

Ökobilanz-Daten für die Erstellung von Fertighäusern in Holzbauweise

Hermann Achenbach und Sebastian Rüter

Thünen Report 38

Bibliografische Information:
Die Deutsche Nationalbibliothek
verzeichnet diese Publikationen
in der Deutschen National-
bibliografie; detaillierte
bibliografische Daten sind im
Internet unter
www.dnb.de abrufbar.

Bibliographic information:
The Deutsche Nationalbibliothek
(German National Library) lists
this publication in the German
National Bibliography; detailed
bibliographic data is available on
the Internet at www.dnb.de

Bereits in dieser Reihe erschie-
nene Bände finden Sie im Inter-
net unter www.thuenen.de

Volumes already published in
this series are available on the
Internet at www.thuenen.de

Zitationsvorschlag – Suggested source citation:

Achenbach H, Rüter S (2016) Ökobilanz-Daten für die Erstellung von
Fertighäusern in Holzbauweise. Braunschweig: Johann Heinrich von
Thünen-Institut, 128 p, Thünen Rep 38,
DOI:10.3220/REP1456994776000

Die Verantwortung für die
Inhalte liegt bei den jeweiligen
Verfassern bzw. Verfasserinnen.

The respective authors are
responsible for the content of
their publications.



THÜNEN

Thünen Report 38

Herausgeber/Redaktionsanschrift – *Editor/address*

Johann Heinrich von Thünen-Institut
Bundesallee 50
38116 Braunschweig
Germany

thuenen-report@thuenen.de
www.thuenen.de

ISSN 2196-2324
ISBN 978-3-86576-154-5
DOI:10.3220/REP1456994776000
urn:nbn:de:gbv:253-201603-dn056426-6

Ökobilanz-Daten für die Erstellung von Fertighäusern in Holzbauweise

Hermann Achenbach und Sebastian Rüter

Thünen Report 38

Kurzfassung

Durch Energieeinsparungen in der Nutzungsphase eines Gebäudes gewinnen Produktions-, Konstruktions- und Entsorgungsphase eines Gebäudes immer mehr an Bedeutung. Für eine ganzheitliche Nachhaltigkeitsbewertung hat das *Europäische Komitee für Normung* (CEN) daher einen horizontalen Normensatz entwickelt, der u.a. die Umweltbewertung von Bauprodukten und Gebäuden über ihren gesamten Lebensweg ermöglicht (DIN EN 15804/15978).

Um die Umweltwirkungen der Produktions- und Konstruktionsphase von in Deutschland hergestellten Bauelementen (1 m² Innen-/Außenwand, 1 m² Dachelement, 1 m² Deckenelement) sowie durchschnittlichen Fertighäusern in Holztafel- und Holzskelettbauweise zu erfassen, wurde eine Ökobilanzierung gemäß den aktuellen Europäischen Normen durchgeführt. Die erarbeiteten Ökobilanzdaten repräsentieren den Durchschnitt von 12 Mitgliedsunternehmen des *Bund Deutscher Fertigbau e.V.* (BDF). Neben der Bereitstellung durchschnittlicher Ökobilanzdaten liegt ein methodischer Fokus der Arbeit auf der Anwendung der modularen Lebenszyklusbetrachtung nach DIN EN 15804/15978 auf ein Konstruktionssystem mit hohem Vorfertigungsgrad.

Um den Anforderungen von DIN EN 15804 gerecht zu werden, mussten die Sachbilanzdaten der deklarierten/funktionellen Einheiten auf Basis von Jahresdaten der einzelnen Werkstandorte berechnet werden. Die größte Herausforderung bestand somit darin, ein Modell zu entwickeln, das die jährlichen auf Werksebene auftretenden Input- und Outputflüsse auf die deklarierten/funktionellen Einheiten umrechnet.

Im Ergebnis besitzen die ermittelten Datensätze eine hohe Repräsentativität und decken 37 % der gesamtdeutschen Produktion von Fertighäusern in Holzbauweise ab. Die Normierung auf gesamtdeutsche Umweltwirkungen zeigt, dass die durch die betrachteten Produktsysteme hervorgerufenen Beiträge zu den Wirkungskategorien *Globale Erwärmung*, *Versauerung* von Boden und Wasser und Verknappung von *abiotischen Ressourcen* am bedeutendsten sind. Die höchsten Anteile an den Umweltwirkungen von Holzfertighäusern hat die Herstellung der Bauprodukte (Modul A1). Die Herstellung der Bauelemente (Modul A3), der Transport zur Baustelle (Modul A4) und die Prozesse auf der Baustelle (Modul A5) tragen zusammen durchschnittlich 30 % zu den gesamten Umweltwirkungen bei.

Der vorliegende Projektbericht erfüllt die Anforderungen an eine transparente Ökobilanz und wurde gemäß Abschnitt 6.1/6.2 der DIN EN 14044 extern, kritisch geprüft (siehe Anhang). Die erzielten Ergebnisse können daher in die vom *Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit* bereitgestellten ökologischen Datenbanksysteme *ÖKOBAU.DAT* und *WECOBIS* übertragen werden. Mit dem entwickelten Modell lassen sich zukünftig firmen- und hausspezifische Ökobilanzen erstellen. Zudem kann in regelmäßigen Abständen eine Aktualisierung der Durchschnittsergebnisse erfolgen, deren Verschneidung mit bauspezifischen Daten des *Statistischen Bundesamtes* ein fortlaufendes Umweltmonitoring des Sektors ermöglicht.

Schlüsselwörter: Ökobilanzierung, Holzgebäude, Fertigbau, Datenerhebung, Nachhaltiges Bauen

Abstract

Energy savings in the use phase of a buildings' life cycle increased the relative importance of the environmental impacts of the product-, construction- and end-of-life stages of a building. Thus, the *European Committee for Standardization* (CEN) has developed a set of horizontal standards that enables the sustainability assessment of construction works including the evaluation of associated environmental impacts of building products and buildings over its entire life cycle (EN 15804/15978).

Consistent with the European state-of-the-art standards a life cycle assessment (LCA) was carried out to determine the environmental impact of the production and construction stage of building elements (1 m² inner/outer wall, 1 m² roof element, 1 m ceiling element) and an average pre-fabricated timber house produced in Germany. Besides the supply of average LCA-data methodical aspects are discussed. A particular focus was set on the application of the modular life cycle-principle according to EN 15804/15978 to construction systems with a high level of pre-fabrication.

In order to be in line with EN 15804 the life cycle inventories (LCI) of the declared/functional units had to be calculated by annual data of each factory site (house manufactories). Thus, the main challenge was to develop a model that calculates the annual input- and output-flows to the defined declared/functional units on factory level.

The LCA-data represents the average of 12 companies belonging to the *Bund Deutscher Fertigbau e.V.* (BDF), covering 37 % of the total German production, which ensures the high representativeness of the study. The normalization to the overall German impacts shows that the contributions to the environmental categories *global warming*, *acidification* and to the *abiotic resource depletion* are most important. The highest environmental impacts associated with pre-fabricated wooden houses are caused by the manufacturing of the building materials (module A1). However, on average, the pre-fabrication of the building elements (A3), their transport (A4) and the processes at the construction site (A5) contribute around 30 % of the total environmental impacts.

This project report meets the requirements for a transparent LCA and was externally reviewed in accordance with section 6.1 / 6.2 of DIN EN 14044 (see annex). The results can therefore be transferred to the environmental databases *ÖKOBAU.DAT* and *WECOBIS* which are provided by the *German Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation, Construction and Nuclear Safety*. In future the model can be used to conduct company and building-specific LCAs. Moreover a regular update of the average results and its intersection with construction-specific data from the *German Federal Statistical Office* enable a continuous environmental monitoring of the sector.

Keywords: Life cycle assessment, timber houses, prefabricated construction, data collection, sustainable building

Inhalt

Kurzfassung	ii
Abstract	iii
1 Projektdarstellung	1
1.1 Hintergrund und Zielsetzung	1
1.1.1 Nachhaltiges Bauen	1
1.1.2 Der Holzfertigbau im Kontext des Nachhaltigen Bauens	2
1.1.3 Ziele der Studie	4
1.1.4 Kritische Prüfung	4
1.1.5 Verwendung der Daten und Erkenntnisse	4
1.2 Der Holzfertigbau in Deutschland	5
1.2.1 Anteile des Holzfertigbaus im Wohnungsbau	5
1.2.2 Holzrahmen-/Holztafelbauweise	6
1.2.3 Skelettbauweise	7
1.3 Literatur zu Ökobilanzen von Häusern in Holzbauweise im Kontext des Untersuchungsrahmens	8
1.4 Ablaufplanung	10
2 Methodik und Vorgehensweise	12
2.1 Normativer Rahmen der Studie	12
2.1.1 Ökobilanzierung nach DIN EN ISO 14040/44	12
2.1.2 Ökobilanzierung für Bauprodukte und Gebäude nach europäischer Normung	14
2.2 Beschreibung des Produkts und seiner Herstellung	15
2.2.1 Bauelemente im Holzbau und Konstruktionsmerkmale des Holzskelettbaus	15
2.2.2 Produktion der Bauteilflächen im Werk	21
2.2.3 Errichtung auf der Baustelle	21
2.3 Funktionelle/Deklarierte Einheiten	22
2.3.1 Funktionelle Einheit auf Gebäudeebene	22
2.3.2 Deklarierte Einheiten auf Bauelementebene	24
2.4 Systemgrenze und Einteilung in Module	25
2.4.1 Beschreibung der berücksichtigten Module	27
2.4.2 Systemgrenze bei Sekundärmaterialien und Sekundärstoffen	29
2.4.3 Allokation	30
2.4.4 Abschneidekriterien	30
2.5 Primärdatenerhebung	31
2.6 Plausibilitätsprüfung und Vorgehensweise der Datenanpassung	31
2.7 Verteilung der Gesamtaufwendungen auf die Sachbilanzen	32
2.7.1 Berechnung werksspezifischer Sachbilanzen zu den funktionellen Einheiten	32

2.7.2 Berechnung der Sachbilanzen für die Durchschnittsbaulemente und das Durchschnittshaus der Projektpartner	34
2.8 Verwendete Software und Hintergrunddaten	35
2.9 Methodik zur Abschätzung der Umweltwirkungen	36
3 Ergebnisse	37
3.1 Transportdistanzen und Holzherkunft	37
3.2 Funktionelle Einheit auf Gebäudeebene	38
3.2.1 Sachbilanzergebnisse und Umweltwirkungen eines Hauses in Holztafelbauweise	40
3.2.2 Sachbilanzergebnisse und Umweltwirkungen eines Hauses in Holzskelettbauweise	45
3.3 Deklarierte Einheiten auf Bauelementebene	50
3.3.1 Außenwandelement in Holztafelbauweise	50
3.3.2 Außenwandelement in Holzskelettbauweise	55
3.3.3 Innenwandelement in Holztafelbauweise	60
3.3.4 Innenwandelement in Holzskelettbauweise	64
3.3.5 Dachelement zur Holztafelbauweise	68
3.3.6 Dachelement zur Holzskelettbauweise	73
3.3.7 Deckenelement in Holztafelbauweise	78
3.3.8 Deckenelement in Holzskelettbauweise	82
4 Ergebnisdiskussion	88
4.1 Plausibilität der erhobenen Rohdaten und Datenanpassung	88
4.2 Qualität und Repräsentativität der ermittelten Daten	89
4.3 Sensitivitätsanalyse auf Datenunsicherheit	91
4.4 Sachbilanzergebnisse verschiedener Konstruktionen, berechnet über die Wohnfläche und den Bruttonauminhalt	92
4.5 Einordnung der Ergebnisse	93
4.6 Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse	95
4.6.1 Verwendung der Daten im Informationssystem WECOBIS und der Baustoffdatenbank ÖKOBAU.DAT	96
4.6.2 Weitere Anwendung des erstellten Ökobilanzmodells	96
Abkürzungsverzeichnis	99
Abbildungsverzeichnis	100
Tabellenverzeichnis	102
Literaturverzeichnis	106
Anhang: Kritische Prüfung (Critical Review)	109

1 Projektdarstellung

1.1 Hintergrund und Zielsetzung

In den letzten Jahren hat das Thema *Nachhaltiges Bauen* auf nationaler wie internationaler Ebene immer mehr an Bedeutung gewonnen. Neben der Energieerzeugung, der Industrie und dem Verkehr ist der Bau- und Wohnsektor vornehmlich für den heutigen Ausstoß von Treibhausgasen und dem Verbrauch von Ressourcen und Energie verantwortlich, weshalb die hier liegenden Einsparpotentiale ins Zentrum der Aufmerksamkeit der Politik gerückt sind. Dies äußerte sich nicht zuletzt in Neufassungen von Gesetzen und neuen internationalen Normensätzen in diesem Bereich, die auch für die Bereitstellung und Nutzung von baustoff- und gebäudebezogenen Umweltinformationen relevant sind.

Die nachfolgenden Kapitel dienen der Einordnung des vorliegenden Ergebnisberichts in den bestehenden politischen sowie normativen Rahmen, stellen den Stand der Forschung dar und zeigen die Beweggründe der Durchführung der Studie auf.

1.1.1 Nachhaltiges Bauen

Bereits im Jahr 2001 wurde durch das damals noch verantwortliche *Bundesministerium für Bau, Verkehr und Wohnungswesen* (BMVBW) erstmalig der *Leitfaden Nachhaltiges Bauen* veröffentlicht (BMVBW, 2001), mit dem Ziel ganzheitliche Prinzipien der Nachhaltigkeit für den gesamten Lebenszyklus von Gebäuden festzulegen und der Bauwirtschaft ein wichtiges Arbeitsmittel an die Hand zu geben. Zeitgleich wurde ein bis heute zweimal jährlich stattfindender *Runder Tisch Nachhaltiges Bauen* ins Leben gerufen, der die verschiedenen Akteure des Sektors versammelt, um das Ministerium in Belangen des *Nachhaltigen Bauens* zu unterstützen und bei der Weiterentwicklung des zuletzt 2013 aktualisierten Leitfadens (BMVBS, 2013) zu beraten.

Am 26. Juni 2008 stellte der damalige Bundesbauminister Tiefensee das *Gütesiegel für nachhaltiges Bauen* (BNB-Gütesiegel) vor. Das dem Gütesiegel zugrunde liegende Bewertungssystem wurde in Zusammenarbeit mit der *Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen e.V.* (DGNB) entwickelt und stellt Kriterien mit den dazugehörigen Indikatoren für die ökologische, ökonomische und städtebauliche Qualität von Gebäuden zur Verfügung.

Mittlerweile obliegt die Umsetzung des Nachhaltigkeitsgedankens im Bauwesen in Deutschland dem *Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit* (BMUB). Für neu errichtete Bundesbauten ist die Zertifizierung mit dem BNB-Gütesiegel obligatorisch.

Parallel zur Entwicklung des BNB-Systems erfolgte im Rahmen des europäischen Normungsprozesses CEN/TC 350 eine Standardisierung bei der Nachhaltigkeitsbewertung von Gebäuden. Fiel die Auslegung der Regeln für eine adäquate Verwendung von Umweltinformationen auf Gebäudeebene häufig bis dahin unterschiedlich aus, präzisiert die aus CEN/TC 350 hervorgegangene DIN EN 15978 (CEN, 2012c) die Bewertung der umweltbezogenen Qualität von Gebäuden. Auch im Rahmen der Zertifizierung mit dem nationalen Gütesiegel des Bundes (BNB) und der DGNB ist diese Norm maßgeblich.

Ein geeignetes Instrument, um für die spätere Gebäudebewertung die Umweltwirkungen der Herstellung der verbauten Baustoffe zu beziffern, stellen Umweltproduktdeklarationen (EPDs) nach DIN EN ISO 14025 (DIN, 2011) dar. Den Kern dieser Umweltkennzeichen bilden Ökobilanz-

daten, die gemäß DIN EN ISO 14040/44 (ISO, 2006a/b) erstellt werden. Wie für die Gebäudebewertung liegen mit der ebenfalls im CEN/TC 350 Normungsprozess entstandenen DIN EN 15804 (CEN, 2014a) seit 2011 auch für EPDs von Bauprodukten spezifische Grundregeln zur Erstellung dieser Deklarationen vor.

Ein wesentliches Ergebnis des europäischen Normungsprozesses CEN/TC 350 ist die Untergliederung der Umweltinformationen in die Lebenszyklusabschnitte *Fertigstellung* (Module A), *Nutzung* (Module B), und *Ende des Lebenswegs* bzw. in ihre Submodule (Abbildung 1-1). Da die modulare Aufbereitung der Daten sowohl auf Baustoff- als auch auf Gebäudeebene erfolgt, können baustoffbezogene Ökobilanzergebnisse einzelner Lebenszyklusabschnitte damit direkt für das entsprechende Modul für die Bewertung auf Gebäudeebene verwendet werden.

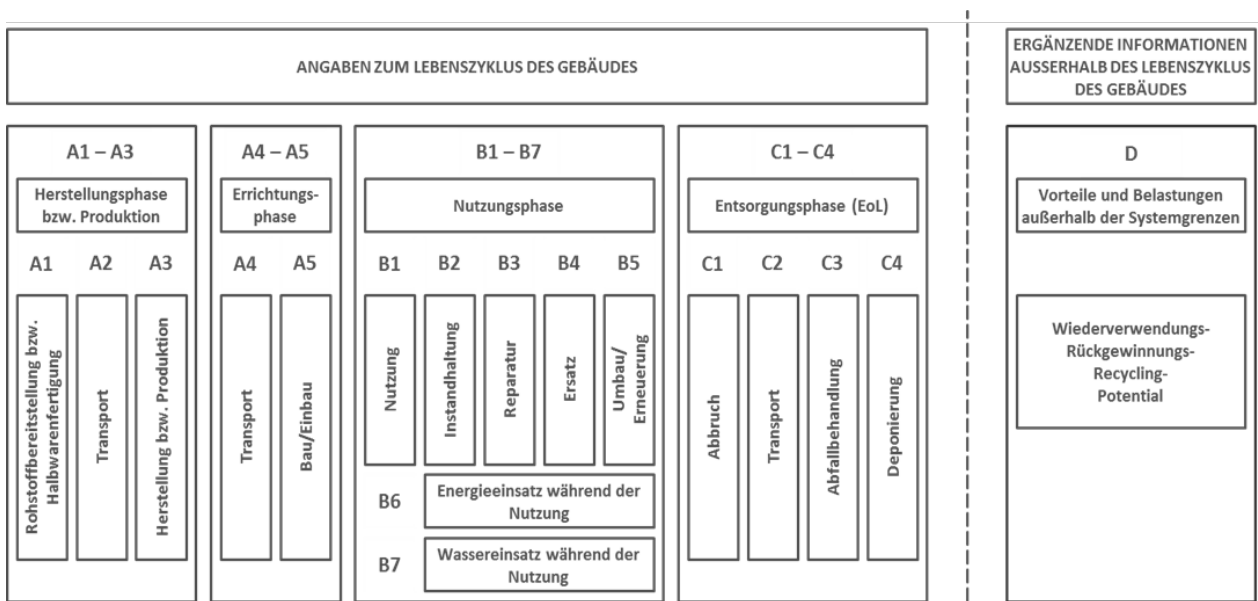


Abbildung 1-1: Einteilung der Lebenszyklusinformation in Module nach DIN EN 15804 und DIN EN 15978

1.1.2 Der Holzfertigbau im Kontext des Nachhaltigen Bauens

Werden die Bauteile im klassischen Holzbau und im Massivbau aus den einzelnen Baustoffen auf der Baustelle gefertigt, so findet im Holzfertigbau die Montage ganzer Bauteilflächen bereits im Werk des Hausherstellers statt (siehe Modul A3 in Abbildung 1-2). Durch den hohen Vorfertigungsgrad fallen die Aufwendungen zur Errichtung des Gebäudes auf der Baustelle dementsprechend geringer aus (Modul A5).

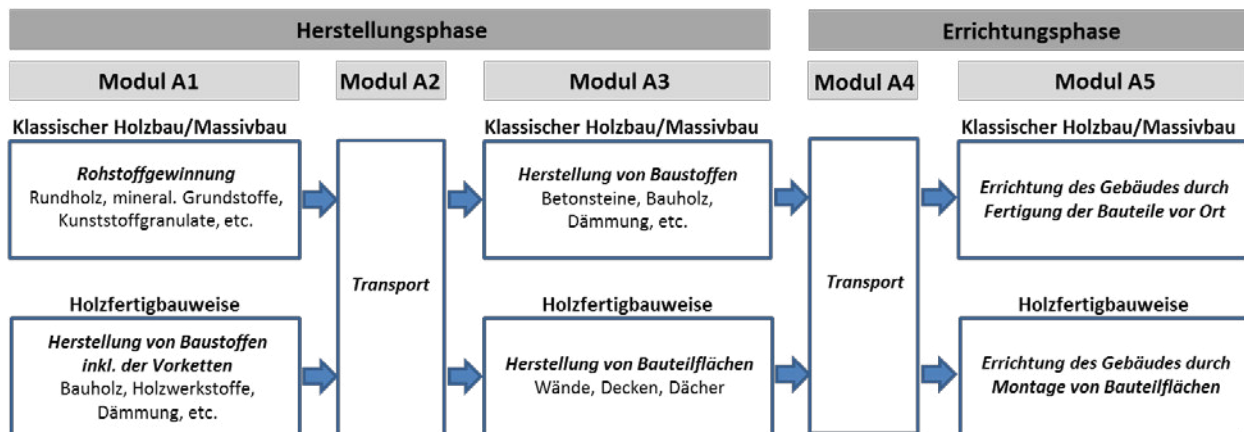


Abbildung 1-2: Lebenszyklusphasen im klassischen Holzbau/Massivbau gegenüber Lebenszyklusphasen in der Holzfertigbauweise

Gegenüber den Produktsystemen des klassischen Holzbaus/Massivbaus ergibt sich hieraus bei der Holzfertigbauweise eine andere Zuordnung von Produktionsprozessen zu den Modulen A1 und A3 der Herstellungsphase (siehe Abbildung 1-2). Während in den klassischen Bauweisen die Herstellungsphase mit der Produktion von Baustoffen wie Betonsteinen, Vollholz oder Dämmmaterialien abgeschlossen wird, endet die Herstellungsphase im Holzfertigbau mit fertigen Wand-, Dach- oder Deckenflächen. Nach der modularen Lebenszyklusaufteilung gemäß DIN EN 15804 und DIN EN 15978 enthält Modul A3 im Fall der klassischen Bauweisen somit die Umweltinformationen zur Herstellung von Baustoffen. Bei der Holzfertigbauweise hingegen, werden in Modul A3 die Umweltinformationen zur Fertigung der Bauteilflächen beim Haushersteller betrachtet. Hieraus ergibt sich, dass Modul A1 nicht nur - wie in der klassischen Bauweise - die Rohstoffgewinnung von z.B. Rundholz und mineralischen Grundstoffen umfasst, sondern die Produktion bis hin zu fertigen Baustoffen inklusive ihrer Vorketten. Die für die klassischen Bauweisen in den Modulen A1 und A3 getrennt ausgewiesenen Umweltinformationen sind somit beim Holzfertigbau in Modul A1 zusammengefasst.

Als Ergebnis von Ökobilanzstudien (z.B. Rüter & Diederichs, 2012) und in von der Industrie bereitgestellten EPDs¹ liegen mittlerweile Ökobilanzdaten nach DIN EN 15804 für die Herstellungsphase (Module A1-A3) von Baustoffen und Bauelementen, wie bspw. Türen und Fenster (Wenker et al., 2015, IBU, 2014b) vor, die im Fall der klassischen Holz- und Massivbauweisen durch Aufsummierung der Ökobilanzdaten für die Bewertung der Herstellungsphase auf Gebäudeebene genutzt werden können. Wie oben aufgezeigt, muss jedoch zur Ermittlung der Umweltwirkungen der Herstellungsphase im Holzfertigbau zusätzlich zur Addition der Baustoffdaten auch die Herstellung der jeweiligen Bauteilflächen im Werk des Fertighausherstellers berücksichtigt werden, die in diesem Fall durch das Modul A3 beschrieben wird. Weiterhin kennzeichnendes Merkmal des Holzfertigbauprozesses sind die durch den hohen Vorfertigungsgrad bedingten, reduzierten Aufwendungen bei der Hauserrichtung auf der Baustelle (Modul A5).

¹ vgl. <http://bau-umwelt.de/hp1/Startseite.htm>

1.1.3 Ziele der Studie

Ziel des Projekts war die Erarbeitung normkonformer und für Deutschland repräsentativer Ökobilanz-Datensätze für durchschnittliche Fertighäuser in Holztafel- und Holzskelettbauweise sowie ihre Wand-, Dach- und Deckenelemente. Die so gewonnenen Datensätze sollten für die Nachhaltigkeitsbewertung im Baubereich anwendbar sein (vgl. Kap. 1.1.5).

Um die Umsetzung der normativen Vorgaben im Bereich des *Nachhaltigen Bauens* für den Fertighausbereich überhaupt anwenden zu können (vgl. Kap. 1.1.2), war zunächst eine Methode zu entwickeln, die eine Verteilung der auf Unternehmens- bzw. Werksebene auftretenden Aufwendungen (u.a. Stoff- und Energieflüsse) auf das definierte Produktsystem *Fertighaus in Holzbauweise* bzw. dessen Bauelemente erlaubt. Daher fokussierte sich die Primärdatenerhebung auf die Produktionsprozesse ausgesuchter Partnerunternehmen aus der Deutschen Holzfertighausindustrie. Hierbei sollte die gesamte Herstellungs- und Errichtungsphase inklusive der dazugehörigen Vorketten (Module A1-A5) berücksichtigt werden (*cradle to gate*).

Das für die Ermittlung der Durchschnittsdatsätze zu erstellende Ökobilanzmodell sollte zudem parametrisiert werden, so dass zum einen die normkonforme Berechnung individueller Gebäude und zum anderen eine fortlaufende Aktualisierung der Durchschnittsdaten ermöglicht wird.

1.1.4 Kritische Prüfung

Die durchgeführte Ökobilanz unterlag einer externen kritischen Prüfung gemäß der Kapitel 6.1 und 6.2 aus DIN EN ISO¹14044. Zudem wurde die Konformität zu DIN¹EN¹15804 und DIN¹EN¹15978 überprüft. Der Prüfbericht findet sich im Anhang der Studie.

1.1.5 Verwendung der Daten und Erkenntnisse

Die erarbeiteten den Branchendurchschnitt repräsentierenden Ökobilanzdaten können im Rahmen des *Nachhaltigen Bauens* für Gebäudebewertungen nach BNB- und DGNB-System Verwendung finden. Die Nutzbarmachung hierfür kann über die Bereitstellung der Daten in der Baustoffdatenbank *ÖKOBAU.DAT* erfolgen, welche durch das BMUB betrieben wird. Weiterhin finden die Daten Eingang in das ebenfalls durch das BMUB und die *Bayerische Architektenkammer* (ByAK) bereitgestellte webbasierte ökologische Baustoffinformationssystem *WECOBIS*, dessen Seiten *Bauprodukte aus Holz* inhaltlich durch das Thünen Institut für Holzforschung betreut werden².

Mit Beginn der zweiten Verpflichtungsperiode des Kyoto-Protokolls ab dem Jahr 2013 wurde die Einbindung der Emissionsabschätzung der stofflichen Holznutzung beschlossen, so dass Deutschland zur Berichterstattung hierüber verpflichtet ist. Die im Projektbericht explizit dargestellten holzinhärenten Kohlenstoffbilanzen liefern Informationen zur Kohlenstoffspeicherung in Holzgebäuden, die zur Verbesserung der jährlichen Berichterstattung herangezogen werden sollen.

Die Ermittlung durchschnittlicher Ökobilanzdaten erfordert zunächst die Erstellung firmenspezifischer Ökobilanzen. Diese Datensätze werden den Projektpartnern zu Verfügung gestellt und erfüllen die Anforderungen an Ökobilanzen, die für die Nachhaltigkeitszertifizierung nach den

² <http://www.wecobis.de/bauproduktgruppen/bauprodukte-aus-holz.html>

Systemen des *Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit* (BMUB) und der *Deutschen Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen* (DGNB) gelten. Ferner können die Umweltkennwerte für Energiemanagementsysteme (z.B. nach DIN EN ISO 50001 (ISO 2011)) genutzt werden.

Das erarbeitete Ökobilanzmodell soll für die Berechnung weiterer firmenspezifischer Ökobilanzen genutzt werden. Über die fortlaufende Zulieferung von Aktivitätsdaten kann gleichzeitig eine fortlaufende Aktualisierung der Datensätze, u.a. für die jährliche Treibhausgasberichterstattung, stattfinden.

Methodische Aspekte, die insbesondere die Verteilung der auf ein gesamtes Jahr bezogenen Stoff- und Materialflüsse auf Ebene der Haushersteller auf die funktionellen Einheiten Wand-, Dach- und Deckenelement sowie ein durchschnittliches Gebäude betreffen, werden in wissenschaftlichen Zeitschriften publiziert sowie auf Fachkonferenzen vorgetragen und diskutiert.

1.2 Der Holzfertigbau in Deutschland

Die nachfolgenden Kapitel sollen die Bedeutung des Holzfertigbaus im Bausektor aufzeigen (1.2.1) und die durch die vorliegende Studie abgedeckten Konstruktionsprinzipien der Holztafel- und Skelettbauweise erläutern (1.2.2-1.2.3). Die detaillierte Darstellung repräsentativer Materialzusammensetzungen und Eigenschaften von Holzhäusern in Fertigbauweise bzw. deren Bauelemente Außenwand, Innenwand, Decke und Dach findet sich in den Kapiteln 3.2 und 3.3.

1.2.1 Anteile des Holzfertigbaus im Wohnungsbau

Im Wohnungsbau lag der Anteil der Fertigteilbauweise in den Jahren von 2008 bis 2012 zwischen 13 % und 14 %. Der weitaus größte Anteil hiervon wurde in Fertigbauelementen in Holzbauweise gefertigt (Tabelle 1-1).

Im gesamten Holzbaubereich (inkl. Fertigteilbau) werden vorrangig Häuser mit einer Wohneinheit errichtet. So wurden bspw. im Jahr 2012 insgesamt 15.031 Holzhäuser fertiggestellt, von denen 13.822 Häuser eine Wohneinheit beinhalten (StBA, 2013).

Tabelle 1-1: Baufertigstellungen von Wohngebäuden in Deutschland zwischen 2008 und 2012

Gebäudeart	2008	2009	2010	2011	2012
Wohngebäude insgesamt (Anzahl)	94415	82595	84340	96549	100816
Wohngeb. in Fertigteilbauweise (Anzahl)	12705	11422	11 753	13224	14007
Anteile der Fertigteilbauweise	13,5%	13,8%	13,9%	13,7%	13,9%
Wohngeb. in Holzfertigteilbauweise (Anzahl)	10617	9736	10099	11589	12408
Anteile der Holzfertigteilbauweise	11,2%	11,8%	12,0%	12,0%	12,3%

Quelle: Statistisches Bundesamt 2009-2013

1.2.2 Holzrahmen-/Holztafelbauweise

Die in den 1970er Jahren in Deutschland wiederentdeckte Holzrahmenbauweise kennzeichnet sich durch jeweils mehrschichtig aufgebaute und miteinander verbundene Wand, Decken – und Dachelemente, deren Tragfähigkeit durch Konstruktionshölzer bzw. Plattenwerkstoffe gewährleistet wird. Grundsätzlich kann bei den Bauelementen in folgende, unterschiedliche Funktionen erfüllende Schichten unterschieden werden (Informationsdienst Holz, 2009).

- **Holzrahmen oder -balken**, zum horizontalen und vertikalen Lastabtrag
- **Beplankung**, zur Aussteifung und als Funktionsschicht (Brandschutz, Wind-/Luftdichtung, ggf. Witterungsschutz)
- **Dämmung im Hohlraum**, zum Wärme-, Schall- und Brandschutz

Der Holzrahmen wird bspw. bei Außenwänden gebildet durch Vertikalkräfte abtragende Ständer sowie obere und untere Querhölzer gleichen Querschnitts (Schwelle und Rähm), deren Aussteifung mittels einer mindestens einseitig kraftschlüssig aufgetragenen Beplankung aus Plattenwerkstoffen erfolgt. Der zwischen Beplankung und Ständerwerk entstandene Hohlraum wird mit Dämmmaterialien gefüllt.

Die kraftschlüssig miteinander verbundenen Wand-, Decken- und Dachtafeln bilden einen aussteiften Baukörper. Im Gegensatz zum Skelettbau sind beim Holzrahmenbau tragende Elemente zugleich auch immer raumabschließend.

Bei der konventionellen diffusionsgeschlossenen Bauweise erfolgt die Anordnung der aussteifenden Beplankung auf der Außenseite des lastabtragenden Holzrahmens. Innenseitig übernimmt eine Folie die Funktion der Dampfsperre und Winddichtheit.

Bei der Anfang der 1990er Jahre entwickelten diffusionsoffenen Bauweise, wird die aussteifende Beplankung auf der Innenseite des lastabtragenden Holzrahmens angeordnet. Die Beplankung übernimmt die Funktion einer Dampfbremse und sorgt für die entsprechende Luftdichtheit der Gebäudehülle.

Als Materialien für die Beplankung eignen sich sowohl Holzwerkstoffplatten wie OSB,- Span,- Sperrholz,- MDF-Platten als auch Gipswerkstoffplatten. Letztgenannte fungieren häufig als tragfähiger Untergrund für ein Wärmedämm-Verbundsystem (WDVS) (Informationsdienst Holz, 2009).

Im Fertigbau wird ein ähnlicher Bauelementaufbau wie im Holzrahmenbau gefertigt. Da flächige, selbsttragende Großtafeln die Werkshallen der Haushersteller zumeist fertig verlassen, ist hier jedoch auch von Holztafelbauweise die Rede. Im Kontext der vorliegenden Studie werden die Begriffe synonym verwendet.

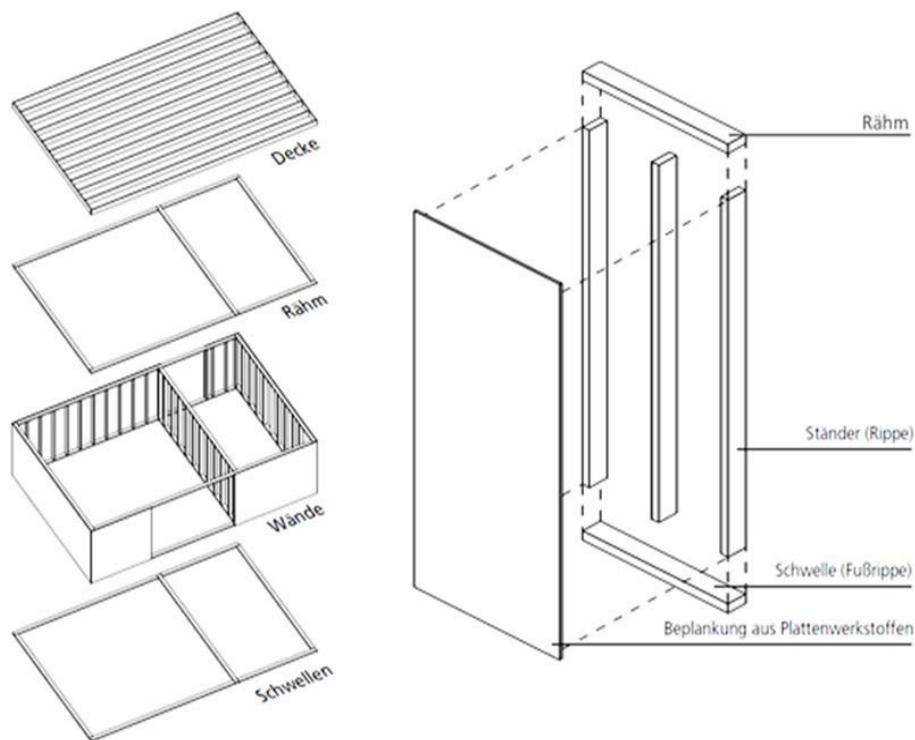


Abbildung 1-3: a) Charakteristische Elemente der Holzrahmenbauweise b) Aufbau einer Wand in Holzrahmenbauweise mit den Rahmenelementen Rähm, Ständer und Schwelle sowie einseitiger Beplankung. Die den Hohlraum zwischen Beplankung und Rahmen ausfüllende Dämmung ist nicht abgebildet; modifiziert nach Informationsdienst Holz, 2009

1.2.3 Skelettbauweise

Moderne Skelettbaukonstruktionen werden in Europa seit Mitte der 1960er Jahre errichtet.

Während beim Holzrahmenbau Bauelemente hergestellt werden, bei denen es keine Trennung zwischen raumabschließenden und tragenden Eigenschaften gibt, findet der Lastabtrag beim Holzskelettbau über stabförmige Tragglieder statt, die unabhängig von den raumabschließenden Elementen sichtbar bleiben können (Informationsdienst Holz, 1998).

Im Gegensatz zum Holzrahmenbau übernimmt die Beplankung beim Holzskelettbau keine tragenden Eigenschaften, so dass der Schichtaufbau nicht an Tragfähigkeitseigenschaften geknüpft ist und prinzipiell keinen Unterschied zur Holzrahmenbauweise aufweist.

Für Holzhäuser in Skelettbauweise ist charakteristisch, dass große Spannweiten durch eine offene Tragstruktur überbrückt werden können und so im Ein- und Zweifamilienhausbau großflächige Außenwandverglasungen möglich werden (Informationsdienst Holz, 1998).

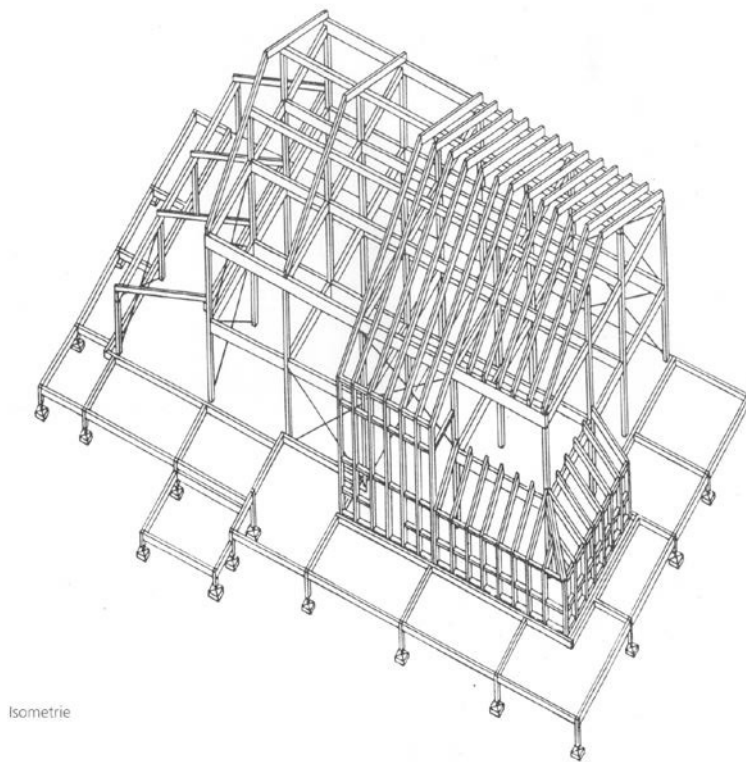


Abbildung 1-4: Hauskonstruktion in Skelettbauweise; Quelle: Informationsdienst Holz 1998

1.3 Literatur zu Ökobilanzen von Häusern in Holzbauweise im Kontext des Untersuchungsrahmens

Die Vorstellung bestehender Literatur soll einen Überblick über die für wissenschaftliche Publikationen angewendeten Ansätze zur Ermittlung der Umweltwirkungen von Holzhäusern geben. Um die vorliegende Arbeit im Kontext der vorhandenen Veröffentlichungen einordnen zu können, werden neben der Beschreibung des jeweils betrachteten Produkts, insbesondere die Festlegung von Systemgrenzen aufgezeigt. Alle im Folgenden genannten Studien wurden gemäß DIN EN ISO 14040-43 (ISO, 1997, 1998, 2000a, 2000b) oder DIN EN ISO 14040/44 (ISO, 2006a, b) durchgeführt.

Studien zu mehrgeschossigen Gebäuden verschiedener Nutzung

John et al. (2008) verglichen die Umweltwirkungen verschiedener Konstruktionsoptionen (Beton, Stahl, und Holzkonstruktionen) anhand eines während der Durchführung der Studie im Bau befindlichen achtgeschossigen neuseeländischen Laborgebäudes. Sowohl Herstellung, Errichtung, Nutzung als auch Entsorgung des Gebäudes wurden hierbei berücksichtigt.

Im Rahmen eines auf das BNB- und DGNB-Nachhaltigkeitszertifizierungssystem bezogenen Benchmarkings führten König & Cristofaro (2012) Ökobilanzierungen für Gebäude mit mehreren Wohneinheiten und in verschiedensten Konstruktionsweisen durch. Hierbei wurden die Lebenszyklusphasen Herstellung, Errichtung, Nutzung und Entsorgung gemäß DIN EN 15978 (CEN, 2012c) betrachtet. Als für Deutschland repräsentative Konstruktion für den Baustoff Holz wurde die Holzrahmenbauweise ausgewählt.

Penaloza et al. (2013) publizierten - ebenfalls gemäß DIN EN 15978 sowie DIN EN 15804 (CEN, 2014a) - Ökobilanzierungen für verschiedene Holzbaukonstruktionen anhand eines in Holzleichtbauweise ausgeführten Fallbeispiels. Für einen Vergleich wurde das Gebäude in Modulbauweise (beim Haushersteller vorgefertigte und bereits zu Raumeinheiten zusammengesetzte Elemente) sowie in zwei weiteren brettsperrholz- und brett-schichtholzbasierten Ausführungen entworfen. Der Ökobilanzvergleich bezog sich jeweils auf den gesamten Lebenszyklus.

Takano et al. (2015) führten eine Ökobilanz eines 4 stöckigen Hauses in Holzfertigbauweise nach DIN EN 15978, DIN EN 15804 sowie EN 16485 (CEN, 2014b) durch. Hierbei bestimmten sie die Umweltwirkungen für die Herstellung, Errichtung, Nutzung und Entsorgung des Gebäudes. Im Gegensatz zur unter Kapitel 1.1.2 gewählten Zuordnung der Vorfertigungsaufwendungen im Werk des Hausherstellers zu Modul A3 untergliederten Takano et al. (2015) die Errichtungsphase (Module A4-A5) in die Module *A4-A5: Prefabrication* sowie *A4-A5: Onsite*. Die Vorfertigung wurde somit nicht als Teil der Herstellungsphase sondern als Teil der Errichtungsphase betrachtet und getrennt von den Transporten der Bauteilflächen zur Baustelle sowie der Baustelle selbst ausgewiesen.

Studien zu Einfamilienhäusern

Peuportier (2001) stellte einen den gesamten Lebenszyklus (Herstellung der Bauprodukte, Baustelle, Nutzung, Entsorgung) berücksichtigenden Ökobilanzvergleich anhand für den französischen Markt charakteristischer Einfamilienhäuser in Massivbauweise und Holzrahmenbauweise an.

Ein ökobilanzieller Vergleich zwischen verschiedensten Konstruktionsweisen wurde durch Schairai-Rad & Welling (2002) vorgelegt. In der für Mitteleuropa repräsentativen Studie wurden Umweltwirkungen von Einfamilienhäusern in Blockhausbauweise, Holzrahmenbauweise und konventioneller Ziegelbauweise sowie von dreigeschossigen Häusern in Holz-Stahlbauweise bzw. Stahlbauweise ermittelt. Hierbei wurde die Herstellung der Baustoffe für Wand-, Dach- und Deckenelemente sowie für den Keller berücksichtigt.

Marceau & VanGeem (2002) verglichen modellhaft ein Einfamilienhaus aus vorisolierten Betonteilen mit einem dimensionsgleichen Haus in Holzrahmenbauweise. Die Ökobilanzierungen umfassten Herstellung, Errichtung, Nutzung und Entsorgung, wobei im Fall der Nutzungsphase fünf unterschiedliche Klimate in den USA simuliert wurden. Unter Beibehaltung der Methodik erfuhr die Ergebnisse in Marceau & VanGeem (2008) eine Aktualisierung durch die Berücksichtigung neuer Hintergrunddaten.

Coelho et al. (2012) bestimmten die Umweltwirkungen eines Holzhauses in Fertigbauweise, das in Portugal hergestellt und in der Nähe von Paris errichtet wurde. Mit Ausnahme der Aufwendungen im Werk des Hausherstellers wurden alle Lebenszyklusphasen betrachtet.

Die Umweltwirkungen 7 alternativer Wandkonstruktionen von portugiesischen Einfamilienhäusern in Herstellungs-, Bau- und Nutzungsphase wurden von Monteiro & Freire (2012) verglichen. Ebenfalls zu Vergleichszwecken wurde die Wirkungsabschätzung mit drei verschiedenen Charakterisierungsmethoden durchgeführt.

Die Vorgehensweise der vorliegenden Studie ähnelt hinsichtlich vieler Aspekte der vorgestellten Literatur, insbesondere was die Berücksichtigung normativer Vorgaben betrifft (u.a. DIN EN 15978 und DIN EN 15804). Im Gegensatz zu den genannten Studien, die sich alle auf Fall-

beispiele einzelner Gebäude beziehen, gehen die in dieser Studie in den Kapiteln 3.2 und 3.3 zu findenden Zusammensetzungen der funktionellen Einheiten sowie die Sachbilanzinformationen für die Bauteilfertigung und Hauserrichtung jedoch auf umfangreiche Datenabfragen zu den Stoff- und Energieströmen von insgesamt 13 Hausherstellern zurück. Eine vergleichbar angelegte Erhebung zu jahresbezogenen Material-, Energie- und Abfallströmen in den Werken von Hausherstellern mit dem Ziel repräsentative Ökobilanzdurchschnittsdaten zu erlangen, ist den Autoren nicht bekannt. Ein Ansatz zur Verteilung von werksbezogenen Jahresproduktionszahlen auf die funktionelle Einheit *Gebäude* sowie die deklarierte Einheit *1 m² Bauelement* musste daher neu erarbeitet werden.

1.4 Ablaufplanung

Dieses Kapitel gibt einen Überblick über die Arbeitspakete bzw. deren zeitliche Abfolge.



Abbildung 1-5: Zeitlicher Ablauf der Bearbeitung der Arbeitspakete des Projekts

Es wurden vier Arbeitspakete definiert.

- Informationsphase

Die erste Projektphase umfasste die Sammlung und den Austausch von Informationen. So wurden die beteiligten Projektpartner in einem Kick-off Meeting seitens des Thünen Instituts über die Inhalte des Vorhabens in Kenntnis gesetzt. Insbesondere die Methodik der Ökobilanzierung, das geplante Vorgehen sowie das Ziel des Projektes wurden dargestellt. Darüber hinaus wurden Termine für Werksbesichtigungen vereinbart. Neben den Werksbesichtigungen diente eine Literaturrecherche zur Sammlung von Informationen über die Fertigung von Fertighäusern. Auf Basis der gesammelten Informationen konnte gegen Ende der Informationsphase mit der Primärdatenerhebung begonnen werden.

- Erhebung der Primärdaten / Berechnung der Sachbilanzen

Die Primärdatenerhebung bildete die zeitlich längste Phase des Projekts. Ausgehend von den Erkenntnissen der Werksbesichtigungen konnten erste Fragebögen erstellt werden, deren Praxistauglichkeit mittels eines Probelaufs in zwei Unternehmen getestet wurde. Nach Rücksendung durch die beiden Unternehmen erhielten auch alle übrigen Projekt-

partner diese Fragebögen, welche beispielsweise Abfragen zu produzierten Stückzahlen, Haustypen, Bauelementtypen (bspw. tragende/nicht tragende Wände, Satteldächer/Pultdächer, etc.) und Fertigungsschritten enthielten. Zwischenzeitlich wurde ein zweiter Fragebogen entworfen, ebenfalls in zwei Unternehmen getestet und im Anschluss an alle Projektbeteiligten versendet. Bezogen auf das Jahr 2009 enthielt dieser zweite Fragebogen Abfragen zu jeglichen Energie- und Stoffströmen. Auf Basis der Erkenntnisse der erhaltenen Fragebögen wurde ein Modell für die Umrechnung von Primärdaten in Sachbilanzdaten erstellt. Gegen Ende des ersten Quartals des Jahres 2014 war die Datenlage für den Beginn der Ökobilanzberechnungen hinreichend zufriedenstellend.

- Berechnung der Ökobilanzen

Ausgehend von den berechneten Sachbilanzdaten wurden mittels einer Ökobilanzsoftware Wirkungsabschätzungen für die verschiedenen funktionellen Einheiten durchgeführt.

- Erstellung des Bericht

Begleitend zur Berechnung der Ökobilanzen wurde der vorliegende Projektbericht erstellt, der die wichtigsten methodischen Aspekte dokumentiert, die Ergebnisse beinhaltet und den Wert der Arbeit im Zusammenhang mit aktuellen Entwicklungen im *Nachhaltigen Bauen* darstellt. Durch ein unabhängiges Gutachten wurde die Einhaltung des normativen Rahmens verifiziert.

2 Methodik und Vorgehensweise

Kapitel 2.1 erläutert die Methodik der Ökobilanz nach DIN EN ISO 14040/44 (ISO, 2006a, b) und beschreibt DIN EN 15804 (CEN, 2014a) sowie DIN EN 15978 (CEN, 2012c). Die letzteren beiden Normen liefern spezifische Grundregeln zur Erstellung von Ökobilanzen für Bauprodukte und Gebäude bzw. spezielle Regeln im Fall von Holz und holzbasierten Produkten im Baubereich.

Die Kapitel 2.3 und 2.4 beschreiben den Untersuchungsrahmen der Studie. Hier werden die funktionellen Einheiten als Bezugswerte der im Ergebnisteil (Kapitel 3) bestimmten Sachbilanzwerte und Umweltwirkungen festgelegt, für die Produktions- und Konstruktionsprozesse angemessene Systemgrenzen gezogen sowie lebenszyklusorientierte Modularisierungen, Allokationen, Systemraumerweiterungen und Abschneidekriterien beschrieben. Da für die Festlegung des Untersuchungsrahmens die Produkteigenschaften und ihre Herstellung maßgeblich sind, werden jene in Kapitel 2.2 zuvor beschrieben.

In den Kapiteln 2.5 bis 2.7 werden die Erfassung der für die Ökobilanz notwendigen Rohdaten, ihre Überprüfung auf Plausibilität sowie die Zuordnung dieser sich auf Jahresproduktionsmengen der Projektpartner beziehenden Daten zu den betrachteten funktionellen/deklarierten Einheiten dargestellt.

Abschließend werden die verwendeten Hintergrunddaten und die Methodik zur Abschätzung der Umweltwirkungen beleuchtet (Kapitel 2.8 und 2.9).

