

# ARBEITSBERICHT

aus dem Institut für Holztechnologie und Holzbiologie

Nr. 2012/1

## Ökobilanz-Basisdaten für Bauprodukte aus Holz

Sebastian Rüter, Stefan Diederichs



Zentrum Holzwirtschaft

Universität Hamburg



# Ökobilanz-Basisdaten für Bauprodukte aus Holz

## Abschlussbericht

<b>Gefördert durch:</b>	Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV)
<b>Projektträger:</b>	Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR)
<b>Förderkennzeichen:</b>	22028808
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b>	01.08.2009 – 31.10.2011
<b>Projektleitung:</b>	Dipl.-Ing. Silv. Univ. Sebastian Rüter sebastian.rueter@vti.bund.de +49 40 73962-619
<b>Projektbearbeitung:</b>	Dipl.-Ing. (FH) Stefan Diederichs
<b>In Kooperation mit:</b>	Deutscher Holzwirtschaftsrat e.V. (DHWR) Bundesverband Säge- und Holzindustrie Deutschland (BSHD) Studiengemeinschaft Holzleimbau e.V. (BS-Holz) Überwachungsgemeinschaft Konstruktionsvollholz e.V. Verband der Deutschen Holzwerkstoffindustrie e. V. (VHI) Verband der Deutschen Parkettindustrie e.V. (vdp) Verband der Deutschen Säge- und Holzindustrie e.V. (vds)
<b>Critical Review:</b>	Dr. Frank Werner Umwelt & Entwicklung, Idaplatz 3, 8003 Zürich, Schweiz



## **Kurzfassung**

Die Nachhaltigkeitsbewertung von Gebäuden gewinnt in den letzten Jahren immer mehr an Bedeutung. Dies spiegelt sich in der Entwicklung von Normen und umfassenden Gebäudezertifizierungssystemen in diesem Bereich wider, die für eine Bewertung auf die Bereitstellung von Umweltinformationen über die eingesetzten Baustoffe setzen. Zugleich stellt der Bausektor den mit Abstand größten Absatzmarkt für Holzprodukte dar. Aufgrund der Produktvielfalt und der oft mittelständisch geprägten Struktur, speziell der Sägeindustrie, stellt es für den Sektor jedoch eine Herausforderung dar die benötigten Umweltkennwerte zur Verfügung zu stellen. Daher wurden im Rahmen dieser Forschungsarbeit umfassende Ökobilanzdatensätze für Bauprodukte aus Holz erstellt, die den neuesten normativen Anforderungen für eine Verwendung im Bereich des Nachhaltigen Bauens genügen. In enger Zusammenarbeit mit den Verbänden und den Unternehmen der deutschen Holzindustrie wurden Sachbilanzdaten für 19 Vollholz- und Holzwerkstoffproduktgruppen erfasst und ihre Ökobilanzierung nach DIN EN ISO 14040 berechnet. Die durch ein unabhängiges kritisches Gutachten verifizierten Datensätze erfüllen die methodischen und qualitativen Anforderungen nach EN 15804:2012 und können in Umweltproduktdeklarationen für Holzprodukte von den beteiligten Unternehmen und Verbänden verwendet werden. Bereits während der Projektlaufzeit konnten entsprechende Dokumente in Zusammenarbeit mit der Holzindustrie erstellt werden. Die ermittelten Daten repräsentieren produktionsmengengewichtete Durchschnittswerte der an der Untersuchung beteiligten Unternehmen und können in öffentlichen Datenbanken im Bereich des nachhaltigen Bauens in den geforderten Formaten für Deutschland zur Verfügung gestellt werden. Der vorliegende Bericht erfüllt außerdem den gebotenen Anspruch an eine transparente und umfassende Dokumentation solcher Datensätze und dient als Hintergrundbericht der Verifizierung der angewandten Methodik.

## **Abstract**

The sustainability assessment of buildings has been increasingly gaining importance in recent years. This is reflected in the development of comprehensive building certification schemes and standards in this field, the assessment of which is based on the provision of environmental information about the building materials used. At the same time, the construction sector is by far the largest market for wood products. Due to the variety of products and the frequent small and medium-sized enterprise (SME) character, especially within the sawmill industry, the provision of necessary environmental data presents a challenge for the woodworking industry. Therefore, comprehensive life cycle assessment (LCA) datasets were generated within the framework of this research, for building products made from wood, which meet the latest standard requirements for use in the field of sustainable construction. In close cooperation with organizations and companies in the German woodworking industry, the life cycle inventory data for 19 solid wood and engineered wood product categories were recorded and their life cycle impact was assessed according to DIN EN ISO 14040. The datasets - verified by an independent critical review, meet the methodological and qualitative requirements of EN 15804:2012 and can be used in environmental product declarations for wood products by the participating com-

panies and associations. Relevant documents could already be generated in collaboration with the wood working industry during the duration of the project. The generated datasets represent the mean values of the participating companies, weighted according to their production quantities, and can be made available in the required formats in public databases for sustainable construction in Germany. This report also fulfils the necessary demand for a transparent and comprehensive documentation of such records and serves as a background report for the verification of the applied methodology.

# Inhalt

<b>1</b>	<b>PROJEKTDARSTELLUNG .....</b>	<b>9</b>
1.1	HINTERGRUND .....	9
1.1.1	Nachhaltiges Bauen .....	9
1.1.2	Holzverwendung im Bausektor .....	11
1.2	ZIEL DES PROJEKTES .....	14
1.2.1	Aufbau einer vTI – Ökobilanz-Datenbank .....	15
1.2.2	Verwendung der Daten in öffentlichen Datenbanken .....	15
1.2.3	Umweltproduktdeklarationen für die beteiligten Unternehmen .....	16
1.3	BESCHREIBUNG DES WISSENSCHAFTLICH-TECHNISCHEN STANDES .....	16
1.3.1	Identifizierung der relevanten Bauprodukte aus Holz .....	17
1.3.2	Vorhandene Literatur zu Ökobilanzen von Holzprodukten .....	19
1.3.3	Umweltproduktdeklarationen .....	23
1.3.4	Datensätze in öffentlichen Datenbanken .....	25
1.4	ABLEITUNG DES HANDLUNGSBEDARFS .....	26
1.5	ZUSAMMENARBEIT MIT DER DEUTSCHEN HOLZINDUSTRIE .....	27
<b>2</b>	<b>METHODIK UND VORGEHENSWEISE .....</b>	<b>31</b>
2.1	ÖKOBILANZIERUNG NACH DIN EN 14040/44 .....	31
2.2	WEITERE ANFORDERUNGEN AN ÖKOBILANZDATEN .....	33
2.2.1	Definition der Systemgrenzen und des Produktsystems .....	34
2.2.1.1	<i>Einteilung in Lebensabschnitte bzw. Module nach EN 15804 .....</i>	<i>34</i>
2.2.1.2	<i>Definition des Produktsystems nach ILCD Handbuch der EU-Kommission .....</i>	<i>36</i>
2.2.2	Allokation und Systemraumerweiterung .....	37
2.2.2.1	<i>Allokation und Systemraumerweiterung nach EN 15804 .....</i>	<i>38</i>
2.2.2.2	<i>Allokation und Systemraumerweiterung nach ILCD Handbuch .....</i>	<i>39</i>
2.2.3	Indikatoren der Umweltbewertung .....	40
2.3	ABLAUFPLANUNG .....	42
2.4	ERSTELLUNG DER SACHBILANZEN .....	44
2.4.1	Erhebung von Primärdaten mittels Fragebögen .....	45
2.4.2	Zuordnung der erhobenen Werksdaten zu den deklarierten Produkten .....	47
2.4.2.1	<i>Prozessspezifische Aufwendungen .....</i>	<i>48</i>

2.4.2.2	<i>Produktspezifische Aufwendungen</i> .....	49
2.4.2.3	<i>Infrastrukturelle Aufwendungen</i> .....	49
2.5	<b>MODELLIERUNG UND BERECHNUNG DER ÖKOBILANZEN</b> .....	50
2.5.1	<b>Systemgrenzen der Holzproduktsysteme und ihre Einteilung in Module</b> .....	50
2.5.1.1	<i>Definition der Abfallbehandlung von Holz für die Szenarien (Module C und D)</i> .....	52
2.5.1.2	<i>Die Bereitstellung der Rohstoffe (Modul A1)</i> .....	53
2.5.1.3	<i>Der Transport der Rohstoffe (Modul A2)</i> .....	54
2.5.1.4	<i>Herstellung des Produktes (Modul A3)</i> .....	55
2.5.1.5	<i>Entsorgung der Produkte (Module C2 bis C4)</i> .....	58
2.5.1.6	<i>Bewertung der Verpackung (Modul D)</i> .....	60
2.5.2	<b>Angewandte Allokation und Systemraumerweiterung</b> .....	61
2.5.2.1	<i>Herstellung der Produkte (Module A1 bis A3)</i> .....	61
2.5.2.2	<i>Entsorgung der Produkte (Module C2 bis C4)</i> .....	63
2.5.2.3	<i>Stoffliches Entsorgungsszenario nach EN 15804 (Modul D stofflich)</i> .....	64
2.5.2.4	<i>Energetisches Entsorgungsszenario nach EN 15804 (Modul D energetisch)</i> .....	65
2.5.2.5	<i>Co-Produkt-Allokation der Abfallströme nach ILCD Handbuch</i> .....	65
2.5.2.6	<i>Verwendete Allokationsparameter</i> .....	68
2.5.3	<b>Abschneidekriterien</b> .....	69
2.6	<b>VERWENDETE HINTERGRUNDDATEN</b> .....	71
2.6.1	<b>Identifizierung relevanter Einflussgrößen anhand bestehender Datensätze</b> .....	72
2.6.2	<b>Holzrohstoffe</b> .....	73
2.6.2.1	<i>Primäre Holzrohstoffe</i> .....	73
2.6.2.2	<i>Sonderfall Entrindung im Wald</i> .....	75
2.6.2.3	<i>Transport von Rundholz</i> .....	75
2.6.2.4	<i>Holz aus Nebenprodukten der Holzindustrie und Altholz</i> .....	76
2.6.2.5	<i>Kennwerte der Holzarten</i> .....	77
2.6.3	<b>Strommix Deutschland</b> .....	78
2.6.4	<b>Betriebsmittel</b> .....	79
2.6.5	<b>Bindemittel</b> .....	80
2.6.5.1	<i>Melamin- Harnstoff- und Harnstoff-Formaldehydharze (MUF und UF)</i> .....	80
2.6.5.2	<i>Phenol-Formaldehyd- und Phenol-Resorzin-Formaldehydharze (PF und PRF)</i> .....	82
2.6.5.3	<i>Einkomponentige Polyurethanklebstoffe (1K-PUR)</i> .....	84
2.6.5.4	<i>Emulsion-Polymer-Isocyanat Klebstoffe (EPI)</i> .....	85
2.6.5.5	<i>Polymethylendiisocyanat (PMDI)</i> .....	86
2.6.5.6	<i>Weitere Zusätze</i> .....	86
2.6.6	<b>Emissionen bei der Holz Trocknung und bei Pressvorgängen</b> .....	87
2.6.7	<b>Verbrennung von Holz</b> .....	88

2.6.7.1 Kohlendioxid (CO <sub>2</sub> ).....	90
2.6.7.2 Methan (CH <sub>4</sub> ) .....	91
2.6.7.3 Kohlenmonoxid (CO).....	91
2.6.7.4 Stickstoffoxide (NO <sub>x</sub> ).....	93
2.6.7.5 Schwefeldioxid (SO <sub>2</sub> ).....	95
2.6.7.6 Andere Emissionen und Asche.....	96

### **3 ERGEBNISSE DER ÖKOBILANZBERECHNUNGEN..... 97**

3.1 BESCHREIBUNG DER ERGEBNISDARSTELLUNG.....	97
3.1.1 Produktbeschreibung, Sachbilanz und weitere Informationen .....	98
3.1.2 Ergebnisse der Umweltbewertung .....	99
3.1.2.1 Wirkungsindikatoren, Ressourceneinsatz und Outputflüsse .....	99
3.1.2.2 Normierte Ergebnisse.....	100
3.1.2.3 Ressourceneinsatz.....	101
3.1.2.4 Gespeicherter Kohlenstoff und biogenes CO <sub>2</sub> .....	102
3.1.2.5 Die drei wichtigsten Indikatoren nach Normierung .....	103
3.2 ERGEBNISSE NACH PRODUKTEN .....	105
3.2.1 Frisches Nadelstnitholz.....	105
3.2.2 Kammergetrocknetes Nadelstnitholz.....	115
3.2.3 Kammergetrocknetes Laubstnitholz .....	124
3.2.4 Hobelware .....	133
3.2.5 Konstruktionsvollholz .....	142
3.2.6 Brettschichtholz, Standardträger.....	151
3.2.7 Brettschichtholz, Sonderformen .....	160
3.2.8 Balkenschichtholz .....	169
3.2.9 Brettsperrholz.....	179
3.2.10 Furniersperrholz .....	189
3.2.11 3- und 5-Schicht Massivholzplatten.....	198
3.2.12 Spanplatte, roh.....	207
3.2.13 Spanplatte, melaminbeschichtet.....	216
3.2.14 Spanplatte, Röhrenspanplatte.....	225
3.2.15 Oriented Strand Board (OSB) .....	234
3.2.16 Mitteldichte Faserplatte (MDF) .....	243
3.2.17 Hochdichte Faserplatte (HDF) .....	252
3.2.18 Massivholzparkett.....	261
3.2.19 Mehrschichtparkett .....	270

<b>4</b>	<b>ERGEBNISDISKUSSION</b>	<b>279</b>
4.1	REPRÄSENTATIVITÄT UND QUALITÄT DER ERMITTELTEN DATEN	279
4.1.1	Vollholz	280
4.1.2	Holzwerkstoffe	281
4.1.3	Parkett	282
4.2	EINORDNUNG DER ERGEBNISSE	283
4.3	NUTZEN UND VERWERTBARKEIT DER ERGEBNISSE	284
4.3.1	Erstellung von Umweltproduktdeklarationen für die beteiligten Verbände	285
4.3.2	Verwendung der Ökobilanzergebnisse in öffentlichen Datenbanken	287
4.3.3	Präsentation der Ergebnisse	289
	4.3.3.1 Projekthomepage	289
	4.3.3.2 Vorträge und Veröffentlichungen	290
<b>5</b>	<b>LITERATUR</b>	<b>293</b>
	<b>ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS</b>	<b>300</b>
	<b>ABBILDUNGSVERZEICHNIS</b>	<b>301</b>
	<b>TABELLENVERZEICHNIS</b>	<b>302</b>
	<b>ANHANG: KRITISCHE PRÜFUNG (CRITICAL REVIEW)</b>	<b>304</b>

# 1 Projektdarstellung

Der vorliegende Ergebnisbericht des von der Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe (*FNR*) geförderten Forschungsprojektes *Ökobilanz-Basisdaten für Bauprodukte aus Holz*, kurz *ÖkoHolzBauDat*, beschreibt in diesem Kapitel die für das Zustandekommen der Untersuchung wesentlichen Hintergründe und Entwicklungen. Das formulierte Ziel der Untersuchung wird vorgestellt und der im Rahmen der Projektbearbeitung ermittelte Handlungsbedarf erläutert, der sich aus der Beschreibung des wissenschaftlich-technischen Standes der für die Projektbearbeitung relevanten Punkte ergeben hat.

## 1.1 Hintergrund

Seit Anfang der 1990er Jahre gewannen Umwelt- und Nachhaltigkeitsthemen eine immer größere Bedeutung in Gesellschaft und Politik. Maßgeblich dazu beigetragen hatte die Veröffentlichung des Brundtland-Reports im Jahr 1987, der erstmalig einen Zusammenhang zwischen Themen wie der globalen wirtschaftlichen Entwicklung, Armutsbekämpfung und Umweltzerstörung herstellte, und somit das Leitbild einer nachhaltigen Entwicklung schuf (UN 1987). Ein weiterer Meilenstein war die Verabschiedung der Agenda 21 auf dem Umweltgipfel in Rio de Janeiro im Jahr 1992, bei welchem auch die Gründung des Rahmenübereinkommens der Vereinten Nationen über Klimaänderungen (*UNFCCC*) beschlossen wurde. In der Folge rückten besonders die wachsenden negativen Auswirkungen des zunehmenden Energie- und Ressourcenverbrauchs in das Zentrum der weltweiten öffentlichen Wahrnehmung. Auch in der seit dem Jahr 2002 existierenden Nachhaltigkeitsstrategie für Deutschland werden eine nachhaltige Energiepolitik und ein wirksamer Klimaschutz als zwei der größten globalen Herausforderungen der nächsten Jahrzehnte beschrieben (BUNDESREGIERUNG 2005). Nach Berechnungen der Internationalen Energieagentur (*IEA*) ist neben dem Industrie- und Verkehrssektor vor allem der Gebäudebereich für den Energieverbrauch verantwortlich. Diese schätzte für das Jahr 2005, dass bis zu 40 % der weltweit produzierten Energie in diesem Sektor verbraucht werden. Ebenso hoch ist der globale Beitrag zu den CO<sub>2</sub>-Emissionen, welche direkt und indirekt mit dem Bereich Bauen und Wohnen zusammenhängen. Weiterhin werden in dem Sektor ungefähr 30 % aller Ressourcen ebenso wie 10 % der Landfläche verbraucht, und 30 % des Abfallaufkommens stammen aus dem Bau und der Nutzung von Gebäuden (UNEP 2007). Das Bewusstsein, welche große Rolle der Gebäudesektor für eine zukunftsfähige Entwicklung im Sinne eines schonenderen Umgangs mit den Ressourcen spielt, nahm daher immer weiter zu, so dass das Thema Nachhaltigkeit auch in diesem für die stoffliche Verwendung von Holz so wichtigen Bereich immer weiter an Bedeutung gewinnen konnte.

### 1.1.1 Nachhaltiges Bauen

Die oben genannten Zahlen begründen, weshalb sich weltweit bereits Anfang der 1990er Jahre Initiativen herausbildeten, mit dem Ziel, speziell die Umweltwirkung von Gebäuden ganzheitlich zu erfassen und im Sinne einer Zertifizierung zu bewerten. Da für eine nachhaltige Entwicklung neben den ökologischen Gesichtspunkten auch ökonomische und soziale Aspekte eine Rolle spielen, weitete sich der

Schwerpunkt der Betrachtung mehr und mehr auf alle Aspekte der Nachhaltigkeit aus (COLE, ET AL. 2000). Auch in Deutschland arbeitet das Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) seit einigen Jahren verstärkt an einer Umsetzung des Nachhaltigkeitsgedankens im Bauwesen. Bereits im Jahr 2001 wurde der Leitfaden Nachhaltiges Bauen veröffentlicht, um ganzheitliche Grundsätze zum nachhaltigen Planen und Bauen, Betreiben und Unterhalten sowie zur Nutzung von Liegenschaften und Gebäuden umzusetzen (BMVBW 2001). Zur gleichen Zeit wurde ein Runder Tisch Nachhaltiges Bauen ins Leben gerufen, der die verschiedenen Akteure des Sektors versammelt und so die Weiterentwicklung dieses Leitfadens ermöglichen sollte.

Um die weltweiten Bestrebungen nach der Entwicklung von Systemen zur Bewertung der Nachhaltigkeit von Gebäuden zu harmonisieren, wurde unter dem Dach der Internationalen Organisation für Normung (*International Organization for Standardization*, kurz *ISO*) im Jahr 2002 eine Komitee zur Entwicklung von Normen zum Thema „Nachhaltigkeit im Hochbau“ gegründet. Es wurde mit dem Auftrag versehen vier internationale Normen für diesen Themenbereich zu entwickeln (ISO TC 59/SC 17). Drei Jahre später erteilte auch die Europäische Kommission dem Europäischen Komitee für Normung (*Comité Européen de Normalisation*, kurz *CEN*) das Mandat, aufbauend auf den internationalen Normungsprozess, horizontale Normensätze für die Bewertung von Gebäuden entlang ihres gesamten Lebenszyklus im Ausschuss CEN/TC 350 zu erarbeiten. Um jedoch die ökologischen, ökonomischen, sowie sozio-kulturellen Auswirkungen von Gebäuden überhaupt ganzheitlich erfassen und bewerten zu können, müssen auch alle relevanten Informationen über die in Gebäuden eingesetzten Baustoffe bekannt sein. Aus diesem Grund hat sich in den letzten Jahren das Vorgehen herausgebildet, insbesondere die ökologischen und technischen Aspekte der eingesetzten Rohstoffe und Bauteile über die Erstellung von Umweltproduktdeklarationen (*Environmental Product Declarations*, kurz *EPD*) für die Bewertung auf Gebäudeebene zu ermitteln (Abbildung 1-1).



**Abbildung 1-1: Informationsfluss vom Bauprodukt zum Gebäude mit Hilfe von EPD**

Diese Umweltkennzeichen des Typs III gehören zu einer der drei normativ geregelten Kennzeichnungsmöglichkeiten der ISO 14020er Reihe und stellen „Produktinformationen aus Ökobilanzen zur Verfügung, um damit Vergleiche zwischen Produkten gleicher Funktion zu ermöglichen“ (DIN 2011). Die Gebäudebewertung setzt damit voraus, dass zu allen im Gebäude verwendeten Baustoffen entsprechende Ökobilanz-Datensätze verfügbar sind, welche die ökologischen Auswirkungen mittels branchenrepräsentativer Durchschnittswerte oder – im besten Fall – anhand der spezifischen Daten eines Herstellers wiedergeben. Auf diesem Weg lassen sich mit Hilfe von Ökobilanzen die ökologischen Auswirkungen von Produkten hinsichtlich ausgewählter Umweltschutzziele über Indikatoren bzw. Wirkungskategorien (z.B. Treibhauseffekt, Sommersmog, Versauerung) abbilden (s. Kapitel 2.1 und 2.2.3).

Auch das mit der Veröffentlichung des überarbeiteten Leitfadens Nachhaltiges Bauen in Deutschland im Jahr 2011 eingeführte Bewertungssystem für Nachhaltiges Bauen für Bundesgebäude (*BNB*) in Deutschland sieht vor, die Bewertung von Gebäuden auf entsprechenden Informationen über die eingesetzten Baustoffe basieren zu lassen. Grundlage für die Ermittlung der Indikatoren zur Bewertung der ökologischen Schutzziele im Gebäudebereich stellt die Ökobilanzierungsmethodik dar (BMVBS 2011c). So werden von Seiten des BMVBS entsprechende Datensätze, die die durchschnittlichen Umweltprofile von Baustoffen wiedergeben, für die weitere Einbindung in die bestehenden Lebenszyklusberechnungswerkzeuge auf der Webseite ‚Informationsportal Nachhaltiges Bauen‘ zur Verfügung gestellt (BMVBS 2011a). Anfang des Jahres 2012 wurde im Zuge der Entwicklung der Normensätze für die Bewertung der Umweltauswirkungen von Gebäuden und den darin eingesetzten Bauprodukten die Norm EN15804 veröffentlicht, welche die Erstellung von Umweltproduktdeklarationen und den darin enthaltenen Ökobilanzen neu regelt (CEN 2012). Im Wesentlichen betreffen die Neuerungen methodische Anforderungen an die Berechnung und Darstellung von Produktökobilanzen, die sich aus der Aufteilung der entsprechenden Informationen über das Gebäude und die Baustoffe in Lebenszyklusabschnitte ergibt. Weitere Informationen zu Umweltproduktdeklarationen und eine detaillierte Beschreibung der für diese Untersuchung relevanten neuen Anforderungen an ihre Erstellung werden in den Kapiteln 1.3.3 und 2.2 beschrieben.

Neben den Entwicklungen im Baubereich spielen der Energieverbrauch und die damit verbundenen Emissionen von Treibhausgasen natürlich vor allem in der Klimapolitik eine wesentliche Rolle. Die im Zuge der Gebäudebewertung bereitgestellten Ökobilanzdaten für Holzbauprodukte können auch für diesen Bereich nützliche Informationen liefern.

### **1.1.2 Holzverwendung im Bausektor**

Für einen Großteil der in Deutschland produzierten Holzhalbwaren aus Schnittholz und Holzwerkstoffen stellt der heimische Bausektor den größten Absatzmarkt dar. Von den 35,5 Mio. m<sup>3</sup> verbrauchten Holzhalbwarenmengen in Höhe von etwa 18,8 Mio. m<sup>3</sup> im Jahr 2007 wurden 54,2 % im Baubereich eingesetzt; besonders Vollholzprodukte aus Nadelholz spielen als Baustoff eine wichtige Rolle (Tabelle 1-1). Untersuchungen über den Einsatz von Holz im Baubereich zeigen, dass zwei Drittel des Schnittholzes im Wohnungsbau eingesetzt werden (MANTAU 2005). In einer detaillierten Studie über die Holzverwendung im Bauwesen beziffern KROTH et al. im Jahr 1991 die durchschnittlich in Deutschland ver-

wendete Holzmenge in Holzhäusern auf knapp 54 m<sup>3</sup> für Einfamilienhäuser und auf 67 m<sup>3</sup> für Zweifamilienhäuser pro 1000 m<sup>3</sup> umbauten Raum (Tabelle 1-2).

**Tabelle 1-1: Produktion und Verbrauch von Holzhalbwaren im Baubereich in Deutschland für 2007 (MANTAU, BILITEWSKI 2010)**

Produkt	Produktion	Verbrauch	davon	
	[1000 m <sup>3</sup> ]	[1000 m <sup>3</sup> ]	Verwendung im Baubereich [1000 m <sup>3</sup> ]	[%]
Nadelschnittholz	25.431	20.144	14.554	66
Laubschnittholz	1.339	1.673	786	47
Sperrholz	235	1.487	644	43
Spanplatten	9.757	9.154	1.958	21
Faserplatten	6.399	3.811	2.038	54
Oriented Strandboard	1.102	874	780	89

**Tabelle 1-2: Holzverbrauch in Holzhäusern in m<sup>3</sup> bezogen auf 1000m<sup>3</sup> umbauten Raum (KROTH, ET AL. 1991:147)**

	Schnittholz		Spanplatte	Holzwerkstoffe, andere	Parkett	Gesamt
	Konstruktion	Ausbau				
Einfamilienhäuser	29,13	22,60	0,69	0,70	0,77	53,89
Zweifamilienhäuser	34,00	31,87	0,31	0,60	0,36	67,14

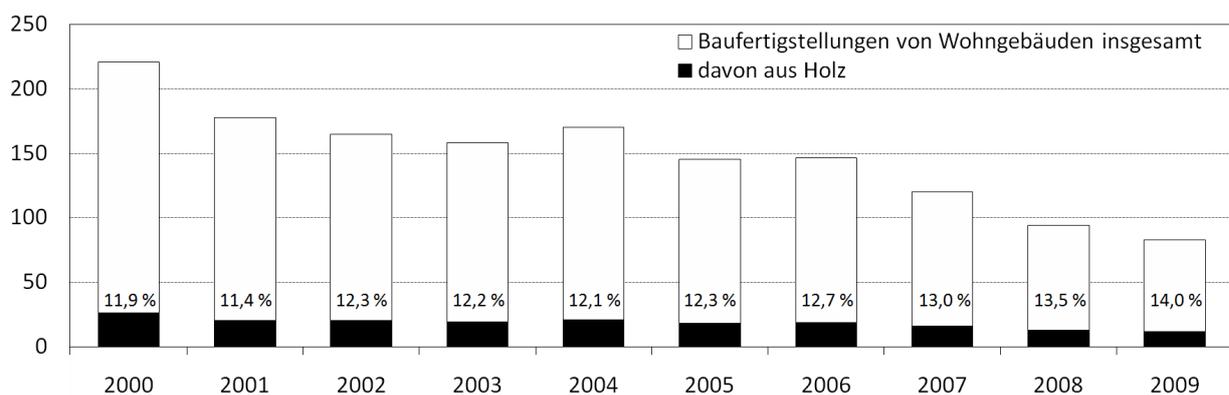
Der Einsatz von Holz im Baubereich beschränkt sich aber nicht nur auf Häuser in Holzbauweise, sondern spielt auch im konventionellen Hausbau, vornehmlich bei der Dachkonstruktion, eine wichtige Rolle. So belaufen sich die Mengen im konventionellen Hausbau nach Angabe der Autoren für die gleichen Haustypen auf etwas über 23 bzw. 22 m<sup>3</sup> Holz (KROTH, ET AL. 1991). Im Zuge einer Untersuchung des Instituts für Wohnen und Umwelt (IWU) über den Gebäudebestand in Deutschland wurden auch Informationen über das vornehmlich verwendete Baumaterial für die Gebäudewände erhoben, die für holzbasierte Wandtypen in Tabelle 1-3 zusammengefasst sind. Daraus wird ersichtlich, dass der Holzbau auf Basis von Fertigteilen zunehmend an Bedeutung gewinnt und im jüngeren Gebäudebestand mit etwa 13 % vertreten ist – ein Trend der durch statistische Daten zum Verbrauch bestätigt wird. Seit dem Jahr 2000 existiert für Deutschland eine Datenreihe des Statistischen Bundesamtes mit Information über die tatsächlichen Baufertigstellungen von Wohn- und Nichtwohngebäuden nach überwiegend verwendetem Baustoff. Danach stieg der Holzhausanteil an den jährlich errichteten Gebäuden auf 14 % im Jahr 2009 (Abbildung 1-2). Besonders für die Dachkonstruktion wird in der Regel Holz eingesetzt; im Holzbau ebenso wie im konventionellen Hausbau. Von der für das Jahr 2005 ermittelten Verbrauchsmenge an Schnittholz im Baubereich in Höhe von 13 Mio. m<sup>3</sup> wurden nach MANTAU ungefähr 30 % für den Einbau in Dächer verwendet. Weitere 1,6 Mio. m<sup>3</sup> entfielen auf den Einsatz von Schnittholz in Außenanlagen, und 1,3 Mio. m<sup>3</sup> wurden als Konstruktionsmaterial im Zuge von Modernisierungsmaßnahmen verwendet (MANTAU 2005). Mehr als die Hälfte des verwendeten Holzes wurde demnach für diese Verwendungsbereiche verbraucht.

**Tabelle 1-3: Anteil holzbasierter Wandtypen im Wohngebäudebestand nach Regionen, Baualtersklassen und Gebäudetyp unter Angabe des Standardfehlers\* (DIEFENBACH, ET AL. 2010:52)**

	Deutschland		Nord		Süd		Ost	
Fachwerk	3,1%	+/-0,3*	2,4%	+/-0,5	2,9%	+/-0,5	4,9%	+/-1,1
Holz-Fertigteile	3,7%	+/-0,3	3,3%	+/-0,5	4,3%	+/-0,5	3,2%	+/-0,6
	Altbau bis 1978		Baujahr 1979 - 2004		Neubau ab 2005			
Fachwerk	4,4%	+/-0,5	0,4%	+/-0,1	0,6%	+/-0,6		
Holz-Fertigteile	1,5%	+/-0,2	7,5%	+/-0,7	13,0%	+/-3,1		
	alle EZFH**		alle MFH***		EZFH, Altbau		MFH, Altbau	
Fachwerk	3,3%	+/-0,4	2,1%	+/-0,6	4,8%	+/-0,5	2,6%	+/-0,7
Holz-Fertigteile	4,4%	+/-0,4	0,5%	+/-0,2	1,9%	+/-0,3	0,2%	+/-0,2

\* statistischer Standardfehler (ergibt multipliziert mit dem Faktor 1,96 das 95 %-Vertrauensintervall)

\*\* Einfamilienhäuser, \*\*\* Mehrfamilienhäuser


**Abbildung 1-2: Anteil des Holzbaus an Baufertigstellungen von Wohngebäuden in Deutschland [in % und Stk.] (StBA 2010)**

In weiteren detaillierten Untersuchungen über den Holzeinsatz im Modernisierungsmarkt quantifizieren MANTAU und KAISER die Verwendung von Nadel- und Laubschnittholz und Holzwerkstoffen im Wohn- und Nichtwohnbau für die verschiedenen Verwendungsbereiche (MANTAU, KAISER 2002a; MANTAU, KAISER 2002b). Allerdings konnte bei diesen auf Basis von Stichprobenbefragungen von Haushalten durchgeführten Studien nicht weiter in die einzelnen Produkte an Halbwaren (z.B. Dämmplatten und Mitteldichte Faserplatten) unterschieden werden. Auf Basis von Hochrechnungen von Umfragen in Zimmerei- und Holzbaubetrieben konnten MANTAU et al. jedoch eine weitere Differenzierung bei den im Bausektor eingesetzten veredelten Schnittholzprodukte vornehmen. Danach entfielen von den im Jahr 2003 insgesamt verbrauchten 4,16 Mio. m<sup>3</sup> an stabförmigen Schnittholzprodukten über 32 % auf Konstruktionsvollholz, gefolgt von nicht-technisch getrocknetem Schnittholz mit einem Anteil von über 25 %. Die im Rahmen dieser Untersuchung ermittelten Anteile weiterer Vollholzprodukte am Verbrauch im Bausektor sind in Tabelle 1-4 abgebildet.

**Tabelle 1-4: Marktanteile stabförmiger Vollholzprodukte am Verbrauch im Jahr 2003 (MANTAU, ET AL. 2004)**

Sortimente	Anteile [%]	Mengen [m <sup>3</sup> ]
Schnittholz/Bauholz, nicht technisch getrocknet	25,3	1.052.805
Schnittholz/Bauholz, technisch getrocknet	14,6	607.232
DIN 4074-Bauholz, Sortiment	3,5	145.364
DIN 4074-Bauholz, Sortiment	4,5	188.894
KVH	32,5	1.352.849
Balkenschichtholz (Duo-/Triolam)	3,3	136.141
Brettschichtholz	13,7	569.037
Weitere stabförmige HWS (LVL, LSL, Trägersyst.)	1,3	53.476
Sonstiges	1,3	55.057
<b>INSGESAMT</b>	<b>100,0</b>	<b>4.160.854</b>

Auch der Großteil an produzierten Fertigwaren (z.B. Türen, Fenster und Holzfußböden) finden im Bau-sektor ihre Verwendung. Nach Angaben des Verbandes der Deutschen Parkettindustrie e.V. (*vdp*) wurden in Deutschland im Jahr 2009 etwa 0,59 Mio. m<sup>2</sup> Massivparkett und etwa 9,8 Mio. m<sup>2</sup> Fertigparkett hergestellt.

## 1.2 Ziel des Projektes

Im Wesentlichen gaben die in Kapitel 1.1.1 beschriebene Entwicklung von Bewertungssystemen der Nachhaltigkeit von Gebäuden und die sich daraus ergebende notwendige Bereitstellung von Ökobilanzdaten den Anstoß für die Durchführung der vorliegenden Untersuchung. Neben der schieren Verfügbarkeit von Umweltinformationen für Holzbauprodukte spielt insbesondere die weitere Spezifizierung der Anforderungen an Ökobilanzen in Umweltproduktdeklarationen, die im Verlauf der Arbeit im europäischen Normungsgremium CEN/TC 350 stattfand und welche in der Veröffentlichung der Norm EN 15804:2012 ihren Ausdruck findet, eine wesentliche Rolle. Im Sinne dieser Entwicklungen wurde daher als primäres Projektziel die Erstellung von Ökobilanz-Datensätzen für Holzprodukte formuliert, die den neuen Anforderungen an eine Verwendung für die Erstellung von Umweltproduktdeklarationen und eine Verwendung als Datensätze in öffentlichen Datenbanken genügen. Um Ökobilanzen berechnen zu können, die repräsentative Ergebnisse erwarten lassen und die Schaffung einer geeigneten Datenbasis für die Verwendung von Umweltkennwerten in den beschriebenen Bereichen sicherstellen, war eine enge Zusammenarbeit mit der deutschen Holzindustrie für die Erhebung der notwendigen Eingangsdaten erforderlich (Kapitel 1.5).

Auch bestand eine große Herausforderung für eine erfolgreiche Umsetzung des Vorhabens in der Notwendigkeit, die sich noch während der Projektlaufzeit ergebenden Änderungen an den Rahmenbedingungen zu berücksichtigen, und die neuen methodischen Anforderungen dem Projektziel entsprechend umzusetzen.

Im Zuge von Datenerhebungen für Ökobilanzen können Informationen gewonnen werden, die, über die eigentlichen Umweltkennwerte hinaus, der Aktualisierung oder Erweiterung des Kenntnisstandes

über die Verwendung des nachwachsenden Rohstoffs und die Stoffströme in der Holzverarbeitenden Industrie dienen (vgl. MANTAU, BILITEWSKI 2010). Auch spielen beispielsweise Angaben zu den Transportdistanzen für die eingesetzten Rohstoffe oder die Ermittlung der Holzherkunft der in Deutschland hergestellten Holzprodukte bei der Abschätzung der durch den Sektor verursachten Emissionen eine große Rolle (vgl. RÜTER 2011).

### 1.2.1 Aufbau einer vTI – Ökobilanz-Datenbank

Für die Schaffung einer Datenbasis, die auch über die Projektlaufzeit hinaus mit relativ wenig Aufwand pflegbar ist, wurde als zentrale Aufgabenstellung die Erstellung einer institutsinternen Ökobilanz-Datenbank formuliert. Die so geschaffenen Strukturen sollen eine in Zukunft mit weniger Aufwand verbundene Aktualisierung von Ökobilanzkenndaten auf Basis des in diesem Projekt erworbenen Kenntnisstandes ermöglichen. Um im Bereich des nachhaltigen Bauens für Deutschland gültige Durchschnittswerte für Holzprodukte in den geforderten Datenformaten zur Verfügung stellen zu können, war es außerdem das erklärte Ziel dieses Projektes, möglichst die gesamte Produktvielfalt der Bauprodukte aus Holz für Deutschland abzubilden. Im Sinne der angedachten Verwendung der erhobenen Daten und der angestrebten Qualität, die sich aus den in den Kapiteln 2.1 und 2.2 beschriebenen Anforderungen und methodischen Vorgaben ergibt, sollen die Ökobilanzdatensätze daher:

- repräsentativ für Deutschland sein,
- die für das nachhaltige Bauen relevanten Indikatoren auswerten,
- mindestens die Aufwendungen von der Wiege bis zum Werkstor abbilden (s. S. 34),
- die verwendete Methodik und Sachbilanz transparent und umfassend dokumentieren,
- weiteren methodischen Anforderungen genügen (z.B. Systemraumerweiterung, s. Kapitel 2.2).

### 1.2.2 Verwendung der Daten in öffentlichen Datenbanken

Neben der Erarbeitung einheitlicher methodischer Anforderungen im Rahmen nationaler und internationaler Harmonisierungsbemühungen im Bereich der Bewertung von Gebäuden werden auch entsprechende Hintergrundinformationen über Baustoffe veröffentlicht und den Akteuren des Sektors zugänglich gemacht. In Deutschland ist dies das Informationsportal Nachhaltiges Bauen des BMVBS. Neben einem webbasierten ökologischen Baustoffinformationssystem (*WECOBIS*) und weiteren Hintergrundinformationen zum Thema werden auch die Ergebnisse von Produktökobilanzen in der Baustoffdatenbank *Ökobau.dat* zur Verfügung gestellt (BMVBS 2011a). Auch die Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen e.V. (*DGNB*), die auf Initiative der deutschen Bau- und Immobilienwirtschaft gegründet wurde, bietet neben einem Zertifizierungssystem für nachhaltige Bauwerke entsprechende Produktdatensätze auf ihrer Internetplattform *DGNB Navigator* an (DGNB 2011). Ebenso haben es sich auch internationale Institutionen zur Aufgabe gemacht, Kennwerte für die Umweltbewertung von Produkten der interessierten Öffentlichkeit und der Politik anzubieten. Weitere Informationen sowie der aktuelle Sachstand hierzu werden in Kapitel 1.3.4 erläutert.

Um die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung einer breiten Verwendung zuzuführen und über die institutsinterne Nutzung hinaus den Akteuren des Bausektors zur Verfügung zu stellen, sollen die entsprechenden Datensätze in geeigneter Form aufbereitet und als Durchschnittswerte für die untersuchten Bauprodukte aus Holz veröffentlicht werden. Die Basis hierfür bilden die mengengewichteten Durchschnittswerte der an der Untersuchung beteiligten Unternehmen. Durch die Berücksichtigung der neuesten Standards und die angestrebte breite Beteiligung der deutschen Holzindustrie an der Durchführung des Projektes, kann außerdem die Datenqualität der bereits vorhandenen Umweltkennwerte für die Produkte des Holzsektors in öffentlichen Datenbanken deutlich gesteigert werden. Allerdings ergeben sich aufgrund des eingangs beschriebenen Normungsprozesses, ebenso wie für die Berechnung der Ökobilanzen, auch neue Anforderungen an das Format der zur Verfügung gestellten Daten. Da mit Ergebnissen aus dem Projekt in Form von Ökobilanz-Datensätzen erst gegen Ende der Projektlaufzeit zu rechnen war, und für eine Verwendung der produktspezifischen Ergebnisse als repräsentativer Datensatz die entsprechenden Schnittstellen mit den jeweiligen öffentlichen Anbietern abgeklärt werden müssen (z.B. Dateiformat und Inhalt des Datensatzes), war bereits vorab mit einer Einpflegung der Datensätze in die genannten Datenbanken noch während der Projektlaufzeit nicht zu rechnen.

### **1.2.3 Umweltproduktdeklarationen für die beteiligten Unternehmen**

Ergebnisse von Ökobilanzen bilden den zentralen Bestandteil von Umweltproduktdeklarationen nach DIN ISO 14025. Die im Rahmen dieses Projektes ermittelten Ergebnisse können daher im Anschluss von den an der Untersuchung beteiligten Unternehmen einzeln oder auf Verbandsebene verwendet werden, um für ihre jeweiligen Produkte bzw. Holzproduktgruppen Umweltproduktdeklarationen zu erstellen. Dies kann beispielsweise bei einem in Deutschland etablierten Programhalter geschehen. Weitere detaillierte Informationen hierzu finden sich in Kapitel 1.3.3.

Die berechneten Ökobilanzen sollen von allen Betrieben genutzt werden können, welche die ermittelten Anforderungen an die jeweiligen Systeme (z.B. Datenstreuung) erfüllen. Dies ist insbesondere für den von mittelständischen Unternehmen geprägten Holzsektor von Vorteil. Mit Hilfe des Projektes wird der Sektor daher dabei unterstützt ökologische Baustoffinformationen im Sinne des BNB Bewertungssystem des Bundes und anderer Gebäudezertifizierungssysteme zur Verfügung stellen zu können. Noch während der Projektlaufzeit unternommene Initiativen für eine Zertifizierung von Seiten der Verbände sollten im Rahmen der Projektarbeit ebenfalls begleitet werden.

## **1.3 Beschreibung des wissenschaftlich-technischen Standes**

In enger Kooperation mit dem Zentrum Holzwirtschaft der Universität Hamburg arbeitet das Thünen Institut für Holztechnologie und Holzbiologie seit mehreren Jahrzehnten zu allen relevanten Themen rund um den Roh- und Werkstoff Holz. Bereits Mitte der 1990er Jahre war das Institut an der Entwicklung der Ökobilanzmethodik beteiligt, welche seitdem als zentrales Arbeitsinstrument im Arbeitsbereich Holz und Umwelt genutzt wird. Durch das langjährige Engagement des Instituts bei dem vom

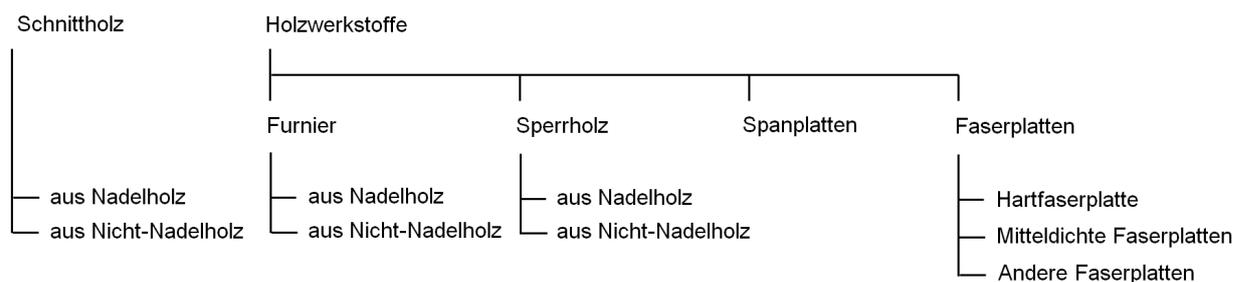
BMVBS ins Leben gerufenen Runden Tisch Nachhaltiges Bauen sowie die aktive Teilnahme an der Normungsarbeit, waren die im Kapitel 1.1.1 beschriebenen Sachverhalte und Zusammenhänge bereits vor Projektbeginn bekannt.

Darauf aufbauend wurden im Rahmen der Projektdurchführung zunächst die relevanten Informationen zum Thema Nachhaltigkeitsbewertung von Holzbauprodukten zusammengetragen. Im Vorfeld der eigentlichen Ökobilanzierung mussten eine Auswahl der für die Untersuchung in Frage kommenden Holzbauprodukte getroffen, bereits vorhandene Literatur zu Ökobilanzen von Holzprodukten auf ihre Verwendungsmöglichkeit im Rahmen des Projektes überprüft, und die aktuelle Verwendung von Umweltkennwerten in Umweltproduktdeklarationen und öffentlichen Datenbanken ermittelt werden.

### 1.3.1 Identifizierung der relevanten Bauprodukte aus Holz

Die Nachhaltigkeitsbewertung von Gebäuden, wie sie sich in den letzten Jahren entwickelt hat, basiert wesentlich auf den Informationen zu den im Baubereich verwendeten Rohstoffen und Bauprodukten. Wie in Kapitel 1.1.2 beschrieben, kann zu diesem Zweck zwischen Halb- und Fertigwaren aus Holz unterschieden werden. Der überwiegende Anteil der produzierten Holzhalbwaren Schnittholz und Holzwerkstoffe, auf die der Schwerpunkt der hier vorgestellten Untersuchung gelegt wurde, wird im Baubereich verwendet. Darüber hinaus wurden aber auch für den Baubereich relevante Fertigwaren bilanziert, deren Hersteller im Zuge des Projektes über den entsprechenden Verband angesprochen werden konnten (vgl. Kapitel. 1.5)

Die Holzhalbwarengruppen Schnittholz und Holzwerkstoffe lassen sich weiter differenzieren. Hierzu ist in Abbildung 1-3 eine Untergliederung der Halbwaren nach dem Schema der FAO Klassifikation abgebildet.



**Abbildung 1-3: Schema zur Einteilung von Holzhalbwaren nach der Klassifikation der FAO**

Das Statistische Bundesamt (StBA) untergliedert Vollholzprodukte auf Basis der jährlichen Erhebungen der Produktionszahlen im Holzgewerbe weiter in „gesägte und gehobelte“, sowie „profilierte“ Produkte. Es erfolgt eine weitere Differenzierung in „gehobelt oder geschliffen“, in verschiedene Holzarten (Kiefer, Fichte, etc.) oder eine unspezifische Zuordnung zur Kategorie „aus anderem Holz“. Die Angabe der jeweils produzierten Mengen eines Jahres erfolgt in Kubikmetern (StBA 2008). Speziell für die Verwendung im Baubereich werden auf Basis von Nadelschnittholz jedoch zahlreiche weiterveredelte

Produkte hergestellt, die eine weitere Differenzierung erlauben. Die Spanne reicht von einteiligen Halbwaren bis hin zu komplexen Bauteilen, die in einer oder mehreren Lagen und Richtungen miteinander verleimt oder anderweitig verbunden sind. Zu den Vollholzprodukten aus Nadelholz zählen:

- Frisches Nadelschnittholz
- Kammergetrocknetes Nadelschnittholz
- Hobelware aus Nadelschnittholz
- Konstruktionsvollholz
- Brettschichtholz, Standardträger
- Brettschichtholz, Sonderformen
- Balkenschichtholz
- Brettsperrholz
- 3- und 5- Schicht Massivholzplatte

Laubschnitthölzer werden im Baubereich hauptsächlich als Bodenbeläge eingesetzt. Für konstruktive Anwendungen wird Laubholz dagegen nur in seltenen Fällen verwendet. Daher bietet sich eine Unterteilung in die von der Parkettindustrie genutzten Halbwaren an:

- Frisches Laubschnittholz
- Kammergetrocknetes Laubschnittholz

Auch die Holzwerkstoffe unterteilt das Statistische Bundesamt auf Basis der Europa-einheitlichen Güterklassifikation weiter. So wird bei Sperrholz zwischen Furniersperrholz und Tischlersperrholz sowie in die für diese Produkte eingesetzten Holzarten unterschieden. Für Spanplatten erfolgt eine Aufteilung in verschiedene Beschichtungstypen, sowie in Oriented Strand Board (OSB) als eine Sonderform der Spanplatte. Röhrenspanplatten, die vornehmlich bei der Herstellung von Türen Verwendung finden, werden jedoch nicht separat ausgewiesen. Die produzierten Faserplatten werden auf Basis ihrer Dichte in Hartfaserplatten (HDF), Mitteldichte Faserplatten (MDF) und leichte MDF-Platten (LDF) unterschieden, wobei Dichten von  $800 \text{ kg/m}^3$  und  $650 \text{ kg/m}^3$  die jeweiligen Grenzen darstellen. Auch hier erfolgt die Angabe der jeweils produzierten Mengen eines Jahres in Kubikmetern. Auf dieser Basis bietet sich folgende, über die in Abbildung 1-3 hinausgehende Unterteilung für die Holzwerkstoffe an:

- Furniersperrholz
- Tischlersperrholz
- Rohe Spanplatte
- Beschichtete Spanplatte
- Röhrenspanplatte
- Oriented Strand Board
- Hochdichte Faserplatte

- Mitteldichte Faserplatte
- Dämmstoff – Faserplatte

Auch im Bereich der Fertigwaren unterscheidet die Produktionsstatistik weiter, wobei die produzierten Mengen in den meisten Fällen nur als Stückangaben gegeben sind. Im Rahmen dieses Projektes wurden allerdings nur Bodenbeläge aus Holz ökobilanziell untersucht, da für die Herstellung von Holzfußböden kaum weitere, über die für Herstellung der verwendeten Holzwerkstoffe benötigten üblichen Prozessschritte notwendig sind. Das Statistische Bundesamt unterscheidet aktuell zwischen zwei Kategorien von Parkettböden und zwar den „Parketttafeln für Mosaikfußböden“ und „anderen Parketttafeln“. Die Angabe der jeweils produzierten Mengen eines Jahres erfolgt in Quadratmetern. Im Rahmen dieses Projektes werden die Fußböden in die Gruppen

- Massivholzparkett
- Schichtparkett (Fertigparkett)

aufgeteilt, da für ihre Produktion jeweils sehr unterschiedliche Prozesse nötig sind.

Eine detaillierte Beschreibung der untersuchten Holzbauprodukte findet sich in der nach den Produkten untergliederten Ergebnisdarstellung in Kapitel 3.2.

### 1.3.2 Vorhandene Literatur zu Ökobilanzen von Holzprodukten

Die in diesem Kapitel vorgestellte Auswahl an Publikationen zu Ökobilanzen von Holzprodukten erhebt nicht den Anspruch auf Vollständigkeit. Vielmehr soll die aufgelistete Literatur Aufschluss darüber geben, für welche Bereiche der Holzindustrie bereits Daten existieren, die im Sinne einer erfolgreichen Umsetzung der Projektziele als zusätzliche Informationsquelle genutzt werden konnten. Nicht alle aufgeführten Publikationen folgen jedoch der Ökobilanzmethodik im klassischen Sinn. Vielmehr stellen diese Veröffentlichungen Informationen zu verschiedenen Aggregationsstufen der in Ökobilanzen erarbeiteten und verwendeten Daten bereit. Sie lassen sich einteilen Quellen, die die eigentlichen Ökobilanzergebnisse, Sachbilanzdaten und/oder Basisinformationen enthalten, die bei der Erstellung von Ökobilanzen eine Rolle spielen können, wobei einzelne Veröffentlichungen auch mehrere Inhalte abdecken können.

Ökobilanzen umfassen die Abbildung der Ergebnisse für die gewählten Wirkungsindikatoren und deren Interpretation (s. Kapitel 2.1 und 2.2.3). Diese können genutzt werden, um getroffene Annahmen im Rahmen der Modellierung auf Plausibilität zu prüfen und die Relevanz einzelner Parameter innerhalb eines Produktsystems in Bezug auf einzelne Umwelteinflüsse zu untersuchen. So können im Vorfeld eigener Untersuchungen bereits diejenigen Schlüsselbereiche identifiziert werden, die einer genaueren Betrachtung bedürfen (s. Kapitel 2.6.1). Grundsätzlich ist dabei jedoch zu beachten, dass die methodischen Rahmenbedingungen der untersuchten Veröffentlichung mit denjenigen der eigenen methodischen Umsetzung übereinstimmen müssen. Dies stellt zugleich die Schwierigkeit beim Umgang mit reinen Ökobilanzergebnissen dar, da in den meisten Fällen die Angaben zu den methodi-

schen Annahmen, die den Berechnungen unterliegen, entweder unvollständig sind, oder nicht mit dem definierten Rahmen der eigenen Untersuchung übereinstimmen.

