



Hintergrundbericht zur Produktökobilanz der vita 3-Schicht-Naturholzplatte der Elka Holzwerke GmbH

Version 1.0

17. Februar 2023

Im Auftrag der

Elka Holzwerke GmbH
Hochwaldstrasse 44
D-54497 Morbach

Im Zusammenhang mit

dem vom BMBF geförderten Verbundprojektes

„Easy-EPD – Softwaregestützte Erstellung von Produktdeklarationen in der Holzindustrie“

Projektkoordinator: GreenDelta GmbH, Berlin

Projektpartner: Hilbra Theo Hildenbrand GmbH, Freudenberg-Ebenheid
Holzforschung München, TUM, München

Assoziierte Partner: Institut Bauen und Umwelt e.V.; Deutsche Säge- und Holzindustrie
Bundesverband e. V. (DeSH); Elka Holzwerke GmbH; EMH metering GmbH

Externer Ökobilanzierer

Holzforschung München,
Technische Universität München,
Lehrstuhl für Holzwissenschaft
Hans-Carl-von-Carlowitz-Platz 2
85354 Freising

Autor:
Sabine Helm
Tel.: +49 8161 71 4160
E-Mail: helm@hfm.tum.de

Projektleiterin:
Prof. Dr. Gabriele Weber-Blaschke
Tel.: +49 8161 71 5635
E-Mail: weber-blaschke@hfm.tum.de

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	1
Abbildungsverzeichnis	3
Tabellenverzeichnis	4
1 Allgemeine Angaben	6
2 Zieldefinition	7
3 Untersuchungsrahmen der Studie.....	8
3.1 Deklarierte Einheit	8
3.2 Produktbeschreibung.....	9
3.3 Systemgrenze.....	10
3.3.1 Modul A1: Bereitstellung der Rohstoffe, Zusatzstoffe und Halbwaren.....	11
3.3.1.1 Holzrohstoffe	11
3.3.1.2 Holzhalbwaren.....	12
3.3.1.3 Zusatzstoffe.....	12
3.3.2 Modul A2: Transport der Rohstoffe und Halbwaren	13
3.3.2.1 Transport der Holzrohstoffe.....	13
3.3.2.2 Transport von Zusatzstoffen.....	14
3.3.2.3 Transport von Holzhalbwaren	14
3.3.3 Modul A3: Herstellung des Produkts sowie Entsorgungsszenarien der Produktionsabfälle.....	14
3.3.3.1 Sägewerk.....	15
3.3.3.2 Trockenkammer.....	16
3.3.3.3 Naturholzplattenwerk.....	16
3.3.3.4 Transport von Betriebsmitteln, Hilfsmitteln und Kraftstoffen	17
3.3.3.5 Verpackung	17
3.3.4 Modul A5: Ausgang der Verpackung aus dem System.....	17
3.3.5 Modul C1: Abbruch / Rückbau.....	17
3.3.6 Modul C2: Transport zum Entsorger/Recyclinghof.....	18
3.3.7 Modul C3: Abfallwirtschaft und Recycling	18
3.3.8 Modul D: Gutschriften und Lasten außerhalb der Systemgrenze	19
3.3.8.1 Verwertung der Verpackung.....	19
3.3.8.2 Verwertung des Holzproduktes	19
3.3.9 Allokationsverfahren und Systemraumerweiterungen.....	20
3.3.10 Biogener Kohlenstoff	21
3.3.11 Abschneidekriterien und Annahmen	22
4 Spezifische Vordergrunddaten	24

Inhaltsverzeichnis

4.1	Datenerhebung und Datenqualität.....	24
4.2	Zuordnung der Daten zu Produkten und Prozessen	24
5	Generische Hintergrunddaten, verwendete LCA-Software und literaturbasierte Umrechnungsfaktoren	25
5.1	Verwendete Hintergrunddaten und LCA-Software	25
5.2	Qualität der Hintergrunddaten	25
5.3	Umrechnungsfaktoren, Dichte- und Heizwertangaben.....	26
5.3.1	Dichte von Holz unter Berücksichtigung von Quellen und Schwinden	26
5.3.2	Energiegehalt von Holz (unterer Heizwert)	29
5.3.3	Energiegehalt (unterer Heizwert) der Zusatzstoffe und der Verpackungsmaterialien	30
5.3.4	Sonstige Umrechnungsfaktoren	31
6	Sachbilanz und Wirkungsabschätzung	32
6.1	Sachbilanz und Parameter zur Sachbilanz gemäß DIN EN 15804+A2	32
6.1.1	Parameter zur Beschreibung des Ressourceneinsatzes	34
6.2	Wirkungsabschätzung	36
6.3	Interpretation der LCA Ergebnisse	38
7	Literatur	40
8	Anhang	43

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Vita 3-Schicht-Naturholzplatte (Quelle: www.elka-holzwerke.de).....	9
Abbildung 2: Vereinfachte Darstellung der Stoffströme und Hintergrund- sowie Vordergrundprozesse innerhalb der Systemgrenze der Produktökobilanz unter Zuordnung der berücksichtigten Module.....	11
Abbildung 3: Schematische Darstellung der Herstellungsprozesse der Naturholzplatte im Werk.....	15
Abbildung 4: Kohlenstoffbilanz der Holzbiomasseströme im deklarierten Produkt und in der Verpackung nach Modulen.....	22
Abbildung 5: Relativer Beitrag der Informationsmodule A1 – A3 und C1 – C3 zu den Umweltwirkungskategorien nach EN 15804+A2	38
Abbildung 6: Relativer Beitrag des stofflichen und energetischen Szenario des Informationsmodul D zu den Umweltwirkungskategorien nach EN 15804+A2.....	39

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Zusammensetzung des deklarierten Produktes (1 m ³ 3-Schicht-Naturholzplatte).....	8
Tabelle 2: Masse und relativer Anteil der Verpackungsmaterialien pro deklarierte Einheit	9
Tabelle 3: Deutschlandspezifischen Hintergrunddatensätze der EuGeos' 15804_A2-IA Datenbank für die Bereitstellung der Holzrohstoffe	11
Tabelle 4: Modellierung der Zusatzstoffe in der Naturholzplatte	13
Tabelle 5: Transportdistanz, -modi und -gewicht der zugekauften Holzhalbwaren	14
Tabelle 6: Direkte Emissionen bei der Holz Trocknung (Wagner et al 2009)	16
Tabelle 7: Aufwendungen für den Abbruch (Modul C1) für 1 m ³ Massivholzplatte. Berechnet nach IVANICA et al. (2021) und MANTAU et al. (2013)	18
Tabelle 8: Heizwerte und Verwertungsszenarien der unterschiedlichen Verpackungsmaterialien	19
Tabelle 9: Verkaufspreise der Produkte und Koppelprodukte im Jahr 2019 nach Angaben des Herstellers.....	21
Tabelle 10: Biogenen Kohlenstoffgehalt der deklarierten Einheit am Werkstor.....	21
Tabelle 11: Abschneidekriterien	23
Tabelle 12: Verwendung von Durchschnittsdaten oder generischen Daten bei direkten Emissionen im Werk	23
Tabelle 13: Priorisierung von Hintergrundprozessen nach der regionalen Gültigkeit und Zuordnung des entsprechenden Qualitätsniveaus nach DIN EN 15804+A2	25
Tabelle 14: Verwendete Darrdichten und Raumdichten, basierend auf dem jeweiligen Schwindmaß (Formel 7) der betrachteten Baumarten (nach KOLLMANN (1982) und KALTSCHMITT et al. (2016), in Einklang mit RÜTER & DIEDERICH (2012))	27
Tabelle 15: Mittleres differentielles Volumenschwindmaß nach SELL (1997) und Raumdichte von teilgeschwundenem Holz bei einer Holzfeuchte (u) von 10%	27
Tabelle 16: Umrechnungsfaktoren für Volumina von Sägenebenprodukten und Rinde (HAGAUER et al. 2009).....	28
Tabelle 17: Untere Heizwerte (Hu) bei u = 0% der betrachteten Baumarten (KALTSCHMITT et al. 2016, DIETZ et al. 2016) sowie die berechneten Heizwerte bei u = 10% bzw. 20%	29
Tabelle 18: Untere Heizwerte (Hu) der, in der deklarierten Einheit enthaltenen Zusatzstoffe und der Verpackungsmaterialien.....	30
Tabelle 19: Umrechnungsfaktoren für Betriebs-/Hilfsmittel und Kraftstoffe	31
Tabelle 20: Systemgrenze der Produktökobilanz für 1 m ³ Naturholzplatte.....	32
Tabelle 21: Sachbilanz der Produktökobilanz für 1 m ³ Naturholzplatte im Werk gemäß Primärdatenerhebung.....	32
Tabelle 22: Ergebnisse der Ökobilanz - Indikatoren zur Beschreibung des Ressourceneinsatzes nach EN 15804+A2 bezogen auf 1 m ³ Vita Naturholzplatte	34

3 Umfang der Studie

Tabelle 23: Ergebnisse der Ökobilanz – Abfallkategorien und Outputflüsse nach EN 15804+A2 bezogen auf 1 m ³ Vita Naturholzplatte	35
Tabelle 24: Ergebnisse der Ökobilanz - Umweltauswirkungen nach EN 15804+A2 bezogen auf 1 m ³ Vita Naturholzplatte	36
Tabelle 25: Ergebnisse der Ökobilanz - zusätzliche Wirkungskategorien nach EN 15804+A2 bezogen auf 1 m ³ Vita Naturholzplatte	37
Tabelle 26: Darstellung aller im System verwendeten Hintergrunddatensätze der EuGeos' 15804_A2-IA Datenbank sowie aller berechneten und im Werk erhobenen Vordergrunddaten und deren geographisches, technisches und zeitliches Qualitätsniveau nach Tab. E.1 der DIN EN 15804+A2	43

1 Allgemeine Angaben

Dieses Dokument entspricht einem Hintergrundbericht einer Umweltproduktdeklaration (EPD).

Auftraggeber der Ökobilanz:

Elka Holzwerke GmbH
Hochwaldstrasse 44
D-54497 Morbach

Externer Ökobilanzierer:

Holzforschung München,
Technischen Universität München,
Lehrstuhl für Holzwissenschaft
Hans-Carl-von-Carlowitz-Platz 2
85354 Freising

Der Programmbetreiber, der diese EPD veröffentlicht ist das Institut für Bauen und Umwelt e.V. (IBU).

Berichtsdatum: 09.12.2021

Der vorliegende Bericht entspricht der transparenten Dokumentation einer Produktökobilanz gemäß ISO 14040/44 und DIN EN 15804+A2:2020. Er wurde in Übereinstimmung mit den Anforderungen der allgemeinen produktgruppenspezifischen Rechenregeln des Institut Bauen und Umwelt e.V. (IBU), PCR Dokumente Teil A (IBU 2020b), und den ergänzenden komplementären Anforderungen für Vollholzprodukte, PCR Dokument Teil B (IBU 2020a), formuliert. Er kann als Nachweisdokument für die angewandte Methodik und die zur Berechnung genutzten Daten und Annahmen verwendet werden.

2 Zieldefinition

Diese Studie wird im Rahmen des vom BMBF geförderten Verbundprojektes „Easy-EPD – Softwaregestützte Erstellung von Produktdeklarationen in der Holzindustrie“ durchgeführt. Ziel des Verbundprojekts ist es, bestehende Hemmnisse hinsichtlich Komplexität und Kosten für kleine und mittlere Unternehmen (KMU) der Säge- und Holzindustrie bei der Erfassung umweltbezogener Daten und bei der Erstellung von verifizierten Umweltproduktdeklarationen durch die Entwicklung einer Softwarelösung abzubauen. Die kostenlose Softwarelösung solle es KMU ermöglichen, mit geringem Aufwand verifizierte EPDs zu erstellen. Die Software wird von GreenDelta entwickelt, die Holzforschung München erstellt die Ökobilanzen und steuert die Informationen zur Umsetzung von Product Categories Rules (PCR) und EPDs bei. Die Hilbra GmbH formuliert die Anforderungen an die Software, führt Praxistests durch und unterstützt die Entwicklung zur Marktreife. Das Projekt wird zudem von weiteren Privatunternehmen sowie Interessensverbänden inhaltlich unterstützt, z.B. vom Deutschen Säge- und Holzindustrie Bundesverband e.V. (DeSH) sowie vom Institut Bauen und Umwelt e.V. (IBU).

Mit der hier vorliegenden Studie soll eine Pilot-EPD unabhängig und händisch erstellt und verifiziert werden. In einem weiteren Schritt soll anschließend dieselbe EPD mithilfe des erstellten Software-Tools berechnet werden, um die korrekte Funktionsfähigkeit des Software-Tools zu testen.

Die Informationen und Daten der EPD dienen zudem der Kommunikation des EPD Eigentümers (elka Holzwerke GmbH) mit Geschäftspartnern (business-to-business) und Verbrauchern (business-to-consumer). Zusätzlich können die Ergebnisse genutzt werden, um Umweltinformationen über den Herstellungsprozess firmenintern zu dokumentieren und zu kommunizieren, sowie für zukünftige Entscheidungen in der Produktentwicklung und -optimierung zu nutzen.

3 Untersuchungsrahmen der Studie

Die vorliegende Studie umfasst die Berechnung und Darstellung einer Produktökobilanz für den Lebenszyklusabschnitt "von der Wiege bis zum Werkstor mit den Modulen C1-C4 und Modul D (A1-A3, C und D)", sowie die Dokumentation der zugrunde gelegten Methodik und der verwendeten Daten.

3.1 Deklarierte Einheit

Die deklarierte Einheit entspricht der Bereitstellung von 1 m³ verpackter 3-Schicht-Naturholzplatte (Vita Naturholzplatte) am Werkstor des Sägewerks. Die Massivholzplatte wird sowohl aus Fichten-, als auch aus Douglasienholz hergestellt. Die deklarierte Einheit stellt einen massengewichteten Durchschnitt dar.

Tabelle 1 zeigt die Zusammensetzung der deklarierten Einheit. Der Holzanteil im Produkt hat im Zustand der Auslieferung eine mittlere Feuchte von $u = 10\%$, dies entspricht einem Wasseranteil im Produkt von 8,7 %. Weitere Bestandteile des Produktes sind Melamin-Harnstoff-Formaldehydharz (MUF), Polyvinylacetat (PVAc) sowie Holzkitt auf Basis von Phenol-Formaldehydharz (PF) zur Ausbesserung von Oberflächenfehlern.

Tabelle 1: Zusammensetzung des deklarierten Produktes (1 m³ 3-Schicht-Naturholzplatte)

Inhaltsstoffe der deklarierten Einheit	Masse [kg]	Anteil [%]
Holz, Fichte (darrtrocken)	400,5	84,3
Holz, Douglasie (darrtrocken)	10,9	2,3
Wasser	41,1	8,7
Polyvinylacetat (PVAc)	3,4	0,7
Melamin-Harnstoff-Formaldehyd-harz (MUF)	18,6	3,9
Phenol-Formaldehyd-harz (PF)	0,6	0,1
Gesamtmasse	475,1	100
Davon biogener Kohlenstoff	206,2	43,4

3 Umfang der Studie

Die Massivholzplatte wird am Werkstor verpackt. Tabelle 2 listet die verwendeten Verpackungsmaterialien je deklarierte Einheit auf.

*Tabelle 2: Masse und relativer Anteil der Verpackungsmaterialien pro deklarierte Einheit
Für Paletten wurde eine Feuchte von 20 % angenommen*

Verpackungsmaterial	Masse [kg]	Anteil [%]
Karton	0,58	50,1 %
Folie (PE, Polyethylen)	0,39	33,2 %
Plastikband (PET, Polyurethan)	0,14	12,3 %
Holzpalette (Europalette)	0,05	4,6 %
Gewebeband	0,0001	0,01 %
Gesamtmasse	1,17	100 %
Davon biogener Kohlenstoff	0,31	27 %

3.2 Produktbeschreibung

Die Massivholzplatte Vita ist eine 3-Schicht-Naturholzplatte und wird aus Douglasien- oder Fichtenholz gefertigt. Sie besteht aus zwei parallel in Faserrichtung angeordneten Decklagen und einer zur Faserrichtung der Decklagen um 90° versetzten Mittellage. Die Deck- und Mittellagen sind aus getrocknetem und gehobeltem Schnittholz aufgebaut (Abbildung 1).