2.1 Normativer Rahmen der Studie

2.1.1 Ökobilanzierung nach DIN EN ISO 14040/44

Eine seit vielen Jahren national und international verwendete Methode zur ökologischen Bewertung von Produkten bietet die Ökobilanzierung nach *DIN EN ISO 14040/44 – Umweltmanagement – Ökobilanz – Grundsätze und Rahmenbedingungen/Anforderungen und Anleitungen* (ISO, 2006a/b). Durch ihre Anwendung können potentielle Wirkungen von Produkten in mit bestimmten Umweltschutzziele verbundenen Umweltkategorien (z.B. Globale Erwärmung, Photosmog, Versauerung, Eutrophierung) abgeschätzt werden. Nach DIN EN ISO 14040 ist eine Ökobilanz die „Zusammenstellung und Beurteilung der Input- und Outputflüsse und der potenziellen Umweltwirkungen eines Produktsystems im Verlauf seines Lebensweges“ (ISO, 2006a: 7). In Rede stehende Norm untergliedert eine Ökobilanz in vier – im Folgenden beschriebene – Phasen, deren Erarbeitung iterativ erfolgt (ISO, 2006b: 19). Hiermit ist gemeint, dass Ergebnisse einzelner Phasen auch in anderen Phasen der Studie Verwendung finden, was zu Ganzheitlichkeit und Konsistenz der Studie beiträgt.

1. Festlegung des Ziels und des Untersuchungsrahmens

Die Klärung des Ziels einer Ökobilanz umfasst die Angabe der beabsichtigten Anwendung, die Gründe der Durchführung, Erläuterungen zur Zielgruppe und zur Frage, ob die Ergebnisse mit der Absicht von vergleichenden Aussagen veröffentlicht werden sollen.

Abgestimmt auf diese Ziele kann dann der Untersuchungsrahmen festgelegt werden. Im Wesentlichen ist hiermit die Identifizierung und Beschreibung des zu bilanzierenden Produkts, die für die Ergebnisse gewählte Bezugseinheit (funktionale Einheit) und die Abgrenzung der Systemgrenze für die mit in die Betrachtung einfließenden Input- und Outputflüsse gemeint³ (ISO, 2006a: 22f).

2. Sachbilanzerstellung

Die Sachbilanzphase beschreibt die Datenerhebung, Datenberechnung sowie die Anwendung und Erläuterung der Zuweisung von Stoff-/Energieflüssen und Emissionen zur gewählten funktionellen Einheit. Alle sich auf das Produktsystem beziehenden Input- und Outputflüsse, die den einzelnen Prozessen des Lebensweges eines Produktes (s.g. Prozessmodule) zugeordnet werden können, werden hierfür aufgenommen. Gemäß DIN EN ISO 14040 (ISO, 2006a: 26) sind praktische Einschränkungen bei der Datenerhebung im Untersuchungsrahmen zu berücksichtigen und im Bericht der Studie aufzuführen.

Um den korrekten mengenmäßigen Bezug zur betrachteten funktionellen Einheit herzustellen, erfordert die Erstellung der Sachbilanz eine weiterführende Datenberechnung mittels der gesammelten Daten und deren Validierung. Im Fall von Systemen, die mehrere Produkte erzeugen oder verwerten, ist die Anwendung von Allokationsverfahren notwendig.

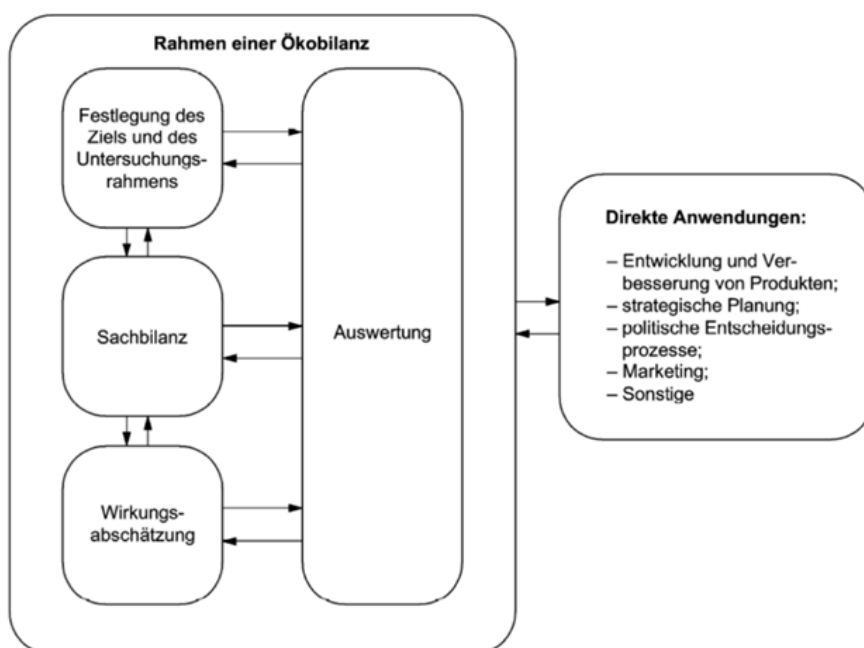


Abbildung 2-1: Die Phasen einer Ökobilanz nach DIN EN ISO 14040 (ISO 2006a)

³ Aus strukturellen Gründen ist die Erläuterung der Phase „Festlegung des Ziels und des Untersuchungsrahmens“ in der vorliegenden Studie auf die Kapitel 1.1 und 2.2-2.4 verteilt.

3. Wirkungsabschätzung

Die Wirkungsabschätzung ist die Ermittlung der potentiellen Umweltwirkungen der in der Sachbilanz erfassten Input- und Outputdaten. Hierfür sind die berechneten Sachbilanzdaten mit spezifischen Wirkungskategorien und Wirkungsindikatoren zu verknüpfen. Die Sachbilanz „kann eine iterative Prüfung des Ziels und des Untersuchungsrahmens der Ökobilanz-Studie enthalten, um festzustellen, ob die Zielsetzungen der Studie erreicht wurden, oder ob Ziel und Untersuchungsrahmen zu modifizieren sind, wenn in der Abschätzung festgestellt wird, dass sie nicht eingehalten werden können.“ (ISO, 2006a: 27).

Verbindliche Bestandteile der Wirkungsabschätzung nach DIN EN ISO 14040

- Auswahl von Wirkungskategorien, Wirkungsindikatoren und Charakterisierungsmodellen
- Zuordnung der Sachbilanzergebnisse
- Berechnung der Wirkungsindikatorwerte
- Darstellung der Wirkungsindikatorwerte

Optionale Bestandteile der Wirkungsabschätzung nach DIN EN ISO 14040

- Normierung der Ergebnisse durch Verhältnisbildungen zu Referenzwerten
- Ordnung und Gewichtung der Wirkungsindikatorwerte

4. Auswertung

Um Schlussfolgerungen zu ziehen und die Aussagekraft der Ergebnisse einzuordnen, werden abschließend die Ergebnisse der Sachbilanz und der Wirkungsabschätzung gegenübergestellt. In der Auswertung ist der Umstand widerzuspiegeln, „dass die Ergebnisse der Wirkungsabschätzung auf einem relativen Ansatz beruhen“ und daher potenzielle Umweltwirkungen angezeigt werden (ISO, 2006a: 31). In Übereinstimmung mit dem festgelegten Ziel und dem Untersuchungsrahmen der Studie soll eine schlüssige und vollständige Darstellung der Ökobilanzergebnisse erfolgen.

2.1.2 Ökobilanzierung für Bauprodukte und Gebäude nach europäischer Normung

Um eine Reihe von horizontalen Normen zu entwickeln, die die Nachhaltigkeitsbewertung von Gebäuden ermöglichen sollte, erhielt das *Europäische Komitee für Normung* (CEN) im Jahr 2005 ein Mandat von der Europäischen Union. Hierauf entwickelte der *Technische Ausschuss 350* (CEN/TC 350) harmonisierte Rahmendokumente, die alle relevanten Informationsbereiche zu ökologischen, sozialen und ökonomischen Qualitäten von Gebäuden abdecken 15643-1-4 (CEN, 2010, CEN, 2011, CEN, 2012a, b, c, CEN, 2014a,b).

Für die Bestimmung der Umweltwirkungen von Bauprodukten im Rahmen der Nachhaltigkeitsbewertung von Gebäuden erarbeitete der Normenausschuss CEN/TC 350 die Norm *DIN EN 15804 - Nachhaltigkeit von Bauwerken - Umweltproduktdeklarationen - Grundregeln für die Produktkategorie Bauprodukte* (CEN, 2014a). Diese spezifiziert für Bauprodukte die Erstellung von so genannten Produktkategorie-Regeln (PCR), welche die Mindestanforderungen für Typ III Umweltdeklarationen nach DIN EN ISO 14025 (DIN, 2011) definieren und im Kern Ökobi-

lanzen nach DIN EN ISO 14040/44 (ISO, 2006a,b) enthalten. Kennzeichnend für DIN EN ISO 15804 ist beispielsweise, dass die mit den Rohstoffeigenschaften eines Baustoffs verbundenen Vorteile durch seine Wiederverwendung, Rückgewinnung oder sein Recycling nicht mit den Aufwendungen der anderen Lebensphasen verrechnet werden, sondern als ergänzende Informationen außerhalb des Lebenszyklus des Produktes in einem eigenen Modul (Modul D) dargestellt werden (siehe Abbildung 1-1). Weiterhin legt die Norm die zu betrachtenden Umweltwirkungskategorien sowie Parameter zur Beschreibung der Ressourcennutzung und des Abfallaufkommens fest. Ein Fokus liegt hierbei auf verschiedenen Kategorien des Primärenergiebedarfs. So ist die Unterscheidung zwischen *erneuerbarer* und *nicht-erneuerbarer Primärenergie* sowie zwischen *als Energiequelle genutzte* und *als Rohstoffe verwendete Primärenergie* obligatorisch. Darüber hinaus sind Berechnungsverfahren, wie beispielsweise die Verteilung von Stoff- und Energieströmen auf die funktionelle Einheit, detailliert festgeschrieben.

Für die Bewertung der umweltbezogenen Qualität von Gebäuden entwickelte der Normenausschuss CEN/TC 350 die Norm *DIN EN 15978 - Nachhaltigkeit von Bauwerken - Bewertung der umweltbezogenen Qualität von Gebäuden - Berechnungsmethode* (CEN, 2012c). Sie sieht die gleichen Abgrenzungen der Lebenszyklusphasen vor wie DIN EN 15804 auf Bauproduktenebene (siehe Abbildung 1-1) und benennt folglich für die Bestimmung der Umweltwirkungen der Herstellungsphase als erste Option die Verwendung von DIN EN 15804-konformen Ökobilanzdatensätzen. Von besonderer Relevanz für die Gesamthöhe der Umweltwirkungen von Gebäuden sind die Energieverbräuche während der Nutzung, zu deren Bestimmung die DIN EN 15978 detaillierte Vorgaben enthält.

Da die in der vorliegenden Arbeit betrachteten funktionellen Einheiten zum einen Bauelemente (1 m² Innen-/Außenwand, 1 m² Dach und 1 m² Decke) und zum anderen ein Gebäude darstellen, sind beide genannten Normen (DIN EN 15804 und DIN EN 15978) für die Erstellung der Ökobilanzen maßgeblich.

Darüber hinaus gibt *EN 16485 (CEN, 2014b) - Rund- und Schnittholz - Produktkategorie-Regeln für Holz und Holz-Werkstoffe zur Umwelt-Produkt-Deklaration* spezielle Ökobilanzrechenregeln für holzbasierte Bauprodukte vor. Insbesondere die Verbuchung des holzhäutigen Kohlenstoffs ist hierin geregelt.

2.2 Beschreibung des Produkts und seiner Herstellung

Die nachfolgende Produkt- und Herstellungsbeschreibungen (Kapitel 2.2.1-2.2.3) sollen typische für die Ermittlung der ökobilanzierten produktionsmengengewichteten Durchschnittsbaulemente einbezogene Varianten und ihre Herstellung darstellen. Die Ausführungen erheben keinen Anspruch auf Vollständigkeit bezüglich aller von den Projektpartnern ausgeführten Systeme bzw. ihrer Produktion.

2.2.1 Bauelemente im Holzbau und Konstruktionsmerkmale des Holzskelettbbaus

Grundsätzlich setzen sich die betrachteten Holzkonstruktionen aus Außen- und Innenwandelementen sowie Decken- und Dachbauteilen zusammen. Für die Beschreibungen zum Schichtauf-

bau von Wand-, Dach- und Deckenelementen wurde auf holzrahmenbauspezifische Veröffentlichungen (BDZ, 1992; Informationsdienst Holz, 2009) zurückgegriffen, sie gelten jedoch prinzipiell auch für den Holzskelettbau. Lediglich die in den Ausführungen immer innerhalb des jeweiligen Bauelements befindlichen tragenden Stütz- und Balkenelemente können im Skelettbau auch außerhalb, das heißt anliegend oder unterlagernd ausgeführt sein.

Außenwände

Einen Überblick über typische Außenwandaufbauten im Holzrahmenbau gibt Abbildung 2-2.

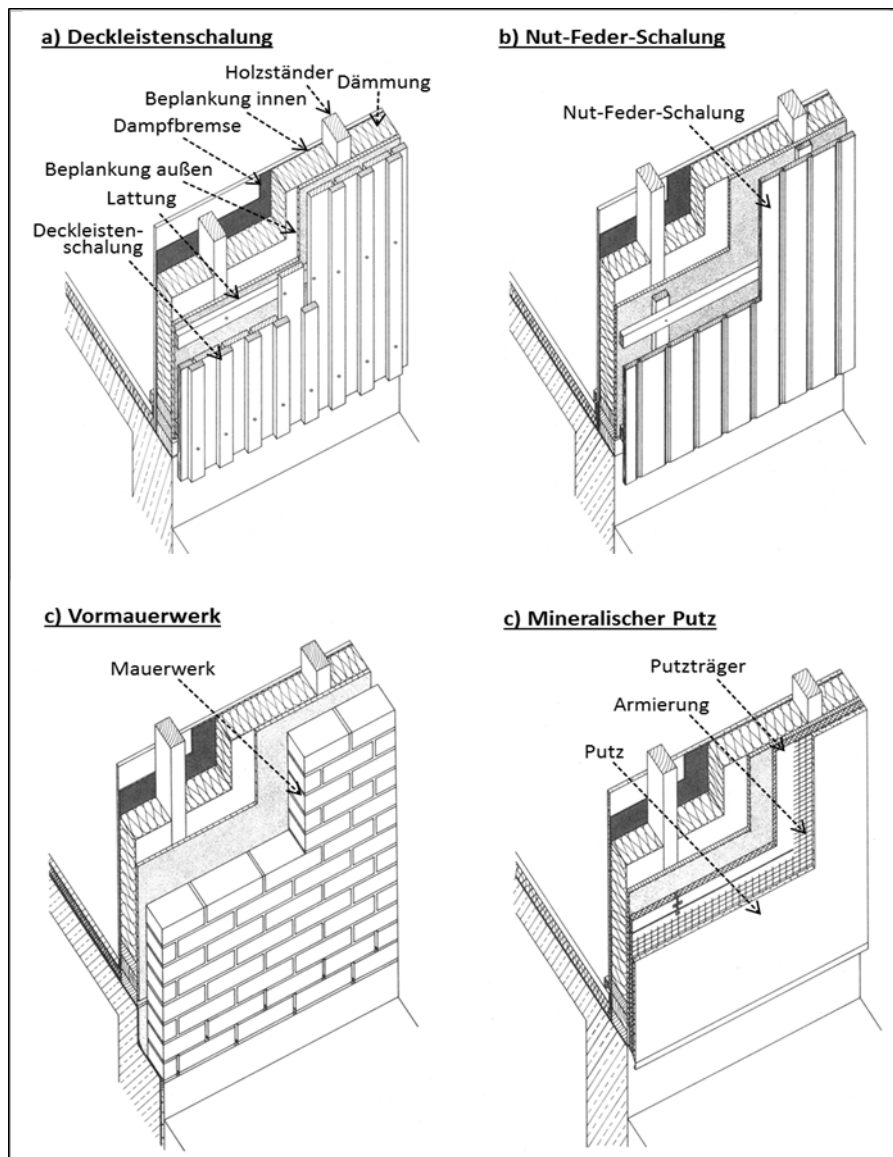


Abbildung 2-2: Typische Außenwandbeispiele im Holzrahmenbau

Alle Konstruktionen bestehen aus lastabtragenden vertikalen Holzständern, die zusammen mit Rähm und Schwelle (nicht abgebildet in Abbildung 2-2) den Holzrahmen der Wandelemente bilden. Für den Rahmen finden Vollhölzer wie kammergetrocknetes Nadel-schnittholz, Konstruktionsvollholz und Brettschichtholz Verwendung.

Die Dämmung im durch den Rahmen gebildeten Hohlraum wird zumeist durch Mineralwolle gewährleistet; alternativ kommen Holzfaserdämmstoffe oder auch vereinzelt Hobelspäne zum Einsatz.

Zur Aussteifung wird der Holzrahmen mit in der Regel organisch gebundenen Spanplatten beplankt. Alternativ kommen aber auch OSB, zementgebundene Spanplatten oder außenseitig auch Holzweichfaserplatten zum Einsatz. Die innenseitige Beplankung ist in der Regel zur Dampfspernung mit PE Folie oder Pappbahnen versehen und wird gegen den Innenraum mit Gipsplatten bedeckt. Im Fall von Installationswänden (nicht abgebildet in Abbildung 2-2) ist darüber hinaus eine Installationsebene entweder zwischen innenseitiger Beplankung und Gipsplatte oder zwischen Dampfsperre und innenseitiger Beplankung eingezogen. Die Hohlräume der Installationsebene können ebenfalls mit Dämmmaterialien ausgefüllt werden.

Im Fall von Deckleisten- bzw. Nut-Feder-Schalungen als Außenwandbekleidungen ist die zumeist mit einer diffusionsoffenen Feuchtigkeitssperre versehene außenseitige Beplankung über Schnittholzplatten mit den Schalungen verbunden. Für Vollwärmeschutz wird zwischen Außenbeplankung und Lattung eine weitere Dämmschicht eingezogen (nicht abgebildet in Abbildung 2-2).

Bei am häufigsten realisierten Putz-Außenwandbekleidungen kommen Polystyrolplatten, Steinwollgedämmplatten und Holzweichfaserdämmplatten als Putzträger und zusätzlicher Wärmeschutz zum Einsatz.

Polystyrol- oder Holzfaserdämmplatten finden als zusätzliche Dämmschicht auch im Fall von Vormauerwerkfassaden Verwendung. Zwischen den Klinkermauersteinen oder verputzten Gasbetonsteinen bleibt ein Luftaustausch ermöglichender Hohlraum.

Innenwände

Auch Innenwände setzen sich aus Holzständern, den Holzrahmen ausfüllenden Dämmmaterialien und gips- oder holzbasierten Beplankungsplatten zusammen. Je nach Ausführung kann sich eine Luftschicht zwischen einer Beplankung und der Dämmschicht befinden. Die Beplankung kann durch je eine oder zwei Gipsplatten oder auch je eine Holzwerkstoffplatte, die innenraumseitig durch eine Gipsplatte abgeschlossen wird, erfolgen.

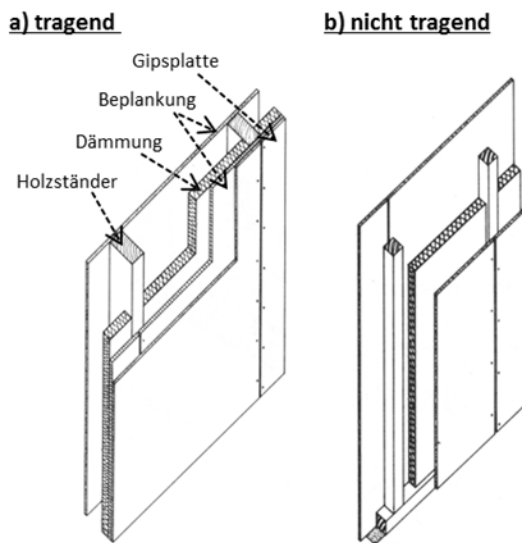


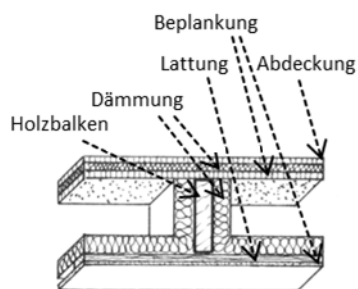
Abbildung 2-3: Tragende und nicht tragende Innenwände

Während der Querschnitt tragender Holzständer meist ungleichseitig rechteckig ist (z.B. $6 \times 12 \text{ cm}^2$), bilden Konstruktionshölzer quadratischen Querschnitts (z.B. $6 \times 6 \text{ cm}^2$) häufig das Ständerwerk nicht tragender Wände (BDZ, 1992).

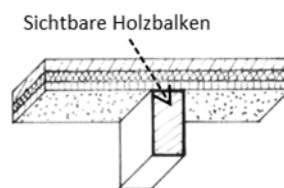
Decken

Für die Herstellung von Holzrahmen, Dämmung und Beplankung der Deckenelemente finden die gleichen Baumaterialien Verwendung wie für die Wandelementproduktion.

a) Geschlossene Geschossdecke



b) Geschossdecke mit freiliegenden Holzbalken



c) Decken gegen kalte Räume

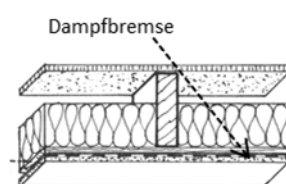


Abbildung 2-4: Verschiedene Deckenvarianten, modifiziert nach BDZ 1992

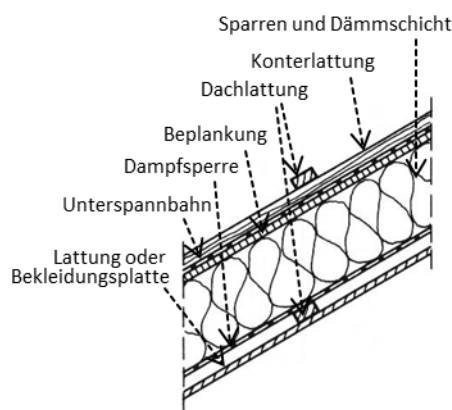
Geschossdecken werden geschlossen (Abbildung 2-4a) oder als Sichtbalkendecke (Abbildung 2-4b) ausgeführt. Die Hohlraum- bzw. Dämmmaterialdicken variieren in Abhängigkeit der gewünschten Isolationswirkung (Abbildung 2-4a u. c). Gegen unbeheizte Räume wie Dachgeschoss empfiehlt sich der Einzug einer dampfsperrenden Folie. Die Rohdecke erfährt zumeist eine konventionelle Estrichabdeckung, einige Hersteller verwenden aber auch Trockenestrich.

Dachelemente

Sparren aus Konstruktionshölzern, Beplankungen aus holz- oder gipsbasierten Plattenwerkstoffen und eine Zwischensparrendämmung zumeist aus Mineralwolle bilden auch die Hauptelemente der Dachaufbauten. Die außenseitige Beplankung wird mit einer diffusionsoffenen Feuchtigkeitssperre (Unterspannbahn) versehen. Bei Satteldächern unterlagert eine vom Dachfirst zur Trauf verlaufende Konterlattung die quer verlaufende Dachlattung, auf der schließlich die Dachabdeckung (in der Regel Dachziegel) befestigt wird. Innenseitig wird die Sparren-/Dämmschicht durch eine Dampfsperre abgeschlossen, die unterseitig über eine Lattung an eine raumabschließende Platte oder eine quer verlaufende Lattung anschließt.

Insbesondere bei Flachdachausführungen ist eine zusätzliche Luftschicht zwischen Außenbeplankung und Zwischensparrendämmung erforderlich.

a) Standard



b) hinterlüftet

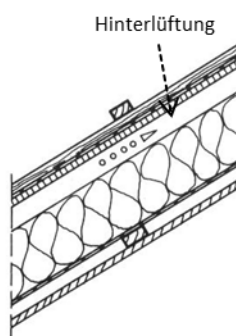


Abbildung 2-5: Steildachvarianten nach, modifiziert nach BDZ 1992

Varianten im Holzskelettbau

Die verschiedenen vollholzbasierenden Skelettarten unterscheiden sich durch die Anordnung ihrer tragenden Bauteile und der hieraus resultierenden konstruktiven Ausbildung ihrer Knotenpunkte (siehe Abbildung 2-6). Abhängig von zu überbrückenden Spannweiten und räumlichen Anforderungen sind Träger und/oder Stützen an den Knotenpunkten durchlaufend. Die Stützelemente können als freistehende Außenstützen, Innenstützen oder Stützen in der Außenwand bzw. Glasfassade ausgeführt sein. Die Aussteifung des Skeletts wird durch die Baustoffe der raumabschließenden Elemente, insbesondere durch Plattenwerkstoffe gewährleistet. Für die Aussteifung freistehender Skelettelemente kommen – wenn erforderlich – darüber hinaus Stahlkreuze und Massivholzdiagonalen in Frage.

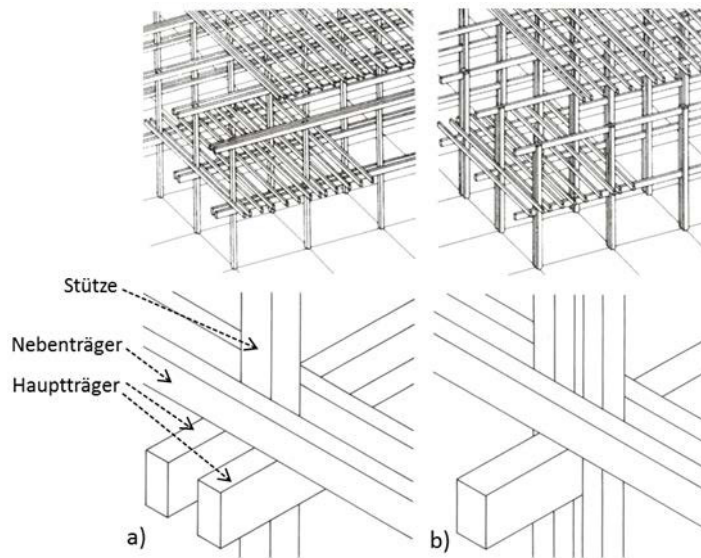


Abbildung 2-6: Beispiele zu Isometrie und Knotenpunktausführungen im Holzskelettbau a) Horizontaler Hauptträger als Zange an durchgehender vertikaler Stütze b) Horizontaler Träger mit geteilter vertikaler Stütze, modifiziert nach Informationsdienst Holz 1998

Als Verbindungsmittel sowohl in der Skelett- als auch in der Holzrahmenbauweise kommen vor allem metallische Befestigungsmittel zum Einsatz. Als Dichtmaterialien werden Gips, Acryl und Silikon verwendet. Sichtbare Konstruktionshölzer, insbesondere im Außenbereich, sind mitunter lasiert, imprägniert oder mit einem deckenden Anstrich versehen.

Weitere Bauelemente wie Haustüren in verschiedensten Ausführungen sowie Holz- Kunststoff- oder Holz-Alufenster inklusive Fensterrahmen aus Stein, Hobelware oder Aluminium sind in die Außenwandflächen integriert. Die verwendeten Innentüren sind zumeist holzbasiert oder aus Glas.

2.2.2 Produktion der Bauteilflächen im Werk

Unter Bauteilflächen werden im Folgenden die Flächen verstanden, die sich aus den Wand-, dach- und Deckenelementen inklusive der Fenster, Türen und Treppenöffnungen ergibt.

Die in verschiedensten Querschnitten und Längen angelieferten Konstruktionshölzer – sowohl für die Wandherstellung als auch für die Produktion von Dach- und Deckenflächen – werden durch vollautomatischen Zuschnitt individuell gekürzt. An verschiedenen Produktionstischen erfolgt dann die Bauteilflächenfertigung, zunächst durch Zusammenlegen und Fixieren (Zulage) der Konstruktionshölzer. Hiernach werden in der Wandherstellung der Rahmen (bestehend aus Ständern, Rähm und Schwelle) und in der Dach – und Deckenfertigung die Sparren bzw. Deckenbalken mit zuvor zugeschnittenen gips- bzw. holzbasierten Plattenwerkstoffen beplankt, und eine Dampfsperre wird aufgebracht. Vorkehrungen für Steckdosen und Lichtschalter werden ausgefräst. Nach Montage der Leerrohre für Stromkabel werden die Zwischenräume mit der Dämmung ausgefüllt und die zweite Seite des Bauelements kann mit einer Beplankung abgedeckt werden. Bei Dachflächen erfolgt zusätzlich die Montage der Dachlattung. Auf die außen-seitige Beplankung der Außenwände wird der Vollwärmeschutz aufgebracht. Nach Aufrichten der Wände werden Türen, Fenster und Fensterbretter eingebaut. Außenwände werden außen-seitig verputzt oder verschalt. Nachdem die Bauelemente mit Kunststofffolien verpackt werden, können sie mit LKWs zur Baustelle transportiert werden.

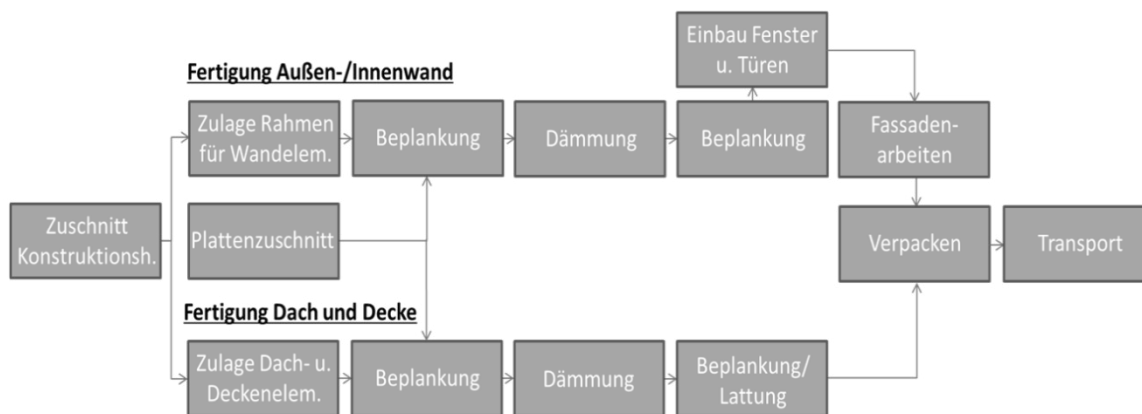


Abbildung 2-7: Herstellungsschritte in der Wand-, Dach- und Deckenfertigung

Im Holzskelettbau werden zusätzlich zu den Konstruktionshölzern für die Wand-, Decken- und Dachelemente Träger und Stützen für das Holzskelett zugeschnitten. Das Holzskelett kann in verschiedenen Vorfertigungsstufen erstellt werden. Einzelne Skelettglieder können maßgenau zugeschnitten und bereits mit Verbindungsmitteln versehen zur Baustelle transportiert werden.

2.2.3 Errichtung auf der Baustelle

Auf der Baustelle werden die einzelnen Bauteilflächen mit einem Montagekran in ihre Bestimmungslagen gehoben und mit Verbindungsmitteln fixiert. Hierfür werden Akkuschauber,

Bohrmaschinen und Kompressoren verwendet. Einzelne Bauteilflächen werden maschinell geschliffen, aneinander grenzende Gipskartonplatten werden verfugt. Bei einigen Herstellern werden nicht alle Verputzarbeiten komplett im Werk sondern teilweise auch auf der Baustelle ausgeführt. Estrich wird angeliefert und verlegt. Abschließend werden mittels Wasser insbesondere Estrichflächen und eventuell verbaute und geschliffene Betonteile gereinigt.

2.3 Funktionelle/Deklarierte Einheiten

Die Methode der Ökobilanz als gemäß DIN EN ISO 14040 relativer Ansatz (ISO, 2006a), erfordert die Festlegung einer funktionellen Einheit als Bezugsgröße für die dargestellten Stoff- und Energieflüsse und Umweltwirkungen des untersuchten Systems. Vor dem Hintergrund der Zielsetzung und der verfügbaren Informationen müssen daher die eigentliche Funktion des hergestellten Produkts bestmöglich widerspiegelnde Einheiten bestimmt werden.

2.3.1 Funktionelle Einheit auf Gebäudeebene

Übergeordnet und allgemein formuliert lässt sich die Funktion eines Gebäudes mit der *Bereitstellung einer wettergeschützten Wohneinheit* beschreiben, deren Ausdehnung und Qualität variabel ist. Als mögliche Messgrößen für die Ausdehnung eines Hauses kommen *Vollgeschosszahl*, die *Bebaute Fläche*, die *Nettogrundfläche*, der *Nettorauminhalt*, die *verbauten Bauteilflächen* und die *Wohnfläche* in Frage.

Vollgeschosszahl

In den Bauordnungen der Bundesländer (siehe BauONRW, 2000 und HbauO, 2006) sind Vollgeschosse diejenigen Geschosse, die im Mittel mindestens ca. 1.20 m bis 1.60 m über die Geländeoberfläche herausragen und in der Regel über mindestens $\frac{3}{4}$ ihrer Grundfläche (bei geneigten Dächern) eine Höhe von mindestens 2.30 m haben.

Bebaute Fläche

Nach DIN 277-Teil 1 (DIN, 2005) wird die *Bebaute Fläche* als Grundfläche in Höhe der Erdoberfläche, die von den äußeren Begrenzungsflächen des Bauwerks umschlossen wird, verstanden.

Nettogrundfläche

Nach DIN 277-Teil 1 (DIN, 2005) ist die *Nettogrundfläche* die Summe der Grundflächen aller Grundrißebenen eines Bauwerks ohne die Konstruktionsflächen.

Nettorauminhalt

Die Berechnungsgrundlage für den *Nettorauminhalt* ist in DIN 277-Teil 1 (DIN, 2005) festgelegt. „Der *Nettorauminhalt* ergibt sich aus den lichten Rauminhalten aller Räume, deren Grundflächen zur *Nettogrundfläche* gehören. Rauminhalte über abgehängten Decken, in Doppelböden und in mehrschaligen Fassaden gehören nicht dazu.“

Bauteilfläche, gesamt

Jedes Haus besteht aus Dach, Decken-, Innen- und Außenwandelementen, die sich zusammen mit Fenstern, Türen und Treppenöffnungen zur *Bauteilfläche, gesamt* eines Hauses addieren, welche im Zusammenhang mit der Größe der bereitgestellten Wohneinheit steht.

Wohnfläche

Nach Wohnflächenverordnung vom 25.11.2003 umfasst die Wohnfläche „die Grundflächen der Räume, die ausschließlich zu dieser Wohnung gehören“. Die Grundfläche ist „nach den lichten Maßen zwischen den Bauteilen zu ermitteln; dabei ist von der Vorderkante der Bekleidung der Bauteile auszugehen“ (WOFIV, 2003: § 3)(WoFIV, 2003). Ist die lichte Höhe über zwei Meter, wird die unterliegende Fläche vollständig einbezogen, bei einer lichten Höhe zwischen einem und zwei Metern wird nur die Hälfte angerechnet.

Alle Größen stellen eine Quantifizierung der Ausdehnung eines Hauses dar. Maßgeblich für die Auswahl der Referenzeinheit der funktionellen Einheit ist jedoch, welche der genannten Größen am stärksten mit der Quantität der wohntypischen Nutzungsmöglichkeiten eines Ein- und Zweifamilienhauses korreliert. *Vollgeschosszahl* und *Bebaute Fläche* können hiermit nur sehr bedingt in Zusammenhang gebracht werden, da die jeweils andere Größe einen erheblichen Einfluss auf den für das Wohnen relevanten Raum hat. Ein Haus mit hoher *Vollgeschosszahl*, aber sehr kleiner *Bebauter Fläche* bietet nur wenige Ausbreitungsmöglichkeiten. Ähnlich stellt sich der *Nettorauminhalt* dar. So ist ein schlankes, hohes und eingeschossiges Haus mit großem *Nettorauminhalt* aber sehr kleiner *Bebauter Fläche* denkbar. Für typische Wohnfunktionen (Essen, Kochen, Schlafen, etc.) kann Rauminhalt, der aus dem Stand unerreichbar ist, in der Regel jedoch nicht verwendet werden. Hohen Decken ist somit lediglich ein ästhetischer Wert beizumessen. Für Industriegebäude käme der *Nettorauminhalt* als Referenzeinheit in Frage, durch hohe Maschinen oder als Lager wird mitunter Rauminhalt weit über dem Fußboden genutzt. Auch die *Bauteilfläche, gesamt* erlaubt ohne weitere Informationen keinen hinreichenden Rückschluss auf den möglichen Umfang wohntypischer Nutzungen. So können nutzbare Wohnraumeinheiten bspw. mit ähnlicher Wohnfläche durch verschiedene Konfigurationen und Maße einzelner Bauteilflächen erreicht werden (siehe Abbildung 2-8). Weitaus geeigneter hingegen ist die *Nettogrundfläche*. Allerdings berücksichtigt diese Größe nicht die Verminderung von Wohnraumqualität unter Dachschrägen. Am unmittelbarsten spiegelt die *Wohnfläche* die Nutzungsmöglichkeiten eines Wohngebäudes wider. Je größer die *Wohnfläche* desto mehr Ausbreitungsraum steht typischen Wohnfunktionen zur Verfügung. Die *Wohnfläche* ist daher eine häufig verwendete Referenzeinheit in gebäudebezogenen Ökobilanzen (e.g. Penaloza et al., 2013 und Xing et al., 2008).

Keller werden von den Projektpartnern nicht selbst gebaut und liegen außerhalb des festgelegten Produktsystems. Kellerflächen finden folglich bei der Ermittlung der zur funktionellen Einheit gehörigen Wohnfläche keine Berücksichtigung.

Gemäß voranstehender Abwägung wird der funktionellen Einheit „Wohngebäude“ (entspricht hier einem Ein- und Zweifamilienhaus) die Referenzeinheit *Wohnfläche* zugewiesen.

Aufgrund der unterschiedlichen Charakteristika von Holztafel- und Skelettbauweise (siehe Kapitel 1.2.2 und 1.2.3) werden Ökobilanzergebnisse für beide Konstruktionsarten separat ausgewiesen.

2.3.2 Deklarierte Einheiten auf Bauelementebene

Die Funktion des Wohnens wird gewährleistet durch Wand-, Dach- und Deckenflächen. Wie in Kapitel 2.3.1 bereits beschrieben, können ähnliche Wohnflächen mit unterschiedlichen Bauteilflächenmaßen und -anordnungen erreicht werden (siehe Abbildung 2.8). Da sich die einzelnen Bauteilflächen auch in ihren Materialzusammensetzungen unterscheiden (siehe Abbildung 2-9), ist daher zu erwarten, dass sich spezifische Sachbilanzergebnisse und Umweltwirkungen aus Ökobilanzen auf Gebäudeebene nicht über lineare Skalierung anhand der Wohnfläche auf ein anderes Haus übertragen lassen.

Um die Ergebnisse des Berichts dennoch für die Berechnung von Ökobilanzen individueller Konstruktionen mit spezifischen Wohnflächen nutzen zu können, sollen Sachbilanzdaten und Umweltwirkungen auch für jeweils 1 m² Außen- und Innenwand sowie Dach- und Deckenelement (exklusive der Einbauelemente wie Fenster, Türen etc.) ausgewiesen werden. Über Skalierung auf konkrete Bauteilflächenmaße können so spezifische Wand-, Dach- und Deckenkonfigurationen ökobilanziell auf Gebäudeebene abgebildet werden⁴. Da die Bauelementfläche im Gegensatz zur Referenzeinheit auf Gebäudeebene (Wohnfläche) jedoch nur mittelbar in Zusammenhang mit der Wohnfunktion steht, ist hier nicht von funktioneller, sondern von deklarierter Einheit die Rede.

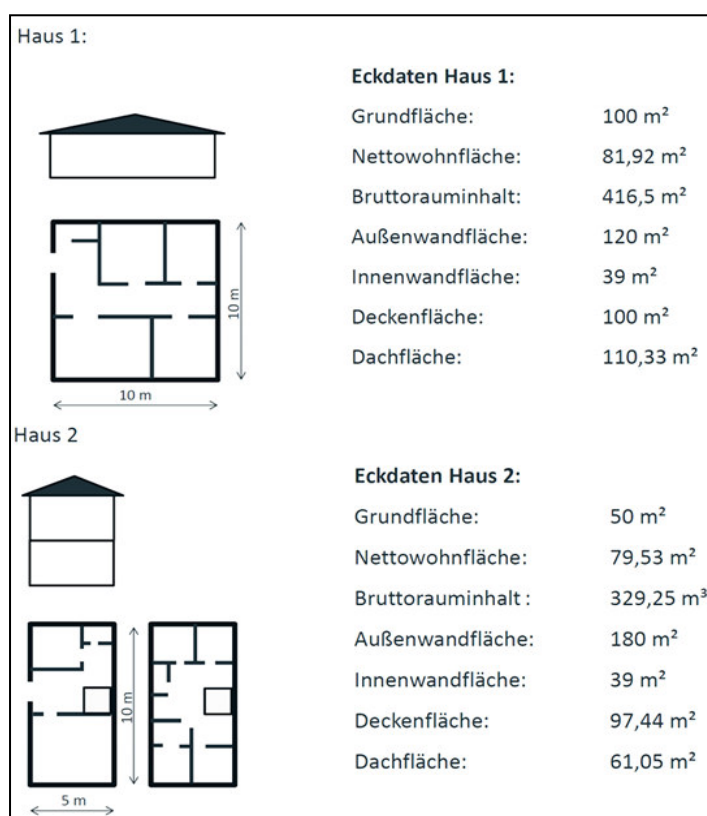


Abbildung 2-8: Häuser mit verschiedenen Bauteilflächenmaßen/-konfigurationen und ähnlicher Nettowohnfläche

⁴ 1 m² Bauelement enthält die durchschnittliche Menge an verwendeten Befestigungsmitteln. Für die Betrachtung eines konkreten Gebäudes ergibt sich hieraus die Einschränkung, dass die spezifische Verwendung der Befestigungsmittel, z.B. für die tatsächlichen Anschlusssituationen nicht abgebildet werden kann.

Auch auf Bauelementebene wird in Holztafel- und Skelettbauweise (siehe Kapitel 1.2.2 und 1.2.3) unterschieden. Es werden daher Materialzusammensetzungen für die deklarierten Einheiten 1 m² Außenwand, 1 m² Innenwand, 1 m² Dach und 1 m² Decke jeweils für Holztafel- und Skelettbauweise dargestellt.

Haus 1

	Außenwand	Decke	Dach	Gesamt
Konstruktionsholz	2,17	3,20	3,95	6,07m ³
Spanplatten	3,12	3,40	1,33	7,26m ³
OSB-Platten				0,00m ³
Gipskartonplatten	1,14	0,87	0,95	2,56m ³
Gipsfaserplatten				0,00m ³
Mineralfaser	19,22	9,42	17,05	30,12m ³
Holzfasерplatte	0,21	0,00	0,00	0,21m ³

**Haus 2**

	Außenwand	Decke	Dach	Gesamt
Konstruktionsholz	1,63	3,04	0,99	5,02m ³
Spanplatten	4,68	3,40	0,81	8,82m ³
OSB-Platten				0,00m ³
Gipskartonplatten	1,71	0,87	0,58	3,13m ³
Gipsfaserplatten				0,00m ³
Mineralfaser	30,43	9,51	11,42	41,55m ³
Holzfasерplatte	0,34	0,00	0,00	0,34m ³



Abbildung 2-9: Beispiele für Gesamtmen gen und Verteilungen der mengenmäßig dominanten Baustoffe für zwei spezifische Häuser in Holzbauweise

2.4 Systemgrenze und Einteilung in Module

Gemäß der Zielsetzung (siehe Kapitel 1.1) umfasst die Ökobilanz alle Lebenszyklusphasen von der Rohstoffgewinnung bis zum errichteten Haus (siehe Abbildung 2-10).

Nach den Vorgaben in DIN EN 15804 (CEN, 2014a) werden für das betrachtete Produkt die Bereitstellung der Rohstoffe und Halbwaren (inkl. ihrer Vorketten) in Modul A1, der Transport dieser Halbwaren bis zum Werk, in dem die einzelnen Bauelemente hergestellt werden in Modul A2 sowie die Herstellung der Bauteilflächen im Werk in Modul A3 bilanziert. Die Berücksichtigung dieser, die Produktionsphase umfassenden Module (A1-A3) ist nach DIN EN 15804 verpflichtend. Der Einbezug aller weiteren Module hingegen ist optional. Über die Produktionsphase hinaus wird die Errichtungsphase mit den Transporten der Bauteilflächen zur Baustelle (Modul A4) und der Errichtung des Hauses vor Ort (Modul A5) einbezogen. Die Nutzungsphase und die Entsorgungsphase des Produkts (Module B1 bis C4 nach DIN EN 15804) bleiben somit unberücksichtigt.

Der Fokus der Untersuchung liegt auf der Bauelementherstellung im Werk (Modul A3). Hier fand eine umfangreiche Primärdatenerhebung unter den Projektpartnern statt (siehe Kapitel 2.5).

Im Modul D werden die Lasten und Gutschriften, die sich aus Wiederverwendungs-, Rückgewinnungs- oder Recyclingpotenzialen der betrachteten Lebenszyklusphasen ergeben, dargestellt. Da die Studie kein End-of-Life Szenario für die deklarierten Produkte beinhaltet, sondern bei der Errichtung auf der Baustelle endet, enthält Modul D nur die Gutschriften aus der thermischen Verwertung von auf der Baustelle (Modul A5) anfallendem Verpackungsmaterial. Modul D dient

lediglich zur Information. Die sich hier ergebenden Gutschriften werden nicht mit den Lasten des Produktsystems verrechnet.

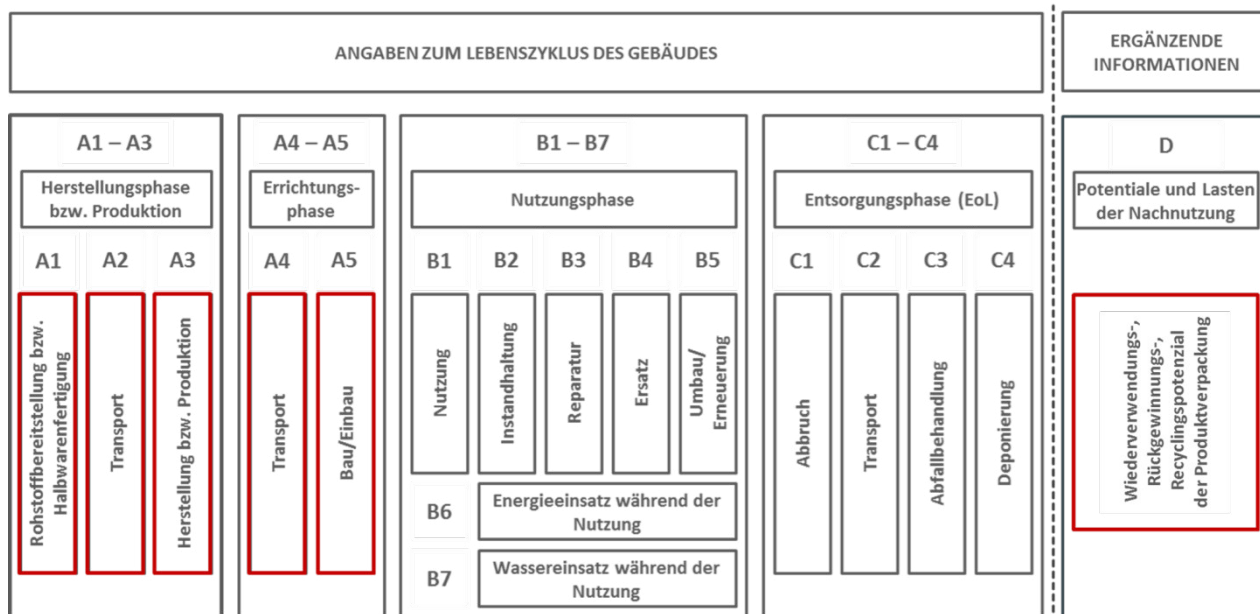


Abbildung 2-10: Stadien des Lebenswegs und Module eines Produktsystems; modifiziert nach DIN EN 15804. Die rot umrandeten Module finden in der Studie Berücksichtigung.

Holz, das aus dem Ökosystem ins Produktsystem eingeht, enthält biogenen Kohlenstoff als materialinhärente Eigenschaft, welcher zuvor durch das Wachstum des Baums sequestriert wurde. In Abhängigkeit der Lebensdauer des jeweiligen Produkts verbleibt jener Kohlenstoff im Holzproduktespeicher, bevor er schließlich im Produkt gebunden einer Nachnutzung zugeführt wird und damit das Produktsystem verlässt. Über den Produktlebenszyklus ist die materialinhärente Kohlenstoffbilanz eines Holzprodukts daher neutral (vgl. Rüter 2013). Die Norm *EN 16485* (CEN 2014b: Fig. 1) - *Rund- und Schnittholz - Produktkategorie-Regeln für Holz und Holzwerkstoffe zur Umwelt-Produkt-Deklaration* beschreibt wie die CO₂-Äquivalente des im Holz enthaltenen biogenen Kohlenstoffs in einem Produktsystem zu verbuchen sind, wenn für den Wald, welchem das Holz entstammt, Kohlenstoffneutralität angenommen werden kann.

In Anlehnung an EN 16485 wird der materialinhärente Kohlenstoff des Holzes, der im Produkt als Baustoff verbleibt, der Kohlenstoff, der bei der Halbwarenherstellung (Modul A1) mit dem Industrierestholz anfällt sowie der Kohlenstoff im Holz, das bei der Bauelementherstellung (Modul A3) als Verschnitt anfällt und als Co-Produkt verkauft wird, in Modul A1 als CO₂-Transfer ins Produktsystem mit einem negativen Wert eingebucht. Kohlenstoffabflüsse aus der Holzverbrennung in der Produktion der verbauten Holzhalbwaren (Modul A1) sowie aus dem Verkauf von Co-Produkten bei der Gebäudeherstellung (Modul A3), werden als positive CO₂-Äqv. (+1) wieder ausgebucht. Die Verbuchung des Kohlenstoffs des in Form von Verschnitten in der Bauelementherstellung (Modul A3) anfallenden Industrierestholzes hingegen erfolgte analog zu der in Rüter & Diederichs (2012), IBU (2013, 2014a), Diederichs (2014a,b) und Wenker et al. (2015) vorgenommenen Berechnung. Wie auch die Bereitstellung von Strom, Gas und Öl, wird auch die Vor-kette jenes Industrierestholzes aus der Bauelementherstellung, das als Brennstoff verwendet wird, dem Modul A3 zugeordnet, so dass die hiermit verbundenen holzinhärenten Kohlen-

stoffflüsse als negativer Wert (-1) in Modul A3 verbucht werden. Zugleich verlässt aufgrund der Verbrennung des Industrierestholzes die gleiche Menge Kohlenstoff das Produktsystem in Modul A3 wieder (positive $\text{CO}_2\text{-Äqv. (+1)}$).

Die Umrechnung von Holzmasse in $\text{CO}_2\text{-Äqv.}$ erfolgt über die im Holz enthaltene Kohlenstoffmenge und das Verhältnis der Molmassen von Kohlendioxid zu Kohlenstoff (44/12). Der Kohlenstoffgehalt im Holz wird für alle Holzarten mit 50 % der absolut trockenen Holzmasse angenommen (IPCC, 2006). Somit entspricht 1 kg absolut trockene Holzmasse 1,832 kg CO_2 .

Nachfolgend werden die bilanzierten Module im Detail beschrieben. Es werden insbesondere Annahmen (Szenarien) dargestellt, die weder durch Primärdatenerhebung noch durch verwendete generische Daten aus Ökobilanzdatenbanken bzw. eigenen Vorprojekten abgedeckt sind.