Die vollständigen Sachbilanzen eines Produktsystems, d.h. die Zusammenstellung aller seiner Elementarflüsse, werden in der Regel nicht abgebildet. Stattdessen werden Sachbilanzen einzelner Lebensabschnitte eines Produktes dargestellt, wie etwa der letzte Punkt der Prozesskette, bevor das Produkt dem Verbraucher zur Verfügung gestellt wird. Sind diese Informationen herstellerspezifisch, sind dies meistens sensible Unternehmensinformationen, die normalerweise nicht veröffentlicht werden. Sollen die Informationen generisch sein, was bedeutet, dass die Daten repräsentativ für die Produktion eines geographisch eingegrenzten Bereichs sind, so sind hierfür in der Regel sehr viele Daten notwendig, die nur mit sehr hohem Aufwand beschafft werden können. Entsprechende Veröffentlichungen sind daher selten.

Die Aufstellung von Sachbilanzen und Ökobilanzen von Produkten basiert auf der Zusammenstellung von Primärdaten über deren Herstellungsprozesse, wie auch aus Abschätzungen von Zusammenhängen, die sich aus technischen und ökonomischen Informationen zu diesen Produkten und ihren Produktionssektoren ergeben. Entsprechend können abseits der Veröffentlichungen mit reinen Ökobilanzergebnissen oder Sachbilanzen Veröffentlichungen mit technisch/ökologischen Zusammenhängen umfassend in die Analyse einfließen.

Einen guten Überblick über vorhandene Ökobilanzstudien bietet eine von WERNER und RICHTER im Jahr 2007 veröffentlichte Zusammenstellung.

Im Bereich der Vollholzprodukte existieren zahlreiche Veröffentlichungen zu Sachbilanzen und Ökobilanzergebnissen der Produktion von Holzhalbwaren. Insbesondere die Arbeiten der Universität Hamburg und Ergebnisse früherer Projekte des Instituts für Holztechnologie der Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft (BFH) wurden für die Identifizierung der relevanten Stoff- und Energieströme bei der Herstellung von Holzprodukten in Deutschland im Rahmen dieses Projektes genutzt:

- FRÜHWALD A, SPECKELS L, SCHARAI-RAD M, WELLING J (2000b) Ökologische Bilanzierung von Bauschnittholz und veredelten Vollholzprodukten. Hamburg: Ordinariat für Holztechnologie der Universität Hamburg, 16 p, Schlussbericht
- RÜTER S, KREIßIG J (2007) Grunddatensätze für Holz und Holzwerkstoffe im Netzwerk Lebenszyklusdaten. Karlsruhe, Hamburg Leinfelden-Echterdingen: Forschungszentrum Karlsruhe, Institut für Technikfolgen-abschätzung und Systemanalyse – Zentralabteilung Technikbedingte Stoffströme, 46 p, Projektbericht im Netzwerk Lebenszyklusdaten
- ALBRECHT S, RÜTER S, WELLING J, KNAUF M, MANTAU U, BRAUNE A, BAITZ M, WEIMAR H, SÖRGEL C, KREIßIG J, DEIMLING S, HELLWIG S (2008) Ökologische Potenziale durch Holznutzung gezielt fördern. Hamburg: Johann Heinrich von Thünen-Institut (vTI), 298 p, Arbeitsbericht aus dem Institut für Holztechnologie und Holzbiologie No. 2008/5

- DASE N (2006) Die Stoffstromanalyse eines OSB-Werkes. 196 p Hamburg, Ordinariat für Holztechnologie der Universität Hamburg, Diplomarbeit

Zudem wurden die sehr umfassenden Arbeiten zur Schweizer Ökobilanz-Datenbank EcoInvent 2.0 ausgewertet und auf die sehr ausführlichen Untersuchungen der Umweltwirkung von Vollholzprodukten im nordamerikanischen Raum zurückgegriffen, welche durch das CORRIM Konsortium (*Consortium for Research on Renewable Industrial Materials*), teilweise noch während der Projektlaufzeit, veröffentlicht wurden:

- WERNER F, ALTHAUS H-J, KÜNNIGER T, RICHTER K, JUNGBLUTH N (2007) Life Cycle Inventories of Wood as Fuel and Construction Material. Dübendorf, Schweiz: Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Final report ecoinvent data v2.0 No. 9
- BERGMAN RD, BOWE SA (2008a) Environmental impact of producing hardwood lumber using life-cycle inventory. *Wood and Fiber Science* 40(3):448-458
- BERGMAN RD, BOWE SA (2008b) Life-Cycle Inventory of Hardwood Lumber Manufacturing in the North-east and North Central United States. Module C. Madison, USA: University of Wisconsin, 55 p, CORRIM: Phase II Final Report
- BERGMAN RD, BOWE SA (2009) Life-Cycle Inventory of Softwood Lumber Manufacturing in the North-eastern and North Central United States. Module D. Madison, USA: University of Wisconsin, 56 p, CORRIM: Phase II Final Report
- BERGMAN RD, BOWE SA (2010a) Life-Cycle Inventory of Hardwood Lumber Manufacturing in the South-eastern United States. Module L. Madison, USA: University of Wisconsin, 57 p, CORRIM: Phase II Final Report
- BERGMAN RD, BOWE SA (2010b) Life-Cycle Inventory of Softwood Lumber Manufacturing in the North-eastern and North Central United States. *Wood and Fiber Science* 40(3):67-78
- PUETTMANN ME, WILSON JB (2005) Life-cycle analysis of wood products: cradle to gate LCI of residential wood building materials. *Wood and Fiber Science* 37(Corrin Special Issue):18-29
- PUETTMANN ME, BERGMAN R, HUBBARD S, JOHNSON L, LIPKE B, ONEIL E, WAGNER FG (2010a) Cradle-to-gate Life-cycle Inventory of US wood products production: CORRIM Phase I and Phase II Products. *Wood and Fiber Science* 42(CORRIM Special Issue):15-28
- PUETTMANN ME, WAGNER FG, JOHNSON L (2010b) Life-cycle Inventory of softwood limber from the inland Northwest US. *Wood and Fiber Science* 42(CORRIM Special Issue):52-66
- WAGNER FG, PUETTMANN ME, JOHNSON LR (2009) Life-Cycle Inventory of Inland Northwest Softwood Lumber Manufacturing. Module B. Moscow, USA: University of Idaho, 72 p, CORRIM: Phase II Final Report

Auch zur Herstellung von Holzwerkstoffen liegen Informationen über die Umweltauswirkungen in Form von Ökobilanzuntersuchungen mit den dazugehörigen Sachbilanzen vor. Dazu gehören Projektberichte, Diplomarbeiten und Dissertationen des Instituts für Holzphysik der Universität Hamburg und

der BFH, welche insbesondere sehr detaillierte Untersuchungen für den Bereich der Spanplatten umfassen:

- FRÜHWALD A, HASCH J, SCHARAI-RAD M (1999) Ökologische Bewertung von Spanplatten. Hamburg: Ordinariat für Holztechnologie der Universität Hamburg, 134 p, Abschlussbericht
- FRÜHWALD A, SCHARAI-RAD M, HASCH J (2000a) Ökologische Bewertung von Holzwerkstoffen. Ergänzt in den Bereichen Spanplattenrecycling und OSB-Bilanzen. Hamburg: Ordinariat für Holztechnologie der Universität Hamburg, 176 p, Abschlussbericht
- HASCH J (2002) Ökologische Betrachtungen von Holzspan- und Holzfaserplatten. 301 p Hamburg, Ordinariat für Holztechnologie der Universität Hamburg, Dissertation

Zu Sperrholz, Span- und Faserplatten wurden, teilweise während der Projektlaufzeit, die folgenden Ökobilanz-Untersuchungen veröffentlicht:

- FEIFEL S, FAUL A, SCHEBEK L (2011) Vergleichende ökologische Analyse leichter Holzwerkstoffplatten mit unterschiedlichem Aufbau. Holztechnologie 52(3):22-27
- GONZÁLEZ-GARCÍA S, FEIJOO G, WIDSTEN P, KANDELBAUER A, ZIKULNIG-RUSCH E, MOREIRA M (2009) Environmental performance assessment of hardboard manufacture. The International Journal of Life Cycle Assessment 14(5):456-466
- GONZÁLEZ-GARCÍA S, FEIJOO G, HEATHCOTE C, KANDELBAUER A, MOREIRA MT (2011) Environmental assessment of green hardboard production coupled with a laccase activated system. Journal of Cleaner Production 19(5):445-453
- RICHTER K (2002) Ökologische Beurteilung von Holzwerkstoffen. TEC21 - Fachzeitschrift für Architektur, Ingenieurwesen und Umwelt 13:7-11
- RIVELA B, HOSPIDO A, MOREIRA T, FEIJOO G (2006) Life Cycle Inventory of Particleboard: A Case Study in the Wood Sector. Int J LCA 11(2):106 – 113
- RIVELA B, MOREIRA M, FEIJOO G (2007) Life cycle inventory of medium density fibreboard. The International Journal of Life Cycle Assessment 12(3):143-150
- WILSON JB (2008a) Medium Density Fiberboard (MDF): A Life-Cycle Inventory of Manufacturing Panels from Resource through Product. Module G. Corvallis, USA: Oregon State University, 58 p, CORRIM: Phase II Final Report
- WILSON JB (2008b) Particleboard: A Life-Cycle Inventory of Manufacturing Panels from Resource through Product. Module F. Corvallis, USA: Oregon State University, 57 p, CORRIM: Phase II Final Report
- WILSON JB (2010a) Life-Cycle Inventory of Formaldehyde-Based Resins Used in Wood Composites in Terms of Resources, Emissions, Energy and Carbon. Wood and Fiber Science 42(1):125-143
- WILSON JB (2010b) Life-Cycle Inventory of Particleboard in Terms of Resources, Emissions, Energy and Carbon. Wood and Fiber Science 42(1):90-106

Die Umweltwirkung der Herstellung von KERTO Furnierschichtholz wurde untersucht in:

- KAIRI M, ZIMMER B, WEGENER G (1999) Life cycle assessment of KERTO laminated veneer lumber. Helsinki: University of Technology, Band 80 von Tiedonanto

Zudem findet sich eine detaillierte Analyse über die Energieverbräuche bei der Herstellung von Holzprodukten in nachfolgender Veröffentlichung:

- RESSEL J (1986) Energieanalyse der Holzindustrie der Bundesrepublik Deutschland. Hamburg: BFH, Institut für Holzphysik und mechanische Technologie des Holzes, 161 p, Forschungsbericht Band 86, Ausgabe 184

Für den Bereich der Holzfußböden existieren nachfolgende Publikationen, wobei insbesondere die Arbeiten von NEBEL et al. eine sehr gute Grundlage bieten:

- BERGMAN RD, BOWE SA (2011) Life-Cycle Inventory of Manufacturing Prefinished Engineered Wood Flooring in the Eastern United States. Module N. Madison, USA: University of Wisconsin, 57 p, CORRIM: Phase II Final Report
- HUBBARD SS, BOWE SA (2008) Life-Cycle Inventory of Solid Strip Hardwood Flooring in the Eastern United States. Module E. Madison, USA: University of Wisconsin, 59 p, CORRIM: Phase II Final Report
- HUBBARD SB, BOWE SA (2010) A gate-to-gate life-cycle inventory of solid hardwood flooring in the Eastern US. Wood and Fiber Science 40(3):79-89
- NEBEL B, WEGENER G, ZIMMER B (2002) Ökobilanzierung Holzfußböden. München: Holzforschung München - HFM, Technische Universität München, 24 p
- NEBEL B, ZIMMER B, WEGENER G (2006) Life Cycle Assessment of Wood Floor Coverings. Int J LCA 11(3):172-182

Da alle oben genannten Veröffentlichungen nicht vollständig die in Kapitel 1.2 genannten qualitativen Voraussetzungen an Ökobilanzdaten für die Bewertung von Bauprodukten erfüllen, konnten jedoch nur vereinzelt Informationen aus der bestehenden Literatur verwendet werden.

### 1.3.3 Umweltproduktdeklarationen

Umweltproduktdeklarationen (*Environmental Product Declaration*, kurz *EPD*) sollen als Träger der für eine Nachhaltigkeits- bzw. Umweltbewertung auf Gebäudeebene benötigten Informationen zu den eingesetzten Bauprodukten dienen. Sie beinhalten Angaben über den gesamten Lebenszyklus angefangen bei ihrer Herstellung, eine Dokumentation über die für das Produkt verwendeten Grundstoffe, ihre Verarbeitungs- und Entsorgungsmöglichkeiten, sowie die detaillierten Ergebnisse der Produktökobilanzen. Auch weitere relevante Hinweise über Nachweise und Prüfungen, die das Produkt für eine Marktzulassung benötigt und erfüllt, werden in einer Umweltproduktdeklaration ausgewiesen. Ihre Erstellung ist in der DIN EN ISO 14025 seit dem Jahr 2006 genormt. Sie wurde im Jahr 2011 in überarbeiteter Form veröffentlicht und legt zusammen mit der ISO 21930:2007, welche eine Spezifikation für

Umweltproduktdeklarationen für Bauprodukte darstellt, die Anforderungen bezüglich der Anwendung von Ökobilanzen nach DIN EN ISO 14040 bei der Erstellung von Typ-III Umweltdeklarationen fest. Dies beinhaltet die Prüfung und Verifizierung sowohl der enthaltenen Ökobilanzergebnisse, als auch die der Erstellung der Umweltproduktdeklaration selbst. Die Rahmenbedingungen und spezifischen Anforderungen für die Erstellung einer Umweltproduktdeklaration werden durch Produktkategorie-Regeln (*Product Category Rules*, kurz *PCR*) formuliert. Sie werden zumeist durch ein entsprechendes Produktforum, an welchem die relevanten Akteure teilnehmen, erarbeitet und definieren die produktgruppenspezifischen Regeln zur Erstellung der jeweiligen Ökobilanzdatensätze sowie weitere Anforderungen an die jeweilige Gruppe (z.B. für alle Holzwerkstoffe). Speziell für den Baubereich legt die Norm EN 15804 standardisierte Grundregeln für die Produktkategorie sämtlicher Bauprodukte fest, und stellt somit sicher, dass alle Bauleistungen und Bauprozesse in Europa in einheitlicher Weise abgeleitet, verifiziert und dargestellt werden können (CEN 2012).

In Deutschland ist der operierende Programmhalter für die Erstellung von Umweltproduktdeklarationen für Bauprodukte das Institut Bauen und Umwelt e.V. (*IBU*, ehemals Arbeitsgemeinschaft Umweltfreundliches Bauprodukt e.V., kurz *AUB*), welches bereits zahlreiche Bauprodukte zertifiziert und entsprechende Umweltproduktdeklarationen bzw. Produktkategorie-Regeln veröffentlicht hat. Insbesondere für den Bereich der konventionellen Baustoffe, wie Putz, Mörtel, mineralische Dämmstoffe, Mauerwerk, Ziegel und Baumetalle lagen zum Zeitpunkt des Projektbeginns zahlreiche Umweltproduktdeklarationen vor. Im Gegensatz hierzu war, neben zwei Deklarationen für Laminatböden, nur eine Umweltproduktdeklaration für ein aus Holz hergestelltes Bauprodukt erschienen (Stand Oktober 2008). Ebenso existierte bis dahin für Vollholzprodukte noch kein PCR-Dokument, welches die Erstellung einer Umweltproduktdeklaration z.B. für Nadelschnittholzprodukte ermöglicht hätte. Auf Betreiben des Johann Heinrich von Thünen-Instituts formierte sich jedoch zu Beginn der Arbeiten an dem vorgestellten Projekt im Jahr 2008 ein Produktgruppenforum für die Erstellung eines PCR Dokumentes, dessen Entwicklung projektbegleitend koordiniert und im Frühjahr 2010 veröffentlicht wurde.

Während der Projektlaufzeit wurden von großen Unternehmen der Holzwerkstoffindustrie insgesamt acht weitere Umweltproduktdeklarationen für die Plattenwerkstoffe Spanplatte, OSB, Faserplatte und Leichtbauplatte beim Institut für Bauen und Umwelt e.V. zertifiziert. Die zu Beginn des Projektes bereits vorliegende PCR für Holzwerkstoffe wurde während der Projektlaufzeit durch den Programmhalter aktualisiert. Aufgrund der in Kapitel 1.1.1 beschriebenen Entwicklung horizontaler Normensätze für die Bewertung der Umweltauswirkungen von Gebäuden und den damit verbundenen neuen Anforderungen an Umweltproduktdeklarationen, die in der Norm EN 15804:2012 veröffentlicht wurden (s. Kapitel 2.2), lagen bis zur Fertigstellung des vorliegenden Berichtes jedoch noch keine aktualisierten Umweltproduktdeklarationen durch das Institut Bauen und Umwelt e.V. vor, die diese neuen Anforderungen erfüllen. Dementsprechend konnten auch die im Laufe des Projektes erschienenen Produktdeklarationen bzw. die darin enthaltenen Ökobilanzergebnisse im Rahmen dieser Studie nicht bzw. nur als Sekundärreferenz genutzt werden.

### 1.3.4 Datensätze in öffentlichen Datenbanken

Wie beschrieben, inkludiert die Umweltbewertung von Gebäuden nach den Anforderungen der Normenreihen ‚Nachhaltiges Bauen‘ auch die im Gebäude eingesetzten Bauprodukte, deren Umweltkennwerte im Wesentlichen auf Ergebnissen von Ökobilanzrechnungen basieren. Da jedoch zum Zeitpunkt des Planungsprozesses noch keine Informationen über die Umweltauswirkungen der Produkte einzelner Anbieter von Baustoffen vorliegen, welche im Gebäude verwendet werden sollen, müssen möglichst repräsentative Datensätze für Baustoffe verfügbar gemacht werden. Ein Beispiel, wie solche Umweltkennwerte schon während eines frühen Planungszeitpunktes Architekten, Planern oder Bauträger zur Verfügung gestellt werden können, ist das Softwareprogramm LEGEP, welches als Werkzeug für eine integrale Lebenszyklusanalyse von Gebäuden schon während des Planungsprozesses Verwendung findet (LEGEP 2012).

Da schon während der Planung von Gebäuden Umweltinformationen über die gesamte Palette von Bauprodukten vorhanden sein müssen, um beispielsweise die Anforderungen im Bereich des öffentlichen Bauens des Bundes erfüllen zu können, sollen von Seiten des BMVBS entsprechende „Ökobilanzdaten für Bauprodukte ohne spezifischen Herstellerbezug“ für die weitere Einbindung in die bestehenden Lebenszyklusberechnungswerkzeuge auf der Webseite *Informationsportal Nachhaltiges Bauen* zur Verfügung gestellt werden (BMVBS 2011a; BMVBS 2011c:41). Diese sollen die durchschnittlichen Umweltprofile von Baustoffen wiedergeben. Nach dem aktuellen Sachstand stehen die Datensätze der Baustoffdatenbank *Ökobau.dat* in dem XML-Dateiformat (*eXtended Markup Language*) für die weitere Einbindung in bestehende Lebenszyklusberechnungswerkzeuge bereit. Die Datenbank wird fortlaufend weiterentwickelt und umfasste zum Zeitpunkt der Erstellung des vorliegenden Berichts insgesamt 11 Produktökobilanzen für Vollholzprodukte, 18 für Holzwerkstoffe (inklusive Holzzementplatten) und 6 für Holzböden (Stand: 01.2012). Die Daten wurden bis zum jetzigen Zeitpunkt fast ausschließlich von dem Anbieter der Ökobilanz-Software GaBi bereitgestellt (PE-INTERNATIONAL-GMBH 2012). Insgesamt beruhen 10 der angebotenen Datensätze auf Informationen aus Umweltproduktdeklarationen des im vorherigen Kapitel genannten deutschen Programmhalters. Die übrigen Datensätze entstammen entweder einem Mix aus vorhandenen Ökobilanzen zu ähnlichen Produkten oder wurden auf Basis von Informationen aus der Literatur berechnet. Allerdings beinhalten die angebotenen Datensätze über die Ökobilanzkennwerte hinaus keine Sachbilanzen und wurden mit Ausnahme der Daten aus Umweltproduktdeklarationen einzelner großer Hersteller nicht von unabhängigen Gutachtern verifiziert. Zudem wird bei den angebotenen Daten in weiten Teilen auf Literatur referenziert, die älter als 10 Jahre ist.

Neben der Datenbank des BMVBS sind in diesem Zusammenhang noch weitere Initiativen zu nennen, die sich für eine Harmonisierung und Bereitstellung von Ökobilanzdaten einsetzen, wie z.B. das vom Forschungszentrum Karlsruhe koordinierte Deutsche Netzwerk für Lebenszyklusdaten. Auf europäischer Ebene stellt das Institute for Environment and Sustainability (*IES*) des Joint Research Centre (*JRC*) der Europäischen Kommission auf der *European Platform on Life Cycle Assessment* das in Zusammenarbeit mit der Generaldirektion Umwelt (*DG Environment*) der EU Kommission erarbeitete *International Life Cycle Data System (ILCD)* vor. Ziel der Plattform ist die Erhöhung von Glaubwürdigkeit, Akzep-

tanz und Anwendbarkeit von Ökobilanzen in der freien Wirtschaft und für Behörden. Auf dem Webportal wird neben einem Methodik-Handbuch zu Ökobilanzierung (*ILCD Handbook*) die Europäische Ökobilanzdatenbank (*European Life Cycle Database*, kurz *ELCD*) mit entsprechenden Kennwerten von Produktökobilanzen zur Verfügung gestellt (EC 2010b; EC 2011a). Die Daten umfassen aktuell die Umweltkennwerte von 4 Vollholzprodukten und bauen – zumindest hinsichtlich der referenzierten Datenquellen – im Wesentlichen auf den in Kapitel 1.3.2 beschriebenen Literaturquellen auf.

Für die Bereitstellung von Ökobilanzdatensätzen in der Europäischen ELCD -Datenbank bietet die EU-Kommission auf ihrem Internetportal seit dem Jahr 2009 für die ein umfangreiches Paket für die Entwicklung, Dokumentation und Veröffentlichung von Ökobilanzdaten zum Herunterladen an. Es enthält u.a. XML Schema-Ordner und XSLT Stylesheets für die Aufbereitung der Daten in HTML Format, ihre Validierung und Konformitätsprüfung. Außerdem werden mit dem ILCD Handbuch spezifische Anforderungen und Vorgaben für eine Berücksichtigung von Daten in der Datenbank formuliert. Diese werden in Kapitel 2.2 beschrieben.

## 1.4 Ableitung des Handlungsbedarfs

Bereits zu Beginn der Projektdurchführung war absehbar, dass die bis dato vorhandenen Berechnungen und Ergebnisse von Ökobilanzen den zukünftigen Anforderungen im Bereich des Nachhaltigen Bauens nur äußerst eingeschränkt genügen würden.

**Tabelle 1-5: Datenlage und Ableitung des Handlungsbedarfs für Vollholzprodukte**

Produkt	Datenlage und Handlungsbedarf
Frisches Nadelschnittholz	Umfassende Ökobilanzen sind verfügbar, entsprechen jedoch nicht den Anforderungen an geografische oder zeitliche Repräsentativität. Daten müssen aktualisiert und der Methodik angepasst werden. Daten können für eine Identifizierung der Sachbilanzen der im Vollholzbereich relevanten Stoff- und Energieströme genutzt werden.
Kammergetrocknetes Nadelschnittholz	
Frische Laubschnittholz	
Kammergetrocknetes Laubschnittholz	
Hobelware (Nadelholz)	
Konstruktionsvollholz (Nadelholz)	Es sind keine relevanten Ökobilanzdaten verfügbar. Die für die Sachbilanz relevanten Stoff- und Energieflüsse können mit Hilfe von Literatur (s. Kapitel 1.3.2) und ergänzenden Publikationen zu technischen Aspekten identifiziert werden.
Brettschichtholz (Nadelholz)	
Balkenschichtholz (Nadelholz)	
Brettsperrholz	
Schichtplatten	
Massivholzparkett	Umfassende Daten sind vorhanden. Sie müssen jedoch aktualisiert und an methodische Änderungen angepasst werden. Daten können für eine Identifizierung der Sachbilanz der im Parkettbereich relevanten Stoff- und Energieströme genutzt werden.

Zwar wurden die Anforderungen an Ökobilanzdatensätze erst während der Laufzeit des Projektes konkretisiert (s. Kapitel 2.2), doch ergab sich bereits im Vorfeld des Projektbearbeitung folgendes Bild,

welches in den unten stehenden Tabellen 1-5 und 1-6 für den Bereich der Vollholzprodukte und Holzwerkstoffe dargestellt ist.

**Tabelle 1-6: Datenlage und Ableitung des Handlungsbedarfs für Holzwerkstoffe**

Produkt	Datenlage und Handlungsbedarf
Spanplatte roh	Umfassende Daten sind verfügbar, entsprechen jedoch nicht den Anforderungen an die zeitliche Repräsentativität. Sie müssen daher aktualisiert und der Methodik angepasst werden. Daten können für eine Identifizierung der Sachbilanzen der im Holzwerkstoffbereich relevanten Stoff- und Energieströme genutzt werden.
Spanplatte, beschichtet	
Röhrenspanplatte	Kein Daten vorhanden
Faser-Dämmstoffplatte	Kein Daten vorhanden
Mitteldichte Faserplatte	Umfassende Daten sind verfügbar, entsprechen jedoch nicht den Anforderungen an die zeitliche Repräsentativität. Daten müssen daher aktualisiert und der Methodik angepasst werden. Daten können für eine Identifizierung der Sachbilanzen der im Holzwerkstoffbereich relevanten Stoff- und Energieströme genutzt werden.
Hochdichte Faserplatte	
Oriented Strand Board	
Sperrholz	Keine Daten vorhanden
Fertigparkett auf Holzwerkstoffbasis	siehe Massivholzparkett

So wurden zu Projektbeginn die verfügbaren Ökobilanzdatensätze den in Kapitel 1.3.1 beschriebenen Produktgruppen zugeordnet. Für keines der identifizierten Holzprodukte waren jedoch Ökobilanzdaten im Sinn des in Kapitel 1.2 beschriebenen Projektziels verfügbar. Im Zuge der Zusammenstellung vorhandener Daten zeigte sich zwar, dass sich die bereits vorhandenen Daten grundsätzlich in Bezug auf ihre Vielfalt für den Aufbau einer Ökobilanz-Basisdatenbank eignen, diese aber weder die nötige Repräsentativität, noch den nötigen transparenten Charakter aufweisen, der den neuen Anforderungen an die Verwendung bei der Nachhaltigkeitsbewertung von Gebäuden entspricht. Dies führte zu der Schlussfolgerung, dass Primärdaten in Zusammenarbeit mit der Holzindustrie für die Erstellung von Ökobilanzen erhoben werden mussten. Aufgrund starker Abhängigkeiten in Bezug auf die eingesetzten Rohstoffe und Verbindungen der Holzverarbeitenden Industrie untereinander sollte eine methodisch möglichst konsistente, zeitlich und geographisch zusammenhängende Erhebung durchgeführt werden.

## 1.5 Zusammenarbeit mit der deutschen Holzindustrie

MANTAU und SÖRGELEL ermittelten für das Jahr 2004 insgesamt 2.465 existierende Betriebe der Sägeindustrie in Deutschland, von welchen etwa drei Viertel Rohholzmengen unter 5000 Fm einschneiden, und gerade einmal 7,3 % des Gesamtschnittes ausmachen (MANTAU, SÖRGELEL 2006). Um im Rahmen einer Datenerhebung eine Abdeckung von beispielsweise 65 % des Gesamtschnittes zu erreichen müssten nach diesen Angaben mindestens 62 Werke mit einer Einschnittkapazität von mindestens

100.000 Fm pro Jahr untersucht werden. Zudem werden die unterschiedlichsten Vollholzprodukte hergestellt. So reicht das Produktportfolio einzelner Unternehmen von einfachem Schnittholz über Hobelware und Konstruktionsvollholz, bis hin zu hoch veredelten Brettsperrholz-Wandelementen oder gekrümmten Brettschichtholzträgern. Für die Herstellung der unterschiedlichen Produkte werden jedoch die gleichen Prozesse genutzt und der Rohstoff Holz wird in verschiedenen Veredelungsstufen zugekauft. Letzteres betrifft auch Rohstoffe, die ebenso vor Ort anfallen oder hergestellt werden können. Besonders die Produktvielfalt bei einzelnen Unternehmen birgt die Schwierigkeit, die auf Werkebene erhobenen Daten, wie etwa den gesamten Stromverbrauch pro Jahr, auf die hergestellten Produkte aufzuteilen. Die Vielfalt der Produkte in der Holzwerkstoffindustrie zeigt sich vornehmlich in unterschiedlichen Materialdichten und den verwendeten Zusatzstoffen. Im Vergleich zur Sägeindustrie ist die Anzahl der Standorte der Holzwerkstoffindustrie in Deutschland jedoch deutlich geringer. Für einzelne Werke ergab sich bei der Erhebung von Daten allerdings die Herausforderung, die Werte auf Grund einer kombinierten Produktion unterschiedlicher Holzwerkstoffe und Vollholzprodukte richtig zuzuordnen. In diesen Fällen sind die Prozesse zur Herstellung der Produkte zwar grundlegend verschieden, wichtige Teile der Infrastruktur werden jedoch von mehreren Produktionslinien genutzt.

Aufgrund dieser Rahmenbedingungen war eine Beteiligung der deutschen Holzindustrie für eine erfolgreiche Erreichung der Projektziele dieses Forschungsvorhabens unabdingbar. Nur durch die Kooperation mit allen relevanten Verbänden der Holzverarbeitenden Industrie, die im Rahmen ihrer Tätigkeit als Dachverband oder produktspezifischer Verband die Organisation der Primärdatenerhebung unterstützen (s. Kapitel 2.3), konnte die erfolgreiche Umsetzung des definierten Handlungsbedarfs im Rahmen der Projektarbeit sichergestellt werden.

Folgende Verbände unterstützten die Durchführung des Projektes:

- **DHWR**, Deutscher Holzwirtschaftsrat e.V.  
Adenauerallee 55, 53113 Bonn, <[www.dhwr.de](http://www.dhwr.de)>



Deutscher Holzwirtschaftsrat e.V.

- **BS-Holz, Studiengemeinschaft Brettschichtholz e.V.**  
Elfriede-Stremmel-Straße 69, 42369 Wuppertal, <[www.brettschichtholz.de](http://www.brettschichtholz.de)>



- **BSHD**, Bundesverband Säge- und Holzindustrie Deutschland  
Reinhardtstraße 18, 10117 Berlin, <[www.bshd.eu](http://www.bshd.eu)>



- **Ü-KVH**, Überwachungsgemeinschaft Konstruktionsvollholz e.V.  
Elfriede-Stremmel-Straße 69, 42369 Wuppertal, <[www.kvh.eu](http://www.kvh.eu)>

**KVH® - Duobalken® - Triobalken®**



- **vdp**, Verband der Deutschen Parkettindustrie e.V.  
Flutgraben 2, 53604 Bad Honnef, <[www.parkett.de](http://www.parkett.de)>



- **VDS**, Verband der Deutschen Säge- und Holzindustrie e.V.  
Postfach 61 28, 65051 Wiesbaden, <[www.saegeindustrie.de](http://www.saegeindustrie.de)>



- **VHI**, Verband der Deutschen Holzwerkstoffindustrie e.V.  
Ursulum 18, 35396 Gießen, <[www.vhi.de](http://www.vhi.de)>





## 2 Methodik und Vorgehensweise

In diesem Kapitel wird zunächst die Methodik der Ökobilanz nach DIN EN ISO 14040:2006 und DIN EN ISO 14044:2006 vorgestellt. Die Vorgehensweise bei der für die Berechnung einer Ökobilanz notwendigen Datenerhebung mit Fragebögen, welche in Zusammenarbeit mit der deutschen Holzindustrie während der gesamten Projektlaufzeit stattfand, wird in Kapitel 2.4.1 beschrieben.

Aufgrund der Entwicklung internationaler Normensätze im Bereich des Nachhaltigen Bauens ergaben sich noch während der Projektlaufzeit neue und weitergehende Anforderungen an Ökobilanzdatensätze, die in Kapitel 2.2 vorgestellt werden. Die Ablaufplanung des Projektes ist in Kapitel 2.3 dargelegt.

### 2.1 Ökobilanzierung nach DIN EN 14040/44

Zur ökologischen Bewertung von Produkten wird die Methode der Ökobilanz nach DIN EN ISO 14040 und 14044 als hilfreiches Werkzeug national und international seit vielen Jahren erfolgreich in Industrie und Forschung angewandt. Mit ihrer Hilfe lassen sich Produkte aus Sicht der Umwelt verlässlich über so genannte Indikatoren, d.h. die jeweiligen ökologischen Auswirkungen auf ausgewählte Umweltschutzziele (z.B. Treibhauseffekt, Sommersmog, Versauerung) einordnen. Die DIN EN ISO 14040:2006 definiert eine Ökobilanz als eine „Zusammenstellung und Beurteilung der Input- und Outputflüsse und der potentiellen Umweltwirkungen eines Produktsystems im Verlaufe seines Lebensweges“ (DIN 2006b:7). Nach den Vorgaben dieser Norm besteht eine Ökobilanz aus vier Phasen, wobei die Vorgehensweise iterativ ist. Dies bedeutet, dass in den „einzelnen Phasen einer Ökobilanz [...] die Ergebnisse der anderen Phasen verwendet [wird]. Der iterative Ansatz innerhalb der und zwischen den Phasen trägt zur Ganzheitlichkeit und Konsistenz der Studie und der im Bericht angegebenen Ergebnisse bei.“ (DIN 2006b:19) Die Phasen einer Ökobilanz untergliedern sich wie folgt:

#### ■ Festlegung des Ziels und Untersuchungsrahmens

In dieser ersten Phase wird festgelegt, was das Ziel der Untersuchung ist, in welchen Grenzen das definierte System untersucht wird und mit welchem Detailgrad die Untersuchung durchgeführt wird. Zugleich wird die funktionelle Einheit bestimmt, die „den quantifizierte Nutzen eines Produktsystems für die Verwendung als Vergleichseinheit festlegt“. Sie dient dazu „einen Bezug zu schaffen, auf den die Input- und Outputflüsse bezogen werden“ und ist notwendig, „um Vergleichbarkeit der Ergebnisse von Ökobilanzen sicherzustellen.“ (DIN 2006b:10,24)

Die Festlegung des Untersuchungsrahmens bzw. das Setzen der Systemgrenze die das Produktsystem beschreibt, definiert die Norm als Festlegung auf „Modelle [...], die die wichtigsten Elemente physischer Systeme beschreiben. Die Systemgrenze legt die Prozessmodule fest, die in das System einzubeziehen sind. Im Idealfall sollte das Produktsystem so modelliert werden, dass die Inputs und Outputs an seinen Grenzen Elementarflüsse sind.“ (DIN 2006b)

### ■ Sachbilanz

Die Phase der Erstellung der Sachbilanz umfasst die Datenerhebung, Datenberechnung und die Allokation von Flüssen und Emissionen. Hierzu werden alle Daten zu Inputs und Outputs aufgenommen, die sich auf das in der ersten Phase definierte Produktsystem beziehen. Daten zu Inputs und Outputs sind in diesem Kontext Produkt-, Stoff-, oder Energieflüsse, die den einzelnen Prozessen des Lebensweges eines Produktes (s.g. Prozessmodule) zugeordnet werden können. „Die Datenerhebung kann ein aufwendiger Prozess sein. Praktische Einschränkungen bei der Datenerhebung sollten im Untersuchungsrahmen berücksichtigt und im Bericht zur Studie aufgeführt werden.“ (DIN 2006b:26) Mit der Datenerhebung sind zugleich die Berechnung und Validierung der gesammelten Daten nötig, um die gewünschten Ergebnisse für die festgelegte funktionelle Einheit zu erhalten. Speziell im Fall von betrachteten Systemen, die mehrere Produkte erzeugen oder verarbeiten, ist die Anwendung von Allokationsverfahren notwendig.

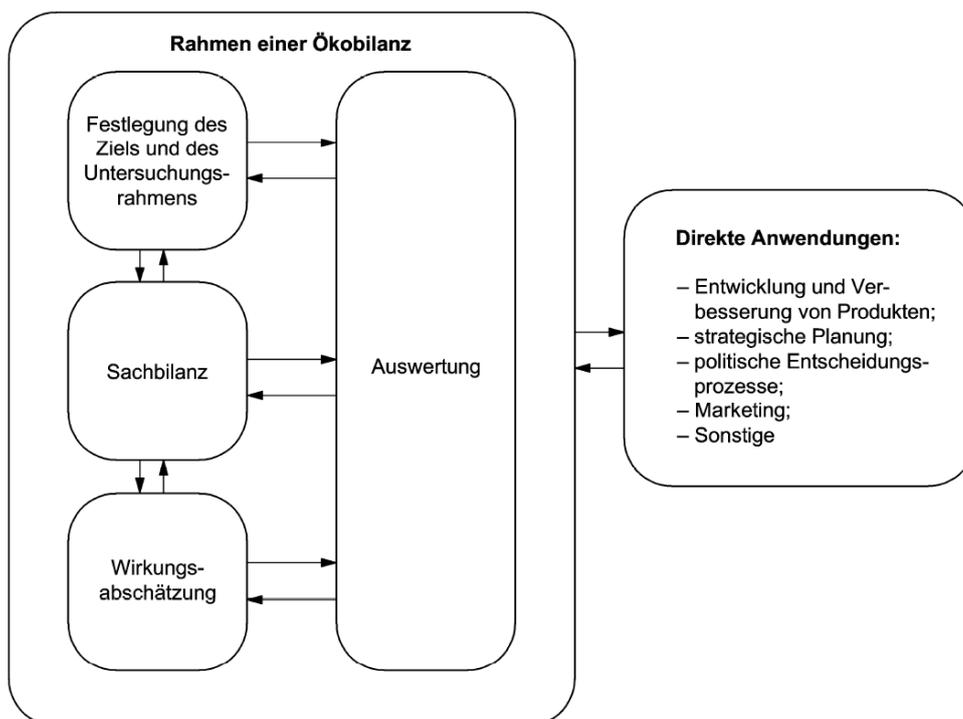


Abbildung 2-1: Phasen einer Ökobilanz nach ISO EN DIN 14040:2006 (DIN 2006b)

### ■ Wirkungsabschätzung

Die Wirkungsabschätzung verknüpft die ermittelten Daten zu Inputs und Outputs, um eine Beurteilung der Bedeutung potenzieller Umweltwirkungen vornehmen zu können. Dies „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.“ (DIN 2006b:27) Die Wirkungsabschätzung umfasst als verbindliche Bestandteile die Aus-

wahl der Wirkungskategorien und Charakterisierungsmodellen, eine Zuordnung der Sachbilanzergebnisse und die Berechnung der Indikatorwerte. Darüber hinaus kann optional eine Normierung, Ordnung oder Gewichtung der Ergebnisse vorgenommen werden.

#### ■ **Auswertung**

In dieser letzten Phase werden die Ergebnisse der Sachbilanz und der Wirkungsabschätzung gegenübergestellt um Schlussfolgerungen zu ziehen und die Aussagekraft der Ergebnisse einzuordnen. Hierdurch soll die aus der ersten Phase resultierende Zielvorgabe erfüllt werden. Zugleich sollte die Auswertung „die Tatsache widerspiegeln, dass die Ergebnisse der Wirkungsabschätzung auf einem relativen Ansatz beruhen“ und daher potenzielle Umweltwirkungen anzeigen (DIN 2006b:31). Diese vierte Phase muss nicht notwendigerweise Teil der Ökobilanzierung sein. Sollen beispielsweise nur Hintergrunddaten zur Verfügung gestellt werden, die als Grundlage weiterführender Ökobilanzen genutzt werden können, so kann die Ökobilanzierung dieser Datensätze mit der dritten Phase beendet sein.

Die Festlegung des Ziels der Ökobilanzrechnungen im Rahmen dieses Projektes ergibt sich aus dem in Kapitel 1.2 beschriebenen Projektziel und folgt im Wesentlichen den Anforderungen, welche durch die Vorgaben im Bereich des Nachhaltigen Bauens bestimmt werden. Diese wurden noch während der Projektlaufzeit konkretisiert und werden in ihrer Bedeutung für die Erstellung von Ökobilanzen im folgenden Kapitel 2.2 vorgestellt. Der letztendlich in dieser Studie festgelegte Untersuchungsrahmen wird in Kapitel 2.5 thematisiert. Zuvor beschreibt Kapitel 2.4 die weitere Vorgehensweise bei der Erstellung der Sachbilanzen, während die daraus berechneten Umweltwirkungen für jedes Produkt in Kapitel 3 dargestellt werden.

## **2.2 Weitere Anforderungen an Ökobilanzdaten**

Neben der Ökobilanzierung nach DIN EN ISO 14040/44:2006 (DIN 2006a; DIN 2006b), auf deren Grundlage bereits aus der Literatur verfügbare Ökobilanzdaten erstellt worden sind, setzt die Norm EN 15804:2012 als Teil des europäischen Normensatzes im Bereich des Nachhaltigen Bauens weitere Maßstäbe für die Erstellung qualitativ hochwertiger Ökobilanzdatensätze. Ihre Entwicklung wurde im Rahmen des Normungsprozesses im CEN/TC 350 während der Projektlaufzeit vorgenommen und mit Umsetzung letzter redaktioneller Änderungen aus November 2011 erst nach Ende der Projektlaufzeit abgeschlossen (CEN 2012). Wie in Kapitel 1.3.3 näher beschrieben, stellt sie allgemeine Grundregeln für die Bewertung sämtlicher Bauprodukte auf. Sie konkretisiert vor allem die in DIN EN ISO 14040/44:2006 flexibel gehaltenen Rahmenbedingungen und definiert feste Abgrenzungen der Produktlebensstadien. Ihre Anwendung führt zu mehr Transparenz und Vergleichbarkeit der Ergebnisse.

Auch die Generaldirektion Umwelt der Europäischen Kommission veröffentlichte in 2010 einen Leitfaden zur Abschätzung von Umweltauswirkungen für Produkte (ILCD Handbuch), welcher für die Verwendung durch Politik und Wirtschaft erstellt wurde und detaillierte Anforderungen an Ökobilanzdatensätze enthält (EC 2010c). Danach muss für eine Veröffentlichung von Daten auf der ELCD Plattform

neben der Einhaltung der DIN EN ISO 14040/44:2006 folgender Mindeststandard erfüllt werden (EC 2010a:4):

- Minstdokumentation des Datensatzes (u.a. Einhaltung des ILCD-Formats für den Datensatz)
- Erfüllung der Anforderungen an die verwendete Nomenklatur (dies beinhaltet z.B. die Nutzung der ILCD Elementarflüsse)

Für eine vollständige Erfüllung der Vorgaben müssen bei einer Modellierung die ILCD Terminologie verwendet und weitergehende Anforderungen an die Datenqualität erfüllt werden. Danach sollen die Daten technologisch, geographisch und zeitlich repräsentativ sein, die Umweltwirkung umfassend beschreiben, Aussagen zur Variabilität der Daten enthalten, sowie methodisch angemessen und konsistent sein. Letzteres soll durch eine korrekte und konsistente die Anwendung des vorgeschlagenen Modellierungsrahmens (s. Kapitel 2.2.1.2) gewährleistet werden. Zudem müssen die Daten durch einen „unabhängigen externen Gutachter“, der im ILCD Gutachterverzeichnis registriert ist, begutachtet werden, der die Ergebnisse in einem von der Dokumentation unabhängigen Bericht zusammenfasst (EC 2010a:5). Eine genaue Beschreibung der Anforderungen ist im *Specific guide for Life Cycle Inventory (LCI) data sets* als Teil des ILCD Handbuchs zu finden (EC 2010f:107)

Die zentrale Neuerung betrifft jedoch die Vorgaben für eine Unterteilung des Lebenszyklus der zu untersuchenden Produkte in Lebensabschnitte bzw. Informationsmodule, um die Systemgrenzen transparent und eindeutig zu definieren und untergliedern zu können. Daraus ergeben sich methodische Herausforderungen hinsichtlich der Aufteilungen von Umweltlasten auf die definierten Produktsysteme und deren Interaktionen mit andere Produktsystemen (z.B. Koppelprodukte), welche Systemraumerweiterungen notwendig machen können.

## 2.2.1 Definition der Systemgrenzen und des Produktsystems

Zunächst werden in diesem Kapitel in allgemeiner Form neue Anforderungen an die Rahmenbedingungen des Produktsystems erläutert, die sich direkt aus Veröffentlichung der Norm EN 15804 bzw. dem ILCD Handbuch ergeben, und welche im Rahmen der Zielstellung in dieser Untersuchung von Bedeutung sind. Die Umsetzung dieser Anforderungen für die in diesem Projekt definierten Produktsysteme wird anschließend in Kapitel 2.5 beschrieben.

### 2.2.1.1 Einteilung in Lebensabschnitte bzw. Module nach EN 15804

Nach EN 15804:2012 werden die Lebensabschnitte eines Produktes in Informationsmodulgruppen A bis D unterteilt, um für eine Bilanzierung auf Gebäudeebene harmonisierte Informationen bereitstellen zu können. Die Definition der aus einer Kombination aus Buchstaben und Ziffern bestehenden Bezeichnung der Informationsmodule ist aus Abbildung 2-2 ersichtlich (vgl. CEN 2012).

Der Modulblock A, bestehend aus den Modulen A1 bis A5, bezieht sich auf die Produktion der Baustoffe (A1 bis A3) und auf die Errichtung des Gebäudes (A4 bis A5). Der Modulblock B mit den Informationsmodulen B1 bis B7 thematisiert die verschiedenen Aspekte der Nutzung des Gebäudes inklusive

der benötigten Energie und dem Wasser zur Betreibung der Technischen Gebäudeausstattung (TGA) sowie Aufwendungen für die Instandhaltung und Reparatur der Bauteile. Am Ende des Lebenszyklus wird das Gebäude abgerissen und die anfallenden Baustoffe werden entsorgt bzw. recycelt. Dies wird in den Informationsmodulen zur Entsorgung C1 bis C4 thematisiert. Alle möglichen Last- und Gutschriften über den Lebensweg des Produktsystems hinaus, welche bei der Wiederverwendung oder dem Recycling des Produktes, wie auch bei der Rückgewinnung von Rohstoffen entstehen können, werden in Modul D bilanziert.

Informationen für den Lebensweg des Gebäudes					Ergänzende Informationen	
Produkt		Bau	Nutzung		Ende Lebensweg	Potentiale
A1 - Rohstoffbereitstellung / -verarbeitung	A2 - Transport zum Hersteller	A3 - Herstellung	A4 - Transport zur Baustelle	A5 - Einbau in das Gebäude	B1 - Nutzung / Anwendung des Produkts	D - Wiederverwendungs-, Rückgewinnungs-, Recyclingpotential
					B2 - Instandhaltung	
					B3 - Reparatur	
					B4 - Ersatz	
					B5 - Umbau / Erneuerung	
					B6 - Energieeinsatz für TGA	
					B7 - Wassereinsatz für TGA	
					C1 - Rückbau / Abriss	
					C2 - Transport	
					C3 - Abfallbehandlung	
					C4 - Deponierung	

**Abbildung 2-2: Stadien des Lebenswegs und Informationsmodule eines Produktsystems nach EN 15804:2012**

Die Norm unterscheidet zudem drei mögliche Typen der Ausgestaltung von Umweltproduktdeklarationen, je nachdem welche Stadien des Lebensweges von Produkten bei der Bilanzierung erfasst werden.

Sollen die Aufwendungen nur für das Produktstadium, also von der Bereitstellung der Rohstoffe bis zum Werkstor der Produktion abgebildet werden, reichen Angaben zu den Lebenszyklusabschnitten der betroffenen Module A1 bis A3. Dies gilt für die Bereitstellung von allgemeinen Produktökobilanzen, die nicht speziell auf die Art oder den Ort des Einbaus des Produktes in ein Gebäude eingehen, und stellt als *cradle to gate* Option die Mindestanforderung der EN 15804 dar.

Als zweite Möglichkeit können über das Produktstadium hinaus optional weitere Lebensabschnitte mit einer Darstellung von Szenarien einbezogen werden, sofern Informationen hierüber vorliegen. Produktökobilanzen, welche nach diesem Schema vorgehen, umfassen die Module A1 bis A3 sowie zum Beispiel die Module C2 bis C4 und D. EN 15804 wählt hier den Wortlaut „von der Wiege bis zum Werkstor mit Optionen“ (*cradle to gate with options*). Während die Abschnitte des Lebensweges von

A4 bis C1, d.h. vom Transport der Baustoffe zum Gebäude bis zum Rückbau der Baustoffe bzw. Abriss des Gebäudes, stark von der jeweiligen Verwendung der Baustoffe im Gebäude abhängen, werden die angenommenen Szenarien zur Entsorgung der Produkte maßgeblich durch technische, gesetzliche und wirtschaftliche Rahmenbedingungen bestimmt. Die mit den einzelnen Entsorgungswegen verbundenen Umweltwirkungen wiederum sind in der Regel von der Elementarzusammensetzung der Produkte abhängig, welche sich während der Nutzung im Gebäude nicht verändert.

Grundsätzlich hat die Ökobilanzierung von Produkten den Anspruch, alle Umwelteinflüsse durch den Gebrauch bzw. die Herstellung der Produkte von der Wiege bis zur Bahre (*cradle to grave*), also von Bereitstellung der Rohstoffe bis zur Entsorgung der Abfallstoffe am Ende des Lebenszyklus, abzubilden. Als dritte Möglichkeit der Ausgestaltung nach Norm EN 15804:2012 beschreibt eine Umweltproduktdeklaration daher den gesamten Lebenszyklus des Produktes, die dann „von der Wiege bis zur Bahre“ alle Informationen der Abschnitte A1 bis C4 enthält. Eine Ausnahme hiervon bildet das Informationsmodul D.

### 2.2.1.2 Definition des Produktsystems nach ILCD Handbuch der EU-Kommission

Die im ILCD Handbuch beschriebene Methodik kann im Prinzip universell für alle Ökobilanz-Fragestellungen verwendet werden, und legt, abgesehen von den in DIN EN ISO 14044:2006 beschriebenen Anforderungen, kein einheitliches Vorgehen bei Systemraumabgrenzungen fest.

Im Zuge der Modellierung soll jedoch festgelegt werden, welche möglichen Entscheidungen auf Basis der Ergebnisse der Ökobilanz getroffen werden könnten, und welche Auswirkungen hiermit zusammenhängen. Der Anwendungsbereich einer Ökobilanz bedingt also eine Festlegung auf ihren Entscheidungskontext (*decision-context situation*), der wiederum die Art der Systemmodellierung und somit auch die Systemgrenzen der Untersuchung bestimmt (EC 2010c:36 ff.). Die Qualität der Entscheidung und der Rahmen in dem sie gefällt wird, wird nach ILCD in drei verschiedene Situationen unterschieden.

**Tabelle 2-1: Der Entscheidungskontext: Entscheidungshilfe und Auswirkung der Umweltbewertung auf Hintergrundprozesse oder andere Systeme (EC 2010c:38)**

Entscheidungshilfe?	Ja	Art der Auswirkungen auf Hintergrundsystem / andere Systeme	
		Keine oder geringe	Erhebliche
		Situation A „Entscheidungshilfe auf Mikroebene“	Situation B „Entscheidungshilfe auf Meso/Makro-Ebene“
	Nein	Situation C "Anrechnung" (C1 bezieht Interaktionen mit anderen Systemen ein, C2 bezieht keine Interaktion mit anderen Systemen ein)	

Unter **Situation A** sind die Effekte auf Mikroebene zu suchen. Dies bedeutet, dass durch die anstehende Entscheidung nur sehr geringe Rückkopplungen auf die Berechnungsgrundlage der ökobilanziellen Bewertungen angenommen werden muss. Dies gilt oftmals für produktspezifische Fragestellungen, welche keine oder fast keine strukturellen Auswirkungen außerhalb des Entscheidungskontextes erwarten lassen, beispielsweise Änderungen der Produktionskapazität (EC 2010a:6). Im Gegensatz hierzu werden für **Situation B** Auswirkungen auf Meso- bzw. Makroebene einkalkuliert. Hierunter versteht man Ökobilanzergebnisse, die als Entscheidungshilfe auf strategischer Ebene dienen können. Dies betrifft beispielsweise Rohstoffstrategien, Technologieszenarien oder Politikoptionen, die auch Änderungen in der Produktionskapazität erwarten lassen. **Situation C** (Anrechnung) geht schließlich davon aus, dass auf Grundlage der Ergebnisse keine Entscheidung getroffen wird, sondern dient ausschließlich der Beschreibung des betrachteten Systems. Es soll jedoch differenziert werden, ob Interaktionen mit anderen Produktsystemen einbezogen werden sollen (Situation C1) oder nicht (Situation C2). In Situation C1 können beispielsweise Recyclingpotentiale eines Produktes abgebildet werden. Tabelle 2-1 zeigt einen Überblick über das Schema.