Abbildung 1: Vita 3-Schicht-Naturholzplatte (Quelle: www.elka-holzwerke.de)

Anwendungsbereich

Durch einerseits den Naturholzcharakter der Oberflächen zusammen mit den Emissionsanforderungen einer Möbelplatte und andererseits den statistischen Werten einer Bauplatte (bauaufsichtliche Zulassung) bietet die Naturholzplatte vita vielfältige Einsatzmöglichkeiten:

- Hochwertiger Möbel- und Innenausbau
- Konstruktiver Holzbau, Gewerbebau, Renovierungen
- Verkleidungen aller Art
- Büro- und Geschäftseinrichtungen
- Laden- und Messebau
- Verpackungen
- Dächer und Unterdachverkleidung

Die Naturholzplatte wird unter Einhaltung der Anforderungen der EN 13353 hergestellt und im Rahmen der CE-Kennzeichnung nach EN 13986 werksüberwacht. Sie ist geeignet zur Verwendung im Außenklima bei Schutz gegen direkte Bewitterung (Feuchtbereich), wie in Nutzungsklasse 2 nach ENV 1995-1:1993 und der biologischen Gefährdungsklasse 2 nach EN 335-2:1992 definiert (z.B. hinter der Außenbekleidung oder unter dem Dach); sie können aber auch einer kurzzeitigen Bewitterung (z.B. während der Bauphase) ausgesetzt werden.

3.3 Systemgrenze

Nach den Vorgaben der DIN EN 15804+A2 handelt es sich bei dieser Produktökobilanz um einen für Umweltproduktdeklarationen zulässigen Datensatz von der Wiege bis zum Werkstor mit den Modulen C1-C4 und Modul D.

Es werden die folgenden in DIN EN 15804+A2 definierten Informationsmodule betrachtet:

- A1 Bereitstellung der Rohstoffe
- A2 Transport der Rohstoffe zum Werkstor
- A3 Herstellung
- C1 Abriss / Rückbau
- C2 Transport zum Entsorger
- C3 Abfallbewirtschaftung
- D Wiederverwendungs-, Rückgewinnungs- und Recyclingpotenziale

Innerhalb der definierten Systemgrenze wird somit die Bereitstellung der Rohstoffe in Modul A1 (Holzrohstoffe, sowie Zusatzstoffe: Klebstoffe und andere Inhaltsstoffe), die Transporte der Rohstoffe zum Werk (Modul A2) sowie die Herstellung am Produktionsstandort modelliert (Modul A3). Modul A3 umfasst die gesamte Produktionslinie, inklusive der Bereitstellung von Prozessenergie (Wärme, Strom, Kraftstoffe) und der Herstellung von Hilfs- und Betriebsstoffen ab. Der weitere Transport des verpackten Produkts zur Baustelle, der Einbau ins Gebäude, die gesamte Nutzungsphase sowie der Aufwand für den Abriss/Rückbau (Module A4, A5, B1-B5) sind nicht Bestandteil dieser Studie. Da die Herstellung der Verpackung im Modul A3 berücksichtigt wird, wird der Ausgang der Verpackung aus dem System in Modul A5 als technische Szenarioinformation beschrieben. Der Abbruch bzw. Rückbau (Modul C1) sowie der Transport des Abbruchs zum Entsorger/Verwerter (Modul C2), die Abfallbewirtschaftung (Modul C3) sowie Lasten und Gutschriften aus der Endnutzung des Produktes und der Verpackung (Modul D) sind in der Studie berücksichtigt, siehe Abbildung 2. Modul C4 wurde nicht berücksichtigt, da sowohl bei der Entsorgung des Produkts als auch der Verpackung von einer thermischen oder stofflichen Verwertung ausgegangen wird und eine Deponierung bzw. Entsorgung nicht als Szenario in Betracht kommt.

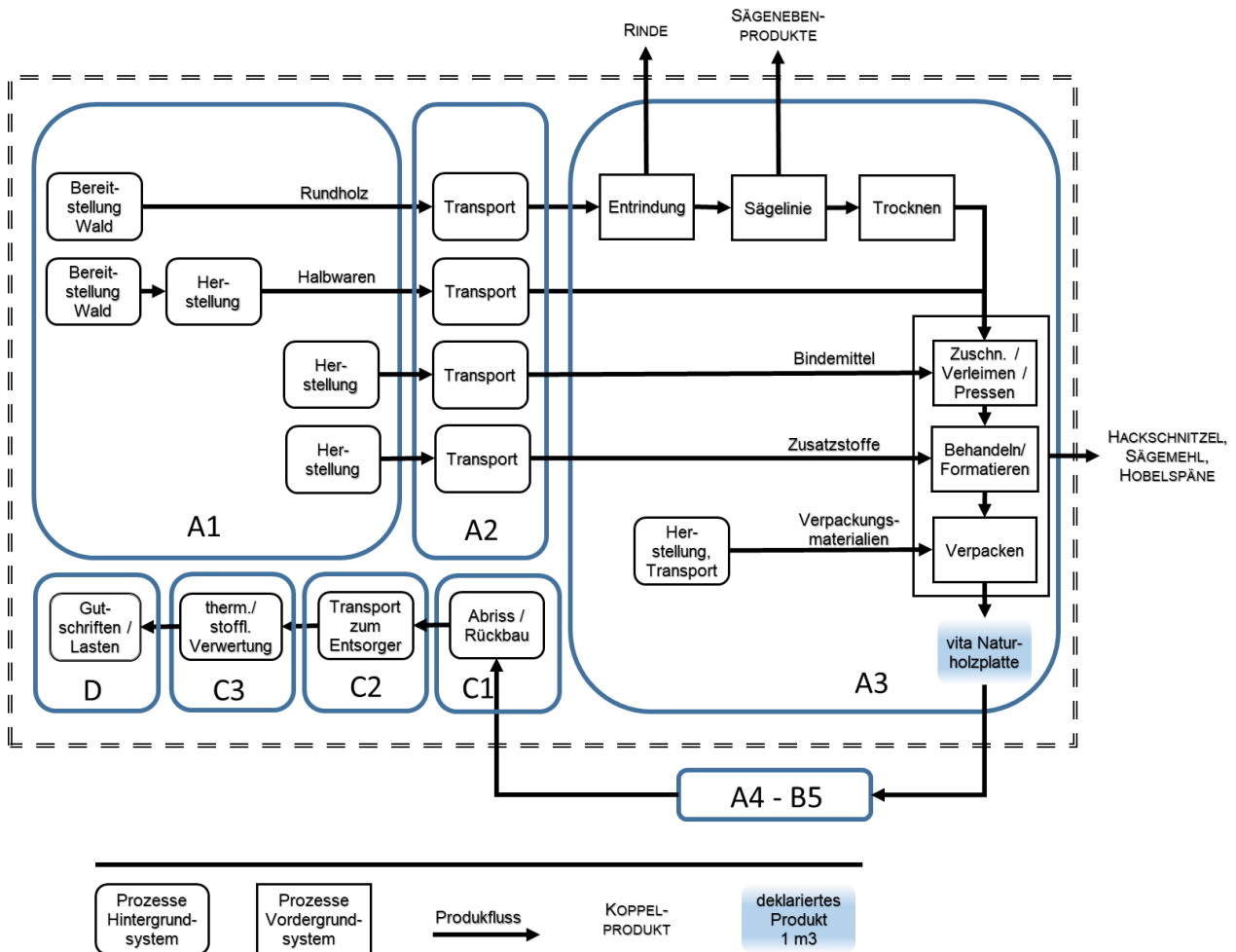


Abbildung 2: Vereinfachte Darstellung der Stoffströme und Hintergrund- sowie Vordergrundprozesse innerhalb der Systemgrenze der Produktökobilanz unter Zuordnung der berücksichtigten Module

Die einzelnen Module werden in den nachfolgenden Kapiteln detaillierter beschrieben.

3.3.1 Modul A1: Bereitstellung der Rohstoffe, Zusatzstoffe und Halbwaren

Das Informationsmodul A1 umfasst die Bereitstellung / Erzeugung aller Rohstoffe, Zusatzstoffe (z.B. Klebstoffe) und Halbwaren, welche in der deklarierten Einheit enthalten sind.

3.3.1.1 Holzrohstoffe

Für die Bereitstellung des Rohstoffes Rundholz in Form von Stammholz mit Rinde bis Waldstraße werden deutschlandspezifische Datensätze der auf Ecoinvent 3.6 basierenden EuGeos' 15804_A2-IA Datenbank verwendet (EUGEOS LIMITED 2021). Die Entrindung findet erst später im Sägewerk statt. Für Fichte ist ein spezifischer Datensatz vorhanden, für Douglasie wurde ein unspezifischer Datensatz aus dem mengengewichteten Mittelwert der verfügbaren spezifischen Datensätze für Nadelholz (Fichte und Kiefer) berechnet. Die Mengengewichtung erfolgte entsprechend dem deutschlandweiten Stammholzeinschlags des Statistischen Bundesamtes für das Jahr 2019 (DESTATIS 2020).

Tabelle 3: Deutschlandspezifischen Hintergrunddatensätze der EuGeos' 15804_A2-IA Datenbank für die Bereitstellung der Holzrohstoffe

¹ Mengengewichtung nach dem deutschlandweiten Stammholzeinschlags des Statistischen Bundesamtes für das Jahr 2019 (DESTATIS 2020)

3 Umfang der Studie

Baumart	Hintergrunddatensätze der EuGeos' 15804_A2-IA Datenbank
Fichte	softwood forestry, spruce, sustainable forest management, DE
Douglasie	87,99 ¹ % softwood forestry, spruce, sustainable forest management, DE 12,01 ¹ % softwood forestry, pine, sustainable forest management, DE

Der im Rundholz gespeicherte Kohlenstoff wird ermittelt über die Raumdichte des waldfrischen Rundholzes und den Kohlenstoffanteil von 50% an der darrtrockenen Holzmasse (IPCC 2013). Das entsprechende Äquivalent an gespeichertem und der Atmosphäre entzogenen CO₂ wird als negativer Wert in Modul 1 bilanziert, siehe auch Kapitel 3.3.10 Seite 21.

3.3.1.2 Holzhalbwaren

Zur Produktion der Naturholzplatte wird getrocknetes Schnittholz eingesetzt. Davon stammen 55 % aus der Herstellung im eigenen Sägewerk und 45 % werden aus Schweden zugekauft. Zusätzlich werden ca. 15 % der mit PVAc verleimten Mittellagen von einem deutschen und einem rumänischen Produzenten zugekauft.

3.3.1.3 Zusatzstoffe

Die Bereitstellung der in der deklarierten Einheit enthaltenen Zusatzstoffe Polyvinylacetat (PVAc), Melamin-Harnstoff-Formaldehyd-harz (MUF) und Holzkitt auf Basis v. Phenol-Formaldehyd-harz (PF) wurden entsprechend ihrer chemischen Zusammensetzung und sofern Daten verfügbar waren auch inklusive des Herstellungsverfahrens modelliert (Tabelle 4)

3 Umfang der Studie

Tabelle 4: Modellierung der Zusatzstoffe in der Naturholzplatte

MUF=Melamin Urea Formaldehyde; PF = Phenol Formaldehyde; PVAc = Polyvinylacetate

Zusatzstoff	Modellierung	Datenherkunft / Literaturangabe
MUF	Zusammensetzung: <ul style="list-style-type: none"> - 23 % Melamin - 42% Urea - 33% Formaldehyde - 2 % Ammoniumsulfat (Härter) 	Berechnet nach RÜTER & DIEDERICHS 2012
	Aufwendungen zur Herstellung pro kg MUF: <ul style="list-style-type: none"> - 0,013 kWh Strommix Europa - 1,349 MJ Wärme aus Erdgas Europa - 1,445 MJ Wärmemix nicht Erdgas - Bereitstellung Gebäude: 4E-10 Stück Chemiefabriken 	Analog EuGeos' 15804_A2-IA Prozess „melamine formaldehyde resin production melamine formaldehyde resin Cutoff, U RER“, basierend auf ALTHAUS et al. (2007)
PF	Zusammensetzung: <ul style="list-style-type: none"> - 64 % Phenol - 36% Formaldehyd 	Berechnet nach RÜTER & DIEDERICHS 2012
	Aufwendungen zur Herstellung pro kg PF: <ul style="list-style-type: none"> - 0,416 kWh Strommix Europa - Bereitstellung Gebäude: 4E-10 Stück Chemiefabriken 	Analog EuGeos' 15804_A2-IA Prozess „phenolic resin production phenolic resin Cutoff, U RER“ ALTHAUS et al. (2007)
PVAc	Zusammensetzung: <ul style="list-style-type: none"> - 0,1 % Ammoniumsulfat - 0,1 % Natriumbicarbonat - 45,7 % Wasser Europa - 50 % Vinylacetat - 0,1 % Natriumdodecylsulfate, modelliert über Alkylsulfat (C12-14) - 4 % Polyvinylalcohol (nicht berücksichtigt, aufgrund fehlender Daten) 	Modelliert basierend auf PIZZI (1989)
	Aufwendungen zur Herstellung pro kg PVAc wurde aufgrund fehlender Daten vernachlässigt	

3.3.2 Modul A2: Transport der Rohstoffe und Halbwaren

Das Modul A2 beinhaltet alle Transporte der in Modul A1 erfassten Rohstoffe oder Halbwaren, die sich in der deklarierten Einheit wiederfinden, zum Produktionsstandort. Die Transportaufwendungen innerhalb der Bereitstellung der Rohstoffe, wie beispielsweise der Transport des Rundholzes vom Ort des Einschlags bis zur Waldstraße, werden in Modul A1 erfasst. Transporte von Hilfsstoffen und Verpackungen werden dem Modul A3 zugerechnet.

3.3.2.1 Transport der Holzrohstoffe

Der Transport des Rundholzes mit Rinde mit einem Rundholz-LKW (EURO 6). Als Hintergrunddatensatz wird der EuGeos' 15804_A2-IA Datensatz „transport, freight, lorry >32 metric ton, EURO6, RER“ verwendet, welcher spezifiziert ist auf LKWs mit einer Größenklasse > 32 Tonnen und einer mittleren Nutzlast von 15,96 t

3 Umfang der Studie

Da sich die quantitative Referenz dieser Hintergrunddatensätze auf tkm bezieht, muss das transportierte Holzvolumen in Masse umgerechnet werden. Bei frischem Rundholz wurde von einer Holzfeuchte von 70 % ausgegangen (SCHWEINLE & THOROE 2001, WERNER 2017). Die hierzu verwendeten Dichteangaben sind Tabelle 14, Kap. 5.3.1 zu entnehmen.

Da die Entrindung erst im Sägewerk stattfinden kann, wird der Transport der Rindenmasse bei der Transportmassenberechnung berücksichtigt. Es wird hier näherungsweise davon ausgegangen, dass die Dichte von Rinde der Dichte der entsprechenden Rundholzart entspricht.

Die mittlere Transportdistanz beträgt laut Hersteller 55 km.

3.3.2.2 Transport von Zusatzstoffen

Da für den Transport von Zusatzstoffen im Produkt keine Daten verfügbar sind und die Massen im Vergleich zu den Holzrohstoffen sehr gering sind wurde in Anlehnung an RÜTER & DIEDERICHS (2012), eine pauschale Transportdistanz von 50 km bis zum Werk veranschlagt. Als Transportmittel wurde der europaspezifische EuGeos' 15804_A2-IA Datensatz für Straßentransport „market for transport, freight, lorry, unspecified RER“ verwendet.

3.3.2.3 Transport von Holzhalbwaren

In Tabelle 5 sind die für die Modellierung verwendeten Transportmittel, Transportdistanzen und berechneten Gewichte der transportierten Holzhalbwaren dargestellt.

Tabelle 5: Transportdistanz, -modi und -gewicht der zugekauften Holzhalbwaren

Zugekaufte Halbwaren	Transportdistanz [km]	Transportmittel	Transportgewicht je deklarierte Einheit [kg]
Schnittholz, getrocknet (u =10%)	1662	LKW un spez.	323
Mittellage (u= 10%)	1142	LKW un spez.	39

Das zugekaufte Schnittholz wird laut Hersteller mit dem LKW von einem Hersteller aus Schweden geliefert. Die zugekauften Mittellagen stammen von zwei unterschiedlichen Herstellern, einer aus Deutschland, einer aus Rumänien. Die Transportdistanz wurde auf Basis der Entfernung des Herstellungsortes zum Sägewerk geschätzt, indem über den Navigationsdienst Google Maps (www.google.de/maps) die schnellste Straßenverbindung berechnet wurde. Die Transportdistanz der zugekauften Mittellage stellt einen gewichteten Mittelwert der beiden Hersteller dar.

Die Umrechnung von Volumen in Masse erfolgt entsprechend der Dichteangaben in Tabelle 16, Kap. 5.3.1., sowie mit Formel 5. Das Volumen des Klebstoffes wurde vernachlässigt. Der Massenanteil des Klebstoffs in der zugekauften Mittellage wurde der berechneten Holzmasse aufgeschlagen.

3.3.3 Modul A3: Herstellung des Produkts sowie Entsorgungsszenarien der Produktionsabfälle

Modul A3 umfasst die gesamte Herstellung der deklarierten Einheit im Werk, inklusiver aller dafür verwendeten Hilfsmittel und Kraftmittel sowie auch die Entsorgung von Produktionsabfällen.

3 Umfang der Studie

In Abbildung 3 sind die einzelnen Prozessschritte der Herstellung der Naturholzplatte, der Anfall an Koppelprodukten und der Einsatz an Halbwaren und Zusatzstoffen im Werk schematisch dargestellt.