2.4.1 Beschreibung der berücksichtigten Module

Modul A1: Bereitstellung der Halbwaren und Rohstoffe

Modul A1 umfasst die Bereitstellung aller Halbwaren, die sich durch Montage oder Aufbringung (z.B. Putz) in den Modulen A3 und A5 in der funktionellen Einheit wiederfinden oder später als Produktionsabfälle bzw. Nebenprodukt in der Hausherstellung anfallen. Dabei ist jeweils die gesamte Bereitstellungskette von der Wiege (Rohstoffgewinnung) bis zum Werkstor enthalten.

Modul A2: Transport der Halbwaren

Modul A2 beinhaltet die Transportprozesse der in Modul A1 erfassten Halbwaren zur Bauelementherstellung im Werk.

Für den Halbwarentransport wird eine Auslastung von 85 % der LKW (Gesamtgewicht: 40 t; Nutzlast 27 t) angenommen. Mit Ausnahme der massenmäßig dominanten Materialien (Bauhölzer, Plattenwerkstoffe, Dämmmaterialien) zur Wand-, Dach- und Deckenelementherstellung, für die Anlieferungswege erhoben werden konnten, wird für den Transport der Baustoffe/-produkte eine Distanz von 300 km veranschlagt.

Modul A3: Herstellung im Werk und Entsorgungsszenario der Produktionsabfälle

In Modul A3 werden alle Aufwendungen der Herstellung des Produkts und seiner Verpackung von der Wiege bis zum Werkstor außer den bereits in den Modulen A1 und A2 berücksichtigten Aspekten betrachtet. Somit werden hier die Stoff- und Energieströme zur Gewährleistung der unter Kapitel 2.2.2 beschriebenen Produktionsschritte, die nötige Heizenergiebereitstellung für die Produktion sowie die Herstellung der Verpackungsfolie einbezogen. Die Mengen an Kunststoffolie für die Verpackung der die Werke verlassenden Bauteile wurden auf Basis der Bauteilflächenoberflächen errechnet. Hierbei wurde angenommen, dass jedes Bauteil einlagig mit PE-Folie verpackt ist. Alle Stoff- und Energieströme werden in den Sachbilanzen in Kapitel 3 als Inputs und Outputs quantifiziert.

Installationen finden keine Berücksichtigung in den funktionellen Einheiten. In vielen Fällen werden sie jedoch in den Werkshallen montiert. Die hierfür notwendige Energie konnte nicht getrennt von der zur Erstellung der deklarierten Einheiten erforderlichen Energie erfasst werden,

so dass sie in konservativem Sinn mit in die Bilanzierung einfließt. Des Weiteren konnte auch der Strombedarf zur Montage der Fenster und Türen nicht getrennt ausgewiesen werden. Für die funktionelle Einheit „Wohngebäude“, welche die Fenster- und Türen einschließt, müssen diese Energiemengen berücksichtigt werden. Auch für die funktionellen Einheiten auf Bauelementebene (Wand, -Dach- und Deckenelemente ohne Fenster und Türen) bedeutet der Einbezug jener Strommengen eine konservative Überschätzung.

Für die Nebenprodukte und Produktionsabfälle werden auf Basis der Angaben einiger Hersteller folgende Entsorgungs- und Recyclingwege angenommen:

1. Abfallbeseitigung der Kunststoff-, Papier- und Pappverpackungen sowie des behandelten Holzes und alter Reifen in einer Müllverbrennungsanlage
2. Entsorgung von Mineralwolle auf der Deponie
3. Rücknahme von Gipskartonplattenresten, Gipsfaserplattenresten durch die jeweiligen Hersteller
4. Verkauf des Co-Produkts (Späne und Hackschnitzel)

Die Abfallbeseitigung in einer Müllverbrennungsanlage (1.) und die Entsorgung der Mineralwolle (2.) liegen innerhalb der Systemgrenze von Modul A3. Die in der Müllverbrennungsanlage generierte Energie liegt außerhalb der Systemgrenze, so dass hieraus keine Gutschriften für das Produktsystem resultieren. Die Rücknahme der Gipsplattenreste (3.) liegt, wie die Nutzung des verkauften Co-Produkts (4.), ebenfalls außerhalb des betrachteten Systems (siehe Kapitel 2.4.3).

Für den Transport zur jeweiligen *End of Life* Option wird der Einsatz eines zu 50 % ausgelasteten LKW mit einem Gesamtgewicht von 40 t (Nutzlast 27 t) und eine Transportdistanz von 50 km angenommen.

Modul A4: Transport der Bauteilflächen und des Estrichs zur Baustelle

Modul A4 beinhaltet die Aufwendungen für den Transport der Bauteilflächen und des Estrichs zur Baustelle.

Für den Transport der Bauteilflächen vom Haushersteller zur Baustelle wurden Daten zum Dieselverbrauch erhoben. Es wurde angenommen, dass die angegebene Dieselmenge in LKWs mit einem Gesamtgewicht von 40 t und einer Nutzlast von 27 t verbrannt wird. Im Fall des Estrichs, dessen Anlieferung nicht durch den Haushersteller erfolgt, wird eine Transportentfernung von 50 km unterstellt.

Modul A5: Errichtung des Hauses auf der Baustelle

Die Aufwendungen zum Positionieren und Montieren der Bauteile sowie zur Ausbringung und Trocknung des Estrichs (siehe Kapitel 2.2.3) werden in Modul A5 betrachtet. Der Estrich sowie die Aufwendungen für Ausbringung und Trocknung finden nur bei der funktionellen Einheit auf Gebäudeebene Berücksichtigung.

Für den auf der Baustelle entstehenden Bauschutt wird eine Entsorgung auf der Deponie angenommen. Für die auf der Baustelle als Müll anfallende Verpackungsfolie wird das Szenario einer

Abfallbeseitigung durch thermische Verwertung gewählt. Alle Stoff- und Energieströme werden in den Sachbilanzen in Kapitel 3 als Inputs und Outputs quantifiziert.

Für den Transport zur Deponie wird der Einsatz eines zu 50 % ausgelasteten LKW mit einem Gesamtgewicht von 40 t (Nutzlast 27 t) und eine Transportdistanz von 50 km angenommen. Dieselben Parameter werden für den Transport des auf der Baustelle anfallenden Kunststoffverpackungsmülls zur thermischen Verwertung angenommen.

Modul D: Potenziale und Lasten der Nachnutzung

Da die Ökobilanz kein *End-of-Life* Szenario für die ausgedienten Produkte beinhaltet, werden hier ausschließlich die Potenziale, die aus der thermischen Verwertung der Produktverpackung der Bauteilflächen resultieren (Modul A5) berücksichtigt. Für die Dampfproduktion durch Verbrennung der PE-Folienverpackung wurde durch die Verwendung vorliegender Hintergrunddaten (siehe Kapitel 2.8) eine Effizienz von 82 % angenommen.

2.4.2 Systemgrenze bei Sekundärmaterialien und Sekundärstoffen

Für die Herstellung der Halbwaren werden auch Sekundärstoffe und Energie aus Sekundärbrennstoffen benötigt. Nach DIN°EN°15804 liegt für diese Stoffe „...die Systemgrenze zwischen dem untersuchten System und dem vorausgehenden System (das die Sekundärstoffe liefert) dort, wo die Outputs des vorausgehenden Systems, z.B. Materialien, Produkte, Bauelemente oder Energie, die Systemgrenze mit dem Ende der Abfalleigenschaften erreichen“ (CEN 2014a: S.20).

Da für die Herstellung der Halbwaren in Modul A1 ausnahmslos auf Hintergrunddaten zurückgegriffen wurde (siehe Kapitel 2.8), ist die Einhaltung der genannten Systemgrenze in Modul A1 nur für die DIN°EN°15804-konformen Hintergrunddaten sichergestellt. Der Dokumentation der übrigen Hintergrunddaten zu den eingesetzten Halbwaren kann die Festlegung der Systemgrenze bezüglich verwendeter Sekundärstoffe und Energie aus Sekundärbrennstoffen nicht entnommen werden. Insgesamt flossen 57 Baustoffdatensätze in die Ökobilanzmodellierung ein. 37 dieser Datensätze sind nach den Angaben der Ökobilanzersteller (siehe hierzu Kapitel 2.8) DIN°EN°15804-konform. Insbesondere die Hintergrunddaten für die in großer Menge verbauten Vollhölzer, Holzwerkstoffe (Rüter & Diederichs 2012) und Mineralwolle wurden gemäß DIN°EN°15804 erstellt.

Für weitere Ökobilanzdaten zu den Vorketten, das heißt für Energie, Betriebsmittel, Entsorgungs- und Transportprozesse wurde ebenfalls auf Hintergrunddaten zurückgegriffen, bei denen im Hinblick auf Sekundärstoffe und -brennstoffe keine Abschätzung zur Systemgrenze gemacht werden kann.

In der Bauelementherstellung (Modul A3) kommt als Sekundärbrennstoff Altholz zum Einsatz. Mit Vorliegen als zerkleinertes Altholz hat das Material das Ende der Abfalleigenschaften des vorabgegangenen Produktsystems erreicht, so dass lediglich der Transport des Altholzes (20°km) zur Hausherstellung mit in die Ökobilanzierung eingeflossen ist. Gemäß DIN°EN°15804 bleiben die Prozesse des vorgelagerten Produktsystems unberücksichtigt.

2.4.3 Allokation

Bei den Hausherstellern (Modul A3) fallen Holzspäne und stückige Holz- bzw. Holzwerkstoffreste an. Diese Späne werden zur Erzeugung thermischer Energie verwendet. Der größte Teil hiervon wird in den Werken verbrannt, um die notwendige thermische Energie für die Hausherstellung zu erzeugen. Ein insgesamt sehr kleiner Teil, bei den meisten Herstellern jedoch gar nichts, wird als Co-Produkt extern verkauft.

Die in Modul A3 stattfindenden Prozesse ließen sich nicht in unterschiedliche Teilprozesse zerlegen, die dem Hauptprodukt oder dem Co-Produkt zugeordnet werden können, so dass hier Allokationsregeln nach DIN EN 15804 (Kapitel 6.4.3.2) Anwendung finden. Ihnen zu Folge können die verkauften Späne, da sie deutlich weniger als 1 % zum Betriebseinkommen beitragen, vernachlässigt werden. Diese Vernachlässigung hat zur Folge, dass dem Hauptprodukt sowohl die Vor Ketten des Co-Produkts als auch der auf das Co-Produkt entfallende Energie- und Infrastrukturanteil in der Bauteilflächenproduktion (Modul A3), angelastet wird. Diese Zusatzbelastung des deklarierten Produkts ist als konservativ anzusehen.

Auch die Hintergrunddaten, z.B. für die Bereitstellung des Vollholzes (Rüter & Diederichs, 2012), beinhalten Allokationen und Systemraumerweiterungen, die teilweise in der Dokumentation der verwendeten Datenquellen (siehe Kapitel 2.8) beschrieben sind. Insgesamt wurden 57 Baustoffdatensätze genutzt. 37 dieser Datensätze sind DIN[®]EN[®]15804-konform, so dass in ihrem Fall auch hinsichtlich der Allokationen und Systemraumerweiterungen von normgerechtem Vorgehen ausgegangen werden kann.

2.4.4 Abschneidekriterien

Aufgrund der umfangreichen Primärdatenerhebung kann davon ausgegangen werden, dass die Abschneidekriterien von 1 % des erneuerbaren und des nicht erneuerbaren Einsatzes von Primärenergie und 1 % der Gesamtmasse eines Einheitsprozesses eingehalten werden und, dass die Gesamtsumme der vernachlässigten Input-Flüsse unter 5 % des Energie- und Masseeinsatzes liegt. Alle bekannten In- und Outputflüsse bei der Herstellung im Werk sowie auf der Baustelle wurden in die Sachbilanzen aufgenommen. Von einer Vernachlässigung von Stoff- und Energieströmen, die bekannt dafür sind ein Potenzial für signifikante Emissionen in Boden, Wasser und Luft mit Auswirkungen auf die Umweltindikatoren zu haben, ist nicht auszugehen.

Für die Herstellung der durch die Flurförderfahrzeuge in den Werken der Haushersteller verbrauchten Reifen (siehe Sachbilanzdaten der Kapitel 3.2-3.3) waren keine Daten verfügbar, so dass ihre Produktion bei der Wirkungsabschätzung unberücksichtigt blieb. Die Entsorgung der Reifen wurde jedoch bei der Wirkungsabschätzung berücksichtigt. Auch die Emissionen bei der Verarbeitung von Akrylat- und Silikondichtmasse blieben aufgrund fehlender Daten unberücksichtigt. Die hierdurch nicht betrachteten Umweltwirkungen können jedoch aufgrund der geringen Einsatzmengen (siehe Kapitel 3) vernachlässigt werden.

2.5 Primärdatenerhebung

Die Primärdatenerhebung fand in insgesamt 14 Werken der 13 beteiligten Hausbauunternehmen statt. Alle erfragten Daten beziehen sich auf die jeweiligen Jahresproduktionen der Unternehmen in 2009.

Zur zweistufigen Erfassung der Primärdaten wurden standardisierte Fragebögen erstellt. Der erste Fragebogen hatte zum Ziel, qualitative Daten und Schätzwerte zu erfassen, um einen Überblick über die Herstellungsprozesse in den Werken zu erhalten. Es wurden die Anzahl der errichteten Häuser in 2009, ihre Fertigstellungsgrade (Ausbaustufe, technik- und schlüsselfertig), die verbauten Materialien, mögliche Nebenprodukte und die zum Einsatz kommenden Maschinen erfragt.

Basierend auf den Erkenntnissen der ersten Abfrage wurde der zweite, deutlich umfangreichere Fragebogen gestaltet. Für die Bestimmung der funktionellen Einheit und ihrer Leistungsmerkmale wurden Daten zu Grund- und Wohnfläche, Bruttorauminhalt, Energiestandard, Geschoszahl und der verwendeten Dachformen erfasst. Zudem machten die Projektpartner Angaben zu den produzierten Bauteilflächen (inklusive Tür-/Fensterflächen und Treppenöffnungen) und zur Fläche der hergestellten raumabschließenden Bauelemente (exklusive Tür-/Fensterflächen und Treppenöffnungen). Der beantwortete erste Fragebogen erlaubte darüber hinaus eine Gruppierung der In- und Outputs (Vollholz, Holzwerkstoffplatten, Gipsplatten, Dämmmaterialien, Energiebedarf im Werk und auf der Baustelle, Abfallkategorien etc.). Im zweiten Schritt wurden diesen Gruppen durch die Unternehmen einzelne Posten und deren Mengen zugeordnet. Die meisten Bauelementmaterialien, das heißt Bauhölzer, Holzverschalungen, Plattenwerkstoffe, Absperungen, Dämmmaterialien, Fassadenbaustoffe sowie Lacke und Farben wurden anteilig auf Innenwand-, Außenwand- sowie Dach- und Deckenelementproduktion verteilt. Für jene Materialien wurden auch die Transportdistanzen zwischen Zulieferer und Haushersteller erhoben (Modul A2). Die Transportdistanzen von den Hausherstellern zu den Baustellen wurden ebenfalls erfragt. Datenlücken einzelner Produktionsstandorte wurden mit produktionsmengengewichteten Durchschnittsdaten der anderen Projektpartner gefüllt.

Die von den Unternehmen erhaltenen Daten zu den Aufwendungen auf der Baustelle (Modul A5) bezogen sich nicht auf Jahresproduktionsmengen sondern auf die Errichtung eines Durchschnittshauses, so dass die Rohdaten ohne Anwendung eines Verteilungsschlüssel in die Sachbilanz der funktionellen Einheit auf Gebäudeebene übertragen wurden.

2.6 Plausibilitätsprüfung und Vorgehensweise der Datenanpassung

Da die einzelnen Haushersteller nur die Gesamtfläche der im Jahr 2009 produzierten Bauteile, nicht jedoch deren Gewichte, beziffern konnten, war eine Datenvalidierung durch eine Bilanzierung, das heißt ein unmittelbarer Vergleich zwischen den abgefragten Input- (Halbwaren) und Outputmengen (Produkte + Abfallströme) der einzelnen Werke nicht möglich.

Durch die Bezifferung der Abfallvolumina zu den Halbwaren in der Bauteilflächenproduktion, ergab sich jedoch die Möglichkeit, die im Produkt verbleibenden Materialvolumina rechnerisch zu ermitteln.

Gleichzeitig wurden unternehmensseitig Konstruktionszeichnungen zu den Bauelementen bereitgestellt, aus denen Volumina von Bauhölzern, Plattenwerkstoffen und Dämmmaterialien der

hergestellten Wand-, Dach- und Deckenelemente pro m² Bauelementfläche abgeleitet werden konnten. Durch die jeweilige Multiplikation dieser Volumina mit den von den Projektpartnern gemachten Flächenangaben zu den in 2009 fertiggestellten Innenwand-, Außenwand- sowie Dach- und Deckenelementen war es möglich, Gesamtvolumina der Produktsysteme zu ermitteln und den Materialinputangaben der Unternehmen gegenüber zu stellen.

Materialinput Hausherstellung 2009 (abzüglich Abfallströme)		
Baumaterialien	Wert	Einheit
Konstruktionsholz	1967.5	m ³
Plattenwerkstoffe		
Gipskartonplatten	718.9	m ³
OSB	1039	m ³
Dämmstoffe		
Mineralwolle	3590	m ³
Holzfaserverplatten	2167	m ³

Ergebnis aus Primärdatenerhebung

?

=

Produktoutput
Produzierte
Bauelement-
fläche gesamt
2009

Ergebnis aus
Primärdatenerhebung

X

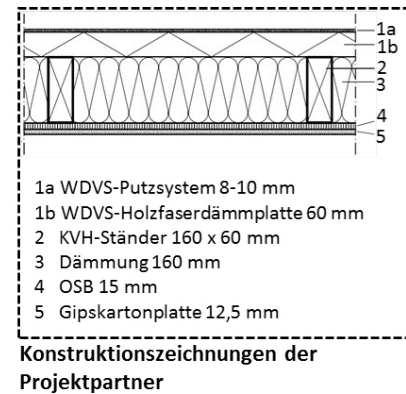


Abbildung 2-11: Prinzip der Plausibilitätsprüfungen auf Werksebene

Wichen die von den Herstellern angegebenen Materialvolumina zu mehr als $\pm 25\%$ zu den über die Konstruktionszeichnungen werksspezifisch ermittelten Werten sowie zu den bei allen Projektpartnern durchschnittlich zum Einsatz kommenden Mengen ab, wurden materialspezifische Anpassungen auf Basis der Konstruktionszeichnungen vorgenommen.

Durch Subtraktion der unter den Unternehmen erfragten insgesamt produzierten Fenster- und Türöffnungen (Flächenmaße) von den im Jahr 2009 produzierten Bauteilflächen konnte die Plausibilität der ebenfalls erfragten Fenster- und Haustürstückzahlen, die zur Ermittlung der Fenster- und Haustüranzahl der betrachteten Durchschnittshäuser dienen, überprüft werden.

Kapitel 4.1 enthält die Ergebnisse der Plausibilitätsprüfungen.

2.7 Verteilung der Gesamtaufwendungen auf die Sachbilanzen

Auf Basis der durch die Fragebogenrückläufe erhaltenen Rohdaten wurden die Sachbilanzen berechnet. Das Verteilungsverfahren der Jahresproduktionsdaten auf die funktionellen Einheiten auf Gebäude- und Bauelementebene sowie die Bildung der durchschnittlichen Sachbilanzen der Projektpartner wird in den folgenden Kapiteln (2.7.1-2.7.2) erläutert.

2.7.1 Berechnung werksspezifischer Sachbilanzen zu den funktionellen Einheiten

2.7.1.1 Baustoff- und Abfallmengen

Wie unter Kapitel 2.5 beschrieben, wurden die bezüglich der Gesamtmasse relevantesten Baumaterialien durch die Hersteller auf die Produktionslinien für Wand-, Dach- und Deckenelemente verteilt und anschließend auf 1 m² Bauelement umgerechnet. Weiterhin wurden Befesti-

gungsmittel und Dichtstoffe, deren Verteilung auf die Produktionslinien nicht seitens der Hersteller vorgenommen werden konnte (siehe Kapitel 2.5), zu gleichen Anteilen auf die Bauelemente verteilt. 1 m² Bauelement jedes Typs erhielt somit die gleiche Menge dieser Materialien. Nicht verwendete Baustoffe, die als Abfall in der Produktion anfallen, konnten materialspezifisch ermittelt werden. Sie wurden je nach Anteil des Vorkommens des jeweiligen Materials im Bauelement auf die Produktionslinien verteilt. Die Verteilung des aus Verpackungsmaterialien der Halbwaren in der Hausherstellung entstehenden Abfalls (PE-Folie, Kartonagen, etc.) auf die Produktionslinien der Bauelemente erfolgte nach Volumenanteilen jener Materialien in den Bauelementen.

Durch lineare Skalierung der Materialzusammensetzung für 1 m² Bauelementfläche auf die Bauelementflächenmaße des Durchschnittshauses (siehe Kapitel 2.3.1) konnten so die jeweiligen werkspezifischen Materialmengen für Innenwand-, Außenwand-, Dach- und Deckenelemente der funktionellen Einheit auf Gebäudeebene berechnet werden. Die mengenmäßige Umrechnung der jährlich verbauten Bauelemente Fenster, Fensterbretter und Innentüren auf die funktionelle Einheit Wohngebäude wurde über die Brutto-Bauteilflächen vorgenommen, in die diese Bauelemente integriert sind.

2.7.1.2 Energiebedarf in der Bauelementherstellung

Da der Energiebedarf der Bauelemente nicht einzeln erfasst werden konnte, wurde unterstellt, dass die Herstellung von 1 m² Innenwand, Außenwand, Dach und Decke jeweils die gleiche Menge Strom benötigt. Die Verteilung der Gesamtstromaufwendungen auf die funktionellen Einheiten auf Bauelementebene erfolgte somit über die Jahresproduktionsmengen von Innenwand-, Außenwand-, Dach- und Deckenfläche. Die lineare Skalierung auf die Bauteilflächenmaße ergab dann den Strombedarf für die funktionelle Einheit auf Gebäudeebene.

Der ausschließlich für die Produktionslinienbereiche benötigte Heizwärmebedarf konnte separat erfasst werden. Über die jeweiligen Flächenanteile der Innenwand-, Außenwand-, Dach- und Deckenproduktionen am gesamten Produktionslinienbereich wurde jener Heizwärmebedarf auf die einzelnen Bauelemente verteilt. Der übrige Heizwärmebedarf eines Werks wurde analog zum Strombedarf verteilt und über die Bauteilflächenmaße des Durchschnittshauses für die Ökobilanzierung auf Gebäudeebene skaliert. Emissionen durch die Nutzung von Brennstoffen in der Bauelementherstellung wurden nicht vor Ort gemessen oder erfragt, sondern durch den Abgleich mit Hintergrunddaten bestimmt (siehe Kapitel 2.8).

2.7.1.3 Emissionen bei der Montage der Bauelemente

Bei der Montage der Bauelemente kommen geringe Mengen MUF-Klebstoff (z.B. 0,007 kg/m² Außenwandelement) zum Einsatz. Nach Rüter & Diederichs (2012) werden beim Abbinden von MUF-Klebstoff in Spanplatten 0,0015 kg Formaldehyd in die Umgebungsluft abgegeben. Jene Angaben beruhen auf einzelnen Messungen von Spanplattenherstellern und sind als unsicher einzustufen. Zudem ist der Abbindeprozess in der Spanplatte nicht unmittelbar vergleichbar mit dem Abbinden bei der Verklebung von Bauplatten. Dennoch wurde diese Angabe zu Formaldehydemissionen der Vollständigkeit halber mit aufgenommen. In die Bestimmung der Umwelt-

wirkungen in dieser Studie fließt dieser Wert somit zwar ein, ist jedoch aufgrund der nur sehr geringen MUF-Einsatzmenge (z.B. 0,007 kg in 1 m² Außenwand) nahezu unbedeutend.

Für die Bestimmung der beim Aufschäumen des Montageschaums entstehenden Emissionen wurde auf Hintergrunddaten der GaBi Professional Datenbank (Version 6.4.1.20) zurückgegriffen (siehe Kapitel 2.8). Als Emissionen treten Isocyanate, Polyole und Treibmittel auf. Besonders relevant hinsichtlich der durch die Studie berücksichtigten Umweltwirkungskategorien ist hier Tetrafluormethan mit einem Treibhauspotenzial von 7.390. Pro kg eingesetzten PU-Schaums werden 7,33E-09 kg Tetrafluormethan freigesetzt, so dass der Beitrag zum Globalen Treibhauspotential (Global Warming Potential, Abk. GWP) in der Bauelementherstellung (Modul A3) bei den sehr geringen Mengen eingesetzten PU-Schaums (z.B. 0,13 kg in 1 m² Außenwand) kaum ins Gewicht fällt.

Lösemittelhaltige Lasuren, Holzschutzmittel und wasserbasierte Decklacke emittieren bei ihrer Anwendung insbesondere NMVOC (Flüchtige Organische Verbindungen ohne Methan). Für die Berücksichtigung der bei der Trocknung dieser Baustoffe entstehenden Emissionen wurde auf Hintergrunddaten zurückgegriffen (siehe Kapitel 2.8). Hiernach emittieren lösemittelhaltige Lasuren und Holzschutzmittel infolge der Verarbeitung 0,03 kg NMVOC und wasserbasierte Decklacke 0,0007 kg NMVOC.

Bei der Verarbeitung von Akrylaten und Silikon werden nach Horn et al (2007) Acetat-, Oxim-, Alkoxy- und Aminsysteeme sowie Glycole emittiert. Dispersionsklebstoffe emittieren in geringen Mengen Formaldehyde und NMVOCs. Aufgrund fehlender Daten erfolgte jedoch keine Quantifizierung der bei der Verarbeitung von Silikon auftretenden Emissionen, was vor dem Hintergrund der nur sehr geringen Einsatzmengen dieser Baustoffe (z.B. 0,02 kg Akrylat, 0,001 kg Silikondichtmasse und 0,002 kg Dispersionsklebstoff in 1m² Außenwand) und der somit vernachlässigbaren Umweltwirkungen vertretbar erscheint.

2.7.2 Berechnung der Sachbilanzen für die Durchschnittsbaulemente und das Durchschnittshaus der Projektpartner

Die durchschnittlichen Sachbilanzen (Kapitel 3) wurden auf Basis der von den Projektpartnern in 2009 produzierten Stückzahlen über produktionsmengengewichtete Mittelung der werkspezifischen Sachbilanzen der Projektpartner sowohl im Fall der Bauelemente als auch für die gebäudebezogene funktionelle Einheit berechnet. Für die Ermittlung der Sachbilanzen wurden die Volumenangaben der Projektpartner zu den Holzbauprodukten in Masse umgerechnet. Tabelle 2-1 enthält die hierfür angenommenen Dichten.

Tabelle 2-1: Angenommene Dichten der Bauhölzer und Holzwerkstoffe

Bauprodukte aus Holz	angenommene Dichten in kg/m ³	Quelle
Schnittholz	484,51	Rüter & Diederichs 2012
Brettschichtholz	507,11	
Konstruktionsvollholz	492,92	
Balkenschichtholz	500,36	
Hobelware	484,51	
Furniersperrholz/-schichtholz	823,93	
Massivholzplatten	510,45	
Spanplatten	633,32	
MDF	737,50	
OSB	600	
Holzfaserzementplatte	1200	GaBi Prof. Database
Holzfaserdämmplatte	130	GaBi Prof. Database
Hobelspäne	80*	Baufritz 2012

*der hier angegebene Wert steht für die Schüttdichte von Hobelspänen

2.8 Verwendete Software und Hintergrunddaten

Für die Modellierung der Produktsysteme wurde die Software GaBi in der Version 6.4.1.20 der Firma *thinkstep* genutzt, die in Zusammenarbeit mit dem Lehrstuhl für Bauphysik der Universität Stuttgart entwickelt wurde. Die Erstellung eines parametrisierten Modells für alle funktionellen/deklarierten Einheiten erlaubte die Eingabe von in Microsoft Excel vorliegenden Sachbilanzdaten. Da neben den Wirkungsabschätzungen für die durchschnittlichen funktionellen/deklarierten Einheiten der betrachteten Produkte auch die Umweltwirkung zu den Sachbilanzdaten der einzelnen Hersteller berechnet wurden, enthalten die entsprechenden Ergebnistabellen der Kapitel 3.2 und 3.3 (z.B. Tabelle 3-9) auch die maximalen herstellerspezifischen Abweichungen zu den gemittelten Ergebnissen.

Um die Umweltwirkungen der Herstellung gemäß des Untersuchungsrahmens abbilden zu können, muss die gesamte Wertschöpfungskette von der Rohstoffgewinnung bis zum errichteten Haus (Modul A1-A5) betrachtet werden. Da sich die Datenerhebung im Rahmen dieses Projekts auf die Aufwendungen der Herstellungsprozesse in den Werken der teilnehmenden 13 Unternehmen (Modul A3) und auf die Baustelle (Modul A5) konzentrierte, konnten nicht alle notwendigen Vorketten im Rahmen einer Primärdatenerhebung abgedeckt werden. Für die Berechnung der Umweltwirkung des Hintergrundsystems wurde daher auf andere Quellen zurückgegriffen.

Für alle Konstruktionshölzer und den überwiegenden Teil der für die Bauelementfertigung Verwendung findenden Holzwerkstoffe wurde auf Datensätze der *ÖkoHolzBau.Dat* (Rüter & Diederichs, 2012, Diederichs, 2014a, b) zurückgegriffen. Hierbei handelt es sich um ein durch die Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe (FNR) gefördertes Forschungsprojekt, das Ökobilanz-Basisdaten für Bauprodukte aus Holz hervorbrachte. Da im Rahmen des *ÖkoHolzBau.Dat*-Projekts Daten von insgesamt 43 Sägewerken und 17 Holzwerkstoffproduzenten einfließen, beanspruchen die Ergebnisse hohe Repräsentativität für in Deutschland hergestellte Holzhalbwaren (mitunter bis 100 %). Eine ebenfalls mit 87 % Abdeckung der gesamtdeutschen Produktion hohe Repräsentativität aufweisende Studie lieferte Ökobilanzdaten für Innentüren aus Holz und

Holzwerkstoffen (IBU, 2013, Wenker et al., 2015), die auch in der vorliegenden Studie verwendet werden konnten. Beide am Thünen Institut für Holzforschung durchgeführten Projekte sind gemäß DIN EN 15804 (CEN, 2014a) durchgeführt und wurden von unabhängigen Dritten verifiziert.

Des Weiteren wurde für die Ökobilanzmodellierung auf Hintergrunddaten der Datenbanken *GaBi Professional* (Version 6.108) und *ecoinvent 2.2* zurückgegriffen.

Für die Ermittlung der Umweltwirkungen aus der Herstellung von Kunststofffenstern wurden Sachbilanzdaten aus einer DIN EN 15804-konformen Branchen-EPD für zweifachverglaste Kunststoffenster verwendet (IBU, 2014b). Die Berechnung der einzelnen Beiträge zu den Wirkungskategorien dieser Vorkette erfolgte analog zur in Kapitel 2.9 beschriebenen Methodik.

Auf Basis einer Umweltproduktdeklaration (Baufritz, 2012) konnte die Sachbilanz der Herstellung von Holzspandämmung erstellt werden. Die Ökobilanzmodellierung für diese Vorkette wurde mit Daten der *ÖkoHolzBau.Dat* sowie Daten der *GaBi Professional* Datenbank und *ecoinvent* durchgeführt.

Tabelle 2-2: Übersicht der verwendeten Quellen für Industrieprozesse in den Vorketten, Transporte, Prozesse im *End of Life* und zur Energiebereitstellung

Nr.	Datenquelle	Industrieprozesse
1	ÖkoHolzBau.Dat	Produktion von Holz und Holzwerkstoffen, thermische Verwertung von Industrierestholz, Abbinden von MUF Klebstoff
2	Institut Bauen und Umwelt (IBU 2014a,b), Wenker et al. 2015	Produktion von Innentüren aus Holz und Holzwerkstoffen; Fertigung von Kunststofffenstern
3	Ecoinvent 2.2.	Bereitstellung von Molke in der Vorkette der Herstellung von Holzspandämmung, Produktion von Holzschutzmitteln
4	GaBi Professional (Version 6.108)	Produktion von Baustoffen und Bauelementen (ausgenommen Baustoffe unter 1 u. 2) sowie Verpackungsmaterialien, Energiebereitstellung, Verbrennungsprozesse bei Gas und Öl, PU-Schaumerzeugung bei der Bauelementherstellung, Trocknung von Farben und Holzschutzmitteln, thermische Verwertung der PE-Folienverpackung, Transportprozesse, Prozesse in der Nachnutzung
5	Baufritz 2012	Herstellung von Holzspandämmung (Baufritz, 2012)

2.9 Methodik zur Abschätzung der Umweltwirkungen

Die durch die Sachbilanzen und verwendeten Hintergrunddaten der Ökobilanz identifizierten Elementarflüsse werden in der Wirkungsabschätzung, über Indikatoren hinsichtlich ihrer potenziellen Umweltauswirkung, ihres Ressourcenbedarfs sowie ihrer zugehörigen Outputflüsse und Abfallkategorien bewertet. Die Wirkungsabschätzungsergebnisse sind nur relativer Art und enthalten keine Aussagen über Endpunkte der Wirkungskategorien, Überschreitungen von Schwellenwerten, Sicherheitsmargen oder über Risiken. Die dargestellten Wirkungskategorien bzw. ihre Indikatoren sind gemäß DIN EN 15804 gewählt (siehe Kapitel 3).

Die Bewertung der Umweltauswirkungen, das heißt der Wirkungskategorien erfolgt entsprechend den Klassifizierungsmethoden nach CML 2001-2013 (Guinée, 2002).

3 Ergebnisse

Die nachfolgenden Kapitel enthalten die Ökobilanzergebnisse für Häuser bzw. Bauelemente in Holztafel- und in Holzskelettbauweise. Vor der spezifischen Ergebnisdarstellung von Gebäude- bzw. Bauelementparametern, Sachbilanzen und Umweltwirkungen (Kapitel 3.2-3.3), werden in Kapitel 3.1 erhobene bzw. berechnete Parameter für den Transport der Halbwaren (Modul A2) und den Transport der Bauelemente zur Baustelle (Modul A4) beschrieben, die für alle funktionellen Einheiten relevant sind.

3.1 Transportdistanzen und Holzherkunft

Die mittleren Transportdistanzen der Halbwaren zu den Hausherstellern zeigt Tabelle 3-1. Durchschnittlich werden Konstruktionshölzer, Plattenwerkstoffe und Dämmmaterialien 220 km weit zu den Hausherstellern transportiert.

Tabelle 3-1: Durchschnittliche Distanzen der Halbwarentransporte zu den Hausherstellern

Bauelemente/-stoffe	km
Materialien zur Herstellung der Wand-, Dach- und Deckenelemente	
Schnittholz	63
Brettschichtholz	144
Konstruktionsvollholz	182
Balkenschichtholz	40
Hobelware	138
Furniersperrholz/-schichtholz	104
Massivholzplatten	150
Spanplatten	310
MDF	42
OSB	67
Gipskartonplatte	289
Gipsfaserplatte	272
Faserzementplatte	98
Polystyrol	285
Mineralwolle	299
Holzfaserdämmplatte	62
Sonstige	300*
weitere Baustoffe/-elemente (Türen, Fenster, etc.)	300*

*angenommene Transportdistanz, die nicht auf die Primärdatenerhebung zurückgeht

Einen Überblick zu den Distanzen, die beim Transport der fertigen Bauelemente zwischen Hausherstellern und den Baustellen zurückgelegt werden, gibt Tabelle 3-2. Die durchschnittlichen Dieselverbräuche für die Transporte und die Rückfahrten der LKWs bezogen auf die funktionellen Einheiten finden sich unter Kapitel 3.2 und 3.3.

Tabelle 3-2: Transportdistanzen zwischen Hausherstellern und den Baustellen

Transportdistanz	Anteil [%]
Deutschland	89
< 50 km	8
> 50 km und < 200 km	19
> 200 km und < 400 km	41
> 400 km	21
Europa	ca. 10
Sonstige	ca. 1

Eine Übersicht zur Verortung der Produktionsstätten der Holzbaustoffe gibt Tabelle 3-3. 92 % des zum Einsatz kommenden Vollholzes wird in Deutschland hergestellt. Der Anteil von in Deutschland produzierten Holzwerkstoffen liegt bei 77 %. Aus dem außereuropäischen Ausland werden keine holzbasierten Bauprodukte bezogen.

Tabelle 3-3: Herkunft der Holzbaustoffe

Baustoff	Deutschland [%]	Europa [%]
Vollholz	92	8
Schnittholz	51	49
Konstruktionsvollholz	99	1
Balkenschichtholz	100	0
Brettschichtholz	97	3
Holzwerkstoffe	77	23
Massivholzplatte	69	31
OSB	90	10
Spanplatte	70	30
zementg. Spanplatte	100	0
MDF	100	0
holzbasierte Dämmstoffe	84	16

3.2 Funktionelle Einheit auf Gebäudeebene

Die Bandbreite der durch die Hauserrichtungen der Projektpartner im Bezugsjahr 2009 jeweils realisierten Wohnflächen (ohne Kellerflächen) reicht von 123 bis 245 m² (siehe Tabelle 3-4), wobei Häuser in Skelettbauweise durchschnittlich größer ausfallen als Holztafelbauten. Das produktionsmengengewichtete Mittel über beide Konstruktionsarten liegt bei 143,13 m².

Tabelle 3-4: Durchschnittliche (produktionsmengengewichtet) und min./max. Wohnflächen der durch die 13 Projektpartner im Jahr 2009 errichteten Häuser

Grundflächen und Rauminhalte	Durchschnitt in m ²	Min. in m ²	Max. in m ²
Wohnfläche ohne Keller	143,13	122,64	244,54
Wohnfläche mit Keller	186,44	163,63	325,54
Bebaute Fläche	104,35	90,00	167,00
Bruttorauminhalt ohne Keller	549,89	323,00	691,21
Bruttorauminhalt mit Keller	688,70	417,50	804,41

Daten zur Nettogrundfläche der von den Projektpartnern gebauten Häuser waren nicht verfügbar. Über die ermittelten Durchschnittsdaten aus Tabelle 3-4 und Tabelle 3-5 konnte jedoch eine durchschnittliche Nettogrundfläche von 161 m² bestimmt werden.

75 % der berücksichtigten Hausbauten wurden mit Satteldach ausgeführt, weitere 10 % mit Walmdächern. Pultdächer, Walmdächer und sonstige Dachaufbauten wurden verhältnismäßig selten realisiert.

Die Zusammensetzung der funktionellen Einheit auf Gebäudeebene geht aus Tabelle 3-5 hervor. Zusätzlich zu den in die raumabschließenden Elemente fließende Baumaterialien, deren Materialzusammensetzungen in den Kapiteln 3.3.1 bis 3.3.8 zu finden sind, umfasst die funktionelle Einheit Tür- und Fensterelemente inklusive Fensterbretter sowie Estrich auf Bodenplatte und Decken. Im Fall der Skelettbauweise wurden die nicht in die raumabschließenden Elemente integrierten Stütz- und Trägerelemente (siehe hierzu 1.2.3 u. 2.2.1) den Wand-, Dach und Deckenelementen zugeordnet. Nicht berücksichtigt sind die Bodenplatte, jegliche Installationen, Dachendeckungen (Dachziegel, Dachbegrünungen etc.), Jalousien, Treppenbauten und Fußböden.

Bei den jeweils angegebenen Verbindungsmitteln handelt es sich sowohl um Befestigungsmittel, die die Materialien innerhalb eines Bauelements miteinander verbinden als auch um Befestigungsmittel, welche die Verbindung zu benachbarten Bauelementen herstellen.

Die funktionelle Einheit für die Betrachtung auf Gebäudeebene ist somit ein Einfamilienhaus mit 143,13 m² Wohnfläche. Das Durchschnittshaus verfügt über 1 bis 2 Geschosse und kann mit Satteldach gedacht werden.

Tabelle 3-5: Zusammensetzung der funktionellen Einheit auf Gebäudeebene

Bauelemente/-stoffe	Wert	Einheit
Außenwand*	181,32	m ²
Innenwand*	115,09	m ²
Dach*	118,79	m ²
Decke*	137,83	m ²
Estrich	12923	kg
Haustür aus Holz und Holzwerkstoffen	1	Stk.
Fenster aus Kunststoff, Holz und Holz-Aluminium	18/10 ¹	Stk.
Fensterbretter aus Holz, Stein und Aluminium	257,0/228,96	kg
Innentür aus Holz und Holzwerkstoffen	7	Stk.

* bei den Angaben zu den Bauteilflächen handelt es sich jeweils um Brutto-Bauteilflächen, die Fenster-, Tür- und Treppenöffnungen einbegreifen

¹ je nach Bauweise variiert die Fensteranzahl, in Holztafelbauweise sind durchschnittlich 18 Fenster verbaut, während in Holzskelettbauweise im Mittel 10 Fenster eingebaut werden.

² je nach Bauweise variiert die Fensterbrettmenge, in Holztafelbauweise sind durchschnittlich 257,0 kg Fensterbretter verbaut, während in Holzskelettbauweise durchschnittlich 197,9 kg Fensterbretter eingebaut werden.

Tabelle 3-6: Verpackungsmaterial zur funktionellen Einheit

Verpackung	Wert	Einheit
PE-Folie	120	kg

Tabelle 3-5 enthält Bauteilflächenangaben der funktionellen Einheit. Die Bauelementflächenmaße errechnen sich durch Abzug der Fenster-, Tür-, und Treppenöffnungen (siehe Tabelle 3-7).

Tabelle 3-7: Durchschnittliche Maße der Bauteilflächen, Bauelemente und Tür-, Fenster-, Treppenöffnungen

Bauteil	Bauteilfläche [m ²]	Bauelementmaße [m ²]	Tür-, Fenster-, Treppenöffn. [m ²]
Außenwand	181,32	146,52/157,56	34,80/23,76 ¹
Innenwand	115,09	103,13	11,96
Dach	118,79	117,87	0,92
Decke	137,83	134,03	3,80

¹ Je nach Bauweise variiert die Fensterfläche, in Holzrahmenbauweise liegt die Fensterfläche bei 34,80 m², während die Fensterfläche in Holzskellettbauweise bei 23,76 m² liegt.

Die Kälteschutzfunktion eines Hauses spiegelt sich im Heizwärmebedarf wider. Von 7 der 13 Projektpartner lagen Daten zu veranschlagten Heizenergiemengen der in 2009 errichteten Häuser vor. Hiernach hatten 60 % der Häuser einen Heizwärmebedarf von maximal 45 kWh/[m²*a], was nach Energieeinsparverordnung (ENEV) 2009 einem KfW (Kreditanstalt für Wiederaufbau) 70 Haus entsprach. 17 % der Häuser erfüllten die KfW 55-Anforderungen (Heizwärmebedarf $\leq$ 35 kWh/[m²*a]), weitere 3 % unterschritten den maximalen Heizwärmebedarf eines KfW 40 Hauses ($\leq$ 25 kWh/[m²*a]). Passivhausanforderungen ($\leq$ 15 kWh/[m²*a]) hielten 2 % der errichteten Häuser ein. Genaue Angaben zu den übrigen 19 % mit höherem Heizwärmebedarf als 45 kWh/[m²*a] lagen nicht vor. Im Rahmen der hier durchgeführten die Produktion bis zur Baustelle beinhaltenden Sektor bezogenen Ökobilanz wird von der Angabe eines durchschnittlichen Energiekennwerts der funktionellen Einheit abgesehen. Bei einer die Nutzungsphase eines spezifischen Hauses mit einbeziehenden Ökobilanzierung sind die Energiekennwerte jedoch ein ausschlaggebender Parameter und müssen daher hausindividuell identifiziert werden.

3.2.1 Sachbilanzergebnisse und Umweltwirkungen eines Hauses in Holztafelbauweise

Die Sachbilanz für die Herstellung eines Hauses in Holztafelbauweise (143,13 m² Wohnfläche) enthält Tabelle 3-8. Die Sachbilanz berücksichtigt die In- und Outputs auf Werksebene (Modul A3) und auf der Baustelle (Modul A5).

Tabelle 3-8: Sachbilanz für die Herstellung (Modul A3) und Errichtung (A5) eines Einfamilienhauses (143,13 m² Wohnfläche) in Holztafelbauweise

a) Input

Fluss	Menge	Einheit
Input		
Halbwaren zur Herstellung der Wand-, Dach- und Deckenelemente		
Vollholz (Schnittholz, Brettschichtholz, Konstruktionsvollholz, etc.)	9552,96	kg
Holzwerkstoffe (Spanplatte, OSB, MDF, etc.)	5984,28	kg
Gipsplatten	5508,01	kg
Dämmmaterialien	2029,06	kg
Fassadenbaustoffe (exkl. Schalholz)		
Putz	894,78	kg
Porenbeton	63,97	kg
Klinker u. Mörtel	2125,80	kg
Befestigungsmittel (metallische Verbindungsmittel, Klebstoffe, PU-Schaum)	411,37	kg
Dichtstoffe	206,64	kg
Absperrung	132,39	kg
Lacke, Lasuren und Holzschutzmittel	57,74	kg
Weitere Bauelemente/-stoffe		
Estrich	12056,00	kg
Haustür aus Holz und Holzwerkstoffen	1	Stk.
Fenster aus Kunststoff, Holz, Holz-Aluminium	18	Stk.
Fensterbretter aus Holz, Stein und Aluminium	197,9	kg
Innentür aus Holz und Holzwerkstoffen	7	Stk.
Energiebedarf		
Strombedarf im Werk	13752,72	MJ
Thermische Energie; Öl & Gas	6582,98	MJ
Strombedarf auf der Baustelle (Modul A5)	7465,40	MJ
Industrierestholz aus eigener Produktion	2689,32	kg
zugekauft Altholz	122,22	kg
Diesel für Flurförderzeuge	35,11	kg
Diesel für Kran auf der Baustelle (Modul A5)	87,60	kg
Betriebsmittel		
Trinkwasserverbrauch im Werk	11680,13	kg
Trinkwasserverbrauch auf der Baustelle (Modul A5)	630,00	kg
sonstige (Öle & Fette, metallische Werkstoffe, Schleifbänder, Reinigungsm., Reifen)	12,31	kg
Verpackungsmaterialien der Halbwaren und Betriebsmittel		
PE Folie	490,77	kg
Polystyrol	60,19	kg
Karton	110,34	kg
Verpackungsmaterialien für Transport der Bauteilflächen zur Baustelle		
PE-Folie	120,00	kg

b) Output

Fluss	Menge	Einheit
Output		
Produkte		
1 Wohnhaus	143,13	m² Wfl.
Späne und Hackschnitzel zum Verkauf	261,41	kg
Emissionen aus		
Verbrennung der Brennstoffe	siehe Hintergrundd. (Kapitel 2.8)	
Verbrennung von Diesel		
Abbinden der Klebstoffe		
Abfälle im Werk		
Verpackungsabfälle, Materialreste	1151,44	kg
Asche	siehe Hintergrundd.	
Abfälle auf der Baustelle (Modul A5)		
Gemischter Bauschutt	1138,30	kg
PE-Folie (Verpackungsmaterial)	120	kg

Der für den Transport der Bauelemente und die leere Rückfahrt der LKWs nötige Dieselbedarf liegt bei 742,29 kg.

Die Umweltwirkungen für die Herstellung und Errichtung eines Einfamilienhauses in Holztafelbauweise gemäß DIN°EN°15804 enthält Tabelle 3-9.

Tabelle 3-9: Umweltauswirkungen, Ressourceneinsätze, Outputflüsse und Abfälle für Herstellung und Errichtung eines Einfamilienhauses in Holztafelbauweise

Parameter	Einheit	Bereitstellung der Rohstoffe (A1)	Transport (A2)	Herstellungsprozess (A3)	Summe cradle to gate (A1 – A3)	Transport zur Baustelle (A4)	Errichtung auf der Baustelle (A5)	Maximale herstellerspezifische Abweichung von A1 bis A5 in %	Lasten und Potenziale aus der Nachnutzung von Verpackungsmaterialien (D)
Ergebnisse Umweltauswirkungen									
GWP	[kg CO ₂ -Äqv.]	-4,45E+03	2,78E+02	5,07E+03	8,94E+02	2,64E+03	1,89E+03	-31.2/+31.7	-1,89E+02
ODP	[kg CFC11-Äqv.]	8,61E-04	3,43E-10	9,22E-05	9,54E-04	4,99E-09	1,28E-07	-48.6/+15.2	-7,70E-09
AP	[kg SO ₂ -Äqv.]	6,22E+01	1,23E+00	1,29E+01	7,64E+01	1,18E+01	3,64E+00	-31.1/+20.4	-2,68E-01
EP	[kg PO ₄ ³⁻ -Äqv.]	9,60E+00	3,36E-01	2,39E+00	1,23E+01	3,18E+00	6,66E-01	-29.6/+25.3	-3,20E-02
POCP	[kg Ethen-Äqv.]	9,77E+00	-4,65E-01	2,05E+00	1,14E+01	-4,36E+00	-3,43E-01	-75.3/+39.8	-2,48E-02
ADPE	[kg Sb-Äqv.]	3,11E-01	1,44E-05	1,12E-03	3,13E-01	1,39E-04	3,52E-04	-21.8/+20.0	-2,24E-05
ADPF	[MJ]	2,49E+05	3,79E+03	4,17E+04	2,95E+05	3,59E+04	1,73E+04	-27.9/+20.3	-2,49E+03
Ergebnisse Ressourceneinsatz									
PERE	[MJ]	7,97E+04	2,90E+02	6,57E+04	1,50E+05	2,76E+03	5,12E+03		-2,96E+02
PERM	[MJ]	2,61E+05	0,00E+00	-1,48E+03	2,60E+05	0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00
PERT	[MJ]	3,46E+05	2,90E+02	6,87E+04	4,10E+05	2,76E+03	5,12E+03		-2,96E+02
PENRE	[MJ]	2,72E+05	3,80E+03	2,82E+04	3,04E+05	3,60E+04	2,62E+04		-2,90E+03
PENRM	[MJ]	1,98E+04	0,00E+00	2,51E+04	4,49E+04	0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00
PENRT	[MJ]	2,92E+05	3,80E+03	5,33E+04	3,49E+05	3,60E+04	2,62E+04		-2,90E+03
SM	[kg]	-	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00
RSF	[MJ]	-	0,00E+00	2,17E+03	2,17E+03	0,00E+00	0,00E+00		-
NRSF	[MJ]	-	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00		-
FW	[m ³]	4,79E+01	1,67E-01	2,24E+01	7,05E+01	1,62E+00	6,62E+00		-4,00E-01
Ergebnisse Outputflüsse und Abfallkategorien									
HWD	[kg]	6,81E-01	3,06E-03	3,26E-02	7,17E-01	2,89E-02	1,97E-02		-4,29E-01
NHWD	[kg]	4,84E+04	2,55E+01	1,57E+04	2,97E+02	2,97E+02	8,58E+03		-5,35E+02
RWD	[kg]	1,40E+01	5,05E-03	4,38E+00	1,84E+01	6,33E-02	1,80E+00		-1,65E-01
CRU	[kg]	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00
MFR	[kg]	0,00E+00	0,00E+00	3,82E+02	3,82E+02	0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00
MER	[kg]	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00
EE ¹	[MJ]	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,34E+03		0,00E+00
EE ²	[MJ]	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	5,81E+02		0,00E+00

Umweltwirkungen: GWP = Globales Erwärmungspotenzial, ODP = Abbau Potential der stratosphärischen Ozonschicht; AP = Versauerungspotenzial von Boden und Wasser; EP = Eutrophierungspotenzial; POCP Bildungspotenzial für troposphärisches Ozon; ADPE = Potenzial für den abiotischen Abbau nicht fossiler Ressourcen; ADPF = Potenzial für den abiotischen Abbau fossiler Brennstoffe

Ressourceneinsatz: PERE = Erneuerbare Primärenergie als Energieträger; PERM = Erneuerbare Primärenergie zur stofflichen Nutzung; PERT = Total erneuerbare Primärenergie; PENRE = Nicht-erneuerbare Primärenergie als Energieträger; PENRM = Nicht-erneuerbare Primärenergie zur stofflichen Nutzung; PENRT = Total nicht erneuerbare Primärenergie; SM = Einsatz von Sekundärstoffen; RSF = Erneuerbare Sekundärbrennstoffe; NRSF = Nicht erneuerbare Sekundärbrennstoffe; FW = Einsatz von Süßwasserressourcen

Output-Flüsse und Abfallkategorie: HWD = Gefährlicher Abfall zur Deponie; NHWD = Entsorgter nicht gefährlicher Abfall; RWD = Entsorgter radioaktiver Abfall; CRU = Komponenten für die Wiederverwendung; MFR = Stoffe zum Recycling; MER = Stoffe für die Energierückgewinnung; EE = Exportierte Energie je Typ

Es wurden die Charakterisierungsfaktoren von CML (2000-2009, Institute of Environmental Sciences Faculty of Science Universität Leiden, Niederlande) verwendet. Der Charakterisierungsfaktor für den Verbrauch von abiotischen Ressourcen (fossile Stoffe) ist der jeweilige untere Heizwert am Extraktionspunkt des fossilen Brennstoffs. Langzeitemissionen (> 100 Jahre) werden in der Wirkungsabschätzung nicht berücksichtigt.