Neben der Definition des Entscheidungskontextes und der damit verbundenen methodischen Rahmensetzung strukturiert das ILCD Handbuch die verschiedenen Bereiche des betrachteten Systems in Untersysteme. Dabei wird in ein Vordergrund- und Hintergrundsystem unterschieden. Das Vordergrundsystem beinhaltet alle spezifischen und das Hintergrundsystem alle unspezifischen Aspekte des betrachteten Systems. Spezifisch im Sinne dieser Festlegung sind alle Gesichtspunkte, die charakteristisch für das Produktsystem sind und auf den Merkmalen weniger Hersteller oder Prozesse beruhen.

### 2.2.2 Allokation und Systemraumerweiterung

Bei sehr vielen Produktionsprozessen entstehen neben den Produkten, die das Ergebnis der Intention des Herstellungsprozesses darstellen, weitere Produkte, sogenannte Co- oder Nebenprodukte. Diese können beispielsweise in anderen Produktsystemen als Rohstoff Anwendung finden oder ersetzen durch ihre Nutzung wieder andere Produkte. Ebendies findet häufig am Ende des Lebenszyklus von Produkten statt, sofern Wertstoffe recycelt oder für die Energiegewinnung eingesetzt werden. Entfernt man im Zuge einer Ökobilanzrechnung die Aufwendungen dieser Nebenprodukte und Reststoffe aus den untersuchten Systemen, spricht man von Allokation (s. Kapitel 2.1). Werden die Umweltwirkungen anderer Systeme, die mit diesen Nebenprodukten und Reststoffen interagieren, in das betrachtete System mit eingerechnet, spricht man von Systemraumerweiterungen.

Die anzuwendende Systematik zur Bewertung dieser Nebenprodukte und Reststoffe kann nicht alleine aus der DIN EN ISO 14040 und 14044 abgeleitet werden. Die Normenreihe ist zu allgemein formuliert, als dass eine entsprechende Vorgabe erfolgen kann. Beide hier vorgestellten Richtlinien, die Norm EN 15804:2012 und das ILCD Handbuch, stellen für diesem Bereich konkretere Anforderungen. DIN EN ISO 14044:2006 gibt zunächst nur einen Rahmen vor, indem eine Reihenfolge der anzuwendenden Systematik aufgestellt wird. Demnach ist jede Allokation zunächst zu vermeiden, sofern die Prozessmodule in Teilprozesse unterteilt und den Produkten eines Systems separat zugeordnet werden können. Ist dies nicht möglich, werden Systemraumerweiterungen priorisiert, die zusätzliche

Funktionen umfassen, welche sich auf die Nebenprodukte oder Reststoffe beziehen. Ist auch dies nicht möglich, sollen die Inputs und Outputs eines Systems den verschiedenen Produkten so zugeordnet werden, dass sie die physikalischen Beziehungen (z.B. die Massenverteilung) zwischen ihnen widerspiegeln, oder, sofern dies nicht sinnvoll ist, Unterschiede in anderen Eigenschaften widerspiegeln (z.B. den ökonomischen Wert). Sinnvoll bedeutet in diesem Zusammenhang, dass die Methodik die Abhängigkeiten der Produkte zueinander erfasst, indem sie auf quantitative Änderungen einzelner Produkte realitätsnah reagiert. Allokationen werden daher – sofern sie durchgeführt werden müssen – hinsichtlich ihrer Berechnungsbasis (also Masse, unterer Heizwert, Exergie, Preis, etc.) spezifiziert.

### **2.2.2.1 Allokation und Systemraumerweiterung nach EN 15804**

Zunächst definiert die EN 15804:2012, dass die Systemgrenzen für das Produktstadium A1-A3 (von der Wiege bis zum Werkstor) so gelegt sind, „dass die in das System Material- und Energieinputs liefernden Prozesse, die auf diese Prozesse folgenden Herstellungs- und Transportprozesse bis zum Werkstor sowie die Behandlung aller Abfälle, die durch diese Prozesse entstehen, Teil des Systems sind.“ Weiter schreibt die Norm: „Gehen Sekundärstoffe oder Energie aus Sekundärbrennstoffen in das System hinein, liegt die Systemgrenze zwischen dem untersuchten System und dem vorausgehenden System, das die Sekundärstoffe liefert.“ (CEN 2012:20) Diese Systemgrenze wird durch den Punkt der vollständigen Abfallbehandlung (*end-of-waste state*) beschrieben. Er ist erreicht wenn:

- der Reststoff am Ende des Modulblocks C gemeinhin für bestimmte Zwecke verwendet wird,
- ein Markt, charakterisiert durch einen positiven ökonomischen Wert, für das zurückgewonnene Material oder eine Nachfrage für den Reststoff besteht,
- der Reststoff die technischen Anforderungen für die bestimmten Zwecke erfüllt und den bestehenden Rechtsvorschriften und Normen genügt, sowie
- die Verwendung des zurückgewonnenen Materials nicht zu insgesamt schädlichen Umwelt- oder Gesundheitsfolgen führt. (CEN 2012:23)

Zudem wird definiert, dass „Flüsse, die das System im Produktionsstadium (A1-A3) an der Systemgrenze der vollständigen Abfallbehandlung verlassen, [...] als Co-Produkte behandelt werden“ müssen. Somit gelten die gleichen Bedingungen bei der Wahl der Systemgrenze für die Flüsse, die in das Produkt als Sekundärstoff hineingehen, wie für die Flüsse, die das System als Co-Produkt verlassen. Weiter schreibt die Norm, dass „Lasten und Gutschriften, die den Co-Produkten zugeordnet sind, [...] nicht in Modul D deklariert werden [dürfen]. Sollte eine solche Co-Produkt-Allokation nicht sinnvoll möglich sein, können andere Methoden gewählt werden, die begründet werden müssen. Deshalb erscheinen im Sinne einer allgemeinen Regel, Lasten und Gutschriften aus A1-A3 nicht in Modul D.“ (CEN 2012:20)

Für die Bewertung von zu entsorgenden Abfällen, die nach der Herstellung entlang des Lebenszyklus des Produktes entstehen, können somit begründete Systemraumerweiterungen durchgeführt werden, welche das Wiederverwendungs-, Rückgewinnungs- oder Recyclingpotential von Produkten beschreiben, und die im Informationsmodul D dargestellt werden. Die Abgrenzung zwischen den Modulen, in welchen die Abfälle anfallen, und dem Modul D (Potential) wird ebenfalls wieder durch den Punkt der

vollständigen Abfallbehandlung definiert. Die Berechnung der Nettoflüsse in Modul D erfolgt in drei Schritten.

Zunächst werden die Outputflüsse der Sekundär(brenn)stoffe mit den Inputflüssen dieser Sekundär(brenn)stoffe verrechnet, wodurch man die Netto-Outputflüsse der jeweiligen Sekundär(brenn)stoffe des gesamten Systems erhält. Dabei ist in der Norm nicht explizit beschrieben, ob nach Sekundärbrennstoffen und Sekundärstoffen zu unterscheiden ist. Im Rahmen dieser Studie wird diese Unterscheidung durchgeführt, so dass im Szenario der stofflichen Verwertung der Althölzer nur die zuvor stofflich eingesetzten Fraktionen und im Szenario der energetischen Verwertung nur die zuvor energetisch eingesetzten Holzmengen miteinander verrechnet werden. Um nun eine Systemraumerweiterung überhaupt durchführen zu können, müssen anschließend diese verbliebenen Sekundär(brenn)stoffe bzw. Co-Produkte, für welche ein solches Potential abgebildet werden soll, in ein Stadium überführt werden, in welchem sie einem Rohstoff aus primärer Produktion oder seinem funktionalen Äquivalent entsprechen würden und diesen auch substituieren könnten. Dabei werden alle Aufwendungen der Recyclingschritte, die nach dem Punkt der vollständigen Abfallbehandlung anfallen und das Produkt zu dem funktionalen Äquivalent aufwerten, addiert, und anschließend die Aufwendungen der Bereitstellung des substituierten Produktes hiervon subtrahiert.

Als letzten Punkt sieht die Norm EN 15804:2012 vor, dass „ein begründeter Wertkorrekturfaktor eingeführt wird, der die Differenz in funktionaler Äquivalenz reflektiert, wenn der Output-Fluss nicht die funktionale Äquivalenz des Substitutionsprozesses erreicht.“ (CEN 2012:31)

### **2.2.2.2 Allokation und Systemraumerweiterung nach ILCD Handbuch**

Wie in Kapitel 2.2.1.2 erläutert, soll nach ILCD Handbuch für die Wahl der adäquaten Systematik zunächst der Entscheidungskontext einer Ökobilanzuntersuchung bzw. der Verwendung ihrer Ergebnisse festgelegt und in eine der drei möglichen Situationen eingeordnet werden.

Für die Situation A, die Auswirkungen auf Mikroebene ohne Interaktionen mit dem Hintergrundsystem oder anderen Systemen annimmt, schlägt das ILCD Handbuch für Nebenprodukte des Herstellungsprozesses Systemraumerweiterungen vor, es sei denn, die Systemraumerweiterungen führen zu sehr komplexen Modellen. Für die Situation C1, welche davon ausgeht, dass eine Entscheidung im Kontext einer Ökobilanz eines Produktsystems ein anderes Produktsystem beeinflusst (vgl. Kapitel 2.2.1.2), soll analog zum vorherigen Fall vorgegangen werden. Sofern jedoch ein Ergebnis ohne Entscheidungsunterstützung und ohne die Annahme von Interaktionen vorliegt (Situation C2), wird die Durchführung von Allokationen vorgeschlagen.

Der Umgang mit Reststoffen am Ende des Lebenszyklus im Rahmen der ILCD Systematik basiert auf einem zur Methodik der EN 15804:2012 sehr abweichenden Verständnis darüber, wie die Bewertung von Recyclingströmen bzw. die Berechnung Gut- und Lastschriften durchgeführt wird. Sehr ähnlich verhält sich zunächst der Vorgang der Identifizierung des finalen Abfallstromes. Während EN 15804:2012 den Punkt der vollständigen Abfallbehandlung über die in Kapitel 2.2.2.1 beschriebenen vier Merkmale definiert, entscheidet nach ILCD Handbuch allein der Marktwert. Ist dieser positiv, so ist der Punkt der vollständigen Abfallbehandlung erreicht. Das ILCD Handbuch nutzt hier den Begriff

„*end-of-life product*“ (EC 2010c:345). Im Wesentlichen entspricht dies im Ergebnis der in EN 15804:2012 beschriebenen Methode, da das Vorhandensein der vier Merkmale entscheidend Einfluss auf den Marktwert hat. Ist eines der vier Merkmale nicht erfüllt, so kann man davon ausgehen, dass das Produkt bei legalem Vorgehen im europäischen Raum keinen positiven Marktwert besitzt. Im Rahmen dieser Untersuchung wird der Punkt der vollständigen Abfallbehandlung daher als identisch für die beiden Vorgehensweisen angenommen.

Der Unterschied der beiden methodischen Grundlagen liegt in dem Verständnis, was der Abfallstrom im Kontext der Umweltbewertung darstellt. Während die EN 15804:2012 einen methodischen Rahmen für die Bewertung aller mit diesem Abfallstrom in Verbindung stehenden Umweltwirkungen in anderen Produktsystemen bereitstellt, und es somit einer Definition dieser anderen Produktsysteme bedarf, definiert das ILCD Handbuch den Abfallstrom als Co-Produkt eines im betrachteten System liegenden Prozesses. Annahmen darüber, ob und in welchem Ausmaß das Abfall- bzw. Co-Produkt in anderen Systemen genutzt wird, sind daher nicht nötig. Der das Co-Produkt erzeugende Prozess wird im ILCD Handbuch *true joint process* genannt (EC 2010c:345). Er ist Teil des Systems und erzeugt ein Produkt, welches mindestens die funktionale Äquivalenz des Abfallstroms bzw. des end-of-life Produktes besitzt. Für die Berechnung wird folglich unterstellt, dass als Produkte dieses Prozesses dann zum einen das Produkt, welches weiterverarbeitet wird, und zum anderen der Abfallstrom selber anfallen. Die Aufwendungen des Prozesses werden anschließend über eine Allokation nach Preis auf diese im *true joint process* anfallenden Produkte aufgeteilt. Diese Vorgehensweise kann für mehrere bzw. geschlossene Recyclingloops jeweils verfeinert oder verkürzt werden.

### 2.2.3 Indikatoren der Umweltbewertung

Die in den Sachbilanzen einer Ökobilanz identifizierten Elementarflüsse sollen in der 3. Phase einer Ökobilanzrechnung, der Wirkungsabschätzung, über Indikatoren hinsichtlich ihrer potentiellen Umweltwirkung bewertet werden (vgl. Kapitel 2.1). Allerdings schreiben die Ökobilanznormen DIN EN ISO 14040 und 14044 hierfür keine festgelegte Auswahl vor, sondern weisen lediglich auf die notwendige Übereinstimmung der ausgewerteten Indikatoren mit dem Anwendungsbereich der Studie hin.

Das ILCD Handbuch hingegen stellt in der Bestimmung 6.7 Mindestanforderungen hinsichtlich der grundsätzlich auszuwertenden Wirkungskategorien auf (EC 2010d:37):

„All impact categories that are environmentally relevant for the LCI/LCA study shall be included, as far as possible and unless the goal definition would explicitly foresee exclusions [...]. Further ones can be included optionally.“

Im diesem Kontext werden ‚klassische‘ Ökobilanz-Wirkungskategorien, wie der Klimawandel, Ozonabbau oder Versauerung, genannt.

Die EN 15804:2012 legt für die Bewertung der Umweltwirkung der definierten funktionalen Einheit eine Wirkungsabschätzung anhand von sieben Wirkungsindikatoren fest. Davon werden fünf Output-bezogene Wirkungsindikatoren, die eine Beeinträchtigung der Umwelt durch Emissionen verursachen,

und zwei Indikatoren mit Bezug zum Verbrauch von Naturgütern ausgewertet. Letztere bewerten den Abbau abiotischer Ressourcen, gewichtet nach verfügbaren Vorräten. Dabei wird das *Potential für den abiotischen Abbau fossiler Energieträger* (ADPF) auf Basis des unteren Heizwertes in MJ angegeben, die Angabe für den Indikator *Potential für den abiotischen Abbau nicht fossiler Ressourcen* (ADPE) wird auf 1 kg des Elementes Antimon (Sb-Äqv.) bezogen. Die fünf Output-bezogenen Wirkungsindikatoren umfassen zwei Indikatoren mit globaler (GWP, ODP) und 3 Indikatoren mit regionaler Wirkung (AP, EP, POCP). Die Indikatoren beschreiben eine potentielle Umweltwirkung, indem die aus dem Produktsystem stammenden Emissionen entsprechend den Klassifizierungsmethoden nach CLM2001 einer Umweltwirkung zugeordnet und anhand der jeweiligen Charakterisierungsfaktoren auf Äquivalente umgerechnet werden (GUINÉE 2001). Im Einzelnen wird das *Bildungspotential für troposphärisches Ozon* (POCP), das *Eutrophierungspotenzial* (EP), das *Versauerungspotenzial von Boden und Wasser* (AP), das *Abbaupotential der stratosphärischen Ozonschicht* (ODP) sowie das *Globale Erwärmungspotenzial* (GWP) bzw. Treibhausgaspotential betrachtet.

**Tabelle 2-2: Anforderung an auszuwertende Wirkungsindikatoren und Umsetzung in dieser Studie**

Wirkungsindikatoren	ILCD	EN 15804	diese Studie
Ozonbildungspotential (POPC)	X	X	Auswertung
Eutrophierungspotenzial (EP)	X	X	Auswertung
Versauerungspotenzial (AP)	X	X	Auswertung
Stratosphärisches Ozonabbaupotential (ODP)	X	X	Auswertung
Treibhausgaspotential (GWP)	X	X	Auswertung
Toxizitätspotenzial*	X		Sachbilanz
Emissionspotential für anorganische Partikel	X		Sachbilanz
Emissionspotential für ionisierende Strahlung	X		Sachbilanz
Landnutzungspotenzial	X		
Ressourcenabbaupotential	X	X	Auswertung

\* hier sind mehrere Indikatoren zusammengefasst;

X - Wirkungsindikator muss ausgewertet werden;

Auswertung – Wirkungsindikator wurde ausgewertet;

Sachbilanz – Wirkungsindikator kann auf Basis der Sachbilanz ausgewertet werden

Tabelle 2-2 fasst die Anforderungen der beiden Richtlinien an die auszuwertenden Indikatoren zusammen und stellt die in der vorliegenden Studie ausgewerteten Indikatoren dar. Es werden alle nach EN 15804 geforderten Indikatoren ausgewertet, was 6 von 10 Indikatoren nach ILCD Handbuch einschließt. Für 3 von 10 nach ILCD Handbuch geforderten Indikatoren wird zumindest die Sachbilanz erstellt, so dass eine Auswertung grundsätzlich möglich wird. Für das Landnutzungspotenzial wurden keine Daten in dieser Studie ermittelt, so dass hierzu keine Auswertung erfolgen kann. Grund hierfür ist das Fehlen allgemein anerkannter methodischer Rahmenbedingungen in diesem Bereich.

Neben der eigentlichen Umweltwirkung, die als Potentiale in den obigen Wirkungskategorien beschrieben wird, wird auch der Ressourceneinsatz bewertet. Hierfür werden keine Umrechnungen im

Sinne einer Charakterisierung vorgenommen, sondern alle im System verwendeten Ressourcen werden auf Basis der eingesetzten Primärenergie oder ihrer Masse addiert.

Nach EN 15804:2012 erfolgt die Darstellung getrennt nach dem Indikator *Erneuerbare Primärenergie in Form von Energieträgern* (PERE) und dem Indikator *Erneuerbare Primärenergie zur stofflichen Nutzung* (PERM), der den Energiegehalt von stofflich genutzten Rohstoffen beschreibt. Die Summe daraus wird in dem Indikator *Total erneuerbare Primärenergie* (PERT) abgebildet. Analog hierzu erfolgen die Angaben für fossile Energieträger über die Indikatoren *Nicht-erneuerbare Primärenergie als Energieträger* (PENRE) und *Nicht-erneuerbare Primärenergie zur stofflichen Nutzung* (PENRM), welche unter *Total nicht erneuerbare Primärenergie* (PENRT) summiert werden. Zur weiteren Differenzierung des Ressourceneinsatzes wird der *Einsatz von Sekundärstoffen*(SM) auf Basis der Masse, der Einsatz von *Erneuerbare Sekundärbrennstoffen* (RSF) und *Nicht erneuerbare Sekundärbrennstoffe* (NRSF) auf Basis des unteren Heizwertes der jeweiligen Stoffe, sowie der *Einsatz von Süßwasserressourcen* (FW) auf Basis der Masse angegeben. Als Sekundär(brenn)stoff wird dabei jeder Stoff gewertet, „der aus einer früheren Nutzung oder aus Abfall wiedergewonnen wird und einen Primär(brenn)stoff ersetzt“ (CEN 2012:10).

Als dritter Bereich neben der Umweltwirkung und dem Ressourceneinsatz werden im Rahmen der Produktentsorgung die aus dem Produktsystem stammenden Outputflüsse und anfallenden Abfälle bilanziert. Als Outputflüsse gelten die Massen der *Komponenten für die Weiterverwendung* (CRU), der *Stoffe zum Recycling* (MFR) und der *Stoffe für die Energierückgewinnung* (MER). Die *Exportierte Energie*, etwa in Form von Strom und Wärme wird auf Basis der unteren Heizwerte angegeben (EE + Medium). Bei den Abfällen wird unterschieden zwischen den Indikatoren *Gefährlicher Abfall zur Deponierung* (HWD), *Entsorgter nicht gefährlichem Abfall* (NHWD), sowie *Entsorgter radioaktiver Abfall* (RWD).

## 2.3 Ablaufplanung

Dieses Kapitel gibt einen chronologischen Überblick über die Durchführung aller Arbeitspakete des Projektes.

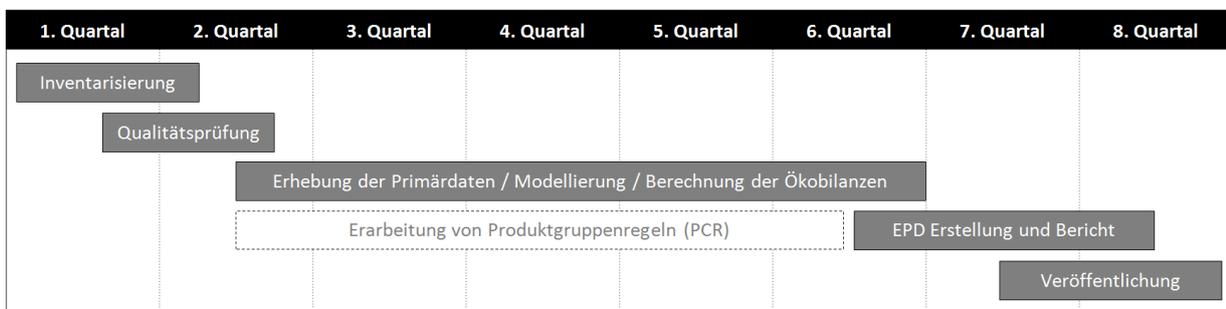


Abbildung 2-3: Zeitplan für die Bearbeitung der Arbeitspakete des Projektes

Für eine reibungslose Umsetzung der identifizierten Arbeitsinhalte innerhalb der angesetzten Projektlaufzeit von August 2009 bis Juli 2011 wurden fünf aufeinander aufbauende und ein begleitendes Arbeitspaket definiert (Abbildung 2-3).

#### ■ **Inventarisierung und Qualität**

Zunächst wurden die verfügbaren Quellen und Basisdaten zur Umweltbewertung von Holzprodukten zusammengestellt und im Rahmen eines zweiten Arbeitspaketes auf ihre Qualität hin untersucht (Kapitel 1.3.2 bis 1.3.4). Auf Basis der in Kapitel 1.2 definierten Zielvorgaben des Projektes und der während der Projektlaufzeit entstehenden neuen Anforderungen an Ökobilanzdaten (Kapitel 2.2) wurden die vorhandenen Datensätze bewertet und sortiert. Das zentrale Element der Analyse war die Identifizierung der im Bereich der Holzindustrie relevanten Sachbilanzströme, die Aufschluss darüber gaben, welche Primärdaten im Rahmen der Erhebung aktualisiert bzw. grundlegend neu erhoben werden mussten. Im Ergebnis wurde der entsprechende Handlungsbedarf für die Datenabfrage in Zusammenarbeit mit den Verbänden der Holzindustrie abgeleitet (Kapitel 1.5 und 2.4).

#### ■ **Erhebung der Primärdaten, Modellierung und Ökobilanzierung**

Auf Grund der angestrebten und absehbar hohen Anzahl an teilnehmenden Unternehmen wurde für das dritte Arbeitspaket die meiste Zeit eingeplant. Die in den ersten zwei Arbeitspaketen erarbeitete Datengrundlage stellte dabei die Ausgangsbasis für die Primärdatenerhebung dar. So konnten in einem weiteren Schritt die Produktsachbilanzen erstellt werden, die die Datengrundlage für die Umweltbewertung der einzelnen Produkte im Sinne einer Ökobilanzrechnung nach DIN EN ISO 14040:2006 darstellen (vgl. Kapitel 2.1). Das Kapitel 2.4 beschreibt diesen gesamten Vorgang detailliert. Auf Basis der ermittelten Sachbilanzen wurden Modelle in der entsprechenden Ökobilanz-Software erstellt und die Ökobilanzen berechnet (Kapitel 2.5). Wie im Kapitel 2.1 zur Ökobilanzmethodik erläutert, war auch für dieses Projekt absehbar, dass nur eine iterative Herangehensweise der notwendigen Kontaktaufnahme mit einzelnen Unternehmen genügend Raum gegeben würde und so die geforderte Datenqualität sichergestellt konnte.

#### ■ **Erarbeitung von Produktgruppenregeln (PCR)**

Wie bereits in Kapitel 1.3.3 beschrieben, wurde projektbegleitend eine Arbeitsgruppe aus Vertretern der Industrie und Forschung ins Leben gerufen, die während mehrerer Arbeitsgruppentreffen die wissenschaftlich-technischen Grundlagen für die Produktgruppenregel für Vollholzprodukte schaffen sollte. Das resultierende Dokument wurde im Frühjahr 2010 durch den deutschen Programmhalter Institut Bauen und Umwelt e.V. zugelassen und kann seitdem als Grundlage für die Erstellung von Umweltproduktdeklarationen aller dort definierten Vollholzprodukte genutzt werden (IBU 2010a)<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> zu finden unter <[www.bau-umwelt.de](http://www.bau-umwelt.de)> [10.01.2012]

#### ■ **Dokumentation und Erstellung von Umweltproduktdeklarationen, Veröffentlichung**

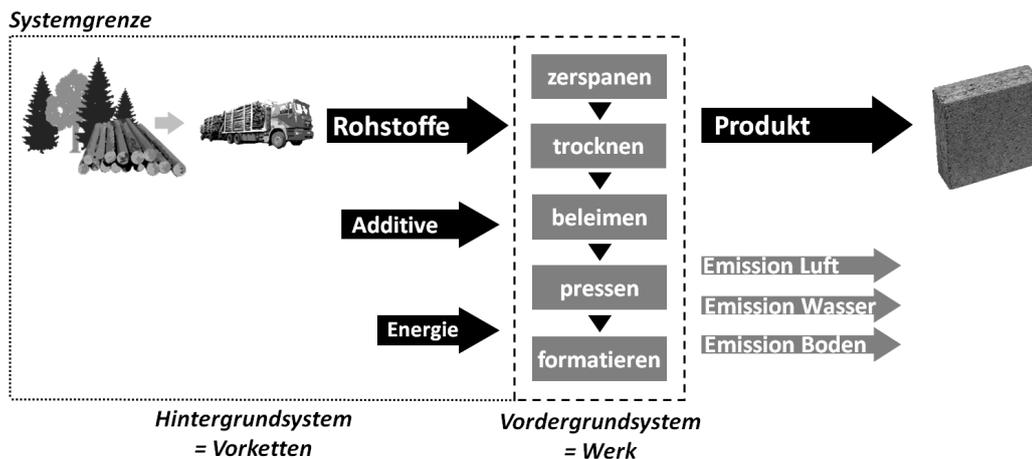
Als viertes Arbeitspaket wurde die Dokumentation aller projektrelevanten Bearbeitungsschritte und ihrer Ergebnisse festgelegt. Das Ergebnis liegt mit diesem Projektbericht vor. Im Sinne des Projektzieles wurde die Nutzung der Ökobilanzergebnisse als Basis zur Erstellung von Umweltproduktdeklarationen für die am Projekt beteiligten Verbände bzw. Unternehmen schon während der Projektlaufzeit angestrebt. Hierfür mussten jedoch zunächst aktuelle Produktgruppenregeln für die im Projekt untersuchten Bauprodukte aus Holz vorliegen. Die Ergebnisse dieses Arbeitspaketes werden in Kapitel 4.3.1 vorgestellt.

Die Umsetzung des Projektplans ist in den angegebenen Kapiteln detailliert beschrieben. Eine Einordnung in Bezug auf die in Kapitel 1.2 formulierten Ziele des Vorhabens wird in Kapitel 4 diskutiert.

## **2.4 Erstellung der Sachbilanzen**

Die Berechnung von Produktökobilanzen basiert auf Sachbilanzen der Produktionsprozesse (Prozessmodule) des jeweiligen Produktes. Zur Erstellung dieser Sachbilanzen „müssen für jedes Prozessmodul innerhalb der Systemgrenze“ die qualitativen und quantitativen Daten gesammelt werden (DIN 2006b). Diese, im Ökobilanzjargon auch als Primärdaten bezeichneten Daten, beschreiben die Input- und Outputströme des definierten Systems. Wie in Kapitel 2.2.1.2 erläutert, kann nach ILCD Handbuch eine weitere Differenzierung in spezifisch und unspezifisch zu erhebenden Daten erfolgen, wobei erstere das Vordergrundsystem und letztere das Hintergrundsystem beschreiben. In diesem Sinn fokussiert die Erhebung von Primärdaten oftmals auf das Vordergrundsystem.

Im Zuge der in Kapitel 1.3.2 beschriebenen Zusammenstellung bereits vorhandener Informationen und Daten zeigte sich bereits im Vorfeld, dass die für die Herstellung der Holzprodukte notwendigen Produktionsprozesse, verglichen mit den Emissionen der Vorketten aus anderen Industriesektoren (ausgenommen der Bereitstellung von Strom), den mit Abstand größten Anteil an den Umweltwirkungen der Produkte von der Wiege bis zum Werkstor haben. Auch war eindeutig aus den Publikationen die Tatsache abzuleiten, dass sich die technologische Auslegung der Prozesse in der Holzindustrie zwischen einzelnen Unternehmen stark unterscheidet. Auf dieser Basis konnte eine Festlegung des Vordergrundsystems und Hintergrundsystems bereits zu Beginn erfolgen, obwohl die endgültige Wahl und Definition der Systemgrenzen im Zuge der vorliegenden Untersuchung erst kurz vor dem offiziellen Projektende stattfand. Somit konnte mit der Datenerhebung zur Abschätzung der Umweltwirkung der Herstellungsprozesse der in Kapitel 1.3.1 beschriebenen Holzbauprodukte und der Erstellung der Sachbilanzen bereits im Vorfeld der endgültigen Verabschiedung der neuen methodischen Anforderungen begonnen werden.



**Abbildung 2-4: Einteilung der Produktionskette in Vorder- und Hintergrundsystem am Beispiel Spanplatte**

Abbildung 2-4 zeigt die Einteilung des Systemraums in ein Vordergrund- und ein Hintergrundsystem am Beispiel der Spanplattenherstellung. Durch die Primärdatenerhebung sollten die wesentlichen Teile des Vordergrundsystems mit spezifischen Datensätzen einzelner Hersteller abgedeckt werden, während das Hintergrundsystem mit Durchschnittsdaten aus vorhandenen Veröffentlichungen oder Datenbanken unterbaut werden sollte. Die Erhebung der Primärdaten wird im nachfolgenden Kapitel beschrieben. Eine Zusammenstellung der Ergebnisse der Primärdatenerhebung stellen die Sachbilanzen der einzelnen Produkte im Kapitel 3 dar. Die verwendeten Daten des Hintergrundsystems werden in Kapitel 2.6 vorgestellt.

### 2.4.1 Erhebung von Primärdaten mittels Fragebögen

Die insgesamt hohe Anzahl an zu untersuchenden Produkten (Kapitel 1.3.1), die beschriebene Struktur des holzverarbeitenden Sektors (Kapitel 1.5), wie auch die hohe Anzahl der verschiedenen Produktionsstandorte mit ihrer teilweise sehr hohen Produktvielfalt, stellte sich als enorme Herausforderung bei der Datenerhebung dar. Zunächst musste daher die Frage beantwortet werden, welche Unternehmen die identifizierten Produkte herstellten und was sich in Anbetracht der Komplexität der Datenerhebung aus diesen Informationen ableiten ließ. Folgende Punkte waren zu beachten:

- In den meisten Fällen wird an den Standorten mehr als ein Produkt hergestellt. Dabei war im Vorfeld nicht detailliert bekannt, welche Produkte in welchen Mengen produziert werden.
- Prozesse und infrastrukturelle Einrichtungen werden für die Produktion mehrerer Produkte gleichzeitig eingesetzt. Nach Gesprächen mit einzelnen Unternehmen stellte sich aber heraus, dass ein Großteil der für die Ökobilanzierung erforderlichen Daten nur auf Werksebene vorhanden war.

- Um quantitative und produktspezifische Umweltinformationen zu erhalten, müssen die Aufwendungen im Zuge der Ökobilanzierung auf ein bestimmtes Produkt aufgeteilt werden, wobei eine Aufteilung nach verschiedenen Kriterien (Masse, Volumen, Zeit, Platzbedarf, etc.) unterschiedliche Ergebnisse erwarten lässt.
- Um für manche der in Kapitel 1.3.1 definierten Produkte repräsentative Daten zu erhalten, muss eine hohe Anzahl an Standorten bzw. Werken untersucht werden.

Aufgrund der beschriebenen Bedingungen sollte die Datenerhebung mittels Fragebögen erfolgen. Eine Datenaufnahme vor Ort war nur für Testläufe im Vorfeld der Versendung der Fragebögen über die beteiligten Verbände und bei auftretenden Schwierigkeiten beim Ausfüllen des Fragebogens, die nicht am Telefon ausgeräumt werden konnten, angedacht. Für die Erstellung der Fragebögen sollten folgende Punkte berücksichtigt werden:

- Da die Daten teilweise nur standortspezifisch vorliegen und die Produktionsaufwendungen nur unter sehr hohem Aufwand für die einzelnen Produkte unterschieden werden können, sollte eine Differenzierung im Nachhinein erfolgen, sofern dem Unternehmen hierzu Daten vorlagen. Auf diesem Weg sollten Unternehmen, denen keine differenzierten Daten zu den einzelnen Produkten vorliegen, die Untersuchung dennoch mit Informationen auf Werksebene ergänzen können.
- Ist es dem Unternehmen möglich detaillierte Daten anzugeben, soll eine Differenzierung nach Prozessen und Produkten stattfinden. Gespräche mit den beteiligten Unternehmen ergaben, dass die Betriebsmittel und Stromverbräuche für gewöhnlich auf die Herstellungsprozesse, und die Verpackungsmaterialien und Rohstoffe auf die Produkte bezogen werden.
- Für eine Differenzierung nach Herstellungsprozessen müssen diese konsistent für jeweils ein Produkt in Form von Prozessmodulen (vgl. Kapitel 2.1) definiert werden, damit die Module eines Produktes miteinander verglichen werden können. Da das Produktportfolio der einzelnen Unternehmen jedoch im Voraus nicht bekannt war, sollte die Datenerhebung in mindestens 2 Stufen erfolgen, um zunächst die Prozesskette in einheitliche Prozessgruppen bzw. Module je Produkt unterteilen und im Folgenden die modulspezifischen Informationen für die Modellierung ermitteln zu können.
- Da einzelne Unternehmen bei einer Befragung in mehreren Stufen unter Umständen vorzeitig ihre Kooperation im Rahmen des Projektes abbrechen würden, sollte ein erster Fragebogen bereits Informationen abfragen, die unterstützend für die Auswertung genutzt werden können – auch wenn sich daraus keine vollständige Sachbilanz ableiten lässt.
- Für Mengenangaben zu den Rohstoffen und Energieströmen, insbesondere im Fall von Holzrohstoffen und Holzbrennstoffen, werden teilweise unterschiedliche Messgrößen genutzt, die nicht ohne zusätzliche Informationen ineinander überführt werden können; so liegen Mengenangaben zum Rohstoff Holz entweder in Form von Volumen oder Masse vor, die jedoch nur bei Bekanntheit der Dichte bzw. Feuchte umgerechnet werden können. Da diese Daten in den meisten Unternehmen nicht erfasst werden und teilweise hohen natürlichen Schwankungen unterliegen,

setzt die Weiterverwendung gemachter Angaben die Festlegung auf Umrechnungsfaktoren voraus. Um diese einheitlich anwenden zu können, sollten alle Angaben in den Fragebögen möglichst auf Basis der an den Standorten verfügbaren Einheit gemacht werden, und die Umrechnung für alle Standorte erst im Zuge der Berechnung der Ökobilanz erfolgen.

Aufgrund der formulierten Anforderungen an die Primärdatenerhebung erfolgte diese in zwei Phasen. Zunächst wurde ein erster Fragebogen über die Verbände an die einzelnen Unternehmen versandt. Er wurde in drei Ausführungen für Vollholzprodukte, Holzwerkstoffe und Holzfußböden erstellt und diente der Ermittlung einer Übersicht zu den Produktionsmengen und Produktportfolios der einzelnen Werke. Auch die Infrastruktur der befragten Standorte und die Herkunft der Holzrohstoffe wurden abgefragt. Zudem wurden die befragten Unternehmen aufgefordert eine Skizze mit den Produktionsprozessen vor Ort zur Verfügung zu stellen.

Auf Basis der gemachten Angaben im Rücklauf des ersten Fragebogens wurde für jedes Werk ein spezifischer zweiter Fragebogen erstellt, der alle für die Sachbilanz benötigten Daten abfragte. Dies beinhaltete vor allem die Möglichkeit, die aus dem ersten Fragebogen angegebenen Werksdaten für jedes Produkt zu differenzieren und auf einheitlich definierte Module der Herstellungsprozesse aufzuteilen.

Alle weiteren Fragestellungen, die auf die individuelle Ausprägung einzelner Unternehmen zurückzuführen waren und sich erst im Verlauf der Datenbearbeitung ergaben, wurden individuell mit den einzelnen Unternehmen abseits der Fragebögen diskutiert und geklärt. Da nach EN 15804:2012 die Grundlage der Bewertung auf den durchschnittlichen Daten eines Jahres beruhen muss, wurden von den Unternehmen jeweils Angaben zu dem Jahr gemacht, für welches die Daten in aufbereiteter Form vorlagen. Weitere Informationen über die Rücklaufquoten und die gemachten Angaben befinden sich in Kapitel 4.1.

#### **2.4.2 Zuordnung der erhobenen Werksdaten zu den deklarierten Produkten**

Bei nahezu allen befragten Unternehmen werden in den produzierenden Werken neben den hier deklarierten Produkten weitere Produkte und Nebenprodukte hergestellt. Zur Umsetzung der für eine Zuordnung der Aufwendungen notwendigen Einteilung des gesamten Herstellungsprozesses in einzelne Teilprozesse (vgl. Kapitel 2.1) wurden die erhobenen Daten direkt, teilweise aber auch nur über Abschätzungen bzw. virtuelle Zuordnungen (vgl. EC 2010c:193 ff.) auf diese bezogen.

Auf Grund der zweistufigen Vorgehensweise bei der Datenabfrage lagen die erhobenen Primärdaten in unterschiedlichen Aggregationsstufen vor. So wurden neben sehr detaillierten Angaben, die alle Aufwendungen des Standortes auf die einzelnen Produkte und Prozesse aufteilen, in anderen Fällen nur Informationen über die Aufwendungen auf Werksebene weitergegeben. Da die Hauptaufwendungen, dies sind der Strom- und thermische Energieverbrauch, im Wesentlichen an die Produktionsprozesse im Werk gekoppelt sind, musste zunächst für alle Produkte eines Werkes ermittelt werden, welche Prozesse mit welcher Intensität für die Herstellung der jeweiligen Produkte genutzt werden. Auf Basis von Annahmen über die durchschnittlichen Ausschussmengen je Prozess wurden hierfür eigens

entwickelte Bedarfsmatrizen genutzt, um reproduzierbare Ergebnisse zu erhalten. Zur Verdeutlichung der Vorgehensweise soll nachfolgendes Beispiel anhand eines Sägewerks dienen.

*Beispiel:*

*In einem Sägewerk werden 10.000 m<sup>3</sup> frisches Schnittholz hergestellt. Dafür wurden nach Angaben des Unternehmens 20.000 m<sup>3</sup> Rundholz in Rinde eingekauft. Die Ausschussmengen insgesamt sind damit für die Prozesse Einschnitt und Entrindung bekannt (10.000 m<sup>3</sup>), nicht jedoch die Aufteilung auf die einzelnen Prozesse. Wird für den Prozess der Entrindung ein Ausschuss in Höhe von 10 % und für den Einschnitt ein Ausschuss in Höhe von 40 % angenommen, so wären insgesamt 18.581 m<sup>3</sup> Rundholz für die Produktion von 10.000 m<sup>3</sup> Schnittholz notwendig. Um nun den geschätzten Bedarfswert (18.581 m<sup>3</sup>) auf den realen Bedarfswert (20.000 m<sup>3</sup>) anzugleichen, müssen die geschätzten Anteile des Ausschusses erhöht werden. Da nicht bekannt ist, welcher der Werte um welche Größenordnung erhöht werden muss, werden beide Werte iterativ um den gleichen Faktor erhöht bis der geschätzte Bedarfswert mit dem realen Bedarfswert übereinstimmt. In diesem Beispiel müssten beide Ausschussmengen um etwa 10 % erhöht werden, so dass die neuen Werte für die Entrindung 11 % und für den Einschnitt 44 % betragen. Die Prozessintensitäten (Holzinput in den jeweiligen Prozess) belaufen sich damit für die Entrindung auf 20.000 m<sup>3</sup> und für den Prozess Einschnitt auf etwa 17.860 m<sup>3</sup>.*

Mit den Annahmen im Beispiel können die Ausschussmengen bzw. deren Erhöhung um 10 % auch ohne die Anwendung von Matrizen berechnet werden. Steigt die Anzahl der Prozesse, Produkte und Rohstoffe jedoch an, liefern Matrizen und deren Inversion ein schnelles und zuverlässiges Lösungsverfahren. Mit den berechneten Prozessintensitäten konnte für jedes Produkt in jedem Werk die benötigte Anteile der Rohstoffe und die anfallenden Reststoffe ermittelt werden.

Bei der Aufteilung aller Aufwendungen im Werk auf die hergestellten Produkte muss in prozessspezifische, produktspezifische und infrastrukturelle Aufwendungen unterschieden werden, welche nachfolgend beschrieben werden.

#### **2.4.2.1 Prozessspezifische Aufwendungen**

Zu den prozessspezifischen Aufwendungen gehören alle Inputs und Outputs auf Werksebene, die sich auf die Nutzung von Prozessen zurückführen lassen, welche direkt mit der Herstellung des Produktes in Verbindung zu bringen sind. Hierzu zählen zum Beispiel Hobel-, Säge-, Trocknungsprozesse und Flurfördermittel, nicht jedoch Feuerungs-, Druckluft- und Absauganlagen.

Die prozessspezifischen Aufwendungen wurden von den einzelnen Firmen weitestgehend angegeben. Entsprechend konnten sie für diese Standorte zunächst auf die Prozesse, und durch Bekanntheit der Prozessintensitäten je Produkt (Berechnung wie oben beschrieben), anschließend auf die einzelnen Produkte aufgeteilt werden. Auf dieser Basis konnten in einem weiteren Schritt für jeden Prozess die gemittelten spezifischen Aufwendungen für alle Werke berechnet werden. Wurden in den Fragebögen nur Angaben auf Werksebene gemacht, ohne zwischen den Prozessen zu unterscheiden, wurden die

Werkangaben anhand der gemittelten prozessspezifischen Aufwendungen aufgeteilt. In jedem Fall wurden alle Angaben über die Aufwendungen auf die jeweils angegebene Produktpalette aufgeteilt.

#### **2.4.2.2 Produktspezifische Aufwendungen**

Zu den produktspezifischen Aufwendungen gehören alle Inputs und Outputs auf Werksebene, die direkt den Produkten zugeordnet werden können. Beispielsweise zählen Verpackungsmaterialien, eingesetzte Klebstoffe und Zusätze dazu.

Auch für die produktspezifischen Angaben konnten umfassende Werte von den Unternehmen abgefragt werden. Ebenso wie bei den prozessspezifischen Aufwendungen, konnten auf Basis der vollständig gemachten Angaben gemittelte Werte für die spezifischen Aufwendungen berechnet werden, welche im Fall von nur auf Werksebene gemachten Angaben, angewandt wurden. Ebenso wie im vorherigen Fall, wurden alle ermittelten Aufwendungen auf die Produkte aufgeteilt.

#### **2.4.2.3 Infrastrukturelle Aufwendungen**

Alle Aufwendungen, die weder direkt einem Produkt noch einem für die Bearbeitung eines Produktes nötigen Prozesses zugeordnet werden können, gehören zu den infrastrukturellen Aufwendungen. Hierzu gehören zum Beispiel Aufwendungen für die Absauganlage und Druckluftbereitstellung, die Gebäudeheizung und die gesamte Erzeugung von Prozesswärme, da diese in den meisten Fällen von mehreren Prozessen genutzt wird.

Alle Stromverbräuche, die auf prozessunterstützende Maschinen zurückzuführen waren (Absaugung und Druckluft) wurden auf diejenigen Prozesse aufgeteilt, die Druckluft und/oder Absaugungsleistung nutzten. Da nicht bekannt war, welche Leistung der Absaugung oder Druckluft für die jeweiligen Prozesse zur Verfügung gestellt werden musste, wurden alle Aufwendungen der prozessunterstützenden Maschinen in Relation zum Stromverbrauch der durch sie unterstützen Prozesse aufgeteilt.

Alle restlichen Stromverbräuche, die nicht zugeordnet werden konnten (Kategorien „sonstiges“, „Verwaltung“ „Beleuchtung“ etc. siehe Fragebogenbeispiel im Anhang) wurden auf alle Prozesse in Abhängigkeit ihres spezifischen Stromverbrauchs aufgeteilt.

Da die Verteilung der Wärme in den Werken im Rahmen dieser Studie nur sehr schlecht oder gar nicht nachvollzogen werden konnte, wurden die Verbräuche auf Basis der verfügbaren Energie berechnet, und den Verbrauchern, der Leistung nach abfallend sortiert, zugeordnet. Die Zuordnung erfolgte auf Basis verfügbarerer technischer Publikationen sowie nach Angaben der Unternehmen. In jedem Fall wurde die gesamte Masse genutzter Brennstoffe berücksichtigt. Für den Fall eines Sägewerkes mit einer Feuerung inklusive Kraftwärmekopplung, Trocknungsanlagen und Gebäudeheizung, wird zunächst von einem durchschnittlichen Verbrauch von 5 MJ/kg dem Holz entzogenes Wasser ausgegangen. Ferner wird die für 1 m<sup>2</sup> Gebäudefläche benötigte Heizleistung auf 400 kWh/m<sup>2</sup> festgelegt. Die geschätzte Effizienz der Kraftwärmekopplung liegt bei 23 %, wobei die Abwärme zur Heizung und Trocknung genutzt wird. Entsprechen die geschätzten Parameter nicht den realen Werten, wurde der größte Verbraucher im Rahmen der physikalischen Grenzen soweit angepasst (wurden die Grenzen erreicht, wird der nächst größere Verbraucher entsprechend angepasst), dass der Gesamtwärmebedarf mit dem ver-

fügbaren Heizwert übereinstimmt. Somit ergeben sich Unsicherheiten bezogen auf die Verteilung der Wärme, die Gesamtemissionen werden aber in jedem Fall berücksichtigt.

## 2.5 Modellierung und Berechnung der Ökobilanzen

Dieses Kapitel beschreibt die Modellierung und Umsetzung der Ökobilanzmethode im Rahmen dieser Studie auf Basis der in den Kapitel 2.1 und 2.2 beschriebenen Anforderungen. Analog zur Gliederung in Kapitel 2.2 werden zunächst die Systemgrenzen definiert und anschließend die Umsetzung von Vorgaben zu Allokation und Systemerweiterungen beschrieben (Kapitel 2.5.1 und 2.5.2). In Kapitel 2.5.3 werden die Abschneidekriterien festgelegt und Datenlücken erläutert. Die notwendigen Hintergrundinformationen für alle verwendeten Hintergrunddatensätze, die sich nicht aus der Erhebung von Primärdaten ergeben haben, sind schließlich in dem separaten Kapitel 2.6 enthalten.

Für die Modellierung der Produktsysteme wurde die Software GaBi in der Version 4.4.111.1 der PE International AG genutzt, die in Zusammenarbeit mit dem Lehrstuhl für Bauphysik der Universität Stuttgart entwickelt wurde. Die vom gleichen Anbieter stammende Datenbank wurde für die genutzten Hintergrunddaten verwendet. Eine entsprechende Erläuterung erfolgt in Kapitel 2.6.

Wie in Kapitel 2.2 dargelegt, müssen für eine vollständige Erfüllung der Vorgaben an Datensätze nach ILCD Handbuch u.a. die vorgegebenen Regeln für die verwendete Nomenklatur angewendet werden (EC 2010e; EC 2010f). Ausgehend von bestehenden Ökobilanzdatenbanken, wie beispielsweise die im Rahmen dieser Untersuchung verwendeten Professional Datenbanken von PE International, beinhaltet dies u.a. die Vorgabe, keine langen und nicht verständlichen Namen für die modellierten Flüsse zu vergeben. Inwieweit die in den mit der Ökobilanz-Software GaBi 4.4 mitgelieferten Datenbanken hinterlegten Elementarflüsse und anderen Datensätze konsistent mit den beschriebenen Anforderungen sind, hätte nur durch eine vorherige Prüfung ermittelt werden können. Dieses Unterfangen wäre jedoch vollständig außerhalb des Rahmens und der Intention dieses Projektes gewesen. Von dem Anbieter der verwendeten Ökobilanzsoftware konnte kein Verweis auf die Konformität der in der Software hinterlegten Datenbank mit der Nomenklatur nach ILCD Handbuch gefunden werden.

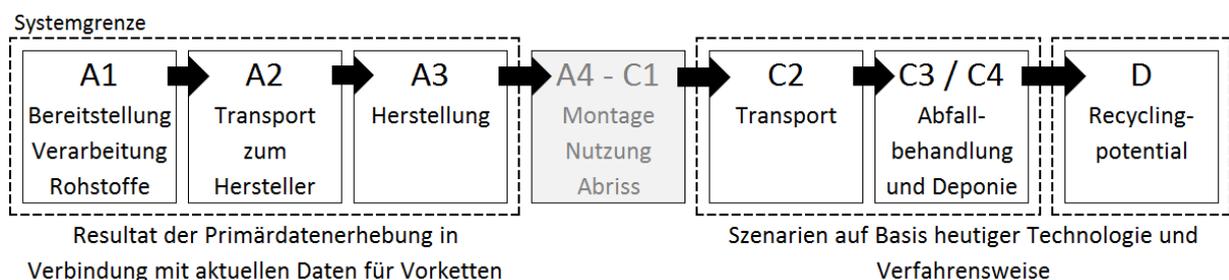
### 2.5.1 Systemgrenzen der Holzproduktsysteme und ihre Einteilung in Module

Im Folgenden muss unterschieden werden zwischen den Systemgrenzen der Produktphase, der Entsorgungsphase und dem Umgang mit Sekundärstoffen als Rohstoffinput während der Herstellung.

Nach den Vorgaben des ILCD Handbuchs muss zunächst der Entscheidungskontext der in dieser Untersuchung präsentierten Ökobilanzdaten definiert werden (Kapitel 2.2.1.2). Nach den mit den Zielen dieser Studie verbundenen möglichen Anwendungsfällen der vorliegenden Ökobilanzergebnisse, sind die Anforderungen an die Methodik für die Situationen A und C einzuhalten. Dies entspricht den Vorschlägen des ILCD Handbuchs für die Erstellung von Umweltproduktdeklarationen und Hintergrunddaten (Situation A), ebenso wie die Erstellung von Hintergrunddaten (Kapitel 2.6), welche die gesamte Forst Holz Kette thematisieren (Situation C). Die Norm EN 15804:2012 basiert auf dem gleichen me-

thodischen Verständnis, was dazu führt, dass die Systemgrenzen für die Produktphase (Module A1 bis A3 nach EN 15804:2012) den Systemgrenzen des ILCD Handbuchs entsprechen.

Nach den Vorgaben der Norm EN 15804:2012 werden für alle betrachteten Holzprodukte die Bereitstellung der Rohstoffe, der Transport dieser Rohstoffe bis zum Hersteller sowie die Herstellung der Holzprodukte bilanziert (Abbildung 2-5). Dies entspricht den Informationsmodulen A1 bis A3. Die in diesem Projekt erhobenen Primärdaten bilden dabei für jedes Holzprodukt die Datenbasis für die Berechnung der Umweltkennwerte und stellen die Sachbilanz der Ökobilanz dar (s. Kapitel 2.1 und 3). Teilweise bilden die erhobenen Primärdaten auch die Datenbasis für das Modul A1, sofern einzelne Hersteller Rohstoffe nutzen, welche zugleich die Produkte anderer Hersteller darstellen, die im Rahmen der Untersuchung bilanziert wurden, und somit Teil der Ergebnisse dieses Berichtes sind. Da hinter dem Werkstor der Produktherstellung nur wenige bis keine Aussagen über die Verwendung bzw. Nutzung der Produkte gemacht werden können, werden in diesem Bericht auch keine Informationen für die Informationsmodule A4 bis C1 angegeben. Eine mögliche Entsorgung der Verpackung in Modul A5 stellt hier eine Ausnahme dar (s. Kapitel 2.5.1.6).