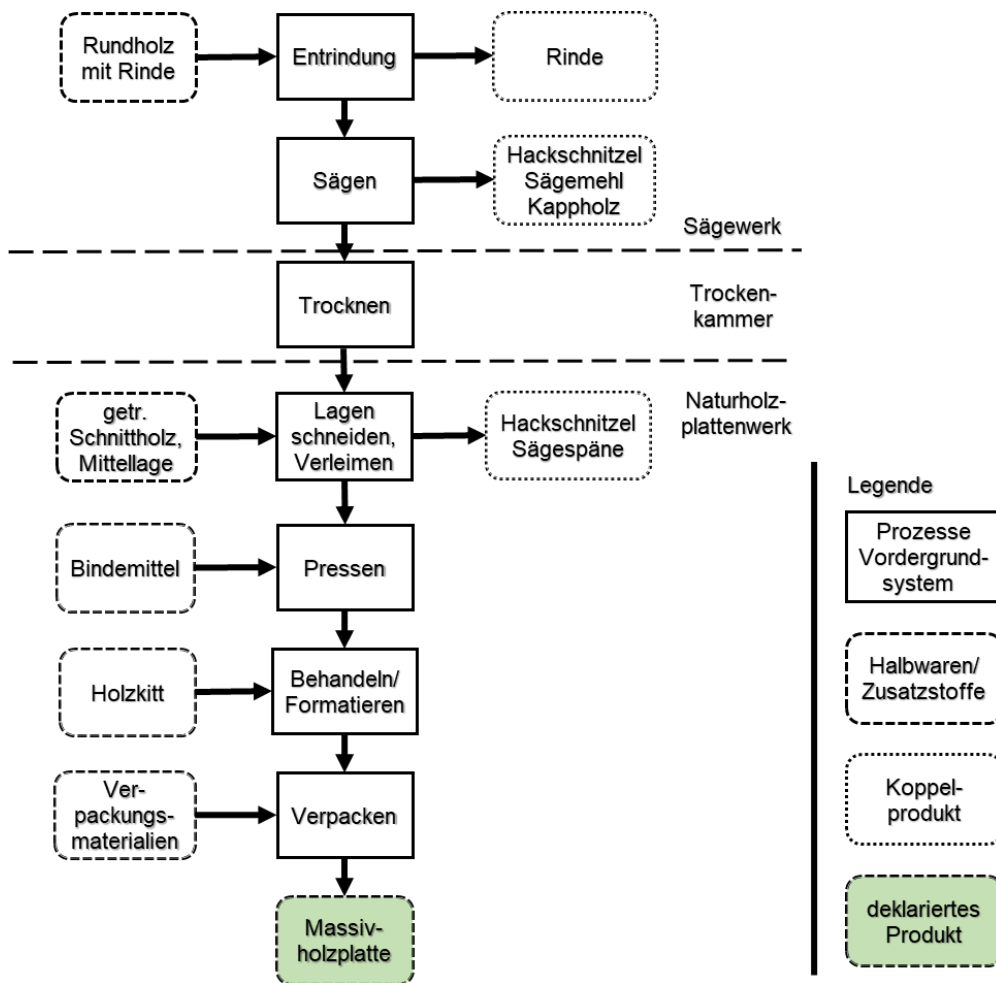


Abbildung 3: Schematische Darstellung der Herstellungsprozesse der Naturholzplatte im Werk

Die Produktionslinie ist auf dem Sägewerksgeländer räumlich untergliedert in das Sägewerk mit der Sägelinie, die Trockenkammer und das Naturholzplattenwerk.

3.3.3.1 Sägewerk

Im Sägewerk wird das zugekaufte Rundholz zunächst entrindet und sortiert. Die Rinde als Nebenprodukt wird als Rindenmulch oder als Substrat für Heizkraftwerke verkauft. Das entrindete Rundholz durchläuft anschließend die Sägelinie, es wird gesägt, besäumt und gekappt. Die Schwarten werden zu Hackschnitzeln verarbeitet. Es entstehen Sägenebenprodukte: in Form von Hackschnitzeln, Sägemehl und Kappstücken. Diese werden entweder verkauft oder anderen Systemen zugeführt (angegliedertes Spanplattenwerk). Die Zuordnung der Umweltwirkungen auf Produkte und Nebenprodukte geschieht über ökonomische Allokation (siehe Kapitel 3.3.9)

Als Inputs im Sägewerk wurden der Stromverbrauch für Maschinen und Beleuchtung, der Kraftstoffverbrauch für interne Transporte mittels dieselbetriebener Radlader und Gabelstapler, der Verbrauch an Betriebs- und Hilfsstoffen (z. B. Sägeblätter, Wasser oder Schmierstoff) und die Bereitstellung der Infrastruktur (über generische Daten) berücksichtigt. Der Abfall als Output-Fluss und die Behandlung/Entsorgung des Abfalls wird hier ebenfalls betrachtet. Alle im Jahr 2019 angefallenen

3 Umfang der Studie

Inputs und Outputs wurden, sofern keine direkte Zuteilung durch den Hersteller erfolgte entsprechend des Produktionsvolumens auf die verschiedenen Holzprodukte angerechnet.

3.3.3.2 Trockenkammer

In der Trockenkammer wird das Schnittholz auf eine Holzfeuchte (u) von 10% getrocknet.

Der Großteil der Umweltauswirkungen bei der Trocknung ergibt sich aus dem Energieeinsatz in Form von Strom und Wärme. Zum Einsatz kommt eine Altholzverbrennung und ein Heizölkessel, welcher nur benutzt wird, wenn die Wärme aus dem Altholzkessel nicht ausreichend ist.

Zusätzlich werden bei der Trocknung von Holz mit dem Wasserdampf auch organischen Verbindungen in die Luft emittiert. Hierzu wurden Daten aus WAGNER et al. 2009 für Nadelholz verwendet siehe Tabelle 6.

Tabelle 6: Direkte Emissionen bei der Holz Trocknung (Wagner et al 2009)

Organische Verbindungen	Emission [kg / m ³ Holz Input]
Volatile Organic Compounds (VOC)	0,167
Formaldehyd	0,002
Acetaldehyd	0,002
Methanol	0,022

Im Bezugsjahr 2019 wurden verschiedene Holzprodukte mit unterschiedlichen Zielholzfeuchten in der Trockenkammer produziert. Die Aufteilung der Emissionen und Aufwendungen auf die unterschiedlichen Sortimente erfolgt über eine physikalische Allokation nach Masse des verdampften Wassers in den jeweiligen Produkten.

Zur Berechnung der verdampften Wassermenge siehe Formel 1, Kapitel 4.2, Seite 24.

3.3.3.3 Naturholzplattenwerk

An diesem Punkt der Produktionslinie wird zusätzlich zum eigens hergestellten getrockneten Schnittholz auch zugekauft getrocknetes Schnittholz eingesetzt. Die Bereitstellung wurde in diesem Fall bereits in Modul A1 erfasst.

Das getrocknete Schnittholz wird entweder zur Mittellage oder zu Decklagen geschnitten und plattenförmig mit Weißleim (Polyvinylacetat, PVAc) verleimt. Anschließend werden die Decklagen mit Melamin-Harnstoff-Formaldehydharz (MUF) mit der Mittellage verpresst. Die so erzeugten Platten werden geschliffen bzw. gehobelt, formatiert und abgebunden. Fehlstellen der Oberfläche werden mit Holzkitt auf Basis von Phenol-Formaldehyd-harz (PF) ausgebessert. Die Bereitstellung dieser Zusatzstoffe wurde bereits in Modul 1 berücksichtigt (Kapitel 3.3.1.3). Als direkte Emissionen bei der Verklebung wurden entsprechend RÜTER & DIEDERICHS (2012) für MUF und PF jeweils 0,0015 kg Formaldehyd pro kg Klebstoff berücksichtigt.

Die für die Verarbeitung benötigte Wärme wurde über einen Altholzverbrennungskessel erzeugt. Bei Kapazitätsengpässen wurde zusätzlich Wärme über eine Heizölheizung erzeugt.

Produktionsrückstände von Zusatzstoffen wurden aufgrund fehlender Daten vernachlässigt, sind jedoch auch als gering einzustufen.

3.3.3.4 Transport von Betriebsmitteln, Hilfsmitteln und Kraftstoffen

Der Transport von Betriebsmitteln, Hilfsmitteln und Kraftstoffen zum Sägewerk wird in Modul A3 bilanziert. Da keine spezifizierten Angaben von Seiten des Herstellers verfügbar waren, wurden prioritär „market“ Hintergrunddatensätze für verwendet, welche bereits generische Transportaufwendungen enthalten.

Falls keine „market“ Datensätze verfügbar waren, wurde für die Transportentfernung pauschal eine Distanz von 50 km angenommen. Als Transportmittel wurde in diesem Fall der europaspezifische EuGeos' 15804_A2-IA Datensatz für Straßentransport „market for transport, freight, lorry, unspecified RER“ verwendet.

3.3.3.5 Verpackung

Die Vita Naturholzplatte wird nach Fertigstellung für den Transport verpackt. Die Herstellung der Verpackung wird in Modul A3 bilanziert. Die Zusammensetzung der durchschnittlichen Verpackungsmaterialien bezogen auf die deklarierte Einheit wurde bereits in Kapitel 3.1, Tabelle 2 Seite 9 dargestellt. Die Angaben stammen vom Hersteller.

Für die Verpackungsmaterialien Folie (PE, Polyethylen), Gewebeband, Holzpalette (Europalette) und Karton wurden direkt das Material repräsentierende EuGeos' 15804_A2-IA Hintergrunddaten verwendet. Für das Plastikband (PET, Polyurethan) wurde die Herstellung der PET Granulate und Extrusion als formgebendes Verfahren modelliert.

Da für den Transport aufgrund unterschiedlicher und komplexer Liefersysteme vom Hersteller keine spezifischen Angaben gemacht werden konnten, wurden die generischen Transportdaten aus den entsprechenden EuGeos' 15804_A2-IA Hintergrundprozessen verwendet.

3.3.4 Modul A5: Ausgang der Verpackung aus dem System

Das Modul A5 wurde nicht vollständig bilanziert und ist nicht Teil dieser Ökobilanz. Da aber im Modul A3 die Verpackung mit bilanziert wurde, muss nach DIN EN 15804+A2 in Form einer technischen Szenarioinformationen erwähnt werden, dass Modul A5 den Ausgang der Verpackungsmaterialien zur energetischen Verwertung oder Materialien zur Wiederverwertung aus dem System beinhaltet.

Zusammensetzung und Menge des Verpackungsmaterials siehe Kapitel 3.1 Tabelle 2, Seite 9.

Die Aufwendungen und Gutschriften für die energetische Verwertung oder Wiederverwendung werden in Modul D bilanziert.

3.3.5 Modul C1: Abbruch / Rückbau

Nach der Nutzungsphase wird das entsprechende Gebäude maschinell abgerissen oder rückgebaut. Das Bauholz wird anschließend von anderen Materialien getrennt und nach Altholzkategorie in spezielle Container sortiert. Massivholzplatten gehören der Altholz-Kategorie II an.

3 Umfang der Studie

Die Modellierung des Abbruchs erfolgt anhand aktuell erfasster Abbruchdaten. Die Modellierung des Abbruchs erfolgt anhand aktuell erfasster Abbruchdaten von IVANICA et al. (2022) im laufenden europäischen Verbundprojekt „InFutUReWood“. Bei fünf Wohngebäuden wurde der Abbruch detailliert dokumentiert und sämtliche Aufwendungen auf die unterschiedlichen Baumaterialien in Abhängigkeit des Ortes ihrer Verbauung aufgeteilt. IVANICA et al. (2022) definiert hierfür fünf verschiedenen Zonen (z.B. Dach, Außenwände oberirdisch/unterirdisch, etc.) in denen der Abrissaufwand unterschiedlich bewertet wird. Eine wissenschaftliche Veröffentlichung dieser Analyse, inklusive der hier genutzten Daten ist derzeit von IVANICA et al. in Bearbeitung und für Herbst 2021 geplant.

Die relevanten Zonen für verleimte Massivholzprodukte, wie Massivholzplatten wurden ermittelt, indem die zu Baubereichen zugeordnete Bauholzprodukte nach MANTAU et al. (2013) mengengewichtet auf die Zonen nach IVANICA et al. (2022) aufgeteilt wurden. Anschließend wurden die Aufwendungen in den Zonen aufsummiert. In Tabelle 7 sind die dadurch ermittelten Aufwände pro m³ verleimtes Massivholzprodukt aufgelistet.

Tabelle 7: Aufwendungen für den Abbruch (Modul C1) für 1 m³ Massivholzplatte. Berechnet nach IVANICA et al. (2022) und MANTAU et al. (2013)

Abbruchaufwendungen	Menge	Einheit
Maschinenarbeitsstunden	0,11	h / m ³
Wasserverbrauch	143,12	kg / m ³
Containernutzung	0,30	h / m ³
Abwasserbehandlung	114,50	kg / m ³

3.3.6 Modul C2: Transport zum Entsorger/Recyclinghof

Für die Transportentfernungen von der Baustelle zum Entsorger wurde entsprechend RÜTER & DIEDERICHS (2012) pauschal von einer Distanz von 20 km ausgegangen. Da die Transportmittel unbekannt sind wurde ein generischer Datensatz der EuGeos' 15804_A2-IA Datenbank für Straßentransport verwendet: „market for transport, freight, lorry, unspecified“.

Die transportierte Masse ergibt sich aus der Rohdichte der deklarierten Einheit, siehe Tabelle 1 Seite 8.

3.3.7 Modul C3: Abfallwirtschaft und Recycling

Laut DIN EN 15804+A2 können unterschiedliche Szenarien betrachtet werden. Verleimte Massivholzprodukte werden nach dem Rückbau bzw. Abbruch laut der 2002 in Kraft getretenen Altholzverordnung der Altholz Kategorie II zugeordnet. Für diese Kategorie bestehen zwei Verwertungsoptionen in Deutschland. Entweder eine energetische Nutzung des Altholzes in einer Anlage mit mehr als 1 MW Feuerungswärmeleistung oder in kleineren Anlagen der Holzverarbeitenden Industrie, oder einer stofflichen Nutzung. Die stoffliche Altholznutzung findet momentan in Deutschland nur zur Spanplattenherstellung statt.

Bei der energetischen wie auch der stofflichen Nutzung werden die Umweltwirkungen der Abfallaufbereitung zum Sekundärbrennstoff, in diesem Fall Sortieren und Zerkleinern von Altholz, im Modul C3 bilanziert, der Materialfluss wird als Material zur Energierückgewinnung in C3 deklariert. Das Altholz inkl. des biogenen Kohlenstoffs verlässt an dieser Stelle das System. Lasten und Gutschriften

durch den Verbrennungsprozess werden bei der energetischen Nutzung bzw. durch Substitutionen von Primärrohstoffen bei der stofflichen Verwendung in Modul D deklariert.

3.3.8 Modul D: Gutschriften und Lasten außerhalb der Systemgrenze

Das Modul D beinhaltet die Gutschriften bzw. Lasten welche durch die stoffliche oder energetische Verwertung der Verpackung und des Produkts am Ende des Lebenszyklus anfallen.

3.3.8.1 Verwertung der Verpackung

Die Verpackung verlässt nach DIN EN 15804+A2 in Modul A5 das System (technische Szenarioinformation), die Gutschriften und Lasten aus der möglichen Verwertung der Verpackung werden hingegen in Modul D betrachtet.

Tabelle 8 listet alle Verwertungsszenarien der verwendeten Verpackungsmaterialien auf. Bis auf Holzpaletten, welche zu 100% wiederverwertet werden, wird bei allen anderen Verpackungsmaterialien von einer energetischen Verwertung in einer Müllverbrennungsanlage (MVA) ausgegangen. Da in Deutschland der durchschnittliche R1-Wert von MVAs bei 0,81 (DEHOUST & ALWAST 2019) und damit über dem Wert von 0,6 als Mindesteffizienz für Anlagen zur Energierückgewinnung liegt wird die Behandlung in einer MVA als Energierückgewinnung nach DIN EN 15804+A2 eingestuft.

*Tabelle 8: Heizwerte und Verwertungsszenarien der unterschiedlichen Verpackungsmaterialien
Für Paletten wurde eine Feuchte von 20 % angenommen; MVA = Müllverbrennungsanlage*

Verpackungsmaterial	Heizwert [MJ/kg]	Verwertungsszenario
Karton	15,92	Energierückgewinnung in MVA 2,0 MJ _{el.} /kg; 3,99 MJ _{therm.} /kg
Folie (PE, Polyethylen)	36,03	Energierückgewinnung in MVA 4,71 MJ _{el.} /kg; 9,11 MJ _{therm.} /kg
Plastikband (PET, Polyurethan)	22,95	Energierückgewinnung in MVA 2,97 MJ _{el.} /kg; 5,81 MJ _{therm.} /kg
Holzpalette (Europalette)	13,99	100 % Wiederverwendung
Gewebeband	10,03	Energierückgewinnung in MVA 0,92 MJ _{el.} /kg; 2,12 MJ _{therm.} /kg

3.3.8.2 Verwertung des Holzproduktes

Im Falle der Verwertung des Holzproduktes werden die zwei Szenarien thermische und stoffliche Verwertung des Altholzes betrachtet.