Die Haupteinflussfaktoren auf die Umweltwirkungen und die bezüglich des Energiebedarfs dominanten Prozesse zeigt Tabelle 3-10. Die holzinhärenten Kohlenstoffflüsse sind beim GWP (Treibhauspotenzial) in Tabelle 3-10 unberücksichtigt.

Tabelle 3-10: Dominanzanalyse zu den nach Normierung auf deutsche Gesamtemissionen relevantesten Umweltwirkungen

GWP (kg CO₂ Äqv.)	%	AP (kg SO₂ Äqv.)	%	ADPE (kg Sb Äqv.)	%
A1 Fenster & Türen	17,94	A1 Fenster & Türen	22,13	A1 Gipsplatten	33,19
A1 Mörtel & Estrich	9,88	A4 Transport zur Baustelle	12,93	A1 Fenster & Türen	26,11
A1 Dämmung	9,02	A1 Dämmung	11,03	A1 met. Befestigungsmittel	20,05
A1 Holzwerkstoffe	9,02	A1 Vollholz	10,60	A1 Dämmung	7,83
A4 Transport zur Baustelle	8,94	A3 Holzfeuerung im Werk	7,24	A1 Mörtel & Estrich	4,30
A3 Strom im Werk	7,94	A1 Holzwerkstoffe	6,64	A1 Putzsystem	3,97
A1 Vollholz	6,21	A1 Mörtel & Estrich	4,43	A3 Produktionsabfall	2,63
A5 Baustelle	5,41	A3 Strom im Werk	4,22	A1 Holzwerkstoffe	0,60
A1 PU Schaum	4,51	A5 Baustelle	3,92	A1 PU Schaum	0,32
A1 Gipsplatten	3,78	A1 met. Befestigungsmittel	3,70	A3 Strom im Werk	0,18
A1 met. Befestigungsmittel	3,63	A1 Gipsplatten	2,66	A1 Absperrung	0,16
A3 Produktionsabfall	3,46	A3 Produktverpackung	1,56	A1/3 Lacke, Farben, Holzschutzsm.	0,14
A3 Holzfeuerung im Werk	2,34	A1 Absperrung	1,48	A3 Betriebsmittel	0,12
A3 therm. Energie Gas & Öl	1,70	A2 Transport Halbwaren	1,35	A5 Baustelle	0,11
A1 Klinker	1,39	A1 Putzsystem	1,08	A1 Vollholz	0,08
A1 Putzsystem	1,20	A1 Klinker	0,92	A1/3 Dichtmaterialien	0,06
A3 Produktverpackung	0,97	A3 therm. Energie Gas & Öl	0,90	A4 Transport zur Baustelle	0,04
A2 Transport Halbwaren	0,94	A1 PU Schaum	0,73	A3 Holzfeuerung im Werk	0,03
A1 Absperrung	0,74	A3 Produktionsabfall	0,67	A1 Klinker	0,02
A1/3 Dichtmaterialien	0,24	A1/3 Dichtmaterialien	0,20	A3 Produktverpackung	0,01
A1/3 Lacke, Farben, Holzschutzsm.	0,19	A1/3 Lacke, Farben, Holzschutzsm.	0,14	A3 therm. Energie Gas & Öl	0,01
A3 Betriebsmittel	0,05	A3 Betriebsmittel	0,05	A2 Transport Halbwaren	0,00
sonstige	0,50	sonstige	1,41	sonstige	0,03

Abbildung 3-1 bildet die holzinhärente Kohlenstoffbilanz des betrachteten Hauses und des in der Hausherstellung (Modul A3) auftretenden Co-Produkts ab. In Modul A1 werden für die Herstellung der für das Haus benötigten Halbwaren und des Co-Produkts 30.507 bzw. 534 kg CO₂-Äqv. aufgenommen, wovon 5.606 bzw. 107 kg CO₂-Äqv. durch Verbrennung zur Heizenergiebereitstellung oder als Sägenebenprodukt in der Halbwarenproduktion wieder verlassen. Zugekauft Altholz und in der Hausherstellung anfallendes Industrierestholz werden sowohl als Input als auch – aufgrund ihrer Verbrennung zur Energiegewinnung – als Output in Modul A3 verbucht (5.554 kg CO₂-Äqv.). Die im Co-Produkt in Modul A3 das Produktsystem verlassenden CO₂-Äqv. betragen 427 kg.

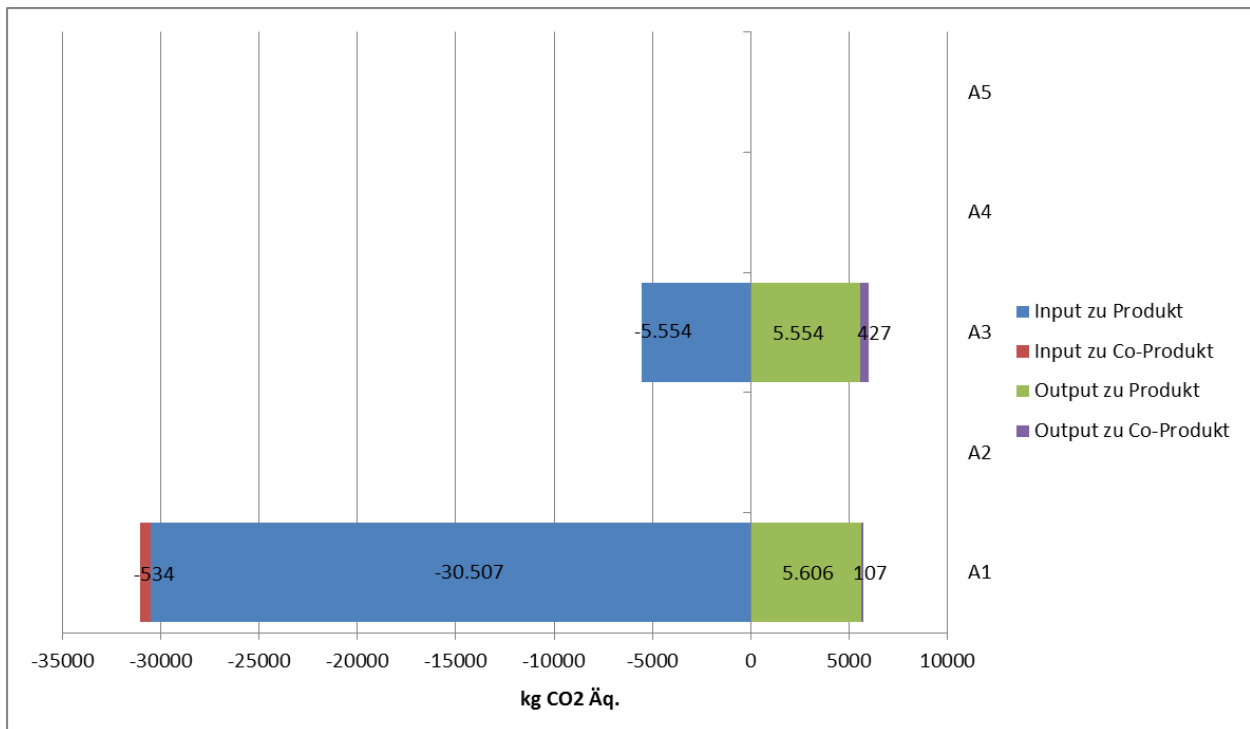


Abbildung 3-1: Bilanz der Kohlenstoffflüsse in der Holzbiomasse

3.2.2 Sachbilanzergebnisse und Umweltwirkungen eines Hauses in Holzskelettbauweise

Die Sachbilanz für die Herstellung eines Hauses in Holzskelettbauweise (143,13 m² Wohnfläche) enthält. Die Sachbilanz berücksichtigt die In- und Outputs auf Werksebene (Modul A3) und auf der Baustelle (Modul A5).

Tabelle 3-11: Sachbilanz für die Herstellung (Modul A3) und Errichtung (A5) eines Einfamilienhauses (143,13 m² Wohnfläche) in Holzskelettbauweise

a) Input

Fluss	Menge	Einheit
Halbwaren zur Herstellung der Wand-, Dach- und Deckenelemente		
Vollholz (Schnittholz, Konstruktionsvollholz, Brettschichtholz, etc.)	18759,75	kg
Holzwerkstoffe (Spanplatte, OSB, MDF, etc.)	275,49	kg
Gipsplatten	5589,87	kg
Dämmmaterialien	1864,67	kg
Putz	905,92	kg
Verglasung	4446,07	kg
Stahl	2223,52	kg
Betonfertigbauteile	48017,61	kg
Befestigungsmittel (metallische Verbindungsmittel, Klebstoffe, PU-Schaum)	424,38	kg
Dichtstoffe	114,15	kg
Absperrung	72,95	kg
Lacke, Lasuren und Holzschutzmittel	133,17	kg
Weitere Bauelemente/-stoffe		
Estrich	12056,00	kg
Haustür aus Holz und Holzwerkstoffen	1	Stk.
Fenster aus Kunststoff, Holz, Holz-Aluminium	10	Stk.
Fensterbretter aus Holz, Stein und Aluminium	228,96	kg
Innentür aus Holz und Holzwerkstoffen	7	Stk.
Energiebedarf		
Strombedarf im Werk	21402,71	MJ
Thermische Energie; Öl & Gas	1178,42	MJ
Strombedarf auf der Baustelle (Modul A5)	7465,40	MJ
Industrierestholz aus eigener Produktion	1894,05	kg
zugekauft Altholz	4,58	kg
Diesel für Flurförderzeuge	119,90	kg
Diesel für Kran auf der Baustelle (Modul A5)	117,89	kg
Betriebsmittel		
Trinkwasserverbrauch im Werk	14216,37	kg
Trinkwasserverbrauch auf der Baustelle (Modul A5)	630,00	kg
sonstige (Öle & Fette, metallische Werkstoffe, Schleifbänder, Reinigungsm., Reifen)	13,43	kg
Verpackungsmaterialien der Halbwaren und Betriebsmittel		
PE Folie	223,61	kg
Polystyrol	10,83	kg
Karton	166,62	kg
Verpackungsmaterialien für Transport der Bauteilflächen zur Baustelle		
PE-Folie	120,00	kg

b) Output

Fluss	Menge	Einheit
Produkte		
1 Wohnhaus	143,13	m² Wfl.
Späne und Hackschnitzel zum Verkauf	348,67	kg
Emissionen aus		
Verbrennung der Brennstoffe	siehe Hintergrundd. (Kapitel 2.8)	
Verbrennung von Diesel		
Abbinden der Klebstoffe		
Abfälle im Werk		
Verpackungsabfälle, Materialreste	2200,27	kg
Asche	siehe Hintergrundd.	
Abfälle auf der Baustelle (Modul A5)		
Gemischter Bauschutt	1138,30	kg
PE-Folie (Verpackungsmaterial)	120	kg

Der für den Transport der Bauelemente und die leere Rückfahrt der LKWs nötige Dieselbedarf liegt bei 1381,56 kg.

Die Umweltwirkungen für die Herstellung und Errichtung eines Einfamilienhauses in Holzskelettbauweise gemäß DIN°EN°15804 enthält Tabelle 3-12.

Tabelle 3-12: Umweltauswirkungen, Ressourceneinsätze, Outputflüsse und Abfälle für Herstellung und Errichtung eines Einfamilienhauses in Holzskelettbauweise

Parameter	Einheit	Bereitstellung der Rohstoffe (A1)	Transport (A2)	Herstellungsprozess (A3)	Summe cradle to gate (A1 – A3)	Transport zur Baustelle (A4)	Errichtung auf der Baustelle (A5)	maximale herstellereinspezifische Abweichung von A1 bis A5 in %	Lasten und Potenziale aus der Nachnutzung von Verpackungsmaterialien (D)
Ergebnisse Umweltauswirkungen									
GWP	[kg CO ₂ -Äqv.]	5,14E+03	3,25E+02	5,86E+03	1,13E+04	4,88E+03	2,00E+03	-37,3/+4,7	-1,89E+02
ODP	[kg CFC11-Äqv.]	8,09E-04	4,01E-10	7,52E-05	8,85E-04	9,25E-09	1,29E-07	-43,1/+5,5	-7,70E-09
AP	[kg SO ₂ -Äqv.]	1,50E+02	1,44E+00	1,56E+01	1,67E+02	2,18E+01	4,12E+00	-35,8/+4,5	-2,68E-01
EP	[kg PO ₄ ³⁻ -Äqv.]	1,87E+01	3,93E-01	2,84E+00	2,19E+01	5,89E+00	7,95E-01	-39,0/+4,9	-3,20E-02
POCP	[kg Ethen-Äqv.]	8,80E+00	-5,44E-01	2,75E+00	1,10E+01	-8,07E+00	-5,19E-01	-13,4/+105,5	-2,48E-02
ADPE	[kg Sb-Äqv.]	2,56E-01	1,68E-05	1,38E-03	2,57E-01	2,58E-04	3,57E-04	-3,5/+0,5	-2,24E-05
ADPF	[MJ]	4,12E+05	4,44E+03	5,03E+04	4,66E+05	6,65E+04	1,88E+04	-33,5/+4,2	-2,49E+03
Ergebnisse Ressourceneinsatz									
PERE	[MJ]	1,13E+05	3,39E+02	5,85E+04	1,72E+05	5,11E+03	5,23E+03		-2,96E+02
PERM	[MJ]	3,45E+05	0,00E+00	-3,14E+03	3,41E+05	0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00
PERT	[MJ]	4,58E+05	3,39E+02	5,54E+04	5,13E+05	5,11E+03	5,23E+03		-2,96E+02
PENRE	[MJ]	4,38E+05	4,45E+03	5,26E+04	4,95E+05	6,67E+04	2,76E+04		-2,90E+03
PENRM	[MJ]	2,18E+04	0,00E+00	1,32E+04	3,50E+04	0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00
PENRT	[MJ]	4,59E+05	4,45E+03	6,58E+04	5,30E+05	6,67E+04	2,76E+04		-2,90E+03
SM	[kg]	-	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00
RSF	[MJ]	-	0,00E+00	8,14E+01	8,14E+01	0,00E+00	0,00E+00		-
NRSF	[MJ]	-	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00		-
FW	[m³]	6,66E+01	1,96E-01	2,91E+01	9,59E+01	2,99E+00	6,69E+00		-4,00E-01
Ergebnisse Outputflüsse und Abfallkategorien									
HWD	[kg]	1,23E+00	3,59E-03	5,13E-02	1,29E+00	5,35E-02	2,09E-02		-4,29E-01
NHWD	[kg]	1,19E+05	2,99E+01	2,38E+04	5,52E+02	5,52E+02	8,59E+03		-5,35E+02
RWD	[kg]	1,63E+01	5,91E-03	5,99E+00	2,23E+01	1,17E-01	1,81E+00		-1,65E-01
CRU	[kg]	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00
MFR	[kg]	0,00E+00	0,00E+00	2,60E+02	2,60E+02	0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00
MER	[kg]	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00
EE ¹	[MJ]	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,34E+03		0,00E+00
EE ²	[MJ]	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	5,81E+02		0,00E+00

Umweltwirkungen: GWP = Globales Erwärmungspotenzial; ODP = Abbau Potential der stratosphärischen Ozonschicht; AP = Versauerungspotenzial von Boden und Wasser; EP = Eutrophierungspotenzial; POCP Bildungspotenzial für troposphärisches Ozon; ADPE = Potenzial für den abiotischen Abbau nicht fossiler Ressourcen; ADPF = Potenzial für den abiotischen Abbau fossiler Brennstoffe

Ressourceneinsatz: PERE = Erneuerbare Primärenergie als Energieträger; PERM = Erneuerbare Primärenergie zur stofflichen Nutzung; PERT = Total erneuerbare Primärenergie; PENRE = Nicht-erneuerbare Primärenergie als Energieträger; PENRM = Nicht-erneuerbare Primärenergie zur stofflichen Nutzung; PENRT = Total nicht erneuerbare Primärenergie; SM = Einsatz von Sekundärstoffen; RSF = Erneuerbare Sekundärbrennstoffe; NRSF = Nicht erneuerbare Sekundärbrennstoffe; FW = Einsatz von Süßwasserressourcen

Output-Flüsse und Abfallkategorie: HWD = Gefährlicher Abfall zur Deponie; NHWD = Entsorgter nicht gefährlicher Abfall; RWD = Entsorgter radioaktiver Abfall; CRU = Komponenten für die Wiederverwendung; MFR = Stoffe zum Recycling; MER = Stoffe für die Energierückgewinnung; EE = Exportierte Energie je Typ

Es wurden die Charakterisierungsfaktoren von CML (2000-2009, Institute of Environmental Sciences Faculty of Science Universität Leiden, Niederlande) verwendet. Der Charakterisierungsfaktor für den Verbrauch von abiotischen Ressourcen (fossile Stoffe) ist der jeweilige untere Heizwert am Extraktionspunkt des fossilen Brennstoffs. Langzeitemissionen (> 100 Jahre) werden in der Wirkungsabschätzung nicht berücksichtigt.

Die Haupteinflussfaktoren auf die Umweltwirkungen und die bezüglich des Energiebedarfs dominanten Prozesse zeigt Tabelle 3-13. Die holzinhärenten Kohlenstoffflüsse sind beim GWP (Treibhauspotenzial) in Tabelle 3-13 unberücksichtigt.

Tabelle 3-13: Dominanzanalyse zu den nach Normierung auf deutsche Gesamtemissionen relevantesten Umweltwirkungen

GWP (kg CO₂ Äqv.)	%	AP (kg SO₂ Äqv.)	%	ADPE (kg Sb Äqv.)	%
A1 Betonfertigteile	22,15	A1 Glas	21,90	A1 Gipsplatten	33,65
A1 Glas	10,01	A1 Betonfertigteile	14,73	A1 met. Befestigungsmittel	30,30
A4 Transport zur Baustelle	9,72	A1 Vollholz	12,39	A1 Fenster & Türen	9,34
A1 Vollholz	9,71	A4 Transport zur Baustelle	11,28	A3 Produktionsabfall	6,07
A1 Stahl	9,55	A1 Stahl	8,50	A1 Glas	5,06
A3 Strom im Werk	7,22	A3 Produktionsabfall	5,75	A1 Putzsystem	4,50
A1 Mörtel & Estrich	5,31	A1 Fenster & Türen	3,37	A1 Betonfertigteile	3,49
A1 Dämmung	5,27	A3 Strom im Werk	3,08	A1 Dämmung	3,42
A3 Produktionsabfall	3,94	A1 Dämmung	2,95	A1 Mörtel & Estrich	1,10
A5 Baustelle	3,39	A3 Holzfeuerung im Werk	2,63	A1/3 Lacke, Farben, Holzschutzsm.	1,09
A1 Fenster & Türen	2,76	A1 met. Befestigungsmittel	2,17	A1/3 Dichtmaterialien	0,62
A1 met. Befestigungsmittel	2,65	A5 Baustelle	2,09	A3 Strom im Werk	0,34
A1 Gipsplatten	2,51	A1 Mörtel & Estrich	1,93	A1 Vollholz	0,23
A3 Holzfeuerung im Werk	1,12	A1 Gipsplatten	1,05	A3 Betriebsmittel	0,15
A1/3 Lacke, Farben, Holzschutzsm.	0,70	A2 Transport Halbwaren	0,74	A1 Stahl	0,13
A2 Transport Halbwaren	0,65	A3 Produktverpackung	0,74	A5 Baustelle	0,13
A1 Putzsystem	0,61	A1 Absperrung	0,68	A1 Holzwerkstoffe	0,11
A3 Produktverpackung	0,57	A1/3 Dichtmaterialien	0,59	A1 Absperrung	0,11
A1/3 Dichtmaterialien	0,49	A1 Putzsystem	0,43	A4 Transport zur Baustelle	0,10
A1 Holzwerkstoffe	0,35	A1/3 Lacke, Farben, Holzschutzsm.	0,42	A3 Holzfeuerung im Werk	0,03
A1 Absperrung	0,26	A1 Holzwerkstoffe	0,33	A3 Produktverpackung	0,01
A3 therm. Energie Gas & Öl	0,18	A3 therm. Energie Gas & Öl	0,09	A2 Transport Halbwaren	0,01
A3 Betriebsmittel	0,03	A3 Betriebsmittel	0,02	A3 therm. Energie Gas & Öl	0,00
sonstige	0,85	sonstige	2,12	sonstige	0,01

Abbildung 3-2 bildet die holzinhärente Kohlenstoffbilanz des betrachteten Hauses und des in der Hausherstellung (Modul A3) auftretenden Co-Produkts ab. In Modul A1 werden für die Herstellung der für das Haus benötigten Halbwaren und des Co-Produkts 41.345 bzw. 713 kg CO₂-Äqv. aufgenommen, wovon 8.481 bzw. 143 kg CO₂-Äqv. durch Verbrennung zur Heizenergiebereitstellung oder als Sägenebenprodukt in der Halbwarenproduktion wieder verlassen. Zugekauft Altholz und in der Hausherstellung anfallendes Industrierestholz werden sowohl als Input als auch – aufgrund ihrer Verbrennung zur Energiegewinnung – als Output in Modul A3 verbucht (3.912 kg CO₂-Äqv.). Die im Co-Produkt in Modul A3 das Produktsystem verlassenden CO₂-Äqv. betragen 570 kg.

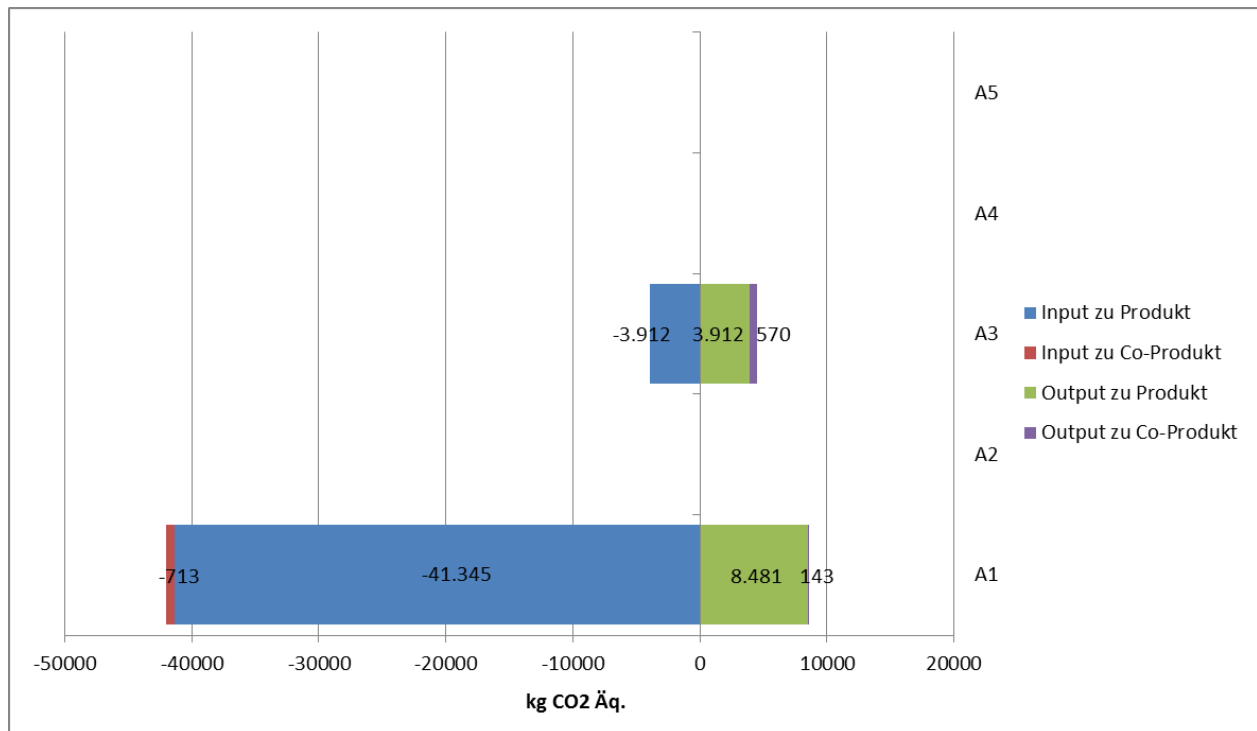


Abbildung 3-2: Bilanz der Kohlenstoffflüsse in der Holzbiomasse

3.3 Deklarierte Einheiten auf Bauelementebene

3.3.1 Außenwandelement in Holztafelbauweise

Die durchschnittliche Baustoff-/Bauproduktzusammensetzung von 1 m² Außenwandelement in Holztafelbauweise enthält Tabelle 3-14.

Tabelle 3-14: Durchschnittliche (produktionsmengengewichtet) Baustoff-/Bauproduktzusammensetzung der funktionellen Einheit 1 m² Außenwand in Holztafelbauweise

Bauelemente/-stoffe	Wert	Einheit
Vollholz/Schalholz	22,15	kg
Holzwerkstoffplatten	13,65	kg
Gipsplatten	10,00	kg
Dämmmaterialien	7,45	kg
Putzsystem/Fassadenbekleidung exklusive Schalholz	18,96	kg
Befestigungsmittel (metallische Verbindungsmittel, Klebstoffe, PU-Schaum)	0,82	kg
Dichtstoffe	0,41	kg
Absperrung	0,20	kg
Lacke, Lasuren und Holzschutzmittel	0,30	kg
Summe	73,94	kg

Tabelle 3-15: Verpackungsmaterial zur funktionellen Einheit

Verpackung	Wert	Ein-
PE-Folie	0,28	kg

Die Bandbreite der Wärmedurchlasskoeffizienten [$U = W/m^2 K$], der von den Projektpartnern hergestellten Außenwandelemente in Holztafelbauweise reicht von 0,1 bis 0,23 [$W/m^2 K$], der Mittelwert liegt bei 0,15 [$W/m^2 K$].

Die Sachbilanz für die Herstellung (Modul A3) und Errichtung (Modul A5) von 1 m² Außenwandelement in Holztafelbauweise enthält Tabelle 3-16.

Tabelle 3-16: Sachbilanz für die Herstellung (Modul A3) und Montage (A5) von 1 m² Außenwandelement in Holztafelbauweise**a) Input**

Fluss	Menge	Einheit
Halbwaren zur Herstellung des Außenwandelements		
Vollholz (Schnittholz, Brettschichtholz, Konstruktionsvollholz, etc.)	22,15	kg
Holzwerkstoffe (Spanplatte, OSB, MDF, etc.)	13,65	kg
Gipsplatten	10,52	kg
Dämmmaterialien	7,46	kg
Putz	6,10	kg
Porenbeton	0,44	kg
Klinker u. Mörtel	14,51	kg
Befestigungsmittel (metallische Verbindungsmittel, Klebstoffe, PU-Schaum)	0,82	kg
Dichtstoffe	0,41	kg
Absperrung	0,26	kg
Lacke, Lasuren und Holzschutzmittel	0,31	kg
Energiebedarf		
Strombedarf im Werk	27,42	MJ
Thermische Energie; Öl & Gas	13,70	MJ
Industrierestholz aus eigener Produktion und zugekauftes Altholz	5,83	kg
Diesel für Flurförderzeuge	0,07	kg
Diesel für Kran auf der Baustelle (Modul A5)	0,17	kg
Betriebsmittel		
Trinkwasserverbrauch im Werk	23,29	kg
Trinkwasserverbrauch auf der Baustelle (Modul A5)	1,26	kg
sonstige (Öle & Fette, metallische Werkstoffe, Schleifbänder, Reinigungsm., Reifen)	0,022	kg
Verpackungsmaterialien der Halbwaren und Betriebsmittel		
PE Folie	1,10	kg
Polystyrol	0,14	kg
Karton	0,25	kg
Verpackungsmaterialien für Transport der Bauteilflächen zur Baustelle		
PE-Folie	0,28	kg

b) Output

Fluss	Menge	Einheit
Produkte		
1 m² Außenwandelement	73,94	kg
Späne und Hackschnitzel zum Verkauf	0,61	kg
Emissionen aus		
Verbrennung der Brennstoffe	siehe Hintergrundd. (Kapitel 2.8)	
Verbrennung von Diesel		
Abbinden der Klebstoffe		
Abfälle im Werk		
Verpackungsabfälle, Materialreste	2,11	kg
Asche	siehe Hintergrundd.	
Abfälle auf der Baustelle (Modul A5)		
Gemischter Bauschutt	2,09	kg
PE-Folie (Verpackungsmaterial)	0,28	kg

Der für den Transport des Bauelements und die leere Rückfahrt des LKWs nötige Dieselbedarf liegt bei 1,67 kg.

Die Umweltwirkungen für die Herstellung von 1 m² Außenwandelement in Holztafelbauweise gemäß DIN°EN°15804 enthält Tabelle 3-17.

Tabelle 3-17: Umweltauswirkungen, Ressourceneinsätze, Outputflüsse und Abfälle für die Herstellung von 1 m² Außenwandelement in Holztafelbauweise

Parameter	Einheit	Bereitstellung der Rohstoffe (A1)	Transport (A2)	Herstellungsprozess (A3)	Summe cradle to gate (A1 – A3)	maximale herstellereigenspezifische Abweichung von A1 bis A3 in %	Transport zur Baustelle (A4)	Errichtung auf der Baustelle (A5)	Lasten und Potentiale aus der Nachnutzung von Verpackungsmaterialien (D)
Ergebnisse Umweltauswirkungen									
GWP	[kg CO ₂ -Äqv.]	-1,58E+01	1,20E+00	1,29E+01	-1,74E+00	-35,1/+135,9	5,87E+00	1,34E+00	-4,40E-01
ODP	[kg CFC11-Äqv.]	1,82E-06	1,48E-12	2,06E-07	2,03E-06	-60,3/+46,4	1,11E-11	4,19E-12	-1,80E-11
AP	[kg SO ₂ -Äqv.]	1,37E-01	5,30E-03	3,24E-02	1,75E-01	-31,2/+99,0	2,62E-02	3,07E-03	-6,26E-04
EP	[kg PO ₄ ³⁻ -Äqv.]	2,01E-02	1,45E-03	5,99E-03	2,75E-02	-36,4/+116,2	7,08E-03	7,69E-04	-7,47E-05
POCP	[kg Ethen-Äqv.]	2,56E-02	-2,01E-03	6,23E-03	2,98E-02	-58,3/+42,6	-9,70E-03	-9,68E-04	-5,79E-05
ADPE	[kg Sb-Äqv.]	6,63E-04	6,21E-08	2,54E-06	6,65E-04	-21,8/+70,0	3,11E-07	9,14E-08	-5,23E-08
ADPF	[MJ]	6,54E+02	1,64E+01	1,02E+02	7,72E+02	-25,8/+117,5	7,99E+01	8,89E+00	-5,80E+00
Ergebnisse Ressourceneinsatz									
PERE	[MJ]	1,84E+02	1,25E+00	1,48E+02	3,33E+02		6,14E+00	7,08E-01	-6,59E-01
PERM	[MJ]	6,25E+02	0,00E+00	-6,07E+00	6,19E+02		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
PERT	[MJ]	8,10E+02	1,25E+00	1,42E+02	9,53E+02		6,14E+00	7,08E-01	-6,59E-01
PENRE	[MJ]	6,92E+02	1,64E+01	6,91E+01	7,78E+02		8,02E+01	1,91E+01	-6,77E+00
PENRM	[MJ]	4,97E+01	0,00E+00	5,85E+01	1,08E+02		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
PENRT	[MJ]	7,42E+02	1,64E+01	1,28E+02	8,86E+02		8,02E+01	1,91E+01	-6,77E+00
SM	[kg]	-	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
RSF	[MJ]	-	0,00E+00	4,33E+00	4,33E+00		0,00E+00	0,00E+00	-
NRSF	[MJ]	-	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00	-
FW	[m ³]	1,07E-01	7,23E-04	5,38E-02	1,62E-01		3,60E-03	3,45E-03	-9,33E-04
Ergebnisse Outputflüsse und Abfallkategorien									
HWD	[kg]	8,19E-05	1,32E-05	7,63E-05	1,71E-04		6,43E-05	6,86E-06	-1,00E-03
NHWD	[kg]	1,05E+02	1,10E-01	3,51E+01	6,64E-01		6,64E-01	2,40E+00	-1,25E+00
RWD	[kg]	2,82E-02	2,18E-05	9,77E-03	3,80E-02		1,41E-04	3,64E-05	-3,84E-04
CRU	[kg]	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
MFR	[kg]	0,00E+00	0,00E+00	5,20E+02	5,20E+02		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
MER	[kg]	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
EE ¹	[MJ]	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	3,12E+00	0,00E+00
EE ²	[MJ]	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	1,36E+00	0,00E+00

Umweltwirkungen: GWP = Globales Erwärmungspotenzial; ODP = Abbau Potential der stratosphärischen Ozonschicht; AP = Versauerungspotenzial von Boden und Wasser; EP = Eutrophierungspotenzial; POCP Bildungspotential für troposphärisches Ozon; ADPE = Potenzial für den abiotischen Abbau nicht fossiler Ressourcen; ADPF = Potenzial für den abiotischen Abbau fossiler Brennstoffe

Ressourceneinsatz: PERE = Erneuerbare Primärenergie als Energieträger; PERM = Erneuerbare Primärenergie zur stofflichen Nutzung; PERT = Total erneuerbare Primärenergie; PENRE = Nicht-erneuerbare Primärenergie als Energieträger; PENRM = Nicht-erneuerbare Primärenergie zur stofflichen Nutzung; PENRT = Total nicht erneuerbare Primärenergie; SM = Einsatz von Sekundärstoffen; RSF = Erneuerbare Sekundärbrennstoffe; NRSF = Nicht erneuerbare Sekundärbrennstoffe; FW = Einsatz von Süßwasserressourcen

Output-Flüsse und Abfallkategorie: HWD = Gefährlicher Abfall zur Deponie; NHWD = Entsorgter nicht gefährlicher Abfall; RWD = Entsorgter radioaktiver Abfall; CRU = Komponenten für die Wiederverwendung; MFR = Stoffe zum Recycling; MER = Stoffe für die Energierückgewinnung; EE = Exportierte Energie je Typ

Es wurden die Charakterisierungsfaktoren von CML (2000-2009, Institute of Environmental Sciences Faculty of Science Universität Leiden, Niederlande) verwendet. Der Charakterisierungsfaktor für den Verbrauch von abiotischen Ressourcen (fossile Stoffe) ist der jeweilige untere Heizwert am Extraktionspunkt des fossilen Brennstoffs. Langzeitemissionen (> 100 Jahre) werden in der Wirkungsabschätzung nicht berücksichtigt.

Die Haupteinflussfaktoren auf die Umweltwirkungen und die bezüglich des Energiebedarfs dominanten Prozesse zeigt Tabelle 3-18. CO₂-Äqv.-In- und Outputs zu holzinhärenten Kohlenstoffflüssen sind beim GWP (Treibhauspotenzial) in Tabelle 3-18 unberücksichtigt.

Tabelle 3-18: Dominanzanalyse zu den nach Normierung auf deutsche Gesamtemissionen relevantesten Umweltwirkungen

GWP (kg CO₂ Äqv.)	%	AP (kg SO₂ Äqv.)	%	ADPE (kg Sb Äqv.)	%
A1 Dämmung	18,84	A1 Dämmung	19,41	A1 Gipsplatten	34,82
A1 Holzwerkstoffe	17,07	A1 Vollholz	13,98	A1 met. Befestigungsmittel	33,47
A4 Transport zur Baustelle	9,36	A4 Transport zur Baustelle	13,19	A1 Putzsystem	14,52
A1 Vollholz	8,31	A1 Holzwerkstoffe	11,15	A1 Dämmung	10,85
A3 Strom im Werk	8,30	A3 Holzfeuerung im Werk	7,38	A3 Produktionsabfall	3,75
A1 met. Befestigungsmittel	6,05	A1 met. Befestigungsmittel	6,00	A1 Holzwerkstoffe	1,49
A1 Klinker	5,46	A3 Strom im Werk	4,29	A3 Strom im Werk	0,19
A3 Produktionsabfall	5,42	A1 Putzsystem	3,77	A1 Absperrung	0,17
A1 Putzsystem	4,33	A1 Klinker	3,51	A3 Betriebsmittel	0,13
A1 Gipsplatten	4,31	A1 Absperrung	2,96	A1/3 Dichtmaterialien	0,11
A3 Holzfeuerung im Werk	2,45	A1 Gipsplatten	2,72	A1 Vollholz	0,10
A3 therm. Energie Gas & Öl	2,37	A2 Transport Halbwaren	2,67	A1 Klinker	0,08
A2 Transport Halbwaren	1,91	A3 Produktverpackung	1,67	A1 PU Schaum	0,08
A1 PU Schaum	1,08	A5 Baustelle	1,46	A1/3 Lacke, Farben, Holzschutzsm.	0,07
A3 Produktverpackung	1,06	A3 therm. Energie Gas & Öl	1,30	A4 Transport zur Baustelle	0,05
A5 Baustelle	1,02	A3 Produktionsabfall	1,09	A3 Holzfeuerung im Werk	0,04
A1 Absperrung	0,82	A1/3 Dichtmaterialien	0,23	A1 Mörtel & Estrich	0,03
A1/3 Lacke, Farben, Holzschutzsm.	0,33	A1/3 Lacke, Farben, Holzschutzsm.	0,17	A3 Produktverpackung	0,01
A1/3 Dichtmaterialien	0,31	A1 PU Schaum	0,17	A2 Transport Halbwaren	0,01
A1 Mörtel & Estrich	0,23	A1 Mörtel & Estrich	0,12	A3 therm. Energie Gas & Öl	0,01
A3 Betriebsmittel	0,06	A3 Betriebsmittel	0,05	A5 Baustelle	0,01
sonstige	0,94	sonstige	2,71	sonstige	0,04

Abbildung 3-3 bildet die holzinhärente Kohlenstoffbilanz des Bauelements und des in der Bauelementherstellung (Modul A3) auftretenden Co-Produkts ab. In Modul A1 werden für die Herstellung der für das Bauelement benötigten Halbwaren und des Co-Produkts 73,13/1,25 kg CO₂-Äqv. aufgenommen, wovon 13,47/0,25 kg CO₂ Äqv. durch Verbrennung zur Heizenergiebereitstellung oder als Sägenebenprodukt in der Halbwarenproduktion wieder verlassen. Zugekauftes Altholz und in der Bauelementherstellung anfallendes Industrierestholz werden sowohl als Input als auch – aufgrund ihrer Verbrennung zur Energiegewinnung – als Output in Modul A3 verbucht (11,52 kg CO₂-Äqv.). Die im Co-Produkt in Modul A3 das Produktsystem verlassenden CO₂-Äqv. betragen 1,00 kg.

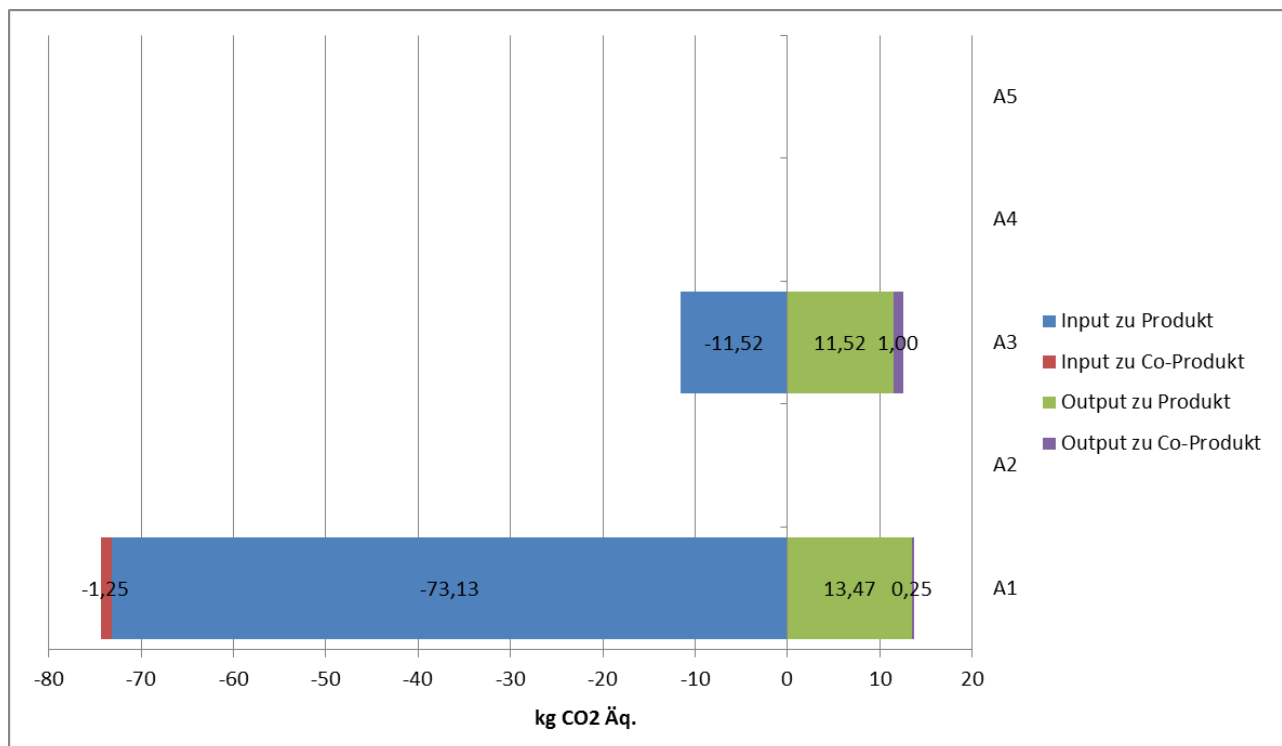


Abbildung 3-3: Bilanz der Kohlenstoffflüsse in der Holzbiomasse

3.3.2 Außenwandelement in Holzskelettbauweise

Die durchschnittliche Baustoff-/Bauproduktzusammensetzung von 1 m² Außenwandelement in Skelettbauweise enthält Tabelle 3-19.

Tabelle 3-19: Durchschnittliche (produktionsmengengewichtet) Baustoff-/Bauproduktzusammensetzung der funktionellen Einheit 1 m² Außenwandelement in Holzskelettbauweise

Bauelemente/-stoffe	Wert	Einheit
Vollholz/Schalholz	64,99	kg
Holzwerkstoffplatten	0,45	kg
Gipsplatten	10,16	kg
Dämmmaterialien	5,33	kg
Glas	19,94	kg
Stahl	9,66	kg
Putzsystem/Fassadenbekleidung exklusive Schalholz	4,09	kg
Befestigungsmittel (metallische Verbindungsmittel, Klebstoffe, PU-Schaum)	0,85	kg
Dichtstoffe	0,23	kg
Absperrung	0,21	kg
Lacke, Lasuren und Holzschutzmittel	0,64	kg
Summe	116,56	kg

Tabelle 3-20: Verpackungsmaterial zur funktionellen Einheit

Verpackung	Wert	Einheit
PE-Folie	0,28	kg

Die Bandbreite der Wärmedurchlasskoeffizienten [$U = W/m^2 K$] der von den Projektpartnern hergestellten, nicht verglasten Außenwandelemente reicht von 0,1 bis 0,23 [$W/m^2 K$], der Mit-

telwert liegt bei 0,15 [W/m² K]. Die U-Werte, der ebenfalls in die Durchschnittsbildung der funktionellen Einheit des Außenwandelements mit eingeflossenen Glasfassaden liegen bei 0,6 [W/m² K] und höher.

Die Sachbilanz für die Herstellung (Modul A3) von 1 m² Außenwandelement in Holzskelettbauweise enthält Tabelle 3-21.

Tabelle 3-21: Sachbilanz für die Herstellung (Modul A3) und Montage (A5) von 1 m² Außenwandelement in Holzskelettbauweise

a) Input

Fluss	Menge	Einheit
Halbwaren zur Herstellung des Außenwandelements		
Vollholz (Schnittholz, Brettschichtholz, Konstruktionsvollholz, etc.)	64,99	kg
Holzwerkstoffe (Spanplatte, OSB, MDF)	0,45	kg
Gipsplatten	11,03	kg
Dämmmaterialien	5,33	kg
Putz	6,18	kg
Glas	26,24	kg
Stahl	9,66	kg
Befestigungsmittel (metallische Verbindungsmittel, Klebstoffe, PU-Schaum)	0,85	kg
Dichtstoffe	0,23	kg
Absperrung	0,24	kg
Lacke, Lasuren und Holzschutzmittel	0,64	kg
Energiebedarf		
Strombedarf im Werk	42,67	MJ
Thermische Energie; Öl & Gas	2,35	MJ
Industrierestholz aus eigener Produktion und zugekauft Altholz	4,06	kg
Diesel für Flurförderzeuge	0,24	kg
Diesel für Kran auf der Baustelle (Modul A5)	0,24	kg
Betriebsmittel		
Trinkwasserverbrauch im Werk	28,34	kg
Trinkwasserverbrauch auf der Baustelle (Modul A5)	1,26	kg
sonstige (Öle & Fette, metallische Werkstoffe, Schleifbänder, Reinigungsm., Reifen)	0,024	kg
Verpackungsmaterialien der Halbwaren und Betriebsmittel		
PE Folie	0,52	kg
Polystyrol	0,03	kg
Karton	0,39	kg
Verpackungsmaterialien für Transport der Bauteilflächen zur Baustelle		
PE-Folie	0,28	kg

b) Output

Fluss	Menge	Einheit
Produkte		
1 m² Außenwandelement	116,56	kg
Späne und Hackschnitzel zum Verkauf	1,21	kg
Emissionen aus		
Verbrennung der Brennstoffe	siehe Hintergrundd. (Kapitel 2.8)	
Verbrennung von Diesel		
Abbinden der Klebstoffe		
Abfälle im Werk		
Verpackungsabfälle, Materialreste	8,15	kg
Asche	siehe Hintergrundd.	
Abfälle auf der Baustelle (Modul A5)		
Gemischter Bauschutt	2,09	kg
PE-Folie (Verpackungsmaterial)	0,28	kg

Der für den Transport des Bauelements und die leere Rückfahrt des LKWs nötige Dieselbedarf liegt bei 3,30 kg.

Die Umweltwirkungen für die Herstellung von 1 m² Außenwandelement in Holzskelettbauweise gemäß DIN°EN°15804 enthält Tabelle 3-22.

Tabelle 3-22: Umweltauswirkungen, Ressourceneinsätze, Outputflüsse und Abfälle für die Herstellung von 1 m² Außenwandelement in Holzskelettbauweise

Parameter	Einheit	Bereitstellung der Rohstoffe (A1)	Transport (A2)	Herstellungsprozess (A3)	Summe cradle to gate (A1 - A3)	maximale herstellereigenspezifische Abweichung von A1 bis A3 in %	Transport zur Baustelle (A4)	Errichtung auf der Baustelle (A5)	Lasten und Potenziale aus der Nachnutzung von Verpackungsmaterialien (D)
Ergebnisse Umweltauswirkungen									
GWP	[kg CO ₂ -Äqv.]	-2,25E+00	1,02E+00	1,48E+01	1,36E+01	-16,0/+2,0	1,16E+01	1,58E+00	-4,40E-01
ODP	[kg CFC11-Äqv.]	2,86E-06	1,26E-12	1,80E-07	3,04E-06	-78,9/+10,0	2,20E-11	4,66E-12	-1,80E-11
AP	[kg SO ₂ -Äqv.]	5,67E-01	4,50E-03	3,59E-02	6,07E-01	-22,2/+2,8	5,17E-02	4,16E-03	-6,26E-04
EP	[kg PO ₄ ³⁻ -Äqv.]	6,47E-02	1,23E-03	6,54E-03	7,25E-02	-31,9/+4,0	1,40E-02	1,07E-03	-7,47E-05
POCP	[kg Ethen-Äqv.]	1,07E-02	-1,71E-03	9,72E-03	1,87E-02	-71,2/+9,0	-1,92E-02	-1,37E-03	-5,79E-05
ADPE	[kg Sb-Äqv.]	5,45E-04	5,27E-08	2,31E-06	5,48E-04	-3,8/+30,3	6,14E-07	1,04E-07	-5,23E-08
ADPF	[MJ]	1,48E+03	1,39E+01	1,15E+02	1,61E+03	-25,7/+3,3	1,58E+02	1,22E+01	-5,80E+00
Ergebnisse Ressourceneinsatz									
PERE	[MJ]	3,62E+02	1,06E+00	1,34E+02	4,98E+02		1,21E+01	9,65E-01	-6,59E-01
PERM	[MJ]	1,16E+03	0,00E+00	-1,41E+01	1,15E+03		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
PERT	[MJ]	1,52E+03	1,06E+00	1,20E+02	1,65E+03		1,21E+01	9,65E-01	-6,59E-01
PENRE	[MJ]	1,53E+03	1,39E+01	1,19E+02	1,66E+03		1,59E+02	2,24E+01	-6,77E+00
PENRM	[MJ]	1,18E+02	0,00E+00	3,08E+01	1,49E+02		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
PENRT	[MJ]	1,65E+03	1,39E+01	1,50E+02	1,81E+03		1,59E+02	2,24E+01	-6,77E+00
SM	[kg]	-	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
RSF	[MJ]	-	0,00E+00	1,74E-01	1,74E-01		0,00E+00	0,00E+00	-
NRSF	[MJ]	-	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00	-
FW	[m ³]	2,06E-01	6,14E-04	6,75E-02	2,74E-01	7,11E-03	3,60E-03	-9,33E-04	
Ergebnisse Outputflüsse und Abfallkategorien									
HWD	[kg]	1,70E-04	1,12E-05	1,16E-04	2,97E-04		1,27E-04	9,55E-06	-1,00E-03
NHWD	[kg]	2,90E+02	9,36E-02	5,88E+01	1,31E+00		1,31E+00	2,43E+00	-1,25E+00
RWD	[kg]	5,66E-02	1,85E-05	1,36E-02	7,02E-02		2,79E-04	4,23E-05	-3,84E-04
CRU	[kg]	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
MFR	[kg]	0,00E+00	0,00E+00	8,60E-01	8,60E-01		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
MER	[kg]	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
EE ¹	[MJ]	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	3,12E+00	0,00E+00
EE ²	[MJ]	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	1,36E+00	0,00E+00

Umweltwirkungen: GWP = Globales Erwärmungspotenzial; ODP = Abbau Potential der stratosphärischen Ozonschicht; AP = Versauerungspotenzial von Boden und Wasser; EP = Eutrophierungspotenzial; POCP Bildungspotential für troposphärisches Ozon; ADPE = Potenzial für den abiotischen Abbau nicht fossiler Ressourcen; ADPF = Potenzial für den abiotischen Abbau fossiler Brennstoffe

Ressourceneinsatz: PERE = Erneuerbare Primärenergie als Energieträger; PERM = Erneuerbare Primärenergie zur stofflichen Nutzung; PERT = Total erneuerbare Primärenergie; PENRE = Nicht-erneuerbare Primärenergie als Energieträger; PENRM = Nicht-erneuerbare Primärenergie zur stofflichen Nutzung; PENRT = Total nicht erneuerbare Primärenergie; SM = Einsatz von Sekundärstoffen; RSF = Erneuerbare Sekundärbrennstoffe; NRSF = Nicht erneuerbare Sekundärbrennstoffe; FW = Einsatz von Süßwasserressourcen

Output-Flüsse und Abfallkategorie: HWD = Gefährlicher Abfall zur Deponie; NHWD = Entsorgter nicht gefährlicher Abfall; RWD = Entsorgter radioaktiver Abfall; CRU = Komponenten für die Wiederverwendung; MFR = Stoffe zum Recycling; MER = Stoffe für die Energierückgewinnung; EE = Exportierte Energie je Typ

Es wurden die Charakterisierungsfaktoren von CML (2000-2009, Institute of Environmental Sciences Faculty of Science Universität Leiden, Niederlande) verwendet. Der Charakterisierungsfaktor für den Verbrauch von abiotischen Ressourcen (fossile Stoffe) ist der jeweilige untere Heizwert am Extraktionspunkt des fossilen Brennstoffs. Langzeitemissionen (> 100 Jahre) werden in der Wirkungsabschätzung nicht berücksichtigt.