**Abbildung 2-5: Festgelegte Systemgrenzen für die Bewertung der Umweltauswirkungen von Holzprodukten**

Im Gegensatz hierzu können jedoch Aussagen über die Umweltwirkung des jeweiligen Entsorgungsstadiums getroffen werden, da entsprechende Aufwendungen von den materialinhärenten Eigenschaften der Produkte abhängen (z.B. Masse, Heizwert oder Elementarzusammensetzung), die sich im Laufe des Produktlebens nur unwesentlich verändern. Aufgrund der unterschiedlichen Anforderungen der EN 15804:2012 und des ILCD Handbuchs erfolgt die Bewertung der Entsorgungsszenarien in der vorliegenden Untersuchung aber separat für beide Regelwerke. Um den Vorgaben der EN 15804:2012 zu folgen, wurden zwei Szenarien modelliert: eines für die stoffliche Verwertung und eines für eine energetische Nutzung des Altholzes. Für die Beschreibung der Entsorgung, welche konform mit den Anforderungen des ILCD Handbuchs ist, wurde ein drittes Szenario modelliert, welches, im Gegensatz zu den Szenarien für die Norm, unabhängig von einer weiteren stofflichen oder energetischen Verwertung des Altholzes ist. Alle Szenarien im Rahmen dieser Studie werden nur der Vollständigkeit halber beschrieben, um beispielsweise die Verwendung der Daten in Umweltproduktdeklarationen zu ermöglichen (vgl. Kapitel 1.2.3 und 1.3.3). Der Fokus der Untersuchung liegt auf der Produktphase. Die gewählten Szenarien beziehen sich auf das jeweilige Produkt im Zustand zwischen den Modulen A3 und A4, d.h. mögliche Änderungen durch Vermischungen mit anderen Bausubstanzen werden nicht be-

trachtet. Aus Sicht der Berechnung wird das Produkt in exakt dem gleichen Zustand entsorgt bzw. verwertet, in dem es als Produkt vorlag.

Die Bilanzierung der Aufwendungen im optionalen Informationsmodul D ist abhängig von den für das Modul C gewählten Entsorgungsszenarien und beinhaltet die möglichen Potentiale in Form von Lasten und Gutschriften außerhalb des Produktsystems.

Abbildung 2-5 zeigt die Übersicht der im Rahmen dieses Projektes festgelegten Systemgrenzen. Nach den Vorgaben der Norm EN 15804:2012 handelt es demnach im Ergebnis um Datensätze, welche für Umweltproduktdeklarationen von der Wiege bis zum Werkstor mit Optionen verwendet werden können (CEN 2012:12).

Eine genaue Beschreibung der einzelnen Informationsmodule auch anhand von Beispielen erfolgt in den nachfolgenden Kapiteln 2.5.1.2 bis 2.5.1.6. Zunächst werden jedoch die Rahmenbedingungen für die angenommene Behandlung von Holz in den Szenarien (Kapitel 2.5.1.5 und 2.5.1.6) erläutert.

### **2.5.1.1 Definition der Abfallbehandlung von Holz für die Szenarien (Module C und D)**

Wie in Kapitel 2.2.2.1 beschrieben, ist für die Festlegung der Systemgrenzen zwischen den einzelnen Modulen und der Darstellung des Potentials (Modul D) für die Entsorgungsszenarien nach EN 15804:2012 der Punkt der vollständigen Abfallbehandlung (*end-of-waste state*) zu definieren, welcher hierfür vier Kriterien zu erfüllen hat. Da derzeit kein rechtlicher Rahmen für die Festlegung dieses Punktes für Altholz existiert, wird er anhand der beschriebenen Kriterien hergeleitet.

Für Altholz, welches nicht mit Holzschutzmitteln behandelt wurde, wird der Punkt der vollständigen Abfallbehandlung wie folgt erreicht:

- **Verwendung für bestimmte Zwecke**

Altholz wird nach Altholz Verordnung (ALTHOLZV 2002) vier verschiedenen Kategorien (A I bis A IV) zugeordnet. Des Weiteren legt sie u.a. Grenzwerte für Verunreinigungen von Altholz fest und leitet aus unterschiedlichen Verwendungsbereichen von Holz die daraus resultierenden Altholzkategorien ab. In dieser Untersuchung wurde davon ausgegangen, dass das aus den Holzprodukten resultierende Altholz entsprechend stofflich oder energetisch genutzt werden kann.

- **Bestehen eines Marktes**

Altholz, welches in aufbereiteter Form in den Kategorien A I bis A III vorliegt, wird mit einem positiven Marktwert gehandelt (vgl. Kapitel 2.5.2.6).

- **Erfüllung technischer Anforderungen, Rechtsvorschriften und Normen**

Altholz erfüllt die in der AltholzV genannten Anforderungen (Sortierung und Grenzwerte).

- **Verwendung führt nicht zu schädlichen Umwelt- oder Gesundheitsfolgen**

Grundsätzlich richtet sich die Verwendung von Altholz nach den Vorgaben der Altholzverordnung. Es ist davon auszugehen, dass mit der Verwendung von Altholz in Verbindung stehende gesetzliche Auflagen in Bezug auf mögliche Umwelt- und Gesundheitsfolgen eingehalten werden. Nach AltholzV ist für die Klassifizierung in A I ausschließlich „naturbelassenes oder lediglich mechanisch be-

arbeitetes Altholz, das bei seiner Verwendung nicht mehr als unerheblich mit holzfremden Stoffen verunreinigt wurde“ zugelassen (ALTHOLZV 2002). Dieses wird in der vorliegenden Untersuchung für die stoffliche Wiederverwendung unterstellt. Des Weiteren werden in dieser Studie keine Produkte betrachtet, die mit Holzschutzmitteln behandelt wurden und demzufolge unter die Kategorie A IV fallen würden (vgl. Kapitel 2.5.2.6).

Wie in Kapitel 2.2.2.2 beschrieben, sind für die Bewertung des Recyclingpotentials nach EN 15804:2012 Kenntnisse über die Verwendung des Abfallstroms in anderen Systemen nötig. In Deutschland wurden nach MANTAU und BILITEWSKI im Jahr 2007 von den etwa 10,7 Mio. t Altholz etwa 2 % in Deponien verbracht, 20 % stofflich und die restlichen 78 % thermisch verwertet (MANTAU, BILITEWSKI 2010). Da sich die Menge an deponiertem Altholz nach Angabe der Autoren zwischen 2002 und 2007 um mehr als den Faktor 10 verringert hat, ist davon auszugehen, dass die Deponierung in Zukunft noch weiter an Bedeutung verliert. Sie wird daher als vernachlässigbar eingestuft. Da der derzeit deponierte Anteil zukünftig eher im Bereich der thermischen als in der stofflichen Verwertung genutzt werden wird, wird die Annahme, dass 20 % der Althölzer stofflich und 80 % thermisch verwertet werden, als realistisch für heutige Verhältnisse eingestuft. Unter Berücksichtigung der realen Altholzflüsse in Deutschland und den gesetzlichen Rahmenbedingungen, wie etwa der AltholzV, kann davon ausgegangen werden, dass alles dem Forst entnommene Holz letztlich verbrannt wird, da es nicht unendlich lange als Produkt bestehen oder unendlich oft recycelt werden kann. Da grundsätzlich beide Nutzungsformen möglich sind, werden für eine Bewertung im Rahmen der EN 15804:2012 zwei Szenarien definiert, die im Folgenden „stoffliches Szenario“ für die 100%ige stoffliche Nutzung des Altholzes und „energetisches Szenario“ für die 100%ige energetische Nutzung von Altholz benannt werden.

Für eine Bewertung des Abfallstroms nach den Vorgaben des ILCD Handbuchs wird eine Berechnungsformel vorgeschlagen, die, wie in Kapitel 2.2.2.2 beschrieben, eine entsprechende Co-Produktallokation über die Ergebnisse aus Modul A1 erlaubt (s. Kapitel 2.5.1.5).

### **2.5.1.2 Die Bereitstellung der Rohstoffe (Modul A1)**

Das Informationsmodul A1 umfasst die Bereitstellung aller Rohstoffe, die sich als Material in der funktionalen Einheit wiederfinden. Dabei ist jeweils die gesamte Bereitstellungskette von der Wiege bis zum Werkstor für das durch das bilanzierte Werk genutzte Produkt enthalten. Für Altholz, welches in dem betrachteten System als Rohstoff genutzt wird gilt die in Kapitel 2.2.2.1 definierte Systemgrenze für Sekundärstoffe, die nach EN 15804:2012 durch den Punkt der vollständigen Abfallbehandlung beschrieben bzw. definiert wird. Demnach hat das eingesetzte „Altholz ab Sammelstelle“ keine Aufwendungen. Die materialinhärenten Eigenschaften, wie der Heizwert oder Kohlenstoffgehalt, werden hingegen immer berücksichtigt. Der Begriff Sekundärstoff trifft laut EN 15804:2012 nur auf das genutzte Altholz zu, nicht auf Industrierestholz oder Rinde. Werden diese als Rohstoffquelle genutzt, so besteht ihr ökologischer Rucksack – analog zur Herstellung der Hauptprodukte – aus den nach Preis allozierten Aufwendungen von der Bereitstellung der Rundholzes bis zum Anfall des Nebenproduktes im Industrieprozess, etwa im Sägewerk (vgl. Kapitel 2.2.2). Zur Illustration sollen nachfolgende zwei Beispiele dienen:

*Beispiel für Vollholz:*

Zur Bewertung der Erzeugung von frischem Schnittholz wird die Sachbilanz eines Sägewerkes aufgestellt. Das Sägewerk bezieht Rundholz in Rinde, Rundholz welches bereits im Wald entrindet wurde, Betriebsmittel und Strom. In diesem Fall beinhaltet das Modul A1 dann lediglich alle Aspekte der Erzeugung von Rundholz mit Rinde sowie die Erzeugung von Rundholz mit Rinde und anschließender Entrindung im Wald. Strom und Betriebsmittel verbleiben nicht im Produkt und sind daher nicht Teil von Modul A1. Auch die Anteile des Rundholzes, die nicht im Produkt verbleiben (Reststoffe), sind nicht Teil von Modul A1 sondern werden im Rahmen der Nebenproduktallokation dem System entzogen (Näheres hierzu in Kapitel 2.5.1.6).

*Beispiel für Holzwerkstoffe:*

Bei der Herstellung von Spanplatte werden Altholz, Industrieholz, Industrierestholz, Klebstoffe sowie Strom, Betriebsmittel und Altholz als Brennstoff bezogen. Module A1 beinhaltet die Bereitstellung der in der Platte verbleibenden Mengen an Holz sowie der Klebstoffe. Die Bereitstellung des Industrieholz ist dabei analog zur Bereitstellung von Stammholz (dickere Durchmesser für die Sägeindustrie) zu sehen, wobei die Aufwendungen im Wald den Produkten Stammholz und Industrieholz nach deren Preis angelastet werden. Die Bereitstellung von Reststoffen etwa in Form von Sägenebenprodukten wird auf Basis der in dieser Studie abgedeckten Sägewerke berechnet. Dabei werden die Aufwendungen aller Sägewerke (gewichtet nach Produktionsvolumen) auf die erzeugten Nebenprodukte alloziert. Die Bereitstellung von Industrierestholz beinhaltet dementsprechend Teile der Forstaufwendungen sowie Teile der Aufwendungen im Sägewerk. Die Bereitstellung von Altholz beinhaltet alle Aufwendungen ab dem Punkt der vollständigen Abfallbehandlung. Da dieser im Fall des Altholzes bei der sortierten Fraktion ab Entsorger liegt, hat Altholz im Modul A1 keine Umweltlast im Sinne der Methodik. Als Ressource wird jedoch der im Produkt enthaltene Kohlenstoff (wichtig für die späterer Verrechnung mit den CO<sub>2</sub>-Emissionen aus den Verbrennungsprozessen) angegeben sowie der untere Heizwert und die Masse. Einzelheiten zur Verrechnung von Altholz finden sich in Kapitel 2.5.2. Die während der Herstellung von Spanplatten als Reststoffe anfallenden Fraktionen der Hölzer werden auch hier im Rahmen einer Nebenproduktallokation dem System entzogen. (s. auch Kapitel 2.2.2)

**2.5.1.3 Der Transport der Rohstoffe (Modul A2)**

Das Modul A2 umfasst den Transport der in Modul A1 erfassten Rohstoffe zum Hersteller. Dabei wurden nur solche Transportaufwendungen einbezogen, die mit dem direkten Transport zwischen Rohstofflieferant und Hersteller verbunden sind. Letzteres beinhaltet vornehmlich die Umweltwirkungen des Transports von Bindemitteln und Beschichtungsstoffen zum Werk.

*Beispiel:*

Ein Hersteller von Brettschichtholz bezieht Rohstoffe in Form von Rundholz und getrocknetem Schnittholz. In Modul A2 ist der Transport des Rundholzes sowie des getrockneten Schnittholzes

zum Brettschichtholzwerk einbezogen. Der Transport des Rundholzes zum Sägewerk wird in Modul A1 bilanziert und ist Teil der Vorkette zur Bereitstellung der Rohstoffe.

#### **2.5.1.4 Herstellung des Produktes (Modul A3)**

Das Modul A3 umfasst alle Aufwendungen der Herstellung der Produkte von der Wiege bis zum Werkstor außer den bereits in Modulen A1 und A2 betrachteten Aspekten. Die Entsorgung der Verpackung wird separat bilanziert, da sie für gewöhnlich erst auf der Baustelle erfolgt. Dazu wurden für alle bilanzierten Produkte jeweils die Verpackungsmengen angegeben. Eine detaillierte Beschreibung hierzu findet sich in Kapitel 2.5.1.6.

Die zweite Besonderheit bezieht sich auf die Bilanzierung der verbrannten Reststoffe im Werk, die für eine stoffliche Verwertung als Rohstoff bezogen werden (z.B. Rundholz), während des Herstellungsprozesses in Modul A3 als Reststoff anfallen (z.B. Rinde) und schließlich zu Wärmeerzeugung genutzt werden. Obwohl die Bereitstellung der Nebenprodukte, die vor Ort verbrannt werden, eigentlich als Teil der zur stofflichen Nutzung bereitgestellten Rohstoffe in Modul A1 gehört, werden die dazugehörigen Aufwendungen in Modul A3 bilanziert. Dies ergibt sich aufgrund der angewandten Allokation, um alle Aufwendungen auf das Hauptprodukt zu beziehen. Die Aufwendungen für die Nebenprodukte werden nur mit einbezogen, sofern sie während der Herstellung (A3) energetisch genutzt werden (s. Kapitel 2.5.2.1). Dieses Vorgehen ist konsistent mit den in EN 15804:2012 formulierten Anforderungen an die Modulgrenzen. Näheres hierzu wird in Kapitel 2.5.2 zum Thema Allokationen beschrieben.

*Beispiel:*

*In dem bereits aus Seite 54 beschriebenen Beispiel eines Spanplattenwerkes wird die Produktion von 1 m<sup>3</sup> Spanplatte bilanziert. Das Produkt enthält 500 kg Holz (atro) und 50 kg Bindemittel. Hierfür werden 700 kg Holz (atro) zugekauft, von denen jedoch 200 kg (atro) als Restholz während der Produktion ausgestoßen und thermisch genutzt werden. Das Modul A3 bilanziert demnach die Bereitstellung und den Transport von 200 kg (atro) Holzrohstoffen und deren thermischer Verwertung, obwohl sie ursprünglich für die stoffliche Verwertung zugekauft wurden. Daneben gehört insbesondere der während der Herstellung genutzte Strom und die mit dessen Erzeugung verbundenen Emissionen im deutschen Kraftwerksmix, die Erzeugung von Wärme auf dem Betriebsgelände und den damit verbundenen Emissionen aus dem Verbrennungsprozess vor Ort zu Modul A3. Ferner spielen die verwendeten Betriebsmittel und deren Herstellung, sowie die Bereitstellung von Dieselkraftstoff und die Verbrennung des selbigen in Motoren eine zentrale Rolle für Modul A3.*

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass in den Modulen A1 bis A3 alle die im Rahmen einer Ökobilanz von der Wiege bis zum Werkstor anfallenden Umwelteinflüsse vollständig bilanziert wurden, und den Kern der vorliegenden Untersuchungen darstellen. Abbildung 2-6 zeigt eine Übersicht über die gesetzten Systemgrenzen der Produktphase nach EN 15804:2012. Die Abbildung 2-7 und 2-8 zeigen beispielhaft die Modellierung dieses Systems in der Software GaBi 4.4 für die Produkte Konstruktionsvollholz und Spanplatte. Die Darstellung der Bereitstellung von Wärme ist hier aus Platzgründen nur vereinfacht dargestellt.

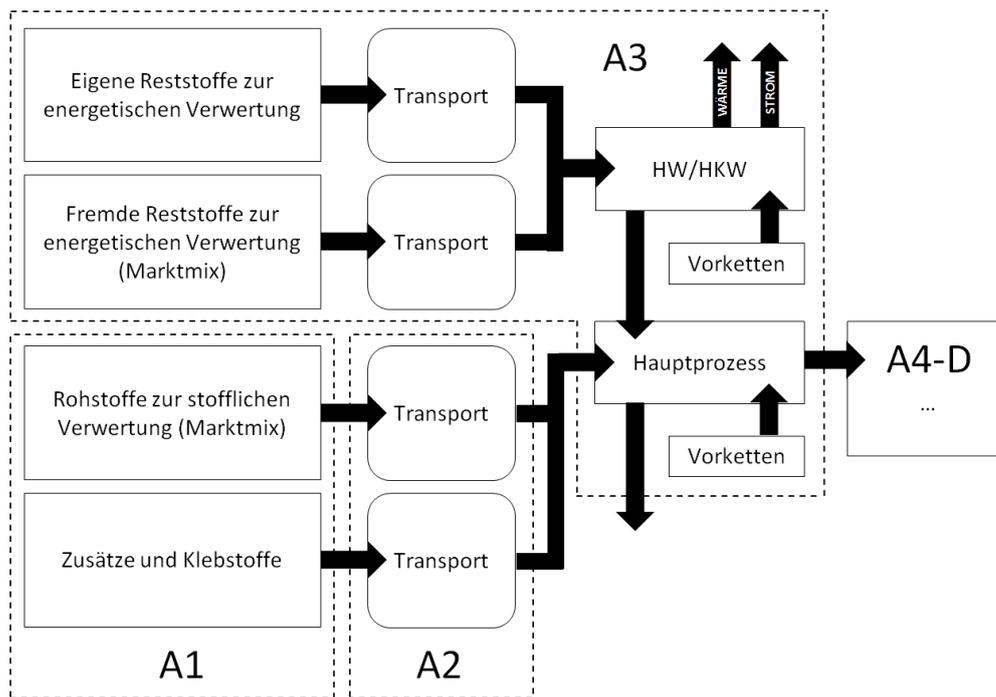


Abbildung 2-6: Systemgrenzen der Module A1 bis A3

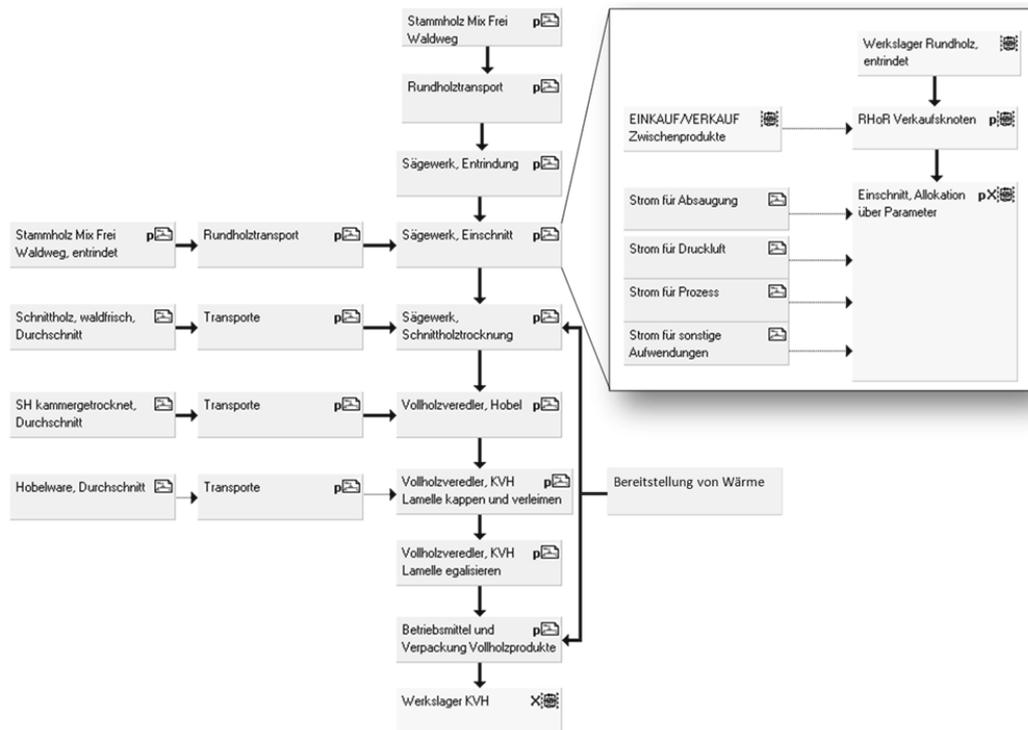


Abbildung 2-7: Modellierung der Module A1 bis A3 in Ökobilanzsoftware am Beispiel der Herstellung von Konstruktionsvollholz

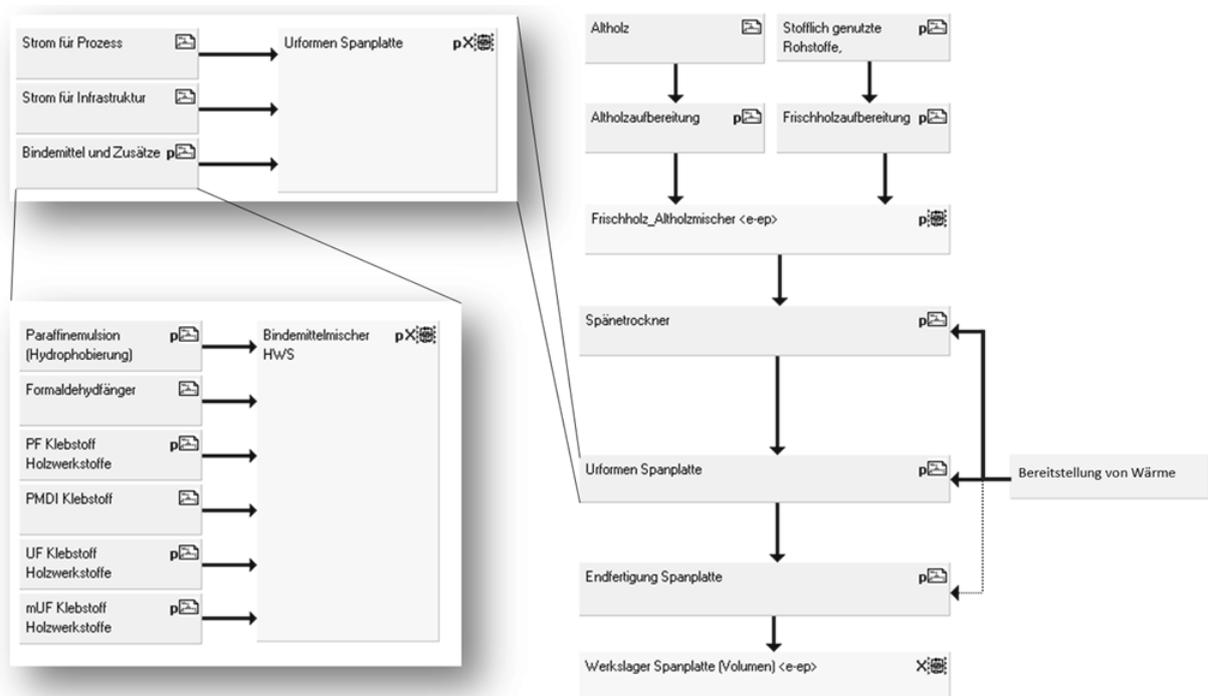


Abbildung 2-8: Modellierung der Herstellung von Spanplatte in Ökobilanzsoftware

### 2.5.1.5 Entsorgung der Produkte (Module C2 bis C4)

Das Informationsmodul C2 beschreibt den Transport vom Ort des Abrisses des Gebäudes bis zur Entsorgungs- oder Verwertungsstelle für die anfallenden Reststoffe und das Modul C3 beinhaltet alle Aufwendungen der Abfallbewirtschaftung. Das Modul C4 bezieht sich auf eine mögliche Deponierung der Produkte am Ende des Lebenszyklus.

Für eine Bewertung der Entsorgung, sowohl nach EN 15804:2012 als auch nach ILCD Handbuch, musste zunächst der Punkt der vollständigen Abfallbehandlung bzw. die Systemgrenze des Entsorgungsstadiums ermittelt werden. Dabei sind für eine Bewertung nach EN 15804:2012 in Abhängigkeit des gewählten Entsorgungsszenarios unterschiedliche Kriterien anzusetzen. Wird das Produkt stofflich verwertet, kann direkt auf die in Kapitel 2.5.1.1 beschriebene Definition des Punktes der vollständigen Abfallbehandlung zurückgegriffen werden. Wird für das Entsorgungsszenario hingegen von einer Verbrennung ausgegangen, ist zunächst zu klären, ob diese Verbrennung einer Verwertung oder Entsorgung entspricht. Die Norm liefert hier folgende Festlegung:

„Materials for energy recovery are identified based on the efficiency of energy recovery with a rate higher than 60 % without prejudice to existing legislation. Materials from which energy is recovered with an efficiency rate below 60% are not considered materials for energy recovery.“ (CEN 2012:23/24)

Die Berechnung der Effizienz als Kriterium für eine Einordnung der Verbrennung als Beseitigungs- oder Verwertungsverfahren leitet sich aus der EU-Abfallrahmenrichtlinie (AbfRRL) vom 19.11.2008 ab (EU 2008). Hierbei wird über das im Anhang II der Richtlinie definierte R1 Verwertungsverfahren, das im Fall einer hauptsächlichen Verwendung des Abfalls als Brennstoff oder als anderes Mittel der Energieerzeugung vorliegt, eine Einteilung der zugehörigen Anlagen über einen Energieeffizienzwert vollzogen. Dabei gilt das Verfahren als Beseitigungsverfahren, wenn dieser Wert kleiner ist als 0,6 für Anlagen, die bis 2008, und kleiner als 0,65 für alle Anlagen, die ab 2009 genehmigt wurden. Die sogenannte „R1 Formel“ lautet:

$$\text{Energieeffizienz} = \frac{(E_p - (E_f + E_i))}{(0,97 \cdot (E_w + E_f))}$$

Wobei:

$E_p$  = jährlich als Wärme oder Strom erzeugte Energie. Der Wert wird berechnet, indem Elektroenergie mit dem Faktor 2,6 und für gewerbliche Zwecke erzeugte Wärme mit dem Faktor 1,1 (GJ/Jahr) multipliziert wird.

$E_f$  = der jährliche Input von Energie in das System aus Brennstoffen, die zur Erzeugung von Dampf eingesetzt werden (GJ/Jahr).

$E_w$  = die jährliche Energiemenge, die im behandelten Abfall enthalten ist, berechnet anhand des unteren Heizwerts des Abfalls (GJ/Jahr).

$E_i$  = die jährliche importierte Energiemenge ohne  $E_w$  und  $E_f$  (GJ/Jahr).

Die Formel stellt dabei keine physikalische Definition der Effizienz oder des Wirkungsgrades der Anlagen dar, sondern kombiniert die physikalischen Grundlagen zu einem „Leistungsindikator für die energetische Verwertung von Abfall in einer Anlage, die zur Verwertung von festen Siedlungsabfällen dient“ (EC 2011b:6). Dabei kann die Formel zukünftig bei verbesserter Technologie angepasst werden.

Nach THRÄN et al. wurden im Jahr 2008 rund 6,7 TWh Strom und 3,2 bis 5,2 TWh Wärme aus der Verfeuerung von 5,3 bis 7,6 Mio. t atro Biomassefestbrennstoffen in Biomasse(heiz)kraftwerken ausgekoppelt. Dabei lag der Anteil von Altholz an den in diesen Feuerungsanlagen genutzten Brennstoffen zwischen 25 % bei Anlagen bis 0,5 MWel und 53 % bei Anlagen ab 5 MWel. Daraus ergibt sich, dass etwa 90 % des Altholzes in Anlagen oberhalb 5 MWel verbrannt werden (Tabelle 2-3). Der durchschnittliche elektrische Brutto-Wirkungsgrad für die Altholzverbrennung liegt bei 23 %. (THRÄN, ET AL. 2009).

**Tabelle 2-3: Anteil der Altholzverbrennung in 2008 (vgl. THRÄN, ET AL. 2009)**

Anlagengröße	Anteil installierter. el. Leistung [%]	Anteil Altholz an Brennstoffen [%]	Verbrauchsanteile von Altholz (berechnet) [%]	Brutto- Wirkungs- grad elektrisch (gemittelt) [%]
< 0,5 MWel	1	28	1	8,5
0,5 - 5 MWel	18	25	9	12,5
> 5 MWel	81	53	90	24,0

Geht man davon aus, dass die ausgekoppelte Wärme über alle Anlagen gleichmäßig verteilt ist, so werden bei der Verbrennung von 1 t Holz (atro) zwischen 0,882 kWh und 1,264 kWh Strom respektive 0,604 kWh und 0,684 kWh technisch nutzbare Wärme erzeugt. Wendet man nun die beschriebene „R1 Formel“ an, ergibt sich daraus ein Wert für die Energieeffizienz zwischen 0,59 und 0,76. Da sich die Daten der Untersuchungen der vorliegenden Studie auf das Jahr 2009 beziehen, kann als Effizienzgrenzwert 0,6 (für Anlagen, genehmigt bis 2008) angenommen werden, so dass die thermische Nutzung von Altholz am Ende des Lebenszyklus einer Verwertung entspricht und bei der Berechnung nach EN 15804:2012 demzufolge dem Modul D zuzuordnen sind. Daher erfolgt keine Unterscheidung für die Module C2 bis C4 bei der Modellierung der stofflichen und energetischen Verwertung.

Bei einer Bewertung nach ILCD Handbuch erfolgt die Identifizierung der Systemgrenze des Entsorgungsstadiums über den Marktwert des Abfallstroms. Wie in Kapitel 2.2.2.2 beschrieben, ist die Systemgrenze der Entsorgung identisch mit dem Punkt der vollständigen Abfallbehandlung nach Norm EN 15804:2012. Die nach ILCD Handbuch gerechneten Aufwendungen der Entsorgungsphase sind daher mit den Ergebnissen der Szenarien nach Norm EN 15804:2012 identisch.

Für die Umsetzung der Modellierung im Rahmen dieser Untersuchung bedeutet dies, dass die nach dem Abriss des Gebäudes anfallenden Althölzer zunächst über eine Distanz von 20 km zum nächsten Entsorger transportiert werden (Modul C2). Beim Entsorgungsunternehmen angekommen werden sie sortiert und zerkleinert (Modul C3). An dieser Stelle ist der Punkt der vollständigen Abfallbehandlung erreicht und das Modul C endet an dieser Stelle. Das Altholz kann im nächsten Produktsystem ver-

wendet werden. Da für das Altholz entweder eine stoffliche oder energetische Verwertung, und somit keine Deponierung unterstellt wird, entfallen auf das Modul C4 bei allen Untersuchungen im Rahmen dieser Studie keine Aufwendungen.

Das mit einer stofflichen oder energetischen Verwertung verbundene Substitutionspotential wird nach EN 15804:2012 in Modul D bewertet. Da dies aus methodischer Sicht eine Systemraumerweiterung darstellt (s. Kapitel 2.2.2.1), wird die Berechnung für die stoffliche Verwertung in Kapitel 2.5.2.3 und für die energetische Verwertung in Kapitel 2.5.2.4 näher erläutert. Der Umgang mit vermiedenen Umweltlasten durch die Wiederverwertung von Holz am Ende des Lebenszyklus nach ILCD Handbuch wird in Kapitel 2.5.2.5 beschrieben.

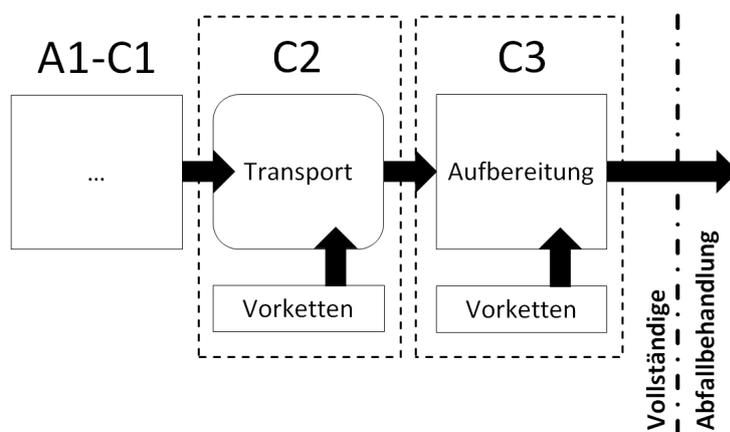


Abbildung 2-9: Systemgrenzen der Szenarien C2 bis C4 (stofflich und energetisch)

### 2.5.1.6 Bewertung der Verpackung (Modul D)

Die Herstellung der Verpackung, in die das Produkt an der Schnittstelle zwischen Module A3 und Modul A4 (Transport zur Baustelle, *nicht Teil dieser Studie*) verpackt ist, fällt vollständig in das Modul A3. Die Entsorgung selbiger Verpackung wird nach EN 15804:2012 in Modul A5, die Gutschriften aus der Entsorgung bzw. eine mögliche Verwertung hingegen werden in Modul D betrachtet.

Da wesentliche Lasten und Gutschriften aus der Behandlung der Verpackung am Ende des Lebenszyklus mit der Verbrennung der Holzverpackungen einhergehen, die, wie im vorherigen Kapitel erläutert einer Verwertung entspricht, die Behandlung der Verpackungen insgesamt jedoch nur einen unwesentlichen Teil in der Herstellungsbilanz ausmacht, wird der Einfachheit halber davon ausgegangen, dass alle Verpackungsreste verwertet werden können. Damit fallen alle Lasten und Gutschriften aus der Behandlung der Verpackung am Ende des Lebenszyklus vollständig in Modul D an. Modul A5 enthält lediglich den Ausgang der Verpackungsmasse (in Form von Altholz) aus dem System.

Theoretisch könnte man auch für die Behandlung der Verpackung am Ende des Lebenszyklus dem Ansatz aus Modul C3 folgen, und Gutschriften für das stoffliche Recycling über die Relation zur ökonomischen Wertminderung der Verpackungen berechnen (vgl. Kapitel 2.5.1.5). Da die Entsorgung der Verpackung insgesamt jedoch nur einen unwesentlichen Teil in der Herstellungsbilanz ausmacht und die

benötigten Preise für Verpackungsmaterialien und -reste schwer zu ermitteln sind, wird auch im stofflichen Szenario von einer energetischen Verwertung der thermisch verwertbaren Abfallfraktionen ausgegangen.

## 2.5.2 Angewandte Allokation und Systemraumerweiterung

Neben der in Kapitel 2.5.1.5 beschriebenen Verwertung von Altholz kommen für die Nebenprodukte der Holzindustrie sehr viel mehr Verwertungsoptionen in Frage. Hierzu zählen unter anderem ihre Nutzung in der Zellstoffindustrie, ihre Verwendung als Pellet oder Brikett für Öfen, als Kleintier- oder Stalleinstreu, sowie natürlich ihre Verwendung als Rohstoff innerhalb der Holzwerkstoffindustrie selbst.

Wie in Kapitel 2.2.2 beschrieben, können, für die Berechnung der Umweltwirkung von Produkten von der Wiege bis zum Werkstor (Module A1 bis A3) nach EN 15804:2012, grundsätzlich Allokationen verwendet werden. Folgt man den Vorgaben des ILCD Handbuchs, ist dies nur dann möglich, falls die Modelle für eine Systemraumerweiterung zu komplex würden. Da dies in Anbetracht der vielen Verwertungsmöglichkeiten der Fall ist, können Systemraumerweiterungen für die Herstellungsphase im Sinne beider Richtlinien ausgeschlossen werden.

Eine detaillierte Beschreibung der in dieser Untersuchung angewandten Methodik für die Produktphase findet sich im folgenden Kapitel.

### 2.5.2.1 Herstellung der Produkte (Module A1 bis A3)

Aufgrund der vielen Verwendungsmöglichkeiten des Rohstoffes Holz zeigen sich für das in einer Ökobilanz definierte Produktsystem viele Wechselwirkungen mit anderen Produktsystemen. Wegen seiner Eigenschaften als Naturstoff sind für die stoffliche Verwendung von Holz relativ viele Bearbeitungsschritte nötig, die das Ausgangsmaterial stark reduzieren und somit viele Reststoffe erzeugen. Hochveredelte Vollholzprodukte etwa benötigen ein Vielfaches ihres Volumens an im Wald eingeschlagener Biomasse. Im Zuge der Bearbeitung entlang der Forst- und Holzketten sinken jedoch die anfallenden Mengen an Nebenprodukten, je höher das Hauptprodukt veredelt wird. Dies gilt ebenso für die zu erzielenden Erlöse aus den erzeugten Co-Produkten. Dennoch sind alle entlang der Prozesskette anfallenden Reststoffe für die weitere stoffliche oder energetische Nutzung interessant. Neben dem Wald als Hauptrohstofflieferanten stammt ein Großteil der Rohstoffe daher aus der vollholzverarbeitenden Industrie und Wechselbeziehungen des untersuchten Produktsystems mit anderen Produktsystemen sind vor allem im Bereich der Rohstoffbereitstellung wenig veredelter Produkte zu finden (i.e. Stammholz, Industrieholz, Schnittholz, Sägenebenprodukte). Die Verwendung der jeweiligen Nebenprodukte richtet sich nach saisonalen Gegebenheiten, Transportentfernungen, langfristigen Lieferverträgen und nicht zuletzt nach den politischen Rahmenbedingungen für die Nutzung von Biomasse als erneuerbarer Energieträger. Die Zusammenhänge sind hier aber für jedes Unternehmen und jeden Standort unterschiedlich. Hinzu kommt der Umstand, dass die Holzindustrie einen Teil ihrer Nebenprodukte selber energetisch nutzt. Neben der benötigten Prozesswärme werden dabei teilweise erhebliche Mengen an

Strom erzeugt, die in das öffentliche Netz eingespeist werden und in manchen Fällen weit über die für die Herstellung der Holzprodukte genutzten Strommengen hinausgehen.

Die größten Herausforderungen bei der Untersuchung der Umweltwirkung der Herstellung von Holzprodukten (Modul A1-A3) liegt demnach beim Umgang mit den auftretenden Co-Produkten der Holzverarbeitenden Industrie, die aber, wie oben bereits beschrieben, mit Allokationen bewältigt werden können.

Da es sich bei den Nebenprodukten der Holzverarbeitung nach EN 15804:2012 grundsätzlich um Produkte handelt, die relativ zu dem erzeugten Hauptprodukt ein nur geringes Betriebseinkommen generieren (Unterschied bei mehr als 25 %, CEN 2012:27), werden im Sinne der Norm Allokationen auf Basis der Preise der entstandenen Produkte durchgeführt. Dies bezieht sich jedoch nicht auf die inhärenten Eigenschaften der Materialien (i.e. Energiegehalt, elementare Zusammensetzung, etc.): der Holzinput in solche Prozesse wird nach Masse auf die Produkte verteilt.

Die im Zuge der vorliegenden Untersuchung angewandten Allokationen werden nachfolgend beschrieben (vgl. Abbildung 2-10):

#### ■ **Allokation nach Masse**

Allokationen nach Masse wurden immer dann durchgeführt, wenn zwischen der im Output bestehenden Masse und der im Input bestehenden beliebigen Eigenschaft eines Prozesses ein kausaler Zusammenhang bestand. Dies trifft im speziellen auf alle Holzrohstoffinputs in Holzverarbeitenden Prozessen zu, aus denen wiederum ein Holzprodukt im Output entsteht sowie auf alle Klebstoffe und Zusätze, die sich im Produkt wiederfinden. Ferner wurden auf diese Weise auch die Aufwendungen der Holz Trocknung nach Masse des verdampften Wassers auf die Produkte und Reststoffe durchgeführt.

#### ■ **Allokation nach Exergie**

Sofern in den untersuchten Werken Kraftwärmekopplungen (KWK) zum Einsatz kamen, wurden die genutzten Brennstoffmengen, die resultierenden Emissionen und alle mit der Erzeugung von Wärme in Zusammenhang stehenden Aufwendungen nach Exergie der Produkte Wärme und Strom alloziert.

Als Begründung für die Allokation nach Exergie kann genannt werden, dass sich hierdurch auf transparente Weise die Wertigkeit der Produkte fernab der komplexen ökonomischen Rahmenbedingungen im Energiesektor darstellen lässt. An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, dass im Bereich der Kraftwärmekopplungen Allokationen nach Exergie bei der Durchführung von Ökobilanzen in der Holzindustrie bisher selten durchgeführt wurden. In der Regel wurde mit Systemraumerweiterungen gearbeitet, die eine Substitution von Brennstoffen durch die Bereitstellung des erzeugten Stroms für andere Produktsysteme abbilden. Nach den Anforderungen der EN 15804:2012 wird jedoch im Umgang mit Co-Produkten die Anwendung von Allokationen vorgeschrieben.

#### ■ **Allokation nach Preis**

Für alle anderen Allokationen wurde eine ökonomische Basis gewählt, und zwar der Marktpreis der Produkte im Output.

Eine Ausnahme von den oben beschriebenen Regeln wurde für einen Teilbereich der Bilanzierung in Modul A3 durchgeführt. Eigentlich müssten alle Aspekte der Entsorgung bzw. Verwertung der Abfallströme aus dem Werk (z.B. Siedlungsabfälle) auf die Holzprodukte und der bei der Entsorgung dieser Abfallströme erzeugten Produkte (i.e. Wärme, Strom und Recyclingstoffe) alloziert werden. Dabei müsste der Nutzen der Rohstoffe, die im Abfall enthalten sind, auf Basis des Preises oder Brennwertes der Abfallströme anteilig auf das Produktsystem angerechnet werden. Der Aufwand für die hierfür notwendigen Untersuchungen zu Brennwerten, Durchmischungen, Recyclingpotentialen, Sammelquoten u. ä. ist jedoch aufgrund des marginalen Beitrags des Restnutzens der Abfälle in Bezug auf die Gesamtemissionen der jeweiligen Produktsysteme nicht zu rechtfertigen. Im Ergebnis liegt ihr Beitrag bei jeweils bei weniger als 1 % der gesamten Aufwendungen. Daher werden für diesen Teil der Modellierung aus Gründen der Vereinfachung Systemraumerweiterungen durchgeführt. Werden die Abfallströme thermisch verwertet, werden Gutschriften in Form von nicht verbrannten fossilen Brennstoffen angerechnet. Werden die Abfallströme stofflich recycelt, werden Recyclingpotentiale, beispielsweise für Metalle, gutgeschrieben.

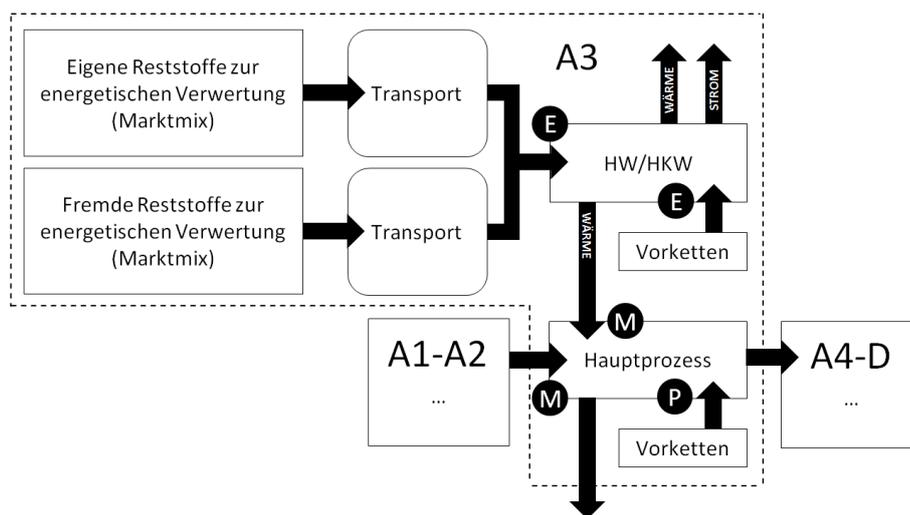


Abbildung 2-10: Allokationen nach Exergie (E), Masse (M) und Preis (P) in Modul A 3

### 2.5.2.2 Entsorgung der Produkte (Module C2 bis C4)

Wie aus Kapitel 2.5.1.5 hervorgeht sind die Umweltwirkungen der Entsorgung der Produkte in den Modulen C2 bis C4 für alle Szenarien identisch. Allokationen und Systemraumerweiterungen treten innerhalb des Moduls C nicht auf, wobei jedoch das Altholz im Zustand am Ende von Modul C3 (sortiert und zerkleinertes Altholz) das Co-Produkt des in Kapitel 2.2.2.2 vorgestellten *true joint process* für eine Bewertung des Recyclings nach ILCD Handbuch definiert. Die weitere Vorgehensweise nach diesen Vorgaben wird in Kapitel 2.5.2.5 beschrieben.

### 2.5.2.3 Stoffliches Entsorgungsszenario nach EN 15804 (Modul D stofflich)

In diesem Szenario wird von einer 100%igen stofflichen Nutzung des Altholzes ausgegangen. Die relevante Systemerweiterung in Modul D bezieht sich demnach auf die Substitution primärerer Holzrohstoffe durch dieses stofflich nutzbare Altholz.

Die Berechnung der Nettoflüsse von Modul D wird, wie in Kapitel 2.2.2.1 beschrieben, in drei Schritten durchgeführt. Zunächst werden die im System stofflich genutzten Altholzflüsse von den am Ende des Lebensweges an der Grenze zwischen Modul C3 und D auftretenden Altholzflüssen subtrahiert. Um anschließend die potentiellen Gut- und Lastschriften dieser Altholzmengen in anderen Produktsystemen zu ermitteln, werden die Aufwendungen des Recyclings des Altholzes nach dem Punkt der vollständigen Abfallbehandlung aufsummiert. Das Altholz wird hierzu möglichst soweit aufgewertet, bis es mit dem substituierten Produkt funktional äquivalent ist. Die Norm beschreibt diesen Vorgang wie folgt:

“[...] by adding the impacts connected to the recycling or recovery processes from beyond the system boundary (after the end-of-waste state) up to the point of functional equivalence where the secondary material or energy substitutes primary production [...].” (CEN 2012:28)

Der für Altholz mengenmäßig einzig relevante Weg der stofflichen Nutzung ist derzeit die Verwertung als Mittelschichtspan bei der Spanplattenherstellung. Im Rahmen der Umsetzung in der vorliegenden Studie wurde daher bei der für die Bewertung nach EN 15804:2012 nötigen Definition eines substituierten Produktes aus Primärmaterial davon ausgegangen, dass durch das verwertete Altholz Sägenebenprodukte geringer Qualität bzw. Industrierestholz substituiert werden, die im Zuge der Vollholzbearbeitung als Nebenprodukte anfallen. Das Altholz muss hierzu nicht weiter aufgearbeitet werden, da es bereits am Punkt der vollständigen Abfallbehandlung seine Funktion als Substitut dieser Nebenprodukte der Holzverarbeitung erreicht hat. Es fallen demnach auch keine weiteren Aufwendungen für eine Aufbereitung des Altholzes an, die in diesem Kontext bilanziert werden.

Als nächster Schritt der Berechnung werden nach EN 15804:2012 die Aufwendungen subtrahiert, die mit der Bereitstellung der substituierten Produkte verbunden sind. Die Norm gibt hierzu vor:

“[...] and subtracting the impacts resulting from the substituted production of the product or substituted generation of energy from primary sources.” (CEN 2012:28)

Die substituierte Produktion bzw. deren Umweltwirkungen sind die Aufwendungen der Bereitstellung von Sägenebenprodukten und Industrieresthölzern, d.h. die nach Nebenprodukten allozierten Wirkungen der Vollholzbearbeitung. In dieser Studie wurde davon ausgegangen, dass diese Wirkungen hinreichend gut über eine Allokation der Nebenprodukte von Sägewerken dargestellt werden kann. Weitere Erläuterungen hierzu finden sich in Kapitel 2.6.2.4.

Im letzten Schritt der Berechnung der Nettoflüsse in Modul D wird eine Wertkorrektur durchgeführt, die bei nicht vorhandener Äquivalenz der Altholzströme zu den substituierten Nebenprodukten der Vollholzverarbeitung entsprechende Wirkungen ausgleichen soll. Im Fall von Altholz deutet der Preis-

unterschied zwischen Altholz und Industrierestholz auf ein technisch-ökonomischen Unterschied der beiden Fraktionen hin. Ohne hierbei alle möglichen Gründe aufzuzählen ist dies im Wesentlichen durch die Verfügbarkeit, Homogenität und möglicherweise durch die unterschiedliche Holzfeuchte begründet. Da hierzu nur wenige Informationen verfügbar sind, und auf der Seite der substituierten Produkte entsprechende Unterschiede auftreten, wird, wie im Rahmen der EN 15804:2012 beschrieben, ein Wertkorrekturfaktor eingeführt, der die Differenz in funktionaler Äquivalenz beschreibt. Analog zu den in Tabelle 2-4 genannten Preisen für Industrierestholz und Altholz der Kategorie I liegt dieser Faktor bei 0,55. Er reduziert damit das berechnete Potential durch die Substitution von Industrierestholz bzw. dessen Produktion um 45 %.

#### **2.5.2.4 Energetisches Entsorgungsszenario nach EN 15804 (Modul D energetisch)**

In diesem Szenario wird von einer 100%igen energetischen Verwertung des Altholzes ausgegangen. Die Systemerweiterung, die nach EN15804:2012 in Modul D dargestellt wird, beinhaltet demnach die Aufwendungen durch die Verbrennung des Altholzes in einem Biomasseheizkraftwerk auf Basis der in Kapitel 2.5.1.5 genannten Zahlen, sowie potentielle Gutschriften durch die Substitution fossiler Brennstoffe. Entsprechend den Ausführungen zum Stand der Technik der energetischen Altholzverbrennung wird von einem Gesamtnutzungsgrad von 35 % und einer Effizienz der Kraftwärmekopplung von 23 % ausgegangen. Dabei werden bei der Verbrennung von 1 t Holz (atro) etwa 1231 kWh Strom und 2313 MJ nutzbare Wärme erzeugt. Die exportierte Energie substituiert Brennstoffe aus fossilen Quellen, wobei unterstellt wird, dass die thermische Energie aus Erdgas erzeugt würde und der substituierte Strom dem deutschen Strommix aus dem Jahr 2009 entspricht (s. Kapitel 2.6.3). Für alle Produkte erfolgt die Bewertung der thermischen Nutzung je absolut trockene Gewichtseinheit gleich. 1 kg Holz (atro) wurde mit einem unteren Heizwert von 19,217 MJ/kg berücksichtigt.

Zur Berechnung der Nettoflüsse in Modul D werden zunächst die im System energetisch genutzten Altholzflüsse von den am Ende des Lebensweges an der Grenze zwischen Modul C3 und D auftretenden Altholzflüssen subtrahiert (s. Kapitel 2.2.2.1). Modul D umfasst dann die Lasten, die mit der thermischen Verwertung der verbleibenden Altholzmenge einhergehen, von welchen die Wirkungen, die aus der substituierten Energieerzeugung aus Primärrohstoffen resultieren, subtrahiert werden. Letztere beinhalten die thermische Energie aus Erdgas und den substituierten Strom des deutschen Strommixes aus dem Jahr 2009. Die Anwendung eines Wertkorrekturfaktors ist hierfür nicht notwendig.

#### **2.5.2.5 Co-Produkt-Allokation der Abfallströme nach ILCD Handbuch**

Wie in Kapitel 2.2.2.2 beschrieben, definiert das ILCD Handbuch das am Ende von Modul C3 auftretende Altholz als Co-Produkt eines im betrachteten System liegenden Prozesses (*true joined process*), wobei die Tatsache, inwieweit das Co-Produkt in anderen Systemen genutzt wird, nicht relevant ist.

Entscheidend bei diesem Vorgehen ist die begründete Identifizierung dieses *true joint process*, respektive des hierzu identischen *true co-producing process*. Das ILCD Handbuch schreibt hierzu:

“The true joint process of the generated waste or end-of-life product is that process earlier in the life cycle of the analysed system, where the function [...] is technically approximately equivalent to the secondary good produced from the waste or end- of-life product.” (EC 2010c:345)

Für die im Rahmen der Entscheidungskontexte der Situationen A, C1 und C2 relevanten methodischen Umsetzungen ist dabei zu beachten, dass das Co-Produkt der Abfallstrom ist und nicht ein Co-Produkt, welches im Rahmen eines Verwertungsszenarios entsteht (etwa Strom und Wärme).