Da in dieser Studie Altholz im Herstellungsprozess zur Wärmeerzeugung eingesetzt wird, erreicht nur ein Teil nach DIN EN 15804+A2 als sogenannter Nettofluss das Modul D. Zur Berechnung dieses Nettoflusses in Modul D werden nach DIN EN 15804+A2 zunächst die im System zur Wärmeerzeugung genutzten Altholzflüsse von den am Ende des Lebensweges an der Grenze zwischen Modul C3 und D auftretenden Altholzflüssen subtrahiert. Die Flüsse müssen dabei funktional äquivalent sein. Diese Vorgehensweise beruht auf der Annahme, dass ein Teil des aufbereiteten Altholzes am Ende des

Lebenszyklus theoretisch wieder in der Produktherstellung zur Wärmeerzeugung eingesetzt werden könnte. In dieser Studie erreichen somit nur 82,6 % des Altholzes Modul D als Netto-Fluss.

Der Nettofluss an Altholz wird im thermischen Verwertungsszenario einem Biomasseheizkraftwerk mit einer Feuerungsleistung von mehr als 1 MW zugeführt. Die Verbrennung und die damit verbundenen Emissionen werden dem Modul D zugeordnet. Gleichzeitig werden aber für die bei der Verbrennung erzeugte Wärme und den erzeugten Strom Gutschriften getätigt. Bei der Modellierung des Biomasseheizkraftwerkes wurde, entsprechend des verwendeten Hintergrunddatensatzes, von einer elektrischen Effizienz von 15 %, einer thermischen Effizienz von 45 % und einer Gesamteffizienz von 60% ausgegangen.

Es wird angenommen, dass die erzeugte Wärme Wärmeerzeugung aus Erdgas substituiert und der erzeugte Strom deutschen Strommix substituiert.

Im stofflichen Verwertungsszenario wird angenommen, dass das Altholz einen durchschnittlichen Mix an Hackschnitzeln ersetzt, welcher in der Spanplattenherstellung eingesetzt wird.

3.3.9 Allokationsverfahren und Systemraumerweiterungen

Eine Allokation muss nach DIN EN 15804+A2 soweit wie möglich vermieden werden. Hierzu sollen die zuzuordnenden Prozesse in Teilprozessen zerlegt werden und diese Teilprozesse den (Co-) Produkten zugeordnet werden. Ist der Prozess nicht in entsprechende Teilprozesse zerlegbar, werden Systemraumerweiterungen priorisiert, die zusätzliche Funktionen in das System integrieren, welche sich auf die Nebenprodukte beziehen. Ist auch dies nicht möglich, sollen die Inputs und Outputs eines Systems den verschiedenen Produkten über Allokationen zugeordnet werden.

Folgt man den Vorgaben des ILCD Handbuchs, ist eine Allokation nur dann angebracht, falls die Modelle für eine Systemraumerweiterung zu komplex würden. Da dies in Anbetracht der vielen Verwertungsmöglichkeiten bzw. der unterschiedlichen Bereitstellungswege industrieller Restholzsortimente der Fall ist, werden Allokationen der Systemraumerweiterung vorgezogen. Dies steht im Einklang mit dem ILCD-Handbuch und der DIN EN 15804+A2. Da dieser Umgang mit Co-Produkten bereits gängige Praxis bei zahlreichen vom IBU veröffentlichten EPDs von Vollholzprodukten, und auch bei RÜTER & DIEDERICH (2012) so verfahren wurde, erhöht sich durch dieses Allokationsverfahren die Vergleichbarkeit und Konformität der EPDs.

Physikalische Allokation

Allokationen nach physikalischen Eigenschaften wurden durchgeführt, wenn der Unterschied der durch die Produkte generierten Betriebseinkommen gering ist und zwischen dem Input und dem Output eines Prozesses ein physikalischer Zusammenhang bestand.

Darunter fallen alle Holzrohstoffinputs im Sägewerk, aus denen unterschiedliche Holzprodukte im Output entsteht. Alle Aufwendungen im Sägewerk, der Anfall an Sägenebenprodukten und Abfällen; werden nach Einschnittvolumen auf die unterschiedlichen Produkte (Schnittholz für die Weiterverarbeitung zur Naturholzplatte und Schnittholz (frisch, getrocknet) für den direkten Verkauf) aufgeteilt. Die Aufwendungen der Holz Trocknung werden ebenfalls physikalisch, nach der Masse des verdampften Wassers auf die unterschiedlichen Produkte, das heißt auf Produkte mit unterschiedlicher Endfeuchte, aufgeteilt.

Ökonomische Allokation

Da sich die Beiträge zum Betriebseinkommen zwischen den Sägenebenprodukten im Sägewerk und dem Schnittholz und zwischen den Nebenprodukten im Naturholzplattenwerk und der Naturholzplatte um mehr als 25 % unterscheiden, wird nach EN15084 eine ökonomische Allokation durchgeführt, um die Umweltauswirkungen der Aufwendungen auf Produkte und Koppelprodukte aufzuteilen. Die inhärenten Materialeigenschaften, wie beispielsweise der gespeicherte Kohlenstoff bleiben von der ökonomischen Allokation jedoch unberührt, sie werden physikalisch allokiert.

In Tabelle 9 sind die der Allokation zugrunde gelegten Preise aufgelistet.

Tabelle 9: Verkaufspreise der Produkte und Koppelprodukte im Jahr 2019 nach Angaben des Herstellers

(Koppel-) Produkte	Bezugseinheit	Verkaufspreis ab Werk
Schnittholz, frisch, sägerau	1 m ³	196,60 €
Rinde	1 srm	10,38 €
Hackschnitzel	1 srm	10,00 €
Sägemehl	1 srm	9,50 €
Kappholz	1 srm	15,69 €
Naturholzplatte	1 m ³	581,18 €

Systemraumerweiterungen

Nutzen und Lasten aus der thermischen Verwertung von Abfällen Verpackungsmaterialien und dem Produkt werden mithilfe von Systemraumerweiterungen berechnet. Bei der Energierückgewinnung wurde angenommen, dass erzeugte elektrische Energie deutschen Strommix und erzeugte thermische Energie Wärme aus Erdgas ersetzt.

3.3.10 Biogener Kohlenstoff

Stoffströme, die spezifische inhärente Eigenschaften mit sich bringen, wie beispielsweise der biogene Kohlenstoffgehalt werden nach DIN EN 15804+A2 unabhängig von dem für die Prozesse gewählten Allokationsprinzip immer entsprechend der physikalischen Ströme zugeordnet.

Der Anteil an biogenem Kohlenstoff in der deklarierten Einheit wird für das deklarierte Produkt und die Verpackungsmaterialien (Holzpaletten und Karton) berechnet (Tabelle 10).

Tabelle 10: Biogenen Kohlenstoffgehalt der deklarierten Einheit am Werkstor

Biogener Kohlenstoffgehalt	Kohlenstoffgehalt je deklarierte Einheit [kg C]
biogener Kohlenstoffgehalt im Produkt	206,2
biogener Kohlenstoffgehalt in der zugehörigen Verpackung	0,31
ANMERKUNG: 1 kg biogener Kohlenstoff entspricht 44/12 kg CO ₂ .	

Zur Berechnung des Kohlenstoffgehalts wurde ein Anteil von 50 % im darrtrockenem Holz bzw. Karton angenommen (IPCC 2013). Die Bestimmung der theoretisch dadurch gespeicherten CO₂-Menge wurde die Menge an Kohlenstoff mit dem Faktor 44/12 (entspricht der molaren Masse von CO₂ im Verhältnis zu C) multipliziert. Diese Berechnung steht im Einklang mit der DIN EN 16449, welche nach der DIN EN

3 Umfang der Studie

15804+A2 das vorgeschriebene Verfahren für die Berechnung des biogenen Kohlenstoffgehalts und die Umrechnung in Kohlenstoffdioxid darstellt.

Als Referenzdichte für die Berechnung wurde die entsprechende Raumdichte bei tatsächlicher Endfeuchte des Produktes verwendet. Die Raumdichte wurde mithilfe des differentiellen Volumenschwindmaß, der Holzfeuchte und der Darrrohdichte berechnet, siehe Kapitel 5.3.1, Formel 4, Seite 26. Für Holzpaletten wurde eine durchschnittliche Holzfeuchte von 20 % angenommen, diese steht im Einklang mit der Modellierung der Paletten im verwendeten EuGeos' 15804_A2-IA Hintergrunddatensatz „EUR-flat pallet production | EUR-flat pallet | Cutoff, U“.

Abbildung 4 zeigt die Kohlenstoffein- und -ausgänge im Lebenszyklus des Produkts und der Verpackung. Inputs erfolgen hauptsächlich durch das Rundholz und die zugekauften Holzhalbwaren, aber auch geringfügig durch die Verpackung in Form von Holzpaletten. Der meiste Kohlestoff verlässt das System anschließend wieder in Form von Sägenebenprodukten. 206 kg Kohlenstoff sind in der Naturholzplatte gespeichert und verlassen in Modul C3 das System in Form von entweder Sekundärbrennstoffen oder Altholz.

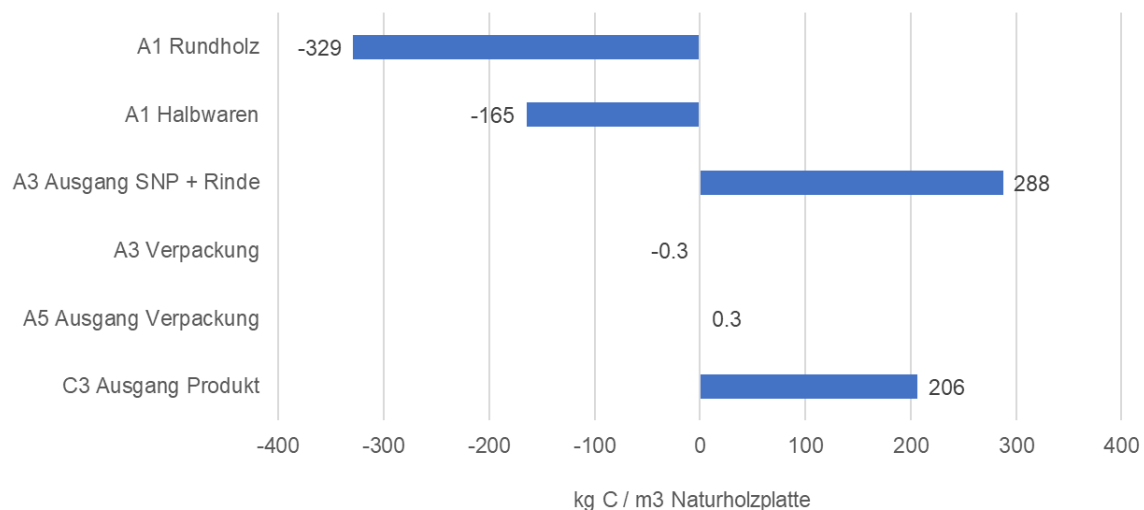


Abbildung 4: Kohlenstoffbilanz der Holzbiomasseströme im deklarierten Produkt und in der Verpackung nach Modulen

3.3.11 Abschneidekriterien und Annahmen

Alle Inputs und Outputs der Prozesse, für welche Betriebsdaten vorlagen, sind in die Berechnung eingegangen, auch Stoffströme unter einem Masseanteil von 1%.

Datenlücken, welche nicht mit konservativen Annahmen von Durchschnittsdaten oder generischen Daten gefüllt werden konnten sind in Tabelle 11 erläutert. Prozesse oder Flüsse, von denen bekannt ist, dass sie zu den Umweltauswirkungen des untersuchten Produkts signifikant beitragen, sind nicht vernachlässigt worden. Es wird angenommen, dass der Gesamtbetrag der vernachlässigten Eingangsflüsse nicht mehr als 5 % des gesamten Energie- und Masseneinsatzes ausmacht.

3 Umfang der Studie

Tabelle 11: Abschneidekriterien

Vernachlässigte Prozesse	Begründung
Klebstoffverluste	Produktionsrückstände wurden aufgrund fehlender Daten vernachlässigt, sind jedoch als sehr gering einzustufen.
Reifenabrieb durch interne Transportmittel	Reifenabrieb wurde aufgrund fehlender Daten vernachlässigt, ist jedoch als sehr gering einzustufen.
Büromaterialien	Verbrauch und Bereitstellung von Büromaterialien wurde aufgrund fehlender Daten vernachlässigt, ihr Einfluss auf die Ergebnisse wird als sehr gering eingestuft.
Bereitstellung der internen Transportmittel	Die Bereitstellung der internen Transportmittel wurde aufgrund fehlender Daten vernachlässigt, ihr Einfluss auf die Ergebnisse wird aufgrund der langen Lebensdauer als sehr gering eingestuft.
Feinstaubemissionen im Sägewerk	Reifenabrieb wurde aufgrund fehlender Daten vernachlässigt, ist jedoch als sehr gering einzustufen.
Polyvinylalcohol in PVAc	PVAc besteht nach PIZZI (1989) aus 4 % Polyvinylalcohol, dieses wurde nicht berücksichtigt, da keine LCI Daten verfügbar sind. Da PVAc selbst nur einen massebezogenen Anteil von 0,6% im Produkt aufweist und die Produktion der Hauptbestandteile berücksichtigt ist, sind die Auswirkungen als sehr gering einzustufen.
Restmüll	Restmüllaufkommen wurde aufgrund fehlender Daten vernachlässigt, ist jedoch als sehr gering einzustufen.

Für vorgelagerte, wie nachgelagerte Prozesse, auf die der Hersteller keinen Einfluss hat wurden generische EuGeos' 15804_A2-IA Hintergrunddaten oder konservative Annahmen von Durchschnittsdaten verwendet. Dies betrifft vor allem die Module A1, C und D. Auch vor- oder nachgelagerte Prozesse in Modul A3 wurden entsprechend berechnet. Verwendete Hintergrunddaten siehe Anhang Tabelle 26, Seite 43. Annahmen zu Modellierungen mit Durchschnittsdaten aus der Literatur sind in der Beschreibung der Systemgrenze zu den einzelnen Modulen zu finden (Kapitel 3.3.1 bis 3.3.8).

Es wurden auch in Modul A3 für direkt auftretende Emissionen konservativen Annahmen von Durchschnittsdaten oder generischen Daten verwendet, da keine Primärdaten in Form von eigenen Messungen vorlagen. Tabelle 12 dokumentiert diese Prozesse.

Tabelle 12: Verwendung von Durchschnittsdaten oder generischen Daten bei direkten Emissionen im Werk

Prozess	Verwendete Daten
Emissionen aus der Verbrennung von Altholz	Generische Daten aus der EuGeos' 15804_A2-IA Hintergrunddatenbank (siehe Anhang Tabelle 26, Seite 43Tabelle 26)
Emissionen aus der Verbrennung von Heizöl	
Emissionen aus der Verbrennung von Diesel zum internen Transport	
Emissionen aus der Verbrennung von LPG zum internen Transport	
Emissionen bei der Holz Trocknung	Durchschnittliche Daten nach WAGNER et al. 2009

4 Spezifische Vordergrunddaten

4.1 Datenerhebung und Datenqualität

Die Datenerhebung erfolgte in einem dreistufigen Verfahren. Zunächst wurde das Sägewerk besichtigt und zusammen mit den Betreibern die relevanten Prozessschritte abgesteckt, anschließend wurde darauf aufbauend ein detaillierter Fragebogen erstellt, der vom Betreiber ausgefüllt wurde. Verbliebene Unklarheiten oder Datenlücken wurden im letzten Schritt per Email oder Telefon geklärt.

Die Datenqualität ist als sehr gut einzustufen. Die erhobenen Primärdaten stammen aus den Betriebsdaten des Sägewerks und wurden auf Plausibilität überprüft. Eine Zusammenfassung aller verwendeten Vorder- und Hintergrunddaten unter Berücksichtigung der Datenqualität nach Tabelle E.1 der DIN EN 15804+A2 befindet sich in Tabelle 26

4.2 Zuordnung der Daten zu Produkten und Prozessen

Die Erhebung der Stoff- und Energieströme erfolgte unter Zuordnung zu den einzelnen Prozessen oder den Hauptmodulen Sägelinie, Hobelwerk, Trockenkammer und Naturholzplattenwerk. Die In- und Outputs wurden dabei für das gesamte Sägewerk erfasst. Da das betrachtete Sägewerk zusätzlich zur Naturholzplatte weitere Produkte verkauft, die teilweise dieselbe Produktionslinie durchlaufen mussten die Aufwendungen auf die unterschiedlichen Endprodukte aufgeteilt werden. Sofern keine detaillierteren Angaben der Betreiber zur Verfügung standen wurden die Aufwendungen in den Modulen entsprechend des Volumenanteils des jeweiligen Produkts an der gesamten Produktion aufgeteilt (gilt nicht für Nebenprodukte). Eine Ausnahme bilden hierbei die Aufwendungen bei der Holz Trocknung. Hier wurden die Aufwendungen (z.B. Wärmebedarf) entsprechend der Masse des verdampften Wassers des jeweiligen Produktes aufgeteilt. So wurde sichergestellt, dass Produkten mit niedrigerer Ausgangsfeuchte und damit höherem Trocknungsaufwand, auch ein angemessener Aufwand zugeordnet wurde.