Die Haupteinflussfaktoren auf die Umweltwirkungen und die bezüglich des Energiebedarfs dominanten Prozesse zeigt Tabelle 3-23. Die holzinhärenten Kohlenstoffflüsse sind beim GWP (Treibhauspotenzial) in Tabelle 3-23 unberücksichtigt.

Tabelle 3-23: Dominanzanalyse zu den nach Normierung auf deutsche Gesamtemissionen relevantesten Umweltwirkungen

GWP (kg CO₂ Äqv.)	%	AP (kg SO₂ Äqv.)	%	ADPE (kg Sb Äqv.)	%
A1 Glas	24,12	A1 Glas	40,54	A1 met. Befestigungsmittel	30,40
A1 Stahl	16,92	A1 Vollholz	14,74	A1 Gipsplatten	28,89
A1 Vollholz	15,38	A1 Stahl	11,58	A1 Putzsystem	15,43
A4 Transport zur Baustelle	9,43	A3 Produktionsabfall	9,96	A1 Glas	15,01
A1 Dämmung	8,23	A4 Transport zur Baustelle	8,41	A3 Produktionsabfall	6,07
A3 Produktionsabfall	7,52	A1 Dämmung	2,94	A1 Dämmung	1,15
A3 Strom im Werk	5,88	A3 Holzfeuerung im Werk	1,97	A1/3 Lacke, Farben, Holzschutzm.	0,70
A1 Gipsplatten	2,48	A3 Strom im Werk	1,92	A1/3 Dichtmaterialien	0,62
A1 met. Befestigungsmittel	2,16	A1 met. Befestigungsmittel	1,36	A1 Vollholz	0,45
A1 Putzsystem	1,71	A1 Putzsystem	0,92	A3 Strom im Werk	0,34
A1/3 Lacke, Farben, Holzschutzm.	1,35	A1 Absperrung	0,89	A1 Stahl	0,29
A3 Holzfeuerung im Werk	1,00	A5 Baustelle	0,65	A3 Betriebsmittel	0,18
A5 Baustelle	0,72	A2 Transport Halbwaren	0,63	A1 Absperrung	0,17
A2 Transport Halbwaren	0,72	A1 Gipsplatten	0,57	A4 Transport zur Baustelle	0,12
A3 Produktverpackung	0,54	A3 Produktverpackung	0,54	A1 Holzwerkstoffe	0,09
A1/3 Dichtmaterialien	0,40	A1/3 Lacke, Farben, Holzschutzm.	0,45	A3 Holzfeuerung im Werk	0,03
A1 Absperrung	0,35	A1/3 Dichtmaterialien	0,37	A3 Produktverpackung	0,01
A1 Holzwerkstoffe	0,24	A1 Holzwerkstoffe	0,17	A5 Baustelle	0,01
A3 therm. Energie Gas & Öl	0,15	A3 therm. Energie Gas & Öl	0,06	A2 Transport Halbwaren	0,01
A3 Betriebsmittel	0,02	A3 Betriebsmittel	0,01	A3 therm. Energie Gas & Öl	0,00
Sonstige	0,69	sonstige	1,33	sonstige	0,01

Abbildung 3-4 bildet die holzinhärente Kohlenstoffbilanz des Bauelements und des in der Bauelementherstellung (Modul A3) auftretenden Co-Produkts ab. In Modul A1 werden für die Herstellung der für das Bauelement benötigten Halbwaren und des Co-Produkts 140,64 bzw. 2,47 kg CO₂-Äqv. aufgenommen, wovon 29,82 bzw. 0,50 kg CO₂-Äqv. durch Verbrennung zur Heizenergiebereitstellung oder als Sägenebenprodukt in der Halbwarenproduktion wieder verlassen. Zugekauftes Altholz und in der Bauelementherstellung anfallendes Industrierestholz werden sowohl als Input als auch – aufgrund ihrer Verbrennung zur Energiegewinnung – als Output in Modul A3 verbucht (8,37 kg CO₂-Äqv.). Die im Co-Produkt in Modul A3 das Produktsystem verlassenden CO₂-Äqv. betragen 1,98 kg.

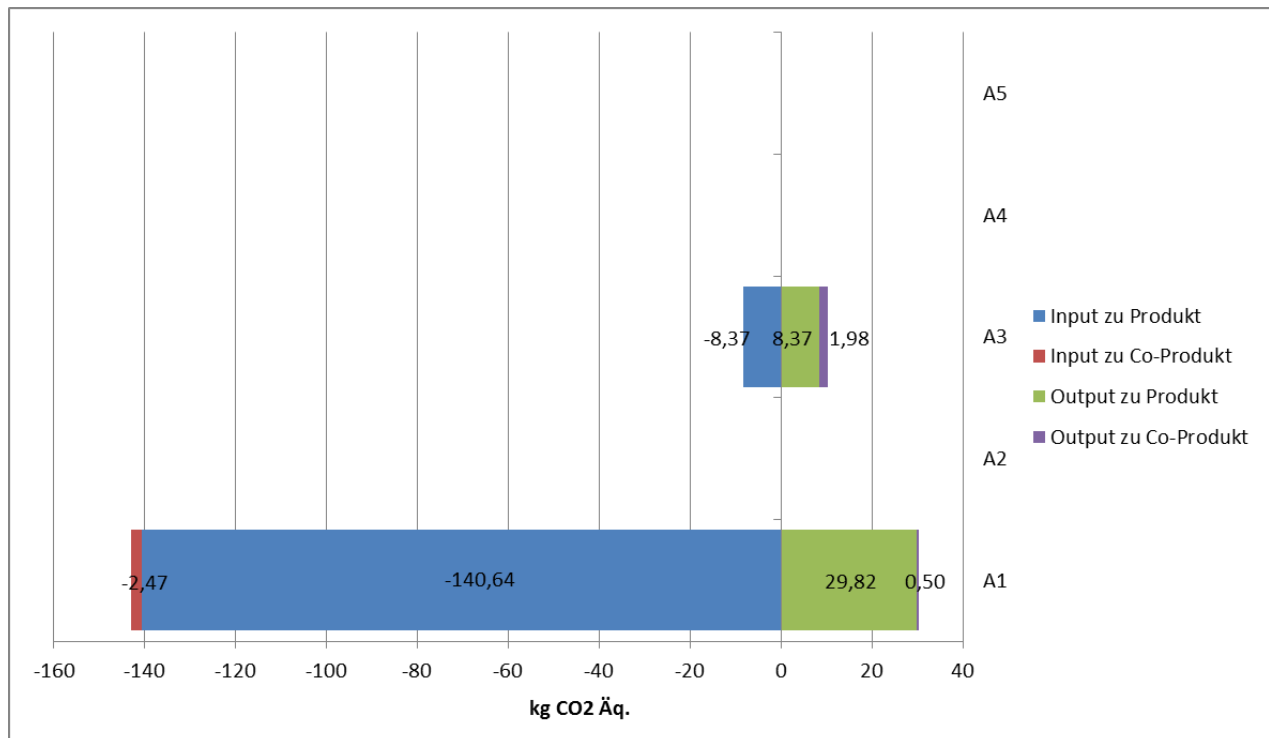


Abbildung 3-4: Bilanz der Kohlenstoffflüsse in der Holzbiomasse

3.3.3 Innenwandelement in Holztafelbauweise

Die durchschnittliche Baustoff-/Bauproduktzusammensetzung von 1 m² Innenwandelement in Holztafelbauweise enthält Tabelle 3-24.

Tabelle 3-24: Durchschnittliche (produktionsmengengewichtet) Baustoff-/Bauproduktzusammensetzung der funktionellen Einheit 1 m² Innenwandelement in Holztafelbauweise

Bauelemente/-stoffe	Wert	Einheit
Vollholz	11,42	kg
Holzwerkstoffplatten	15,90	kg
Gipsplatten	15,45	kg
Dämmmaterialien	1,14	kg
Befestigungsmittel (metallische Verbindungsmittel, Klebstoffe, PU-Schaum)	0,82	kg
Dichtstoffe	0,41	kg
Summe	45,15	kg

Tabelle 3-25: Verpackungsmaterial zur funktionellen Einheit

Verpackung	Wert	Einheit
PE-Folie	0,21	kg

In die Durchschnittsbildung flossen tragende und nicht-tragende Innenwandaufbauten ein. Die Sachbilanz für die Herstellung (Modul A3) und Errichtung (Modul A5) von 1 m² Innenwandelement in Holztafelbauweise enthält Tabelle 3-26.

Tabelle 3-26: Sachbilanz für die Herstellung (Modul A3) und Montage (A5) von 1 m² Innenwandelement in Holztafelbauweise

a) Input

Fluss	Menge	Einheit
Halbwaren zur Herstellung des Innenwandelements		
Vollholz (Schnittholz, Konstruktionsvollholz, Brettschichtholz, etc.)	11,42	kg
Holzwerkstoffe (Spanplatte, OSB, MDF, etc.)	15,90	kg
Gipsplatten	16,43	kg
Dämmmaterialien	1,15	kg
Befestigungsmittel (metallische Verbindungsmittel, Klebstoffe, PU-Schaum)	0,82	kg
Dichtstoffe	0,41	kg
Energiebedarf		
Strombedarf im Werk	27,42	MJ
Thermische Energie; Öl & Gas	12,99	MJ
Industrierestholz aus eigener Produktion und zugekauftes Altholz	6,09	kg
Diesel für Flurförderzeuge	0,09	kg
Diesel für Kran auf der Baustelle (Modul A5)	0,17	kg
Betriebsmittel		
Trinkwasserverbrauch im Werk	23,29	kg
Trinkwasserverbrauch auf der Baustelle (Modul A5)	1,26	kg
sonstige (Öle & Fette, metallische Werkstoffe, Schleifbänder, Reinigungsm., Reifen)	0,022	kg
Verpackungsmaterialien der Halbwaren und Betriebsmittel		
PE Folie	0,53	kg
Polystyrol	0,07	kg
Karton	0,12	kg
Verpackungsmaterialien für Transport der Bauteilflächen zur Baustelle		
PE-Folie	0,21	kg

b) Output

Fluss	Menge	Einheit
Produkte		
1 m ² Innenwandelement	45,15	kg
Späne und Hackschnitzel zum Verkauf	0,47	kg
Emissionen aus		
Verbrennung der Brennstoffe	siehe Hintergrundd. (Kapitel 2.8)	
Verbrennung von Diesel		
Abbinden der Klebstoffe		
Abfälle im Werk		
Verpackungsabfälle, Materialreste	1,75	kg
Asche	siehe Hintergrundd.	
Abfälle auf der Baustelle (Modul A5)		
PE-Folie (Verpackungsmaterial)	0,21	kg

Der für den Transport des Bauelements und die leere Rückfahrt des LKWs nötige Dieselbedarf liegt bei 0,84 kg.

Die Umweltwirkungen für die Herstellung von 1 m² Innenwandelement in Holztafelbauweise gemäß DIN°EN°15804 enthält Tabelle 3-27.

Tabelle 3-27: Umweltauswirkungen, Ressourceneinsätze, Outputflüsse und Abfälle für die Herstellung von 1 m² Innenwandelement in Holztafelbauweise

Parameter	Einheit	Bereitstellung der Rohstoffe (A1)	Transport (A2)	Herstellungsprozess (A3)	Summe cradle to gate (A1 - A3)	maximale herstellereinspezifische Abweichung von A1 bis A3 %/+%	Transport zur Baustelle (A4)	Errichtung auf der Baustelle (A5)	Lasten und Potenziale aus der Nachnutzung von Verpackungsmaterialien (D)
Ergebnisse Umweltauswirkungen									
GWP	[kg CO ₂ -Äqv.]	-2,72E+01	3,85E-01	9,20E+00	-1,76E+01	-27,9/+38,0	2,95E+00	1,12E+00	-3,30E-01
ODP	[kg CFC11-Äqv.]	1,41E-06	4,75E-13	2,00E-07	1,61E-06	-76,7/+17,6	5,60E-12	3,03E-12	-1,35E-11
AP	[kg SO ₂ -Äqv.]	5,10E-02	1,70E-03	2,67E-02	7,94E-02	-32,6/+48,1	1,32E-02	2,80E-03	-4,70E-04
EP	[kg PO ₄ ³⁻ -Äqv.]	9,38E-03	4,65E-04	4,99E-03	1,48E-02	-43,1/+47,3	3,56E-03	7,31E-04	-5,60E-05
POCP	[kg Ethen-Äqv.]	1,23E-02	-6,45E-04	3,56E-03	1,52E-02	-57,4/+67,8	-4,88E-03	-9,81E-04	-4,34E-05
ADPE	[kg Sb-Äqv.]	4,85E-04	1,99E-08	2,21E-06	4,88E-04	-35,7/+65,9	1,56E-07	6,69E-08	-3,92E-08
ADPF	[MJ]	2,41E+02	5,25E+00	8,40E+01	3,31E+02	-30,1/+37,9	4,02E+01	8,32E+00	-4,35E+00
Ergebnisse Ressourceneinsatz									
PERE	[MJ]	8,71E+01	4,02E-01	1,51E+02	2,38E+02		3,09E+00	6,50E-01	-5,18E-01
PERM	[MJ]	4,74E+02	0,00E+00	-5,93E+00	4,68E+02		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
PERT	[MJ]	5,61E+02	4,02E-01	1,45E+02	7,06E+02		3,09E+00	6,50E-01	-5,18E-01
PENRE	[MJ]	2,87E+02	5,27E+00	7,66E+01	3,69E+02		4,04E+01	1,59E+01	-5,08E+00
PENRM	[MJ]	5,96E+00	0,00E+00	3,10E+01	3,69E+01		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
PENRT	[MJ]	2,93E+02	5,27E+00	1,08E+02	4,06E+02		4,04E+01	1,59E+01	-5,08E+00
SM	[kg]	-	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
RSF	[MJ]	-	0,00E+00	4,33E+00	4,33E+00		0,00E+00	0,00E+00	-
NRSF	[MJ]	-	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00	-
FW	[m³]	1,26E-02	2,32E-04	4,16E-02	5,45E-02	1,81E-03	2,93E-03	-7,00E-04	
Ergebnisse Outputflüsse und Abfallkategorien									
HWD	[kg]	1,87E-05	4,25E-06	6,46E-05	8,75E-05		3,23E-05	6,63E-06	-7,51E-04
NHWD	[kg]	4,36E+01	3,54E-02	3,15E+01	3,34E-01		3,34E-01	1,90E-01	-9,37E-01
RWD	[kg]	1,51E-02	7,00E-06	8,87E-03	2,39E-02		7,10E-05	2,54E-05	-2,88E-04
CRU	[kg]	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
MFR	[kg]	0,00E+00	0,00E+00	9,80E-01	9,80E-01		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
MER	[kg]	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
EE ¹	[MJ]	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	2,34E+00	0,00E+00
EE ²	[MJ]	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	1,02E+00	0,00E+00

Umweltwirkungen: GWP = Globales Erwärmungspotenzial; ODP = Abbau Potential der stratosphärischen Ozonschicht; AP = Versauerungspotenzial von Boden und Wasser; EP = Eutrophierungspotenzial; POCP Bildungspotenzial für troposphärisches Ozon; ADPE = Potenzial für den abiotischen Abbau nicht fossiler Ressourcen; ADPF = Potenzial für den abiotischen Abbau fossiler Brennstoffe

Ressourceneinsatz: PERE = Erneuerbare Primärenergie als Energieträger; PERM = Erneuerbare Primärenergie zur stofflichen Nutzung; PERT = Total erneuerbare Primärenergie; PENRE = Nicht-erneuerbare Primärenergie als Energieträger; PENRM = Nicht-erneuerbare Primärenergie zur stofflichen Nutzung; PENRT = Total nicht erneuerbare Primärenergie; SM = Einsatz von Sekundärstoffen; RSF = Erneuerbare Sekundärbrennstoffe; NRSF = Nicht erneuerbare Sekundärbrennstoffe; FW = Einsatz von Süßwasserressourcen

Output-Flüsse und Abfallkategorie: HWD = Gefährlicher Abfall zur Deponie; NHWD = Entsorgter nicht gefährlicher Abfall; RWD = Entsorgter radioaktiver Abfall; CRU = Komponenten für die Wiederverwendung; MFR = Stoffe zum Recycling; MER = Stoffe für die Energierückgewinnung; EE = Exportierte Energie je Typ

Es wurden die Charakterisierungsfaktoren von CML (2000-2009, Institute of Environmental Sciences Faculty of Science Universität Leiden, Niederlande) verwendet. Der Charakterisierungsfaktor für den Verbrauch von abiotischen Ressourcen (fossile Stoffe) ist der jeweilige untere Heizwert am Extraktionspunkt des fossilen Brennstoffs. Langzeitemissionen (> 100 Jahre) werden in der Wirkungsabschätzung nicht berücksichtigt.

Die Haupteinflussfaktoren auf die Umweltwirkungen und die bezüglich des Energiebedarfs dominanten Prozesse zeigt Tabelle 3-28. Die holzinhärenten Kohlenstoffflüsse sind beim GWP (Treibhauspotenzial) in Tabelle 3-28 unberücksichtigt.

Tabelle 3-28: Dominanzanalyse zu den nach Normierung auf deutsche Gesamtemissionen relevantesten Umweltwirkungen

GWP (kg CO ₂ Äqv.)	%	AP (kg SO ₂ Äqv.)	%	ADPE (kg Sb Äqv.)	%
A1 Holzwerkstoffe	18,32	A3 Holzfeuerung im Werk	15,18	A1 Gipsplatten	65,36
A3 Strom im Werk	15,30	A1 Holzwerkstoffe	14,78	A1 met. Befestigungsmittel	25,64
A1 Gipsplatten	10,78	A4 Transport zur Baustelle	13,83	A3 Produktionsabfall	4,26
A4 Transport zur Baustelle	9,71	A1 Vollholz	11,77	A1 Dämmung	3,22
A1 PU Schaum	8,72	A3 Strom im Werk	8,00	A1 Holzwerkstoffe	0,43
A1 met. Befestigungsmittel	7,02	A1 Gipsplatten	7,79	A1 PU Schaum	0,41
A1 Vollholz	6,95	A1 Dämmung	7,18	A3 Strom im Werk	0,23
A3 Holzfeuerung im Werk	4,95	A1 met. Befestigungsmittel	7,04	A3 Betriebsmittel	0,15
A1 Dämmung	4,66	A5 Baustelle	2,80	A1/3 Dichtmaterialien	0,08
A3 Produktionsabfall	3,93	A3 Produktverpackung	2,61	A1 Vollholz	0,06
A3 therm. Energie Gas & Öl	3,23	A2 Transport Halbwaren	1,78	A3 Holzfeuerung im Werk	0,05
A5 Baustelle	1,97	A3 therm. Energie Gas & Öl	1,71	A4 Transport zur Baustelle	0,03
A3 Produktverpackung	1,64	A1 PU Schaum	1,39	A3 Produktverpackung	0,01
A2 Transport Halbwaren	1,27	A3 Produktionsabfall	0,97	A3 therm. Energie Gas & Öl	0,01
A1/3 Dichtmaterialien	0,47	A1/3 Dichtmaterialien	0,37	A5 Baustelle	0,01
A3 Betriebsmittel	0,10	A3 Betriebsmittel	0,09	A2 Transport Halbwaren	0,00
sonstige	0,97	sonstige	2,69	sonstige	0,04

Abbildung 3-5 bildet die holzinhärente Kohlenstoffbilanz des Bauelements und des in der Bauelementherstellung (Modul A3) auftretenden Co-Produkts ab. In Modul A1 werden für die Herstellung der für das Bauelement benötigten Halbwaren und des Co-Produkts 53,98 bzw. 0,96 kg CO₂-Äqv. aufgenommen, wovon 8,75 bzw. 0,19 kg CO₂-Äqv. durch Verbrennung zur Heizenergiebereitstellung oder als Sägenebenprodukt in der Halbwarenproduktion wieder verlassen. Zugekauft Altholz und in der Bauelementherstellung anfallendes Industrierestholz werden sowohl als Input als auch – aufgrund ihrer Verbrennung zur Energiegewinnung – als Output in Modul A3 verbucht (12,02 kg CO₂-Äqv.). Die im Co-Produkt in Modul A3 das Produktsystem verlassenden CO₂-Äqv. betragen 0,77 kg.

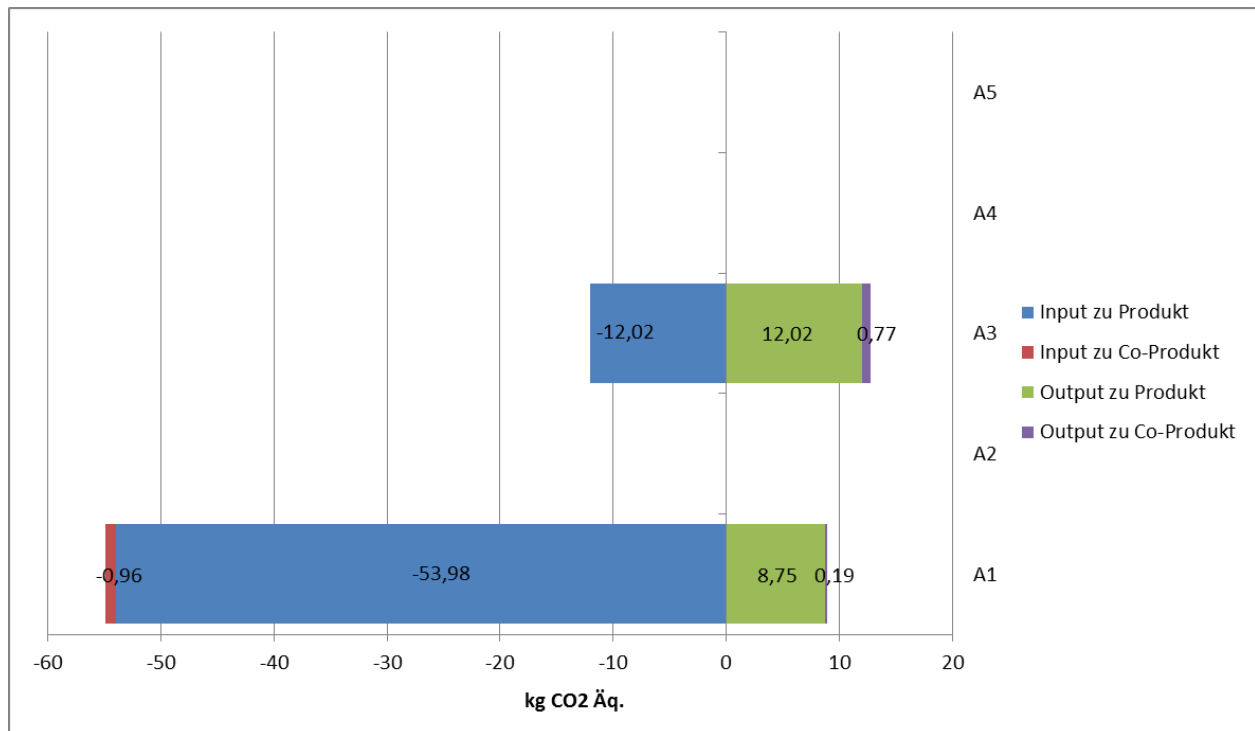


Abbildung 3-5: Bilanz der Kohlenstoffflüsse in der Holzbiomasse

3.3.4 Innenwandelement in Holzskelettbauweise

Die durchschnittliche Baustoff-/Bauproduktzusammensetzung von 1 m² Innenwandelement in Holzskelettbauweise enthält Tabelle 3-29.

Tabelle 3-29: Durchschnittliche (produktionsmengengewichtet) Baustoff-/Bauproduktzusammensetzung der funktionellen Einheit 1 m² Innenwandelement in Holzskelettbauweise

Bauelemente/-stoffe	Wert	Einheit
Vollholz	36,70	kg
Gipsplatten	12,62	kg
Glas	3,36	kg
Stahl	1,90	kg
Dämmmaterialien	1,10	kg
Befestigungsmittel (metallische Verbindungsmittel, Klebstoffe, PU-Schaum)	0,85	kg
Dichtstoffe	0,23	kg
Summe	56,76	kg

Tabelle 3-30: Verpackungsmaterial zur funktionellen Einheit

Verpackung	Wert	Einheit
PE-Folie	0,21	kg

In die Durchschnittsbildung flossen tragende und nicht-tragende Innenwandaufbauten ein.

Die Sachbilanz für die Herstellung (Modul A3) von 1 m² Innenwandelement in Holzskelettbauweise enthält Tabelle 3-31.

Tabelle 3-31: Sachbilanz für die Herstellung (Modul A3) und Montage (A5) von 1 m² Innenwandelement in Holzskelettbauweise**a) Input**

Fluss	Menge	Einheit
Halbwaren zur Herstellung des Innenwandelements		
Vollholz (Schnittholz, Brettschichtholz, Konstruktionsvollholz)	36,70	kg
Gipsplatten	14,20	kg
Dämmmaterialien	1,10	kg
Glas	4,03	kg
Stahl	1,90	kg
Befestigungsmittel (metallische Verbindungsmittel, Klebstoffe, PU-Schaum)	0,85	kg
Dichtstoffe	0,23	kg
Energiebedarf		
Strombedarf im Werk	42,67	MJ
Thermische Energie; Öl & Gas	2,35	MJ
Industrierestholz aus eigener Produktion und zugekauft Altholz	3,67	kg
Diesel für Flurförderzeuge	0,24	kg
Diesel für Kran auf der Baustelle (Modul A5)	0,24	kg
Betriebsmittel		
Trinkwasserverbrauch im Werk	28,34	kg
Trinkwasserverbrauch auf der Baustelle (Modul A5)	1,26	kg
sonstige (Öle & Fette, metallische Werkstoffe, Schleifbänder, Reinigungsm., Reifen)	0,024	kg
Verpackungsmaterialien der Halbwaren und Betriebsmittel		
PE Folie	0,25	kg
Polystyrol	0,01	kg
Karton	0,19	kg
Verpackungsmaterialien für Transport der Bauteilflächen zur Baustelle		
PE-Folie	0,21	kg

b) Output

Fluss	Menge	Einheit
Produkte		
1 m² Innenwandelement	56,76	kg
Späne und Hackschnitzel zum Verkauf	0,72	kg
Emissionen aus		
Verbrennung der Brennstoffe	siehe Hintergrundd. (Kapitel 2.8)	
Verbrennung von Diesel		
Abbinden der Klebstoffe		
Abfälle im Werk		
Verpackungsabfälle, Materialreste	2,74	kg
Asche	siehe Hintergrundd.	
Abfälle auf der Baustelle (Modul A5)		
PE-Folie (Verpackungsmaterial)	0,21	kg

Der für den Transport des Bauelements und die leere Rückfahrt des LKWs nötige Dieselbedarf liegt bei 1,60 kg.

Die Umweltwirkungen für die Herstellung von 1 m² Innenwandelement in Holzskelettbauweise gemäß DIN°EN°15804 enthält Tabelle 3-32.

Tabelle 3-32: Umweltauswirkungen, Ressourceneinsätze, Outputflüsse und Abfälle für die Herstellung von 1 m² Innenwandelement in Holzskelettbauweise

Parameter	Einheit	Bereitstellung der Rohstoffe (A1)	Transport (A2)	Herstellungs- prozess (A3)	Summe cradle to gate (A1 - A3)	maximale herstel- lerspezifische Ab- weichung von A1 bis A3 in %	Transport zur Baustelle (A4)	Errichtung auf der Baustelle (A5)	Lasten und Poten- ziale aus d er Nach- nutzung von Verpa- ckungsmaterialien (D)
Ergebnisse Umweltauswirkungen									
GWP	[kg CO ₂ -Äqv.]	-3,33E+01	5,14E-01	1,12E+01	-2,15E+01	-21,7/+2,8	5,62E+00	1,37E+00	-3,30E-01
ODP	[kg CFC11-Äqv.]	1,48E-06	6,33E-13	1,46E-07	1,62E-06	-82,0/+10,4	1,07E-11	3,50E-12	-1,35E-11
AP	[kg SO ₂ -Äqv.]	1,30E-01	2,27E-03	3,05E-02	1,63E-01	-37,0/+4,7	2,51E-02	3,90E-03	-4,70E-04
EP	[kg PO ₄ ³⁻ -Äqv.]	1,81E-02	6,20E-04	5,55E-03	2,43E-02	-49,3/+6,3	6,79E-03	1,03E-03	-5,60E-05
POCP	[kg Ethen-Äqv.]	9,83E-03	-8,60E-04	3,44E-03	1,24E-02	-55,4/+7,0	-9,29E-03	-1,39E-03	-4,34E-05
ADPE	[kg Sb-Äqv.]	3,83E-04	2,65E-08	2,91E-06	3,86E-04	-5,4/+42,7	2,98E-07	7,99E-08	-3,92E-08
ADPF	[MJ]	3,72E+02	7,00E+00	1,01E+02	4,79E+02	-24,8/+3,1	7,65E+01	1,17E+01	-4,35E+00
Ergebnisse Ressourceneinsatz									
PERE	[MJ]	1,78E+02	5,36E-01	1,17E+02	2,96E+02		5,89E+00	9,07E-01	-5,18E-01
PERM	[MJ]	6,54E+02	0,00E+00	-9,13E+00	6,45E+02		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
PERT	[MJ]	8,32E+02	5,36E-01	1,08E+02	9,41E+02		5,89E+00	9,07E-01	-5,18E-01
PENRE	[MJ]	4,33E+02	7,03E+00	1,14E+02	5,54E+02		7,69E+01	1,93E+01	-5,08E+00
PENRM	[MJ]	6,79E+00	0,00E+00	1,76E+01	2,43E+01		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
PENRT	[MJ]	4,39E+02	7,03E+00	1,32E+02	5,78E+02		7,69E+01	1,93E+01	-5,08E+00
SM	[kg]	-	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
RSF	[MJ]	-	0,00E+00	1,57E-01	1,57E-01		0,00E+00	0,00E+00	-
NRSF	[MJ]	-	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00	-
FW	[m³]	1,33E-02	3,09E-04	5,68E-02	7,05E-02	3,45E-03	3,08E-03	-7,00E-04	
Ergebnisse Outputflüsse und Abfallkategorien									
HWD	[kg]	4,40E-05	5,66E-06	1,03E-04	1,53E-04		6,16E-05	9,33E-06	-7,51E-04
NHWD	[kg]	8,39E+01	4,72E-02	4,61E+01	6,36E-01		6,36E-01	2,17E-01	-9,37E-01
RWD	[kg]	2,27E-02	9,34E-06	1,20E-02	3,47E-02		1,35E-04	3,13E-05	-2,88E-04
CRU	[kg]	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
MFR	[kg]	0,00E+00	0,00E+00	1,58E+00	1,58E+00		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
MER	[kg]	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
EE ¹	[MJ]	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	2,34E+00	0,00E+00
EE ²	[MJ]	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	1,02E+00	0,00E+00

Umweltwirkungen: GWP = Globales Erwärmungspotenzial, ODP = Abbau Potential der stratosphärischen Ozonschicht; AP = Versauerungspotenzial von Boden und Wasser; EP = Eutrophierungspotenzial; POCP Bildungspotential für troposphärisches Ozon; ADPE = Potenzial für den abiotischen Abbau nicht fossiler Ressourcen; ADPF = Potenzial für den abiotischen Abbau fossiler Brennstoffe

Ressourceneinsatz: PERE = Erneuerbare Primärenergie als Energieträger; PERM = Erneuerbare Primärenergie zur stofflichen Nutzung; PERT = Total erneuerbare Primärenergie; PENRE = Nicht-erneuerbare Primärenergie als Energieträger; PENRM = Nicht-erneuerbare Primärenergie zur stofflichen Nutzung; PENRT = Total nicht erneuerbare Primärenergie; SM = Einsatz von Sekundärstoffen; RSF = Erneuerbare Sekundärbrennstoffe; NRSF = Nicht erneuerbare Sekundärbrennstoffe; FW = Einsatz von Süßwasserressourcen

Output-Flüsse und Abfallkategorie: HWD = Gefährlicher Abfall zur Deponie; NHWD = Entsorgter nicht gefährlicher Abfall; RWD = Entsorgter radioaktiver Abfall; CRU = Komponenten für die Wiederverwendung; MFR = Stoffe zum Recycling; MER = Stoffe für die Energierückgewinnung; EE = Exportierte Energie je Typ

Es wurden die Charakterisierungsfaktoren von CML (2000-2009, Institute of Environmental Sciences Faculty of Science Universität Leiden, Niederlande) verwendet. Der Charakterisierungsfaktor für den Verbrauch von abiotischen Ressourcen (fossile Stoffe) ist der jeweilige untere Heizwert am Extraktionspunkt des fossilen Brennstoffs. Langzeitemissionen (> 100 Jahre) werden in der Wirkungsabschätzung nicht berücksichtigt.

Die Haupteinflussfaktoren auf die Umweltwirkungen und die bezüglich des Energiebedarfs dominanten Prozesse zeigt. Die holzinhärenten Kohlenstoffflüsse sind in der Kategorie GWP (Treibhauspotenzial) in Tabelle 3-33 unberücksichtigt.

Tabelle 3-33: Dominanzanalyse zu den nach Normierung auf deutsche Gesamtemissionen relevantesten Umweltwirkungen

GWP (kg CO₂ Äqv.)	%	AP (kg SO₂ Äqv.)	%	ADPE (kg Sb Äqv.)	%
A1 Vollholz	23,37	A1 Vollholz	26,88	A1 Gipsplatten	47,57
A3 Strom im Werk	15,78	A1 Glas	20,04	A1 met. Befestigungsmittel	40,32
A4 Transport zur Baustelle	12,18	A4 Transport zur Baustelle	13,10	A3 Produktionsabfall	6,48
A1 Glas	9,88	A1 Stahl	7,32	A1 Glas	3,06
A1 Stahl	8,86	A3 Strom im Werk	6,23	A1/3 Dichtmaterialien	0,82
A1 Gipsplatten	8,19	A3 Holzfeuerung im Werk	5,09	A1 Dämmung	0,46
A1 met. Befestigungsmittel	5,75	A1 met. Befestigungsmittel	4,36	A3 Strom im Werk	0,46
A3 Produktionsabfall	3,99	A3 Produktionsabfall	3,77	A1 Vollholz	0,34
A3 Holzfeuerung im Werk	2,36	A1 Gipsplatten	2,27	A3 Betriebsmittel	0,24
A1 Dämmung	2,26	A5 Baustelle	1,97	A4 Transport zur Baustelle	0,08
A5 Baustelle	1,83	A3 Produktverpackung	1,30	A1 Stahl	0,08
A2 Transport Halbwaren	1,11	A2 Transport Halbwaren	1,18	A3 Holzfeuerung im Werk	0,03
A3 Produktverpackung	1,08	A1/3 Dichtmaterialien	1,18	A3 Produktverpackung	0,01
A1/3 Dichtmaterialien	1,06	A1 Dämmung	0,81	A5 Baustelle	0,01
A3 therm. Energie Gas & Öl	0,40	A3 therm. Energie Gas & Öl	0,19	A2 Transport Halbwaren	0,01
A3 Betriebsmittel	0,06	A3 Betriebsmittel	0,04	A3 therm. Energie Gas & Öl	0,00
sonstige	1,84	sonstige	4,26	sonstige	0,01

Abbildung 3-6 bildet die holzinhärente Kohlenstoffbilanz des Bauelements und des in der Bauelementherstellung (Modul A3) auftretenden Co-Produkts ab. In Modul A1 werden für die Herstellung der für das Bauelement benötigten Halbwaren und des Co-Produkts 79,00 bzw. 1,47 kg CO₂-Äqv. aufgenommen, wovon 16,60 bzw. 0,30 kg CO₂-Äqv. durch Verbrennung zur Heizenergiebereitstellung oder als Sägenebenprodukt in der Halbwarenproduktion wieder verlasen. Zugekauft Altholz und in der Bauelementherstellung anfallendes Industrierestholz werden sowohl als Input als auch – aufgrund ihrer Verbrennung zur Energiegewinnung – als Output in Modul A3 verbucht (7,57 kg CO₂-Äqv.). Die im Co-Produkt in Modul A3 das Produktsystem verlassenden CO₂-Äqv. betragen 1,18 kg.

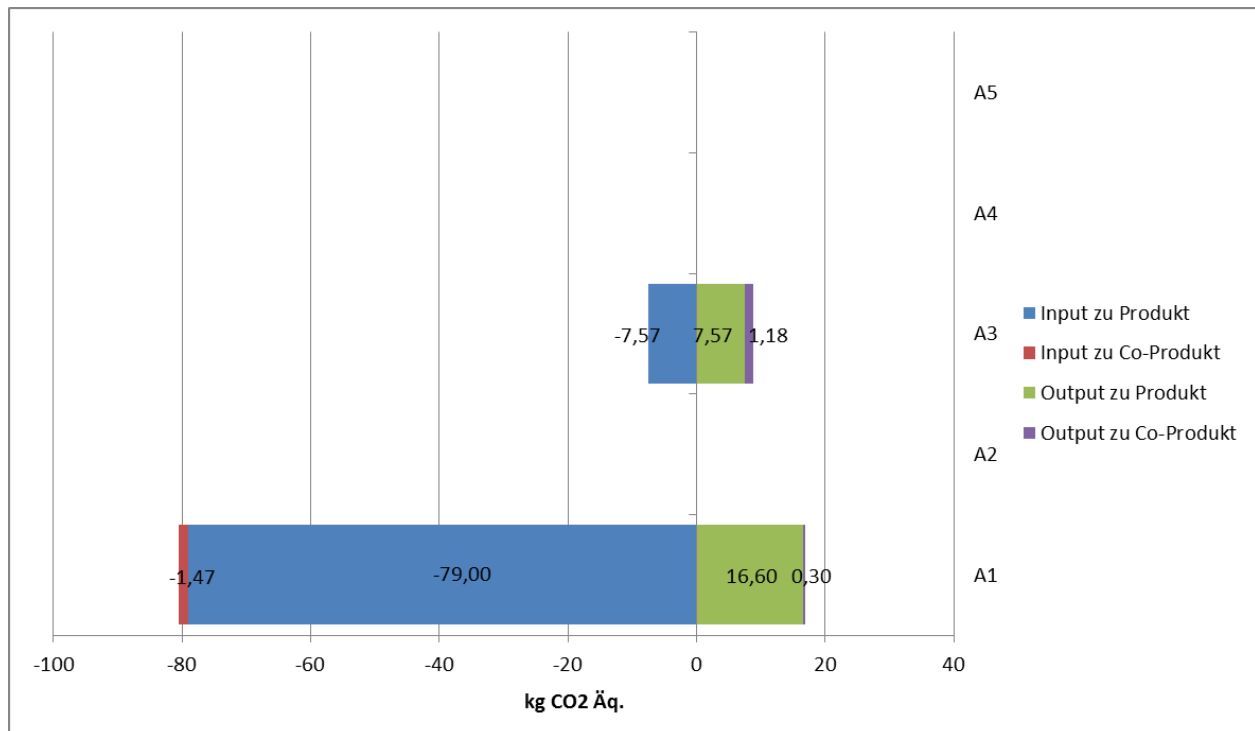


Abbildung 3-6: Bilanz der Kohlenstoffflüsse in der Holzbiomasse

3.3.5 Dachelement zur Holztafelbauweise

Die durchschnittliche Baustoff-/Bauproduktzusammensetzung von 1 m² Dachelement zur Holztafelbauweise enthält Tabelle 3-34.

Tabelle 3-34: Durchschnittliche (produktionsmengengewichtet) Baustoff-/Bauproduktzusammensetzung der funktionellen Einheit 1 m² Dachelement zur Holztafelbauweise

Bauelemente/-stoffe	Wert	Einheit
Vollholz	20,27	kg
Holzwerkstoffplatten	1,81	kg
Gipsplatten	8,05	kg
Dämmmaterialien	4,41	kg
Befestigungsmittel (metallische Verbindungsmittel, Klebstoffe, PU-Schaum)	0,82	kg
Dichtstoffe	0,41	kg
Absperrung	0,41	kg
Lacke, Lasuren und Holzschutzmittel	0,11	kg
Summe	36.28	kg

Tabelle 3-35: Verpackungsmaterial zur funktionellen Einheit

Verpackung	Wert	Einheit
PE-Folie	0,24	kg

Die Bandbreite der Wärmedurchlasskoeffizienten [$U = W/m^2 K$] der produzierten Dachelemente reicht von 0,17 bis 0,39 [$W/m^2 K$], der Mittelwert liegt bei 0,21 [$W/m^2 K$].

Die Sachbilanz für die Herstellung (Modul A3) und Errichtung (Modul A5) von 1 m² Dachelement zur Holztafelbauweise enthält Tabelle 3-36.

Tabelle 3-36: Sachbilanz für die Herstellung (Modul A3) und Montage (A5) von 1 m² Dachelement zur Holztafelbauweise

a) Input

Fluss	Menge	Einheit
Halbwaren zur Herstellung des Dachelements		
Vollholz (Schnittholz, Brettschichtholz, Konstruktionsvollholz, etc.)	20,80	kg
Holzwerkstoffe (Spanplatte, OSB, MDF, etc.)	1,81	kg
Gipsplatten	8,98	kg
Dämmmaterialien	4,43	kg
Befestigungsmittel (metallische Verbindungsmittel, Klebstoffe, PU-Schaum)	0,82	kg
Dichtstoffe	0,41	kg
Absperrung	0,47	kg
Lacke, Lasuren und Holzschutzmittel	0,11	kg
Energiebedarf		
Strombedarf im Werk	27,42	MJ
Thermische Energie; Öl & Gas	12,81	MJ
Industrierestholz aus eigener Produktion und zugekauftes Altholz	5,33	kg
Diesel für Flurförderzeuge	0,05	kg
Diesel für Kran auf der Baustelle (Modul A5)	0,17	kg
Betriebsmittel		
Trinkwasserverbrauch im Werk	23,29	kg
Trinkwasserverbrauch auf der Baustelle (Modul A5)	1,26	kg
sonstige (Öle & Fette, metallische Werkstoffe, Schleifbänder, Reinigungsm., Reifen)	0,022	kg
Verpackungsmaterialien der Halbwaren und Betriebsmittel		
PE Folie	1,25	kg
Polystyrol	0,15	kg
Karton	0,28	kg
Verpackungsmaterialien für Transport der Bauteilflächen zur Baustelle		
PE-Folie	0,24	kg

b) Output

Fluss	Menge	Einheit
Produkte		
1 m² Dachelement	36,29	kg
Späne und Hackschnitzel zum Verkauf	0,39	kg
Emissionen aus		
Verbrennung der Brennstoffe	siehe Hintergrundd. (Kapitel 2,8)	
Verbrennung von Diesel		
Abbinden der Klebstoffe		
Abfälle im Werk		
Verpackungsabfälle, Materialreste	3,12	kg
Asche	siehe Hintergrundd.	
Abfälle auf der Baustelle (Modul A5)		
PE-Folie (Verpackungsmaterial)	0,24	kg

Der für den Transport des Bauelements und die leere Rückfahrt des LKWs nötige Dieselbedarf liegt bei 1,73 kg.

Die Umweltwirkungen für die Herstellung von 1 m² Dachelement zur Holztafelbauweise gemäß DIN°EN°15804 enthält Tabelle 3-37.

Tabelle 3-37: Umweltauswirkungen, Ressourceneinsätze, Outputflüsse und Abfälle für die Herstellung von 1 m² Dachelement in Holztafelbauweise

Parameter	Einheit	Bereitstellung der Rohstoffe (A1)	Transport (A2)	Herstellungsprozess (A3)	Summe cradle to gate (A1 - A3)	maximale herstellerspezifische Abweichung von A1 bis A3 in %	Transport zur Baustelle (A4)	Errichtung auf der Baustelle (A5)	Lasten und Potentiale aus der Nachnutzung von Verpackungsmaterialien (D)
Ergebnisse Umweltauswirkungen									
GWP	[kg CO ₂ -Äqv.]	-2,03E+01	3,34E-01	1,06E+01	-9,31E+00	-50,6/+27,6	6,08E+00	1,20E+00	-3,77E-01
ODP	[kg CFC11-Äqv.]	1,09E-06	4,12E-13	1,75E-07	1,26E-06	-65,1/+19,2	1,15E-11	3,29E-12	-1,54E-11
AP	[kg SO ₂ -Äqv.]	7,02E-02	1,48E-03	2,56E-02	9,72E-02	-33,3/+21,3	2,71E-02	2,82E-03	-5,37E-04
EP	[kg PO ₄ ³⁻ -Äqv.]	1,07E-02	4,03E-04	4,70E-03	1,58E-02	-40,5/+22,8	7,34E-03	7,33E-04	-6,40E-05
POCP	[kg Ethen-Äqv.]	1,03E-02	-5,59E-04	4,01E-03	1,37E-02	-33,2/+28,2	-1,00E-02	-9,80E-04	-4,96E-05
ADPE	[kg Sb-Äqv.]	4,03E-04	1,73E-08	2,24E-06	4,05E-04	-54,9/+13,0	3,22E-07	7,19E-08	-4,48E-08
ADPF	[MJ]	2,49E+02	4,56E+00	8,23E+01	3,36E+02	-36,7/+21,2	8,27E+01	8,35E+00	-4,97E+00
Ergebnisse Ressourceneinsatz									
PERE	[MJ]	9,32E+01	3,49E-01	1,31E+02	2,25E+02		6,37E+00	6,53E-01	-5,92E-01
PERM	[MJ]	4,13E+02	0,00E+00	7,23E+00	4,20E+02		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
PERT	[MJ]	5,06E+02	3,49E-01	1,39E+02	6,45E+02		6,37E+00	6,53E-01	-5,92E-01
PENRE	[MJ]	2,68E+02	4,57E+00	4,80E+01	3,21E+02		8,31E+01	1,71E+01	-5,80E+00
PENRM	[MJ]	2,07E+01	0,00E+00	5,71E+01	7,78E+01		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
PENRT	[MJ]	2,89E+02	4,57E+00	1,05E+02	3,99E+02		8,31E+01	1,71E+01	-5,80E+00
SM	[kg]	-	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
RSF	[MJ]	-	0,00E+00	4,33E+00	4,33E+00		0,00E+00	0,00E+00	-
NRSF	[MJ]	-	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00	-
FW	[m³]	3,03E-02	2,01E-04	4,72E-02	7,77E-02	3,73E-03	3,12E-03	-7,99E-04	
Ergebnisse Outputflüsse und Abfallkategorien									
HWD	[kg]	3,68E-05	3,68E-06	6,51E-05	1,06E-04		6,66E-05	6,64E-06	-8,59E-04
NHWD	[kg]	4,90E+01	3,07E-02	3,12E+01	6,87E-01		6,87E-01	2,07E-01	-9,33E-01
RWD	[kg]	1,32E-02	6,07E-06	8,65E-03	2,19E-02		1,46E-04	2,70E-05	-3,17E-04
CRU	[kg]	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
MFR	[kg]	0,00E+00	0,00E+00	9,30E-01	9,30E-01		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
MER	[kg]	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
EE ¹	[MJ]	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	2,67E+00	0,00E+00
EE ²	[MJ]	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	1,16E+00	0,00E+00

Umweltwirkungen: GWP = Globales Erwärmungspotenzial; ODP = Abbau Potential der stratosphärischen Ozonschicht; AP = Versauerungspotenzial von Boden und Wasser; EP = Eutrophierungspotenzial; POCP Bildungspotenzial für troposphärisches Ozon; ADPE = Potenzial für den abiotischen Abbau nicht fossiler Ressourcen; ADPF = Potenzial für den abiotischen Abbau fossiler Brennstoffe

Ressourceneinsatz: PERE = Erneuerbare Primärenergie als Energieträger; PERM = Erneuerbare Primärenergie zur stofflichen Nutzung; PERT = Total erneuerbare Primärenergie; PENRE = Nicht-erneuerbare Primärenergie als Energieträger; PENRM = Nicht-erneuerbare Primärenergie zur stofflichen Nutzung; PENRT = Total nicht erneuerbare Primärenergie; SM = Einsatz von Sekundärstoffen; RSF = Erneuerbare Sekundärstoffe; NRSF = Nicht erneuerbare Sekundärstoffe; FW = Einsatz von Süßwasserressourcen

Output-Flüsse und Abfallkategorie: HWD = Gefährlicher Abfall zur Deponie; NHWD = Entsorgter nicht gefährlicher Abfall; RWD = Entsorgter radioaktiver Abfall; CRU = Komponenten für die Wiederverwendung; MFR = Stoffe zum Recycling; MER = Stoffe für die Energierückgewinnung; EE = Exportierte Energie je Typ

Es wurden die Charakterisierungsfaktoren von CML (2000-2009, Institute of Environmental Sciences Faculty of Science Universität Leiden, Niederlande) verwendet. Der Charakterisierungsfaktor für den Verbrauch von abiotischen Ressourcen (fossile Stoffe) ist der jeweilige untere Heizwert am Extraktionspunkt des fossilen Brennstoffs. Langzeitemissionen (> 100 Jahre) werden in der Wirkungsabschätzung nicht berücksichtigt.