“[...] with the difference that the final secondary good after recycling is not the co-product for which the true joint process and true co-product are identified: Under attributional modelling, this co- product is the waste or end-of-life product as it is generated.” (EC 2010c:346).

Zur Bewertung des Recyclings bei Abfallströmen mit positivem Marktwert, wie im Fall des Altholzes, wird die durchschnittliche Wirkung jedes Produktes ( $e$ ) folgendermaßen definiert:

$$e = (P + W) * (1 - r) + R * r$$

*Wobei:*

$P$  = Wirkung der vor dem *true joint process* liegenden Prozesse bzw. der primären Produktion

$R$  = Wirkung der Aufwendungen für das Recycling nach dem Punkt der vollständigen Abfallbehandlung

$W$  = Wirkung der Entsorgung von nicht recycelbaren Anteilen

$r$  = Recyclingrate [0...1].

$e$  entspricht damit der Wirkung, die jedem Produkt in jedem Recyclingkreislauf angerechnet werden muss, wobei natürlich alle Aufwendungen, die zwischen dem *true joint process* und dem Punkt der vollständigen Abfallbehandlung liegen, jedem Produktsystem individuell und zusätzlich angerechnet werden müssen.

Im Rahmen dieser Studie wird für Altholzströme von einer Recyclingquote (je Recyclingkreislauf) von 100 % ausgegangen. Daraus folgt mit  $r=1$  für den ersten Term  $(P + W) * (1 - r) = 0$ . Da die Altholzfraktionen direkt nach dem Punkt der vollständigen Abfallbehandlung stofflich oder energetisch verwertet werden können, fallen zudem keine Wirkungen unter  $R$ , womit auch der zweite Term  $R * r = 0$  wird und somit  $e = 0$  ist.

Übrig bleibt die Bewertung der technischen Gleichheit zwischen dem am *true joint process* auftretenden Primärprodukt und dem Altholz. Das ILCD Handbuch vermerkt zu oben genannter Formel:

“Note that this assumes technical equality between primary produced and reused/recycled/recovered material, part, or energy carrier. If these differ [...], a correction factor is to be introduced. This factor can be understood to correct for not full equivalence of the technical quality of the primary produced material/energy or part from

the true co-producing process and the end-of-life product. Especially for complex end-of-life products, this also captures the additional effort [...]. This correction factor should be the market price ratio of secondary/primary material, part, or energy carrier.” (EC 2010c:352)

Damit ergibt sich für den ersten Recyclingkreislauf, d.h. für das Material welches dem Recycling zur Verfügung steht und im betrachteten Produktsystem aus Primärmaterial gewonnen wurde, eine Anrechnung der Prozesse vor dem *true joint process*, die dem Wertverfall zwischen den Co-Produkten des *true joint process* entspricht. Da als Resultat von  $e = 0$  nur der erste Recyclingkreislauf von Interesse ist, dürfen nur diejenigen Fraktionen des Altholzes als Co-Produkt angesehen werden, die im betrachteten System aus Primärmaterial hervorgegangen sind. Somit müssen, analog zum Vorgehen im Rahmen des stofflichen Verwertungsszenarios der EN 15804:2012 (Kapitel 2.5.2.3) - zunächst die Fraktionen an Altholz abgezogen werden, die im System stofflich genutzt wurden und Teil des Altholzes sind. Für die Identifizierung des 2ten Co-Produktes muss der *true joint process* identifiziert werden.

Folgt man den Ausführungen des ILCD Handbuchs, so entspricht die Verwertung der Altholzströme einem Recycling mit „offenem Pool“, dem sogenannten „Open-Loop Recycling“. Dabei ist nicht bekannt in welche Anwendungen das recycelte Produkt im weiteren Verlauf seines Lebensweges einfließt. Der Pool an Recyclingmaterial ist „offen“ für viele Anwendungen. Weiter spezifiziert entspricht das Recyclingmaterial nicht vollständig allen möglichen substituierten Materialien, da es durchmischt ist mit anderen Stoffen und möglicherweise manchen Anwendungen qualitativ nicht genügt. Das ILCD Handbuch definiert hierzu das „Open Loop recycling with different primary route“ über die in ISO 14044 zu findende Differenzierung der Recyclingtypen:

“Material aus einem Produktsystem wird in einem anderen Produktsystem recycelt. [...] Recyceltes Material erfährt eine Veränderung der materialinhärenten Eigenschaften.“ (DIN 2006a:32)

Insbesondere in diesen Fällen ist die Identifizierung des *true joint process* schwierig, da die Anwendungen für das Recyclingmaterial nicht bekannt sind und somit die Erfüllung der Definition des *true joint process* als „[...] process earlier in the life cycle of the analysed system, where the function [...] is technically approximately equivalent to the secondary good [...]“ nur sehr schwierig einem exakten Prozess zuzuordnen ist (EC 2010c:345). In der vorliegenden Studie werden der *true joint process* bzw. die daraus resultierenden Produkte daher aus folgender Überlegung hergeleitet:

Ist der Wert des Altholzes gleich Null und der Wert des anderen Co-Produktes größer Null, so wird die gesamte Wirkung der Primärproduktion, die vor dem *true joint process* liegt, dem betrachteten System bzw. dem betrachteten Recyclingkreislauf angerechnet. Ist der Wert des Altholzes und der des anderen Co-Produktes identisch, so wird dem betrachteten Recyclingkreislauf diese Umweltwirkung nicht angerechnet. Die Allokation der Umweltwirkung auf die beiden Co-Produkte entspricht damit einer Bewertung der Abnutzung eines Rohstoffes durch die Herstellung und Nutzung eines aus diesem Rohstoff hergestellten Produktes auf Basis der ökonomischen Wertminderung. Der *true joint process* kann somit nur an der Stelle liegen, an dem die Rohstoffe bewusst für diese spezifische Nutzung eingesetzt werden. Da für den Rohstoff, wie auch für Holzhalbwaren und Industrierestholz (z.B. Rundholz, Schnittholz, Hobelware, Späne und Hackschnitzel), viele Anwendungsmöglichkeiten bestehen, ist da-

von auszugehen, dass der bewusste Einsatz dieser Rohstoffe entlang der Verarbeitungskette für die Herstellung eines spezifischen Produktes in der Regel an dem Punkt im Produktsystem liegt, an dem die Holzrohstoffe gezielt von einem Hersteller der eingesetzten Rohstoffe (z.B. Forstamt oder Sägewerk) zu einem Hersteller des höher veredelten Holzproduktes transportiert werden. Dies entspricht dem nach EN 15804 bereits definierten Modul A1, wobei hier nur die Vorketten der Bereitstellung von Holzprodukten genutzt werden dürfen, da die Klebstoffe in jedem Fall spezifisch für ein bestimmtes Produkt hergestellt werden und die Altholzfraktionen keine Klebstoffe substituieren.

Damit werden dem betrachteten System diejenigen Anteile der Bereitstellung von Holzrohstoffen aus Modul A1 angerechnet, die dem ökonomischen Wertverfall zwischen dem Wert des Rohstoffmix der eingesetzten Holzrohstoffe und dem Wert der aus diesen resultierenden Anteilen der Althölzer entsprechen.

Zur Erläuterung soll nachfolgendes Beispiel dienen:

*Für die Herstellung von Konstruktionsvollholz werden für 1 m<sup>3</sup> Produkt verschiedene Holzrohstoffe bezogen. Die Gesamtmasse des Einkaufs besteht zu 41 % aus Rundholz in Rinde, zu 22 % aus frischem Schnittholz und zu 37 % aus kammergetrocknetem Schnittholz. Damit errechnet sich der Preis für den Zukauf von 1 m<sup>3</sup> Rohstoff auf etwa 88,70 €. Das aus dem Produkt entstandene Altholz hat einen Wert von 11 €/m<sup>3</sup>. Da bei der Herstellung von Konstruktionsvollholz keine Althölzer stofflich verwertet werden, muss keine Verrechnung der stofflich genutzten Fraktionen mit dem resultierenden Altholzstrom erfolgen. Der Wertverfall entspricht dann 77,7 €/m<sup>3</sup> so dass 77,7 €/m<sup>3</sup> von 88,7 €/m<sup>3</sup>, also ungefähr 87,6 % der Primärproduktion (i.e. der Bereitstellung von Holz in Modul A1) dem betrachteten System angelastet werden.*

Für eine Berechnung dieser reduzierten Wirkung der Primärproduktion kann auf Basis der Ergebnisse aus den Berechnungen nach EN 15804 natürlich auch der Restwert des Altholzes (nach obigem Beispiel 12,4 %) mit der Wirkung der Bereitstellung von Holz in Modul A1 multipliziert und dann von Modul A1 abgezogen werden.

#### **2.5.2.6 Verwendete Allokationsparameter**

Für eine Allokation nach Preis der Produkte und Koppelprodukte müssen deren Preise bekannt sein. Für entsprechende Allokationen wurden die in Tabelle 2-4 dargestellten Preise für die Produkte und Nebenprodukte verwendet, die sich aus Literaturangaben und den Angaben der beteiligten Werke der Industrie ergeben.

Da die Qualitäten und Anwendungsmöglichkeiten der erzeugten Ware, und somit auch die erzielten Preise, enormen Schwankungen unterliegen (für kammergetrocknetes Schnittholz wurden beispielsweise 2009 je nach Dimension und Qualität Preise zwischen 80 €/m<sup>3</sup> und 180 €/m<sup>3</sup> erzielt) und große regionale Unterschiede bestehen, wurde auf die Berechnung von „genauen“ Mittelwerten verzichtet. Stattdessen wurden möglichst realitätsnahe Preise in Abstimmung mit den beteiligten Industrieunternehmen ermittelt, die das letztlich entscheidende Preisverhältnis zwischen Produkten und Nebenprodukten widerspiegeln und in einfachen Verhältnissen zueinander stehen.

Da sich auch die Preise für Altholz nach Region und Zeit stark unterscheiden, wurden für die Altholzkategorie A I und für Althölzer der Kategorien A II bis A III über die Jahre 2009 und 2010 Durchschnittspreise ermittelt. Für die Berechnung wurde unterstellt, dass für die stoffliche Verwertung nur Altholz der Kategorie A I und für die thermische Verwertung die anderen Altholzfraktionen genutzt werden.

**Tabelle 2-4: Preise der Produkte und Koppelprodukte als Basis der Allokationen nach Preis (nach EUWID, verschiedene Reihen und Auskunft der Werke)**

Produkt	Preis [€/m <sup>3</sup> ]	Produkt	Preis [€/m <sup>3</sup> ]
Industrieholz	30	Faserplatte	220
Stammholz	50	Oriented Strand Board	260
Stammholz entrindet	50	Sperrholz	1500
Schnittholz, waldfrisch	100	Fertigparkett	2500
Schnittholz, kammergetrocknet	125	Massivparkett	5000
Hobelware	165	Hackschnitzel	30
Konstruktionsvollholz	240	Späne	25
Brettschichtholz	400	Holzmehl (s. Späne)	25
Balkenschichtholz	400	Rinde	5
Brettsperrholz	400	sonstiges Industrierestholz	20
1-Schichtplatte	400	Waldhackschnitzel (s. Hackschnitzel)	30
3- und 5-Schichplatte	400	Altholz A I	11
Spanplatte	140	Altholz A II bis A III	4

Analog zur „Zuordnung gängiger Altholzsortimente im Regelfall“ (Anhang III zu § 5 Abs. 1, ALTHOLZV 2002) wird davon ausgegangen, dass alles Altholz, das aus der Nutzung von Vollholzprodukten ohne Verunreinigungen (i.e. Holzschutzmittel) stammt, der Altholzkategorie A I zugeordnet werden kann, und somit einen durchschnittlichen Preis von 11 €/m<sup>3</sup> erzielt. Für Althölzer aus der Nutzung von allen anderen Holzprodukten wird der gemittelte Preis von 4 €/m<sup>3</sup> unterstellt.

### 2.5.3 Abschneidekriterien

Die Wahl der betrachteten Stoff- und Energieströme richtet sich nach deren Einsatz an erneuerbarer und nicht erneuerbarer Primärenergie je Einheitsprozess. Eine Entscheidung über die zu beachtenden Flüsse resultiert aus den bereits vorhandenen Studien zur Bilanzierung von Holzprodukten und Klebstoffen, die in Kapitel 1.3.2 genannt sind. Nicht zuletzt aufgrund der detaillierten und umfangreichen Datenerfassung in dieser Untersuchung kann daher davon ausgegangen werden, dass mindestens diejenigen Stoff- und Energieströme beurteilt wurden, die 1 % des Einsatzes an erneuerbarer oder nicht erneuerbarer Primärenergie ausmachen, wobei die Gesamtsumme der nicht beachteten Flüsse nicht größer als 5 % der genannten Indikatoren ist. Danach wurden auch keine bereits bekannten Stoff- der

Energieströme vernachlässigt, die unterhalb der 1 % Grenze lagen. Alle ermittelten Inputs und Outputs, die sich aus den Angaben der Unternehmen ergaben, wurden auf Plausibilität geprüft.

Die Aufwendungen für die Bereitstellung der Infrastruktur (i.e. Maschinen, Gebäude, etc.) des gesamten Vordergrundsystems wurden nicht berücksichtigt. Dies beruht auf der Annahme, dass die Aufwendungen zur Errichtung und Wartung der Infrastruktur insgesamt das oben bereits beschriebene 1 % der Gesamtaufwendungen nicht überschreiten. Die zur Betreibung der Infrastruktur nötigen energetischen Aufwendungen in Form von Wärme und Strom wurden aber berücksichtigt.

Inwieweit in den Hintergrunddaten infrastrukturelle Aufwendungen berücksichtigt wurden, wird detailliert in Kapitel 2.6 beschrieben. Nachfolgende Tabelle 2-5 beschreibt die Prozesse, Input- und Outputflüsse, die in der Modellierung nicht berücksichtigt werden konnten oder nur abgeschätzt wurden.

**Tabelle 2-5: Liste der nicht beachteten oder geschätzten Stoff- und Energieflüsse**

Bezeichnung	Umgang
Spezifische Transportdistanzen der Zusätze	Da hierzu keine Daten verfügbar waren wurde angenommen, dass alle Zusätze mit einer Transportdistanz von 50km zum Werk transportiert wurden. Die Masse der Zusätze ist jedoch relativ klein im Vergleich zur Produktmasse. Der angenommene Wert basiert auf einzelnen Befragungen der Projektteilnehmer.
Brandhemmer (Spanplatte)	Es sind hierzu keine Vorketten verfügbar. Die genutzten Massen werden in den Sachbilanzen jedoch vermerkt.
Lacke bei Parkett	Oberflächenbeschichtungen bei Parkett wurden nicht berücksichtigt.
Wasserdampf während der Trocknung	Es wurden nur die nicht im Holz enthaltenen Wassermassen als Ressource (Oberflächenwasser) oder Vorkette (Trinkwasser) berücksichtigt und dessen Aufbereitung betrachtet.
Quellen und Schwinden	Die Trocknung von Holz vom Fasersättigungspunkt bis zur Gebrauchsfeuchte von etwa 15 % ist mit einer Abnahme des Volumens in einer Größenordnung von etwa 5 % (je nach Holzart unterschiedlich) verbunden. Aus Sicht der Modellierung hat dies Auswirkungen auf die dem Trocknungsprozess von Schnittholz vorangestellten Holzvorketten (die Trocknung von Holzpartikeln wurde auf Massebasis modelliert und ist daher unabhängig hiervon), wobei der Einfluss der Volumenreduktion durch die Trocknung für die Vorketten vor dem Einschnitt (der Prozess vor der Trocknung) auf etwa 3 % zu beziffern ist. Grund hierfür sind die beim Einschnitt entstehenden Nebenprodukte (etwa 40 %), die im weiteren Verlauf auf Basis ihrer Masse modelliert werden und daher unabhängig von Volumenschwankungen sind. Die in den Vorketten auftretenden Transportaufwendungen sind maßgeblich abhängig von der transportierten Masse, so dass im Wesentlichen das berechnete Volumen des bereitgestellten Rundholzes im Wald von der Volumenänderung beeinflusst wird. Da diese jedoch für maximal 25 % der Gesamtwirkung der relevanten Wirkungsindikatoren verantwortlich ist (s. Treibhauspotential bei kammergetrocknetem Nadel-schnittholz in Kapitel 3.2.2), liegt der Gesamteinfluss der Volumenänderung grundsätzlich unter 1 % und wird daher nicht berücksichtigt.
Klebstoffe	Die Menge an Klebstoffen, die nicht im Produkt verbleiben und als Abfall das Werk verlassen, konnten nicht identifiziert werden und wurden daher vollständig dem Produkt angerechnet. Somit können die Klebstoffmengen in den funktionalen Einheiten der Produkte leicht höher sein als es der Realität entspricht. Eine Rücksprache mit den Unternehmen ergab weiterhin, dass diese Unterschiede nur geringfügig sein können, da prozesstechnisch keine relevanten Mengen an Klebstoffüberschüssen an-

	fallen. Die Ökobilanzergebnisse werden hiervon nicht beeinflusst, da die Klebstoffvorketten in jedem Fall vollständig in die Bilanz eingehen.
Dämpfen von Rundholz	Es waren keine Daten zu den direkten Emissionen beim Dämpfen (vermutlich Wasserdampf und flüchtige organische Verbindungen) von Rundholz verfügbar. Die Emissionen zur Erzeugung der Wärme zum Dämpfen wurden berücksichtigt. Die benötigten Wassermengen auch.
Reifen	Die Herstellung der Reifen wurde nicht bilanziert, jedoch deren Entsorgung. Für die Herstellung waren keine Daten verfügbar.
Abfälle	Die bilanzierten Abfälle der Sachbilanz entsprechen den Mengen der genutzten Stoffe, die weder in das Produkt einfließen noch als Emission vor Ort bilanziert wurden. Da detaillierte Abfallbilanzen nicht verfügbar waren, werden beispielsweise die Verpackungen der eingekauften Betriebsmittel nicht betrachtet. Die vernachlässigte Menge wird als nicht erheblich betrachtet, da die Betriebsmittel selber nur einen sehr kleinen Anteil an den Ergebnissen haben.
Emissionen aus Verbrennungsprozessen und Klebstoffaushärtungen	Emissionen vor Ort wurden nicht gemessen, sondern anhand existierender Modelle berechnet. Die genutzten Modelle und Datensätze sind in Kapitel 2.6 detailliert beschrieben.
Stäube	Die vor Ort auftretenden Stäube wurden nicht betrachtet.
Infrastruktur	Die Bereitstellung der Infrastruktur wurde nicht berücksichtigt.

## 2.6 Verwendete Hintergrunddaten

Um die Umweltwirkung der Herstellung von Produkten abbilden zu können, muss die gesamte Wertschöpfungskette von der Wiege bis zum Werkstor, d.h. vom Rundholz ab Waldstraße bis zum veredelten Produkt, welches das Werk verlässt, betrachtet werden. Da sich die Datenerhebung im Rahmen dieses Projektes auf die werksseitigen Aufwendungen der Herstellungsprozesse in den teilnehmenden Unternehmen (i.e. das Vordergrundsystem) konzentrierte, konnten nicht alle notwendigen Vorketten im Rahmen einer Primärdatenerhebung abgedeckt werden. Demnach musste für die ebenso wichtige Berechnung der Umweltwirkung des Hintergrundsystems auf anderweitig verfügbare Quellen zurückgegriffen werden.

Mit Hilfe der in Kapitel 1.3.2 untersuchten Literatur konnten bereits im Vorfeld diejenigen Stoff- und Energieströme identifiziert werden, die einen wesentlichen Anteil an den Gesamtaufwendungen der jeweiligen Produkte haben. Wie im folgenden Kapitel 2.6.1 beschrieben, wurde zunächst der Einfluss der identifizierten Stoff- und Energieströme auf die Ergebnisse ermittelt, um die Aufwendungen der als relevant einzustufenden Einflussgrößen möglichst gründlich zu erfassen und mittels detaillierter Modellierungen abzubilden.

Sofern entsprechende Datensätze zu Prozessen oder bestimmten Flussgrößen verfügbar waren, wurde im Rahmen der Modellierung in diesem Projekt die GaBi Professional Datenbank von PE International in der Version 4.131 mit einer Aktualisierung in 2011 verwendet (s. Kapitel 2.5). In allen anderen Fällen wurden Modelle erstellt, um bestehende Datenlücken bzw. fehlende oder nicht dokumentierte Prozesse und Stoffströme in der Datenbank zu ergänzen.

### 2.6.1 Identifizierung relevanter Einflussgrößen anhand bestehender Datensätze

Die im Bereich der Vollholzprodukte in der Vergangenheit durchgeführten Produktökobilanzen wurden vornehmlich für den Bereich der wenig veredelten Vollholzprodukte, wie etwa sägeraues Schnittholz, getrocknetes Schnittholz und Hobelware durchgeführt (u.a. FRÜHWALD, ET AL. 2000b; RÜTER, KREIBIG 2007). Die im Rahmen dieser Untersuchungen ermittelten Sachbilanzen beinhalten neben den genutzten Holzmengen hauptsächlich die für die Produktion verwendeten Betriebsmittel sowie den Wärme- und Strombedarf. Daneben werden die Emissionen aus der Trocknung als relevant beschrieben.

**Tabelle 2-6: Relevante Aspekte der Vollholzproduktion auf die Umweltwirkung**

Bereich	Relevanz
Vorketten	Emissionen aus der Herstellung bzw. Bereitstellung von Holzrohstoffen, Brennstoffen, Strom, Betriebsmitteln (i.e. Schmierstoffe, Schneidstoffe, Schleifbänder, Diesel (und dessen Verbrennung), Reifen, Motoröle, Reinigungsmittel und Wasser) und Klebstoffe
Werksgelände	Emissionen aus Verbrennungsprozessen, der Trocknung und Klebstoffabbinding

Aus Sicht der relevanten Umweltemissionen ändert sich für diese Studie an den bereits beschriebenen Prozessen und eingesetzten Stoffen für die Bilanzierung von kammergetrocknetem Schnittholz bis zu veredelten Vollholzprodukten in Form von Brettschichtholz oder Brettsperrholz wenig, ausgenommen der Aufwendungen, die mit der Herstellung und dem Abbinden der Klebstoffe in Verbindung stehen. Die ermittelten wichtigsten Einflussgrößen sind in Tabelle 2-6 zusammengefasst.

In der Vergangenheit durchgeführte Ökobilanzen für Holzwerkstoffe konzentrierten sich vornehmlich auf die Produkte Spanplatten, Faserplatten und OSB. Da die in der vorliegenden Studie bilanzierten Sperrhölzer und mehrschichtigen Holzbodenbeläge keine wesentlichen Unterschiede hinsichtlich der für ihre Herstellung genutzten Prozesse aufweisen (i.e. Pressen, Trocknen, Kleben, etc.), wurden die für die bereits untersuchten Holzwerkstoffe als relevant identifizierten Stoff- und Energieströme auch für diese Produkte als relevant angenommen. Aus den vorhandenen Publikationen lassen sich damit die in Tabelle 2-7 gelisteten wichtigen Einflussgrößen auf die Umweltwirkung für alle Holzwerkstoffe ableiten.

**Tabelle 2-7: Relevante Einflussgrößen der Holzwerkstoffproduktion auf die Umwelt**

Bereich	Relevanz
Vorketten	Emissionen aus der Herstellung bzw. Bereitstellung von Holzrohstoffen, Brennstoffen, Strom, Betriebsmitteln (i.e. Schmierstoffe, Schneidstoffe, Schleifbänder, Diesel (und dessen Verbrennung), Reifen, Motoröle, Reinigungsmittel und Wasser), Klebstoffen, Zusätzen (i.e. Formaldehydfänger, Bindemittelzusätze, Hydrophobierung und Brandhemmer), und Beschichtungsstoffen
Werksgelände	Emissionen aus Verbrennungsprozessen, der Trocknung und Klebstoffabbinding

## 2.6.2 Holzrohstoffe

Die von der Holzindustrie genutzten Holzrohstoffe sind entweder direkt dem Forst entnommen (primäre Holzrohstoffe), sind Nebenprodukte der Holzindustrie oder sind Altholz. Im Folgenden wird die Zusammenstellung der Hintergrunddaten für die Bereitstellung der primären Holzrohstoffe und der Holzrohstoffe aus Nebenprodukten bzw. Co-Produkten der Holzindustrie erläutert. Altholz hat keine umweltlichen Aufwendungen, wenn es als Rohstoff eingesetzt wird (Kapitel 2.5), und wird hier nur im Zusammenhang mit seiner Aufbereitung vor Ort thematisiert.

### 2.6.2.1 Primäre Holzrohstoffe

Primäre Holzrohstoffe sind alle in der Holzindustrie stofflich oder energetisch genutzten Stoffe aus lignozellulosehaltiger Biomasse, die direkt dem Forst entnommen wurden oder dort als Reststoff anfallen. Als primäre Holzrohstoffe werden der Holzindustrie vorwiegend Stammholz, Industrieholz, sowie Schüttgut in Form von Hackschnitzeln zur Verfügung gestellt. Hierbei handelt es sich um Rohstoffe, die vor allem stofflich verwertet und nur in geringer Menge in ihrer Form als primäres Material einer energetischen Nutzung zugeführt werden. Daneben verwendet die Holzindustrie Rinde und Grünschnitt, hauptsächlich jedoch zur Erzeugung von Wärme oder zur Betreibung von Anlagen mit Kraftwärmekopplung.

Für die Berechnung der Umweltwirkung der Bereitstellung von Stammholz und Industrieholz verschiedener Holzarten wurde auf das Forstmodell der BMBF-Projektstudie „ÖkoPot“ zurückgegriffen, welches auf Untersuchungen von SCHWEINLE basiert (ALBRECHT, ET AL. 2008:28; SCHWEINLE 1996). Für die Ökobilanzberechnungen der vorliegenden Untersuchung wurde die Allokation der Aufwendungen für Stamm- und Industrieholz angepasst. Während das Stammholz (i.e. Rundholz ab etwa 15 cm Durchmesser) von der Sägeindustrie nachgefragt wird, dient das Industrieholz (i.e. Rundholz bis etwa 15 cm Durchmesser) als Rohstoff für die Holzwerkstoff-, Papier- und Energieindustrie. Für die Verwendung der Daten im Sinne der EN 15804:2012 sollen Allokationen nach Masse durchgeführt werden, sofern der Unterschied im Betriebseinkommen durch den Erlös aus den beiden Produkten mehr als 25 % beträgt (CEN 2012:27). Berücksichtigt man die Preisunterschiede zwischen den beiden Sortimenten (Tabelle 2-8) sowie die entstehenden Mengen an Industrieholz und Stammholz je Baumart, die im Rahmen dieser Untersuchung aus der oben genannten Studie abgeleitet wurden, so entsprechen die Unterschiede teilweise etwas mehr als 25 %, teilweise etwas weniger, je nach Holzart und regionalen Preisunterschieden. Daher konnte der Norm keine eindeutige Vorgabe zur Allokationsmethodik entnommen werden. Im Sinne einer konsistenten Vorgehensweise wurde daher entschieden, die Allokationen im Forstbereich analog zu der Vorgehensweise im Vordergrundsystem auf Basis der Preise durchzuführen<sup>2</sup>. Zu diesem Zweck wurden entsprechende Angaben zu Rohholzpreisen u.a. den Holzmarktberichten des Landes Nordrhein-Westfalen für die Jahre 2008 bis 2009 entnommen. Innerhalb

---

<sup>2</sup> Dabei bleiben die materialinhärenten Eigenschaften, wie etwa die elementare Zusammensetzung, die Masse oder der Brennwert, wie auch im Rahmen aller anderen Allokationen auf Basis des Preises, erhalten.

der einzelnen Bundesländer bestehen zum Teil starke Unterschiede bezüglich der absoluten Preise. Da für eine Verwendung die Relation zwischen Industrie- und Stammholz im Vordergrund steht, wurde auf eine Differenzierung nach weiteren Bundesländern verzichtet.

**Tabelle 2-8: Preise für Stammholz und Industrieholz als Mittelwerte der Jahre 2008 und 2009 (Preise aus NRW 2011; STELF 2011, Sortimentswahl entsprechend der Hauptsortimente der Prognoseperiode Basisszenario aus POLLEY, KROIHER 2006)**

Holzart	Sortierung	Preis	Anteil [%] am		Unterschied des Beitrags zum Betriebs-einkommen [%]
		[€/fm]	Ertrag	Betriebseinkommen	
Fichte	L1 B, 2a	54,26	72	83	65
	IL 1 N	29,30	28	17	
Kiefer	L1 B, 2a	46,45	53	64	28
	IL 1 N	29,61	47	36	
Buche	L1 B, 2a	58,18	30	36	28
	IL 1 N	44,40	70	64	
Eiche	L1 B, 2a	99,90	43	66	32
	IL 1 N	38,77	57	34	

Tabelle 2-8 zeigt eine Übersicht über die ermittelten Preise. Die materialinhärenten Eigenschaften, wie etwa die elementare Zusammensetzung des Holzes oder der Brennwert, behalten auch bei Allokationen auf Basis des Preises ihren Massenbezug. Neben der Festlegung auf die Datenquelle zur Abschätzung der Umweltwirkung der Bereitstellung von Primärholz musste das Vorgehen für die Fälle geklärt werden, in welchen die Primärdatenerhebung bei den Unternehmen keinen Aufschluss über die als Rohstoff genutzten Holzarten ergab. So wurde zwar in allen Fällen eine Unterscheidung zwischen Laub- und Nadelholz vorgenommen, im Bereich der Nadelhölzer war jedoch eine genaue Zuordnung zu den Holzarten Fichte, Kiefer oder anderen Nadelholzarten nicht immer möglich. Eine Unterscheidung zwischen den genutzten Holzarten wurde daher werksspezifisch nur durchgeführt, sofern bekannt war, dass eine oder mehrere Holzarten nicht genutzt wurden. Lagen keine entsprechenden Angaben vor, wurde die Aufteilung nach Holzarten für Stammholz- und die Industrieholzsortimente in Anlehnung an Informationen aus der Einschlagstatistik vorgenommen.

Für die Zusammensetzung der Stammholzfraktionen beim Nadelholzeinschnitt wurde in Anlehnung an die Holzeinschlagsstatistik für das Jahr 2008 von einer Verteilung von 75 % Fichte/Tanne/Douglasie und 25 % Kiefer/Lärche ausgegangen (StBA 2011). Im Bereich des Laubholzeinschnittes wurde jede Holzart spezifisch modelliert und mit der Einschlagstatistik kombiniert.

Die Modellierung der Ökobilanz von Waldhackschnitzeln erfolgte auf der gleichen Grundlage wie für die Industrie- und Stammholzsortimente. Zugleich wurde die Modellierung mit den Angaben von ZIMMER für die Ökobilanz dieses Produktes kombiniert (ZIMMER 2010). Die dort veröffentlichten Werte für das Treibhausgaspotential der Produktion von Waldhackschnitzeln entsprechen etwa 17 % des berechneten Treibhausgaspotentials für Industrieholz aus Fichte. Da die Prozesse für die Bereitstellung

von Waldhackschnitzeln denen für Industrieholz ähnlich sind, wurden die anderen Wirkungsindikatorwerte und Sachbilanzwerte entsprechend auf 17 % skaliert<sup>3</sup>. Für die Aufteilung der Nadelholzsorimente für Waldhackschnitzel wurde analog zur Einschlagstatistik eine Aufteilung von 75 % Fichte/Tanne und 25 % Kiefer/Lärche angenommen.

Für die Bereitstellung von Grünschnitt und Rinde sind keine Daten in Bezug auf ihre umweltliche Relevanz vorhanden. Im Sinne eines konservativen Ansatzes wurden die Aufwendungen für die Bereitstellung von Rinde und Grünschnitt analog zu Waldhackschnitzeln festgelegt.

### 2.6.2.2 Sonderfall Entrindung im Wald

Da sich die Sägewerke teilweise bereits entrindete Stämme anliefern lassen, müssen auch die Emissionen aus der Entrindung von Rohholz im Wald betrachtet werden. Da hierzu keine Primärdaten vorliegen, der Prozess jedoch im weitesten Sinne der Entrindung in stationären Anlagen entspricht, können Daten hierfür mit den folgenden Änderungen aus den vorliegenden Primärdaten übernommen werden:

Aus den Primärdaten geht hervor, dass bei der Entrindung von Nadelrundholz in Sägewerken etwa 10 % des Rundholzvolumens als Rinde anfallen und bei der Entrindung zwischen 1,5 und 3,5 kWh/m<sup>3</sup> Rundholz verbraucht werden. Da die mobilen Anlagen in der Regel mit Dieselmotoren arbeiten, und auf Grund der kleineren Auslegung weniger effizient die erzeugte Energie in Entrindearbeit umsetzen, wird in dieser Studie davon ausgegangen, dass pro m<sup>3</sup> Rundholz (als Input in den Prozess) 3,5 kWh Energie über einen Dieselmotor mit einem Wirkungsgrad von 35 % erzeugt werden. Das entspricht in etwa dem Verbrauch von einem Liter Diesel für die Entrindung von 1 m<sup>3</sup> Holz.

### 2.6.2.3 Transport von Rundholz

Für eine Modellierung der Umweltauswirkungen der Rundholztransporte müssen neben Information über die zurückgelegten Distanzen auch Angaben zu den verwendeten Transportmedien und deren Auslastung vorhanden sein. Bis auf die Auslastung der Rundholztransporter, die für die Modellierung geschätzt wurde, konnten die anderen Informationen im Zuge der Datenerhebung erhoben werden.

**Tabelle 2-9: Zusammenstellung der Transportrahmenbedingungen für Rundholz in Deutschland (vgl. BORCHERDING 2007)**

Medium	Typ	Eigen- gewicht [t]	Nutzlast [t]	Anteil LKW [% tkm]	Anteil Gesamt [% tkm]	Ø Beladung [t]
LKW	Langholz LKW	19	21	39	70,00	26,6
	Sattelaufleger	21,5	18,5	6		24,8
	Gliederzug	18,5	21,5	55		26,6
Schiff					1,70	
Zug					28,30	

<sup>3</sup> ausgenommen sind hierbei wiederum die materialinhärenten Eigenschaften.

Nach BORCHERDING wurden im Jahr 2003 in Deutschland 70 % der gesamten Rundholztransportleistung, gemessen in tkm, mit dem LKW, 28,3 % mit der Bahn und 1,7 % mit Binnenschiffen durchgeführt.

**Tabelle 2-10: Übertragung der Transportparameter in GaBi-Module**

Medium	Typ	GaBi Professional Datensatz	Auslastung [%]	Anteil [%]
LKW	Langholz LKW	LKW, > 34 - 40 t zGG / 27t Nutzlast	49,3	27,3
	Sattelauflieger	LKW, > 34 - 40 t zGG / 27t Nutzlast	45,9	4,2
	Gliederzug	LKW, > 34 - 40 t zGG / 27t Nutzlast	49,3	38,5
Schiff		GLO: Durchschnittliches Schiff ELCD/PE-GaBi	100,0	1,7
Zug		GLO: Güter Traktion Durchschnitt PE	100,0	28,3

Nach Angaben des Autors kann für den Straßentransport von einer Auslastung von höchstens 50 %<sup>4</sup> ausgegangen werden. Für den Transport von Rohholz auf der Straße konnte abgeleitet werden, dass die Benutzung von Autobahnen ab einer Distanz von 100 km bei etwa 72 % liegt, die Nutzung der Waldstraße bis zu einer Distanz von 5 km stattfindet und die restliche Transportentfernung auf Landstraßen zurückgelegt wird (BORCHERDING 2007:74). Für Schiffe und Güterzüge werden die in den Datensätzen der ELCD Datenbank vorgeschlagenen Standardwerte genutzt, die von einer Auslastung für Schiffe von 77 %, und einer Auslastung für Güterzüge, Traktion Diesel, von 60 % und 51 %, Traktion elektrisch, ausgehen (EC 2011a). Die Tabellen 2–9 und 2–10 zeigen die Transportrahmenbedingungen für Deutschland und die Übertragung in die Modellierung.

#### **2.6.2.4 Holz aus Nebenprodukten der Holzindustrie und Altholz**

Neben den primären Holzrohstoffen werden in der Holzindustrie auch Nebenprodukte bzw. Co-Produkte der Holzverarbeitenden Industrie als Rohstoffe zugekauft. Der Begriff Sekundärstoff soll an dieser Stelle nicht genutzt werden, da er im Sinne der EN 15804:2012 nur Altholz bezeichnet. Unter den Nebenprodukten der Holzindustrie versteht man Rinde, Hackschnitzel, Späne und Holzmehl, welche als Industrierestholz entlang der gesamten Verarbeitungskette von Holz bei der Herstellung der verschiedensten Produkten anfallen.

Die Herstellung dieser zugekauften Nebenprodukte wurde im Rahmen dieses Projektes den Hauptprozessen der Vollholzindustrie entsprechend modelliert. Das heißt, dass in der Modellierung ausschließlich die Aufwendungen von der Rohholzbereitstellung bis zum anfallenden Reststoff beim Einschnitt im Sägewerk einbezogen wurden. Dies stellt folglich eine Vereinfachung dar, da ansonsten hinter die Modellierung jedes Werkes, welches diese Nebenprodukte als Rohstoff nutzt, ein Modell aller Herstellungsprozesse der Holzindustrie gestellt hätte werden müssen, bei welchen Industrierestholz anfällt. Die Vereinfachung hat jedoch nur geringe Auswirkungen auf die Gesamtemissionen, da der Preisunterschied zwischen dem Hauptprodukt und den Nebenprodukten entlang der Veredlungskette zunimmt, während die Menge an anfallenden Nebenprodukten stetig abnimmt. So werden beispielswei-

<sup>4</sup> bei weniger als 50 % Auslastung wurden Werkstatt- und Überführungsfahrten mitgerechnet.

se im Fall des Einschnitts von waldfrischem Schnittholz bei einer angenommenen Ausbeute von 50 % und einer Wertsteigerung von 100 % zwischen 1 m<sup>3</sup> des eingeschnittenen Rundholzes und 1 m<sup>3</sup> Schnittholz etwa 20 % der Aufwendungen des Sägeprozesses auf die Nebenprodukte alloziert. Werden hingegen die Aufwendungen eines Hobelprozesses bei der Fertigung von Brettschichtholzträgern alloziert, so beträgt der auf die Nebenprodukte allozierte Anteil weniger als 1 %. Demnach werden durch die Vereinfachung in der Modellierung keine wesentlichen Aufwendungen vernachlässigt. Wie in allen anderen Bereichen der Untersuchung werden materialinhärente Eigenschaften wie Masse, Kohlenstoff- und Energiegehalt des Holzes nach physikalischen Kausalitäten alloziert.

Die Primärdatenerhebung konnte keinen Aufschluss über die in der span- und faserbasierten Holzwerkstoffindustrie genutzten Holzarten der Rohstoffe geben. Daher wurden in der Modellierung davon ausgegangen, dass der in der span- und faserbasierten Holzwerkstoffindustrie genutzte Mix an Industrierestholz dem Mix der anfallenden Reststoffe der in dieser Studie untersuchten nadelvollholzverarbeitenden Industrie entspricht. Sofern keine werksspezifischen Angaben verfügbar waren, wurde für das genutzte Rohholz von einem Mix von 75 % Fichte und 25 % Kiefer ausgegangen (vgl. Kapitel 2.6.2.1). Mit dieser Annahme wird unterstellt, dass in der span- und faserbasierten Holzwerkstoffindustrie nur Nadelholz eingesetzt wird, was natürlich nicht den Tatsachen entspricht.

Für eine Größeneinordnung des hierdurch entstehenden Fehlers im Gesamtergebnis wurde untersucht, wie sich die bei der Bereitstellung von Primärindustrieholz entstehenden Gesamtemissionen zwischen den Holzarten unterscheiden. Hierbei konnte gezeigt werden, dass die Kiefer je kg (atro) Holz bei den Indikatoren *Versauerungspotential* (AP), *Globales Erwärmungspotenzial* (GWP), *Photochemisches Oxidationspotential* (POCP) und dem *Eutrophierungspotenzial* (EP) (der Relevanz nach Normierung nach geordnet) grundsätzlich die höchsten Werte aufweist, gefolgt von der Fichte mit Ausnahme des Indikators POCP. Die Abweichungen zwischen den Ergebnissen für Laub- und Nadelholz liegen dabei im Maximalfall bei etwa 20 %. Mit der gewählten Modellierung wurde demnach einem konservativen Ansatz entsprochen. Da die Rohholzbeschaffung bei der Herstellung von span- und faserbasierten Produkten keinen sehr großen Anteil an den Gesamtemissionen hat, ist der Fehlereinfluss als gering zu bewerten. Für alle anderen Holzwerkstoffe wurde der Holzartenmix werksspezifisch modelliert.

Wird Altholz als Rohstoff zur stofflichen oder energetischen Verwendung eingesetzt, so hat es ab Sammelstelle per Definition der EN 15804:2012 keine Aufwendungen, bis auf seine materialinhärenten Eigenschaften (i.e. Kohlenstoffgehalt, Brennwert, etc.). Details hierzu wurden in Kapitel 2.5 thematisiert. Da die stoffliche und energetische Verwertung des Altholzes in der Berechnung dieser Studie immer auf der atro Holzmasse beruht, sind die verwendeten Holzarten nicht relevant.

#### **2.6.2.5 Kennwerte der Holzarten**

In der vorliegenden Untersuchung wurden alle Prozesse der Verarbeitung von Vollholz auf Basis der Volumina bilanziert. Auch konnte die Darrdichte der verwendeten Holzarten im Rahmen der Datenerhebung nicht ermittelt werden. Allerdings wurde die Verbrennung von Holz auf Basis der Holzmasse modelliert, wobei die Angaben der Werke zur verbrannten Holzmenge ebenfalls auf Basis der Masse erfolgte. Somit war auch in diesem Fall keine Umrechnung von Volumen in Masse notwendig. Einzig

für in der eigenen Produktion anfallenden Mengen an Reststoffen, die als Volumenangabe vorlag, und welche für die Feuerung eingesetzt wurde, musste eine Umrechnung von Volumen auf Masse erfolgen. In diesem Zusammenhang wurden Plausibilitätsprüfungen auf Basis der Angaben zur entsorgten Aschemasse durchgeführt, mit dem Ergebnis, dass für die Bilanzierung der Vollholzprodukte sowie der furnierbasierten Holzwerkstoffe, die mit den Darrdichten der Holzrohstoffe verbundenen Unsicherheiten nur eine geringe Rolle spielen.

Im Bereich der span- und faserbasierten Holzwerkstoffe wurden hingegen alle Prozesse auf Basis der Masse modelliert. Umrechnungen von Volumen in Masse waren nur nach dem Pressvorgang sowie beim Einkauf von Rundholz nötig (z.B. bei MDF und OSB), da an diesen Stellen nur Angaben in Volumina verfügbar waren. Im ersten Fall (Umrechnung nach dem Pressvorgang) sind die Dichten der hergestellten Produkte sehr genau bekannt. Im zweiten Fall (Einkauf von Rundholz) spielt die Umweltwirkung der Bereitstellung von Rundholz im Vergleich zur Umweltwirkung der Herstellungsprozesse für span- und faserbasierte Holzwerkstoffe keine wesentliche Rolle. Entsprechend stellen sich etwaige Unsicherheiten bei der Umrechnung von Rundholzvolumina zu Rundholzmassen als unwesentlich für die Ökobilanz der span- und faserbasierten Holzwerkstoffe dar.

Die gesamte Modellierung wurde, wie oben beschrieben, weitestgehend unabhängig von der Holzdicke durchgeführt, um den Einfluss der natürlichen Schwankungen zu minimieren. Da die Ermittlung mancher Indikatoren jedoch eine Umrechnung unumgänglich machte (z.B. Angabe des Kohlenstoffgehaltes in 1 m<sup>3</sup> Fichtenholz), wurden die in Tabelle 2-11 angegebenen Werte für die Dichte genutzt.

**Tabelle 2-11: Darrdichte und Brennwerte verschiedener Holzarten (Kollmann 1951 und Hagauer 2009)**

Baumart	Darrdichte [kg/m <sup>3</sup> ]	Brennwert [MJ/kg TS]
<b>Nadelholz unspezifisch</b>	<b>450</b>	20,367
Fichte ( <i>Picea abies</i> ), Tanne ( <i>Abies alba</i> ), Douglasie ( <i>Pseudotsuga menziesii</i> )	430	
Kiefer ( <i>Pinus sylvestris</i> ), Lärche ( <i>Larix decidua</i> )	510	
<b>Laubholz unspezifisch</b>	<b>670</b>	19,322
Eiche ( <i>Quercus robur</i> )	650	
Buche ( <i>Fagus sylvatica</i> )	680	

### 2.6.3 Strommix Deutschland

Die Modellierung des Strommix Deutschland beruht auf den Daten der *Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen* für das Jahr 2009 (AGEB 2010). Auch alle im Zuge der Erzeugung von Strom als Substitutionspotential gewerteten Gutschriften im Informationsmodul D (Kapitel 2.5.2.4) werden auf Basis dieses Prozesses berechnet. Details finden sich in Tabelle 2-12. Auf Basis der Angaben der GaBi Professional Datenbank wurde der Netzverlust mit 4,78 % angenommen. Auf Basis dieser Angaben ergeben sich spezifische Kohlendioxidemissionen von etwa 572 g/kWh für das Jahr 2009, was in etwa den vorläufigen

Angaben des Umweltbundesamtes (UBA) in Höhe von 565 g/kWh entspricht (UMWELTBUNDESAMT 2011).

**Tabelle 2-12: Einsatz von Energieträgern zur Stromerzeugung in Deutschland 2009 (verwendeter Strommix) (AGEB 2010)\***

Energieträger	Anteil Primärenergieträger [%]	Anteile im Strommix nach Primärenergieeinsatz [%] Modellierung in GaBi-Software**
Steinkohle	18,06	17,36
Braunkohlen	26,25	26,21
Heizöl	1,69	1,71
Gase	12,18	10,34
Wasser	3,11	1,35
Windkraft	5,95	5,42
Kernenergie	28,05	37,62
Photovoltaik	0,98	n.a***
Biomasse und erneuerbare Abfälle	2,14	n.a***
Nichterneuerbare Abfälle, Abwärme u.a.	1,69	n.a***

\* Berechnungen auf der Basis des Wirkungsgradansatzes

\*\* Berechnet nach Angaben zum Primärenergieverbrauch der GaBi Professional Datenbank

\*\*\* keine verfügbaren Prozesse vorhanden

Die Verwendung dieses Wertes in der Modellierung kann somit als konservativ eingeordnet werden. Nach den Angaben des Umweltbundesamtes lag der Wert im Jahr 2008 bei 570 g/kWh und wurde für das Jahr 2010 auf voraussichtlich 563 g/kWh geschätzt.

## 2.6.4 Betriebsmittel

Aus den in Kapitel 1.3.2 beschriebenen Literaturquellen geht hervor, dass in der Holzwerkstoff- und Vollholzindustrie als Betriebsmittel hauptsächlich Schmierstoffe, die sowohl als Fette für Lager und Getriebe als auch als Hydraulik- und Motoröle Verwendung finden, sowie Metalle in Form von Schneidstoffen, Pressblechen oder anderer Maschinenwartungsteilen vorkommen. Die vorliegenden Untersuchungen ergänzen dies um Schleifstoffe sowie die Verifizierung dieser Angaben mit Hilfe der Abfallbilanz. Daneben wird Wasser in Form von Trinkwasser oder Grund- bzw. Oberflächenwasser verbraucht.

Als Verpackungstoffe werden Abdeckplatten (vorwiegend aus Spanplatte), Metallumreifungen, Kunststofffolien (vorwiegend Polyethylen) und andere Kunststoffteile verwendet. Teilweise dienen auch die eigenen Produkte als Verpackungsmaterialien (feuchtes Schnittholz, Spanplatten etc.)

Die Vorketten für alle Betriebsmittel, die sich auf ihre Herstellung, ihren Transport und ihre Entsorgung beziehen, wurden der GaBi Professional Datenbank entnommen. Für die Transportentfernungen

wurden 50 km Distanz bei der Rohstoffanlieferung (Informationsmodul A2) und 20 km Distanz bei der Entsorgung (Modul C2) angenommen.

## 2.6.5 Bindemittel

### 2.6.5.1 Melamin- Harnstoff- und Harnstoff-Formaldehydharze (MUF und UF)

Bei Vollholzprodukten werden Melamin-Harnstoff-Formaldehydharze hauptsächlich für Flächenverklebungen und beispielsweise für die Keilzinkenverbindungen der Lamellen von Brettstichtholz eingesetzt. Die feuchtigkeitsbeständigen Klebstoffe werden hierbei als kalthärtende Klebstoffe verwendet. Die früher eingesetzten Härter auf Basis von Ammoniumchlorid wurden in Europa fast ausnahmslos durch Härter auf Basis von Ammoniumnitrat bzw. Ammoniumsulfat ausgetauscht. Grund hierfür war die Möglichkeit der Dioxinbildung im Brandfall.

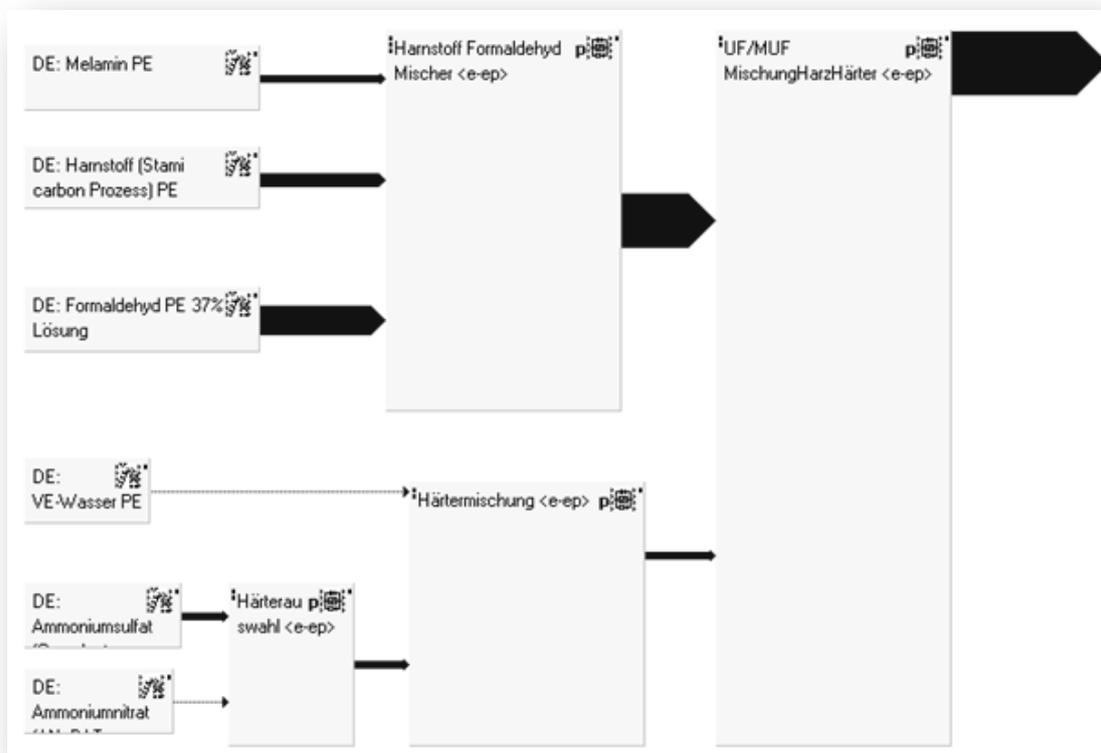
Die Herstellung von Melamin-Harnstoff-Formaldehydharzen kann im Zuge einer separaten Herstellung von Harnstoff-Formaldehyd und Melamin-Formaldehyd Mischungen oder direkt durch die Co-Kondensation von Melamin, Harnstoff und Formaldehyd erfolgen. Hierbei werden Mischungsverhältnisse (M : U : F) von 0,02 : 1 : 0,9 bis 0,5 : 1 : 2,2 verwendet (ZEPPENFELD, GRÜNWALD 2005, Tabelle 2-13). Die Modellierung in der vorliegenden Studie geht von einem Molverhältnis von 0,29 : 1 : 0,155 aus.