Das verdampfte Wasser wurde vereinfachend mit Formel 1 berechnet. Die ab dem Fasersättigungspunkt, aufgrund der Anisotropie des Holzes nicht ganz linear abnehmende Wassermasse pro Prozent Holzfeuchte wurde vernachlässigt, da der Fehler zum einen sehr gering ist und zum anderen zusätzlich durch die systematische Anwendung der Formel für alle getrockneten Holzprodukte nochmals abgeschwächt wird.

$$m(H_2O) = \frac{u(A) - u(E)}{100} \cdot \text{Raumdichte}_{w0} \cdot V(\text{Holz}) \quad \text{Formel 1}$$

m(H ₂ O)	Masse des verdampften Wassers
u(A)	Anfangsfeuchte vor der Trocknung [%]
u(E)	Endfeuchte nach der Trocknung [%]
Raumdichte _{w0}	Raumdichte des trockenen Holzes, Wassergehalt = 0% [kg/m ³]
V(Holz)	Volumen des zu trocknenden Holzes [m ³]

5 Generische Hintergrunddaten, verwendete LCA-Software und literaturbasierte Umrechnungsfaktoren

5.1 Verwendete Hintergrunddaten und LCA-Software

Zur Systemmodellierung und Berechnung der Umweltauswirkungen wurde die Software OpenLCA in der Version 10.1.3 verwendet.

Als Hintergrunddatenbank wurde ausschließlich die EuGeos' 15804_A2-IA Hintergrunddatenbank verwendet. Die EuGeos' 15804_A2-IA Datenbank ist eine Erweiterung der Ecoinvent 3.6 Datenbank in der Version „Cut-Off“, die die automatische Berechnung aller in der DIN EN 15804+A2 geforderten Indikatoren ermöglicht.

5.2 Qualität der Hintergrunddaten

Als Hintergrunddatenbank wurde die EuGeos-Datenbank 15804+A2_IA v4.1 verwendet (EUGEOS LIMITED 2021). Sie ist eine erweiterte Version der Ecoinvent 3.6 Datenbank, die die Berechnung der Indikatoren ermöglicht, die in Bauprodukt-EPDs gemäß der EN 15804+A2 erforderlich. Ecoinvent ist ein gemeinnütziger Verein, der von mehreren Instituten der Eidgenössischen Technischen Hochschulen Zürich (ETH Zürich) und vom Agroscope (Kompetenzzentrum der Schweiz für landwirtschaftliche Forschung) gegründet wurde. Die Ecoinvent Datenbank ist eine der weltweit führenden Datensysteme für Ökobilanzdaten. Die zur Verfügung gestellten Daten sind konsistent, transparent und qualitätsgesichert. Details zur Methodik, Datenqualität und Qualitätssicherung finden sich in WEIDEMA et al. (2013).

Die regionale Gültigkeit der verwendeten Datensätze wurde entsprechend Tabelle 13 priorisiert und ein Qualitätsniveau nach Tabelle E.1 der DIN EN 15804+A2 zugeordnet

Tabelle 13: Priorisierung von Hintergrundprozessen nach der regionalen Gültigkeit und Zuordnung des entsprechenden Qualitätsniveaus nach DIN EN 15804+A2

Priorisierung der Auswahl	Regionale Gültigkeit	Qualitätsniveau nach Tabelle E.1 der DIN EN 15804+A2
1	Deutschland (DE)	Sehr gut
2	Europa (RER) / Europe without Switzerland	gut
3	Switzerland (CH)	mittel
4	Global (GLO)	Schlecht
5	Andere	Sehr schlecht

Eine Zusammenfassung aller verwendeten Vorder- und Hintergrunddaten unter Berücksichtigung der Datenqualität nach Tabelle E.1 der DIN EN 15804+A2 befindet sich in Anhang 8, Tabelle 26.

5.3 Umrechnungsfaktoren, Dichte- und Heizwertangaben

5.3.1 Dichte von Holz unter Berücksichtigung von Quellen und Schwinden

Grundsätzlich beruht die Modellierung auf Volumina oder absolut trockener (darrtrockener) Holzmasse. Die Holzfeuchte kann jedoch in bestimmten Prozessen, dort, wo die Holzfeuchte relevant ist, über die Dichte integriert werden (z.B. bei der Berechnung der Transportaufwendungen und des Heizwertes)

Zur Umrechnung der Erntefestmeter in darrtrockene bzw. frische Holzmasse wurden die Dichteangaben in Tabelle 14 verwendet. Aufgrund einer besonderen Eigenschaft des Holzes, der Anisotropie, das heißt der Eigenschaft des Schwindens und Quellens des Holzes bei unterschiedlichen Wassergehalten wurden für alle berücksichtigten Baumarten sowohl die Darrdichte als auch die Raumdichte verwendet. Unterhalb eines bestimmten Wassergehalts (ca. 19 – 25 %), dem sogenannten Fasersättigungspunkt, verringert sich das Volumen um das sogenannte Schwindmaß. Dies hat dementsprechend Auswirkungen auf die Dichte des Holzes. Die Darrdichte r_0 kennzeichnet darrgetrockenes Holz (Wassergehalt = 0%) bei maximalem Schwinden.) Die Raumdichte R_0 beschreibt die Dichte des darrgetrockenen Holzes im maximal gequollenen Zustand (Holzfeuchte = 0%). Mithilfe des absoluten Volumenschwindmaßes kann die Raumdichte aus der Darrdichte berechnet werden (KALTSCHMITT et al. 2016, HOLZABSATZFONDS 2008), siehe Formel 2.

$$R_0 = \frac{r_0 \cdot (100 - \beta v)}{100} \quad \text{Formel 2}$$

- R_0 Raumdichte, darrtrockene Holzmasse in geschwollenem Zustand [kg/m³]
- r_0 Darrdichte, darrtrockene Holzmasse in geschwundenem Zustand [kg/m³]
- βv Absolutes Volumenschwindmaß [%]

Zur Berechnung der Rohdichte der waldfrischen Masse wurde eine Holzfeuchte von 70% angenommen. Dichten oberhalb des Fasersättigungsbereichs wurden nach **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** berechnet:

$$\delta = \frac{R_0 \cdot u}{100} + R_0 \quad \text{Formel 3}$$

- R_0 Raumdichte, darrtrockene Holzmasse in geschwollenem Zustand [kg Trockenmasse/m³]
- δ Rohdichte des waldfrischen Holzes [kg Frischmasse/m³]
- u Holzfeuchte [%]

In Tabelle 14 sind die verwendeten Darrdichten und das absolute Volumenschwindmaß, sowie die berechneten Raumdichten von trockenem Holz und die Dichte von waldfrischem Holz dargestellt.

3 Umfang der Studie

Tabelle 14: Verwendete Darrdichten und Raumdichten, basierend auf dem jeweiligen Schwindmaß (Formel 7) der betrachteten Baumarten (nach KOLLMANN (1982) und KALTSCHMITT et al. (2016), in Einklang mit RÜTER & DIEDERICHS (2012))

¹Feuchte 70% entsprechend SCHWEINLE & THOROE (2001) und im Einklang mit den Ecoinvent Hintergrunddaten
TS = Trockenmasse; FM = Frischmasse

Baumart	Darrdichte r0 [kg TM*m ⁻³]	Volumen- schwindmaß βv [%]	Raumdichte R ₀ (u=0%) [kg TM*m ⁻³]	Dichte (waldfrisch ¹) [kg FM*m ⁻³]
Fichte	430	11,9	379	644
Douglasie	470	11,9	414	704
Nadelholz unspezifisch	450	11,9	396	674

Zur Berechnung der Raumdichte und des Anteils an darrtrockener Holzmasse bei unterschiedlichen Holzfeuchten unterhalb des Fasersättigungsbereichs wurde die Darrdichte das differentielle Volumenschwindmaß und die Holzfeuchte verwendet (Formel 4).

$$R_u = r_0 * (1 - \beta_{v,diff.})^u \quad \text{Formel 4}$$

R_u Raumdichte (darrtrockene Masse in teil-geschwundenem Zustand bei der Holzfeuchte u [kg Trockenmasse/m³])

r₀ Darrdichte in geschwundenem Zustand [kg Trockenmasse/m³]

u Holzfeuchte [%]

β_{v,diff.} Differentielles Volumenschwindmaß [%/%]

Das differentielle Volumenschwindmaß gibt das durchschnittliche Schwindmaß in % pro % Holzfeuchteänderung an und berechnet sich aus der Summe des mittleren Volumenschwindmaßes in tangentialer und radialer Richtung nach SELL (1997). Axiale Schwindung wurde vernachlässigt, da sie nur ca. 5% des gesamten Volumenschwunds ausmacht. Es wurde vereinfachend angenommen, dass das Volumen differentielle Volumenschwindmaß pro % Holzfeuchteänderung konstant ist.

In Tabelle 15 ist das baumartenspezifische mittlere Volumenschwindmaß, sowie die mithilfe der Formel 4 berechneten Raumdichten angegeben.

Tabelle 15: Mittleres differentielles Volumenschwindmaß nach SELL (1997) und Raumdichte von teilgeschwundenem Holz bei einer Holzfeuchte (u) von 10%
TS = Trockenmasse

Baumart	Differentielles Volumenschwindmaß β _{v,diff.} [%/%]	Raumdichte R ₁₀ (u=10%) [kg TM*m ⁻³]
Fichte	0,465	410,4
Douglasie	0,445	449,5
Nadelholz unspezifisch	0,463	429,6

Zur Berechnung der Dichte der feuchten Holzmasse wurde Formel 5 verwendet:

$$\delta_u = \frac{R_u * u}{100} + R_u \quad \text{Formel 5}$$

δ_u	Rohdichte des feuchten Holzes in teil-geschwundenem Zustand bei der Holzfeuchte u [kg Frischmasse/m ³]
R_u	Raumdichte des darrtrockenen Holzes in teil-geschwundenem Zustand bei der Holzfeuchte u [kg Trockenmasse/m ³]
r_0	Darrdichte in geschwundenem Zustand [kg Trockenmasse/m ³]
u	Holzfeuchte [%]

Umrechnung der Sägenebenprodukte von Schüttraummeter in Festmeter Holz

Da die Primärangaben bezüglich der Sägenebenprodukte und Rinde auf Schüttraummeter (srm) basieren, mussten die Werte zur Durchführung der Co-Produkt-Allokation in fm zurückgerechnet werden. Die dazu verwendeten Umrechnungsfaktoren sind in Tabelle 16 dargestellt.

*Tabelle 16: Umrechnungsfaktoren für Volumina von Sägenebenprodukten und Rinde (HAGAUER et al. 2009)
fm = Festmeter; srm = Schüttraummeter*

Sortiment	Dichte [fm/srm]
Hackschnitzel allg.	0,33 – 0,4
Industriehackgut	0,35
Sägemehl	0,33
Kappholz	0,5
Schwarten/Spreißel	0,6
Rinde	0,3

Bei Hackschnitzeln gibt es je nach Größe und Beschaffenheit der Schnitzel eine größere Varianz für die Schüttdichte. Um bei der Umrechnung Unstimmigkeiten in der Massebilanz zu verhindern und gleichzeitig plausible Werte zu erhalten wurde deshalb folgendermaßen vorgegangen:

1. Umrechnung der Mengen Sägemehl, Kappholz und Rinde in Festmeter mithilfe der Dichteangaben in Tabelle 16 und der Mengenangaben des Sägewerks in srm (Schüttraummeter)
2. Berechnung der Menge Hackschnitzel in fm über die Formel:
Hackschnitzel [fm] = Einkauf Rundholz [fm o. R.] – Kappholz [fm] – Sägemehl [fm]
3. Berechnung der Schüttdichte der Hackschnitzel mit den Angaben des Sägewerks in srm und den berechneten fm
4. Überprüfung, ob berechnete Schüttdichte im Bereich der von HAGAUER et al. (2009) angegebenen Varianz liegt.

Im Fall des Sägewerks lag die berechnete Schüttdichte der Hackschnitzel bei 3,5 fm/srm und damit im plausiblen Bereich.

5.3.2 Energiegehalt von Holz (unterer Heizwert)

Zur Berechnung des Energiegehalts von Holz wurde der vom Wassergehalt abhängige Heizwert des Holzes verwendet. Die jeweilige Feuchtmasse (FM) des Holzes wurde mit dem entsprechenden Heizwert H_u multipliziert (Formel 6).

$$\text{Energienmenge} = FM * H_u \quad \text{Formel 6}$$

Unter dem Heizwert (auch unterer Heizwert) versteht man die Wärmemenge, die bei der vollständigen Oxidation des Holzes ohne Berücksichtigung der Kondensationswärme (Verdampfungswärme) des im Abgas befindlichen Wasserdampfes freigesetzt wird.

Zur Bestimmung des jeweiligen Heizwertes H_u wurde Formel 7 verwendet (KALTSCHMITT et al. 2016):

$$H_u = \frac{Hu(wf)(100 - w) - 2,443 * w}{100} \quad \text{Formel 7}$$

H_u Heizwert in MJ/kg bei einem bestimmten Wassergehalt w

w Wassergehalt in %

$H_u(wf)$ Unterer Heizwert der Trockenmasse in MJ/kg

Die Konstante 2,443 resultiert aus der spezifischen Verdampfungswärme des Wassers in MJ/kg bei 25°C (KALTSCHMITT et al. 2016)

In Tabelle 17 sind die berechneten unteren Heizwerte, die bei der Bestimmung des Energieinhalts von Holz verwendet wurden, dargestellt. Zur Vereinfachung der Berechnung im Ökobilanzhintergrundmodell wurde nur mit dem Wert für unspezifisches Nadelholz gerechnet. In allen Modulen in denen Holz in das System eintritt (Rundholz, Altholz), oder es verlässt (Sägenebenprodukte, Altholz) werden mithilfe des unteren Heizwertes für die EPD relevante Ressourcenparameter und Outputflüsse berechnet.

Tabelle 17: Untere Heizwerte (H_u) bei $u = 0\%$ der betrachteten Baumarten (KALTSCHMITT et al. 2016, DIETZ et al. 2016) sowie die berechneten Heizwerte bei $u = 10\%$ bzw. 20%

¹gewichteter Mittelwert entsprechend der Erntemengen an Fichten- und Kiefernstammholz nach DESTATIS (2020)

Baumart (Energierundholz)	Unterer Heizwert (H_u) bei $u=0\%$ [MJ/kg]	Unterer Heizwert (H_u) bei $u=10\%$ [MJ/kg]
Fichte	18,90	16,96
Kiefer	19,12	17,16
Nadelholz unspezifisch ¹	18,93	16,98

5.3.3 Energiegehalt (unterer Heizwert) der Zusatzstoffe und der Verpackungsmaterialien

In Tabelle 18 sind die verwendeten unteren Heizwerte der, in der deklarierten Einheit enthaltenen Zusatzstoffe dargestellt.

Tabelle 18: Untere Heizwerte (Hu) der, in der deklarierten Einheit enthaltenen Zusatzstoffe und der Verpackungsmaterialien

Zusatzstoff / Verpackungsmaterial	Unterer Heizwert (Hu) [MJ/kg]	Quelle
Polyvinylacetat (PVAc)	22,8	STEINLEITNER & ACHILLES 1988
Melamin-Harnstoff- Formaldehyd-harz (MUF)	28,0	MENGES et al. 2002
Phenol-Formaldehyd- harz (PF)	32,0	MENGES et al. 2002
Karton	15,92	Doka, G., treatment of waste paperboard, municipal incineration with fly ash extraction, CH, Allocation, cut-off by classification, EuGeos' 15804_A2-IA databased based on ecoinvent version 3.6
Folie (PE, Polyethylen)	36,03	Doka, G., treatment of waste sealing sheet, polyethylene, municipal incineration with fly ash extraction, CH, Allocation, cut-off by classification, EuGeos' 15804_A2-IA databased based on ecoinvent version 3.6
Plastikband (PET, Polyurethan)	22,95	Doka, G., treatment of waste polyethylene terephthalate, municipal incineration with fly ash extraction, CH, Allocation, cut-off by classification, EuGeos' 15804_A2-IA databased based on ecoinvent version 3.6
Holzpalette (Europalette)	13,99	Doka, G., treatment of waste wood, untreated, municipal incineration with fly ash extraction, CH, Allocation, cut-off by classification, EuGeos' 15804_A2-IA databased based on ecoinvent version 3.6
Gewebeband	10,03	Primas, A., treatment of used sealing tape, aluminium/PE, 50 mm wide, CH, Allocation, cut-off by classification, EuGeos' 15804_A2-IA databased based on ecoinvent version 3.6

5.3.4 Sonstige Umrechnungsfaktoren

Alle Umrechnungsfaktoren für weitere Stoffflüsse (Betriebs- Hilfsmittel, Kraftstoffe und Verpackungsmaterialien), welche zur Erstellung der Ökobilanz verwendet wurden, sind in Tabelle 19 aufgelistet.