Die Haupteinflussfaktoren auf die Umweltwirkungen und die bezüglich des Energiebedarfs dominanten Prozesse zeigt Tabelle 3-38. Die holzinhärenten Kohlenstoffflüsse sind beim GWP (Treibhauspotenzial) in Tabelle 3-38 unberücksichtigt.

Tabelle 3-38: Dominanzanalyse zu den nach Normierung auf deutsche Gesamtemissionen relevantesten Umweltwirkungen

GWP (kg CO₂ Äqv.)	%	AP (kg SO₂ Äqv.)	%	ADPE (kg Sb Äqv.)	%
A4 Transport zur Baustelle	17,00	A4 Transport zur Baustelle	21,57	A1 Gipsplatten	41,38
A1 Dämmung	15,28	A1 Dämmung	20,02	A1 met. Befestigungsmittel	30,84
A3 Strom im Werk	13,07	A1 Vollholz	17,52	A1 Dämmung	20,58
A1 Vollholz	11,98	A3 Holzfeuerung im Werk	10,06	A3 Produktionsabfall	5,01
A3 Produktionsabfall	7,59	A3 Strom im Werk	6,09	A1 Absperrung	0,61
A1 PU Schaum	7,41	A1 met. Befestigungsmittel	5,34	A1 PU Schaum	0,49
A1 met. Befestigungsmittel	5,97	A1 Absperrung	3,18	A3 Strom im Werk	0,28
A1 Gipsplatten	4,70	A1 Gipsplatten	3,10	A3 Betriebsmittel	0,19
A3 Holzfeuerung im Werk	3,64	A3 Produktverpackung	2,26	A1 Vollholz	0,15
A1 Absperrung	2,86	A5 Baustelle	2,12	A1/3 Dichtmaterialien	0,10
A3 therm. Energie Gas & Öl	2,74	A1 Holzwerkstoffe	1,53	A4 Transport zur Baustelle	0,08
A1 Holzwerkstoffe	1,85	A3 therm. Energie Gas & Öl	1,25	A1/3 Lacke, Farben, Holzschutzm.	0,08
A5 Baustelle	1,67	A2 Transport Halbwaren	1,17	A1 Holzwerkstoffe	0,07
A3 Produktverpackung	1,59	A3 Produktionsabfall	1,15	A3 Holzfeuerung im Werk	0,05
A2 Transport Halbwaren	0,93	A1 PU Schaum	1,05	A3 Produktverpackung	0,01
A1/3 Lacke, Farben, Holzschutzm.	0,41	A1/3 Dichtmaterialien	0,28	A3 therm. Energie Gas & Öl	0,01
A1/3 Dichtmaterialien	0,40	A1/3 Lacke, Farben, Holzschutzm.	0,19	A5 Baustelle	0,01
A3 Betriebsmittel	0,09	A3 Betriebsmittel	0,07	A2 Transport Halbwaren	0,00
sonstige	0,82	sonstige	2,03	sonstige	0,05

Abbildung 3-7 bildet die holzinhärente Kohlenstoffbilanz des Bauelements und des in der Bauelementherstellung (Modul A3) auftretenden Co-Produkts ab. In Modul A1 werden für die Herstellung der für das Bauelement benötigten Halbwaren und des Co-Produkts 48,99 bzw. 0,80 kg CO₂-Äqv. aufgenommen, wovon 9,61 bzw. 0,16 kg CO₂-Äqv. durch Verbrennung zur Heizenergiebereitstellung oder als Sägenebenprodukt in der Halbwarenproduktion wieder verlassen. Zugekauft Altholz und in der Bauelementherstellung anfallendes Industrierestholz werden sowohl als Input als auch – aufgrund ihrer Verbrennung zur Energiegewinnung – als Output in Modul A3 verbucht (10,53 kg CO₂-Äqv.). Die im Co-Produkt in Modul A3 das Produktsystem verlassenden CO₂-Äqv. betragen 0,64 kg.

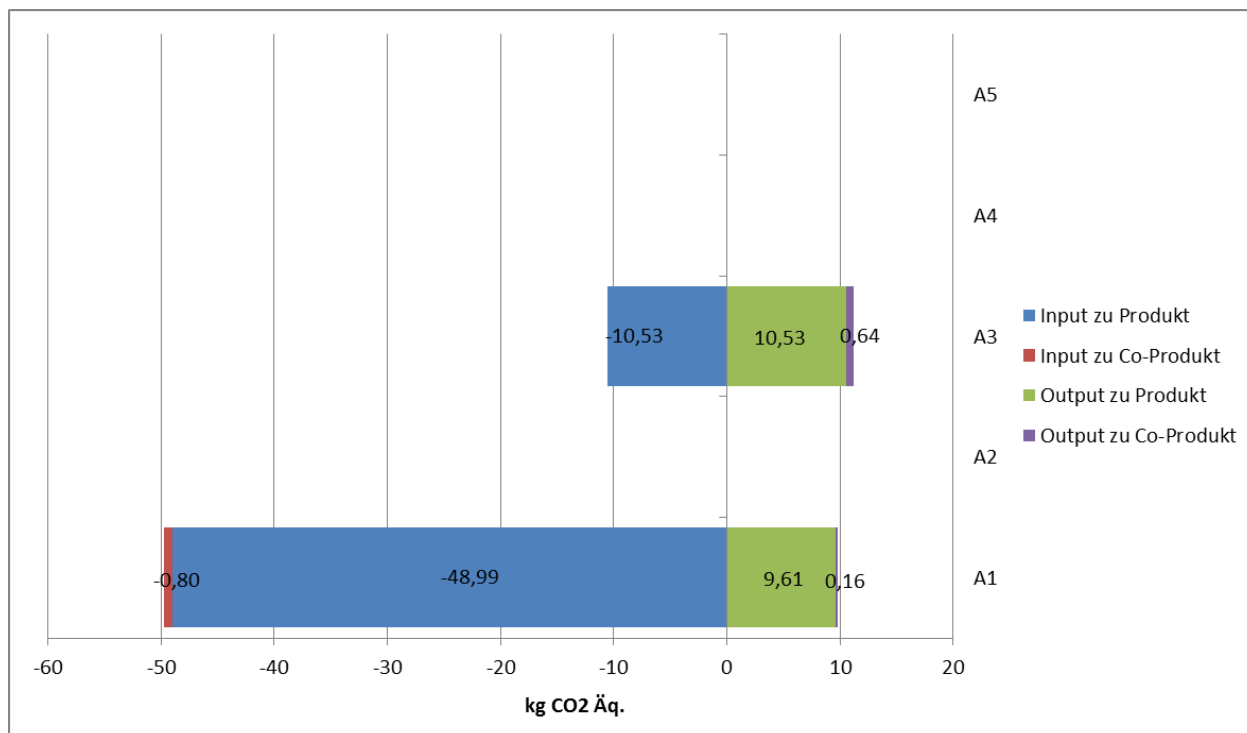


Abbildung 3-7: Bilanz der Kohlenstoffflüsse in der Holzbiomasse

3.3.6 Dachelement zur Holzskelettbauweise

Die durchschnittliche Baustoff-/Bauproduktzusammensetzung von 1 m² Dachelement zur Holzskelettbauweise enthält Tabelle 3-39. In die Durchschnittsbildung flossen jegliche Dachformen mit ein.

Tabelle 3-39: Durchschnittliche (produktionsmengengewichtet) Baustoff-/Bauproduktzusammensetzung der funktionellen Einheit 1 m² Dachelement

Bauelemente/-stoffe	Wert	Einheit
Vollholz	18,14	kg
Gipsplatten	15,00	kg
Dämmmaterialien	3,52	kg
Befestigungsmittel (metallische Verbindungsmittel, Klebstoffe, PU-Schaum)	0,85	kg
Dichtstoffe	0,17	kg
Absperrung	0,16	kg
Lacke, Lasuren und Holzschutzmittel	0,33	kg
Summe	38,17	kg

Tabelle 3-40: Verpackungsmaterial zur funktionellen Einheit

Verpackung	Wert	Einheit
PE-Folie	0,24	kg

Die Bandbreite der Wärmedurchlasskoeffizienten [$U = W/m^2 K$] der produzierten Dachelemente reicht von 0,17 bis 0,39 [$W/m^2 K$], der Mittelwert liegt bei 0,21 [$W/m^2 K$].

Die Sachbilanz für die Herstellung (Modul A3) von 1 m² Dachelement zur Holzskelettbauweise enthält Tabelle 3-41.

Tabelle 3-41: Sachbilanz für die Herstellung (Modul A3) und Montage (A5) von 1 m² Dachelement zur Holzskelettbauweise

a) Input

Fluss	Menge	Einheit
Halbwaren zur Herstellung des Dachelements		
Vollholz (Schnittholz, Brettschichtholz, Konstruktionsvollholz, etc.)	18,14	kg
Gipsplatten	16,07	kg
Dämmmaterialien	3,52	kg
Befestigungsmittel (metallische Verbindungsmittel, Klebstoffe, PU-Schaum)	0,85	kg
Dichtstoffe	0,23	kg
Absperrung	0,25	kg
Lacke, Lasuren und Holzschutzmittel	0,33	kg
Energiebedarf		
Strombedarf im Werk	42,67	MJ
Thermische Energie; Öl & Gas	2,35	MJ
Industrierestholz aus eigener Produktion	3,74	kg
Diesel für Flurförderzeuge	0,24	kg
Diesel für Kran auf der Baustelle (Modul A5)	0,24	kg
Betriebsmittel		
Trinkwasserverbrauch im Werk	28,34	kg
Trinkwasserverbrauch auf der Baustelle (Modul A5)	1,26	kg
sonstige (Öle & Fette, metallische Werkstoffe, Schleifbänder, Reinigungsm., Reifen)	0,024	kg
Verpackungsmaterialien der Halbwaren und Betriebsmittel		
PE Folie	0,55	kg
Polystyrol	0,03	kg
Karton	0,39	kg
Verpackungsmaterialien für Transport der Bauteilflächen zur Baustelle		
PE-Folie	0,24	kg

b) Output

Fluss	Menge	Einheit
Produkte		
1 m² Dachelement	38,32	kg
Späne und Hackschnitzel	0,34	kg
Emissionen aus		
Verbrennung der Brennstoffe	siehe Hintergrundd. (Kapitel 2.8)	
Verbrennung von Diesel		
Abbinden der Klebstoffe		
Abfälle im Werk		
Verpackungsabfälle, Materialreste	2,06	kg
Asche	siehe Hintergrundd.	
Abfälle auf der Baustelle (Modul A5)		
PE-Folie (Verpackungsmaterial)	0,24	kg

Der für den Transport der Halbwaren und die leere Rückfahrt der LKWs nötige Dieselbedarf liegt bei 3,30 kg.

Die Umweltwirkungen für die Herstellung von 1 m² Dachelement zur Holzskelettbauweise gemäß DIN°EN°15804 enthält Tabelle 3-42.

Tabelle 3-42: Umweltauswirkungen, Ressourceneinsätze, Outputflüsse und Abfälle für die Herstellung von 1 m² Dachelement zur Holzskelettbauweise

Parameter	Einheit	Bereitstellung der Rohstoffe (A1)	Transport (A2)	Herstellungsprozess (A3)	Summe cradle to gate (A1 - A3)	maximale herstellerspezifische Abweichung von A1 bis A3 in %	Transport zur Baustelle (A4)	Errichtung auf der Baustelle (A5)	Lasten und Potentiale aus der Nachnutzung von Verpackungsmaterialien (D)
Ergebnisse Umweltauswirkungen									
GWP	[kg CO ₂ -Äqv.]	-1,67E+01	5,14E-01	1,12E+01	-4,97E+00	-15,7/+2,0	1,16E+01	1,44E+00	-3,77E-01
ODP	[kg CFC11-Äqv.]	8,87E-07	6,34E-13	1,49E-07	1,04E-06	-30,6/+3,9	2,20E-11	3,76E-12	-1,54E-11
AP	[kg SO ₂ -Äqv.]	6,47E-02	2,27E-03	3,15E-02	9,85E-02	-21,6/+2,7	5,17E-02	3,91E-03	-5,37E-04
EP	[kg PO ₄ ³⁻ -Äqv.]	1,08E-02	6,20E-04	5,77E-03	1,72E-02	-34,8/+4,4	1,40E-02	1,03E-03	-6,40E-05
POCP	[kg Ethen-Äqv.]	8,56E-03	-8,60E-04	5,40E-03	1,31E-02	-21,3/+2,7	-1,92E-02	-1,39E-03	-4,96E-05
ADPE	[kg Sb-Äqv.]	5,86E-04	2,65E-08	2,91E-06	5,89E-04	-31,7/+4,0	6,14E-07	8,49E-08	-4,48E-08
ADPF	[MJ]	2,33E+02	7,01E+00	1,01E+02	3,41E+02	-26,6/+3,4	1,58E+02	1,17E+01	-4,97E+00
Ergebnisse Ressourceneinsatz									
PERE	[MJ]	7,89E+01	5,36E-01	1,09E+02	1,88E+02		1,21E+01	9,11E-01	-5,92E-01
PERM	[MJ]	3,43E+02	0,00E+00	7,89E-01	3,44E+02		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
PERT	[MJ]	4,22E+02	5,36E-01	1,10E+02	5,32E+02		1,21E+01	9,11E-01	-5,92E-01
PENRE	[MJ]	2,54E+02	7,03E+00	1,02E+02	3,63E+02		1,59E+02	2,04E+01	-5,80E+00
PENRM	[MJ]	1,59E+01	0,00E+00	2,93E+01	4,52E+01		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
PENRT	[MJ]	2,69E+02	7,03E+00	1,32E+02	4,08E+02		1,59E+02	2,04E+01	-5,80E+00
SM	[kg]	-	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
RSF	[MJ]	-	0,00E+00	1,61E-01	1,61E-01		0,00E+00	0,00E+00	-
NRSF	[MJ]	-	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00	-
FW	[m³]	2,77E-02	3,09E-04	5,84E-02	8,64E-02		7,11E-03	3,27E-03	-7,99E-04
Ergebnisse Outputflüsse und Abfallkategorien									
HWD	[kg]	2,93E-05	5,66E-06	1,03E-04	1,38E-04		1,27E-04	9,34E-06	-8,59E-04
NHWD	[kg]	4,33E+01	4,72E-02	4,52E+01	1,31E+00		1,31E+00	2,35E-01	-1,07E+00
RWD	[kg]	1,10E-02	9,34E-06	1,20E-02	2,30E-02		2,79E-04	3,29E-05	-3,29E-04
CRU	[kg]	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
MFR	[kg]	0,00E+00	0,00E+00	1,07E+00	1,07E+00		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
MER	[kg]	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
EE ¹	[MJ]	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	2,67E+00	0,00E+00
EE ²	[MJ]	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	1,16E+00	0,00E+00

Umweltwirkungen: GWP = Globales Erwärmungspotenzial; ODP = Abbau Potential der stratosphärischen Ozonschicht; AP = Versauerungspotenzial von Boden und Wasser; EP = Eutrophierungspotenzial; POCP Bildungspotential für troposphärisches Ozon; ADPE = Potenzial für den abiotischen Abbau nicht fossiler Ressourcen; ADPF = Potenzial für den abiotischen Abbau fossiler Brennstoffe

Ressourceneinsatz: PERE = Erneuerbare Primärenergie als Energieträger; PERM = Erneuerbare Primärenergie zur stofflichen Nutzung; PERT = Total erneuerbare Primärenergie; PENRE = Nicht-erneuerbare Primärenergie als Energieträger; PENRM = Nicht-erneuerbare Primärenergie zur stofflichen Nutzung; PENRT = Total nicht erneuerbare Primärenergie; SM = Einsatz von Sekundärstoffen; RSF = Erneuerbare Sekundärbrennstoffe; NRSF = Nicht erneuerbare Sekundärbrennstoffe; FW = Einsatz von Süßwasserressourcen

Output-Flüsse und Abfallkategorie: HWD = Gefährlicher Abfall zur Deponie; NHWD = Entsorgter nicht gefährlicher Abfall; RWD = Entsorgter radioaktiver Abfall; CRU = Komponenten für die Wiederverwendung; MFR = Stoffe zum Recycling; MER = Stoffe für die Energierückgewinnung; EE = Exportierte Energie je Typ

Es wurden die Charakterisierungsfaktoren von CML (2000-2009, Institute of Environmental Sciences Faculty of Science Universität Leiden, Niederlande) verwendet. Der Charakterisierungsfaktor für den Verbrauch von abiotischen Ressourcen (fossile Stoffe) ist der jeweilige untere Heizwert am Extraktionspunkt des fossilen Brennstoffs. Langzeitemissionen (> 100 Jahre) werden in der Wirkungsabschätzung nicht berücksichtigt.

Die Haupteinflussfaktoren auf die Umweltwirkungen und die bezüglich des Energiebedarfs dominanten Prozesse zeigt Tabelle 3-43. Die holzinärenten Kohlenstoffflüsse sind in der Kategorie GWP (Treibhauspotenzial) in Tabelle 3-43 unberücksichtigt.

Tabelle 3-43: Dominanzanalyse zu den nach Normierung auf deutsche Gesamtemissionen relevantesten Umweltwirkungen

GWP (kg CO ₂ Äqv.)	%	AP (kg SO ₂ Äqv.)	%	ADPE (kg Sb Äqv.)	%
A4 Transport zur Baustelle	29,25	A4 Transport zur Baustelle	33,60	A1 Gipsplatten	54,96
A3 Strom im Werk	18,23	A1 Dämmung	11,78	A1 met. Befestigungsmittel	26,39
A1 Dämmung	11,40	A1 Vollholz	11,16	A1 Dämmung	9,99
A1 Vollholz	7,95	A3 Strom im Werk	7,69	A3 Produktionsabfall	3,94
A1 Gipsplatten	7,48	A3 Holzfeuerung im Werk	6,89	A1/3 Lacke, Farben, Holzschutzsm.	3,28
A1 met. Befestigungsmittel	6,70	A1 met. Befestigungsmittel	5,42	A1/3 Dichtmaterialien	0,54
A3 Produktionsabfall	3,63	A1 Gipsplatten	4,89	A3 Strom im Werk	0,30
A3 Holzfeuerung im Werk	2,83	A1 Absperrung	2,81	A1 Absperrung	0,22
A1/3 Lacke, Farben, Holzschutzsm.	2,28	A5 Baustelle	2,44	A3 Betriebsmittel	0,16
A5 Baustelle	2,13	A1/3 Lacke, Farben, Holzschutzsm.	2,26	A4 Transport zur Baustelle	0,10
A1 Absperrung	1,46	A3 Produktverpackung	1,84	A1 Vollholz	0,07
A3 Produktverpackung	1,44	A2 Transport Halbwaren	1,47	A3 Holzfeuerung im Werk	0,02
A2 Transport Halbwaren	1,30	A1/3 Dichtmaterialien	1,46	A3 Produktverpackung	0,01
A1/3 Dichtmaterialien	1,23	A3 Produktionsabfall	0,68	A5 Baustelle	0,01
A3 therm. Energie Gas & Öl	0,46	A3 therm. Energie Gas & Öl	0,24	A2 Transport Halbwaren	0,00
A3 Betriebsmittel	0,07	A3 Betriebsmittel	0,05	A3 therm. Energie Gas & Öl	0,00
sonstige	2,14	sonstige	5,29	sonstige	0,01

Abbildung 3-8 bildet die holzinhärente Kohlenstoffbilanz des Bauelements und des in der Bauelementherstellung (Modul A3) auftretenden Co-Produkts ab. In Modul A1 werden für die Herstellung der für das Bauelement benötigten Halbwaren und des Co-Produkts 40,24 bzw. 0,70 kg CO₂-Äqv. aufgenommen, wovon 7,51 bzw. 0,14 kg CO₂-Äqv. durch Verbrennung zur Heizenergiebereitstellung oder als Sägenebenprodukt in der Halbwarenproduktion wieder verlasen. Zugekauft Altholz und in der Bauelementherstellung anfallendes Industrierestholz werden sowohl als Input als auch – aufgrund ihrer Verbrennung zur Energiegewinnung – als Output in Modul A3 verbucht (7,73 kg CO₂-Äqv.). Die im Co-Produkt in Modul A3 das Produktsystem verlassenden CO₂-Äqv. betragen 0,56 kg.

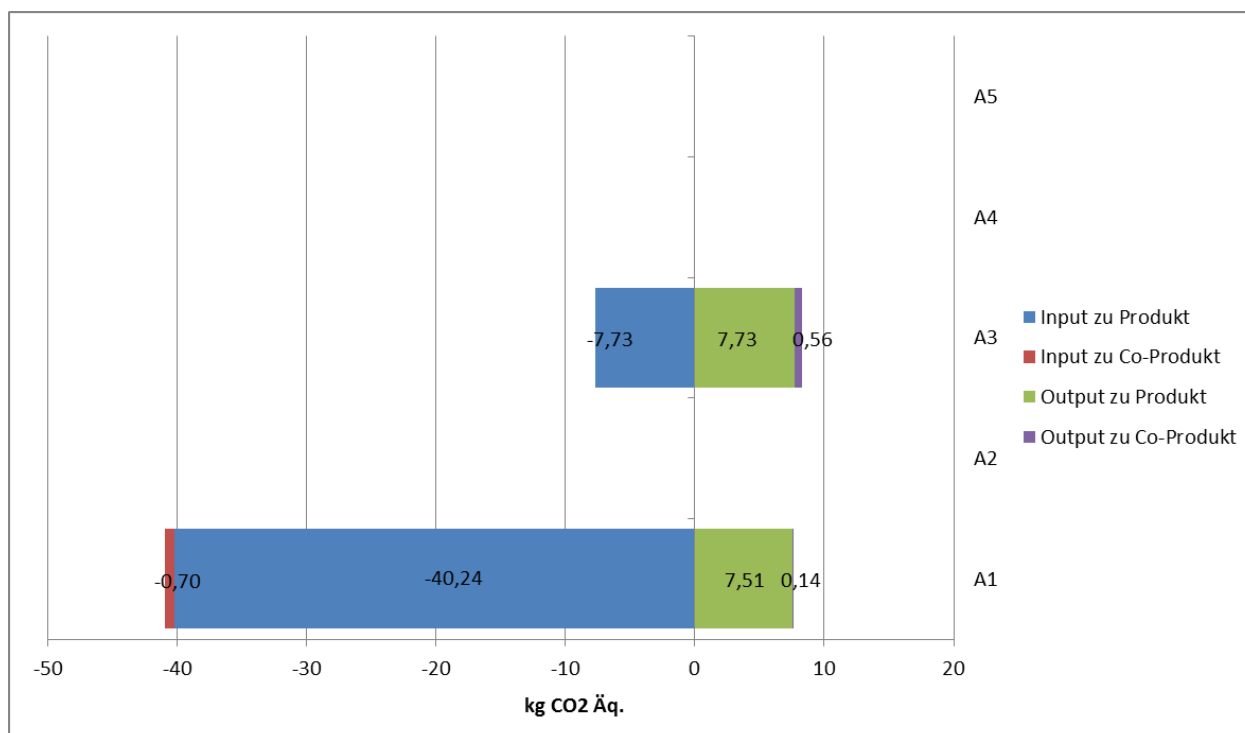


Abbildung 3-8: Bilanz der Kohlenstoffflüsse in der Holzbiomasse

3.3.7 Deckenelement in Holztafelbauweise

Die durchschnittliche Baustoff-/Bauproduktzusammensetzung von 1 m² Deckenelement in Holztafelbauweise enthält Tabelle 3-44.

Die Durchschnittsbildung erfolgte über jegliche in den Häusern verbaute Decken hinweg, so dass sowohl geschlossene Decken als auch Sichtbalkendecken mit einfließen.

Tabelle 3-44: Durchschnittliche (produktionsmengengewichtet) Baustoff-/Bauproduktzusammensetzung der funktionellen Einheit 1 m² Deckenelement in Holztafelbauweise

Bauelemente/-stoffe	Wert	Einheit
Vollholz	19,98	kg
Holzwerkstoffplatten	15,89	kg
Gipsplatten	8,35	kg
Dämmmaterialien	2,20	kg
Befestigungsmittel (metallische Verbindungsmittel, Klebstoffe, PU-Schaum)	0,82	kg
Dichtstoffe	0,41	kg
Summe	47,66	kg

Tabelle 3-45: Verpackungsmaterial zur funktionellen Einheit

Verpackung	Wert	Einheit
PE-Folie	0,23	kg

Die Sachbilanz für die Herstellung (Modul A3) und Errichtung (Modul A5) von 1 m² Deckenelement in Holztafelbauweise enthält Tabelle 3-46.

Tabelle 3-46: Sachbilanz für die Herstellung (Modul A3) und Montage (A5) von 1 m² Deckenelement in Holztafelbauweise

a) Input

Fluss	Menge	Einheit
Halbwaren zur Herstellung des Deckenelements		
Vollholz (Schnittholz, Brettschichtholz, Konstruktionsvollholz, etc.)	19,98	kg
Holzwerkstoffe (Spanplatte, OSB, MDF, etc.)	15,89	kg
Gipsplatten	9,06	kg
Dämmmaterialien	2,21	kg
Befestigungsmittel (metallische Verbindungsmittel, Klebstoffe, PU-Schaum)	0,82	kg
Dichtstoffe	0,41	kg
Energiebedarf		
Strombedarf im Werk	27,42	MJ
Thermische Energie; Öl & Gas	12,88	MJ
Industrierestholz aus eigener Produktion und zugekauft Altholz	5,22	kg
Diesel für Flurförderzeuge	0,05	kg
Diesel für Kran auf der Baustelle (Modul A5)	0,17	kg
Betriebsmittel		
Trinkwasserverbrauch im Werk	23,29	kg
Trinkwasserverbrauch auf der Baustelle (Modul A5)	1,26	kg
sonstige (Öle & Fette, metallische Werkstoffe, Schleifbänder, Reinigungsm., Reifen)	0,022	kg
Verpackungsmaterialien der Halbwaren und Betriebsmittel		
PE Folie	1,03	kg
Polystyrol	0,13	kg
Karton	0,23	kg
Verpackungsmaterialien für Transport der Bauteilflächen zur Baustelle		
PE-Folie	0,23	kg

b) Output

Output

Fluss	Menge	Einheit
Produkte		
1 m² Deckenelement	47,66	kg
Späne und Hackschnitzel zum Verkauf	0,61	kg
Emissionen aus		
Verbrennung der Brennstoffe	siehe Hintergrundd. (Kapitel 2.8)	
Verbrennung von Diesel		
Abbinden der Klebstoffe		
Abfälle im Werk		
Verpackungsabfälle, Materialreste	2,24	kg
Asche	siehe Hintergrundd.	
Abfälle auf der Baustelle (Modul A5)		
PE-Folie (Verpackungsmaterial)	0,23	kg

Der für den Transport des Bauelements und die leere Rückfahrt des LKWs nötige Dieselbedarf liegt bei 1,62 kg.

Die Umweltwirkungen für die Herstellung von 1 m² Deckenelement in Holztafelbauweise gemäß DIN°EN°15804 enthält Tabelle 3-47.

Tabelle 3-47: Umweltauswirkungen, Ressourceneinsätze, Outputflüsse und Abfälle für die Herstellung von 1 m² Deckenelement in Holztafelbauweise

Parameter	Einheit	Bereitstellung der Rohstoffe (A1)	Transport (A2)	Herstellungsprozess (A3)	Summe cradle to gate (A1 - A3)	maximale herstellerspezifische Abweichung von A1 bis A3 in %	Transport zur Baustelle (A4)	Errichtung auf der Baustelle (A5)	Lasten und Potentiale aus der Nachnutzung von Verpackungsmaterialien (D)
Ergebnisse Umweltauswirkungen									
GWP	[kg CO ₂ -Äqv.]	-3,18E+01	4,46E-01	1,01E+01	-2,12E+01	-48,3/+18,4	5,69E+00	1,17E+00	-3,62E-01
ODP	[kg CFC11-Äqv.]	1,58E-06	5,50E-13	1,71E-07	1,75E-06	-56,8/+24,5	1,08E-11	3,21E-12	-1,48E-11
AP	[kg SO ₂ -Äqv.]	6,60E-02	1,97E-03	2,46E-02	9,25E-02	-33,3/+33,8	2,54E-02	2,81E-03	-5,14E-04
EP	[kg PO ₄ ³⁻ -Äqv.]	1,14E-02	5,39E-04	4,50E-03	1,64E-02	-36,9/+30,5	6,87E-03	7,32E-04	-6,14E-05
POCP	[kg Ethen-Äqv.]	1,28E-02	-7,46E-04	3,16E-03	1,52E-02	-38,3/+46,1	-9,41E-03	-9,80E-04	-4,75E-05
ADPE	[kg Sb-Äqv.]	4,30E-04	2,30E-08	2,21E-06	4,32E-04	-64,4/+30,0	3,01E-07	7,03E-08	-4,29E-08
ADPF	[MJ]	2,95E+02	6,08E+00	8,15E+01	3,83E+02	-46,6/+51,2	7,75E+01	8,34E+00	-4,77E+00
Ergebnisse Ressourceneinsatz									
PERE	[MJ]	1,13E+02	4,65E-01	1,33E+02	2,46E+02		5,96E+00	6,52E-01	-5,68E-01
PERM	[MJ]	5,79E+02	0,00E+00	-6,36E+00	5,72E+02		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
PERT	[MJ]	6,91E+02	4,65E-01	1,27E+02	8,19E+02		5,96E+00	6,52E-01	-5,68E-01
PENRE	[MJ]	3,33E+02	6,10E+00	5,06E+01	3,90E+02		7,78E+01	1,67E+01	-5,56E+00
PENRM	[MJ]	2,07E+01	0,00E+00	5,35E+01	7,42E+01		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
PENRT	[MJ]	3,54E+02	6,10E+00	1,04E+02	4,64E+02		7,78E+01	1,67E+01	-5,56E+00
SM	[kg]	-	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
RSF	[MJ]	-	0,00E+00	4,33E+00	4,33E+00		0,00E+00	0,00E+00	-
NRSF	[MJ]	-	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00	-
FW	[m ³]	7,37E-03	2,68E-04	4,49E-02	5,25E-02		3,49E-03	3,05E-03	-7,66E-04
Ergebnisse Outputflüsse und Abfallkategorien									
HWD	[kg]	2,98E-05	4,92E-06	6,49E-05	9,96E-05		6,64E-06	1,69E-04	-8,23E-04
NHWD	[kg]	5,83E+01	4,09E-02	3,10E+01	6,44E-01		2,01E-01	-1,46E+00	-1,03E+00
RWD	[kg]	1,85E-02	8,11E-06	8,57E-03	2,71E-02		2,65E-05	2,72E-02	-3,16E-04
CRU	[kg]	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
MFR	[kg]	0,00E+00	0,00E+00	7,10E-01	7,10E-01		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
MER	[kg]	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
EE ¹	[MJ]	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	2,56E+00	0,00E+00
EE ²	[MJ]	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	1,11E+00	0,00E+00

Umweltwirkungen: GWP = Globales Erwärmungspotenzial, ODP = Abbau Potential der stratosphärischen Ozonschicht; AP = Versauerungspotenzial von Boden und Wasser; EP = Eutrophierungspotenzial; POCP Bildungspotential für troposphärisches Ozon; ADPE = Potenzial für den abiotischen Abbau nicht fossiler Ressourcen; ADPF = Potenzial für den abiotischen Abbau fossiler Brennstoffe

Ressourceneinsatz: PERE = Erneuerbare Primärenergie als Energieträger; PERM = Erneuerbare Primärenergie zur stofflichen Nutzung; PERT = Total erneuerbare Primärenergie; PENRE = Nicht-erneuerbare Primärenergie als Energieträger; PENRM = Nicht-erneuerbare Primärenergie zur stofflichen Nutzung; PENRT = Total nicht erneuerbare Primärenergie; SM = Einsatz von Sekundärstoffen; RSF = Erneuerbare Sekundärbrennstoffe; NRSF = Nicht erneuerbare Sekundärbrennstoffe; FW = Einsatz von Süßwasserressourcen

Output-Flüsse und Abfallkategorie: HWD = Gefährlicher Abfall zur Deponie; NHWD = Entsorgter nicht gefährlicher Abfall; RWD = Entsorgter radioaktiver Abfall; CRU = Komponenten für die Wiederverwendung; MFR = Stoffe zum Recycling; MER = Stoffe für die Energierückgewinnung; EE = Exportierte Energie je Typ

Es wurden die Charakterisierungsfaktoren von CML (2000-2009, Institute of Environmental Sciences Faculty of Science Universität Leiden, Niederlande) verwendet. Der Charakterisierungsfaktor für den Verbrauch von abiotischen Ressourcen (fossile Stoffe) ist der jeweilige untere Heizwert am Extraktionspunkt des fossilen Brennstoffs. Langzeitemissionen (> 100 Jahre) werden in der Wirkungsabschätzung nicht berücksichtigt.

Die Haupteinflussfaktoren auf die Umweltwirkungen und die bezüglich des Energiebedarfs dominanten Prozesse zeigt Tabelle 3-48. Die holzinhärenten Kohlenstoffflüsse sind in der Kategorie GWP (Treibhauspotenzial) in Tabelle 3-48 unberücksichtigt.

Tabelle 3-48: Dominanzanalyse zu den nach Normierung auf deutsche Gesamtemissionen relevantesten Umweltwirkungen

GWP (kg CO₂ Äqv.)	%	AP (kg SO₂ Äqv.)	%	ADPE (kg Sb Äqv.)	%
A1 Holzwerkstoffe	19,09	A4 Transport zur Baustelle	21,06	A1 Gipsplatten	39,66
A4 Transport zur Baustelle	14,50	A1 Vollholz	16,59	A1 met. Befestigungsmittel	28,94
A3 Strom im Werk	11,89	A1 Holzwerkstoffe	13,11	A1 Mörtel	18,25
A1 Vollholz	9,57	A1 Dämmung	10,11	A1 Dämmung	6,83
A1 Dämmung	7,52	A3 Holzfeuerung im Werk	9,95	A3 Produktionsabfall	3,55
A1 PU Schaum	6,75	A3 Strom im Werk	6,34	A1 Holzwerkstoffe	1,44
A1 met. Befestigungsmittel	5,44	A1 met. Befestigungsmittel	5,56	A1 PU Schaum	0,46
A3 Produktionsabfall	5,24	A1 Gipsplatten	3,31	A3 Strom im Werk	0,26
A1 Gipsplatten	4,54	A3 Produktverpackung	2,26	A3 Betriebsmittel	0,17
A1 Mörtel	3,97	A5 Baustelle	2,21	A1 Vollholz	0,11
A3 Holzfeuerung im Werk	3,22	A2 Transport Halbwaren	1,63	A1/3 Dichtmaterialien	0,09
A3 therm. Energie Gas & Öl	2,51	A1 Mörtel	1,52	A4 Transport zur Baustelle	0,07
A5 Baustelle	1,52	A3 therm. Energie Gas & Öl	1,34	A1 Absperrung	0,05
A3 Produktverpackung	1,39	A1 PU Schaum	1,10	A3 Holzfeuerung im Werk	0,05
A2 Transport Halbwaren	1,13	A3 Produktionsabfall	1,01	A3 Produktverpackung	0,01
A1 Absperrung	0,51	A1 Absperrung	0,43	A3 therm. Energie Gas & Öl	0,01
A1/3 Dichtmaterialien	0,36	A1/3 Dichtmaterialien	0,29	A5 Baustelle	0,01
A3 Betriebsmittel	0,08	A3 Betriebsmittel	0,07	A2 Transport Halbwaren	0,01
sonstige	0,73	sonstige	2,10	sonstige	0,05

Abbildung 3-9 bildet die holzinhärente Kohlenstoffbilanz des Bauelements und des in der Bauelementherstellung (Modul A3) auftretenden Co-Produkts ab. In Modul A1 werden für die Herstellung der für das Bauelement benötigten Halbwaren und des Co-Produkts 66,61 bzw. 1,25 kg CO₂-Äqv. aufgenommen, wovon 11,41 bzw. 0,25 kg CO₂-Äqv. durch Verbrennung zur Heizenergiebereitstellung oder als Sägenebenprodukt in der Halbwarenproduktion wieder verlassen. Zugekauftes Altholz und in der Bauelementherstellung anfallendes Industrierestholz werden sowohl als Input als auch – aufgrund ihrer Verbrennung zur Energiegewinnung – als Output in Modul A3 verbucht (10,32 kg CO₂-Äqv.). Die im Co-Produkt in Modul A3 das Produktsystem verlassenden CO₂-Äqv. betragen 1,00 kg.

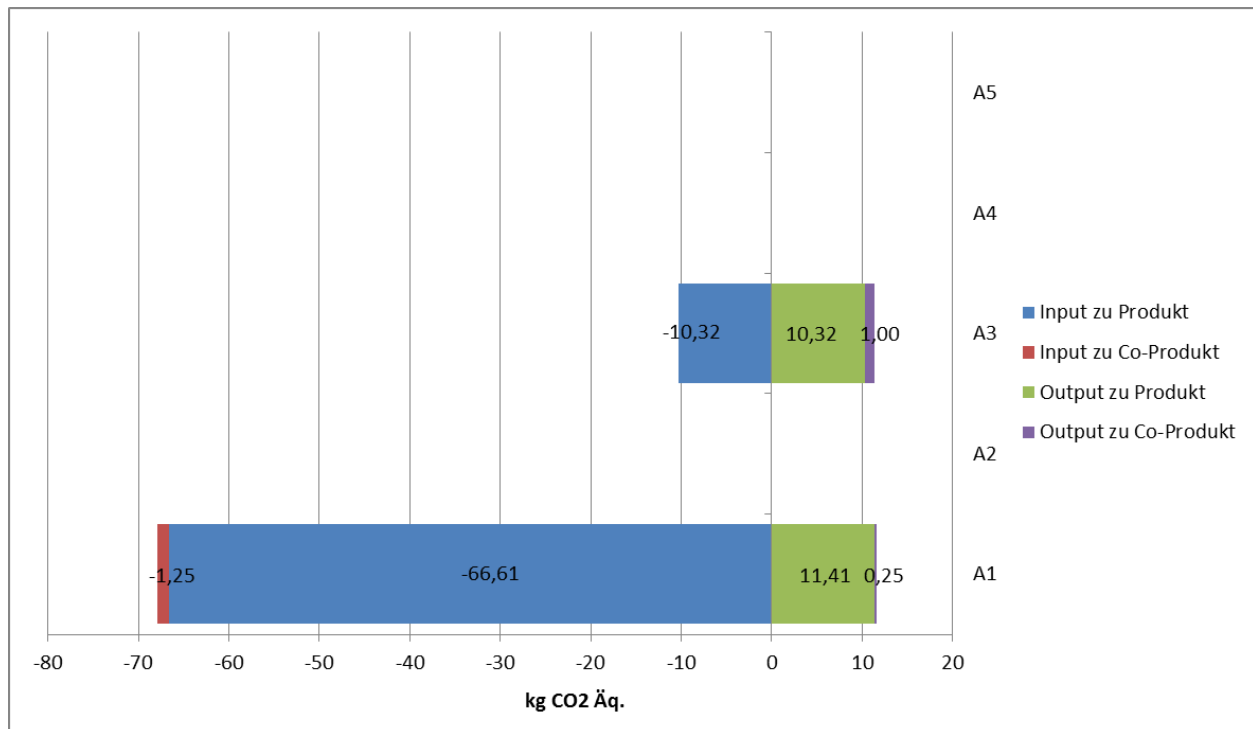


Abbildung 3-9: Bilanz der Kohlenstoffflüsse in der Holzbiomasse

3.3.8 Deckenelement in Holzskelettbauweise

Die durchschnittliche Baustoff-/Bauproduktzusammensetzung von 1 m² Deckenelement in Holzskelettbauweise enthält Tabelle 3-49.

Die Durchschnittsbildung erfolgte über jegliche in den Häusern verbaute Decken hinweg, so dass sowohl geschlossene Decken als auch Sichtbalkendecken mit einfließen.

Tabelle 3-49: Durchschnittliche (produktionsmengengewichtet) Baustoff-/Bauproduktzusammensetzung der funktionellen Einheit 1 m² Deckenelement in Holzskelettbauweise

Baelemente/-stoffe	Wert	Einheit
Vollholz	23,02	kg
Holzwerkstoffplatten	1,56	kg
Gipsplatten	2,72	kg
Dämmmaterialien	4,14	kg
Glas	0,53	kg
Stahl	4,57	kg
Betonfertigbauteil	358,26	kg
Befestigungsmittel (metallische Verbindungsmittel, Klebstoffe, PU-Schaum)	0,85	kg
Dichtstoffe	0,23	kg
Summe	395,88	kg

Tabelle 3-50: Verpackungsmaterial zur funktionellen Einheit

Verpackung	Wert	Einheit
PE-Folie	0,23	kg

Die Sachbilanz für die Herstellung (Modul A3) von 1 m² Deckenelement in Holzskelettbauweise enthält Tabelle 3-51.

Tabelle 3-51: Sachbilanz für die Herstellung (Modul A3) und Montage (A5) von 1 m² Deckenelement in Holzskelettbauweise

Fluss	Menge	Einheit
Halbwaren zur Herstellung des Deckenelements		
Vollholz (Schnittholz, Brettschichtholz, Konstruktionsvollholz, etc.)	23,02	kg
Holzwerkstoffe (Spanplatte, OSB, MDF, etc.)	1,56	kg
Gipsplatten	4,59	kg
Dämmmaterialien	4,14	kg
Glas	1,38	kg
Stahl	4,57	kg
Fertigbeton	358,26	kg
Befestigungsmittel (metallische Verbindungsmittel, Klebstoffe, PU-Schaum)	0,85	kg
Dichtstoffe	0,23	kg
Energiebedarf		
Strombedarf im Werk	42,67	MJ
Thermische Energie; Öl & Gas	2,35	MJ
Industrierestholz aus eigener Produktion	3,59	kg
Diesel für Flurförderzeuge	0,24	kg
Diesel für Kran auf der Baustelle (Modul A5)	0,24	kg
Betriebsmittel		
Trinkwasserverbrauch im Werk	28,34	kg
Trinkwasserverbrauch auf der Baustelle (Modul A5)	1,26	kg
sonstige (Öle & Fette, metallische Werkstoffe, Schleifbänder, Reinigungsm., Reifen)	0,024	kg
Verpackungsmaterialien der Halbwaren und Betriebsmittel		
PE Folie	0,49	kg
Polystyrol	0,02	kg
Karton	0,36	kg
Verpackungsmaterialien für Transport der Bauteilflächen zur Baustelle		
PE-Folie	0,23	kg

b) Output

Fluss	Menge	Einheit
Produkte		
1 m² Deckenelement	395,88	kg
Späne und Hackschnitzel zum Verkauf	0,45	kg
Emissionen aus		
Verbrennung der Brennstoffe	siehe Hintergrundd. (Kapitel 2.8)	
Verbrennung von Diesel		
Abbinden der Klebstoffe		
Abfälle im Werk		
Verpackungsabfälle, Materialreste	3,65	kg
Asche	siehe Hintergrundd.	
Abfälle auf der Baustelle (Modul A5)		
PE-Folie (Verpackungsmaterial)	0,23	kg

Der für den Transport des Bauelements und die leere Rückfahrt des LKWs nötige Dieselbedarf liegt bei 3,09 kg.

Die Umweltwirkungen für die Herstellung von 1 m² Deckenelement in Holzskelettbauweise gemäß DIN°EN°15804 enthält Tabelle 3-52.

Tabelle 3-52: Umweltauswirkungen, Ressourceneinsätze, Outputflüsse und Abfälle für die Herstellung von 1 m² Deckenelement in Holzskelettbauweise

Parameter	Einheit	Bereitstellung der Rohstoffe (A1)	Transport (A2)	Herstellungsprozess (A3)	Summe cradle to gate (A1 - A3)	maximale herstellereinspezifische Abweichung von A1 bis A3 in %	Transport zur Baustelle (A4)	Errichtung auf der Baustelle (A5)	Lasten und Potentiale aus der Nachnutzung von Verpackungsmaterialien (D)
Ergebnisse Umweltauswirkungen									
GWP	[kg CO ₂ -Äqv.]	6,12E+01	4,87E-01	1,13E+01	7,30E+01	-67,4/+8,5	1,09E+01	1,42E+00	-3,62E-01
ODP	[kg CFC11-Äqv.]	8,46E-07	6,01E-13	1,43E-07	9,88E-07	-6,3/+49,8	2,06E-11	3,67E-12	-1,48E-11
AP	[kg SO ₂ -Äqv.]	3,15E-01	2,15E-03	3,09E-02	3,48E-01	-57,6/+7,3	4,84E-02	3,91E-03	-5,14E-04
EP	[kg PO ₄ ³⁻ -Äqv.]	3,60E-02	5,88E-04	5,63E-03	4,22E-02	-52,2/+6,6	1,31E-02	1,03E-03	-6,14E-05
POCP	[kg Ethen-Äqv.]	3,51E-02	-8,15E-04	3,46E-03	3,77E-02	-30,3/+3,8	-1,79E-02	-1,39E-03	-4,75E-05
ADPE	[kg Sb-Äqv.]	3,41E-04	2,52E-08	2,91E-06	3,43E-04	-26,0/+3,3	5,75E-07	8,33E-08	-4,29E-08
ADPF	[MJ]	8,82E+02	6,64E+00	1,00E+02	9,89E+02	-49,6/+6,3	1,48E+02	1,17E+01	-4,77E+00
Ergebnisse Ressourceneinsatz									
PERE	[MJ]	1,46E+02	5,08E-01	1,08E+02	2,54E+02		1,14E+01	9,10E-01	-5,68E-01
PERM	[MJ]	5,02E+02	0,00E+00	-1,54E+00	5,01E+02		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
PERT	[MJ]	6,48E+02	5,08E-01	1,06E+02	7,55E+02		1,14E+01	9,10E-01	-5,68E-01
PENRE	[MJ]	9,45E+02	6,66E+00	1,03E+02	1,05E+03		1,48E+02	2,01E+01	-5,56E+00
PENRM	[MJ]	6,79E+00	0,00E+00	2,76E+01	3,44E+01		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
PENRT	[MJ]	9,51E+02	6,66E+00	1,31E+02	1,09E+03		1,48E+02	2,01E+01	-5,56E+00
SM	[kg]	-	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
RSF	[MJ]	-	0,00E+00	1,54E-01	1,54E-01		0,00E+00	0,00E+00	-
NRSF	[MJ]	-	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00	-
FW	[m³]	1,78E-01	2,93E-04	5,83E-02	2,37E-01	6,66E-03	3,20E-03	-7,66E-04	
Ergebnisse Outputflüsse und Abfallkategorien									
HWD	[kg]	1,95E-04	5,37E-06	1,03E-04	3,03E-04		1,19E-04	9,34E-06	-8,23E-04
NHWD	[kg]	4,31E+02	4,47E-02	4,60E+01	1,23E+00		1,23E+00	2,29E-01	-1,03E+00
RWD	[kg]	2,33E-02	8,85E-06	1,19E-02	3,52E-02		2,61E-04	3,24E-05	-3,16E-04
CRU	[kg]	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
MFR	[kg]	0,00E+00	0,00E+00	1,88E+00	1,88E+00		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
MER	[kg]	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
EE ¹	[MJ]	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	2,56E+00	0,00E+00
EE ²	[MJ]	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	1,11E+00	0,00E+00

Umweltwirkungen: GWP = Globales Erwärmungspotenzial, ODP = Abbau Potential der stratosphärischen Ozonschicht; AP = Versauerungspotenzial von Boden und Wasser; EP = Eutrophierungspotenzial; POCP Bildungspotential für troposphärisches Ozon; ADPE = Potenzial für den abiotischen Abbau nicht fossiler Ressourcen; ADPF = Potenzial für den abiotischen Abbau fossiler Brennstoffe

Ressourceneinsatz: PERE = Erneuerbare Primärenergie als Energieträger; PERM = Erneuerbare Primärenergie zur stofflichen Nutzung; PERT = Total erneuerbare Primärenergie; PENRE = Nicht-erneuerbare Primärenergie als Energieträger; PENRM = Nicht-erneuerbare Primärenergie zur stofflichen Nutzung; PENRT = Total nicht erneuerbare Primärenergie; SM = Einsatz von Sekundärstoffen; RSF = Erneuerbare Sekundärbrennstoffe; NRSF = Nicht erneuerbare Sekundärbrennstoffe; FW = Einsatz von Süßwasserressourcen

Output-Flüsse und Abfallkategorie: HWD = Gefährlicher Abfall zur Deponie; NHWD = Entsorgter nicht gefährlicher Abfall; RWD = Entsorgter radioaktiver Abfall; CRU = Komponenten für die Wiederverwendung; MFR = Stoffe zum Recycling; MER = Stoffe für die Energierückgewinnung; EE = Exportierte Energie je Typ

Es wurden die Charakterisierungsfaktoren von CML (2000-2009, Institute of Environmental Sciences Faculty of Science Universität Leiden, Niederlande) verwendet. Der Charakterisierungsfaktor für den Verbrauch von abiotischen Ressourcen (fossile Stoffe) ist der jeweilige untere Heizwert am Extraktionspunkt des fossilen Brennstoffs. Langzeitemissionen (> 100 Jahre) werden in der Wirkungsabschätzung nicht berücksichtigt.

Die Haupteinflussfaktoren auf die Umweltwirkungen und die bezüglich des Energiebedarfs dominanten Prozesse zeigt Tabelle 3-53. Die holzinhärenten Kohlenstoffflüsse sind in der Kategorie GWP (Treibhauspotenzial) in Tabelle 3-53 unberücksichtigt.