**Tabelle 2-13: Zusammensetzung von MUF Harzen (vgl. ZEPPENFELD, GRÜNWALD 2005)**

Stoff	Einsatz [mol]	molare Masse [g/mol]	Masse [g]	Massenanteil [%]
Melamin	0,26	126,11994	32,7911844	23,5
Harnstoff	1	60,05526	60,05526	43,1
Formaldehyd	1,55	30,02598	46,540269	33,4
<b>Gesamt</b>			<b>139,3867134</b>	<b>100,0</b>

Die Menge eingesetzten Härters wurde nach Angabe der einzelnen Hersteller modelliert. Waren keine Angaben des Herstellers zum Mischungsverhältnis verfügbar, wurde von einer 30%igen Beimischung von Ammoniumsulfat bezogen auf den Feststoffanteil des Harzes ausgegangen. Wenig bis keine Angaben konnten zu den Formaldehydemissionen während der Verklebung gemacht werden. Im Sinne eines konservativen Ansatzes wurden die Abschätzungen bei der Modellierung von UF Harzen für die Spanplattenindustrie gewählt. Dabei werden während des Aushärtens 1,5 g Formaldehyd je 1 kg fester Klebstoffmasse emittiert. Dies lässt jedoch keine Aussage über die Emissionen von Formaldehyd während der Nutzungsdauer der Produkte zu. Abbildung 2-11 zeigt die parametrisierte Modellierung von MUF und UF in der Software GaBi 4.4. Für die Modellierung der Harnstoff-Formaldehydharze in Holzwerkstoffen wurde unter Rücksprache mit Experten aus der Spanplattenindustrie ein Molverhältnis U : F von 1 : 0,975 als Mittelwert der heute möglichen Zusammensetzung von 1 : 0,85 bis 1 : 1,1 gewählt. Als Härter kommen von den in der Literatur genannten Stoffen wie Ammoniumchlorid, Ammoniumsulfat, Ammoniumnitrat in flüssiger Form, Hexamethylentetramin, Ammoniumhydroxid,

Ammoniumperoxidsulfat und für den Einsatz in Kurztaktpressen vor allem Ammoniumsulfat und Ammoniumnitrat zum Einsatz. Die Datenerhebung im Bereich der Spanplattenherstellung bestätigt dieses Bild, wobei hier die Verwendung von Ammoniumsulfat überwiegt.



**Abbildung 2-11: Modellierung der MUF Harze in Ökobilanzsoftware**

Die Zumischung der Härter erfolgt in Relation zum Feststoffanteil der Harze, wobei der Anteil nach Expertenmeinung zwischen 0,5 % und 1,5 % beträgt. ZEPPENFELD und GRUNWALD berichten von einer Zumischung von 1,5 % bis 3 % (ZEPPENFELD, GRUNWALD 2005). Für die Modellierung wurde von einer 2%igen Zumischung von Ammoniumsulfat bezogen auf den Feststoffanteil des UF Harzes ausgegangen.

Wenig bis keine Angaben können zu den Formaldehydemissionen während der Verklebung gemacht werden. Einzelne Messungen der Abluft ergeben Werte von etwa 0,0015 kg Formaldehyd je kg abgebundenem Klebstoff in der Spanplatte. Da diese Emissionen vornehmlich im Bereich der Toxizitätsindikatoren eine Rolle spielen, die in dieser Studie nicht betrachtet werden, wurde der Wert der Vollständigkeit halber aufgenommen, wird jedoch als unsicher eingestuft.

Obwohl sich nach Expertenmeinung die Klebstoffherstellung für den US-Markt eindeutig von der Herstellung der auf dem europäischen Markt eingesetzten Klebstoffe unterscheidet, ergibt ein Vergleich der Ergebnisse mit einer Modellierung auf Basis der in WILSON 2010a angegebenen Sachbilanz der UF Harzproduktion (Tabelle 2-14) gute Übereinstimmungen in allen Wirkungskategorien. Dies gilt mit Ausnahme des Indikators *Abbaupotential der stratosphärischen Ozonschicht (ODP)*, wobei hier jedoch nach Normierung der Ergebnisse nach CML für Deutschland der Wert an Relevanz verliert (CML 2010).

**Tabelle 2-14: Ergebnisse der Modellierung der UF Harz Herstellung und Verarbeitung, nach eigenen Erhebungen und Sachbilanzen aus Wilson 2010a. Bezugsgröße ist jeweils 1 kg abgebundener Klebstoff.**

Indikator	Modellierung (diese Studie) (A)	Modellierung nach Wilson (B)	Differenz (normiert nach CML 2001)	Abweichung ((A-B)/A) [%]
EP	0,001542789	0,001678705	4,86528E-14	-9
ODP	9,90E-08	1,46E-07	3,81237E-15	-48
POCP	0,001031676	0,00111231	5,54888E-14	-8
GWP	1,86519229	1,747759555	9,64052E-14	6
AP	0,002351895	0,002217217	2,69833E-14	6

Da sich bei der eigenen Modellierung eine Differenzierung der eingesetzten Härtermengen und -typen, Molverhältnisse der Harzzusammensetzung und Feststoffanteile von Harz und Härter durchführen lassen, wurde für die Berechnungen in dieser Studie auf die eigene (A) Modellierung zurückgegriffen. Die Modellierung der melaminverstärkten Harnstoff-Formaldehyd-Klebstoffe erfolgte analog zu der Modellierung der Harnstoff-Formaldehyd-Klebstoffe. Je nach Angabe der Unternehmen bestehen 5 bis 17 % des Feststoffanteils des Harzes aus Melamin.

#### **2.6.5.2 Phenol-Formaldehyd- und Phenol-Resorzin-Formaldehydharze (PF und PRF)**

Phenol- (PF), Resorzin- (RF), und Phenol-Resorzin-Formaldehydharze (PRF) sind kalt- oder heißhärtende, feuchtigkeitsbeständige Polykondensationsklebstoffe. Während im Holzwerkstoffbereich vornehmlich PF-Harze eingesetzt werden, dominiert im konstruktiven Holzbau der Einsatz von PRF Harzen auf Grund der schnelleren Abbindezeiten bei der Kalthärtung. Der Einsatz von reinem Resorzin-Formaldehydharz erfolgt teilweise auch bei der Keilzinkenverleimung. Hierbei steht die hohe Elastizität der Klebstofffuge im Vordergrund. Eine breitere Anwendung des reinen RF Harzes wird auf Grund der hohen Resorzinpreise vermieden.

Phenol (Hydroxybenzol) und Resorzin (1,3 Dihydroxybenzol) werden fast ausschließlich synthetisch aus Benzen und Propen hergestellt. Die Herstellung von PRF Harzen erfolgt durch die Aufpfropfung von Resorzin auf reaktive Methylolgruppen niedrigkondensierter Phenolresole. Die Herstellung des Resorzins erfolgt zunächst durch Sulfonierung von Benzol zu m-Benzoldisulfonsäure und anschließender Schmelzung mit Natriumhydroxid unter Abspaltung von Wasser und Natriumsulfit. (Zeppenfeld & Grunwald 2005)

Für die Modellierung der PF Harzverklebungen wurden analog zur Modellierung der UF Harze die möglichen Mischungsverhältnisse von Formaldehyd und Phenol der Veröffentlichung von ZEPPENFELD und GRUNWALD entnommen und von Experten der Spanplattenfertigung geprüft. Danach wird PF Harz mit einem Molverhältnis P : F von 1 : 1,8 eingesetzt. Härter werden bei der Heißhärtung nicht eingesetzt. Obwohl die Formaldehydemissionen nach der Aushärtung deutlich geringer sind als bei ausgehärteten UF Harzen (ZEPPENFELD, GRÜNWALD 2005), wird auf Grund der zu den UF Harzen höheren Molmasse von Formaldehyd davon ausgegangen, dass die Emissionen an Formaldehyd während der Aushärtung im Vergleich zu den Emissionen bei UF Harzen nicht geringer sind. Daher wurde analog zu den UF Harzen von einer Formaldehydabspaltung während der Härtung von 0,0015 kg je kg Klebstoff ausgegangen.

**Tabelle 2-15: Ergebnisse der Modellierung der PF Harz Herstellung und Verarbeitung nach eigenen Erhebungen und Sachbilanzen aus WILSON 2010a Bezugsgröße ist jeweils 1kg abgebundener Klebstoff.**

Indikator	Modellierung (diese Studie) (A)	Modellierung nach Wilson (B)	Differenz (normiert nach CML 2001)	Abweichung ((A-B)/A)[%]
EP	0,00106094	0,00035158	2,5392E-13	67
ODP	2,26E-08	1,13E-07	7,3273E-15	-401
POCP	0,000760279	0,00139239	4,3499E-13	-83
GWP	2,074917124	1,64366118	3,5404E-13	21
AP	0,007348278	0,00307862	8,5544E-13	58

Der Vergleich mit den von WILSON erhobenen Daten zeigt, dass die Modellierung auf Basis der eigenen Angaben höhere Werte in allen Wirkungskategorien, außer bei den Indikatoren *Abbaupotential der stratosphärischen Ozonschicht* (ODP) und *Bildungspotential für troposphärisches Ozon* (POCP), ergibt (Tabelle 2-15). Da jedoch nach Normierung der Ergebnisse nach CML für Deutschland (CML 2010) der Indikator ODP an Relevanz verliert und 3 von 5 relevanten Indikatoren eine größere Umweltauswirkung zeigen, wurden im Sinne eines konservativen Ansatzes in der Modellierung die eigenen Berechnungen gewählt.

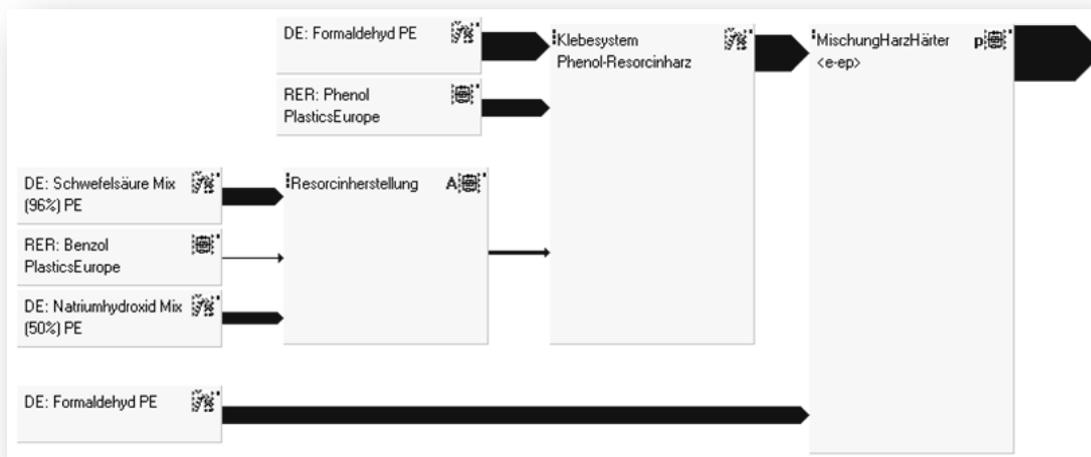
**Tabelle 2-16: Zusammensetzung der PRF Harze (vgl. ZEPPENFELD, GRÜN WALD 2005)**

Stoff	Einsatz [mol]	molare Masse [g/mol]	Masse [g]	Massenanteil [%]
Phenol	1	94,11124	94,11124	53,6
Resorzin	0,25	110,11064	27,52766	15,7
Formaldehyd	1,8	30,02598	54,046764	30,8
<b>Gesamt</b>			<b>175,685664</b>	<b>100,0</b>

**Tabelle 2-17: Berechnung der Massen für Resorzin-Herstellung**

	Stoff	Einsatz [mol]	molare Masse [g/mol]	Masse [g]	Massenanteil
IN	Benzol	1	78,11184	78,11184	0,179875859
	Natriumhydroxid	4	39,99634	159,98536	0,36841411
	Schwefelsäure	2	98,07848	196,15696	0,451710031
OUT	Natriumsulfit	2	126,0412	252,0824	0,580495072
	Wasser	4	18	72	0,16580152
	Resorzin	1	110,11064	110,11064	0,25356266
	<b>Gesamt</b>			<b>434,25416</b>	<b>1</b>

Bei der Modellierung der Resorzin-Herstellung wurde das auftretende Nebenprodukt Natriumsulfit auf Basis des ökonomischen Wertes alloziert. Hierfür wurden Preise (je kg) von 0,32 € für Natriumsulfit und 3,46 € für Resorzin unterstellt (RBI-ICIS 2011).



**Abbildung 2-12: Modellierung der PRF Harze in Ökobilanzsoftware**

Zur Härtung der PRF Harze wird dem Klebstoff Paraformaldehyd (polymeres Formaldehyd) im Verhältnis Klebstoff : Härter-Gemisch von 3,5 : 1 bis 5 : 1 beigemischt (ZEPPENFELD, GRÜNWALD 2005). Für die Modellierung in dieser Studie wurde das mittlere Verhältnis von 4,25 : 1 gewählt (Tabelle 2-16, Tabelle 2-17 und Abbildung 2-12).

### 2.6.5.3 Einkomponentige Polyurethanklebstoffe (1K-PUR)

In Deutschland dürfen Polyurethanklebstoffe (PUR) erst seit 1992 für den tragenden Bereich im konstruktiven Holzbau eingesetzt werden (GABRIEL 2005). Die Vorteile des sowohl für die Flächenverleimung sowie Längsverleimung von Vollholzprodukten eingesetzten Klebstoffes sind, neben den flexiblen offenen Zeiten, die formaldehydfreie Zusammensetzung, welche die gefertigten Träger speziell für die Anwendung im Innenbereich qualifiziert. Für den Holzbau werden vor allem 1-komponentige PUR verwendet, die durch Reaktion mit der im Holz bestehende Feuchtigkeit aushärten. Vorteil dieser Verarbeitungsweise sind die einfache und sichere Applikation und Lagerung. Grundstoffe der 1-komponentigen PUR-Klebstoffe sind langkettige Polymere, die aus der Umsetzung von Polyetherpolyolen mit Di- oder Polyisocyanaten umgesetzt werden. Zwar können zur Einstellung der Viskosität nach ZEPPENFELD und GRÜNWALD Lösemittel, wie etwa Aceton, verwendet werden, von Herstellerseite wird dies jedoch nicht bestätigt (PURBOND 2011). Teilweise werden Katalysatoren zur Unterstützung der Härtung verwendet (ZEPPENFELD, GRÜNWALD 2005). Die in einem entsprechenden Patent genannten Mengenangaben für die Zusammensetzung eines 1-komponentigen Klebstoffes decken sich in etwa mit den Angaben der von Klebstoffherstellerseite vorliegenden Angaben (LI, LOHREY 2001). Somit wurden die in Tabelle 2-18 zusammengestellten Angaben für die Modellierung genutzt, wobei für BHPA im Rahmen der Untersuchung allerdings keine Daten gefunden werden konnten (s. Kapitel 2.5.3) und von einer Zumischung von 5 % Aceton ausgegangen wurde, die im Zuge der Klebstoffverarbeitung in die Luft emittiert wird.

Tabelle 2-18: Zusammensetzung der PUR Klebstoffe (vgl. LI, LOHREY 2001; ZEPPENFELD, GRÜNWARD 2005)

Stoff	Massenanteil [%]
Polyetherpolyol	11,90
Polyisocyanat	83,10
BHPA (N,N-Bis(2-hydroxypropyl)-N,N- dimethyl-1,3-propandiamin)	5,00
Gesamt	100,00

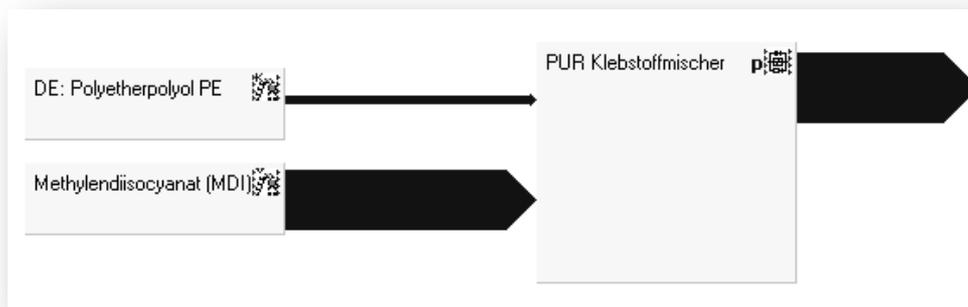


Abbildung 2-13: Modellierung der PUR Klebstoffe in Ökobilanzsoftware

#### 2.6.5.4 Emulsion-Polymer-Isocyanat Klebstoffe (EPI)

EPI-Klebstoffe sind 2-Komponentenklebstoffe, bei denen SBR-Klebstoffe (i.e. Kunstkautschuk, *Styrol-Butadien-Rubber*), PVAc-Kleber (*Polyvinylacetat*) und EVA-Klebstoffe (*Ethylenvinylacetat*) in wässriger Lösung mit Isocyanat gehärtet wird. Die Fugen sind hoch wasser- und wärmebeständig.

Für die Zusammenstellung der Herstellung von EPI Klebstoffen aus Grundchemikalien konnten leider nur wenige Daten ermittelt werden. Es wird in der Modellierung davon ausgegangen, dass 15 % Isocyanat der wässrigen Lösung aus den o.g. Grundsubstanzen beigemischt wird (2007). Das Mischungsverhältnis der anderen Komponenten ist nicht bekannt. Für EVA Klebstoffe liegen keinerlei Daten vor.

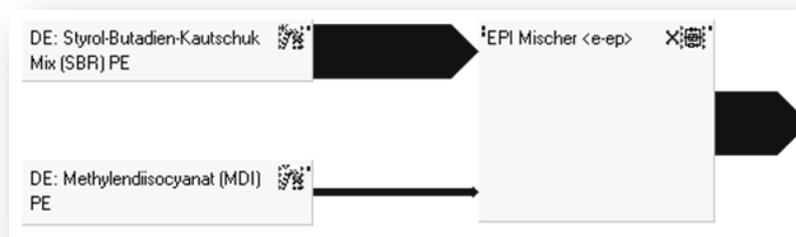


Abbildung 2-14: Modellierung der EPI Klebstoffe in Ökobilanzsoftware

Im Sinne eines konservativen Ansatzes wurde der „worst case“ modelliert, indem für die zwei bekannten Zusätze (PVAc und SBR) derjenige Zusatz beigefügt wird, der aus ökologischer Sicht den größten

Einfluss hat. In allen in dieser Studie untersuchten Kategorien hat SBR den größten Einfluss. Die Modellierung in der Ökobilanzsoftware ist in Abbildung 2-14 dargestellt.

### 2.6.5.5 Polymethylen-diisocyanat (PMDI)

Für die Modellierung von PMDI Klebstoffen wurde auf Grund fehlender Vergleichsstudien die Modellierung auf Basis der in von ZEPPENFELD und GRUNWALD gemachten Angaben umgesetzt und durch Experten aus der Spanplattenproduktion kontrolliert (ZEPPENFELD, GRUNWALD 2005). Es wird hierbei einzig die Vorkette der Produktion von Diphenyl-methan-4.4-diisocyanat berücksichtigt.

### 2.6.5.6 Weitere Zusätze

Als Zusätze, die neben den verwendeten Klebstoffen bei der Herstellung von Holzwerkstoffplatten eingesetzt werden, kommen vor allem Hydrophobierungsmittel (Paraffine) und in kleineren Mengen die für die Beimengung zu wasserbasierten Harzen benötigten Emulgatoren, Trennmittel bei der Verleimung mittels PMDI Harzen und technischer Harnstoff zur Umsetzung des Formaldehyds nach der Plattenherstellung zum Einsatz. Aber auch kleinere Mengen an Lösemitteln werden nach Literaturangaben verwendet (HASCH 2002).

**Tabelle 2-19: Zusammenstellung der genutzten Daten zur Modellierung der Zusätze**

Zusatz	Datensatz
Hydrophobierung	40 % DE: VE-Wasser, GaBi; 60 % RER: Paraffin, ab Werk, Ecoinvent
Emulgatoren	Fettalkoholsulfat Mix ab Werk, Ecoinvent
Trennmittel	Tetrafluoroethylene, ab Werk, Ecoinvent
Harnstoff	DE: Harnstoff (Stami carbon Prozess), GaBi
Lösemittel	DE: Aceton, GaBi
Wasser	DE: Trinkbares Wasser aus dem Grundwasser, GaBi

**Tabelle 2-20: Ergebnisse der Modellierung der Zusätze (Vorkette inklusive Transport), nach eigenen Erhebungen. Bezugsgröße ist jeweils 1 kg.**

Indikator	Emulgatoren	Harnstoff	Lösemittel	Paraffin	Trennmittel	Wasser
EP	3,41E-03	2,22E-03	3,17E-04	3,07E-04	4,25E-03	8,59E-09
ODP	1,52E-07	1,18E-07	3,43E-08	3,54E-08	8,78E-03	2,58E-12
POCP	3,98E-03	2,41E-04	7,03E-04	3,90E-04	9,02E-03	9,63E-09
GWP	1,60E+00	1,95E+00	1,74E+00	5,15E-01	3,24E+02	5,33E-05
AP	1,64E-02	2,32E-03	3,36E-03	3,09E-03	1,31E-01	8,60E-08

Relevant im Sinne der Umweltwirkung sind davon hauptsächlich Hydrophobierungsmittel, die in dieser Studie ausnahmslos durch Paraffine repräsentiert werden, wie auch Formaldehydfänger, von denen aber nicht die in ZEPPENFELD und GRUNWALD erwähnten möglichen Stoffe Ammoniumcarbonat, -bicarbonat und -hydrogencarbonat, sondern stattdessen nach Angabe der beteiligten Unternehmen

Harnstofflösungen verwendet wurden. In Abhängigkeit der von den Werken gemachten Angaben wurden für die Hydrophobierung sowie für die Formaldehydfänger verschiedene Lösungen angenommen (s. Tabelle 2-19). Zur Modellierung wurden die Vorketten anhand der unten abgebildeten Daten verwendet. Die Daten wurden jeweils durch einen Transport über eine Transportdistanz von 50 km ergänzt. Einen Überblick über die Wirkung der Herstellung der einzelnen Zusätze gibt Tabelle 2-20.

## 2.6.6 Emissionen bei der Holz Trocknung und bei Pressvorgängen

Neben der Umweltauswirkungen, die sich aus dem Energieeinsatz in Form von Strom und Wärme ergeben, treten mit der Trocknung von Holz auch potentiell umweltrelevante Emissionen in Form von organischen Verbindungen mit dem Wasserdampf als Emission in die Luft auf. Da hierzu keine Primärdaten verfügbar waren, wurden die Emissionen anhand von Literaturquellen abgeschätzt. WAGNER et al. ermitteln für den Bereich der Vollholztrocknung folgende, in Tabelle 2-21 abgebildete Emissionen flüchtiger organischer Substanzen (*volatile organic compounds*, kurz *VOC*), die bei der Trocknung von 1 m<sup>3</sup> Nadelholz entstehen. Da für den Bereich der Laubholztrocknung keine entsprechenden Daten vorliegen, wurden für die Trocknung von Laubholz die gleichen Emissionen unterstellt.

**Tabelle 2-21: Trocknungsemissionen flüchtiger organischer Substanzen (VOC) (WAGNER, ET AL. 2009)**

Substanz	Emissionen [kg/m <sup>3</sup> Holz]
VOC	0,167
Formaldehyd	0,002
Acetaldehyd	0,002
Methanol	0,022

Bei der Trocknung von Fasern oder Spänen für die Holzwerkstoffherstellung sind aufgrund der größeren Oberfläche des Trocknungsgutes und der höheren Temperaturen höhere Emissionen zu erwarten. MILOTA ermittelt für den Bereich der Rohstofftrocknung VOC-Emissionen bei der Herstellung von Spanplatten zwischen 0,45 kg/t atro und 0,95 kg/t atro und bei der Herstellung von MDF zwischen 0,45 kg/t atro und 2,5 kg/t atro. Die Schwankungen sind dabei auf die verwendete Holzart zurückzuführen und die Holzart *Southern pine (Pinus taeda)* stellt im Vergleich zu anderen Holzarten mit bis zu über fünffachen Emissionswerten den bei weitem größten Einflussfaktor dar (MILOTA 2000:13). WILSON ermittelt für den Trocknungs- und Pressvorgang von Spanplatte VOC-Emissionen in Höhe von insgesamt 0,48 kg/t atro (WILSON 2010b:99). Da in beiden Fällen das Emissionsverhalten von Holzarten zugrundeliegt, welche nicht von den Unternehmen im Rahmen dieser Studie genutzt werden, kann auf Grundlage der zitierten Literatur nur eine unsichere Aussage zu den Trocknungsemissionen gemacht werden. Im Sinne eines konservativen Ansatzes wurden daher die höheren Werte für die Berechnung unterstellt. Folglich wurden die in Tabelle 2-22 gelisteten Werte für die Modellierung der Press- und Trocknungsvorgänge aller span- und faserbasierten Holzwerkstoffe genutzt.

**Tabelle 2-22: Abschätzung der Emissionen beim Pressen und Trocknen (ohne Klebstoffabbindung) bei Holzwerkstoffen auf Span- und Faserbasis (vgl. WILSON 2010b; MILOTA 2000)**

Substanz	Emissionen [kg/t atro Holz]
VOC	0,95
Formaldehyd	0,012
Acetaldehyd	0,00063
Methanol	0,033

Für Holzwerkstoffe, die nicht auf Span- oder Faserbasis erzeugt werden, gelten die Emissionen aus Tabelle 2-21. Lagen werkspezifisch Angaben vor, wurden diese genutzt.

## 2.6.7 Verbrennung von Holz

Im Rahmen der Primärdatenerhebung konnten nur für sehr wenige Holzfeuerungsanlagen spezifische Emissionen ermittelt werden. Daher wurden zur Berechnung der durch die Feuerung potentiell verursachten Umweltwirkungen die Ergebnisse der in Tabelle 2-23 gelisteten Studien mit verschiedenen Anlagentypen zusammengetragen.

**Tabelle 2-23: Untersuchte Holzfeuerungsanlagen aus Literaturquellen**

Nr.	Brennstoff, Abgasbehandlung, Typ, thermische Leistung	Quelle
1	Holz/Rinde, Zyklon, E-Filter, Vorschubrost, 18 MW	SPECKELS 2001
2	Holzwerkstoffe, Zyklon, Vorschubrost, 13,8 MW	
3	Altholz bis All, E-Filter, Sorptionsmittel, Unterschubfeuerung, 0,8 MW	
4	Altholz (Spanplatte, MDF, Massivholz), Gewebefilter, E-Filter, Sorptionsmittel, Unterschubfeuerung, 1,8 MW	
5	Altholz, Zyklon, E-Filter, Wanderrost, 12 MW	
6	Altholz (zT. PVC), Zyklon, Gewebefilter, SNCR, Stat. Wirbelschicht, 124 MW	
7	Müll (Altholz unter 10%), Gewebefilter, SNCR, Stufen Vorschubrost, 57,6 MW	
8	Holz/Rinde, Zyklon, E-Filter, Vorschubrost, 18 MW	
9	Altholz (Staub+Sägemehl von HWS), Zyklon, E-Filter, Wanderrost, 15 MW	
10	Holz/Rinde 30% Feuchte, Rauchgaskond., Zyklon, 0, 1,5 MW	REITBERGER, ET AL. 2001
11	Holz/Rinde 60% Feuchte, Rauchgaskond., Zyklon, 0, 1,5 MW	BAUER 2007
12	Holz, Rauchgaskond., Zyklon, 0, 5 MW	
13	Holz/Rinde, Zyklon, 0, 1,5 MW	BÖHMER, ET AL. 2010
14	Holz/Rinde, Zyklon, 0, 1,5 MW	
15	Holz/Rinde, Zyklon, 0, 1,5 MW	
16	Holz/Rinde, Zyklon, 0, 1,5 MW	
17	Holz/Rinde, Zyklon, 0, 1 MW	
18	Holz/Rinde, Zyklon, 0, 1,5 MW	
19	Holz/Rinde, Zyklon, 0, 0,75 MW	
20	Holz/Rinde, E-Filter, 0, 1,5 MW	

Fortsetzung von Tabelle 2-23

21	Holz/Rinde, E-Filter, 0, 5 MW	BÖHMER, ET AL. 2010
22	Holz/Rinde, E-Filter, 0, 4,5 MW	
23	Holz/Rinde, E-Filter, 0, 1,5 MW	
24	Holz/Rinde, E-Filter, 0, 2 MW	
25	Holz/Rinde, E-Filter, 0, 5 MW	
26	Holz/Rinde, E-Filter, 0, 2,3 MW	
27	BAT Einzel, SNP, Zyklon, 0, 0,55 MW	
28	BAT HW 1, Hackschnitzel, Zyklon, 0, 1,1 MW	
29	BAT HW2, Waldhackgut, E-Filter, 0, 5 MW	
30	BAT HW3, 2/3Rinde, 1/3 Hackgut, E-Filter, 0, 3 MW	
31	BAT KWK, SNP, Rinde, Zyklon, E-Filter, 0, 6 MW	
32	<1MW, Holz/Rinde	TSUPARI, ET AL. 2005
33	>1MW, Holz/Rinde	
34	300 kW, Holz, 0, 0,3 MW	BAUER 2007
35	1000 kW, Holz, 0,1 MW	

**Tabelle 2-24: Relevanz und Beitrag einzelner Emissionen bei der Holzverbrennung (ab 1 % Beitrag zum entsprechenden Wirkungsindikator, grau markierte Emissionen (>15 %) wurden spezifisch für Brennstoff- und Anlagentyp betrachtet)**

Emissionen	Anteile [%]				
	Nr.	EP	POCP	GWP	AP
Acetaldehyd (Ethanal)	1		2,1		
Alkane (unspezifisch)	2		5,8		
Ammoniak	3	6,3			6,0
Benzol	4		3,3		
Chlorwasserstoff	5				0,9
Ethylbenzol	6				
Formaldehyd (Methanal)	7		1,4		
Kohlendioxid (fossil)	8			62,0	
Kohlenmonoxid	9		19,1		
Distickstoffmonoxid	10	2,8			
Methan	11			23,8	
NMVOC (unspezifisch)	12		7,0		
Phosphor	13	1,5			
Schwefeldioxid	14		7,9		15,6
Stickoxide	15	88,5	35,7		77,2
Toluol (Methylbenzol)	16		3,0		
VOC (unspezifisch)	17		9,9	14,3	
Xylol (Dimethylbenzol)	18		2,9		

Zunächst ist an dieser Stelle festzuhalten, dass die Einzelemissionen der Verbrennung teilweise enormen Schwankungen unterliegen. Die Gründe hierfür liegen wahrscheinlich in dem komplexen Zusammenspiel zwischen Anlagentypen, Brennstoffen, Bedienung der Anlagen und weiterer Umgebungsvariablen. Im Rahmen dieser Studie wurden anhand der oben gelisteten Anlagen die wesentlichen Emissionen sowie deren Einflussfaktoren ermittelt. Dazu wurden zunächst die Literaturangaben über einen Teil der o.g. Anlagen (SPECKELS 2001) und die Datensätze der GaBi-Datenbank nach den für die vorliegende Untersuchung festgelegten Wirkungsindikatoren (s. Kapitel 2.2.3) bewertet, und nach Normierung der Ergebnisse diejenigen Indikatoren ausgewählt, deren Einfluss relevant war. So liegen die Werte der Wirkungskategorie ODP für die Verbrennungsprozesse von Holz (normiert nach CML 2001 Deutschland, CML 2010) bei etwa 1/100 der Werte der Wirkungskategorie *Eutrophierungspotenzial* (EP, s. Kapitel 2.2.3) und sind nur von sehr geringer Bedeutung bei der Verbrennung von Holz. Daher wurde sie im Folgenden nicht näher bei der Ermittlung der relevanten Flüsse betrachtet. Im Zuge der Bewertung wurden die Emissionen von Kohlendioxid, Kohlenmonoxid, Methan (als relevanter Vertreter der VOCs), Schwefeldioxid und verschiedener Stickoxide als relevant eingestuft (Tabelle 2-24). Diese Einzelemissionen wurden im Folgenden auf ihre Sensitivität zu in der Holzindustrie vorkommenden Anlagentypen, Abgasreinigungen und Brennstofftypen überprüft. Die hierfür verwendeten Informationen wurden weitestgehend von KALTSCHMITT, HARTMANN 2009 entnommen.

#### 2.6.7.1 Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>)

Ausschlaggebend für die CO<sub>2</sub>-Emissionen ist im Wesentlichen der Kohlenstoffgehalt der eingesetzten Brennstoffe. Bei der Verbrennung von Holz werden, neben den Emissionen des im Holz gebundenen Kohlenstoffs in Form von CO<sub>2</sub>, weitere CO<sub>2</sub>-Emissionen nur aufgrund etwaiger Unreinheiten im Brennstoff (Altholz) frei.

**Tabelle 2-25: Produktionsmenge von Holzhalbwaren in 2007 und abgeleiteter Klebstoffanteil im Altholzmix (StBA 2008)**

Produkt	Produktion [Mio. m <sup>3</sup> ]	geschätzter Klebstoffanteil [%]
Nadelholz	23,922	0
Laubholz	1,119	0
Tropenholz	0,044	0
Furnier	0,262	0
Sperrholz	0,262	10
Spanplatten	9,757	10
Faserplatten	6,225	13
OSB	1,102	8
<b>Summe</b>	<b>42,693</b>	

Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung wurde davon ausgegangen, dass die Verbrennung von reinem Holz, Rinde und Altholz der Kategorie AI ausschließlich Kohlendioxid-Emissionen aus dem im Holz gebundenen Kohlenstoff verursacht. Bei der Verbrennung von Altholz der Kategorien AII bzw. AIII

wird hingegen ein Störstoffanteil nicht biogenen Ursprungs unterstellt, da diese Altholzkategorien auch mit Bindemitteln versetzte Althölzer enthalten. Zur Abschätzung der enthaltenen Störstoffmasse im Altholz wurde zunächst die Verteilung der Holzhalbwaren aus den jeweiligen Produktionsmengen im Jahr 2007 abgeleitet (Tabelle 2-25) und entsprechend für die Zusammensetzung des Altholzes angenommen. Daraus ergibt sich ein durchschnittlicher Klebstoffanteil im Altholz von 5,8 %. Geht man weiterhin davon aus, dass hauptsächlich die Klebstoffe UF, MUF eingesetzt werden, die etwa einen Kohlenstoffgehalt von 10 % aufweisen, so enthält 1 kg Holz zur energetischen Verwertung etwa 5,8 g Kohlenstoff aus fossilen Quellen, was zu einer Emission von 0,021 kg CO<sub>2</sub> /kg Holz führt. Die Umrechnung von der Holzmasse in CO<sub>2</sub> 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 etwa 1,832 kg CO<sub>2</sub>.

### **2.6.7.2 Methan (CH<sub>4</sub>)**

Methan tritt als Emission nur in Verbindung mit unvollständigen Verbrennungsprozessen auf. Dabei kann davon ausgegangen werden, dass Methanemissionen bei steigender Anlagenleistung, und folglich besserer Steuerung und Auslegung, abnehmen (BAUER 2007). Dies wird durch die vorliegenden Daten aus anderen Studien nicht eindeutig bestätigt. Im Sinne eines konservativen Ansatzes werden daher die aus SPECKELS 2001 bekannten höchsten Werte von 0,2 g Methan je kg Holz als Emission für jeden Anlagen- und Brennstofftyp veranschlagt.

### **2.6.7.3 Kohlenmonoxid (CO)**

In der Literatur wird der Kohlenmonoxid-Gehalt (CO) als Beschreibung der nicht vollständig oxidierten Kohlenstoffverbindungen wird oft als Bewertungskriterium für den Ausbrand herangezogen. Andere unvollständig oxidierte – aus umweltgesichtspunkten oft schädlichere Kohlenwasserstoffe – oxidieren schneller als das Kohlenmonoxid zu CO<sub>2</sub>. Bei hohen Temperaturen kann Kohlendioxid wieder zu Kohlenmonoxid umgesetzt werden. Diese in der Vergasungszone der Anlage erwünschte Reaktion sollte in der Ausbrandzone vermieden werden. Der hauptsächliche Versursacher für einen erhöhten CO-Ausstoß ist die Luftüberschusssteuerung. Ist die so genannte Luftüberschusszahl zu hoch, sinkt die Temperatur der Verbrennung und CO-Emissionen nehmen zu. Ist sie zu niedrig, kann die vollständige Oxidation durch einen Mangel an Sauerstoff in der Verbrennung nicht stattfinden.

Des Weiteren können zu hohe CO-Emissionen durch eine gute Durchmischung der Brenngase, etwa durch hohe Einblasgeschwindigkeiten der Zuluft und turbulenter Strömungen (abhängig vom Anlagentyp), und vor allem durch die Einhaltung der nötigen Temperaturen innerhalb der Brennkammer (mindestens 850°C) und die Vermeidung von schlagartigen Abkühlungen an kalten Flächen vermieden werden. Die vollständige Oxidation des CO kann durch das Vorhandensein eines SNCR Verfahrens (selektive nichtkatalytische Reduktion) begünstigt werden, da hierbei hohe Temperaturen eingehalten werden müssen.

Für die Kohlenmonoxidemissionen sind daher vor allem die Auslegung der Anlage und Abgasreinigung verantwortlich. Die Auswertung der Emissionen der untersuchten Anlagen nach Anlagengröße, Brenn-

stofftyp und Abgasreinigung ergab (Abbildung 2-15), dass für hackschnitzelgefeuerte Anlagen und Anlagen bis AII mit Feuerwärmeleistungen unter 1 MW Emissionen zwischen 6 und 63 mg/Nm<sup>3</sup> anfallen (durchschnittlich 41 mg/Nm<sup>3</sup>).

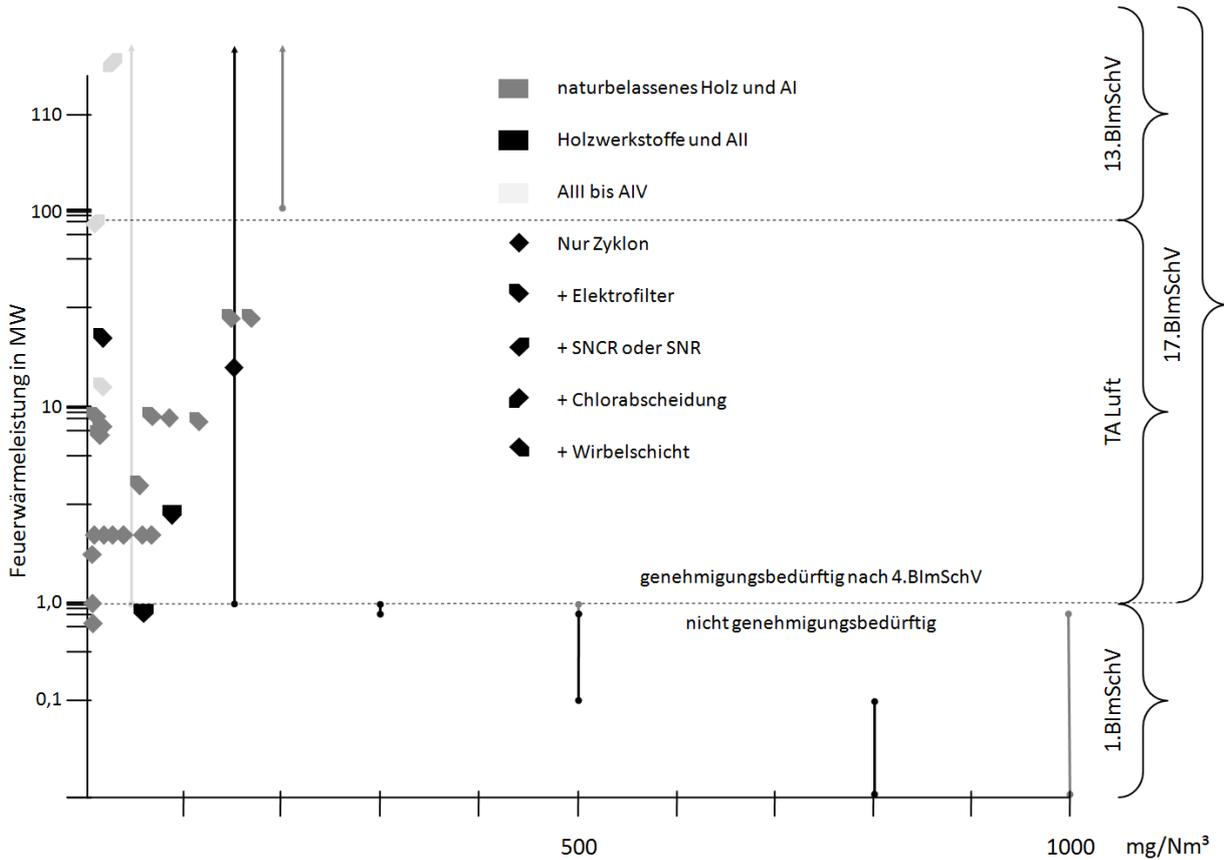


Abbildung 2-15: Kohlenmonoxid-Emissionen der untersuchten Anlagen und Grenzwerte verschiedener Verordnungen

Tabelle 2-26: Feuerungsemissionen (CO) der Anlagentypen bei verwendeter Abgasreinigung, in mg/Nm<sup>3</sup> (AI/AII/AIII + AIV)

Abgasreinigung	0,4 - 1 MW	1-100 MW	> 100MW
Zyklonabscheider	41/41/-	65/65/29	38/38/38
Elektrofilter	41/41/-	65/65/29	38/38/38
SNCR	9,8/9,8/-	9,8/9,8/9,8	38/38/38

Für Anlagen zwischen 1 und 100 MW werden zwischen 7 und 172 mg/Nm<sup>3</sup> emittiert (durchschnittlich 61 mg/Nm<sup>3</sup>). Die Anlage mit SNCR Abgasreinigung emittieren durchschnittlich 9,8 mg/Nm<sup>3</sup>. Die oberhalb 100 MW untersuchte Anlage liegt bei einem Ausstoß von 38 mg/Nm<sup>3</sup>. Insgesamt ist ein Trend zu erkennen, nachdem die stärker überwachten Anlagen zur Verbrennung von AIV Fraktionen (BImSchV 2002) im Bereich bis 100 MW insgesamt besser abschneiden (Mittelwert bei 29 mg/Nm<sup>3</sup>), als die weniger überwachten Anlagen zur Verbrennung von AII und AI Fraktionen (TA Luft) (Mittelwert bei

65 mg/Nm<sup>3</sup>). Für die Modellierung wurden daher die in Tabelle 2-26 dargestellten Emissionswerte genutzt.

#### 2.6.7.4 Stickstoffoxide (NO<sub>x</sub>)

Zu den Stickstoffoxiden (NO<sub>x</sub>) zählen Stickstoffmonoxid (NO) und Stickstoffdioxid (NO<sub>2</sub>). Von den drei in der Literatur beschriebenen Umsetzungsmechanismen - thermisches NO<sub>x</sub>, promptes NO<sub>x</sub> und NO<sub>x</sub> aus Inhaltsstoffen - ist im Bereich der Holzfeuerung auf Grund der niedrigen Temperaturen nur letzter Mechanismus anzutreffen. Die Bildung von NO<sub>x</sub> ist abhängig von der Stickstoffmenge im Brandgut, und dem für die Oxidation von Stickstoff zu NO<sub>x</sub> benötigten Sauerstoff. Des Weiteren vermindern sich die NO<sub>x</sub> Emissionen bei Teilbelastungen des Brandraumes.

Zur Minderung der NO<sub>x</sub> Emissionen ist die Umsetzung von Brennstoff Stickstoff zu N<sub>2</sub> oder das bereits in den Brandgasen existierende NO<sub>x</sub> zu N<sub>2</sub> nötig. Als Primärmaßnahmen der Minderung wird zum einen die Luft- und Brennstoffstufung (Reduktion des NO<sub>x</sub> zu N<sub>2</sub> in Abgasbereichen in denen Sauerstoffmangel herrscht) sowie die Abgasrezirkulation genannt. Eine Brennstoffstufung kann besonders im Bereich der Holzverarbeitenden Industrie eingesetzt werden, da hierbei Staub und Späne separat in den Brandraum eingeblasen werden können. Sekundär kann eine Stickstoffminderung durch Zugabe eines stickstoffhaltigen Reduktionsmittels (vornehmlich NH-Radikale aus Harnstoff, Ammoniak, Isocyanäure) erfolgen. Das Stickstoffmonoxid reagiert hierbei mit dem Reduktionsmittel zu N<sub>2</sub>. Es werden dazu hohe Temperaturen (SNCR) oder ein Katalysator (SCR) benötigt. Es besteht hierbei ein gewisser Schlupf des Reduktionsmittels, welches sich im Abgas wiederfindet. Bei der selektiven nicht-katalytischen Reduktion (SNCR) wird Harnstoff oder Ammoniak in die Nachbrennkammer eingeblasen. Die zur Reaktion des Reduktionsmittels mit den im Abgas befindlichen Stickoxiden nötigen hohen Temperaturen führen weiterhin zu einer Verminderung der CO Emissionen. Bei der selektiven katalytischen Reduktion (SNR) wird unter niedrigeren Temperaturen Ammoniak in den Abgasstrom eingebracht. Die Reaktion erfolgt dann über einen Katalysator. Eine Zusammenstellung der NO<sub>x</sub>-Emissionen der untersuchten Anlagen (Abbildung 2-16) ergab, dass bei der Verbrennung von unbehandeltem Holz (z.B. Altholz AI) ohne sekundäre Reduktionsverfahren durchschnittlich 151 mg/Nm<sup>3</sup> emittiert werden, während bei der Verbrennung anderer Fraktionen durchschnittlich 286 mg/Nm<sup>3</sup> emittiert werden. Da für die untersuchten Anlagen keine Informationen zu primären Maßnahmen für die Minderung von NO<sub>x</sub>-Emissionen (Luftstufung, Brennstoffstufung) vorhanden waren, werden die Werte mit den in KALTSCHMITT und HARTMANN gemachten Angaben kombiniert. Hier wird für die Verbrennung von unbehandeltem Holz von 100 – 400 mg/Nm<sup>3</sup> ausgegangen, die sich bei Low- NO<sub>x</sub>-Feuerungen mit Luftstufungen auf 80 bis 100 mg/Nm<sup>3</sup> reduzieren. Bei der Verbrennung von UF Spanplatten, die der Altholzkategorie A II entsprechen, werden bei konventioneller Feuerung 400 – 1000 mg/Nm<sup>3</sup> und bei Low- NO<sub>x</sub>-Feuerungen mit Luftstufungen 150 – 300 mg/Nm<sup>3</sup> angegeben.

Dies deckt sich mit den Angaben von SPECKELS 2001, der im Altholz etwa 2 bis 2,8 g/kg Stickstoff findet, was bei vollständiger Oxidation zu Stickstoffdioxid zu Emissionen in Höhe von 680 bis 960 mg NO<sub>2</sub>/Nm<sup>3</sup> führen würde. Für natürliches Holz mit etwa 0,13 % Stickstoffgehalt ergibt dies analog 445 mg/Nm<sup>3</sup> (KALTSCHMITT, HARTMANN 2009).

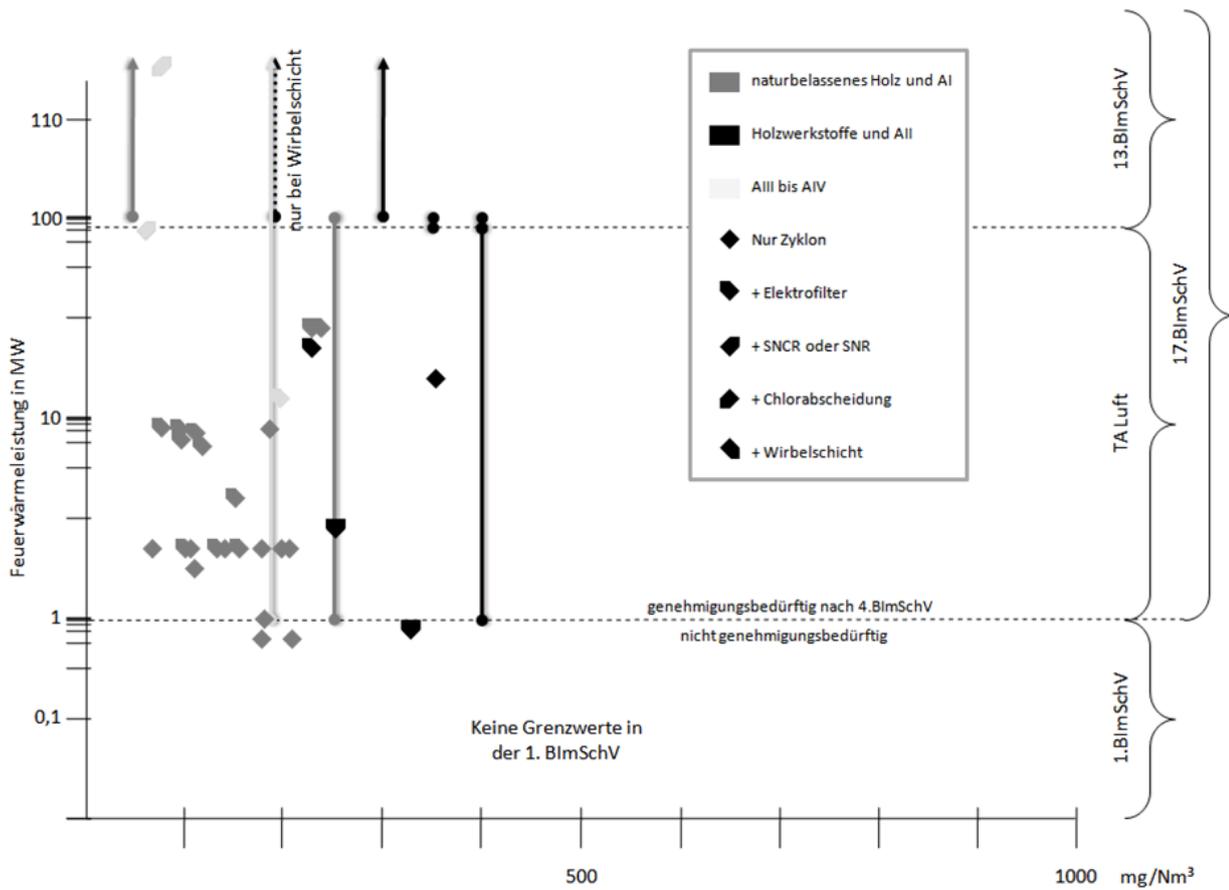


Abbildung 2-16: Stickoxid-Emissionen der untersuchten Anlagen und Grenzwerte verschiedener Verordnungen

Da sich die Emissionen bei konventioneller Verbrennung von UF-Spanplatten außerhalb der gesetzlichen Emissionsgrenzwerte befinden würden, wird davon ausgegangen, dass die vorliegenden Anlagen zu Verbrennung von verunreinigtem Holz (alle Altholzkategorien außer AI) ausschließlich Low- NO<sub>x</sub>- Feuerungen sind und der durchschnittliche Emissionswert von 286 mg/Nm<sup>3</sup> realistisch ist. Bei der Verbrennung von unbehandeltem Holz wird der Mittelwert von 151 mg/Nm<sup>3</sup> angenommen.

Tabelle 2-27: Feuerungsemissionen (NO<sub>x</sub>) der Anlagentypen bei verwendeter Abgasreinigung, in mg/Nm<sup>3</sup> (AI/AII/AIII + AIV)

Abgasreinigung	0,4 - 1 MW	1-100 MW	> 100MW
Zyklonabscheider	151/286/-	151/286/286	151/286/286
Elektrofilter	151/286/-	151/286/286	151/286/286
SNCR	72/72/-	72/72/72	72/72/72

Kommt ein SNCR Verfahren zum Einsatz, fallen die NO<sub>x</sub>-Emissionen auf deutlich unter 100 mg/Nm<sup>3</sup> ab, was sich mit den Angaben von KALTSCHMITT und HARTMANN deckt. Hierbei werden für die Verbrennung

von unbehandeltem Holz 50 – 100 mg/Nm<sup>3</sup> und für UF-Spanplatte 80 – 150 mg/Nm<sup>3</sup> angenommen. Für Anlagen mit SNCR Verfahren wird der Durchschnitt der beiden Angaben (72 mg/Nm<sup>3</sup>) verwendet, unabhängig vom Brennstofftyp.

### 2.6.7.5 Schwefeldioxid (SO<sub>2</sub>)

Nach Angaben der Literatur geht Schwefel unter Bildung von Schwefeldioxid (SO<sub>2</sub>), Schwefeltrioxid (SO<sub>3</sub>) und Alkalisulfaten in die Abluft. Durch die Rückkondensation im Abgasstrom können 40 bis 90 % der Schwefelmasse je nach Abscheidegrad der Entstaubung in die Asche eingebunden werden. Das entspricht bei einem durchschnittlichen Schwefelgehalt von 0,015 % etwa 1,6 bis 9,4 mg/Nm<sup>3</sup> reinem Schwefel (KALTSCHMITT, HARTMANN 2009). In Form von Schwefeldioxid ergibt sich somit eine Masse von 3,1 bis 18,8 mg/Nm<sup>3</sup> im Abgas. Altholzsortimente enthalten je nach Kontaminationsgrad zwischen 200 und 3800 mg/kg an reinem Schwefel (SPECKELS 2001). Bei 90 % Abscheidegrad ergeben sich dabei Emissionen zwischen 2 und 40 mg/Nm<sup>3</sup> Schwefeldioxid und bei einem Abscheidegrad von 40 % Schwefeldioxid-Emissionen in Höhe von zwischen 13 und 238 mg/Nm<sup>3</sup>.