Tabelle 19: Umrechnungsfaktoren für Betriebs-/Hilfsmittel und Kraftstoffe

Stofffluss	Wert	Einheit	Quelle
Diesel	0,8325	kg/l	REIF 2012
	42,5	MJ/kg	
Benzin	0,75	kg/l	REIF et al. 2014
Schmieröl / Schmierstoff / Motoröl	0,90	kg/l	WATTER 2017
Werkzeugstahl (Sägeketten-, Kreissägeblätter, Hackmesser)	7,85	kg/dm ³	DIN EN ISO 4957
Holzpalette	25	Kg/Stück	EPAL 2019
Leichtes Heizöl	0,86	kg/l	JUNGBLUTH 2007
	42,6	MJ/kg (unterer Heizwert)	
LPG (Autogas)	0,56	kg/l	REIF et al. 2014
Wassergehalt Altholz	17,5	%	Mittelwert aus KALTSCHMITT et al. (2009) und GÖBWEIN et al. (2018)

6 Sachbilanz und Wirkungsabschätzung

Die Systemgrenze und die Ergebnisse der Ökobilanz, das heißt der Sachbilanz, Wirkungsabschätzung, Ressourceneinsatz sowie Abfälle und sonstige Output-Ströme bezogen auf einen Kubikmeter Vita Naturholzplatte tabellarisch dargestellt. Tabelle 20 zeigt die Systemgrenze entsprechend den Vorgaben der En 15804+A2.

Tabelle 20: Systemgrenze der Produktökobilanz für 1 m³ Naturholzplatte

ANGABE DER SYSTEMGRENZEN (X = IN ÖKOBILANZ ENTHALTEN; MND = MODUL NICHT DEKLARIERT; MNR = MODUL NICHT RELEVANT)																
Produktionsstadium			Stadium der Errichtung des Bauwerks		Nutzungsstadium							Entsorgungsstadium				Gutschriften und Lasten außerhalb der Systemgrenze
Rohstoffbereitstellung	Transport	Herstellung	Transport vom Hersteller zum Verwendungsort	Montage	Nutzung/Anwendung	Instandhaltung	Reparatur	Ersatz	Erneuerung	Energieeinsatz für das Betreiben des Gebäudes	Wassereinsatz für das Betreiben des Gebäudes	Rückbau/Abriß	Transport	Abfallbehandlung	Beseitigung	Wiederverwendungs-, Rückgewinnungs- oder Recyclingpotenzial
A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D
x	x	x	MND	MND	MND	MND	MNR	MNR	MNR	MND	MND	x	x	x	MNR	x

6.1 Sachbilanz und Parameter zur Sachbilanz gemäß DIN EN 15804+A2

In der Sachbilanz werden alle relevanten Stoff- und Energieflüsse zur Herstellung der deklarierten Einheit quantitativ erfasst und in Form von In- oder Outputflüssen aufgelistet. Die in Tabelle 21 erstellte Sachbilanz stellt eine Zusammenfassung dieser Flüsse dar, welche größtenteils schon in der Beschreibung der einzelnen Module innerhalb der Systemgrenze enthalten sind (Kapitel 3.3).

Tabelle 21: Sachbilanz der Produktökobilanz für 1 m³ Naturholzplatte im Werk gemäß Primärdatenerhebung

Fluss	Menge	Einheit
Inputs		
<i>Rundholz</i>		
Rundholz Fichte mit Rinde	1,76	Fm m. R.
Rundholz Douglasie mit Rinde	0,06	Fm m. R.
<i>Holzhalbwaren</i>		
Getrocknetes Schnittholz, Fichte	0,77	m ³
Mittellage, Fichte	0,09	m ³
<i>Zusatzstoffe</i>		
Polyvinylacetat (PVA)	2,67	kg
Melamin-Harnstoff-Formaldehyd-harz (MUF)	18,58	kg

3 Umfang der Studie

Phenol-Formaldehyd-harz (PF)	0,64	kg
<i>Strom-/Wärmebereitstellung</i>		
Strom aus dem dt. Stromnetz	131	kWh
Altholz zur Wärmeerzeugung	86,56	kg
Heizöl zur Wärmeerzeugung	3,35	l
<i>Kraftstoffe</i>		
Diesel, innerbetrieblicher Transport	1,33	kg
LPG (<i>Liquified Petroleum Gas</i> , Flüssiggas)	1,71	l
<i>Betriebsmittel</i>		
Motoröl	0,01	kg
Schmierstoffe, mineralisch	0,32	kg
Schneidstoffe	0,15	kg
Leitungswasser		kg
<i>Infrastruktur</i>		
Bereitstellung Sägewerk	1,9E-07	Stück
Bereitstellung Hackschnitzelanlage	1,2E-05	Stück
Bereitstellung Trockenkammer	3,2E-06	Stück
Bereitstellung Naturholzplattenwerk	3,2E-08	Stück
<u>Outputs</u>		
<i>Nebenprodukte</i>		
Rinde	0,20	srm
Hackschnitzel	2,69	srm
Sägemehl	1,57	srm
Kappholz	0,03	rm
<i>Abfälle</i>		
Metallschrott	2,49	kg
Altöl	0,06	kg

6 Sachbilanz und Wirkungsabschätzung

6.1.1 Parameter zur Beschreibung des Ressourceneinsatzes

Tabelle 22 und Tabelle 23 zeigen den Ressourceneinsatz sowie Abfallkategorien und Outputflüsse nach EN 15804+A2 bezogen auf 1 m³ Vita Naturholzplatten. Der Charakterisierungsfaktor für den Verbrauch von biotischen und abiotischen Ressourcen ist der jeweilige Heizwert (unterer Heizwert).

Tabelle 22: Ergebnisse der Ökobilanz - Indikatoren zur Beschreibung des Ressourceneinsatzes nach EN 15804+A2 bezogen auf 1 m³ Vita Naturholzplatte

Parameter	Unit	A1	A2	A3	C1	C2	C3	D energ.	D stoffl.
ERGEBNISSE DER ÖKOBILANZ – INDIKATOREN ZUR BESCHREIBUNG DES RESSOURCENEINSATZES nach EN 15804+A2: 1 m³ Vita Naturholzplatten									
Einsatz erneuerbarer Primärenergie – ohne die erneuerbaren Primärenergieträger, die als Rohstoffe verwendet werden (PERE)	[MJ]	8.32E+03	1.73E+01	1.23E+04	0.00E+00	0.00E+00	8.08E+03	-2.71E+02	-3.73E+03
Einsatz der als Rohstoff verwendeten, erneuerbaren Primärenergieträger (stoffliche Nutzung) (PERM)	[MJ]	1.88E+04	0.00E+00	-1.21E+04	0.00E+00	0.00E+00	-8.07E+03	0.00E+00	0.00E+00
Gesamteinsatz erneuerbarer Primärenergie (Primärenergie und die als Rohstoff verwendeten erneuerbaren Primärenergieträger) (energetische + stoffliche Nutzung) (PERT)	[MJ]	2.71E+04	1.73E+01	1.54E+02	2.08E+00	2.75E-01	1.24E+01	-2.71E+02	-3.73E+03
Einsatz nicht erneuerbarer Primärenergie ohne die als Rohstoff verwendeten nicht erneuerbaren Primärenergieträger (PENRE)	[MJ]	1.80E+03	1.22E+03	1.84E+03	0.00E+00	0.00E+00	8.91E+01	-4.57E+03	-1.21E+03
Einsatz der als Rohstoff verwendeten nicht erneuerbaren Primärenergieträger (stoffliche Nutzung) (PENRM)	[MJ]	6.02E+02	0.00E+00	1.98E+01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Gesamteinsatz nicht erneuerbarer Primärenergie (Primärenergie und die als Rohstoff verwendeten nicht erneuerbaren Primärenergieträger) (energetische + stoffliche Nutzung) (PENRT)	[MJ]	2.40E+03	1.22E+03	1.85E+03	4.41E+01	1.94E+01	8.91E+01	-4.57E+03	-1.21E+03
Einsatz von Sekundärstoffen (SM)	[MJ]	1.34E+00	4.87E-01	2.09E+00	4.47E-02	7.78E-03	6.38E-02	-2.41E+00	-5.80E-01
Einsatz von erneuerbaren Sekundärbrennstoffen (RSF)	[MJ]	5.48E+00	6.14E-01	1.36E+03	3.25E-02	9.80E-03	1.04E+00	-6.81E+03	-6.67E+03
Einsatz von nicht erneuerbaren Sekundärbrennstoffen (NRSF)	[MJ]	-1.94E+00	-2.15E+00	-1.08E+00	-1.82E-01	-3.44E-02	1.00E-01	4.87E-01	-1.18E-01
Nettoeinsatz von Süßwasserressourcen (FW)	[m ³]	3.52E+00	9.16E-02	5.45E-01	6.65E-02	1.45E-03	6.59E-02	-9.41E-01	-1.46E+00

6 Sachbilanz und Wirkungsabschätzung

Tabelle 23: Ergebnisse der Ökobilanz – Abfallkategorien und Outputflüsse nach EN 15804+A2 bezogen auf 1 m³ Vita Naturholzplatte

Parameter	Unit	A1	A2	A3	C1	C2	C3	D energ.	D stoffl.
ERGEBNISSE DER ÖKOBILANZ – ABFALLKATEGORIEN UND OUTPUTFLÜSSE nach EN 15804+A2: 1 m³ Vita Naturholzplatte									
Deponierter gefährlicher Abfall (HWD)	[kg]	5.27E+00	1.26E+00	4.79E+00	5.44E-01	2.01E-02	2.90E-01	-8.35E+00	-2.66E+00
deponierter nicht gefährlicher Abfall (Siedlungsabfall) (NHWD)	[kg]	1.63E+02	1.04E+02	5.76E+02	1.96E+00	1.62E+00	1.77E+01	-1.17E+03	-1.14E+02
Radioaktiver Abfall (RWD)	[kg]	1.02E-02	8.33E-03	6.55E-03	2.70E-04	1.30E-04	5.20E-04	-8.59E-03	-4.44E-03
Komponenten für die Weiterverwendung (CRU)	[kg]	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Stoffe zum Recycling (MFR)	[kg]	9.35E-01	4.09E-01	1.94E+00	4.27E-02	6.51E-03	4.46E-02	-7.18E-02	-4.92E-02
Stoffe für die Energierückgewinnung (MER)	[kg]	6.36E-02	6.79E-03	6.28E-01	3.40E-04	1.10E-04	4.11E+02	-1.33E+00	-3.85E-01
Exportierte Energie – elektrisch (EEE)	[MJ]	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	9.64E+02	0.00E+00
Exportierte Energie – thermisch (EET)	[MJ]	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	2.89E+03	0.00E+00

6.2 Wirkungsabschätzung

Tabelle 24 und Tabelle 25 zeigen Umweltauswirkungen sowie zusätzlichen Wirkungskategorien nach EN 15804+A2 bezogen auf 1 m³ Vita Naturholzplatte. Für die Berechnung der Wirkungskategorien wurden die Charakterisierungsfaktoren vom EK-JRC (<http://eplca.jrc.ec.europa.eu/LCDN/developerEF.xhtml>), verwendet. Es muss beachtet werden, dass die Wirkungsabschätzungsergebnisse nach DIN EN 15804+A2 generell nur relative Aussagen liefern, da sie keine Angaben über „Endpunkte“ der Wirkungskategorien, Überschreitungen von Schwellenwerten, Sicherheitsmargen oder über Risiken enthalten.

Tabelle 24: Ergebnisse der Ökobilanz - Umweltauswirkungen nach EN 15804+A2 bezogen auf 1 m³ Vita Naturholzplatte

Indikator	Unit	A1	A2	A3	C1	C2	C3	D energ.	D stoffl.
ERGEBNISSE DER ÖKOBILANZ – UMWELTAUSWIRKUNGEN nach EN 15804+A2: 1 m³ Vita Naturholzplatte									
Treibhauspotenzial insgesamt (GWP-total)	[kg CO ₂ -Äq.]	-6.21E+02	7.88E+01	1.06E+02	3.21E+00	1.25E+00	7.59E+02	-2.42E+02	-4.34E+02
Treibhauspotenzial fossiler Energieträger und Stoffen (GWP-fossil)	[kg CO ₂ -Äq.]	1.27E+02	7.88E+01	1.05E+02	3.17E+00	1.25E+00	3.70E+00	-2.42E+02	-5.65E+01
Treibhauspotenzial biogen (GWP-biogen)	[kg CO ₂ -Äq.]	-7.51E+02	-7.41E-03	4.90E-01	3.63E-02	-2.20E-04	7.55E+02	-1.28E+00	-3.76E+02
Treibhauspotenzial der Landnutzung und Landnutzungsänderung (GWP-luluc)	[kg CO ₂ -Äq.]	2.89E+00	2.82E-02	1.08E-01	7.70E-04	4.50E-04	8.22E-03	-1.97E-01	-2.92E-01
Potenzial des Abbaus der stratosphärischen Ozonschicht (ODP)	[kg CFC11-Äq.]	2.10E-05	1.82E-05	7.61E-06	5.79E-07	2.88E-07	3.08E-07	-1.81E-05	-7.97E-06
Versauerungspotenzial, (AP), kumulierte Überschreitung	[kg SO ₂ -Äq.]	8.36E-01	1.86E-01	3.92E-01	8.31E-03	2.95E-03	2.00E-02	2.20E-01	-4.04E-01
Eutrophierungspotenzial, in das Süßwasser gelangende Nährstoffanteile (EP-freshwater)	[kg PO ₄ ³⁻ -Äq.]	5.07E-02	6.07E-03	1.20E-01	4.90E-04	9.65E-05	3.51E-03	-2.29E-01	-2.53E-02
Eutrophierungspotenzial, in das Salzwasser gelangende Nährstoffanteile (EP-marine)	[kg N-Äq.]	1.93E-01	2.61E-02	1.20E-01	3.56E-03	4.10E-04	3.42E-03	6.68E-02	-8.76E-02
Eutrophierungspotenzial, kumulierte Überschreitung (EP-terrestrial)	[mol N-Äq.]	2.59E+00	2.77E-01	1.27E+00	1.36E-02	4.38E-03	3.19E-02	2.29E+00	-1.22E+00
troposphärisches Ozonbildungspotenzial (POCP)	[kg NMVOC-Äq.]	1.12E+00	1.50E-01	3.36E-01	5.87E-03	2.37E-03	8.35E-03	2.49E-01	-3.66E-01
Potenzial für die Verknappung von abiotischen Ressourcen für nicht fossile Ressourcen (ADPE) ²	[kg Sb-Äq.]	3.45E-03	2.00E-03	1.89E-03	3.13E-05	3.23E-05	3.71E-05	-4.70E-04	-1.13E-03
Potenzial für die Verknappung von abiotischen Ressourcen für fossile Ressourcen (ADPF) ²	[MJ, unterer Heizwert]	2.16E+03	1.20E+03	1.56E+03	4.27E+01	1.90E+01	5.60E+01	-4.04E+03	-1.05E+03
Wasser-Entzugspotenzial (Benutzer), entzugsgewichteter Wasserverbrauch (WDP) ²	[m ³ Welt-Äq. Entzogen]	2.38E+04	1.14E+03	1.16E+04	8.57E+01	1.82E+01	1.08E+03	-2.06E+04	-6.86E+03
² Einschränkungshinweis: Die Ergebnisse dieses Umweltwirkungsindikators müssen mit Bedacht angewendet werden, da die Unsicherheiten bei diesen Ergebnissen hoch sind oder da es mit dem Indikator nur begrenzte Erfahrungen gibt.									