Tabelle 3-53: Dominanzanalyse zu den nach Normierung auf deutsche Gesamtemissionen relevantesten Umweltwirkungen

GWP (kg CO₂ Äqv.)	%	AP (kg SO₂ Äqv.)	%	ADPE (kg Sb Äqv.)	%
A1 Betonfertigteile	62,91	A1 Betonfertigteile	53,00	A1 met. Befestigungsmittel	45,23
A4 Transport zur Baustelle	8,23	A4 Transport zur Baustelle	12,10	A1 Betonfertigteile	19,48
A1 Stahl	7,48	A1 Stahl	8,44	A1 Gipsplatten	17,06
A3 Strom im Werk	5,48	A1 Vollholz	5,72	A3 Produktionsabfall	12,52
A1 Vollholz	3,27	A1 Glas	3,29	A1 Dämmung	1,74
A1 Dämmung	2,95	A3 Strom im Werk	2,96	A1 Glas	1,18
A1 met. Befestigungsmittel	2,01	A3 Holzfeuerung im Werk	2,49	A1/3 Dichtmaterialien	0,92
A3 Produktionsabfall	1,89	A3 Produktionsabfall	2,40	A3 Strom im Werk	0,51
A1 Glas	1,19	A1 met. Befestigungsmittel	2,09	A1 Holzwerkstoffe	0,48
A3 Holzfeuerung im Werk	0,81	A1 Dämmung	1,40	A3 Betriebsmittel	0,27
A1 Holzwerkstoffe	0,76	A5 Baustelle	0,94	A1 Stahl	0,21
A5 Baustelle	0,64	A1 Holzwerkstoffe	0,91	A4 Transport zur Baustelle	0,17
A3 Produktverpackung	0,41	A3 Produktverpackung	0,68	A1 Vollholz	0,16
A1 Gipsplatten	0,41	A1/3 Dichtmaterialien	0,56	A3 Holzfeuerung im Werk	0,04
A1/3 Dichtmaterialien	0,37	A2 Transport Halbwaren	0,54	A3 Produktverpackung	0,02
A2 Transport Halbwaren	0,37	A1 Gipsplatten	0,34	A5 Baustelle	0,01
A3 therm. Energie Gas & Öl	0,14	A3 therm. Energie Gas & Öl	0,09	A2 Transport Halbwaren	0,01
A3 Betriebsmittel	0,02	A3 Betriebsmittel	0,02	A3 therm. Energie Gas & Öl	0,00
sonstige	0,64	sonstige	2,04	sonstige	0,01

Abbildung 3-10 bildet die holzinhärente Kohlenstoffbilanz des Bauelements und des in der Bauelementherstellung (Modul A3) auftretenden Co-Produkts ab. In Modul A1 werden für die Herstellung der für das Bauelement benötigten Halbwaren und des Co-Produkts 57,96 bzw. 0,92 kg CO₂-Äqv. aufgenommen, wovon 10,03 bzw. 0,18 kg CO₂-Äqv. durch Verbrennung zur Heizenergiebereitstellung oder als Sägenebenprodukt in der Halbwarenproduktion wieder verlassen. Zugekauft Altholz und in der Bauelementherstellung anfallendes Industriestholz werden sowohl als Input als auch – aufgrund ihrer Verbrennung zur Energiegewinnung – als Output in Modul A3 verbucht (7,41 kg CO₂-Äqv.). Die im Co-Produkt in Modul A3 das Produktsystem verlassenden CO₂-Äqv. betragen 0,74 kg.

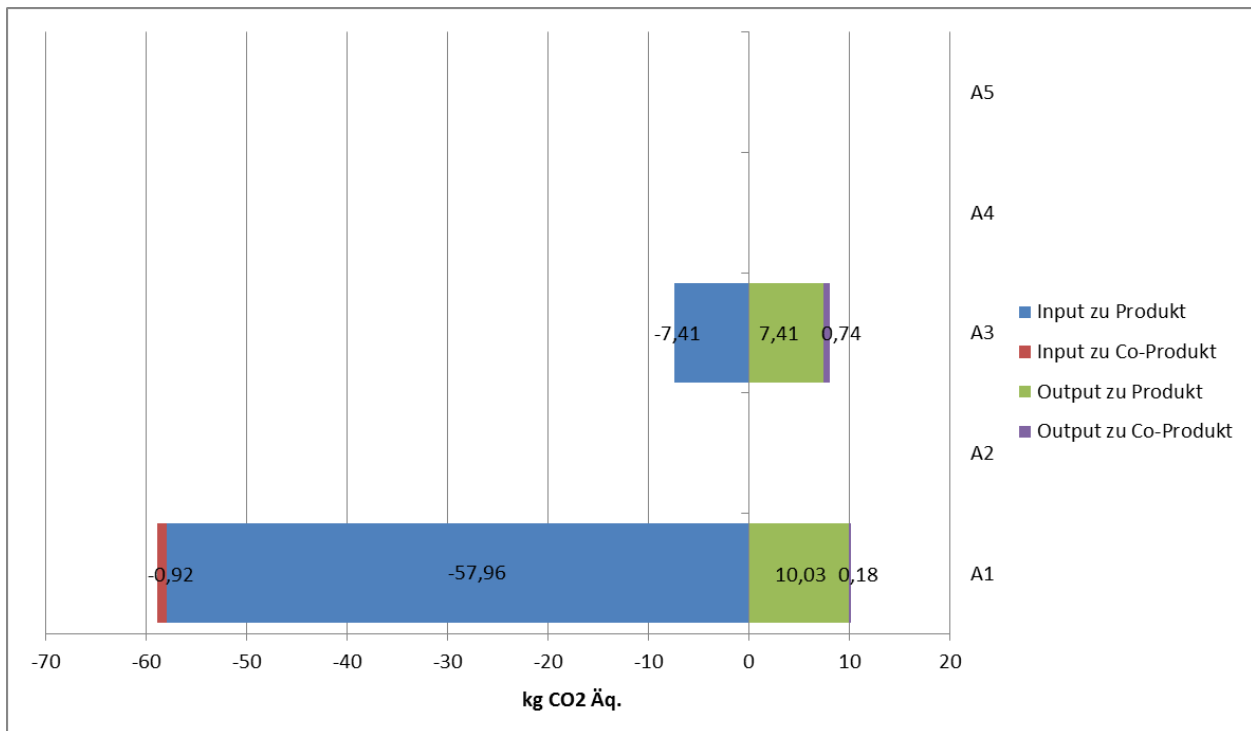


Abbildung 3-10: Bilanz der Kohlenstoffflüsse in der Holzbiomasse

4 Ergebnisdiskussion

Es konnten Sachbilanzdaten für die Herstellung (Modul A3) und Errichtung (Modul A5) der den produktionsmengengewichteten Durchschnitt der Projektpartner repräsentierenden Wand-, Dach- und Deckenelemente sowie eines aus diesen Elementen zusammengesetzten Hauses erstellt werden. Hiermit sowie mit der Wirkungsabschätzung der gesamten Produktions- und Errichtungsphase (Module A1-5) wurde das primäre Ziel der Arbeit erreicht.

Das für die Wirkungsabschätzung entwickelte Prozessmodell kann für beliebige Baustoffzusammensetzungen sowohl auf Bauelement- als auch auf Gebäudeebene verwendet werden.

Bevor die Ergebnisse abschließend eingeordnet werden (Kapitel 4.5) und der Nutzen der Studie sowie der mögliche Anwendungsbereich der Projektergebnisse aufgezeigt werden, erfolgt eine Einschätzung zur Plausibilität, Qualität und Repräsentativität der ermittelten Daten (Kapitel 4.1-4.2) sowie die Überprüfung der Sensitivität hinsichtlich der massenmäßig dominanten Baustoffe der Bauelemente (Kapitel 4.3). Die Überprüfung der alternativen Aufstellung der Sachbilanzen auf Gebäudeebene über die Verteilungsschlüssel Wohnfläche und Bruttorauminhalt wird in Kapitel 4.4 dargestellt.

4.1 Plausibilität der erhobenen Rohdaten und Datenanpassung

Die Ergebnisse der Plausibilitätsprüfung zu den Volumina der Konstruktionshölzer, Plattenwerkstoffe und Dämmmaterialien auf Werksebene enthält Tabelle 4-1a. Für die Aufstellungen der unternehmensspezifischen Sachbilanzen durch das unter 2.6 erläuterte Anpassungsverfahren wurden die Abweichungen deutlich reduziert (Tabelle 4-1b).

Tabelle 4-1: Abweichungen zwischen erhobenem Materialvolumen (Rohdaten) für das Jahr 2009 und den auf Basis der Konstruktionszeichnungen ermittelten Werte auf Werksebene

a) Abweichungen des Gesamtvolumens vor der Anpassung		b) Abweichungen des Gesamtvolumens nach der Anpassung	
Abweichung	Anteile der Werke	Abweichung	Anteile der Werke
$\pm 0 - 11\%$	46%	$\pm 0 - 4\%$	30%
$\pm 24 - 36\%$	31%	$\pm 5 - 13\%$	54%
$\pm 44 - 46\%$	23%	$\pm 25 - 35\%$	16%

Nach Bildung des produktionsmengengewichteten Mittels aus den Sachbilanzen zur Holztafel- (Tabelle 3-8) und Skelettbauweise (Tabelle 3-11) errechnet sich ein Einsatz von $0,228 \text{ m}^3$ Holzprodukte pro m^2 Wfl. (Wohnfläche). Nach Kroth et al. (1991), der in einer Umfrage zum Holzverbrauch der Holzfertigbaubranche, auswertbare Fragebögen von 41 Herstellern zurück erhielt, waren im Jahr 1988 pro m^2 Wfl. $0,232 \text{ m}^3$ Holzprodukte in Wand- Dach- und Deckenelementen (inkl. Verkleidung) eines Hauses enthalten. In der Umfrage in Kroth et al. (1991: S.68) lag der Anteil des Holztafelbaus bei 80 % und der des holzeinsatzintensiveren Skelettbaus bei 18 % (2 % waren Block- und Massivbauweise). Unter der Annahme der Skelettbauanteil in der eigenen Studie läge nicht bei 2,2 % (siehe Kapitel 4.2) sondern ähnlich wie in Kroth et al. (1991) bei 20 %, errechnen sich nach den eigenen Sachbilanzen (Tabelle 3-8 und Tabelle 3-11) $0,245 \text{ m}^3$ Holzprodukt pro m^2 Wfl.

Zur Ermittlung der Fenster- und Haustüranzahl der betrachteten Durchschnittshäuser wurden die in 2009 insgesamt durch die Projektpartner eingebauten Fenster und Haustüren erfragt. Für das Durchschnittshaus in Holztafelbauweise ergaben sich hiernach 18 Fenster⁵ und eine Haustür. Für das Durchschnittshaus in Holzskelettbauweise errechneten sich 10 Fenster und eine Haustür. Durch Multiplikation dieser Stückzahlen mit den Standardfenster- (1,23*1,48 m) und Standardhaustürenmaßen (1,23*2,18 m) ergaben sich somit 35,4 m² Fenster- und Haustürenfläche für das Durchschnittshaus in Holztafelbauweise und 25,1 m² Fenster- und Haustürenfläche für die Skelettbauweise. Zur Plausibilitätskontrolle wurden parallel die insgesamt in 2009 produzierten Fenster- und Haustürenflächenmaße direkt unter den Projektpartnern erhoben. Da sich mit 34,80 m² für das Durchschnittshaus in Holztafelbauweise und 23,76 m² für die Skelettbauweise hier sehr ähnliche Werte wie über die Berechnung anhand der Stückzahlen ergab, war eine Anpassung der Stückzahlen nicht erforderlich.

4.2 Qualität und Repräsentativität der ermittelten Daten

Nach Kapitel 4.2.3.6.2 in ISO 14044 (ISO, 2006b) sind technologische, geographische und zeitliche Repräsentativität, Vollständigkeit sowie Angaben zur Variabilität von Daten oder Ökobilanzsergebnissen Merkmale für die Qualität der im Rahmen einer Ökobilanzstudie erhobenen Daten und somit auch für die Qualität der Ergebnisse der Wirkungsabschätzung.

Technologische Repräsentativität

Die Fragebögen von 13 der anfänglich 15 Projektpartner waren hinsichtlich Datenumfang und Datenqualität hinreichend für die Berücksichtigung im Rahmen der Studie. In den 14 Werken der Projektpartner wurden im Jahr 2009 Bauteilflächen für 3614 Häuser produziert. Im gleichen Jahr wurden in Deutschland insgesamt 9736 Häuser in Holzfertigbauweise errichtet (StBA, 2013), so dass die Branchenabdeckung der Studie bei 37 % liegt. Von den insgesamt durch die Projektpartner errichteten Häusern wurden 2,2 % in Holzskelettbauweise gefertigt, die übrigen 97,8 % wurden in Holzrahmenbauweise ausgeführt. In den Unternehmen der Projektpartner waren zu dieser Zeit 3117 Mitarbeiter angestellt. Somit entfielen von im Jahr 2009 insgesamt 6229 Beschäftigten im Fertigteilsektor 50 % auf die Werke der berücksichtigten Unternehmen.

Die deutsche Fertigbaubranche zählte 2009 laut den Daten des Statistischen Bundesamts 491 Betriebe, von denen 439 weniger als 19 Mitarbeiter und weitere 34 Betriebe 20 bis 49 Mitarbeiter hatten (StBa, 2010). Die übrigen 18 Betriebe beschäftigten demnach mehr als 50 Mitarbeiter. Alle 13 durch die Studie berücksichtigten Unternehmen hatten im Jahr 2009 mehr als 50 Angestellte, so dass die Abdeckung bei den Unternehmen mit 50 und mehr Mitarbeitern bei 72 % liegt und die Ökobilanzdaten somit insbesondere für die großen Betriebe der Branche als hoch repräsentativ anzusehen sind. Die Größenverteilung der Unternehmen sowie die zugehörigen Produktionsmengen sind in Tabelle 4-2 ersichtlich.

⁵ Zu Fenstern zählen auch verglaste Terrassen- und Balkontüren.

Tabelle 4-2: Größenverteilung der Werke der Projektpartner

Betriebsgröße 2009	Anzahl der Werke	Gesamtproduktion 2009
Häuser/Jahr		Häuser/Jahr
>250	4	2050
175 bis 250	5	1057
<175	5	507
Mitarbeiter/Werk		Mitarbeiter gesamt
>250	5	1577
150 bis 250	6	1191
50 bis 150	3	349

Geographische Repräsentativität

Mit jeweils 24% hatten Baden Württemberg, Rheinland Pfalz und Hessen die höchsten Fertigbauquoten im Jahr 2009. In diesen Bundesländern liegen zusammen sieben der untersuchten Werke. Weitere drei liegen in Bayern. In Niedersachsen wurden zwei Haushersteller berücksichtigt und jeweils 1 Werk liegt in Nordrhein Westfalen und in Brandenburg.

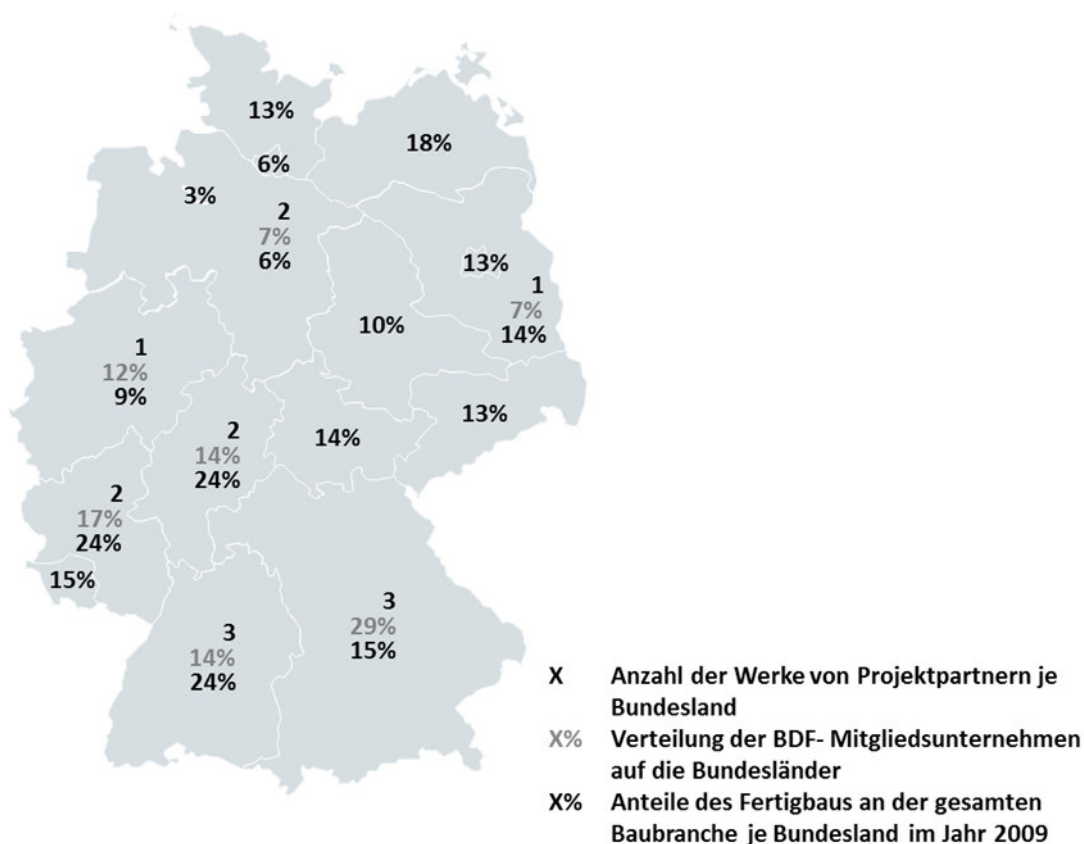


Abbildung 4-1: Verteilung der Projektpartner und aller Mitgliedsunternehmen des BDF auf die Bundesländer sowie die Anteile des Fertigbaus je Bundesland. Quellen: Webseite des BDF (siehe Literaturverzeichnis), StBA (2010)

Zeitliche Repräsentativität

Alle bei den Projektpartnern erhobenen In- und Outputdaten beziehen sich auf die Gesamtproduktion des Jahres 2009.

Der überwiegende Teil der verwendeten Hintergrunddatensätze ist nicht älter als 7 Jahre. Die Hintergrunddatensätze für PE- und PVC-Folie stammen aus dem Jahr 2005. Für die Ermittlung der Umweltwirkungen durch die Herstellung von Holzschutzmitteln und Weißleim wurden Datensätze aus dem Jahr 2000 verwendet. Keine der Materialien, für die auf Datensätze aus den Jahren 2000 und 2005 zurückgegriffen wurde, haben bedeutende Umweltwirkungen (siehe Dominanzanalysen in den Kapiteln 3.2 und 3.3).

Vollständigkeit

Mit Ausnahme der Emissionen aus der Anwendung von Akrylat- und Silikondichtstoffen wurden bei der Aufstellung der die Werke der Haushersteller sowie die Baustelle umfassenden Sachbilanzen keine bekannten Flüsse abgeschnitten.

Für die Herstellung der Reifen lagen keine Hintergrunddaten vor (siehe Kapitel 2.4.4), so dass diese bei der Wirkungsabschätzung unberücksichtigt blieb.

Variabilität der Ökobilanzergebnisse

Die Ergebnistabellen in Kapitel 3 enthalten die maximalen herstellereinspezifischen Abweichungen der Umweltwirkungen vom Branchendurchschnitt für die Module A1-A5 auf Gebäudeebene sowie für die Module A1-A3 auf Bauelementebene.

4.3 Sensitivitätsanalyse auf Datenunsicherheit

Wie in Kapitel 2.6 beschrieben, konnten für die Plausibilitätsprüfung in Kapitel 4.1 Baustoffvolumina für Vollholz, Holzwerkstoffe, Gipsplatten und Dämmmaterialien aus Konstruktionszeichnungen berechnet werden. Die für diese Baustoffe erhobenen und gemäß Kapitel 2.6 angepassten Mengen (Tabelle 4-3a) sind für die funktionelle Einheit auf Gebäudeebene in Holztafelbauweise den aus den Konstruktionszeichnungen hervorgegangenen Mengen (Tabelle 4-3b) gegenüber gestellt.

Tabelle 4-3: Im Gebäude verbleibende Materialmengen zu Vollholz, Plattenwerkstoffen und Dämmstoffen nach a) Datenerhebung und b) Konstruktionszeichnungen

Baustoff	a) nach angepasster Datenerhebung [kg]	b) nach Konstruktionszeichnungen [kg]
Vollholz	9553	10764
Holzwerkstoffe	5984	6690
Gipsplatten	5508	5475
Dämmstoffe	2029	2207

Abbildung 4-2 zeigt die Sensitivität der Ergebnisse der Wirkungsabschätzung bei Berücksichtigung der Baustoffmengen aus Tabelle 4-3b anstelle der aus Tabelle 4-3a. Alle nicht durch Tabelle 4-3 erfassten Parameter der Sachbilanz (alle weiteren Baustoffe, Energieverbräuche, Abfallmengen etc.) blieben bei der Sensitivitätsanalyse gleich. Die Unterschiede in den Baustoffmengen wirken

sich verhältnismäßig wenig auf die Ergebnisse zu den Umweltwirkungen aus. Mit 10,3 % tritt der maximale Unterschied zwischen beiden Wirkungsabschätzungen in der Kategorie POCP auf.

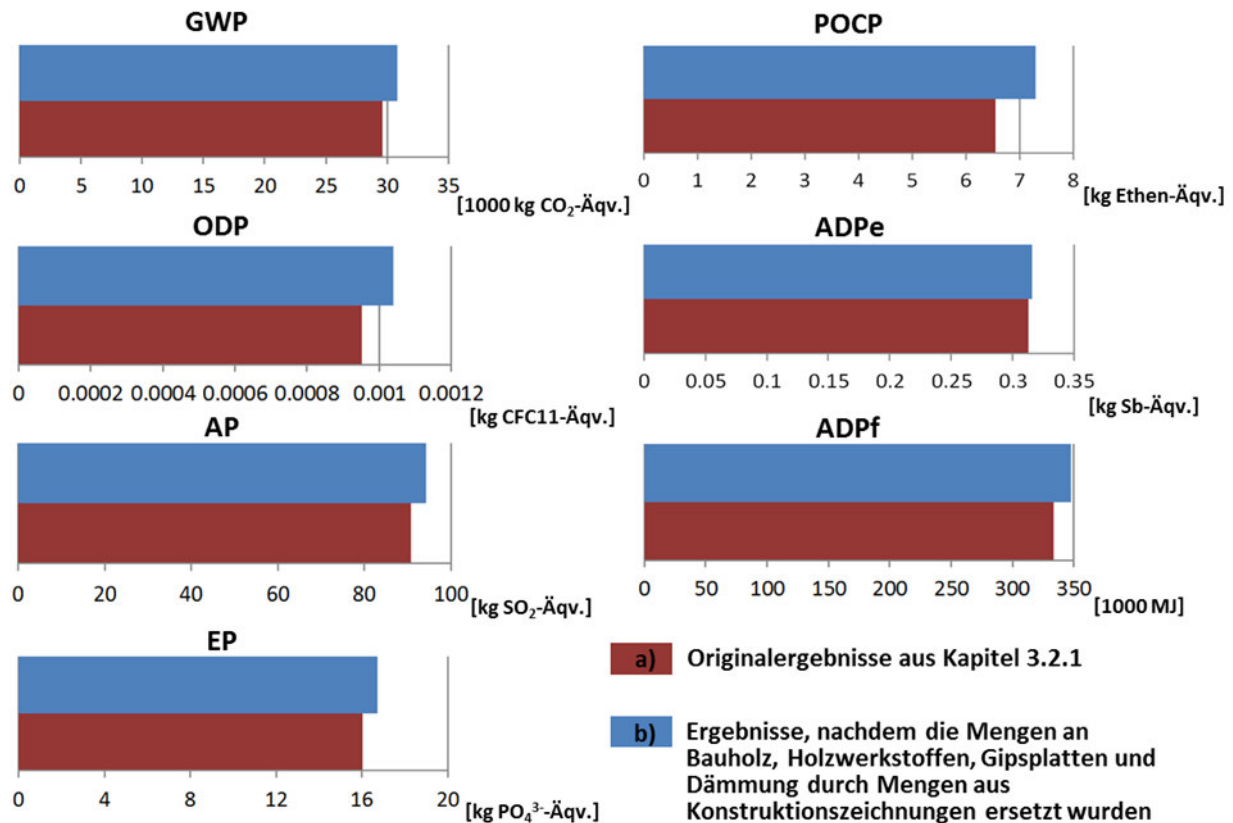


Abbildung 4-2: Ergebnis der Sensitivitätsanalyse

4.4 Sachbilanzergebnisse verschiedener Konstruktionen, berechnet über die Wohnfläche und den Bruttorauminhalt

Alternativ zur über die Bauteilflächen vorgenommenen Verteilung der Jahresproduktionsdaten (siehe Kapitel 2.7.2), wurde die Verteilung der Baustoffe auf die Sachbilanz der funktionellen Einheit auf Gebäudeebene über die Gebäudeparameter Wohnfläche und Bruttorauminhalt durchgeführt. Hierfür lagen Daten zu der durch die Unternehmen aufgrund der Errichtung ihrer Häuser im Produktionsjahr 2009 insgesamt geschaffenen Wohnfläche und des Bruttorauminhalts vor.

Die Überprüfung, ob die Anwendung verschiedener Verteilungsschlüssel zu ähnlichen Ergebnissen führt, wurde mit den produktionsmengengewichteten Daten von zwei Unternehmen durchgeführt. Neben der Verteilung auf das im Kapitel 3.2 betrachteten Durchschnittshauses, wurde die Verteilung auf ein weiteres Beispielhaus, mit einer Wohnfläche von 81.92 m² und einem Bruttorauminhalt von 416,5 m³ vorgenommen. Die zugehörigen Bauteilflächenmaße dieses eingeschossigen Hauses liegen bei 120 m² Außenwand, 39 m² Innenwand, 100 m² Decke und 110 m² Dach.

Tabelle 4-4: Abweichungen in der Sachbilanz bei der Verteilung von Werksaufwendungen auf die funktionelle Einheit auf Gebäudeebene über die Parameter Wohnfläche (Wfl.) und Bruttonauminhalt (BRI) gegenüber der Verteilung über Bauteilflächenmaße

Baustoffe	Haus mit 143,13 m ² Wfl.		Haus mit 81,92 m ² Wfl.	
	Abweich. bei Verteilung über Wfl. [in %]	Abweich. bei Verteilung über BRI [in %]	Abweich. bei Verteilung über Wfl. [in %]	Abweich. bei Verteilung über BRI [in %]
Vollholz	-6,24	13,94	-20,74	35,96
Holzwerkstoffe	-12,18	-19,29	-18,87	37,07
Gipsplatten	-9,88	-40,00	-14,19	40,60
Dämmstoffe	-6,75	-28,81	-21,95	34,84
Putzsystem	-5,56	-27,74	-17,13	38,66
Klinker	-9,95	17,83	-20,98	35,22
Mörtel	-26,00	39,33	-40,71	17,21
Estrich	4,25	-26,27	-9,35	10,46
Befestigungsmittel	-4,75	-37,04	-17,15	29,69
Gips	-2,32	0,00	-15,06	24,45

Tabelle 4-4 zeigt für beide Gebäude die Abweichungen bei der Verteilung der Baustoffe über die Wohnfläche und den Bruttonauminhalt. Es zeigt sich, dass die Abweichungen mit Ausnahme der Verteilung über die Wohnfläche im Fall des Durchschnittshauses mit 143,13 m² Wohnfläche sehr hoch ausfallen. Da die Abweichungen bei den einzelnen Baustoffen zudem unterschiedlich hoch sind, kann die Berechnung der Sachbilanz mittels der getesteten Gebäudeparameter auch nicht durch die Anwendung eines Korrekturfaktors erfolgen. Das Ergebnis zeigt, dass die individuelle Ausprägung eines Gebäudes hinsichtlich seiner Bauteilflächen bei der Verteilung von Jahresproduktionsdaten auf die funktionelle Einheit eines Gebäudes Berücksichtigung finden muss. Eine Umrechnung über Wohnraum- bzw. flächenmaße resultiert in unregelmäßigen Diskrepanzen.

4.5 Einordnung der Ergebnisse

Das Projekt hat repräsentative Ökobilanzdaten gemäß DIN EN ISO 14040/44 (ISO, 2006a, b), DIN EN 15804 (CEN 2014a), DIN EN 15978 (CEN 2012c) sowohl für Bauelemente in Holzfertigbauweise als auch für ganze Gebäude zum Ergebnis.

Um dem Produktsystem *Holzfertigbau* ökobilanziell gerecht zu werden, erfasste die Primärdatenerhebung die Distanzen, die beim Transport der Baustoffe zum Werk überbrückt werden (Modul A2), die Aufwendungen im Werk (Modul A3), die Transporte zwischen Werk und Baustelle (Modul A4) sowie die Aufwendungen auf der Baustelle (Modul A5).

In Tabelle 4-5 sind die jeweiligen Beiträge der Module A1-A5 zu den nach Normierung auf deutsche Gesamtemissionen relevantesten Umweltwirkungen für die funktionellen Einheiten auf Gebäude- und Bauelementebene enthalten. Je nach Wirkungskategorie werden die Umweltwirkungen mit 52,1 bis 99,6 % von der Halbwarenbereitstellung (Modul A1) dominiert. Die Beiträge zu den Umweltwirkungen durch Modul A2 liegen über alle Kategorien und funktionellen Einheiten hinweg betrachtet zwischen 0 und 2,6 %. Mit 0,01 bis max. 6,3 % fällt auch die Baustelle (Modul A5) nur untergeordnet ins Gewicht. Der Transport der Bauteilflächen zur Baustelle hingegen (Modul A4) hat insbesondere beim GWP_{fossil} (8,2 - 28,8 %) und beim AP (7,8 - 33,6 %) mitunter beträchtliche Anteile an den Gesamtwirkungen. Die Aufwendungen bei der Bauteilflächenherstellung im Werk (Modul A3) führen ebenfalls in der Kategorie GWP_{fossil} (8,9 - 27,3 %) und AP (5,4 -

28,0 %) zu hohen relativen Beiträgen. Für die funktionellen Einheiten auf Gebäudeebene sind die Anteile der einzelnen Module an den Umweltwirkungen zusätzlich graphisch in Abbildung 4-3 dargestellt.

Die Ergebnisse zeigen, dass für die Holzfertigbauweise eine Abschätzung der Umweltwirkungen über die Aufsummierung von Ökobilanzdaten zu Baustoffen ausschließlich auf Basis von Konstruktionszeichnungen zu unzureichenden Ergebnissen führt. Die Herstellung der Bauteilflächen beim Haushersteller (Modul A3) sowie die Transporte der Bauteilflächen zur Baustelle (Modul A4) haben hohe Anteile an den gesamten Umweltwirkungen des Produktsystems und können daher nicht vernachlässigt werden.

Tabelle 4-5: Anteile der einzelnen Module an den gesamten Umweltwirkungen (Module A1-A5) der einzelnen funktionellen/deklarierten Einheiten für die nach Normierung auf deutsche Gesamtemissionen relevantesten Umweltwirkungen

Modul	Wirkungskategorie	Gebäude in Holztafelbauw.	Bauelemente in Holztafelbauw.	Gebäude in Holzskelettbauw.	Bauelemente in Holzskelettbauw.
A1	GWP, fossil [%]	68,41	52,1-68,37	75,26	39,87-82,42
	AP [%]	67,80	53,49-67,21	77,77	41,99-85,47
	ADPE [%]	99,48	99,35-99,55	99,22	98,96-99,44
A2	GWP, fossil [%]	0,93	0,91-1,87	0,64	0,37-1,28
	AP [%]	1,34	1,16-2,6	0,74	0,54-1,47
	ADPE [%]	0,00	0-0,01	0,01	0-0,01
A3	GWP, fossil [%]	15,51	18,52-27,27	10,47	7,95-26,45
	AP [%]	14,08	15,87-27,99	8,07	5,42-20,44
	ADPE [%]	0,36	0,38-0,55	0,54	0,42-0,85
A4	GWP, fossil [%]	8,82	9,15-16,56	9,67	8,2-28,81
	AP [%]	12,81	12,83-21,33	11,28	7,8-33,56
	ADPE [%]	0,04	0,03-0,08	0,10	0,08-0,17
A5	GWP, fossil [%]	6,33	2,08-3,63	3,96	1,07-3,59
	AP [%]	3,97	1,5-2,93	2,13	0,63-2,54
	ADPE [%]	0,11	0,01-0,02	0,14	0,01-0,02

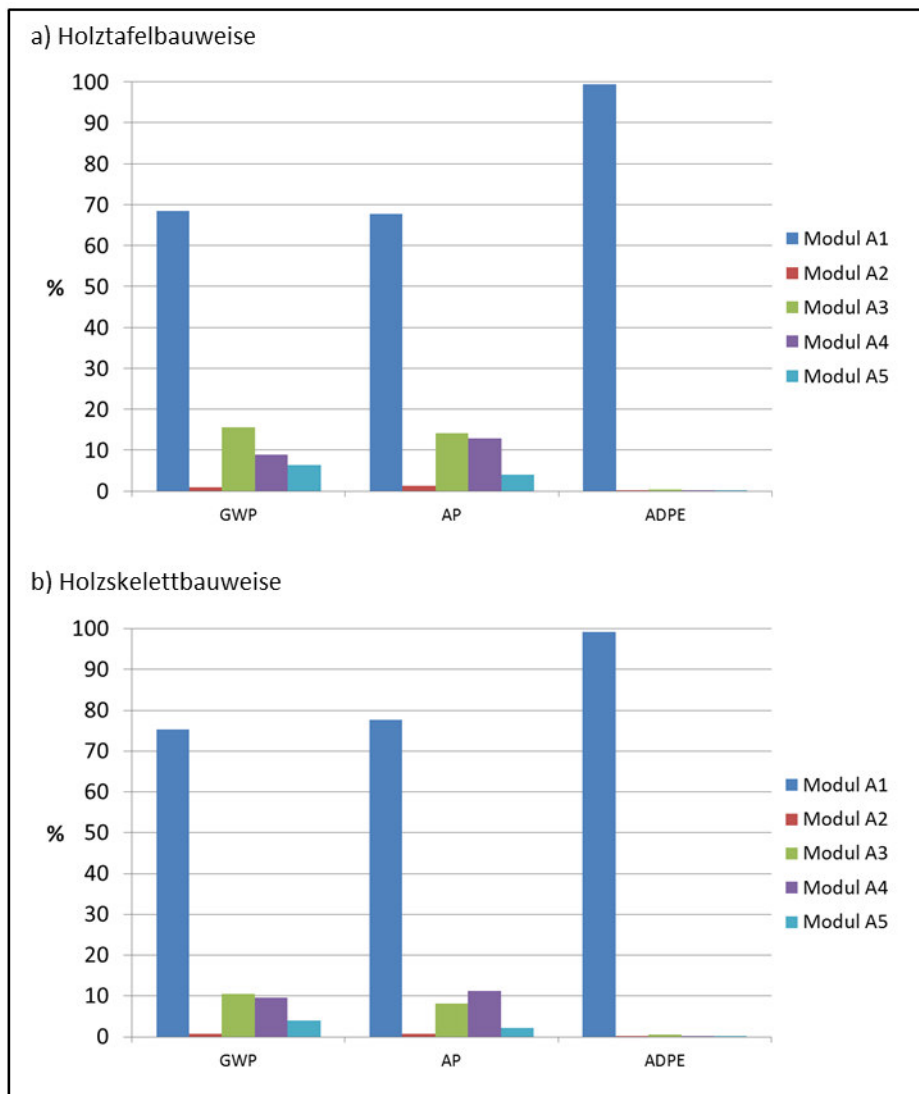


Abbildung 4-3: Anteile der einzelnen Lebenszyklusphasen (Module A1-A5) an den gesamten Umweltwirkungen (Module A1-A5) für die betrachteten Durchschnittshäuser (143,13 m² Wfl.) in Holztafel- und skelettbauweise

4.6 Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse

Die durch die Studie erarbeiteten Durchschnittsergebnisse sind für die Anwendung im Bereich der *Nachhaltigkeitsbewertung von Gebäuden*, für interessierte Bauherren und Architekten sowie für sektorbezogene und methodische Fragestellungen relevant.

So finden die Daten z.B. Verwendung bei der Emissionsabschätzung der stofflichen Holznutzung unter der Klimarahmenkonvention und dem Kyoto Protokoll. Methodische Aspekte der Studie, wie die Verteilung von Jahresproduktionszahlen auf die verschiedenen funktionellen Einheiten, sollen zudem im Rahmen von Veröffentlichungen in wissenschaftlichen Zeitschriften diskutiert werden.

Insgesamt 14 firmenspezifische Ökobilanzdatensätze konnten den 13 im Projekt verbliebenen Partnerunternehmen zur Verfügung gestellt werden. Für die Unternehmen ergibt sich so die Möglichkeit ihre Ergebnisse im Vergleich zu den im Projektbericht vorgelegten Durchschnittsda-

ten zu analysieren. Insbesondere die Ergebnisse der Dominanzanalysen zeigen den Projektpartnern auf, welche Materialien oder Energieverbräuche hohe Anteile an den verschiedenen Wirkungskategorien bedingen und können so Anstoß geben für die ökologische Optimierung der Baustoffwahl und von Produktionsprozessen.

Die unmittelbare Verwendung der Ergebnisse in den öffentlichen Datenbanken *WECOBIS* und *ÖKOBAU.DAT* sowie die weitere Anwendung des Ökobilanzmodells sollen in Kapitel 4.6.1 und 4.6.2 kurz erläutert werden.

4.6.1 Verwendung der Daten im Informationssystem *WECOBIS* und der Baustoffdatenbank *ÖKOBAU.DAT*

Zusammen mit der *Bayerischen Architektenkammer* (ByAK) betreibt das *Bundesumweltministerium für Umwelt, Bau und Reaktorsicherheit* (BMUB) das webbasierte ökologische Baustoffinformationssystem *WECOBIS* (www.wecobis.de). Über den gesamten Produktlebenszyklus werden hierin gesundheitliche und umweltrelevante Aspekte von mehr als 160 Bauprodukten aus den verschiedensten Grundstoffen betrachtet. Die Webseite richtet sich vor allem an Planer, Architekten und Bauherren im Rahmen des *Nachhaltigen Bauens*, die sich z.B. im Rahmen einer geplanten Gebäudenachhaltigkeitszertifizierung (BNB-, DGNB-System) über die Ökologie verschiedener Baustoffalternativen informieren.

Die Inhalte von *WECOBIS* werden durch fachspezifisch ausgewählte Redakteursgruppen zusammengestellt. Seit 2012 steuert das Thünen-Institut für Holzforschung die Fachbeiträge zu Vollholzprodukten und Holzwerkstoffen bei. Neben Inhalten aus Literaturquellen finden auch eigene Forschungsergebnisse Eingang in *WECOBIS*. Die Ökobilanzdaten zu Holzprodukten beispielsweise entstammen nahezu alle der Studie Rüter & Diederichs (2012). Liegen bislang in *WECOBIS* nur Informationen zu Halbwaren vor, so sollen in Zukunft auch ganze Bauelemente in das Portal aufgenommen werden. Für den Holzbereich ist geplant, neben Fenstern und Türen auch Bauelemente des Holzfertigbaus zu berücksichtigen. Die vorliegenden Ökobilanzergebnisse aus Kapitel 3.3 können somit unmittelbar Eingang in die Datenblätter zu Wandaufbauten und Dach- und Deckenelementen finden.

Für die ökologische Bewertung von Gebäuden, z.B. im Rahmen von Nachhaltigkeitsbewertungen von Gebäuden nach dem BNB-System, stellt das BMUB Umweltdaten zu Baustoffen und Bauelementen in der Ökobilanzdatenbank *ÖKOBAU.DAT* bereit. Da die erstellten Ökobilanzdaten die seit 2013 für die Datensätze der *ÖKOBAU.DAT* bestehende Anforderung der DIN EN 15804-Konformität erfüllen, können die den Branchendurchschnitt repräsentierenden Ergebnisse aus Kapitel 3.3 zu jeweils 1 m² Wand-, Dach- und Deckenelement der Holztafel- und Holzskelettbauweise in die *ÖKOBAU.DAT* übertragen werden und so Anwendern im Bereich des Nachhaltigen Bauens zur Verfügung gestellt werden.

4.6.2 Weitere Anwendung des erstellten Ökobilanzmodells

Das erstellte dynamische Prozessmodell kann sowohl für die Ökobilanzierung von Wand-, Dach- und Deckenelementen als auch für die Wirkungsabschätzung auf Gebäudeebene verwendet werden.

Das Modell soll auch weiterhin für die Ermittlung firmenspezifischer Ökobilanzen zum Einsatz kommen, so dass weitere Unternehmen Umweltkennzahlen zu ihrer Produktion erhalten. Für die bisherigen Projektpartner besteht die Möglichkeit der Erneuerung der Ökobilanzdaten mittels aktueller Produktionszahlen.

Die fortlaufende Erhebung von Industriedaten und die Nutzung von firmenspezifischen Ökobilanzen kann dann für die Aktualisierung der den Branchendurchschnitt widerspiegelnden Ökobilanzen Verwendung finden. Über eine dauerhafte Kooperation mit den Unternehmen kann so ein langfristiges *Umweltmonitoring* für den Fertighaussektor etabliert werden, welches jahresaktuelle Daten hervorbringt und beispielsweise für die Treibhausgasberichterstattung im Holzproduktebereich sowie für die Abschätzung der Änderungen von Umweltwirkungen des gesamten Sektors unter veränderten Markt- und Produktionsbedingungen genutzt werden kann. Hierfür bietet sich die Verschneidung der Ökobilanzdaten mit baubereichsspezifischen Datenreihen des Statistischen Bundesamts (StBA, 2013) an, die sowohl Stückzahlen zu jährlich errichteten Gebäuden als auch den zugehörigen Wohnflächen umfassen.

Ökobilanzierung individueller Gebäude

Sind die Bauteilflächengrößen sowie die Fenster- und Türenanteile eines Hauses bekannt, können individuell angepasste Gebäudeökobilanzen mittels der auf jeweils 1 m² bezogenen bauelementspezifischen Ergebnisse in Kapitel 3.3 und der Hinzunahme weiterer Ökobilanzdaten für Türen und Fenster berechnet werden. Die in den Ergebnistabellen in Kapitel 3.3 (z.B. Tabelle 3-17) gegebenen Abweichungen zu den Durchschnittsergebnissen belegen jedoch, dass mitunter recht hohe Diskrepanzen bestehen zwischen den Umweltwirkungen der Durchschnittselemente der Branche und denen firmenspezifischer Durchschnittselemente. Die Baustoffzusammensetzung spezifischer Bauelemente und somit auch die Umweltwirkungen eines konkreten Gebäudes können sich noch stärker von den Durchschnittswerten unterscheiden.

Liegen keine Ökobilanzdaten zu einer Firma vor, besteht für ein durch dieses Unternehmen errichtetes Haus allerdings lediglich die Möglichkeit die Durchschnittsergebnisse des vorliegenden Projektberichts auf die spezifischen Bauteilflächenmaße anzupassen und die entsprechenden Ungenauigkeiten in Kauf zu nehmen. Für Häuser der Projektpartner können firmenspezifische Daten verwendet werden, so dass sich die Ungenauigkeiten verringern. Um eine noch höhere Genauigkeit bei der Wirkungsabschätzung zu erreichen, besteht im Fall der Module A1, A4 und A5 die Möglichkeit hausspezifische Ökobilanzergebnisse zu generieren. Für Modul A4 ist hierfür lediglich die Distanz zwischen Haushersteller und Baustelle sowie die Anzahl der Fahrten zu erheben. Die Generierung hausspezifischer Ergebnisse zu Modul A1 erfordert eine Aufstellung zu den Mengen der in den Bauelementen verbauten Baustoffe, die auf Basis von Konstruktionszeichnungen des Hauses ermittelt werden können. Wie in Abbildung 4-4 dargestellt, können Durchschnittsdaten, firmenspezifische und hausspezifische Daten für die Berechnung der Umweltwirkungen der gesamten Produktions- und Errichtungsphase eines Hauses auch kombiniert werden.

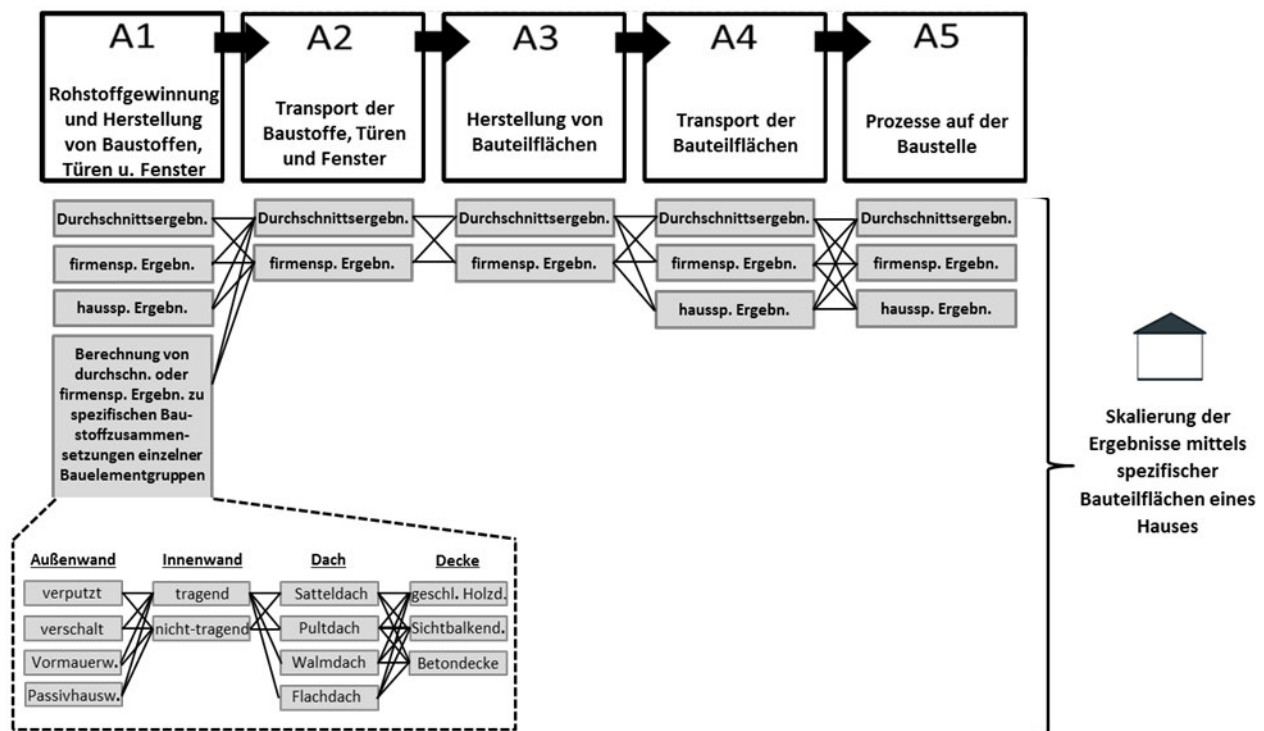


Abbildung 4-4: Mögliche Kombinationen von Ökobilanzergebnissen einzelner Module bei der Berechnung einer spezifischen Gebäudeökobilanz

Für Modul A1 bietet sich darüber hinaus an, Ökobilanzdaten zu Baustoffzusammensetzungen verschiedener Wand-, Dach- und Deckenelemente zu generieren, so dass je nach verbautem Bauelementtyp (Satteldach, Pultdach, Walmdach, Flachdach, geschlossene Decke, Sichtbalkendecke, Betondecke, etc.) ein entsprechender Datensatz ausgewählt werden kann. Die Erstellung solcher bauelementtypenspezifischen Datensätze kann sowohl für den Branchendurchschnitt als auch firmenspezifisch erfolgen.