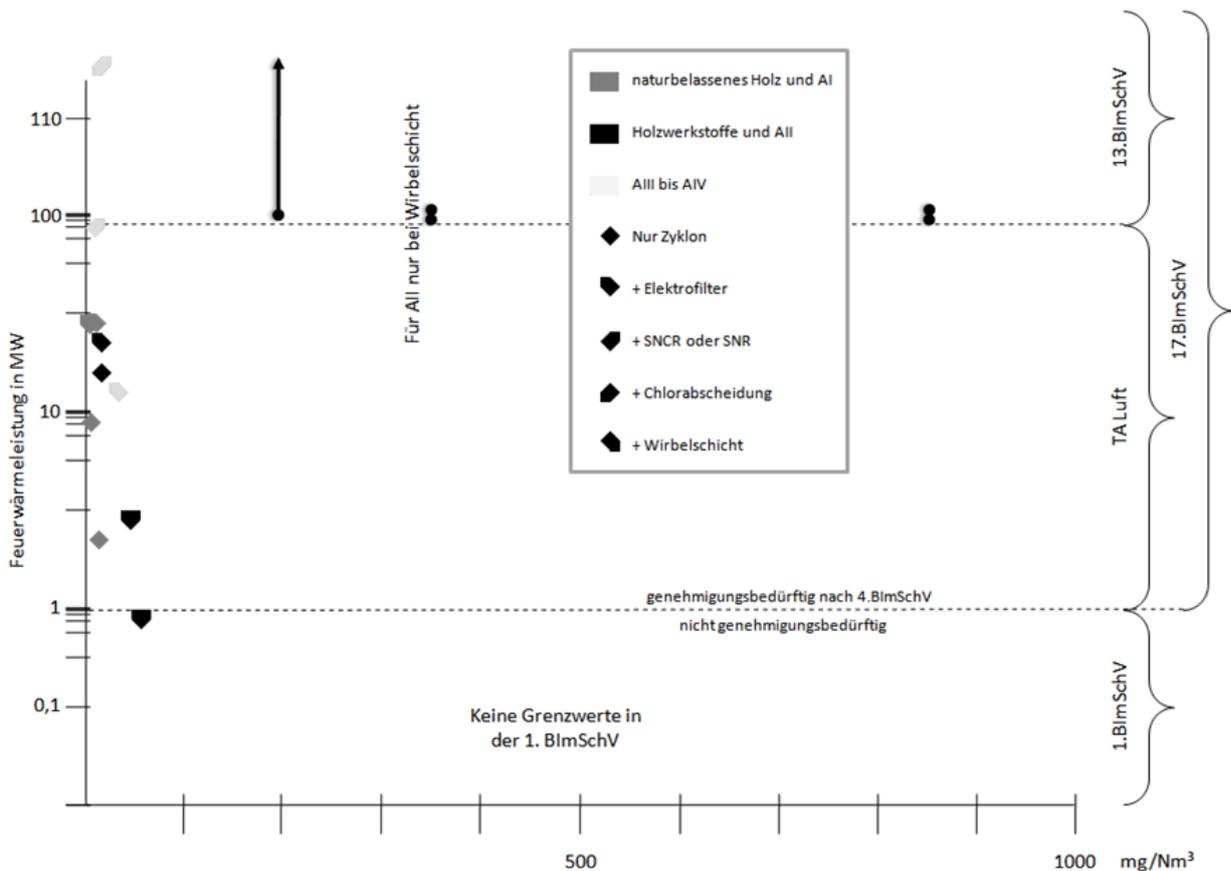


Abbildung 2-17: Schwefeldioxid-Emissionen der untersuchten Anlagen und Grenzwerte verschiedener Verordnungen

Nach der vorliegenden Literatur, welche Angaben zu den Schwefelemissionen enthält (BAUER 2007; REITBERGER, ET AL. 2001; SPECKELS 2001), ergeben sich bei der Verbrennung von natürlichem Holz mit Zyklonabscheidern durchschnittlich 65 %, und beim Einsatz eines Elektrofilters durchschnittlich 74 % Abscheidung. Für die anderen Fraktionen ergibt sich unabhängig von der Filtertechnologie (Multizyklon oder Multizyklon und E-Filter) durchschnittlich ein Abscheidegrad von 94 %. Darauf basierend wurden die in Tabelle 2-28 dargestellten Emissionen für die Modellierung genutzt

**Tabelle 2-28: Feuerungsemissionen (SO<sub>2</sub>) der Anlagentypen bei verwendeter Abgasreinigung, in mg/Nm<sup>3</sup> (AI/AII/AIII + AIV)**

Abgasreinigung	0,4 - 1 MW	1-100 MW	> 100 MW
Zyklonabscheider	11/25/-	11/25/25	11/25/25
Elektrofilter	8/25/-	8/25/25	8/25/25

#### **2.6.7.6 Andere Emissionen und Asche**

Alle nicht im Einzelnen aufgeführten Emissionen werden für alle Anlagen gleich, nach Durchschnittswerten aus SPECKELS 2001 angenommen.

Für die Ascheausbringung wurde in der Modellierung nach KALTSCHMITT und HARTMANN davon ausgegangen, dass der Aschegehalt für natürliches Holz mit Rindenanteilen, sowie für Altholz der Kategorie AI bei 2 %, für Altholz der Kategorie AII bei 6 % und für die Kategorien AIII und AIV bei 12 % liegt.

## 3 Ergebnisse der Ökobilanzberechnungen

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der Ökobilanzberechnung für die untersuchten Holzprodukte vorgestellt. Neben den klassischen Ergebnissen in Form von Wirkungsindikatoren (vgl. Kapitel 2.2.3), gehören eine Reihe weiterer Informationen zu den Ergebnissen der Erhebungen. So können die Sachbilanz und Informationen über die Rohstoffherkunft Verwendung beispielsweise bei der Erstellung von Stoffströmen oder einer Abschätzung der Kohlenstoffspeicherwirkung in Holzprodukten finden.

Um bei der Vielzahl an Holzprodukten, die im Rahmen dieses Projektes bilanziert wurden, Wiederholungen in den Beschreibungen der Tabellen und Abbildungen so weit wie möglich zu vermeiden, untergliedert sich dieses Kapitel in einen allgemeinen und einen produktspezifischen Teil. Zunächst werden in Kapitel 3.1 die Darstellung der Ergebnisse erläutert und die Tabellen und Abbildungen allgemein beschrieben, die im darauffolgenden Kapitel 3.2 die wichtigsten Informationen zu dem jeweiligen Produkt zusammen mit den spezifischen Ergebnissen der Ökobilanz abbilden.

Nachfolgend sind alle untersuchten Produkte mit der jeweiligen Kapitelnummer noch einmal aufgelistet.

- 3.2.1 Frisches Nadelschnittholz
- 3.2.2 Kammergetrocknetes Nadelschnittholz
- 3.2.3 Kammergetrocknetes Laubschnittholz
- 3.2.4 Hobelware
- 3.2.5 Konstruktionsvollholz
- 3.2.6 Brettschichtholz, Standardträger
- 3.2.7 Brettschichtholz, Sonderformen
- 3.2.8 Balkenschichtholz
- 3.2.9 Brettsperrholz
- 3.2.10 Furniersperrholz
- 3.2.11 3- und 5-Schicht Massivholzplatten
- 3.2.12 Spanplatte, roh
- 3.2.13 Spanplatte, melaminbeschichtet
- 3.2.14 Spanplatte, Röhrenspanplatte
- 3.2.15 Oriented Strand Board (OSB)
- 3.2.16 Mitteldichte Faserplatte (MDF)
- 3.2.17 Hochdichte Faserplatte (HDF)
- 3.2.18 Massivholzparkett
- 3.2.19 Mehrschichtparkett

### 3.1 Beschreibung der Ergebnisdarstellung

Die produktspezifischen Unterkapitel 3.2.1 bis 3.2.19 untergliedern sich jeweils in einen Teil, der eine Beschreibung des Produktes, die ermittelte Sachbilanz und weitere Informationen zu dessen Herstel-

lung enthält, und einen Abschnitt der die eigentlichen Ökobilanzergebnisse zusammen mit einer Interpretation dieser Ergebnisse darstellt.

Jeder Abbildung und Tabelle wird dabei eine Zeichenkombination zugeordnet, die sich aus der Kapitelnummer für das jeweilige Produkt (s. oben) und einem Buchstaben für den entsprechenden Inhalt ergibt.

*Beispiel: Tabelle 3.2.9.E -> Tabelle E für Produkt 9 (Brettsperrholz).*

### 3.1.1 Produktbeschreibung, Sachbilanz und weitere Informationen

Neben einer technischen und funktionalen Beschreibung jedes Produktes und seiner Herstellung stellt **Abbildung A** den Herstellungsprozess mindestens ab der vorherigen Veredelungsstufe dar. Dabei ist die vorherige Veredelungsstufe ein Produkt, welches ebenfalls in diesem Bericht beschrieben wird. Auf die Zusammensetzung der funktionalen Einheit wird in **Tabelle A** eingegangen und die verwendeten Verpackungsmaterialien für das Produkt am Werkstor werden jeweils in **Tabelle B** aufgelistet. Die in Tabelle A angegebenen Dichten wurden aus den gemittelten Angaben der Unternehmen zur Rohstoffzusammensetzung ihrer jeweiligen Produkte ermittelt. Auf Grund der in Kapitel 2.5.3 beschriebenen Festlegungen entsprechen die im Produkt enthaltenen Klebstoffmengen den in der Sachbilanz gelisteten Klebstoffinputs.

Im weiteren Textverlauf erfolgt eine Gegenüberstellung der Preise der genutzten Rohstoffe zu dem Preis des aus dem jeweiligen Produkt resultierenden Altholzes (vgl. Kapitel 2.5.2.6). Mit Hilfe dieser Information können die Ergebnisse der Gutschriften, welche mit der in Kapitel 2.5.2.3 beschriebenen Formel berechnet wurde, besser eingeordnet werden. Die angegebenen Preise für die im Produkt enthaltenen Holzrohstoffe beziehen sich daher exakt auf die im Produkt enthaltenen Rohstoffmengen, nicht auf die für die Herstellung benötigten Mengen.

Für den gesamten Nadelvollholzbereich wurden in **Abbildung B** die Transportdistanzen und die Rohstoffherkunft dargestellt. Hierfür erfolgt eine Aufstellung der Staaten und Bundesländer, aus welchem die Holzrohstoffe beliebiger Veredelungsstufen (z.B. Rohholz und frisches Schnittholz) bezogen wurden. Für die Holzwerkstoffe und den Parkettbereich wurden allerdings nur Angaben zu den zurückgelegten Distanzen ermittelt, da eine genauere Betrachtung bei der Vielzahl an eingesetzten Rohstoffen und den oftmals unterschiedlichen und variierenden Bezugsquellen nicht möglich war.

In **Tabelle C** wird die Sachbilanz für jedes Holzprodukt aufgeführt. Als zentrales Element einer Ökobilanz beinhaltet sie alle qualitativen und quantitativen Daten innerhalb der definierten Systemgrenze, die gemessen, berechnet oder geschätzt und der funktionellen Einheit zugeordnet wurden (Kapitel 2). Die Sachbilanz listet die genutzten Ressourcen, die resultierenden Produkte und Nebenprodukte sowie die aus den Prozessen im Werk resultierenden Emissionen auf, wobei die Angaben der Werke zu ihren Aufwendungen hierfür auf das definierte Produkt umgerechnet wurden. Dies beinhaltet beispielsweise auch die nach Exergie der Produkte Wärme und Strom (KWK) allozierten Brennstoffmengen (s. Kapitel 2.5.2). Nicht mit aufgelistet sind die genutzten Ressourcen bzw. die Emissionen der Vorketten der

einzelnen Sachbilanzflüsse. Emissionen auf molekularebene wurden in der Sachbilanz ebenfalls nicht aufgelistet. Sie entstehen im Rahmen der Holzverarbeitung hauptsächlich bei Verbrennungs- und Trocknungsprozessen und Aushärtevorgängen von Klebstoffen. Da entsprechende Emissionen nicht für jedes Werk gemessen wurden, konnten diese Daten nur auf Basis verschiedener Literaturquellen modelliert werden. Alle hierzu gemachten Annahmen werden bereits in Kapitel 2.6 beschrieben. Das Quell- und Schwindverhalten wurde auf Grund der Erläuterungen in Kapitel 2.5.3 nicht berücksichtigt.

### 3.1.2 Ergebnisse der Umweltbewertung

Die Ergebnisse der Ökobilanz werden zunächst anhand aller Indikatoren dargestellt, bevor eine Darstellung der Wirkungsindikatoren in normierter Form und eine Einzelbetrachtung der Ressourceneinsätze und ausgewählter Indikatoren im Detail erfolgen. Der Vollständigkeit halber muss an dieser Stelle betont werden, dass die Wirkungsabschätzungsergebnisse relative Aussagen sind und keine Voraussetzungen über Auswirkungen auf die Wirkungsendpunkte, Schwellenwertüberschreitungen, Sicherheitsspannen oder Risiken machen.

#### 3.1.2.1 Wirkungsindikatoren, Ressourceneinsatz und Outputflüsse

In den **Tabellen D** werden die Ergebnisse für alle Lebensabschnitte nach Modulen und alle in Kapitel 2.2.3 beschriebenen Indikatoren (Spalten 1 und 2) nach EN 15804:2012 zusammengefasst. Die Spalten 3 bis 5 zeigen die Ergebnisse der Module A1 bis A3. Zusätzlich werden die Ergebnisse der Module A1 bis A3 im Sinne eines Ergebnisses für die Betrachtung von der Wiege bis zum Werkstor in Spalte 6 aufsummiert. Es erfolgt darüber hinaus ein Vergleich der Ergebnisse dieser aufsummierten Werte jedes einzelnen Werkes zu den dargestellten produktionsmengengewichteten Durchschnittswerten als maximale Abweichungen zu diesen (Spalte 7). Sofern allerdings weniger als drei Hersteller zu den produktionsmengengewichteten Durchschnittswerten beitrugen, wurden keine Abweichungen angegeben. In den Spalten 8 und 9 werden die Module C2 (*Transport zum Entsorger*) und C3 (*Abfallwirtschaft und Recycling*) dargestellt. Sie gelten für jedes betrachtete Entsorgungsszenario und bilanzieren die Aufwendungen von Transport zum Entsorger bis hin zum Punkt der vollständigen Abfallbehandlung im Sinne der Norm bzw. bis zur Systemgrenze der Entsorgung nach ILCD Handbuch. Für alle Produkte und Entsorgungsszenarien ist das Modul C4 gleich Null.

In den Spalten 10 bis 12 sind die Last- und Gutschriften bzw. Potentiale dargestellt, die sich aus dem Recycling der aus den jeweiligen Produkten resultierenden Althölzer ergeben. Dabei bezieht sich Spalte 10 (*energetische Verwertung D*) auf die nach EN 15804:2012 bilanzierten Potentiale einer energetischen Verwertung des Altholzes und Spalte 11 (*stoffliche Verwertung D*) auf entsprechende Potentiale bei stofflicher Verwertung. Spalte 12 (*allgemeine Verwertung nach ILCD*) stellt den (negativen) Anteil der Bereitstellung der Holzrohstoffe dar, der nach Vorgaben des ILCD Handbuchs, wie in Kapitel 2.5.2.5 beschrieben, auf das Altholz alloziert werden muss. Er wird als negativer Wert dargestellt, da er für eine Berechnung der Gesamtwirkung von Modul A1 abgezogen wird.

Sollen Ergebnisse im Rahmen einer Betrachtung der Produkte von der Wiege bis zum Werkstor oder unter Einbeziehung der Entsorgung und möglicher resultierender Potentiale dargestellt werden, so

kann dies nach Vorgaben der EN 15804:2012 oder des ILCD Handbuchs erfolgen. Die hierzu nötigen Ergebnisspalten bzw. deren Verrechnung ist in Tabelle 3-1 beschrieben.

**Tabelle 3-1: Verrechnung der Ergebnisse für eine Nutzung nach verschiedener Methodik und Anwendung**

Ergebnisse nach Methodik und Anwendung	Verrechnung der Spalten
Produktphase nach EN 15084* ( <i>cradle to gate</i> )	Spalte 6
Produktphase und Entsorgung nach EN 15084* ( <i>cradle to gate</i> mit Optionen)	Spalte 6 + Spalte 8 + Spalte 9
Produktphase, Entsorgung und energetische Verwertung nach EN 15084* ( <i>cradle to gate</i> mit Optionen)	Spalte 6 + Spalte 8 + Spalte 9 + Spalte 10
Produktphase, Entsorgung und stoffliche Verwertung nach EN 15084* ( <i>cradle to gate</i> mit Optionen)	Spalte 6 + Spalte 8 + Spalte 9 + Spalte 11
Produktphase, Entsorgung und allgemeine Verwertung nach ILCD Handbuch**	Spalte 6 + Spalte 8 + Spalte 9 + Spalte 12

\*Ökobilanzergebnisse als Basis einer EPD (nach spezifischer PCR in Konformität zur EN 15804:2012)

\*\*Ökobilanzergebnisse nach ILCD Handbuch

### 3.1.2.2 Normierte Ergebnisse

Nach DIN EN ISO 14044:2006 ist eine Berechnung der Größenordnung der Wirkungsindikatorwerte in Bezug auf Referenzinformationen zwar optional (DIN 2006a), doch erfolgt die Ergebnisdarstellung in den **Abbildung C und D** in normierter Form, um eine Identifizierung der jeweils prägnantesten Umwelteinflüsse und eine Einordnung der Umweltwirkungen zu ermöglichen. Normierung bedeutet hier, dass die Emissionen der jeweiligen Ergebnisse auf die entsprechenden Gesamtemissionen in Deutschland nach CML 2001 bezogen wurden. Die Ergebnisse beschreiben somit die Anteile der für die Herstellung der Produkteinheit anfallenden Emissionen an den nationalen Gesamtemissionen eines Jahres.

Die **Abbildungen C** unterscheiden jeweils zwischen den einzelnen Modulen bzw. Lebenszyklusabschnitten der Produktherstellung und der Entsorgung, wobei nur die Module A von der Wiege bis zum Werkstor und die Module C2 und C3 dargestellt sind. Von den dargestellten Wirkungskategorien werden für das Treibhausgaspotential nur die Emissionen aus fossilen Quellen dargestellt (in den jeweiligen Abbildungen mit \* gekennzeichnet), da die Kohlenstoffbilanz aus Biomasse über den gesamten Lebenszyklus betrachtet ausgeglichen ist (s. auch Abbildungen G). In den **Abbildungen D** werden die normierten Ergebnisse für die Module D stofflich und D energetisch angegeben.

In **Tabellen E** sind die Ergebnisse der drei Indikatoren gelistet, die nach den Ergebnissen der Normierung den größten Einfluss haben. Die Liste zeigt den Gesamtwert (nicht normiert) der Indikatorergebnisse für die Betrachtung von der Wiege bis zum Werkstor (A1 bis A3). Zudem werden die größten Einflussfaktoren bzw. die Ursache der Emissionen in der Tabelle genannt, die sich auf Werksebene differenzieren lassen. Hier ist zu beachten, dass der Stromverbrauch für jeden Prozess einzeln erhoben wurde und in seiner Gesamtheit einen großen Einfluss haben kann, doch als Stromverbrauch des ein-

zelenen Prozesses nicht zu den größten Einflussfaktoren gehören muss. Die Relevanz des gesamten Stromverbrauchs im Werk vor Ort wird später in den **Abbildungen H bis J** dargestellt.

**Tabelle 3-2: Beschreibung der Haupteinflussfaktoren und deren Bedeutung**

Haupteinflussfaktor	Inhalt
Hydrophobierung	Bereitstellung der Hydrophobierung für Holzwerkstoffe, ohne Transporte
Klebstoff	Bereitstellung der Klebstoffe, ohne die Abbundung und den Transport
Prozess Trocknung	Direkte Emissionen der Trocknung, ohne Emissionen durch die Erzeugung der Wärme
Rundholzvorkette	Bereitstellung der Rundhölzer, ohne deren Transport
Schnittholz(trocken) Vorkette	Bereitstellung der technisch getrockneten Schnitthölzer, ohne deren Transport
Schnittholzvorkette	Bereitstellung der frischen Schnitthölzer, ohne deren Transport
Strom	Erzeugung von Strom für die jeweiligen Prozesse oder Infrastruktur
Transport	Transport der jeweiligen Rohstoffe
Wärmeproduktion	Erzeugung der Wärme vor Ort inklusive die gesamte Bereitstellung der Rohstoffe sowie deren Transport
Werkslogistik	Bereitstellung der Werklogistik. In der Regel ist dies hauptsächlich die Bereitstellung von Dieselmotorkraftstoff und dessen Verbrennung in Kraftprozessen
Zusätzliche Emissionen vor Ort	Emissionen, die durch das Abbinden von Klebstoffen oder der Verdunstung flüchtige Verbindungen entstehen.

### 3.1.2.3 Ressourceneinsatz

Analog zu den Abbildungen C und D stellen die **Abbildungen E und F** die Ergebnisse für die Module A1 bis A3 sowie C2 und C3 bzw. die Potentiale der stofflichen und energetischen Verwertung nach EN 15804:2012 für den Einsatz von Ressourcen dar. Die **Tabellen F** listen die Ergebnisse für das Produktstadium (Informationsmodule A1 bis A3) für die Indikatoren PERE, PENRE und RSF auf (vgl. Kapitel 2.2.3). Anhand dieser Werte kann abgelesen werden, welche Primärenergiemengen nötig sind, um das Produkt herzustellen. PERE beinhaltet hauptsächlich die Aufwendungen für den Einsatz von frischem Holz als Brennstoff in den Werken der Holzindustrie. Die darin auch enthaltenen Anteile von Biomasse im Strommix sind im Verhältnis zu den eingesetzten Holzbrennstoffen vor Ort zu vernachlässigen. Der Indikator PENRE summiert alle energetisch genutzten fossilen Energieträger auf und der Wert für den Einsatz von erneuerbaren Sekundärbrennstoffen (RSF) gibt über den Einsatz von Altholz als Brennstoff Auskunft. Für den Einsatz der energetisch genutzten fossilen Energieträger wurden die Haupteinflussfaktoren nach Tabelle 3-2 dargestellt.

Um ein besseres Verständnis für die Größenordnungen der angegebenen Werte zu erhalten, können die Angaben mit Hilfe von Tabelle 3-3 beispielhaft in dahinter liegende Brennstoffmengen umgerechnet werden.

**Tabelle 3-3: Hilfstabelle für den Einsatz von Primärenergie**

Einsatz von Primärenergie	entspricht dem Energiegehalt von:
1000 MJ PENRE	22,4 Litern leichtem Heizöl
1000 MJ PERE	64 kg lufttrockenem Holz (20 % Holzfeuchte)
1000 MJ RSF	64 kg lufttrockenem Altholz (20 % Holzfeuchte)

Die **Tabellen G** zeigen jeweils das Verhältnis der bei der Herstellung der Produkte eingesetzten Ressourcen zueinander.

Dabei kann anhand des Verhältnisses (PERE : PERM) in der ersten Zeile der Tabelle abgelesen werden, welche Energie durch die Verbrennung von Holz für die Herstellung des Produktes bis zum Werkstor in Relation zu der im Produkt enthaltenen Energie aufgebracht wurde. Bei einem Wert von beispielsweise 1 : 4 werden für die Erzeugung von 1 m<sup>3</sup> Vollholzprodukt etwa 0,25 m<sup>3</sup> Holz thermisch genutzt. Zwar beinhaltet der Wert für PERE, wie oben beschrieben, auch die Anteile der erneuerbaren Energie in Form von Biomasse im Strommix und den Vorketten, doch ist dieser im Vergleich zum energetisch eingesetzten Holz in der Holzindustrie zu klein, als dass er relevant für diese Angabe wäre.

Das Verhältnis der Indikatoren *Nicht-erneuerbare Primärenergie als Energieträger* (PENRE) zu *Erneuerbare Primärenergie zur stofflichen Nutzung* (PERM) gibt an, welche Menge an Primärenergie aus fossilen Quellen bis zum Werkstor bereits als Brennstoff eingesetzt wurde, im Vergleich zu der im Holz gespeicherten Energie. Dabei kann unter Berücksichtigung der Umwandlungsverluste abgeschätzt werden, welche Menge der eingesetzten Energie theoretisch durch die Verbrennung der Produkte am Ende des Lebenszyklus zurückgewonnen werden könnte.

Die Angabe PERE : PENRE zeigt schließlich das Verhältnis der als Brennstoff eingesetzten Primärenergie aus erneuerbaren und der aus fossilen Quellen zueinander.

#### **3.1.2.4 Gespeicherter Kohlenstoff und biogenes CO<sub>2</sub>**

In **Abbildung G** werden die Flüsse von biogenem CO<sub>2</sub> von der Herstellung bis zur Entsorgung des jeweiligen Produktes dargestellt. Der im Holz gespeicherte Kohlenstoff wird in Form von CO<sub>2</sub> oxidiert. Je kg Holz werden im Falle der Verbrennung bzw. Oxidation des Kohlenstoffs etwa 1,832 kg biogenes CO<sub>2</sub> freigesetzt (s. Kapitel 2.6.7.1). Die spezifische Berechnung für das Produkt erfolgt in den Angaben der funktionalen Einheiten.

Bei der Nutzung von Holz in Form von Rundholz oder Altholz findet der im Holz gebundene Kohlenstoff Eingang in den Systemraum im Modul Rohstoffbereitstellung (A1), was aus Sicht der Atmosphäre immer als ein negativer Wert dargestellt wird. Die Holzanteile, die innerhalb der Vorketten oxidiert werden und als Emission anfallen, sind demzufolge positiv und ebenfalls in der Betrachtung enthalten.

Auch im Informationsmodul A3 sind die CO<sub>2</sub> Systemeingänge durch die Nutzung von Holz dargestellt, das als Brennstoff vor Ort oder für die Verpackung der Produkte genutzt wird. Der Kohlenstoff der Holzanteile, die vor Ort verbrannt werden tritt jedoch gleichzeitig wieder als Emission auf. Im Informationsmodul C3 verlässt der Kohlenstoff wieder den Systemraum in Form von verwertbarem Altholz.

Die Bilanz aller Input- und Outputflüsse von CO<sub>2</sub>, welches im Holz gebunden ist, ist über den gesamten Lebenszyklus der Produkte ausgeglichen. Ihre Summe hat grundsätzlich den Wert Null.

### **3.1.2.5 Die drei wichtigsten Indikatoren nach Normierung**

In den **Abbildungen H bis J** sind die drei nach der Normierung jeweils drei relevantesten Wirkungsindikatoren Treibhausgaspotential, Versauerungspotential und Ozonbildungspotential getrennt nach den Informationsmodulen A1 bis A3 und C2 und C3 energetisch ausgewiesen. Die Module werden noch einmal in Bereiche untergliedert und beinhalten folgende Aufwendungen:

#### **Module A1**

- Holz, Bereitstellung

Alle Aufwendungen der Vorketten zur Bereitstellung der Holzrohstoffe die stofflich genutzt werden und sich vollständig im Produkt wiederfinden

- andere, Bereitstellung

Alle Aufwendungen der Vorketten zur Bereitstellung aller Rohstoffe außer Holz, die stofflich genutzt werden und sich vollständig im Produkt wiederfinden

#### **Modul A2**

- Holz, Transport

Alle Aufwendungen der Transporte der Holzrohstoffe entweder aus dem Forst oder von anderen Unternehmen der Holzindustrie oder Entsorgern, sofern es sich um veredelte Produkte, Nebenprodukte oder Altholz zur stofflichen Verwertung handelt

- andere, Transport

Alle Aufwendungen der Transporte der oben genannten Nicht-Holz-Rohstoffe vom Zulieferer zum Werk

#### **Modul A3**

- Stromverbrauch, Herstellung

Alle Aufwendungen, die mit dem Stromverbrauch vor Ort (Vordergrundsystem) in Verbindung stehen, also im Wesentlichen die Emissionen der Stromerzeugung inklusive der Leitungsverluste, etc.

- Wärmeerzeugung, Herstellung

Alle Aufwendungen, die mit der Bereitstellung der Wärme vor Ort (Vordergrundsystem) verknüpft sind. Dies beinhaltet alle Brennstoffvorketten und die Emissionen der Verbrennung sowie die allozierte Prozesskette zur Erzeugung der Nebenprodukte, die in der Verbrennung genutzt werden.

- andere, Herstellung

Alle Aufwendungen, die sich vor Ort ergeben (Vordergrundsystem) aber nicht mit dem Stromverbrauch und der Wärmeerzeugung in Verbindung stehen. Dies sind im Wesentlichen die Emissionen aus Prozessen wie Trocknen und Pressen sowie die Emissionen beim Umgang mit den Bindemitteln vor Ort. Des Weiteren sind hier die Bereitstellung und Verbrennung der Dieselmotorkraftstoffe für die Werkslogistik sowie alle mit den Betriebsmitteln in Zusammenhang stehende Aufwendungen zusammengefasst.

#### **Modul C2**

- Entsorgung, Transport

Alle Aufwendungen, die mit dem Transport der Althölzer zum Entsorger verknüpft sind.

#### **Modul C3**

- Entsorgung, energetisches Szenario

Alle Aufwendungen, die mit der Abfallwirtschaft in Verbindung stehen, insbesondere die Aufwendungen zur Sortierung und Aufbereitung des Altholzes sind hier zusammengefasst, jedoch ohne Gutschriften aus dem Modul D.

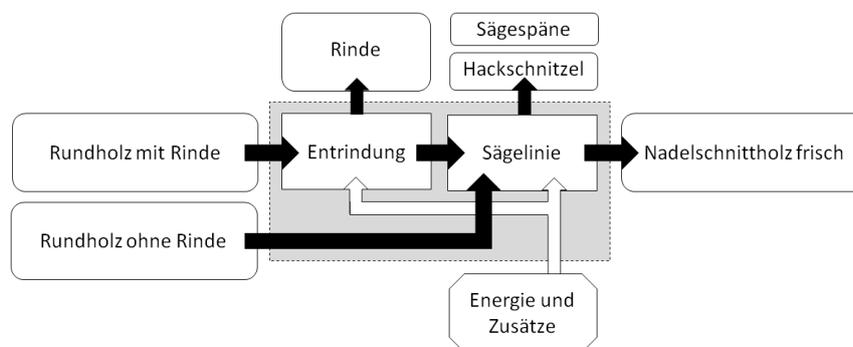
## 3.2 Ergebnisse nach Produkten

### 3.2.1 Frisches Nadelschnittholz

Frisches Nadelschnittholz ist eingeschnittenes Nadelholz in allen typischen Dimensionen als Balken, Bohle, Vierkantholz oder Latte. Frisches Nadelschnittholz wird nicht technisch getrocknet und liegt in Normalfall mit einer Holzfeuchte von etwa 55 % vor. Wird das Holz durch längere Liegezeiten gezielt weiter getrocknet können deutlich geringen Feuchten erreicht werden. Das betrachtete Produkt wird nicht mit Holzschutzmitteln oder ähnlichen Mittel behandelt. Tabelle 3.2.1.A zeigt die Zusammensetzung der funktionalen Einheit (1 m<sup>3</sup> Produkt).

**Tabelle 3.2.1.A: Zusammensetzung der funktionalen Einheit**

Stoff	Am Werkstor	
	[kg/m <sup>3</sup> ]	Anteil [%]
Holz	435,31	64,515
<i>davon Kohlenstoff (50%)</i>	<i>217,66</i>	<i>32,258</i>
Wasser	239,42	35,484
<b>Gesamt</b>	<b>674,74</b>	



**Abbildung 3.2.1.A: Schematische Darstellung der Herstellung von frischem Nadelschnittholz**

Das dem Forst entnommene Stammholz wird teilweise bereits im Wald entrindet, auf Rundholz-LKW an die Sägewerke geliefert und visuell geprüft. Die Stämme werden, sofern noch nicht geschehen, entrindet, je nach Lieferlänge (teilweise bis 22 m), den Maschinenbedingungen und den Auftragsvorgaben gekappt und nach Durchmessern und Holzart sortiert zwischengelagert.

Der Einschnitt erfolgt je nach verwendeter Technologie mittels Profilerspanern, Kreissägen oder Bandsägen. Dabei können mehrere Maschinentypen in Reihe geschaltet sein oder der Stamm bzw. dessen Teile mehrmals durch die gleiche Maschine gefahren werden. Die Technologien bzw. die Auslegungen der einzelnen Technologien innerhalb eines Sägewerkes unterscheiden sich hauptsächlich in

der möglichen Bearbeitungsgeschwindigkeit, der minimal und maximal möglichen Bearbeitungsdurchmesser der Menge an anfallenden Reststoffen, der Reststoffformen, der möglichen Dimensionsvariabilität der Produkte sowie der möglichen Ausbeute an Hauptware (Schnittholz) bei schwankender Qualität (z.B. bei Krümmhaftigkeit) des Stammholzes.

Die Produkte werden verpackt und liegen bereit am Werkstor der Fertigung zur weiteren Verwendung. Tabelle 3.2.1.B zeigt die verwendeten Verpackungsmaterialien je funktionaler Einheit (1 m<sup>3</sup> Produkt).

**Tabelle 3.2.1.B: Verwendete Verpackungsmaterialien**

Verpackungsmaterial	[kg/m <sup>3</sup> ]
andere Kunststoffe	0,028
Vollholz	0,091

Der in dieser Untersuchung unterstellte Rohstoffpreis für 1 m<sup>3</sup> des Rohstoffmixes in Form von entrindetem Rundholz und Rundholz in Rinde beträgt 50 €. Für das aus dem Produkt resultierende Altholz (Qualität A1) wurde ein Preis von 11 € ermittelt (vgl. Tabelle 2-4). Somit ergibt sich bei der Berechnung des Szenarios der allgemeinen Verwertung nach ILCD eine Gutschrift in Höhe von 22 % der Aufwendungen der Bereitstellung der Holzrohstoffe.

Durchschnittlich wurde das für die Herstellung von frischem Nadelholz benötigte Rohholz über eine Distanz von 104 km transportiert. Der größte Anteil des bezogenen Rundholz ist noch nicht entrindet und etwa 90 % dieses Materials stammen aus Deutschland. Der Bezug ist überwiegend regional und wird in Abbildung 3.2.1.B dargestellt.

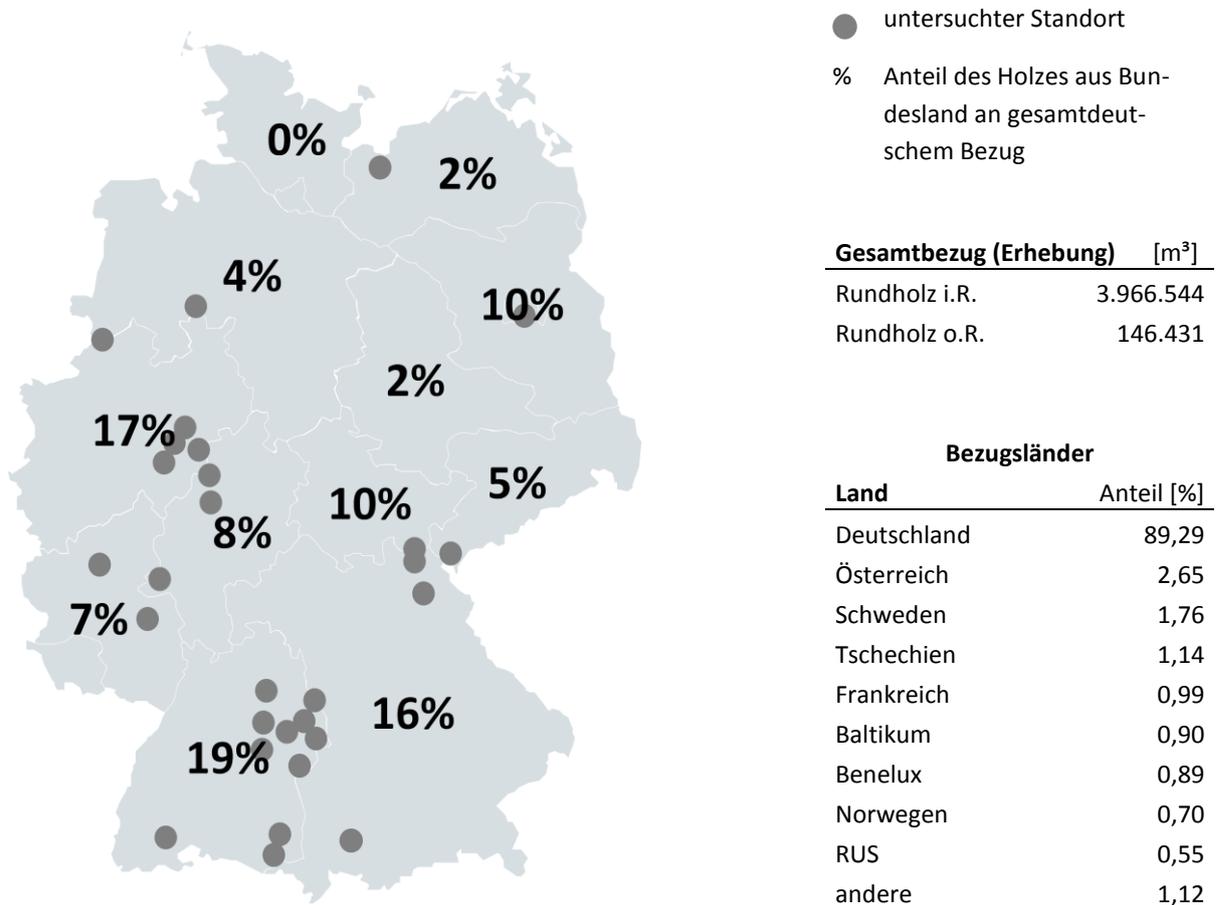


Abbildung 3.2.1.B: Rohholzherkunft für die Herstellung von frischem Nadelholz

Tabelle 3.2.1.C bildet die Sachbilanz für frisches Nadelstammholz inklusive der bei der Produktion entstehenden Nebenprodukte ab. Die funktionale Einheit ist die Bereitstellung von 1 m<sup>3</sup> des Produktes am Werkstor. Die Sachbilanz erfolgt ohne Darstellung der Vorketten.

**Tabelle 3.2.1.C: Sachbilanz für die Herstellung der funktionalen Einheit**

Fluss	Menge	Einheit
<b>INPUT</b>		
<b>Holzrohstoffe</b>		
Rundholz in Rinde	1,755	m <sup>3</sup>
Rundholz ohne Rinde	0,065	m <sup>3</sup>
<b>Strom</b>	21,770	kWh
<b>Betriebsmittel</b>		
Diesel	0,822	kg
Maschinenöl	0,091	kg
Schneidstoffe	0,006	kg
Reifen	0,035	kg
Trinkwasser	2,388	kg
Oberflächenwasser	6,691	kg
Motoröl	0,016	kg

<b>OUTPUT</b>		
<b>Produkte</b>		
Frisches Schnittholz	1,000	m <sup>3</sup>
Nebenprodukte	0,820	m <sup>3</sup>
<b>Emissionen aus</b>		
Verbrennung Brennstoffe	siehe Hintergrunddaten	
Verbrennung Diesel in Kraftprozess		
<b>Sonstiges</b>		
Abfälle	0,148	kg
Asche	siehe Hintergrunddaten	
Abwasser /teilweise als Emission in Luft	9,079	kg

Tabelle 3.2.1.D: Zusammenfassung aller Wirkungsindikatoren, Ressourceneinsätze und Outputflüsse

Parameter	Einheit	Bereitstellung der Rohstoffe (A1)	Transport (A2)	Herstellungsprozess (A3)	Summe cradle to gate (A1 - A3)	maximale Abweichung +%/-%	Transport zum Entsorger (C2)	Abfallwirtschaft (C3)	energetische Verwertung (D)	stoffliche Verwertung (D)	Verrechnung von A1 nach ILCD
<b>Ergebnisse Umweltauswirkung</b>											
GWP	[kg CO <sub>2</sub> -Äqv.]	-7,83E+02	4,94E+00	1,34E+01	<b>-7,65E+02</b>	+85/-28	4,37E-01	8,02E+02	-3,69E+02	-1,20E+01	-5,08E+00
ODP	[kg CFC11-Äqv.]	4,26E-07	1,92E-08	2,87E-06	<b>3,32E-06</b>	+61/-82	8,73E-10	1,19E-06	-8,41E-05	-9,32E-07	-3,77E-07
AP	[kg SO <sub>2</sub> -Äqv.]	8,15E-02	2,20E-02	4,44E-02	<b>1,48E-01</b>	+75/-21	1,88E-03	6,98E-03	-3,78E-01	-4,95E-02	-2,00E-02
EP	[kg PO <sub>4</sub> -Äqv.]	1,82E-02	5,03E-03	7,27E-03	<b>3,05E-02</b>	+81/-22	4,34E-04	5,89E-04	-3,61E-03	-1,04E-02	-4,12E-03
POCP	[kg Ethen-Äqv.]	1,12E-02	2,19E-03	5,12E-03	<b>1,86E-02</b>	+58/-22	2,03E-04	4,64E-04	-2,53E-02	-6,20E-03	-2,67E-03
ADPE	[kg Sb-Äqv.]	4,94E-07	1,66E-07	2,99E-04	<b>3,00E-04</b>	+279/-94	9,22E-09	1,23E-07	-1,20E-05	-6,08E-06	-5,85E-06
ADPF	[MJ]	1,89E+02	6,86E+01	1,54E+02	<b>4,12E+02</b>	+92/-23	6,16E+00	4,62E+01	-4,13E+03	-1,54E+02	-6,62E+01
<b>Ergebnisse Ressourceneinsatz</b>											
PERE	[MJ]	2,11E+00	1,16E-01	1,09E+01	<b>1,32E+01</b>		8,16E-03	4,70E+00	-3,32E+02	-8,39E+03	-4,64E-01
PERM	[MJ]	8,39E+03	0,00E+00	2,83E+01	<b>8,42E+03</b>		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	-1,85E+03
PERT	[MJ]	8,39E+03	1,16E-01	3,93E+01	<b>8,43E+03</b>		8,16E-03	4,70E+00	-3,32E+02	-8,39E+03	-1,85E+03
PENRE	[MJ]	2,04E+02	6,93E+01	2,50E+02	<b>5,23E+02</b>		6,19E+00	8,78E+01	-7,05E+03	-3,38E+02	-4,49E+01
PENRM	[MJ]	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	<b>0,00E+00</b>		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
PENRT	[MJ]	2,04E+02	6,93E+01	2,50E+02	<b>5,23E+02</b>		6,19E+00	8,78E+01	-7,05E+03	-3,38E+02	-4,49E+01
SM	[kg]	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	<b>0,00E+00</b>		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	3,04E+02	0,00E+00
RSF	[MJ]	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	<b>0,00E+00</b>		0,00E+00	0,00E+00	5,85E+03	0,00E+00	0,00E+00
NRSF	[MJ]	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	<b>0,00E+00</b>		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
FW	[m <sup>3</sup> ]	5,14E+02	1,70E+00	1,21E+02	<b>6,37E+02</b>		1,16E-01	4,99E+01	3,43E+03	-2,32E+02	-1,01E+02
<b>Ergebnisse Outputflüsse und Abfallkategorien</b>											
HWD	[kg]	9,41E-07	0,00E+00	1,30E-02	<b>1,30E-02</b>		0,00E+00	0,00E+00	1,51E+00	1,05E-02	1,05E-02
NHWD	[kg]	9,84E-06	0,00E+00	6,91E-03	<b>6,92E-03</b>		0,00E+00	0,00E+00	5,95E-03	5,90E-03	5,90E-03
RWD	[kg]	5,34E-03	2,40E-04	3,42E-02	<b>3,98E-02</b>		1,09E-05	1,49E-02	-1,05E+00	-8,14E-03	-1,18E-03
CRU	[kg]	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	<b>0,00E+00</b>		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
MFR	[kg]	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	<b>0,00E+00</b>		0,00E+00	6,75E+02	0,00E+00	-6,75E+02	0,00E+00
MER	[kg]	0,00E+00	0,00E+00	1,47E+00	<b>1,47E+00</b>		0,00E+00	6,75E+02	-6,76E+02	-1,47E+00	0,00E+00
EE1	[MJ]	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	<b>0,00E+00</b>		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
EE2	[MJ]	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	<b>0,00E+00</b>		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00

Alle nicht genannten Module fallen unter den Bereich „MND“ (= „Modul nicht deklariert“). <sup>1</sup> Strom & <sup>2</sup> Wärme

**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 Sekundär-brennstoffe; NRSF = Nicht erneuerbare Sekundär-brennstoffe; FW = Einsatz von Süßwasserressourcen

**Output-Flüsse und Abfallkategorie:** HWD = Gefährlicher Abfall zur Deponie; NHWD = Entsorger nicht gefährlicher Abfall; RWD = Entsorger 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 (Institute of Environmental Sciences Faculty of Science Universität Leiden, Niederlande) verwendet. Der Charakterisierungsfaktor für den Verbrauch von abiotischen Ressourcen (fossile Stoffe) ist der jeweilige unterer Heizwert am Extraktionspunkt des fossilen Brennstoffs. Langzeitemissionen (> 100 Jahre) werden in der Wirkungsabschätzung nicht berücksichtigt.

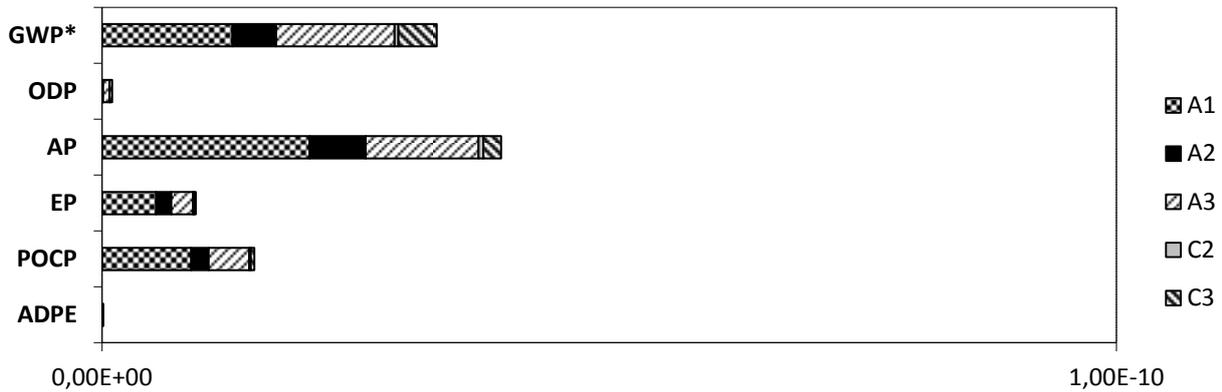


Abbildung 3.2.1.C: Wirkungspotentiale normiert nach deutschen Gesamtemissionen (ohne Modul D) für die Module A1 bis A3, C2 und C3 (energetisch) [%/100 der deutschen Gesamtemissionen]

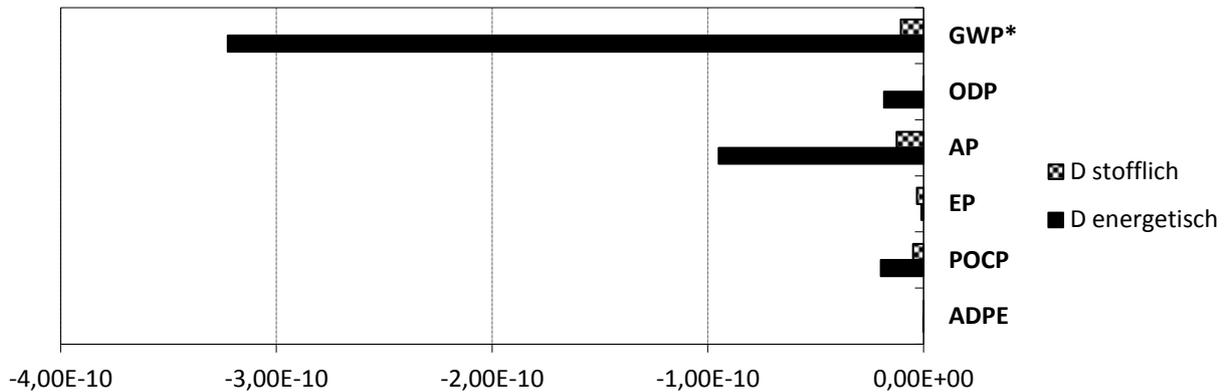


Abbildung 3.2.1.D: Wirkungspotentiale normiert nach deutschen Gesamtemissionen für die Szenarien im Modul D (stofflich und energetisch) [%/100 der deutschen Gesamtemissionen]

Tabelle 3.2.1.E: Haupteinflussfaktoren auf die Ergebnisse der drei relevantesten Wirkungsindikatoren (nach Normierung) [kg/m³]

Nr.	Indikator	Σ (A1 bis A3)	Haupteinflussfaktoren
1	<b>AP</b> Versauerungspotential [SO <sub>2</sub> -Äqv.]	0,148	55,1% - Rundholzvorkette ; 18,3% - Werkslogistik ; 14,9% - Transport Rundholz ; 8% - Strom Einschnitt Prozess ; 1,4% - Strom Entrindung Prozess ; 0,6% - Strom Einschnitt Sonstiges ; Rest 1,7%
2	<b>GWP</b> Treibhausgaspotential – fossil [CO <sub>2</sub> -Äqv.]	32,970	44,5% - Rundholzvorkette ; 22,4% - Strom Einschnitt Prozess ; 15% - Transport Rundholz ; 9% - Werkslogistik ; 3,9% - Strom Entrindung Prozess ; 1,8% - Strom Einschnitt Sonstiges ; Rest 3,4%
3	<b>POCP</b> Ozonbildungspotential [Ethen-Äqv.]	0,019	60,6% - Rundholzvorkette ; 19,1% - Werkslogistik ; 11,8% - Transport Rundholz ; 4,3% - Strom Einschnitt Prozess ; 1,5% - Betriebsmittel ; 1,3% - Verpackung ; Rest 1,4%

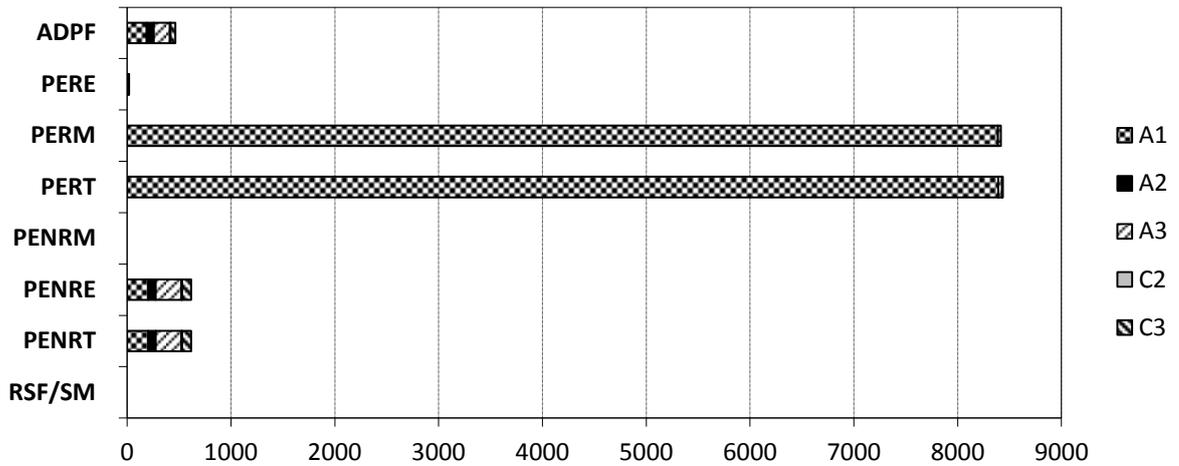


Abbildung 3.2.1.E: Einsatz von Ressourcen in den Modulen A1 bis A3 und C2 bis C4 [MJ/m³]

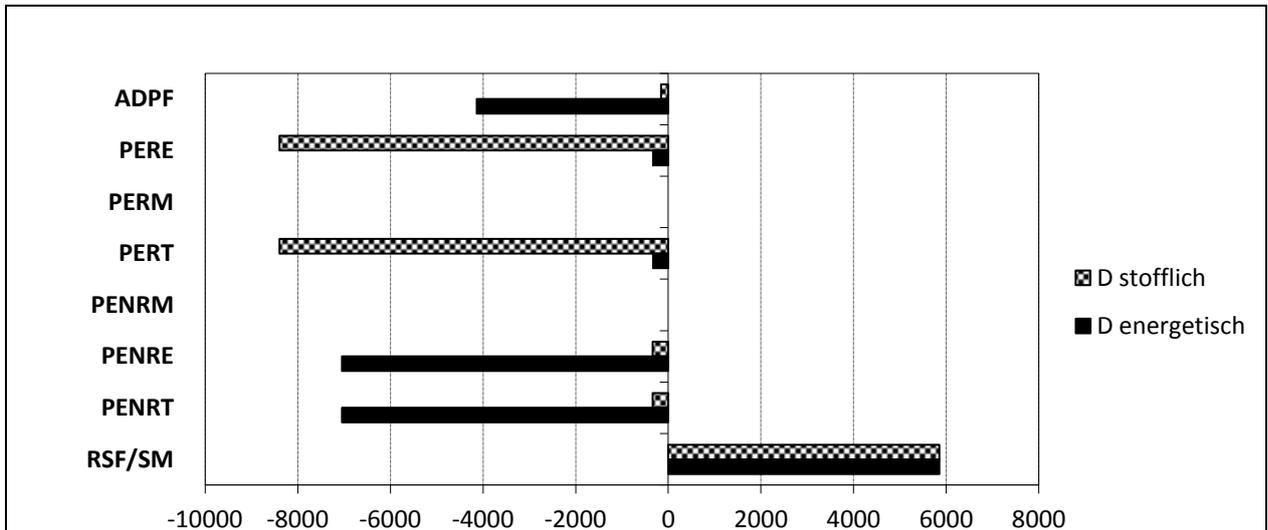


Abbildung 3.2.1.F: Gut- und Lastschriften für Ressourcen in Modul D für Szenarien stofflich und energetisch [MJ/m³]

Tabelle 3.2.1.F: Hauptsächlichste Verwendung der eingesetzten Primärenergie und der Ressourcen [MJ/m³]

Primärenergietyp	Σ (A1 bis A3)	Hauptsächlichste Verwendung
<b>PERE</b> Erneuerbare Primärenergie als Energieträger [MJ]	13	Anteile von erneuerbaren im Strommix
<b>PENRE</b> Nicht-erneuerbare Primärenergie als Energieträger [MJ]	523	39% - Rundholzvorkette ; 28,6% - Strom Einschnitt Prozess ; 13,3% - Transport Rundholz ; 7,9% - Werkslogistik ; 5% - Strom Entrindung Prozess ; 2,3% - Strom Einschnitt Sonstiges ; Rest 3,9%
<b>RSF</b> Erneuerbare Sekundärbrennstoffe [MJ]	0	Altholz wird nicht genutzt.