6 Sachbilanz und Wirkungsabschätzung

Tabelle 25: Ergebnisse der Ökobilanz - zusätzliche Wirkungskategorien nach EN 15804+A2 bezogen auf 1 m³ Vita Naturholzplatte

Parameter	Unit	A1	A2	A3	C1	C2	C3	D energ.	D stoffl.
ERGEBNISSE DER ÖKOBILANZ – zusätzliche Wirkungskategorien nach EN 15804+A2-optional: 1 m³ Vita Naturholzplatte									
potenzielles Auftreten von Krankheiten aufgrund von Feinstaubemissionen (PM)	[Auftreten von Krankheiten]	2.91E-05	6.55E-06	3.11E-05	2.20E-07	1.04E-07	7.39E-08	8.52E-06	-2.12E-05
potenzielle Wirkung durch Exposition des Menschen mit U235 (IR) ¹	[kBq U235-Äq.]	1.86E+01	6.27E+00	1.62E+01	2.35E-01	9.93E-02	1.92E+00	-2.72E+01	-1.05E+01
potenzielle Toxizitätsvergleichseinheit für Ökosysteme (ETP-fw) ²	[CTUe]	7.78E+01	4.38E+01	1.75E+01	6.36E-01	6.85E-01	2.73E-01	1.78E+01	-5.43E+01
potenzielle Toxizitätsvergleichseinheit für den Menschen (HTP-c) ²	[CTUe]	1.49E-07	3.21E-08	7.45E-07	1.03E-08	5.18E-10	2.70E-09	4.56E-08	-3.40E-07
potenzielle Toxizitätsvergleichseinheit für den Menschen (HTP-nc) ²	[CTUe]	4.13E-06	1.65E-06	4.29E-06	7.08E-08	2.62E-08	2.20E-07	-4.79E-06	-2.32E-06
potenzieller Bodenqualitätsindex (SQP) ²	[-]	3.67E+02	1.30E+03	3.63E+01	9.24E-01	2.00E+01	1.28E+00	-4.42E+01	-1.41E+02
¹ Einschränkungshinweis: Diese Wirkungskategorie behandelt hauptsächlich die mögliche Wirkung einer ionisierenden Strahlung geringer Dosis auf die menschliche Gesundheit im Kernbrennstoffkreislauf. Sie berücksichtigt weder Auswirkungen, die auf mögliche nukleare Unfälle und berufsbedingte Exposition zurückzuführen sind, noch auf die Entsorgung radioaktiver Abfälle in unterirdischen Anlagen. Die potenzielle vom Boden, von Radon und von einigen Baustoffen ausgehende ionisierende Strahlung wird ebenfalls nicht von diesem Indikator gemessen.									
² Einschränkungshinweis: Die Ergebnisse dieses Umweltwirkungsindikators müssen mit Bedacht angewendet werden, da die Unsicherheiten bei diesen Ergebnissen hoch sind oder da es mit dem Indikator nur begrenzte Erfahrungen gibt.									

6.3 Interpretation der LCA Ergebnisse

Abbildung 5 zeigt den relativen Beitrag der Informationsmodule A1 – A3 und C1 – C3 zu den Umweltwirkungskategorien nach EN 15804+A2. In fast allen Modulen wird die Umweltwirkung überwiegend von der Bereitstellung der Rohstoffe (Modul A1) bestimmt. Ausnahmen sind EP-freshwater, GWP-biogen und GWP-total. GWP – biogen spiegelt die Aufnahme von CO₂ aus der Luft beim Wachstum der Bäume und die Speicherung als biogenen Kohlenstoff im Holz in Modul A1 (Rundholz, Holzhalbwaren) und das Verlassen desselben Kohlenstoffs in Modul C3 in Form von Altholz wider. Dieses Phänomen wirkt sich auch auf das GWP – total aus. Insgesamt kommt es durch die Verarbeitungsschritte im Lebenszyklus zu einem positiven netto Treibhauspotenzial von 328 kg CO₂-eq. Beim EP-freshwater dominierte die Herstellungsphase A3 mit 66,5 % die Auswirkungen, maßgeblich bedingt durch den Stromverbrauch. Das Modul A2 trägt zwischen 23 und 37 % zu den Umweltwirkungen GWP-fossil, ODP, ADPE und ADPF bei. Insbesondere der Transport der Halbwaren ist mit 93 – 96 % verantwortlich für diese Umweltwirkungen im Modul A2.

Beim GWP-fossil dominiert mit knapp 40% die Rohstoffbereitstellung. Maßgeblich ist hier die Bereitstellung der Klebstoffe mit knapp 49%, gefolgt von den Halbwaren mit 38% und der Rundholzbereitstellung mit 13%. Neben Modul A1 trägt auch Modul A3 wesentlich (33%) zum GWP-fossil bei. In A3 sind ist dafür maßgeblich der verbrauchte deutsche Strommix und in geringerem Maße auch die Wärmeerzeugung aus Heizöl und der innerbetriebliche Transport verantwortlich.

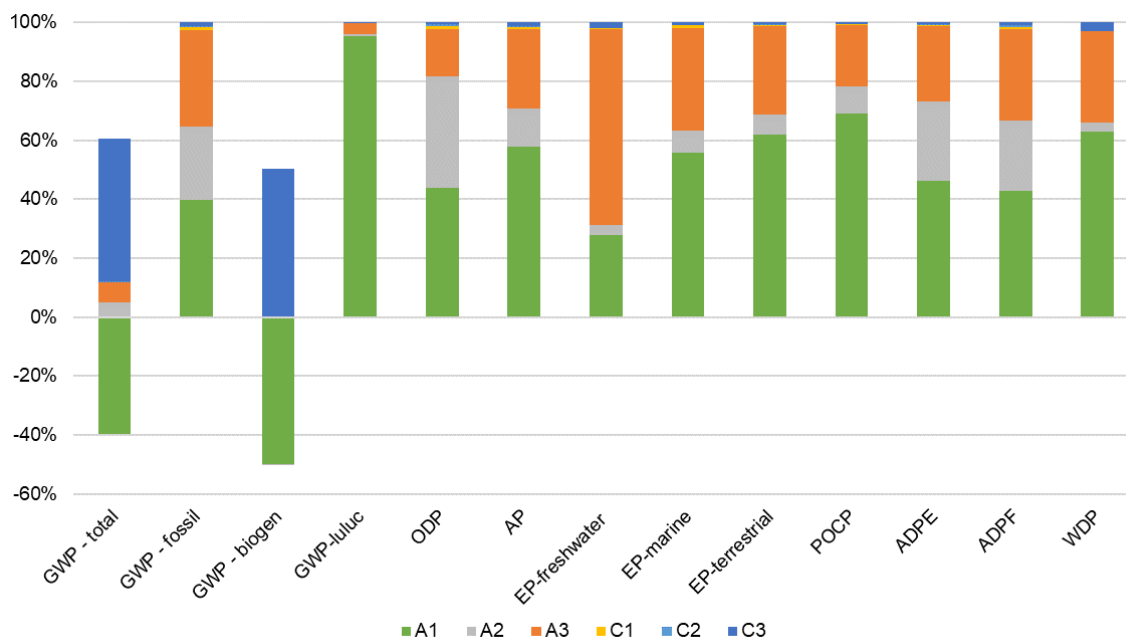


Abbildung 5: Relativer Beitrag der Informationsmodule A1 – A3 und C1 – C3 zu den Umweltwirkungskategorien nach EN 15804+A2

Abbildung 6 zeigt den relativer Beitrag des stofflichen und energetischen Szenarios des Informationsmodul D zu den Umweltwirkungskategorien nach EN 15804+A2. Während das stoffliche Verwertungsszenario in allen Umweltwirkungskategorien Einsparungen aufweist, ergeben sich bei der energetischen Verwertung bei den Indikatoren AP, EP-marine, EP-terrestrial und POCP zusätzliche Belastungen. Verantwortlich hierfür ist der Verbrennungsprozess des Altholzes.

6 Sachbilanz und Wirkungsabschätzung

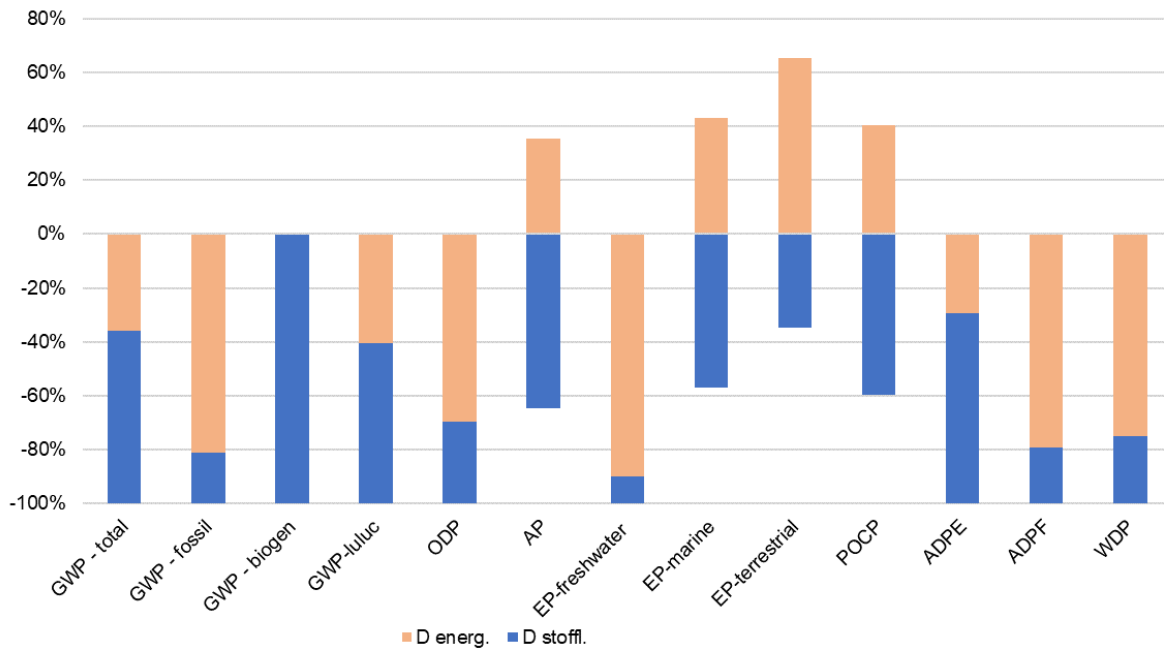


Abbildung 6: Relativer Beitrag des stofflichen und energetischen Szenario des Informationsmodul D zu den Umweltwirkungskategorien nach EN 15804+A2

Die Datenqualität für die Modellierung der vita Naturholzplatte kann als sehr gut bewertet werden. Für die eingesetzten Roh- und Zusatzstoffe liegen entsprechende konsistente Datensätze in der verwendeten Hintergrunddatenbank vor. Die Auswirkungen der in Kapitel 3.3.11 genannten Abschneidekriterien auf die Ergebnisse der Ökobilanz werden als sehr gering eingestuft.

7 Literatur

- ALTHAUS, H.-J., CHUDACOFF MIKE, HISCHE ROLAND, JUNGBLUTH NIELS, OSSES MAGGIE, PRIMAS ALEX, HELLWEG, S. (2007): Life Cycle Inventories of Chemicals. ecoinvent report No. 8. v2.0. EMPA DÜBENDORF, SWISS CENTRE FOR LIFE CYCLE INVENTORIES, HRSG., Dübendorf, CH, 957 S.
- DEHOUST, G., ALWAST, H. (2019): Kapazitäten der energetischen Verwertung von Abfällen in Deutschland und ihre zukünftige Entwicklung in einer Kreislaufwirtschaft – Strukturanalyse thermischer Anlagen innerhalb der deutschen Kreislaufwirtschaft. ÖKO-INSTITUT E.V., HRSG., Berlin, 90 S., Download unter https://www.nabu.de/imperia/md/content/nabude/abfallpolitik/20190927-studie-nabu_kapazitaeten_der_thermischen_verwertung_final.pdf. (08.10.2020).
- DESTATIS (2020): Wald und Holz – Holzeinschlag nach Holzartengruppen, Holzsorten, ausgewählten Besitzarten. 2019. STATISTISCHES BUNDESAMT, HRSG., Wiesbaden, Download unter https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Landwirtschaft-Forstwirtschaft-Fischerei/Wald-Holz/_inhalt.html.
- DIETZ, E., KUPTZ, D., BLUM, U., SCHULMEYER FABIAN, BORCHERT, HERBERT, HARTMANN, H. (2016): Qualität von Holzhackschnitzeln in Bayern – Gehalte ausgewählter Elemente, Heizwert und Aschegehalt. Berichte aus dem TFZ 46. TECHNOLOGIE- UND FÖRDERZENTRUM IM KOMPETENZENTRUM FÜR NACHWACHSENDE ROHSTOFFE (TFZ), Hrsg., Straubing und Freising-Weihenstephan, 150 S. (21.01.2020).
- EPAL (2019): Epal Europalette. Produktdatenblatt. EUROPEAN PALLET ASSOCIATION E.V. (EPAL), Hrsg., Düsseldorf, 2 S., Download unter <https://www.epal-pallets.org/eu-de/ladungstraeger/epal-europalette>. (06.10.2020).
- EUGEOS LIMITED (2021): EuGeos' 15804-IA Database for EN 15804-compliant EPD – Version: EuGeos' 15804+A2_IA v4.1 Unit Processes. Ordering at OpenLCA Nexus: <https://nexus.openlca.org/database/EuGeos'%2015804-IA>, Download unter http://www.eugeos.co.uk/lifecycle_assessment/epd.html.
- GÖßWEIN, S., HIENDLMAIER, S., BORCHERT, H. (2018): Energieholzmarkt Bayern 2016 – Untersuchung des Energieholzmarktes in Bayern hinsichtlich Aufkommen und Verbrauch. Abschlussbericht 05/2018. BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR WALD UND FORSTWIRTSCHAFT (LWF), Hrsg., Freising, 131 S., Download unter https://www.lwf.bayern.de/mam/cms04/service/dateien/energieholzmarkt_bayern_2016_bf.pdf. (13.09.2018).
- HAGAUER, D., LANG, B., PASTEINER, C., NEMESTOTHY, K. (2009): Empfohlene Umrechnungsfaktoren für Energieholzsortimente bei Holz- bzw. Energiebilanzberechnungen. BUNDESMINISTERIUM FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT, UMWELT UND WASSERWIRTSCHAFT, ABTEILUNG V/10 - ENERGIE- UND UMWELTÖKONOMIE, HRSG., Wien, 24 S. (18.06.2020).
- DIN EN 16449:2003: Holz und Holzprodukte - Berechnung des biogenen Kohlenstoffgehalts im Holz und Umrechnung in Kohlenstoffdioxid – Deutsche Fassung EN 16449:2014, DIN Deutsches Institut für Normung e. V. 79.040,
- HOLZABSATZFONDS (2008): Holz als konstruktiver Baustoff – holzbau handbuch. Reihe 4 Teil 1 Folge 1. HOLZABSATZFONDS, ABSATZFÖRDERUNGSFONDS DER DEUTSCHEN FORST- UND HOLZWIRTSCHAFT, HRSG., Bonn, Download unter <https://informationsdienst->

- holz.de/fileadmin/Publikationen/2_Holzbau_Handbuch/R04_T01_F01_Holz_als_konstruktiver_Baustoff.pdf. (30.03.2020).
- IBU (2020a): PCR Anleitungstexte für gebäudebezogene Produkte und Dienstleistungen – Aus dem Programm für Umwelt-Produktdeklarationen des Instituts Bauen und Umwelt e.V. (IBU). Teil B: Anforderungen an die EPD für Vollholzprodukte. INSTITUT BAUEN UND UMWELT E.V. (IBU), Hrsg., Berlin.
- IBU (2020b): Produktkategorieregeln für gebäudebezogene Produkte und Dienstleistungen – Teil A: Rechenregeln für die Ökobilanz und Anforderungen an den Projektbericht nach EN 15804+A2:2019. Version 1.1. INSTITUT BAUEN UND UMWELT E.V. (IBU), Hrsg., 44 S. (10.03.2021).
- IPCC (2013): 2013 Revised Supplementary Methods and Good Practice Guidance Arising from the Kyoto Protocol, Hiraishi, T., Krug, T., Tanabe, K., Srivastava, N., Baasansuren, J., Fukuda, M. and Troxler, T.G. (eds). Published: IPCC, Switzerland., .
- IVANICA, R., RISSE, M., WEBER-BLASCHKE, G., RICHTER, K. (2022): Development of a Life Cycle Inventory Database and Life Cycle Impact Assessment of the Building Demolition Stage: A case study in Germany. *Journal of Cleaner Production*, (under review).
- JUNGBLUTH, N. (2007): Erdöl. In: SWISS CENTRE FOR LIFE CYCLE INVENTORIES, Hrsg., Sachbilanzen von Energiesystemen. Grundlagen für den ökologischen Vergleich von Energiesystemen und den Einbezug von Energiesystemen in Ökobilanzen für die Schweiz. Final report ecoinvent data v2.0, No. 6, Dübendorf, CH.
- KALTSCHMITT, M., HARTMANN, H., HOFBAUER, H., Hrsg. (2009): Energie aus Biomasse – Grundlagen, Techniken und Verfahren, Springer, Berlin.
- KALTSCHMITT, M., HARTMANN, H., HOFBAUER, H., Hrsg. (2016): Energie aus Biomasse – Grundlagen, Techniken und Verfahren, Springer Vieweg, Berlin, Heidelberg.
- KOLLMANN, F. (1982): Technologie des Holzes und der Holzwerkstoffe, Springer, Berlin. 2. Aufl., 1050 S.
- MANTAU, U., DÖRING, P., HILLER, D. (2013): Holzeinsatz im Bauwesen – Verwendungsstrukturen nach Gebäuden und Gewerken. In: WEIMAR, H., JOCHEM, D., Hrsg., Holzverwendung im Bauwesen. Eine Marktstudie im Rahmen der "Charta für Holz", Johann Heinrich von Thünen-Institut, Braunschweig.
- MENGES, G., HABERSTROH, E., MICHAELI, W., SCHMACHTENBERG, E. (2002): Werkstoffkunde Kunststoffe, Carl Hanser Fachbuchverlag, München. 5. Aufl.
- DIN EN 15804+A2:2020-03: Nachhaltigkeit von Bauwerken – Umweltproduktdeklarationen – Grundregeln für die Produktkategorie Bauprodukte; Deutsche Fassung EN 15804:2012+A2:2019, Deutsches Institut für Normung e. V. (DIN) 91.010.99,
- PIZZI, A., Hrsg. (1989): Wood adhesives – Chemistry and technology, Dekker, New York.
- REIF, K. (2012): Kraftstoffe. In: REIF, K., Hrsg., Dieselmotor-Management. Systeme, Komponenten, Steuerung und Regelung ; mit 18 Tabellen, Springer Vieweg, Wiesbaden, p. 46–55.
- REIF, K., POSSELT, A., LANGER, W., KOLB, P., ULLMANN, J. (2014): Alternative Kraftstoffe. In: REIF, K., Hrsg., Ottomotor-Management, Springer Fachmedien Wiesbaden, Wiesbaden, p. 391–416.
- RÜTER, S., DIEDERICH, S. (2012): Ökobilanz-Basisdaten für Bauprodukte aus Holz – Arbeitsbericht aus dem Institut für Holztechnologie und Holzbiologie Nr. 2012/1. VTI JOHANN HEINRICH VON THÜNEN-INSTITUT, HRSG., Universität Hamburg, 316 S.

