätzt, da keine genaueren Daten verfügbar sind.

## Referenzen

- Frischknecht et al. 2007 Frischknecht R., Jungbluth N., Althaus H.-J., Bauer C., Doka G., Dones R., Hellweg S., Hirschler R., Humbert S., Margni M. and Nemecek T. (2007) Implementation of Life Cycle Impact Assessment Methods. ecoinvent report No. 3, v2.0. Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, CH, retrieved from: [www.ecoinvent.org](http://www.ecoinvent.org).
- Frischknecht 2013 Frischknecht R. (2013) Memo: Regeln für Ökobilanzdaten im Baubereich gemäss der KBOB-Liste. Plattform "Ökobilanzdaten im Baubereich", KBOB, eco-bau, IPB, Uster, retrieved from: [http://www.eco-bau.ch/resources/uploads/Produktspezifische\\_Regeln.pdf](http://www.eco-bau.ch/resources/uploads/Produktspezifische_Regeln.pdf).
- Frischknecht & Büsser Knöpfel 2013 Frischknecht R. and Büsser Knöpfel S. (2013) Ökofaktoren Schweiz 2013 gemäss der Methode der ökologischen Knappheit. Grundlagen und Anwendung auf die Schweiz. Umwelt-Wissen Nr. 1330. Bundesamt für Umwelt, Bern, retrieved from: <http://www.bafu.admin.ch/publikationen/publikation/01750/index.html?lang=de>.
- IPCC 2013 IPCC (2013) The IPCC fifth Assessment Report - Climate Change 2013: the Physical Science Basis. Working Group I, IPCC Secretariat, Geneva, Switzerland.
- KBOB et al. 2014a KBOB, eco-bau and IPB (2014a) KBOB-Empfehlung 2009/1:2014: Ökobilanzdaten im Baubereich, Stand April 2014. Koordinationskonferenz der Bau- und Liegenschaftsorgane der öffentlichen Bauherren c/o BBL Bundesamt für Bauten und Logistik, retrieved from: <http://www.bbl.admin.ch/kbob/00493/00495/index.html?lang=de>.
- KBOB et al. 2014b KBOB, eco-bau and IPB (2014b) ecoinvent Datenbestand v2.2+; Grundlage für die KBOB-Empfehlung 2009/1:2014: Ökobilanzdaten im Baubereich, Stand April 2014. Koordinationskonferenz der Bau- und Liegenschaftsorgane der öffentlichen Bauherren c/o BBL Bundesamt für Bauten und Logistik, retrieved from: [www.lc-inventories.ch](http://www.lc-inventories.ch).
- Korporation Giswil 2014 Korporation Giswil (2014) Betriebsbeschreibung Forst Giswil. Korporation Giswil, Giswil, CH, retrieved from: <http://www.korporation-giswil.ch/assets/files/betriebsbeschreibung.pdf>.
- Stalder 2013 Stalder P. (2013) Primärenergie des Vollholzsystems "holzpur". Höhere Fachschule Holz Biel, Biel CH.
- Werner et al. 2003 Werner F., Althaus H.-J., Künniger T., Richter K. and Jungbluth N. (2003) Life Cycle Inventories of Wood as Fuel and Construction Material. Final report ecoinvent 2000 No. 9. EMPA Dübendorf, Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, CH, retrieved from: [www.ecoinvent.org](http://www.ecoinvent.org).

- Werner et al. 2007  
Werner F., Althaus H.-J., Künniger T., Richter K. and Jungbluth N. (2007) Life Cycle Inventories of Wood as Fuel and Construction Material. ecoinvent report No. 9, v2.0. EMPA Dübendorf, Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, CH, retrieved from: [www.ecoinvent.org](http://www.ecoinvent.org).
- Wyss et al. 2014  
Wyss F., Frischknecht R. and Itten R. (2014) Hintergrundbericht zur Aktualisierung der Materialdaten der KBOB-Liste, v2.2+ Stand 2014. Bundesamt für Umwelt BAFU, Koordinationskonferenz der Bau- und Liegenschaftsorgane der öffentlichen Bauherren KBOB