Abkürzungsverzeichnis

Äqv.	Äquivalente
BDF	Bund Deutscher Fertigbau e.V.
BMUB	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit
BMVBW	Bundesministerium für Bau, Verkehr und Wohnungswesen
BNB	Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen für Bundesgebäude
BRI	Bruttonauminhalt
ByAK	Bayerische Architektenkammer
DIN	Deutsches Institut für Normung e.V.
DGNB	Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen
EN	Europäische Norm
ENEV	Energieeinsparverordnung
EPD	Umweltproduktdeklaration
GW	Globale Erwärmung
IBU	Institut Bauen und Umwelt
ISO	International Organization for Standardisation
KfW	Kreditanstalt für Wiederaufbau
NMVOC	Flüchtige Organische Verbindungen ohne Methan
ÖKOBAU.DAT	Baustoffdatenbank für Ökobilanzdaten
PE	Polyethylen
PVC	Polyvinylchlorid
U-Wert	Wärmedurchgangskoeffizient
WECOBIS	Webbasiertes ökologisches Baustoffinformationssystem
WDVS	Wärmedämm-Verbundsystem
Wfl.	Wohnfläche

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1-1: Einteilung der Lebenszyklusinformation in Module nach DIN EN 15804 und DIN EN 15978	2
Abbildung 1-2: Lebenszyklusphasen im klassischen Holzbau/Massivbau gegenüber Lebenszyklusphasen in der Holzfertigbauweise	3
Abbildung 1-3: a) Charakteristische Elemente der Holzrahmenbauweise b) Aufbau einer Wand in Holzrahmenbauweise mit den Rahmenelementen Rähm, Ständer und Schwelle sowie einseitiger Beplankung. Die den Hohlraum zwischen Beplankung und Rahmen ausfüllende Dämmung ist nicht abgebildet; modifiziert nach Informationsdienst Holz, 2009	7
Abbildung 1-4: Hauskonstruktion in Skelettbauweise; Quelle: Informationsdienst Holz 1998	8
Abbildung 1-5: Zeitlicher Ablauf der Bearbeitung der Arbeitspakete des Projekts	10
Abbildung 2-1: Die Phasen einer Ökobilanz nach DIN EN ISO 14040 (ISO 2006a)	13
Abbildung 2-2: Typische Außenwandbeispiele im Holzrahmenbau	16
Abbildung 2-3: Tragende und nicht tragende Innenwände	18
Abbildung 2-4: Verschiedene Deckenvarianten, modifiziert nach BDZ 1992	18
Abbildung 2-5: Steildachvarianten nach, modifiziert nach BDZ 1992	19
Abbildung 2-6: Beispiele zu Isometrie und Knotenpunktausführungen im Holzskelettbau a) Horizontaler Hauptträger als Zange an durchgehender vertikaler Stütze b) Horizontaler Träger mit geteilter vertikaler Stütze, modifiziert nach Informationsdienst Holz 1998	20
Abbildung 2-7: Herstellungsschritte in der Wand-, Dach- und Deckenfertigung	21
Abbildung 2-8: Häuser mit verschiedenen Bauteilflächenmaßen/	24
Abbildung 2-9: Beispiele für Gesamtmengen und Verteilungen der mengenmäßig dominanten	25
Abbildung 2-10: Stadien des Lebenswegs und Module eines Produktsystems; modifiziert nach DIN EN 15804. Die rot umrandeten Module finden in der Studie Berücksichtigung.	26
Abbildung 2-11: Prinzip der Plausibilitätsprüfungen auf Werksebene	32
Abbildung 3-1: Bilanz der Kohlenstoffflüsse in der Holzbiomasse	45
Abbildung 3-2: Bilanz der Kohlenstoffflüsse in der Holzbiomasse	50
Abbildung 3-3: Bilanz der Kohlenstoffflüsse in der Holzbiomasse	55
Abbildung 3-4: Bilanz der Kohlenstoffflüsse in der Holzbiomasse	60
Abbildung 3-5: Bilanz der Kohlenstoffflüsse in der Holzbiomasse	64
Abbildung 3-6: Bilanz der Kohlenstoffflüsse in der Holzbiomasse	68
Abbildung 3-7: Bilanz der Kohlenstoffflüsse in der Holzbiomasse	73

Abbildung 3-8: Bilanz der Kohlenstoffflüsse in der Holzbiomasse	78
Abbildung 3-9: Bilanz der Kohlenstoffflüsse in der Holzbiomasse	82
Abbildung 3-10: Bilanz der Kohlenstoffflüsse in der Holzbiomasse	87
Abbildung 4-1: Verteilung der Projektpartner und aller Mitgliedsunternehmen des BDF auf die Bundesländer sowie die Anteile des Fertigbaus je Bundesland. Quellen: Webseite des BDF (siehe Literaturverzeichnis), StBA (2010)	90
Abbildung 4-2: Ergebnis der Sensitivitätsanalyse	92
Abbildung 4-3: Anteile der einzelnen Lebenszyklusphasen (Module A1-A5) an den gesamten Umweltwirkungen (Module A1-A5) für die betrachteten Durchschnittshäuser (143,13 m ² Wfl.) in Holztafel- und skelettbauweise	95
Abbildung 4-4: Mögliche Kombinationen von Ökobilanzergebnissen einzelner Module bei der Berechnung einer spezifischen Gebäudeökobilanz	98

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1-1: Baufertigstellungen von Wohngebäuden in Deutschland zwischen 2008 und 2012	5
Tabelle 2-1: Angenommene Dichten der Bauhölzer und Holzwerkstoffe	35
Tabelle 2-2: Übersicht der verwendeten Quellen für Industrieprozesse in den Vorketten, Transporte, Prozesse im <i>End of Life</i> und zur Energiebereitstellung	36
Tabelle 3-1: Durchschnittliche Distanzen der Halbwarentransporte zu den Hausherstellern	37
Tabelle 3-2: Transportdistanzen zwischen Hausherstellern und	38
Tabelle 3-3: Herkunft der Holzbaustoffe	38
Tabelle 3-4: Durchschnittliche (produktionsmengengewichtet) und min./max. Wohnflächen der durch die 13 Projektpartner im Jahr 2009 errichteten Häuser	39
Tabelle 3-5: Zusammensetzung der funktionellen Einheit auf Gebäudeebene	39
Tabelle 3-6: Verpackungsmaterial zur funktionellen Einheit	40
Tabelle 3-7: Durchschnittliche Maße der Bauteilflächen, Bauelemente und Tür-, Fenster-, Treppenöffnungen	40
Tabelle 3-8: Sachbilanz für die Herstellung (Modul A3) und Errichtung (A5) eines Einfamilienhauses (143,13 m ² Wohnfläche) in Holztafelbauweise	41
Tabelle 3-9: Umweltauswirkungen, Ressourceneinsätze, Outputflüsse und Abfälle für Herstellung und Errichtung eines Einfamilienhauses in Holztafelbauweise	43
Tabelle 3-10: Dominanzanalyse zu den nach Normierung auf deutsche Gesamtemissionen relevantesten Umweltwirkungen	44
Tabelle 3-11: Sachbilanz für die Herstellung (Modul A3) und Errichtung (A5) eines Einfamilienhauses (143,13 m ² Wohnfläche) in Holzskelettbauweise	46
Tabelle 3-12: Umweltauswirkungen, Ressourceneinsätze, Outputflüsse und Abfälle für Herstellung und Errichtung eines Einfamilienhauses in Holzskelettbauweise	48
Tabelle 3-13: Dominanzanalyse zu den nach Normierung auf deutsche Gesamtemissionen relevantesten Umweltwirkungen	49
Tabelle 3-14: Durchschnittliche (produktionsmengengewichtet) Baustoff-/Bauproduktzusammensetzung der funktionellen Einheit 1 m ² Außenwand in Holztafelbauweise	50
Tabelle 3-15: Verpackungsmaterial zur funktionellen Einheit	51
Tabelle 3-16: Sachbilanz für die Herstellung (Modul A3) und Montage (A5) von 1 m ² Außenwandelement in Holztafelbauweise	51
Tabelle 3-17: Umweltauswirkungen, Ressourceneinsätze, Outputflüsse und Abfälle für die Herstellung von 1 m ² Außenwandelement	53
Tabelle 3-18: Dominanzanalyse zu den nach Normierung auf deutsche Gesamtemissionen relevantesten Umweltwirkungen	54

Tabelle 3-19: Durchschnittliche (produktionsmengengewichtet) Baustoff-/Bauproduktzusammensetzung der funktionellen Einheit 1 m ² Außenwandelement in Holzskelettbauweise	55
Tabelle 3-20: Verpackungsmaterial zur funktionellen Einheit	55
Tabelle 3-21: Sachbilanz für die Herstellung (Modul A3) und Montage (A5) von 1 m ² Außenwandelement in Holzskelettbauweise	56
Tabelle 3-22: Umweltauswirkungen, Ressourceneinsätze, Outputflüsse und Abfälle für die Herstellung von 1 m ² Außenwandelement	58
Tabelle 3-23: Dominanzanalyse zu den nach Normierung auf deutsche Gesamtemissionen relevantesten Umweltwirkungen	59
Tabelle 3-24: Durchschnittliche (produktionsmengengewichtet) Baustoff-/Bauproduktzusammensetzung der funktionellen Einheit 1 m ² Innenwandelement in Holztafelbauweise	60
Tabelle 3-25: Verpackungsmaterial zur funktionellen Einheit	60
Tabelle 3-26: Sachbilanz für die Herstellung (Modul A3) und Montage (A5) von 1 m ² Innenwandelement in Holztafelbauweise	61
Tabelle 3-27: Umweltauswirkungen, Ressourceneinsätze, Outputflüsse und Abfälle für die Herstellung von 1 m ² Innenwandelement	62
Tabelle 3-28: Dominanzanalyse zu den nach Normierung auf deutsche Gesamtemissionen relevantesten Umweltwirkungen	63
Tabelle 3-29: Durchschnittliche (produktionsmengengewichtet) Baustoff-/Bauproduktzusammensetzung der funktionellen Einheit 1 m ² Innenwandelement in Holzskelettbauweise	64
Tabelle 3-30: Verpackungsmaterial zur funktionellen Einheit	64
Tabelle 3-31: Sachbilanz für die Herstellung (Modul A3) und Montage (A5) von 1 m ² Innenwandelement in Holzskelettbauweise	65
Tabelle 3-32: Umweltauswirkungen, Ressourceneinsätze, Outputflüsse und Abfälle für die Herstellung von 1 m ² Innenwandelement	66
Tabelle 3-33: Dominanzanalyse zu den nach Normierung auf deutsche Gesamtemissionen relevantesten Umweltwirkungen	67
Tabelle 3-34: Durchschnittliche (produktionsmengengewichtet) Baustoff-/Bauproduktzusammensetzung der funktionellen Einheit 1 m ² Dachelement zur Holztafelbauweise	68
Tabelle 3-35: Verpackungsmaterial zur funktionellen Einheit	68
Tabelle 3-36: Sachbilanz für die Herstellung (Modul A3) und Montage (A5) von 1 m ² Dachelement zur Holztafelbauweise	69
Tabelle 3-37: Umweltauswirkungen, Ressourceneinsätze, Outputflüsse und Abfälle für die Herstellung von 1 m ² Dachelement in Holztafelbauweise	71
Tabelle 3-38: Dominanzanalyse zu den nach Normierung auf deutsche Gesamtemissionen relevantesten Umweltwirkungen	72

Tabelle 3-39: Durchschnittliche (produktionsmengengewichtet) Baustoff-/Bauproduktzusammensetzung der funktionellen Einheit 1 m ² Dachelement	73
Tabelle 3-40: Verpackungsmaterial zur funktionellen Einheit	73
Tabelle 3-41: Sachbilanz für die Herstellung (Modul A3) und Montage (A5) von 1 m ² Dachelement zur Holzskelettbauweise	74
Tabelle 3-42: Umweltauswirkungen, Ressourceneinsätze, Outputflüsse und Abfälle für die Herstellung von 1 m ² Dachelement zur Holzskelettbauweise	76
Tabelle 3-43: Dominanzanalyse zu den nach Normierung auf deutsche Gesamtemissionen	77
Tabelle 3-44: Durchschnittliche (produktionsmengengewichtet) Baustoff-/Bauproduktzusammensetzung der funktionellen Einheit 1 m ² Deckenelement in Holztafelbauweise	78
Tabelle 3-45: Verpackungsmaterial zur funktionellen Einheit	78
Tabelle 3-46: Sachbilanz für die Herstellung (Modul A3) und Montage (A5) von 1 m ² Deckenelement in Holztafelbauweise	79
Tabelle 3-47: Umweltauswirkungen, Ressourceneinsätze, Outputflüsse und Abfälle für die Herstellung von 1 m ² Deckenelement in Holztafelbauweise	80
Tabelle 3-48: Dominanzanalyse zu den nach Normierung auf deutsche Gesamtemissionen relevantesten Umweltwirkungen	81
Tabelle 3-49: Durchschnittliche (produktionsmengengewichtet) Baustoff-/Bauproduktzusammensetzung der funktionellen Einheit 1 m ² Deckenelement in Holzskelettbauweise	82
Tabelle 3-50: Verpackungsmaterial zur funktionellen Einheit	83
Tabelle 3-51: Sachbilanz für die Herstellung (Modul A3) und Montage (A5) von 1 m ² Deckenelement in Holzskelettbauweise	83
Tabelle 3-52: Umweltauswirkungen, Ressourceneinsätze, Outputflüsse und Abfälle für die Herstellung von 1 m ² Deckenelement in Holzskelettbauweise	85
Tabelle 3-53: Dominanzanalyse zu den nach Normierung auf deutsche Gesamtemissionen relevantesten Umweltwirkungen	86
Tabelle 4-1: Abweichungen zwischen erhobenem Materialvolumen (Rohdaten) für das Jahr 2009 und den auf Basis der Konstruktionszeichnungen ermittelten Werte auf Werksebene	88
Tabelle 4-2: Größenverteilung der Werke der Projektpartner	90
Tabelle 4-3: Im Gebäude verbleibende Materialmengen zu Vollholz, Plattenwerkstoffen und Dämmstoffen nach a) Datenerhebung und b) Konstruktionszeichnungen	91
Tabelle 4-4: Abweichungen in der Sachbilanz bei der Verteilung von Werksaufwendungen auf die funktionelle Einheit auf Gebäudeebene über die Parameter Wohnfläche (Wfl.) und Bruttorauminhalt (BRI) gegenüber der Verteilung über Bauteilflächenmaße	93

Tabelle 4-5: Anteile der einzelnen Module an den gesamten Umweltwirkungen (Module A1-A5) der einzelnen funktionellen/deklarierten Einheiten für die nach Normierung auf deutsche Gesamtemissionen relevantesten Umweltwirkungen	94
---	----

Literaturverzeichnis

- ALBRECHT, S., RÜTER, S., WELLING, J., KNAUF, M., MANTAU, U., BRAUNE, A., BAITZ, M., WEIMAR, H., SÖRGEL, S., KREIBIG, J., DEIMLING, J., HELLWIG, S. (2008) - Ökologische Potentiale durch Holznutzung gezielt fördern. Arbeitsbericht aus dem Institut für Holztechnologie und Holzbiologie Nr. 2008/5, Johann Heinrich von Thünen-Institut: Hamburg, 298 Seiten <http://www.holzundklima.de/docs/albrecht-et-al_2008_oekopot-bericht.pdf> Abruf am 06.05.2010
- ARPER (2008) - Environmental Declaration ISO 14025 arper Catfia 46. Norwegian Environmental Product Declarations, NEPD no.: 102, Arper s.p.a.: Monastier, 4 Seiten <<http://www.epd-norge.no/getfile.php/PDF/EPD/Moebler/NEPD102arperCatifa46fourEN.pdf>> Abruf am 20.12.2012
- BAUFRITZ (2012) - Environmental Product Declaration - HOIZ. 11 Seiten
- BAUONRW (2000) - Bauordnung für das Land Nordrhein Westfalen. In: WESTFALEN, M. F. I. U. K. N. (Hrsg.). *Bauordnung für das Land Nordrhein Westfalen*
- BDZ (1992) - Holzrahmenbau, Bund Deutscher Zimmermeister. 468 Seiten
- BMVBS (2013) - Leitfaden Nachhaltiges Bauen. Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung. *Leitfaden Nachhaltiges Bauen*
- BMVBW (2001) - Leitfaden Nachhaltiges Bauen. Bundesministerium für Verkehr, Bau und Wohnungswesen. *Leitfaden Nachhaltiges Bauen*
- CEN (2010) - Nachhaltigkeit von Bauwerken - Bewertung der Nachhaltigkeit von Gebäuden - Teil 1: Allgemeine Rahmenbedingungen; EN 15643-1:2010-12. *Nachhaltigkeit von Bauwerken - Bewertung der Nachhaltigkeit von Gebäuden - Teil 1: Allgemeine Rahmenbedingungen; EN 15643-1:2010-12*
- CEN (2011) - Nachhaltigkeit von Bauwerken - Bewertung der Nachhaltigkeit von Gebäuden - Teil 2: Rahmenbedingungen für die Bewertung der umweltbezogenen Qualität; EN 15643-2:2011-05. *Nachhaltigkeit von Bauwerken - Bewertung der Nachhaltigkeit von Gebäuden - Teil 2: Rahmenbedingungen für die Bewertung der umweltbezogenen Qualität; EN 15643-2:2011-05*
- CEN (2012a) - Nachhaltigkeit von Bauwerken - Bewertung der Nachhaltigkeit von Gebäuden - Teil 3: Rahmenbedingungen für die Bewertung der sozialen Qualität; EN 15643-3:2012-04. *Nachhaltigkeit von Bauwerken - Bewertung der Nachhaltigkeit von Gebäuden - Teil 3: Rahmenbedingungen für die Bewertung der sozialen Qualität; EN 15643-3:2012-04*
- CEN (2012b) - Nachhaltigkeit von Bauwerken - Bewertung der Nachhaltigkeit von Gebäuden - Teil 4: Rahmenbedingungen für die Bewertung der ökonomischen Qualität; EN 15643-4:2012-04. *Nachhaltigkeit von Bauwerken - Bewertung der Nachhaltigkeit von Gebäuden - Teil 4: Rahmenbedingungen für die Bewertung der ökonomischen Qualität; EN 15643-4:2012-04*
- CEN (2012c) - Nachhaltigkeit von Bauwerken — Bewertung der umweltbezogenen Qualität von Gebäuden — Berechnungsmethode. EN 15978:2012-10. *Nachhaltigkeit von Bauwerken — Bewertung der umweltbezogenen Qualität von Gebäuden — Berechnungsmethode. EN 15978:2012-10*
- CEN (2014a) - Nachhaltigkeit von Bauwerken — Umweltproduktdeklarationen — Grundregeln für die Produktkategorie Bauprodukte; Deutsche Fassung EN 15804:2012+A1:2013. *Nachhaltigkeit von Bauwerken — Umweltproduktdeklarationen — Grundregeln für die Produktkategorie Bauprodukte; Deutsche Fassung EN 15804:2012+A1:2013*
- CEN (2014b) - Round and sawn timber — Environmental Product Declarations — Product category rules for wood and wood-based products for use in construction. European Standard EN 16485. European Committee for Standardization.
- COELHO, A. C. B., J. M.; GERVASIO, H. (2012) - Life-cycle assessment of a single-family timber house. University of Minho, Portugal, 10 Seiten
- DIEDERICH, S. K. (2014a) - 2010 status quo for life-cycle inventory and environmental impact assessment of the core sawmill products in Germany. *Wood and Fiber Science*, 46 (1), Seiten 1-20
- DIEDERICH, S. K. (2014b) - 2010 status quo for life-cycle inventory and environmental impact assessment of wood-based panel products in Germany. *Wood and Fiber Science*, 46 (3), Seiten 1-16

- DIN (2005) - Grundflächen und Rauminhalte von Bauwerken im Hochbau - Teil 1: Begriffe, Ermittlungsgrundlagen -Deutsches Institut für Normung; DIN 277: 2005-2. *Grundflächen und Rauminhalte von Bauwerken im Hochbau - Teil 1: Begriffe, Ermittlungsgrundlagen -Deutsches Institut für Normung; DIN 277: 2005-2.*
- DIN (2011) - Umweltkennzeichnungen und -deklarationen - Typ III Umweltdeklarationen - Grundsätze und Verfahren (ISO 14025:2006); Deutsche und Englische Fassung DIN EN ISO 14025:2011-10. . *Umweltkennzeichnungen und -deklarationen - Typ III Umweltdeklarationen - Grundsätze und Verfahren (ISO 14025:2006); Deutsche und Englische Fassung DIN EN ISO 14025:2011-10.*
- GUINÉE, J. B. (Hrsg.) (2002) - Handbook on Life Cycle Assessment. Operational Guide to the ISO Standards. Kluwer Academic Publishers: Dordrecht, Boston, London, 692 Seiten
- HBAUO (2006) - Hamburgische Bauordnung. In: UMWELT, B. F. S. U. (Hrsg.). Freie Hansestadt Hamburg. *Hamburgische Bauordnung*
- HORN, W., JANN, OLIVER, KASCHE, JOHANNES, BITTER, FRANK, MÜLLER, DIRK, MÜLLER, BIRGIT (2007) - Ermittlung und Bewertung der VOC-Emissionen und geruchliche Belastungen. UMWELTBUNDESAMT (Hrsg.): Berlin, 78 Seiten
- IBU (2013) - Umwelt-Produktdeklaration nach ISO 14025 und EN 15804. Brettschichtholz. Deklarationsnummer EPD-SHL-20120017-IBG1-DE, Herausgeber Institut Bauen und Umwelt e. V. (IBU), Deklarationsinhaber Studiengemeinschaft Holzleimbau e. V. [Environmental product declaration for glue laminated timber to ISO 14025 and EN 15804, owner of the declaration: Glued Laminated Timber Association e.V.], in German.
- IBU (2014a) - Umwelt-Produktdeklaration nach ISO 14025 und EN 15804 für Brettsperrholz. Deklarationsnummer EPD-SHL-2012211-DE, Herausgeber Institut Bauen und Umwelt e. V. (IBU), Deklarationsinhaber Studiengemeinschaft Holzleimbau e. V. [Environmental product declaration for x-lam to ISO 14025 and EN 15804, owner of the declaration: Glued Laminated Timber Association e.V.], in German.
- IBU (2014b) - Umweltproduktdeklaration für Kunststofffenster aus PVC-U, Inhaber QKE e.V. Herausgegeben vom Institut Bauen und Umwelt e.V.
- INFORMATIONSDIENST HOLZ (1998) - Holzskelettbau. München, 39 Seiten
- INFORMATIONSDIENST HOLZ (2009) - Holzrahmenbau. Bonn, 215 Seiten
- IPCC (2006) - IPCC Guidelines for Greenhouse Gas Inventories. IEA/OECD, IPCC National Greenhouse Gas Inventories Programme, Technical Support Unit: Hayama, Kanagawa, Japan, 683 Seiten
- ISO (1997) - Umweltmanagement - Ökobilanz - Prinzipien und allgemeine Anforderungen. ISO 14040: 1997-08. *Umweltmanagement - Ökobilanz - Prinzipien und allgemeine Anforderungen. ISO 14040: 1997-08.*
- ISO (1998) - Umweltmanagement - Ökobilanz - Festlegung des Ziels und des Untersuchungsrahmens sowie Sachbilanz. Deutsche Fassung EN ISO 14041:1998. *Umweltmanagement - Ökobilanz - Festlegung des Ziels und des Untersuchungsrahmens sowie Sachbilanz. Deutsche Fassung EN ISO 14041:1998*
- ISO (2000a) - Umweltmanagement - Ökobilanz - Auswertung; Deutsche Fassung EN ISO 14043:2000.
- ISO (2000b) - Umweltmanagement - Ökobilanz - Wirkungsabschätzung; Deutsche Fassung EN ISO 14042:2000. *Umweltmanagement - Ökobilanz - Wirkungsabschätzung; Deutsche Fassung EN ISO 14042:2000*
- ISO (2006a) - Umweltmanagement –Ökobilanz –Grundsätze und Rahmenbedingungen (ISO 14040:2006). *Umweltmanagement –Ökobilanz –Grundsätze und Rahmenbedingungen (ISO 14040:2006)*
- ISO (2006b) - Umweltmanagement –Ökobilanz –Anforderungen und Anleitungen (ISO 14044:2006). Seite 84
- ISO (2011) - Energiemanagementsysteme - Anforderungen mit Anleitung zur Anwendung (ISO 50001:2011); Deutsche Fassung EN ISO 50001:2011. *Energiemanagementsysteme - Anforderungen mit Anleitung zur Anwendung (ISO 50001:2011); Deutsche Fassung EN ISO 50001:2011*
- JOHN, S. N., BARBARA; PEREZ, NICOLAS; BUCHANAN, ANDY (2008) - Environmental Impacts of Multi-Storey Buildings Using Different Construction Materials. University of Canterbury, 159 Seiten

- KÖNIG, H., CRISTOFARO, LISA, DE (2012) - Benchmarks for life cycle costs and life cycle assessment of residential buildings. *Building Research & Information*, 40 (5), Seiten 558-580
- KROTH, W., KOLLERT, W., FILIPPI, M. (1991) - Analyse und Quantifizierung der Holzverwendung im Bauwesen. 2350, T. (Hrsg.): München, 154 Seiten
- MARCEAU, M., L.; VANGEEM MARTHA, G. (2002) - Life Cycle Assessment of an Insulating Concrete Form House Compared to a Wood Frame House., Portland Cement Association, 25 Seiten
- MARCEAU, M., L.; VANGEEM MARTHA, G. (2008) - Comparison of the Life Cycle Assessments of an Insulating Concrete Form House and a Wood Frame House. Portland Cement Association, 30 Seiten
- MONTEIRO, H., FREIRE, FAUSTO (2012) - Life-cycle assessment of a house with alternative exterior walls: Comparison of three impact assessment methods. *Energy and Buildings*, 47, Seiten 572-583
- PENALOZA, D., NORÉN, J., ERIKSSON, P. E. (2013) - Life Cycle Assessment of Different Building Systems: The Wälludden Case Study -Technical Research Institute of Sweden., 58 Seiten
- PEUPORTIER, B. L. P. (2001) - Life Cycle Assessment applied to the comparative evaluation of single family houses in the french context. *Energy and Buildings*, 33, Seiten 443-450
- RÜTER, S. (2013) - Der Umweltbeitrag der Holznutzung. In Urbaner Holzbau. Chancen und Potenziale für die Stadt, edited by P. Cheret, et al. Berlin, in German: DOM publishers.,
- RÜTER, S., DIEDERICH, S. (2012) - Ökobilanz-Basisdaten für Bauprodukte aus Holz. Abschlussbericht. Johann Heinrich von Thünen-Institut, Institut für Holztechnologie und Holzbiologie: Hamburg, 304 Seiten
<http://www.holzundklima.de/projekte/oekobilanzen-holz/docs/Rueter-Diederichs_2012_OekoHolzBauDat.pdf> Abruf am 13.03.2013
- SCHARAI-RAD, M., WELLING, J. (2002) - Environmental and energy balances of wood products and substitutes. University of Hamburg and Federal Research Centre for Forestry and Forest Products. Food and Agriculture Organization of the United Nations: Rome, 63 Seiten
<<http://www.fao.org/docrep/004/Y3609E/y3609e00.htm#TopOfPage>>
- STBA (2010) - Ausgewählte Zahlen für die Bauwirtschaft, 07/2010, Statistisches Bundesamt Wiesbaden 2010. *Ausgewählte Zahlen für die Bauwirtschaft, 07/2010, Statistisches Bundesamt Wiesbaden 2010*
- STBA (2013) - Bautätigkeit und Wohnungen. Statistisches Bundesamt: Wiesbaden, 135 Seiten
- TAKANO, O., HAFNER, A., LINKOSALMI, L., OTT, S., HUGHES, M., WINTER, S. (2015) - Life cycle assessment of wood construction according to the normative standards. *European Journal of Wood and Wood Products*, Seiten 299-312
- WENKER, J. L., ACHENBACH, H., DIEDERICH, S., RÜTER, S. (2015) - Life cycle assessment of wooden interior doors in Germany - A sector representative approach for a complex wooden product according to EN 15804 methodology. *Journal of Industrial Ecology*, DOI:10.1111/jiec.12296
- WoFLV (2003) - Verordnung zur Berechnung der Wohnfläche (Wohnflächenverordnung - WoFlV) - Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz. *Verordnung zur Berechnung der Wohnfläche (Wohnflächenverordnung - WoFlV) - Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz.*
- XING, S., XU, Z., JUN, G. (2008) - Inventory analysis of LCA on steel- and concrete-constructionoffice buildings. *Energy and Buildings*, 40, Seiten 1188-1193

Internetquellen

BDF: <http://www.fertigbau.de/bdf/unsere-branch/index.html>; Zugriff 19.11.2014

Anhang: Kritische Prüfung (Critical Review)

Die nachfolgenden Seiten beinhalten den Bericht des unabhängigen Experten, der die kritische Prüfung der vorliegenden Studie „Ökobilanzdaten für die Erstellung von Häusern in Holzbauweise“ durchgeführt hat.

Dieser bestätigt, dass die Studie entsprechend der Norm DIN EN ISO 14040 und 14044 durchgeführt wurde.

Dr. Frank Werner

Umwelt & Entwicklung

Idaplatz 3

CH-8003 Zürich

Tel.: ++41-(0)44-241 39 06

e-mail: frank@frankwerner.ch

Kritische Prüfung nach ISO 14040/44 der Studie

Ökobilanz-Daten für die Erstellung von Fertighäusern in Holzbauweise

(Version vom 8. Dezember 2015)

Erstellt durch das Thünen-Institut für Holzforschung

Unabhängiger Prüfer:

Frank Werner, Dr. sc. nat., Werner Umwelt & Entwicklung, Zürich

Grundlagen und Gegenstand der Kritischen Prüfung

Diese Kritische Prüfung prüft die Ökobilanz des Berichtes „Ökobilanz-Daten für die Erstellung von Fertighäusern in Holzbauweise (8. Dezember 2015)“ auf ihre Übereinstimmung mit der für die Durchführung und Dokumentation von Ökobilanzen relevanten Norm ISO EN DIN 14044:2006.

Der Bericht macht direkt keine vergleichenden Aussagen. Deshalb wurde die Kritische Prüfung gemäss ISO EN DIN 14044:2006, Absatz 6.2 durch einen unabhängigen externen Experten durchgeführt.

Während des Prozesses der Kritischen Prüfung wurden verschiedene Änderungen im Abschlussbericht und in der Modellierung der Ökobilanzen vorgenommen, die auf Entwürfen dieses Prüfberichtes beruhen.

Für methodische Vorgaben folgt die Ökobilanzierung den Spezifizierungen der ISO EN DIN 14044:2006 in der für die Ökobilanzierung von Bauprodukten im Rahmen der Erstellung von Umweltproduktdeklarationen massgebenden DIN EN 15804:2012+A1:2013. Die Übereinstimmung der Setzungen der DIN EN 15804: 2012+A1:2013 mit ISO EN DIN 14044:2006 ist nicht Gegenstand dieser Kritischen Prüfung; sie wird im Rahmen der ISO/EN Normierung vorausgesetzt.

Die Kritische Prüfung wurde ausschliesslich basierend auf dem vorgelegten Forschungsbericht durchgeführt. Im Rahmen dieser Kritischen Prüfung fand somit keine direkte Überprüfung der Firmendaten,

deren Aggregation und Gewichtung zu Durchschnittssatzen und auch keine direkte numerische Überprüfung der Modellierung der Ökobilanz in der verwendeten Ökobilanzsoftware statt.

Die Kritische Prüfung ist im Prüfprotokoll im Anhang zu diesem Bericht im Detail dokumentiert.

Ziel der Kritischen Prüfung

Durch die Kritische Prüfung soll sichergestellt werden dass:

- die in der Ökobilanz verwendeten Methoden in Übereinstimmung mit DIN EN 15804:2012+A1:2013¹ sind,
- die in der Ökobilanz verwendeten Methoden wissenschaftlich und technisch gültig sind,
- die verwendeten Daten angemessen sind in Bezug auf das Ziel der Studie,
- die Interpretation der Studie die identifizierten Einschränkungen und das Ziel der Studie berücksichtigt, und
- der Bericht nachvollziehbar und transparent ist entsprechend ISO EN DIN 14044:2006, Absatz 5, bzw. DIN EN 15804:2012+A1:2013, Absatz 8.

Ergebnis der Kritischen Prüfung

Im Folgenden ist das Ergebnis der Kritischen Prüfung zusammengefasst:

Generell:

- Der Forschungsbericht dokumentiert bei hoher Repräsentativität und in grosser Detailtiefe, in der Darstellung der Sachbilanzierung aber sehr summarisch, die methodischen Grundlagen für die Datenerhebung und Auswertung, die Sachbilanzierung, die Berechnung der Umweltindikatoren sowie deren Interpretation für die Ökobilanzen zweier Bauweisen von Fertighäusern in Holz sowie für entsprechend 2 x 4 Bauelementen Aussenwand, Innenwand, Dachelement und Deckenelement mit Bezugsraum Deutschland.
- Im Bericht werden die vier Kernelemente einer Ökobilanz – Festlegung des Ziels und des Rahmens, Sachbilanz, Wirkungsabschätzung und Interpretation – klar unterschieden. Die Studie folgt somit der Struktur der massgebenden Norm ISO EN DIN 14044:2006 und ermöglicht eine einfache Prüfung der Übereinstimmung der Studie mit der Norm.

Ziel und Rahmen der Studie

- Ziel der Studie und Zielpublikum sind klar genannt.
- Die Studie berechnet die Indikatoren der Sach- und Wirkungsbilanz nach der Norm EN 15804:2012+A1:2013 als Grundlage für deren späterer Verwendung in der Gebäudebewertung. Als funktionale Einheiten werden 1 Fertighaus bzw. 1 m² der untersuchten Bauelemente gewählt.

¹ dies bedeutet nicht zwingend die Übereinstimmung mit sich auf EN 15804 beziehenden Normen von Produkt TCs, namentlich der DIN EN 16485:2014-07, Rund- und Schnittholz - Umweltproduktdeklarationen - Produktkategorieregeln für Holz und Holzwerkstoffe im Bauwesen; Deutsche Fassung EN 16485:2014

- Die Systemgrenze der untersuchten Produktsysteme sowie deren Strukturierung sind transparent dargestellt. Sie folgen dem modularen Aufbau der Norm DIN EN 15804:2012+A1:2013.

Sachbilanz

- Die in den jeweiligen Modulen des Lebenszyklus berücksichtigten Prozesse sind umfassend beschrieben.
- Die summarisch dargestellten Material- und Energiebilanzen lassen keine detaillierte Überprüfung und Plausibilisierung der Resultate der Ökobilanz in Bezug auf die Material- und Energiebilanzen zu. Somit konzentriert sich die kritische Prüfung auf methodische Aspekte der Arbeit
- Die Daten für die Herstellung der Fertighäuser bzw. Bauelementen basieren auf umfangreichen Fragebogen-gestützten Werkserhebungen. Die Berechnungen von z.B. den VOC-Emissionen aus der Herstellung oder auch die Szenarienbildung für die Betrachtung des End-of-life sind auf Literaturquellen abgestützt. Zur Modellierung der gesamten Ökobilanz wurde die international anerkannte Software GABI mit den in ihr enthaltenen Datensätzen verwendet.
- Bei Allokationsproblemen aus Multi-output Prozessen oder aus dem Recycling oder der thermischen Verwertung werden die Vorgaben der Norm EN 15804:2012+A1:2013 befolgt.
- Biogenes CO₂ wird als materialinhärente Eigenschaft als Teil des Treibhausgaspotenzials bilanziert, wobei der biogene Kohlenstoff der energetisch eingesetzten Holzfraktionen sowie alle Aufwendungen für deren Bereitstellung in dem Modul verrechnet wurde, in dem der Brennstoff eingesetzt wird, dies unabhängig davon, in welchem Modul, das Holz real in das Produktsystem eingebracht wurde.
- Als Indikatoren der Sachbilanz werden die von der Norm EN 15804:2012+A1:2013 vorgegebenen Indikatoren ausgewiesen.
- Die bilanzierten Mengen der einzelnen Materialien und Prozesse sind – soweit über Plausibilitätsüberlegungen vergleichbar – für beide Fertighäuser und alle Bauelemente plausibel, einerseits bei Vergleichen innerhalb eines Produktes, andererseits im Vergleich der Produkte untereinander.

Wirkungsabschätzung

- Die gewählten Indikatoren für die Wirkungsabschätzung entsprechen denjenigen der Norm EN 15804:2012+A1:2013, sind somit wissenschaftlich international anerkannt und in Übereinstimmung mit der Zielsetzung und dem Rahmen der Studie.
- Die Beiträge der einzelnen Materialien und Prozesse zu den einzelnen Indikatoren sind – soweit über Plausibilitätsüberlegungen vergleichbar – für beide Fertighäuser und alle Bauelemente plausibel, einerseits bei Vergleichen innerhalb eines Produktes, andererseits im Vergleich der Produkte untereinander.

Interpretation

- Die Interpretation fasst die Schlussfolgerungen plausibel und transparent sowohl bezogen auf die Daten wie auf die angewendete Methoden zusammen.
- Eine Beurteilung der Datenqualität ist dokumentiert; die Datenqualität kann im Rahmen der Zielsetzung und des Rahmens der Ökobilanz als gut bezeichnet werden.

Schlussfolgerung aus der Kritischen Prüfung

Basierend auf den Ergebnissen dieser Kritischen Prüfung bestätige ich, dass ich im Bericht „Ökobilanz-Daten für die Erstellung von Fertighäusern in Holzbauweise (8. Dezember 2015)“ weder betreffend die Durchführung noch betreffend die Dokumentation der Ökobilanzen Abweichungen von der für Ökobilanzen massgebenden Norm ISO EN DIN 14044:2006 bzw. DIN EN 15804:2012+A1:2013 gefunden habe.

Zürich, den 14. Dezember 2015



Dr. Frank Werner

Zugrunde liegende Normen:

- ISO EN DIN 14044:2006-11, Umweltmanagement – Ökobilanz – Anforderungen und Anleitungen (ISO 14044:2006); Deutsche und Englische Fassung EN ISO 14044:2006
- DIN EN 15804:2012+A1:2013, Nachhaltigkeit von Bauwerken – Umweltproduktdeklarationen – Grundregeln für die Produktkategorie Bauprodukte; Deutsche Fassung EN 15804:2012+A1:2013
- DIN EN 15804:2012-10, Nachhaltigkeit von Bauwerken – Bewertung der umweltbezogenen Qualität von Gebäuden – Berechnungsmethode; Deutsche Fassung EN 15978:2011

Review protocol for life cycle assessments according to ISO 14044

Quotation of the LCA study: **Ökobilanz-Daten für die Erstellung von Fertighäusern in Holzbauweise (Dezember 2015)**

Version of the study report: **Bericht vom 8. Dezember 2015**

Reviewer: **Dr. Frank Werner, Umwelt & Entwicklung, Zürich**

Date of the review: **14. Dezember 2015**

	Compliance with the methodological requirements of ISO 14044 (according to Clause 4)	Compliance with the documentation requirements of ISO 14044 (according to Clause 5)
I. GENERAL REQUIREMENTS AND CONSIDERATIONS (Clause 5.1)		
Type and format of the report (Clause 5.1.1)		
The results and conclusions of the LCA shall be completely and accurately reported without bias to the intended audience.	-	✓
The results, data, methods, assumptions and limitations shall be transparent and presented in sufficient detail to allow the reader to comprehend the complexities and trade-offs inherent in the LCA.	-	✓
The report shall also allow the results and interpretation to be used in a manner consistent with the goals of the study.	-	✓
The following items should be considered when preparing third-party reports (Clause 5.1.2)		
a) modifications to the initial scope together with their justification;	-	✓
b) system boundary, including	-	✓
- type of inputs and outputs of the system as elementary flows,	-	✓
- decision criteria;	-	✓
c) description of the unit processes, including	-	✓
- decision about allocation;	-	✓
d) data, including	-	✓
- decision about data,	-	✓
- details about individual data, and	-	✓
- data quality requirements;	-	✓

	Compliance with the methodological requirements of ISO 14044 (according to Clause 4)	Compliance with the documentation requirements of ISO 14044 (according to Clause 5)
e) choice of impact categories and category indicators.	-	✓
II. REQUIREMENTS AND GUIDANCE FOR THIRD-PARTY REPORTS (Clause 5.2)		
a) General aspects:		
1) LCA commissioner, practitioner of LCA (internal or external);	-	✓
2) date of report;	-	✓
3) statement that the study has been conducted according to the requirements of this International Standard.	-	✓
b) Goal of the study:		
1) reasons for carrying out the study;	-	✓
2) its intended applications;	-	✓
3) the target audiences;	-	✓
4) statement as to whether the study intends to support comparative assertions intended to be disclosed to the public.	-	✓
c) Scope of the study:		
1) function, including	-	-
i) statement of performance characteristics, and	-	✓
ii) any omission of additional functions in comparisons;	-	✓
2) functional unit, including	-	-
i) consistency with goal and scope,	✓	✓
ii) definition,	✓	✓
iii) result of performance measurement;	-	✓ (Generische Produkte)
3) system boundary, including	Modulare Systemgrenze nach EN 15804; es werden betrachtet: Module A1-A3, Module A4 und A5 sowie Modul D (für Outputs aus Modul A5); ✓	✓

		Compliance with the methodological requirements of ISO 14044 (according to Clause 4)	Compliance with the documentation requirements of ISO 14044 (according to Clause 5)
	i) omissions of life cycle stages, processes or data needs,	die Nutzungsphase (B1-B7) sowie der Rückbau und End-of-life C1-C4 sowie die Lasten und Gutschriften aus dem End-of-life des Gebäudes werden nicht betrachtet; ✓	i.o.
	ii) quantification of energy and material inputs and outputs, and	Biogenes C und Heizwert sind als materialinhärente Eigenschaften gemäss EN 15804 aber abweichend von EN 16485 berücksichtigt; Massen- und Energiebilanzen sind entsprechend dem Rahmen der Studie konsistent erhoben; ✓	✓
	iii) assumptions about electricity production;	Standortspezifischer Mix; ✓	✓
4) cut-off criteria for initial inclusion of inputs and output, including		-	-
	i) description of cut-off criteria and assumptions,	Cut-off Kriterien nach EN 15804; ✓	✓
	ii) effect of selection on results,	✓	✓
	iii) inclusion of mass, energy and environmental cut-off criteria.	✓	✓
d) Life cycle inventory analysis:			
	1) data collection procedures;	Fragebogen gestützte Erhebung bei einer grossen Auswahl an Herstellern von Fertighäusern in Holzbauweise; ✓	✓
	2) qualitative and quantitative description of unit processes;	Prozessbeschreibung, Zusammenstellung der In- und Outputs; ✓	✓
	3) sources of published literature;	✓	✓
	4) calculation procedures;	Die Auswertung der Fragebögen aus der Firmenbefragung konnte im Rahmen dieses Reviews nicht überprüft werden. Die Ökobilanz wurde mit Hilfe der GABI-Software gerechnet; die Umsetzung der Sachbilanzdaten in die Ökobilanzsoftware konnte im Rahmen dieses Reviews nicht überprüft werden; ✓	✓
	5) validation of data, including	-	-

		Compliance with the methodological requirements of ISO 14044 (according to Clause 4)	Compliance with the documentation requirements of ISO 14044 (according to Clause 5)
	i) data quality assessment, and	Umfassende Datenerfassung, Konsistenz der neu erhobenen Daten mit den verwendeten Hintergrunddaten; ✓	✓
	ii) treatment of missing data;	VOC-Emissionen aus der Verklebung wurden über Literaturdaten und Plausibilitätsüberlegungen abgeschätzt; ✓	✓
6) sensitivity analysis for refining the system boundary;		Nicht notwendig; ✓	✓
7) allocation principles and procedures, including		-	-
	i) documentation and justification of allocation procedures, and	Die Allokation der Werksdaten auf die einzelnen Fertighaustypen und Bauteile eines Werkes ist nicht dokumentiert und konnte im Rahmen dieses Reviews nicht überprüft werden; Co-Produktallokation sowie Allokationen zu Recycling und Energierückgewinnung folgen den Vorgaben von EN 15804; ✓	✓
	ii) uniform application of allocation procedures.	Keine Abweichungen festgestellt; ✓	✓
e) Life cycle impact assessment, where applicable:			
1) the LCIA procedures, calculations and results of the study;		Aggregierte Sachbilanzindikatoren und die Indikatoren der Wirkungsabschätzung entsprechen den vorgegebenen Indikatoren in EN 15804; Die Werte der Indikatoren sind - soweit über Plausibilitätsüberlegungen vergleichbar - für beide Fertighaustypen bzw. die Bauelemente plausibel, einerseits bei Vergleichen innerhalb eines Produktes, andererseits im Vergleich der Produkte untereinander; ✓	✓
2) limitations of the LCIA results relative to the defined goal and scope of the LCA;		keine; ✓	✓
3) the relationship of LCIA results to the defined goal and scope, see 4.2;		Stimmig, da nach EN 15804 vorgegeben; ✓	✓
4) the relationship of the LCIA results to the LCI results, see 4.4;		Stimmig, da nach EN 15804 vorgegeben; ✓	✓

	Compliance with the methodological requirements of ISO 14044 (according to Clause 4)	Compliance with the documentation requirements of ISO 14044 (according to Clause 5)
5) impact categories and category indicators considered, including a rationale for their selection and a reference to their source;	In Übereinstimmung mit EN 15804; ✓	✓
6) descriptions of or reference to all characterization models, characterization factors and methods used, including all assumptions and limitations;	Bezug auf EN 15804; ✓	✓
7) descriptions of or reference to all value-choices used in relation to impact categories, characterization models, characterization factors, normalization, grouping, weighting and, elsewhere in the LCIA, a justification for their use and their influence on the results, conclusions and recommendations;	Bezug auf EN 15804; ✓	✓
8) a statement that the LCIA results are relative expressions and do not predict impacts on category endpoints, the exceeding of thresholds, safety margins or risks.	-	✓
and, when included as a part of the LCA, also:	-	-
i) a description and justification of the definition and description of any new impact categories, category indicators or characterization models used for the LCIA,	-	-
ii) a statement and justification of any grouping of the impact categories,	-	-
iii) any further procedures that transform the indicator results and a justification of the selected references, weighting factors, etc.,	-	-
iv) any analysis of the indicator results, for example sensitivity and uncertainty analysis or the use of environmental data, including any implication for the results, and	-	-
v) data and indicator results reached prior to any normalization, grouping or weighting shall be made available together with the normalized, grouped or weighted results.	-	-
f) Life cycle interpretation:		
1) the results;	-	✓
2) assumptions and limitations associated with the interpretation of results, both methodology and data related;	-	✓
3) data quality assessment;	-	✓
4) full transparency in terms of value-choices, rationales and expert judgements.	-	✓
g) Critical review, where applicable:		
1) name and affiliation of reviewers;	-	✓
2) critical review reports;	-	Vorgesehen

	Compliance with the methodological requirements of ISO 14044 (according to Clause 4)	Compliance with the documentation requirements of ISO 14044 (according to Clause 5)
3) responses to recommendations.	-	√
III. FOR LCA STUDIES SUPPORTING COMPARATIVE ASSERTIONS INTENDED TO BE DISCLOSED TO THE PUBLIC (Clause 5.3)		
For LCA studies supporting comparative assertions intended to be disclosed to the public, the following issues shall be addressed (Clause 5.3.1):		
a) analysis of material and energy flows to justify their inclusion or exclusion;	√	√
b) assessment of the precision, completeness and representativeness of data used;	√	√
c) description of the equivalence of the systems being compared in accordance with 4.2.3.7;	Nicht anwendbar, da kein direkter Vergleich in Studie vorgesehen; √	-
d) description of the critical review process;	-	√
e) an evaluation of the completeness of the LCIA;	-	√
e') result of the final sensitivity analysis of the inputs and outputs data, including mass, energy and environmental significance criteria, so that inputs that cumulatively contribute more than a defined amount to the total are included in the study	Aufgrund von Vorstudien hinfällig; √	√
f) a statement as to whether or not international acceptance exists for the selected category indicators and a justification for their use;	Hinfällig, da Bezug auf EN 15804; √	√
g) an explanation for the scientific and technical validity and environmental relevance of the category indicators used in the study;	Hinfällig, da Bezug auf EN 15804; √	-
h) the results of the uncertainty and sensitivity analyses;	Hinfällig, da Bezug auf EN 15804; √	-
i) evaluation of the significance of the differences found.	Hinfällig, da Bezug auf EN 15804; √	-
If grouping is included in the LCA, add the following (Clause 5.3.2):		
a) the procedures and results used for grouping;	-	-
b) a statement that conclusions and recommendations derived from grouping are based on value-choices;	-	-
c) a justification of the criteria used for normalization and grouping (these can be personal, organizational or national value-choices);	-	-
d) the statement that "ISO 14044 does not specify any specific methodology or support the underlying value-choices used to group the impact categories";	-	-
e) the statement that "The value-choices and judgments within the grouping procedures are the sole responsibilities of the commissioner of the study (e.g. government, community, organization, etc.)".	-	-

	Compliance with the methodological requirements of ISO 14044 (according to Clause 4)	Compliance with the documentation requirements of ISO 14044 (according to Clause 5)
SUMMARY FINDINGS (Clause 6.1):		
The methods used to carry out the LCA are consistent with this International Standard,	√	-
The methods used to carry out the LCA are scientifically and technically valid,	√	-
The data used are appropriate and reasonable in relation to the goal of the study,	√	-
The interpretations reflect the limitations identified and the goal of the study, and	√	-
The study report is transparent and consistent.	-	√

Thünen Report

Bereits in dieser Reihe erschienene Hefte – *Volumes already published in this series*

1 - 19	siehe http://www.thuenen.de/de/infothek/publikationen/thuenen-report/
20	Gerald Rahmann und Uygun Aksoy (Eds.) Building Organic Bridges – Volume 1: Argentina – France Building Organic Bridges – Volume 2: Germany – India Building Organic Bridges – Volume 3: Indonesia – Sri Lanka Building Organic Bridges – Volume 4: Sweden – Viet Nam
21	Claudia Heidecke, Ulrike Hirt, Peter Kreins, Petra Kuhr, Ralf Kunkel, Judith Mahnkopf, Michael Schott, Björn Tetzlaff, Markus Venohr, Andrea Wagner und Frank Wendland Endbericht zum Forschungsprojekt „ Entwicklung eines Instrumentes für ein flussgebietsweites Nährstoffmanagement in der Flussgebietseinheit Weser “ AGRUM⁺-Weser
22	Walter Dirksmeyer, Ludwig Theuvsen und Maike Kayser (Hrsg.) Aktuelle Forschung in der Gartenbauökonomie – Tagungsband zum 1. Symposium für Ökonomie im Gartenbau
23	Karsten Mohr, Jerzy Suda, Hans Kros, Christian Brümmer, Werner L. Kutsch, Miriam Hurkuck, Elisabeth Woesner, Wim Wesseling Atmosphärische Stickstoffeinträge in Hochmoore Nordwestdeutschlands und Möglichkeiten ihrer Reduzierung – eine Fallstudie aus einer landwirtschaftlich intensiv genutzten Region
24	Raphael Albrecht Ein Ansatz zur Abschätzung der interregionalen Wettbewerbsfähigkeit der Zuckerrübenproduktion – am Beispiel ausgewählter europäischer Regionen
25	Ute Petersen, Hans-Joachim Weigel Klimaresilienz durch Agrobiodiversität? Literaturstudie zum Zusammenhang zwischen Elementen der Agrobiodiversität und der Empfindlichkeit von landwirtschaftlichen Produktionssystemen gegenüber dem Klimawandel
26	Mirko Liesebach (Hrsg.) FastWOOD II: Züchtung schnellwachsender Baumarten für die Produktion nachwachsender Rohstoffe im Kurzumtrieb – Erkenntnisse aus 6 Jahren FastWOOD
27	Claus Rösemann, Hans-Dieter Haenel, Ulrich Dämmgen, Annette Freibauer, Sebastian Wulf, Brigitte Eurich-Menden, Helmut Döhler, Carsten Schreiner, Beate Bauer, Bernhard Osterburg Calculations of gaseous and particulate emissions from German agriculture 1990 - 2013 Berechnung von gas- und partikelförmigen Emissionen aus der deutschen Landwirtschaft 1990 – 2013
28	Martin T. Bohl, Hervé Ott und Ernst-Oliver von Ledebur Kurzfristige Dynamik von Preisbildungsprozessen deutscher Agrarrohstoffe - Abschlussbericht im Auftrag der Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung für das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft
29	Kurt-Jürgen Hülsbergen, Gerald Rahmann (Hrsg.) Klimawirkungen und Nachhaltigkeit ökologischer und konventioneller Betriebssysteme – Untersuchungen in einem Netzwerk von Pilotbetrieben , Forschungsergebnisse 2013-2014



- 30** Horst Gömann, Andrea Bender, Andreas Bolte, Walter Dirksmeyer, Hermann Englert, Jan-Henning Feil, Cathleen Frühauf, Marlen Hauschild, Sandra Krengel, Holger Lilienthal, Franz-Josef Löpmeier, Jürgen Müller, Oliver Mußhoff, Marco Natkhin, Frank Offermann, Petra Seidel, Matthias Schmidt, Björn Seintsch, Jörg Steidl, Kathrin Strohm, Yelto Zimmer
Agrarrelevante Extremwetterlagen und Möglichkeiten von Risikomanagementsystemen, Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL)
- 31** Jan L. Wenker und Sebastian Rüter
Ökobilanz-Daten für holzbasierte Möbel
- 32** **Ländliche Lebensverhältnisse im Wandel 1952, 1972, 1993, 2012**
Luisa Vogt, Ralf Biernatzki, Michael Kriszan und Wolf Lorleberg
Volume 1 – Dörfer als Wohnstandorte
Simone Helmle und Carmen Kuczera
Volume 2 – Typisch ist das vermeintlich Untypische: Alltag von Dorfbewohnern
Andreas Keil, Charlotte Röhner, Ina Jeske, Michael Godau, Stefan Padberg, Jennifer Müller, Nur Seyfi und Mira Schraven
Volume 3 – Kindheit im Wandel
Stephan Beetz unter Mitarbeit von Alexander Voigt, Anna-Clara Gasch und Sarah Rodriguez-Abello
Volume 4 – Soziale Unterstützungsstrukturen im Wandel
Michaela Evers-Wölk, Britta Oertel, Sie Liong Thio, Carolin Kahlisch und Matthias Sonk
Volume 5 – Neue Medien und dörflicher Wandel
- 33** Anja-Kristina Techen, Elke Ries, Annett Steinführer
Evaluierung der Gewässerschutzberatung in Hessen im Kontext der EU-Wasserrahmenrichtlinie: Auswirkungen auf Wissen und Handeln von Landwirten
- 34** Jan T. Benthien, Sabrina Heldner, Martin Ohlmeyer, Christian Bähnisch, Jörg Hasener, Clemens Seidl, Alfred Pfemeter, Christian Kathmann
Untersuchung der Faserqualität von TMP für die MDF-Produktion – Abschlussbericht zum FNR-Vorhaben „Fiber-Impact“ (FKZ: 22013211)
- 35** Andreas Tietz
Überregional aktive Kapitaleigentümer in ostdeutschen Agrarunternehmen: Bestandsaufnahme und Entwicklung
- 36** Nicole Wellbrock, Erik Grüneberg, Daniel Ziche, Nadine Eickenscheidt, Marieanna Holzhausen, Juliane Höhle, Rainer Gemballa, Henning Andreae
Entwicklung einer Methodik zur stichprobengestützten Erfassung und Regionalisierung von Zustandseigenschaften der Waldstandorte
- 37** Andrea Ackermann, Claudia Heidecke, Ulrike Hirt, Peter Kreins, Petra Kuhr, Ralf Kunkel, Judith Mahnkopf, Michael Schott, Björn Tetzlaff, Markus Venohr und Frank Wendland
Der Modellverbund AGRUM als Instrument zum landesweiten Nährstoffmanagement in Niedersachsen
- 38** Hermann Achenbach und Sebastian Rüter
Ökobilanz-Daten für die Erstellung von Fertighäusern in Holzbauweise



THÜNEN

Thünen Report 38

Herausgeber/Redaktionsanschrift

Johann Heinrich von Thünen-Institut

Bundesallee 50

38116 Braunschweig

Germany

www.thuenen.de