- SCHWEINLE, J., THOROE, C. (2001): Vergleichende Ökobilanzierung der Rohholzproduktion in verschiedenen Forstbetrieben – Mitteilungen der Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft Nr. 204, Kommissionsverlag Max Wiedebusch, Hamburg.
- SELL, J. (1997): Eigenschaften und Kenngrößen von Holzarten, Baufachverl., Dietikon. 4. Aufl., 87 S.
- STEINLEITNER, H.-D., ACHILLES, E. (1988): Brandschutz- und sicherheitstechnische Kennwerte gefährlicher Stoffe, Deutsch, Thun.
- WATTER, H. (2017): Fluide und Fluideigenschaften. In: WATTER, H., Hrsg., Hydraulik und Pneumatik, Springer Fachmedien Wiesbaden, Wiesbaden, p. 7–53.
- WEIDEMA, B., BAUER, C., HISCHIER, R., MUTEL, C., NEMECEK, T., REINHARD, J., VADENBO, C., WERNET, G. (2013): Overview and Methodology – Data quality guideline for the ecoinvent database version 3. Ecoinvent Report 1(v3). SWISS CENTRE FOR LIFE CYCLE INVENTORIES, HRSG., St. Gallen: The ecoinvent Centre, 169 S., Download unter https://www.ecoinvent.org/files/dataqualityguideline_ecoinvent_3_20130506.pdf. (08.03.2021).
- DIN EN ISO 4957:2018: Werkzeugstähle (ISO 4957:2018), Deutsches Institut für Normung e. V. (DIN) 77.140.35,
- WERNER, F. (2017): Background report for the life cycle inventories of wood and wood based products for updates of ecoinvent 2.2. Commissioned by the Swiss Federal Office for the Environment (FOEN), Zürich.

8 Anhang

Tabelle 26: Darstellung aller im System verwendeten Hintergrunddatensätze der EuGeos' 15804_A2-IA Datenbank sowie aller berechneten und im Werk erhobenen Vordergrunddaten und deren geographisches, technisches und zeitliches Qualitätsniveau nach Tab. E.1 der DIN EN 15804+A2
1 = sehr gut; 2 = gut; 3 = mittel; 4 = schlecht; 5 = sehr schlecht

Systembezug		Prozessbezeichnung	Qualitätsniveau nach Tab. E.1, DIN EN 15804+A2		
			Geogr.	Techn.	Zeitl.
A1	Rundholz Fichte	softwood forestry, spruce, sustainable forest management sawlog and veneer log, softwood, measured as solid wood under bark Cutoff, U DE	1	1	3
		Angabe der Menge: Primärdaten elka Holzwerke GmbH	1	1	1
	Rundholz Douglasie	softwood forestry, spruce, sustainable forest management sawlog and veneer log, softwood, measured as solid wood under bark Cutoff, U DE	1	1	3
		softwood forestry, pine, sustainable forest management sawlog and veneer log, softwood, measured as solid wood under bark Cutoff, U DE	1	1	3
		Modellierung der Zusammensetzung nach DESTATIS (2020)	1	1	1
		Angabe der Menge: Primärdaten elka Holzwerke GmbH	1	1	1
	Zugekauftes Schnittholz (u = 10 %)	board, softwood, raw, kiln drying to u=10% sawnwood, board, softwood, raw, dried (u=10%) Cutoff, U RER	3	1	2
		Angabe der Menge: Primärdaten elka Holzwerke GmbH	1	1	1
	Zugekaufte Mittellage	three layered laminated board production three layered laminated board Cutoff, U RER	2	1	2
		Angabe der Menge: Primärdaten elka Holzwerke GmbH	1	1	1
	MUF	market for melamine melamine Cutoff, U GLO	4	3	1
		market for urea, as N urea, as N Cutoff, U - GLO	4	3	5
		market for formaldehyde formaldehyde Cutoff, U RER	2	3	1
		market for ammonium sulfate, as N ammonium sulfate, as N Cutoff, U - GLO	4	3	5
		chemical factory construction, organics chemical factory, organics Cutoff, U - RER	2	3	1
		market group for electricity, medium voltage electricity, medium voltage Cutoff, U - RER	2	3	2
		market group for heat, district or industrial, natural gas heat, district or industrial, natural gas Cutoff, U - RER	3	3	5
		market group for heat, district or industrial, other than natural gas heat, district or industrial, other than natural gas Cutoff, U - RER	3	3	5
		Modellierung der Zusammensetzung nach RÜTER & DIEDERICHS (2012) und Osses, Magie, melamine formaldehyde resin production, RER, Allocation, cut-off by classification, EuGeos' 15804_A2-IA database, based on ecoinvent version 3.6	2	2	3
		Angabe der Menge: Primärdaten elka Holzwerke GmbH	1	1	1

	PF	market for formaldehyde formaldehyde Cutoff, U RER	2	3	1
		market for phenol phenol Cutoff, U GLO	4	3	5
		phenolic resin production phenolic resin Cutoff, U RER	2	3	1
		chemical factory construction, organics chemical factory, organics Cutoff, U - RER	2	3	1
		market group for electricity, medium voltage electricity, medium voltage Cutoff, U - RER	2	3	2
		Modellierung der Zusammensetzung nach RÜTER & DIEDERICHS (2012) und Hischier, R., phenolic resin production, RER, Allocation, cut-off by classification, EuGeos' 15804_A2-IA database, based on ecoinvent version 3.6	2	3	3
		Angabe der Menge: Primärdaten elka Holzwerke GmbH	1	1	1
	PVAc	market for alkyl sulphate (C12-14) alkyl sulphate (C12-14) Cutoff, U GLO	4	3	3
		market for ammonium sulfate, as N ammonium sulfate, as N Cutoff, U GLO	4	3	5
		market for sodium bicarbonate sodium bicarbonate Cutoff, U GLO	4	3	5
		market for tap water tap water Cutoff, U RER	2	3	3
		market for vinyl acetate vinyl acetate Cutoff, U GLO	4	3	5
		Modellierung der Zusammensetzung nach PIZZI (1989)	2	2	5
		Angabe der Menge: Primärdaten elka Holzwerke GmbH	1	1	1
A2	Transport Rundholz	transport, freight, lorry >32 metric ton, EURO6 transport, freight, lorry >32 metric ton, EURO6 Cutoff, U RER	2	1	3
	Transport Halbwaren	market for transport, freight, lorry, unspecified transport, freight, lorry, unspecified Cutoff, U RER	2	3	3
	Transport Zusatzstoffe	market for transport, freight, lorry, unspecified transport, freight, lorry, unspecified Cutoff, U RER	2	3	3
	Distanzen	Angabe der Distanzen: Primärdaten elka Holzwerke GmbH	1	1	1
A3	Sägelinie: Hilfsstoffe, Kraftstoffe, Strom	market for tap water tap water Cutoff, U RER	2	3	3
		market for lubricating oil lubricating oil Cutoff, U RER	2	3	3
		steel production, low-alloyed, hot rolled steel, low-alloyed, hot rolled Cutoff, U RER	2	3	5
		diesel, burned in building machine diesel, burned in building machine Cutoff, U GLO	4	3	3
		market for electricity, medium voltage electricity, medium voltage Cutoff, U DE	1	1	2
		Angabe der Mengen: Primärdaten elka Holzwerke GmbH	1	1	1
	Sägelinie: Abfälle	market for waste bulk iron, excluding reinforcement waste bulk iron, excluding reinforcement Cutoff, U CH	3	2	5
		market for waste mineral oil waste mineral oil Cutoff, U RER	2	3	3
		Angabe der Mengen: Primärdaten elka Holzwerke GmbH	1	1	1
	Sägelinie: Infrastruktur	sawmill construction sawmill Cutoff, U RER	2	1	5
		chipper production, stationary, electric chipper, stationary, electric Cutoff, U RER	2	1	5
		Angabe der Mengen (generische Daten) nach Althaus, H. J., sawmill construction, Europe without Swizerland, Allocation, cut-off by classification, EuGeos' 15804_A2-IA databased based on ecoinvent version 3.6 und Althaus, H. J., chipper production, stationary, electric, RER, Allocation, cut-off by classification, EuGeos' 15804_A2-IA databased based on ecoinvent version 3.6	2	1	5

Trocknung: Wärmerzeugung, Kraftstoffe, Hilfsmittel, Strom	heat production, softwood chips from forest, at furnace 300kW heat, district or industrial, other than natural gas Cutoff, U CH	3	1	3
	heat production, light fuel oil, at industrial furnace 1MW heat, district or industrial, other than natural gas Cutoff, U RER	2	1	5
	diesel, burned in building machine diesel, burned in building machine Cutoff, U GLO	4	3	3
	market for electricity, medium voltage electricity, medium voltage Cutoff, U DE	1	1	2
	Angabe der Mengen: Primärdaten elka Holzwerke GmbH	1	1	1
Trocknung: Abfälle	market for waste mineral oil waste mineral oil Cutoff, U RER	2	3	3
	Angabe der Menge: Primärdaten elka Holzwerke GmbH	1	1	1
Trocknung: Infrastruktur	technical wood drying facility construction technical wood drying facility Cutoff, U RER	2	1	5
	Angabe der Mengen: generischer Mittelwert nach Werner, F., board/beam/lath, softwood/hardwood, raw, kiln drying to u=10/20%, CH, Allocation, cut-off by classification, EuGeos' 15804_A2-IA databased based on ecoinvent version 3.6	3	1	3
Trocknung, direkte Emissionen	Berechnung der Emissionen nach Wagner et al. 2009	2	2	4
Weiterverarbeitung: Wärmerzeugung, Kraftstoffe, Hilfsmittel, Strom	heat production, untreated waste wood, at furnace 1000-5000 kW waste wood, untreated Cutoff, U RER	2	1	5
	heat production, softwood chips from forest, at furnace 300kW heat, district or industrial, other than natural gas Cutoff, U CH	3	1	3
	diesel, burned in building machine diesel, burned in building machine Cutoff, U GLO	4	3	3
	market for electricity, medium voltage electricity, medium voltage Cutoff, U DE	1	1	2
	steel production, low-alloyed, hot rolled steel, low-alloyed, hot rolled Cutoff, U RER	2	3	5
	market for lubricating oil lubricating oil Cutoff, U RER	2	3	3
	propane, burned in building machine propane, burned in building machine Cutoff, GLO	4	3	5
Weiterverarbeitung: Abfälle	Angabe der Mengen: Primärdaten elka Holzwerke GmbH	1	1	1
	market for waste mineral oil waste mineral oil Cutoff, U RER	2	3	3
Weiterverarbeitung: Infrastruktur	Angabe der Mengen: Primärdaten	1	1	1
	wooden board factory construction, organic bonded boards wooden board factory, organic bonded boards Cutoff, U RER	2	1	5
Weiterverarbeitung: direkte Emissionen	Angabe der Menge nach Althaus, H. J., glued laminated timber production, for indoor/outdoor use, RER, Allocation, cut-off by classification, EuGeos' 15804_A2-IA databased based on ecoinvent version 3.6	2	1	5
	Berechnung der Emissionen nach RÜTER & DIEDERICHS (2012)	1	3	4
Verpackung	market for packaging film, low density polyethylene packaging film, low density polyethylene Cutoff, U GLO	4	1	5
	sealing tape production, aluminium/PE, 50 mm wide sealing tape, aluminium/PE, 50 mm wide Cutoff, U RER	2	1	5

9 Anhang

		market for polyethylene terephthalate, granulate, amorphous polyethylene terephthalate, granulate, amorphous Cutoff, U GLO	4	1	5
		EUR-flat pallet production EUR-flat pallet Cutoff, U	2	1	5
		market for corrugated board box corrugated board box Cutoff, U RER	2	1	4
		Angabe der Mengen: Primärdaten elka Holzwerke GmbH	1	1	1
C1	Container, Wasserverbrauch, Maschinenarbeitsstunden	metal working, average for steel product manufacturing metal working, average for steel product manufacturing Cutoff, U - RER	2	1	5
		tin plated chromium steel sheet production, 2 mm tin plated chromium steel sheet, 2 mm Cutoff, U - RER	2	1	5
		market for tap water tap water Cutoff, U	2	1	3
		machine operation, diesel, >= 74.57 kW, low load factor machine operation, diesel, >= 74.57 kW, low load factor Cutoff, U	3	1	3
		Angabe der Mengen: Durchschnittsdaten nach IVANICA et al. (2022), mengengewichtet nach MANTAU et al. (2013)	1	2	1
C2	Transport zum Entsorger	market for transport, freight, lorry, unspecified transport, freight, lorry, unspecified Cutoff, U RER	2	1	1
		Angabe der Distanz: pauschale Annahme entsprechend RÜTER & DIEDERICH (2012)	1	1	3
C3	Abfallwirtschaft	treatment of waste wood, post-consumer, sorting and shredding wood chips, from post-consumer wood, measured as dry mass Cutoff, U RER (modification: deleted "Carbon dioxide, in air" and "waste wood, post-consumer" input flow; added "Carbon dioxide, in air" output flow)	2	1	5
		Angabe der Mengen: Primärdaten	1	1	1
D	Verwertung Verpackung: energetisch	treatment of waste sealing sheet, polyethylene, municipal incineration with fly ash extraction waste sealing sheet, polyethylene Cutoff, U CH	3	1	3
		treatment of used sealing tape, aluminium/PE, 50 mm wide used sealing tape aluminium/PE, 50 mm wide Cutoff, U CH	3	1	5
		treatment of waste paperboard, municipal incineration with fly ash extraction waste paperboard Cutoff, U CH	3	1	3
		treatment of waste polyethylene, municipal incineration with fly ash extraction waste polyethylene Cutoff, U CH	3	1	3
		Angabe der Mengen: Primärdaten elka Holzwerke GmbH	1	1	1
	Verwertung Verpackung: stofflich (Substitution)	EUR-flat pallet production EUR-flat pallet Cutoff, U RER	2	1	5
		Angabe der Mengen: Primärdaten	1	1	1
	Verwertung Produkt: energetisch	heat and power co-generation, wood chips, 6667 kW, state-of-the-art 2014 electricity, high voltage Cutoff, U DE	1	1	2
		heat and power co-generation, wood chips, 6667 kW, state-of-the-art 2014 heat, district or industrial, other than natural gas Cutoff, U DE	1	1	2
		Angabe der Mengen: Primärdaten elka Holzwerke GmbH	1	1	1
		market for electricity, medium voltage electricity, medium voltage Cutoff, U DE	1	1	2

9 Anhang

Gutschriften für produzierten Strom und produzierte Wärme	market for heat, district or industrial, natural gas heat, district or industrial, natural gas Cutoff, U, Europe without Swizerland	2	1	3
	Angabe der Mengen und Datenqualität entsprechend dem jeweils verwendeten energetischen EuGeos' 15804_A2-IA Verwertungsprozess im Modul D	1	1	1
Verwertung Produkt: stofflich	market for wood chips, dry, measured as dry mass wood chips, dry, measured as dry mass Cutoff, U RER	2	2	3
	Angabe der Mengen: Primärdaten elka Holzwerke GmbH	1	1	1