Tabelle 3.2.1.G: Relation des Einsatzes ausgewählter Primärenergietypen zueinander

Primärenergietyp	Relation	Primärenergietyp
<b>PERE</b> Erneuerbare Primärenergie als Energieträger [MJ]	1 : 639,8	<b>PERM</b> Erneuerbare Primärenergie zur stofflichen Nutzung [MJ]
<b>PENRE</b> Nicht-erneuerbare Primärenergie als Energieträger [MJ]	1 : 16,1	<b>PERM</b> Erneuerbare Primärenergie zur stofflichen Nutzung [MJ]
<b>PERE</b> Erneuerbare Primärenergie als Energieträger [MJ]	1 : 39,8	<b>PENRE</b> Nicht-erneuerbare Primärenergie als Energieträger [MJ]

Im Vergleich zum Energieinhalt des Produktes, werden bei der Herstellung nur unwesentliche Mengen an Energie aus erneuerbaren Quellen eingesetzt. Der Anteil an eingesetzter fossiler Energie entspricht etwa 1/16 des Energieinhalts des Produktes. Nur 1/40 der bis zum Werkstor eingesetzten Energie wird aus erneuerbaren Quellen bezogen (Tabelle 3.2.1.G).

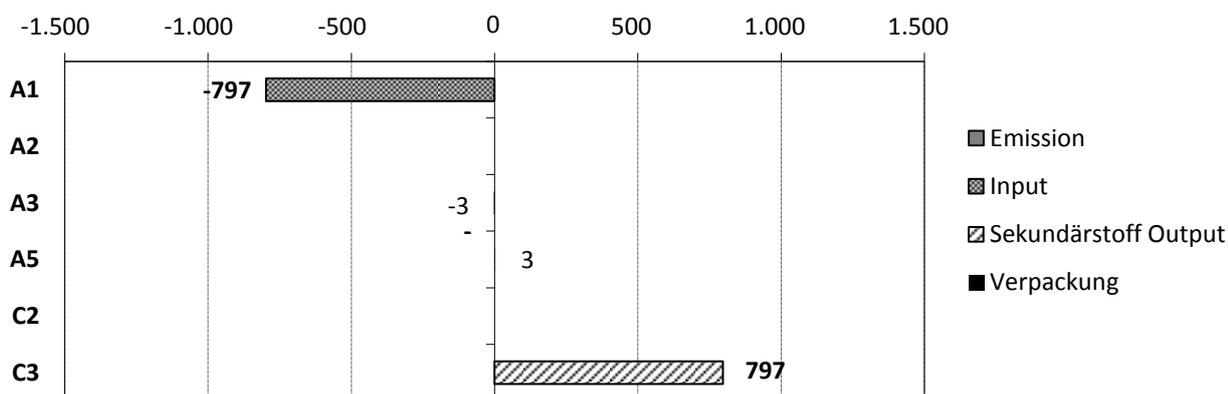


Abbildung 3.2.1.G: Bilanz der Kohlenstoffflüsse in der Holzbiomasse [kg CO<sub>2</sub>]

Insgesamt werden durch den Rohstoff Holz etwa 800 kg CO<sub>2</sub> (gespeichert in Biomasse) in dem System eingesetzt. Davon werden 3 kg CO<sub>2</sub> über die Verpackung dem System zugeführt und im Rahmen der Entsorgung der Verpackung wieder emittiert. Die im Produkt gespeicherte Menge an Kohlenstoff wird während der Entsorgung in Modul C3 entweder als Emission in Höhe von 797 kg CO<sub>2</sub> oder in Form von Altholz dem System entzogen.

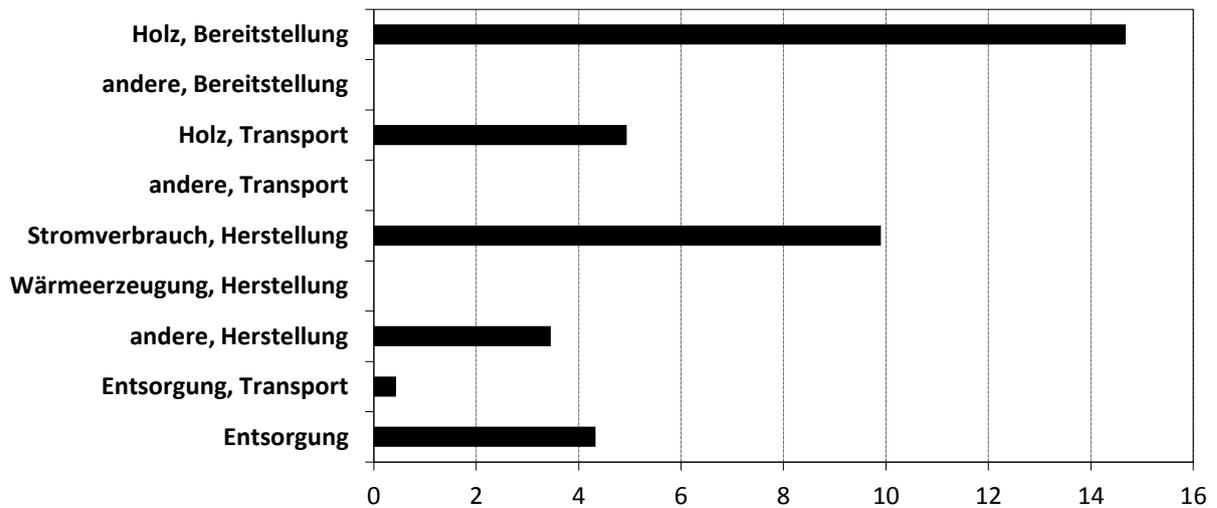


Abbildung 3.2.1.H: Treibhausgasemissionen aus fossilen Quellen nach Modulen A1 bis A3, C2 und C3 (energetisch) [kg CO<sub>2</sub>-Äqv./m<sup>3</sup> Produkt]

Nach Abbildung H macht die Bereitstellung der Rohstoffe etwa 39 % des Indikators für die Betrachtung von der Wiege bis zum Werkstor ohne Modul D aus. Mit etwa 26 % trägt der gesamte Stromverbrauch im Sägewerk und mit weiteren 13 % der Transport des Holzes zum Treibhausgaspotential bei.

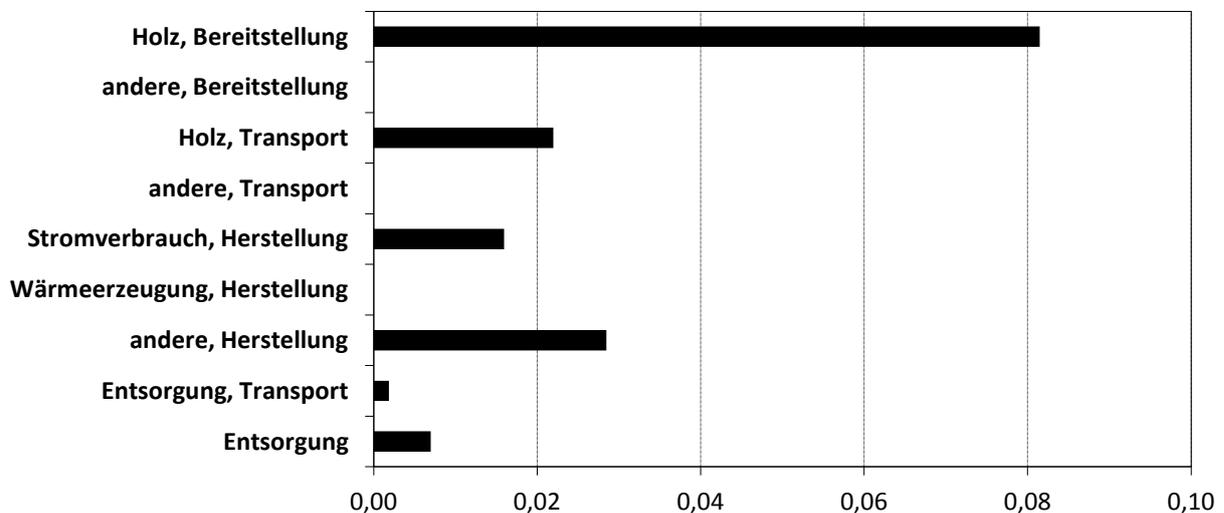
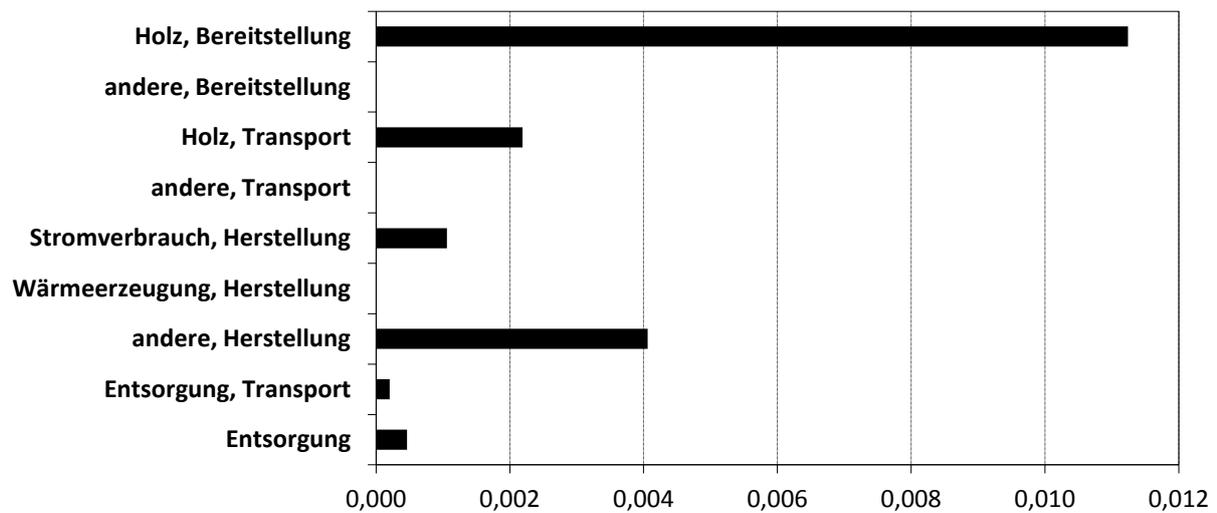


Abbildung 3.2.1.I: Versauerungspotential nach Modulen A1 bis A3, C2 und C3 (energetisch) [kg SO<sub>2</sub>-Äqv./m<sup>3</sup> Produkt]

Nach Abbildung 3.2.1.I spielt die Bereitstellung der Rohstoffe mit einem Anteil von 52 % am Indikator Versauerungspotential die größte Rolle. Daneben fallen 18 % auf die Verbrennung von Diesel im Sägewerk und weitere 14 % auf den Transport des Holzes.



**Abbildung 3.2.1.J: Ozonbildungspotential nach Modulen (ohne D) [kg Ethen-Äqv./m³ Produkt]**

Ausschlaggebend für das Ozonbildungspotential (POPC) ist mit 58 % die Bereitstellung der Rohstoffe (Verbrennung von Dieselkraftstoff) im Wald. Die Verbrennung von Dieselkraftstoffen für die Werkslogistik macht weitere 21 % aus. (Abbildung 3.2.1.J)

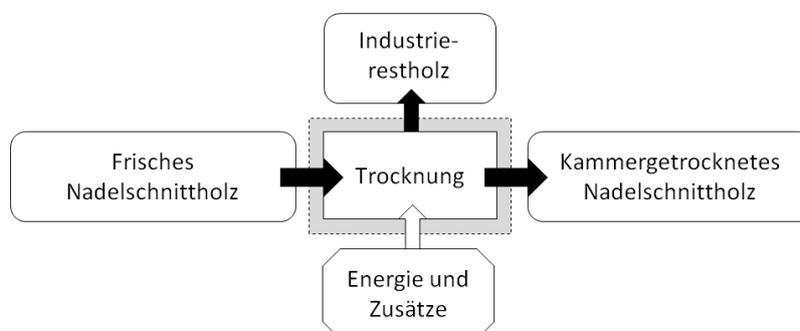
### 3.2.2 Kammergetrocknetes Nadelschnittholz

Kammergetrocknetes Nadelschnittholz ist eingeschnittenes Nadelholz in allen typischen Dimensionen als Balken, Bohle, Vierkantholz oder Latte. Kammergetrocknetes Nadelschnittholz wird technisch auf Endfeuchten von 8 % bis 20 % getrocknet, wobei die meisten Anwendungen Endfeuchten von etwa 12 % voraussetzen. Das betrachtete Produkt wird nicht mit Holzschutzmitteln oder ähnlichen Mitteln behandelt. Tabelle 3.2.2.A zeigt die Zusammensetzung der funktionalen Einheit (1 m<sup>3</sup> Produkt).

**Tabelle 3.2.2.A: Zusammensetzung der funktionalen Einheit am Werkstor**

Stoff	Am Werkstor	
	[kg/m <sup>3</sup> ]	Anteil [%]
Holz	432,59	89,284
<i>davon Kohlenstoff (50%)</i>	<i>216,30</i>	<i>44,642</i>
Wasser	51,91	10,714
<b>Gesamt</b>	<b>484,51</b>	

Zur Herstellung des Produktes wird frisches Nadelschnittholz in Paketen voll- oder halbautomatisch gebündelt und dann getrocknet. Dabei kommen bis auf sehr wenige Ausnahmen Trockenkammern mit der Arbeitsweise der Frischluft-Ablufttrocknung zur Anwendung. Das Prinzip besteht darin, das im Holz enthaltene Wasser langsam und kontrolliert über die umgebende Luft abzuführen. Dabei spielen die Zuführung von Wasser und Wärmeenergie in Form von erhitzter Luft eine zentrale Rolle. In Abhängigkeit von der Anfangsfeuchte und der gewünschten Endfeuchte des Holzes, sowie der Dimension der einzelnen Schnittholzelemente, kann die Trocknung mehrere Tage dauern. Die teilweise anzutreffenden Tunneltrockner arbeiten nach dem gleichen Prinzip, sind aber weitestgehend bei spezialisierten Schnittholzveredlern in Gebrauch, da die Technik eine gleichbleibende Produktdimensionierung voraussetzt. Anderer Trocknungstechniken sind für den heutigen Schnittholzmarkt nicht relevant und werden in dieser Studie nicht weiter betrachtet. Nach der Trocknung wird das Produkt für den Transport gestapelt und verpackt. Tabelle 3.2.2.B zeigt die verwendeten Verpackungsmaterialien je funktionaler Einheit (1 m<sup>3</sup> Produkt).



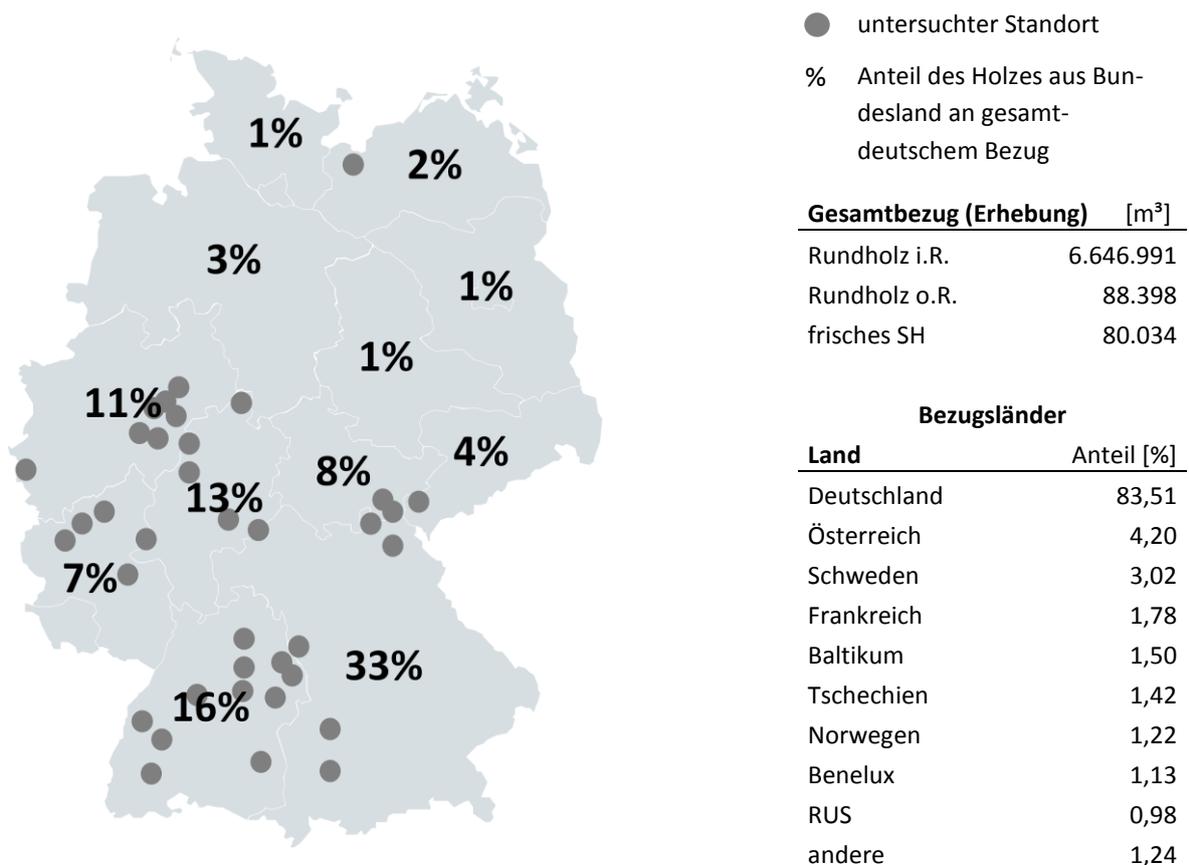
**Abbildung 3.2.2.A: Schematische Darstellung der Herstellung von kammergetrocknetem Nadelschnittholz**

Der veranschlagte Rohstoffpreis für 1 m<sup>3</sup> des Rohstoffmix aus Rundholz und frischem Schnittholz beträgt 50,58 € und das aus dem Produkt resultierende Altholz (Altholz AI) wird auf einen Wert von 11 € geschätzt (vgl. Tabelle 2-4). Somit ergibt sich bei der Berechnung des Szenarios der allgemeinen Verwertung nach ILCD eine Gutschrift in Höhe von 21,7 % der Aufwendungen der Bereitstellung der Holzrohstoffe.

**Tabelle 3.2.2.B: Verwendete Verpackungsmaterialien**

Verpackungsmaterial	[kg/m <sup>3</sup> ]
Metalle	0,341
Vollholz	1,760
PE Folie	0,312
Papier und Pappe	0,034

Durchschnittlich wurden die Holzrohstoffe über eine Distanz von 111 km transportiert. Der größte Anteil der bezogenen Rohstoffe ist Rundholz in Rinde. Etwa 83 % der bezogenen Holzrohstoffe stammen aus Deutschland. Der Bezug ist überwiegend regional und wird in Abbildung 3.2.1.B dargestellt.



**Abbildung 3.2.1.B: Rohholzherkunft für die Herstellung von kammergetrocknetem Nadelnschnittholz**

Tabelle 3.2.1.C bildet die Sachbilanz für kammergetrocknetes Nadelnschnittholz inklusive der bei der Produktion entstehenden Nebenprodukte ab. Die funktionale Einheit ist die Bereitstellung von 1 m<sup>3</sup> des Produktes am Werkstor. Die Sachbilanz erfolgt ohne Darstellung der Vorketten.

**Tabelle 3.2.2.C: Sachbilanz für die Herstellung von 1 m<sup>3</sup> kammergetrocknetem Nadelnschnittholz**

Fluss	Menge	Einheit
<b>INPUT</b>		
<b>Holzrohstoffe</b>		
Rundholz in Rinde	1,991	m <sup>3</sup>
Rundholz ohne Rinde	0,026	m <sup>3</sup>
Schnittholz, waldfrisch	0,024	m <sup>3</sup>
<b>Strom</b>	43,411	kWh
<b>Brennstoffe</b>		
Erdgas	0,034	MJ
Heizöl leicht	1,927	MJ
andere (auch Pflanzenöle)	3,454	MJ
Altholz	143,240	MJ
IRH Zukauf	47,855	MJ
IRH eigene Produktion	561,217	MJ
Rinde eigene Produktion	526,383	MJ
Rinde Zukauf	17,857	MJ
<b>Betriebsmittel</b>		
Diesel	1,293	kg
Maschinenöl	0,114	kg
Schneidstoffe	0,013	kg
Reinigungsmittel	0,001	kg
Reifen	0,034	kg
Trinkwasser	19,231	kg
Oberflächenwasser	32,041	kg
Motoröl	0,025	kg

<b>OUTPUT</b>		
<b>Produkte</b>		
Kammergetrocknetes Nadelnschnittholz	1,000	m <sup>3</sup>
Nebenprodukte	1,041	m <sup>3</sup>
<b>Emissionen aus</b>		
Verbrennung Brennstoffe	siehe Hintergrunddaten	
Verbrennung Diesel in Kraftprozess		
<b>Sonstiges</b>		
Abfälle	0,187	kg
Asche	siehe Hintergrunddaten	
Abwasser /teilweise als Emission in Luft	51,272	kg

Tabelle 3.2.2.D: Zusammenfassung aller Wirkungsindikatoren, Ressourceneinsätze und Outputflüsse

Parameter	Einheit	Bereitstellung der Rohstoffe (A1)	Transport (A2)	Herstellungsprozess (A3)	Summe cradle to gate (A1 - A3)	maximale Abweichung +%/-%	Transport zum Entsorger (C2)	Abfallwirtschaft (C3)	energetische Verwertung (D)	stoffliche Verwertung (D)	Verrechnung von A1 nach ILCD
<b>Ergebnisse Umweltauswirkung</b>											
GWP	[kg CO <sub>2</sub> -Äqv.]	-7,78E+02	5,34E+00	3,75E+01	<b>-7,35E+02</b>	+82/-35	4,34E-01	7,97E+02	-3,60E+02	-1,23E+01	-5,44E+00
ODP	[kg CFC11-Äqv.]	4,93E-07	2,17E-08	6,44E-06	<b>6,96E-06</b>	+141/-87	8,67E-10	1,19E-06	-8,22E-05	-1,03E-06	-4,95E-07
AP	[kg SO <sub>2</sub> -Äqv.]	8,21E-02	2,37E-02	2,69E-01	<b>3,75E-01</b>	+279/-47	1,86E-03	6,98E-03	-3,71E-01	-5,15E-02	-2,22E-02
EP	[kg PO <sub>43</sub> -Äqv.]	1,83E-02	5,42E-03	5,49E-02	<b>7,86E-02</b>	+297/-50	4,32E-04	5,89E-04	-3,73E-03	-1,05E-02	-4,30E-03
POCP	[kg Ethen-Äqv.]	1,13E-02	2,37E-03	8,28E-02	<b>9,65E-02</b>	+136/-23	2,02E-04	4,64E-04	-2,50E-02	-6,44E-03	-2,92E-03
ADPE	[kg Sb-Äqv.]	8,01E-06	1,77E-07	1,12E-03	<b>1,13E-03</b>	+143/-97	9,16E-09	1,23E-07	-2,81E-05	-2,23E-05	-2,37E-05
ADPF	[MJ]	1,92E+02	7,42E+01	4,03E+02	<b>6,69E+02</b>	+78/-36	6,12E+00	4,62E+01	-4,06E+03	-1,77E+02	-9,02E+01
<b>Ergebnisse Ressourceneinsatz</b>											
PERE	[MJ]	3,10E+00	1,30E-01	1,75E+03	<b>1,76E+03</b>		8,11E-03	4,70E+00	-3,30E+02	-8,34E+03	-6,74E-01
PERM	[MJ]	8,34E+03	0,00E+00	3,36E+01	<b>8,37E+03</b>		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	-1,81E+03
PERT	[MJ]	8,34E+03	1,30E-01	1,79E+03	<b>1,01E+04</b>		8,11E-03	4,70E+00	-3,30E+02	-8,34E+03	-1,81E+03
PENRE	[MJ]	2,09E+02	7,50E+01	6,22E+02	<b>9,06E+02</b>		6,16E+00	8,78E+01	-7,01E+03	-3,36E+02	-4,55E+01
PENRM	[MJ]	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	<b>0,00E+00</b>		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
PENRT	[MJ]	2,09E+02	7,50E+01	6,22E+02	<b>9,06E+02</b>		6,16E+00	8,78E+01	-7,01E+03	-3,36E+02	-4,55E+01
SM	[kg]	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	<b>0,00E+00</b>		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	2,18E+02	0,00E+00
RSF	[MJ]	0,00E+00	0,00E+00	1,51E+02	<b>1,51E+02</b>		0,00E+00	0,00E+00	4,20E+03	0,00E+00	0,00E+00
NRSF	[MJ]	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	<b>0,00E+00</b>		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
FW	[m <sup>3</sup> ]	5,17E+02	1,87E+00	4,01E+02	<b>9,20E+02</b>		1,15E-01	4,99E+01	3,36E+03	-2,24E+02	-9,46E+01
<b>Ergebnisse Outputflüsse und Abfallkategorien</b>											
HWD	[kg]	5,18E-04	0,00E+00	2,57E-02	<b>2,62E-02</b>		0,00E+00	0,00E+00	1,48E+00	1,44E-02	1,43E-02
NHWD	[kg]	3,38E-04	0,00E+00	2,49E-02	<b>2,52E-02</b>		0,00E+00	0,00E+00	2,27E-02	2,26E-02	2,25E-02
RWD	[kg]	6,13E-03	2,71E-04	7,81E-02	<b>8,45E-02</b>		1,08E-05	1,49E-02	-1,03E+00	-8,08E-03	-1,33E-03
CRU	[kg]	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	<b>0,00E+00</b>		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
MFR	[kg]	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	<b>0,00E+00</b>		0,00E+00	4,84E+02	0,00E+00	-4,84E+02	0,00E+00
MER	[kg]	0,00E+00	0,00E+00	1,75E+00	<b>1,75E+00</b>		0,00E+00	4,84E+02	-4,86E+02	-1,75E+00	0,00E+00
EE1	[MJ]	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	<b>0,00E+00</b>		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
EE2	[MJ]	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	<b>0,00E+00</b>		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00

Alle nicht genannten Module fallen unter den Bereich „MND“ (= „Modul nicht deklariert“). <sup>1</sup> Strom & <sup>2</sup> Wärme

**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 (Institute of Environmental Sciences Faculty of Science Universität Leiden, Niederlande) verwendet. Der Charakterisierungsfaktor für den Verbrauch von abiotischen Ressourcen (fossile Stoffe) ist der jeweilige unterer Heizwert am Extraktionspunkt des fossilen Brennstoffs. Langzeitemissionen (> 100 Jahre) werden in der Wirkungsabschätzung nicht berücksichtigt.

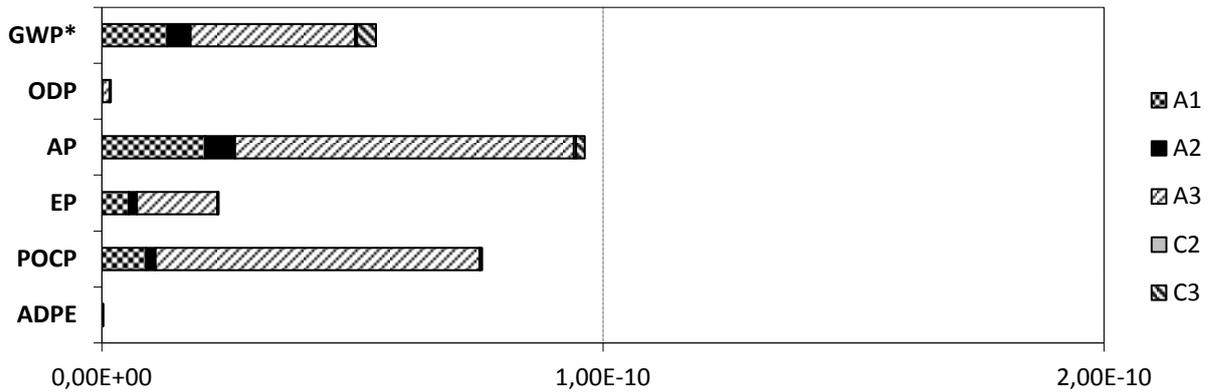


Abbildung 3.2.2.C: Wirkungspotentiale normiert nach deutschen Gesamtemissionen (ohne Modul D) für die Module A1 bis A3, C2 und C3 (energetisch) [%/100 der deutschen Gesamtemissionen]

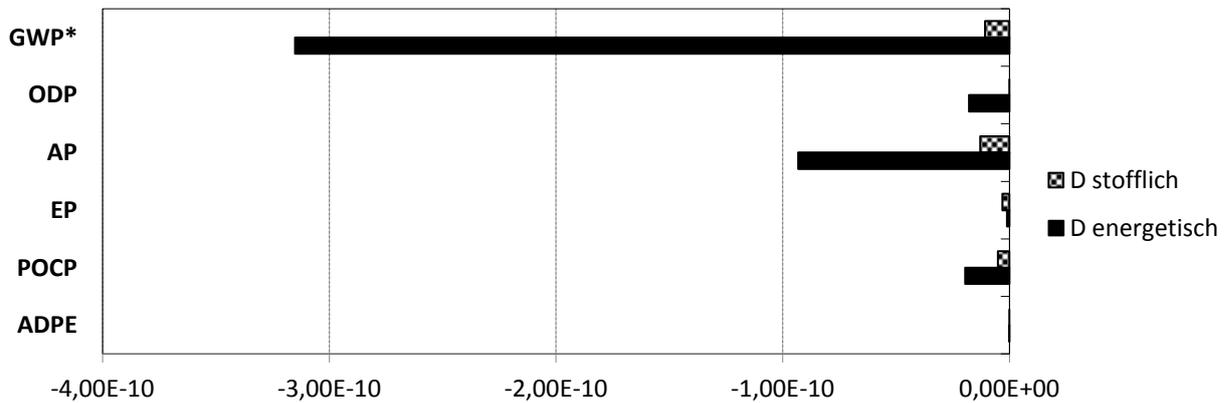


Abbildung 3.2.2.D: Wirkungspotentiale normiert nach deutschen Gesamtemissionen für die Szenarien im Modul D (stofflich und energetisch) [%/100 der deutschen Gesamtemissionen]

Tabelle 3.2.2.E: Haupteinflussfaktoren auf die Ergebnisse der drei relevantesten Wirkungsindikatoren (nach Normierung) [kg/m<sup>3</sup>]

Nr.	Indikator	Σ (A1 bis A3)	Haupteinflussfaktoren
1	<b>AP</b> Versauerungspotential [SO <sub>2</sub> -Äqv.]	0,375	49,7% - Wärmeproduktion ; 20,9% - Rundholzvorkette ; 11,3% - Werkslogistik ; 6,1% - Transport Rundholz ; 5% - Strom Trocknung Prozess ; 2,6% - Strom Einschnitt Prozess ; Rest 4,4%
2	<b>POCP</b> Ozonbildungspotential [Ethen-Äqv.]	0,096	51,4% - Prozess Trocknung ; 25% - Wärmeproduktion ; 11,2% - Rundholzvorkette ; 5,8% - Werkslogistik ; 2,4% - Transport Rundholz ; 1,3% - Strom Trocknung Prozess ; Rest 2,9%
3	<b>GWP</b> Treibhausgaspotential – fossil [CO <sub>2</sub> -Äqv.]	57,756	24,5% - Rundholzvorkette ; 20% - Strom Trocknung Prozess ; 14% - Wärmeproduktion ; 10,6% - Strom Einschnitt Prozess ; 9% - Transport Rundholz ; 8,1% - Werkslogistik ; Rest 13,8%

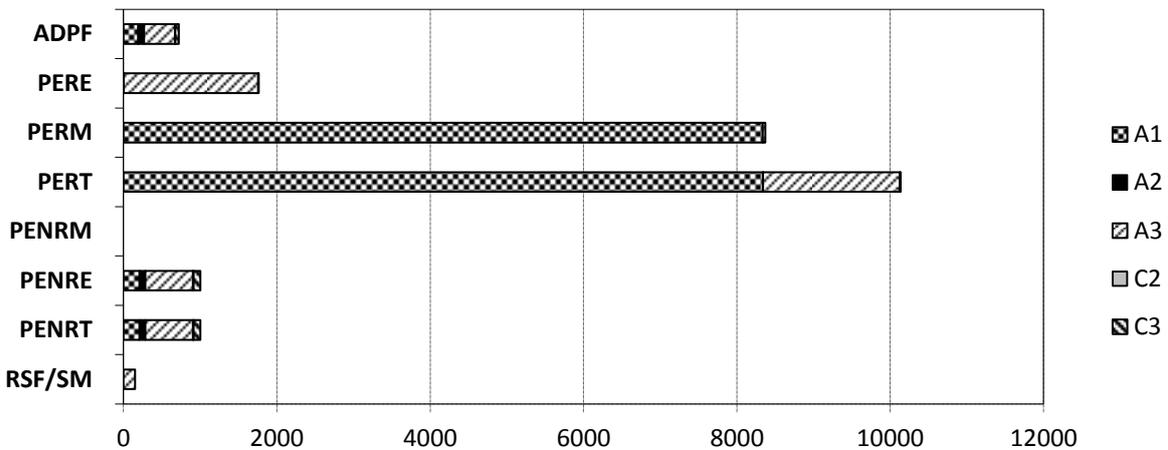


Abbildung 3.2.2.E: Einsatz von Ressourcen in den Modulen A1 bis A3, C2 und C3 (energetisch) [MJ/m³]

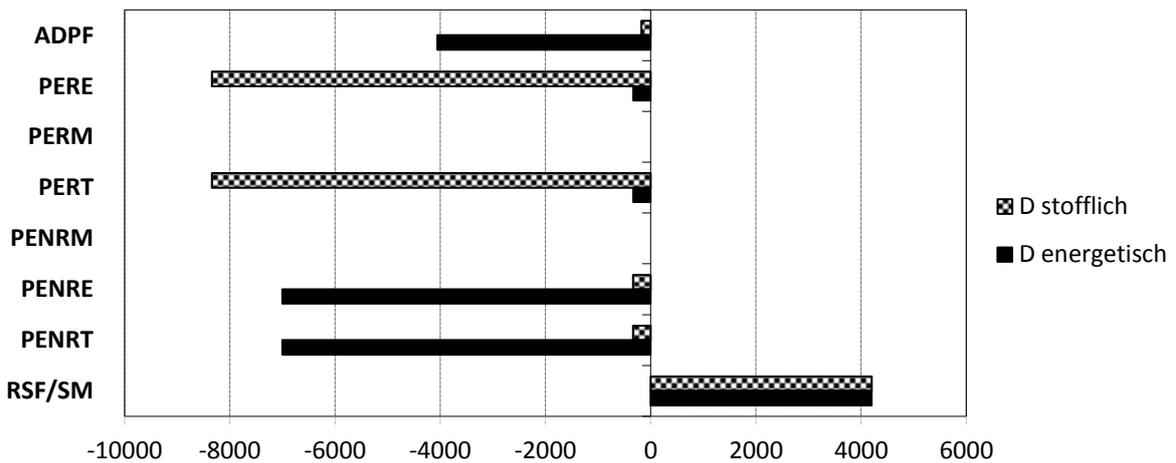


Abbildung 3.2.2.F: Gut- und Lastschriften für Ressourcen in Modul D stofflich und D energetisch [MJ/m³]

Tabelle 3.2.2.F: Hauptsächliche Verwendung der eingesetzten Primärenergie und der Ressourcen [MJ/m³]

Primärenergietyp	Σ (A1 bis A3)	Hauptsächliche Verwendung
<b>PERE</b> <i>Erneuerbare Primärenergie als Energieträger [MJ]</i>	1757	Verbrennung der Reststoffe zur Erzeugung von Trocknungswärme
<b>PENRE</b> <i>Nicht-erneuerbare Primärenergie als Energieträger [MJ]</i>	906	25,8% - Strom Trocknung Prozess ; 21,7% - Rundholzvorkette ; 13,7% - Strom Einschnitt Prozess ; 9% - Wärmeproduktion ; 8% - Transport Rundholz ; 7,2% - Werkslogistik ; Rest 14,6%
<b>RSF</b> <i>Erneuerbare Sekundärbrennstoffe [MJ]</i>	151	Verbrennung von Altholz zur Erzeugung von Trocknungswärme

Tabelle 3.2.2.G: Relation des Einsatzes ausgewählter Primärenergietypen zueinander

Primärenergietyp	Relation	Primärenergietyp
<b>PERE</b> Erneuerbare Primärenergie als Energieträger [MJ]	1 : 4,76	<b>PERM</b> Erneuerbare Primärenergie zur stofflichen Nutzung [MJ]
<b>PENRE</b> Nicht-erneuerbare Primärenergie als Energieträger [MJ]	1 : 9,24	<b>PERM</b> Erneuerbare Primärenergie zur stofflichen Nutzung [MJ]
<b>PERE</b> Erneuerbare Primärenergie als Energieträger [MJ]	1 : 0,52	<b>PENRE</b> Nicht-erneuerbare Primärenergie als Energieträger [MJ]

Von der insgesamt eingesetzten Masse an Holz ohne Nebenprodukte werden bis zum Werkstor etwa 17 % zur Erzeugung von Wärme verbrannt. Der Anteil an eingesetzter fossiler Energie entspricht etwa 1/9 des Energieinhalts des Produktes. Es wird etwa doppelt so viel Energie aus erneuerbaren Quellen im Vergleich zu Energie aus fossilen Quellen eingesetzt (s. Tabelle 3.2.2.G).

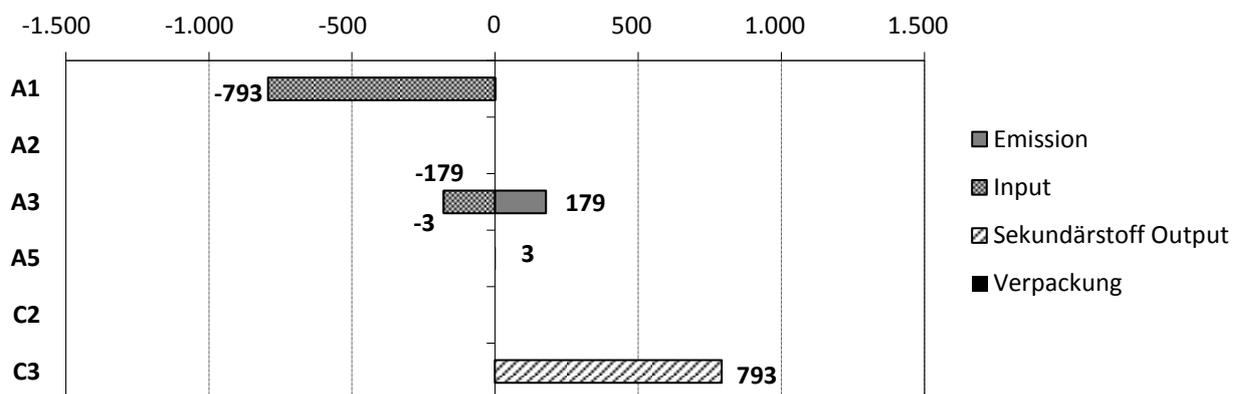
Abbildung 3.2.2.G: Bilanz der Kohlenstoffflüsse in der Holzbiomasse [kg CO<sub>2</sub>]

Abbildung 3.2.2.G zeigt, dass mit dem Rohstoff Holz insgesamt etwa 975 kg CO<sub>2</sub> in das System eingehen. Davon werden im Rahmen der Herstellung des Produktes 179 kg CO<sub>2</sub> bei der Wärmeerzeugung mit Holz wieder emittiert. 3 kg CO<sub>2</sub> werden über die Verpackung dem System zugeführt und im Rahmen ihrer Entsorgung wieder emittiert. Die im Produkt gespeicherte Menge an Kohlenstoff wird während der Entsorgung in Modul C3 entweder als Emission in Höhe von 793 kg CO<sub>2</sub> oder bei einer stofflichen Wiederverwertung in Form von Altholz dem System entzogen.

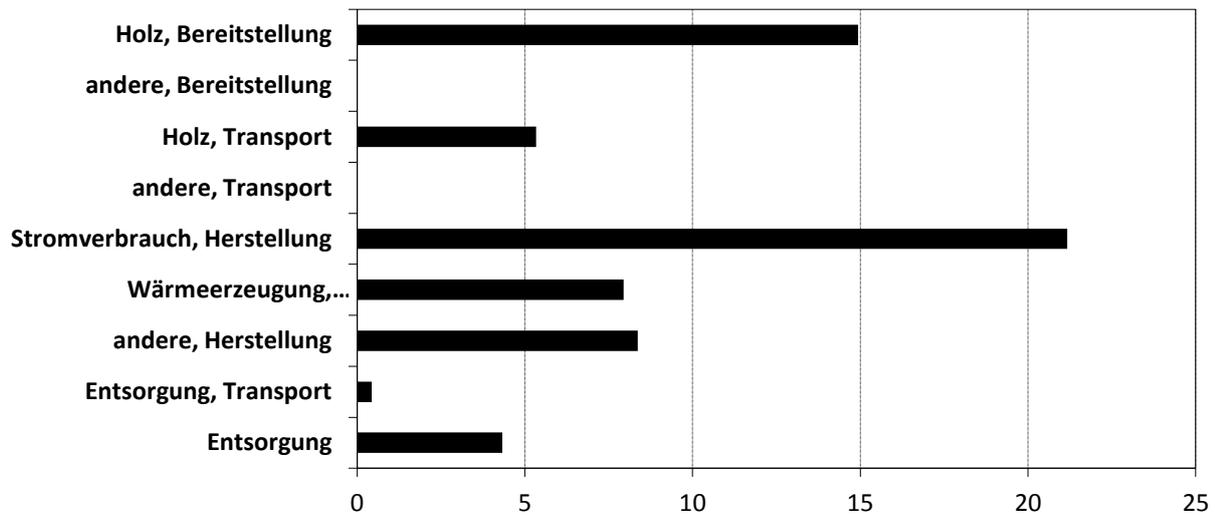


Abbildung 3.2.2.H: Treibhausgasemissionen aus fossilen Quellen nach Modulen A1 bis A3, C2 und C3 (energetisch) [kg CO<sub>2</sub>-Äqv./m<sup>3</sup> Produkt]

Maßgeblich sind die Treibhausgasemissionen durch den Stromverbrauch im Werk, die insgesamt einen Beitrag von 34 % zum Indikator GWP leisten. Daneben sind die Bereitstellung der Holzrohstoffe (24 %) sowie die Erzeugung von Wärme und die Verbrennung von Diesel für die Werkslogistik (jeweils 13 %) entscheidend.

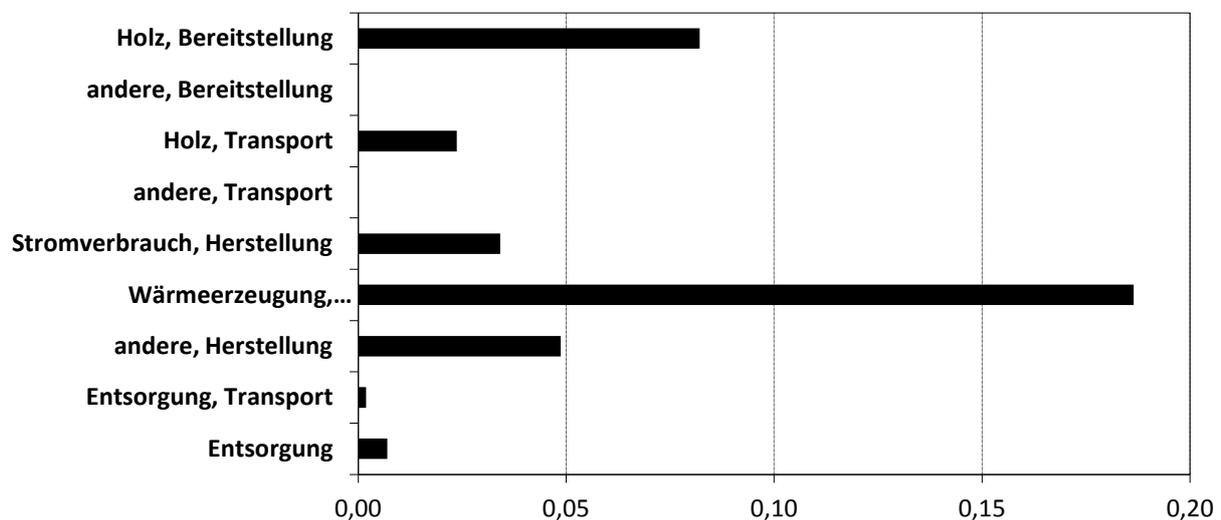


Abbildung 3.2.2.I: Versauerungspotential nach Modulen A1 bis A3, C2 und C3 (energetisch) [kg SO<sub>2</sub>-Äqv./m<sup>3</sup> Produkt]

Die Ergebnisse für die Berechnung des Versauerungspotentials zeigen, dass hauptsächlich die Wärmeerzeugung vor Ort (49 %) sowie die Bereitstellung der Rohstoffe (21 %) eine wichtige Rolle spielen (Abbildung 3.2.2.I).

Haupttreiber für das Ozonbildungspotential (POPC) ist der Trocknungsprozess in den Trockenkammern (58 %). Daneben tragen vor allem die Emissionen der Wärmeerzeugung vor Ort (25 %) und der Bereitstellung der Rohstoffe (12 %) zu dem Indikator bei.

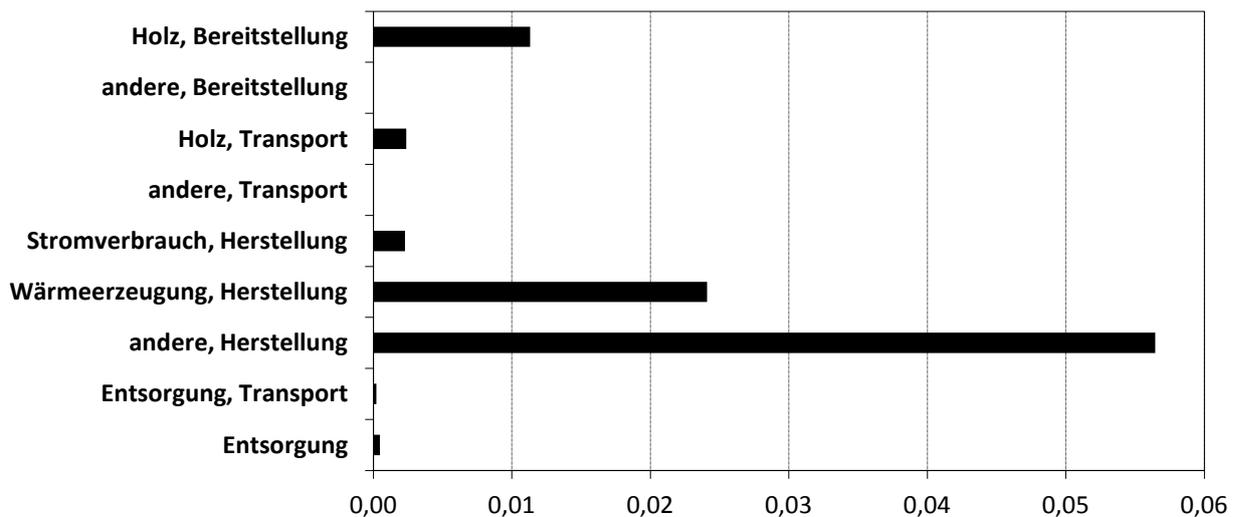


Abbildung 3.2.2.J: Ozonbildungspotential nach Modulen A1 bis A3, C2 und C3 (energetisch) [kg Ethen-Äqv./m<sup>3</sup> Produkt]

### 3.2.3 Kammergetrocknetes Laubschnittholz

Kammergetrocknetes Laubschnittholz ist eingeschnittenes Laubholz in allen typischen Dimensionen als Balken, Bohle, Vierkantholz oder Latte. Kammergetrocknetes Laubschnittholz wird technisch auf Endfeuchten von 8 bis 20 % getrocknet, wobei die meisten Anwendungen Endfeuchten von etwa 12 % voraussetzen. Das betrachtete Produkt wird nicht mit Holzschutzmitteln oder ähnlichen Mitteln behandelt. Tabelle 3.2.3.A zeigt die Zusammensetzung der funktionalen Einheit (1 m<sup>3</sup> Produkt).

Tabelle 3.2.3.A: Zusammensetzung der funktionalen Einheit am Werkstor

Stoff	Am Werkstor	
	[kg/m <sup>3</sup> ]	Anteil [%]
Holz	680,00	89,286
<i>davon Kohlenstoff (50%)</i>	<i>340,00</i>	<i>44,643</i>
Wasser	81,60	10,714
<b>Gesamt</b>	<b>761,60</b>	

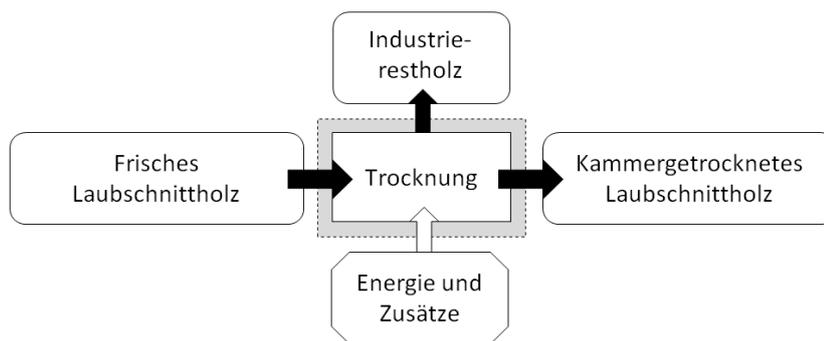


Abbildung 3.2.3.A: Schematische Darstellung der Herstellung

Zur Herstellung von kammergetrocknetem Laubschnittholz wird frisches Laubschnittholz genutzt. Die Herstellung erfolgt analog der Herstellung von getrocknetem Nadel-schnittholz. Es wird zunächst in Paketen voll- oder halbautomatisch gebündelt und dann getrocknet. Dabei kommen bis auf sehr wenige Ausnahmen Trockenkammern mit der Arbeitsweise der Frischluft-Ablufttrocknung zur Anwendung. Das Prinzip besteht darin, das im Holz enthaltene Wasser langsam über die umgebende Luft abzuführen, indem die Fähigkeit der Luft, zusätzliches Wasser aufzunehmen über einen Regelkreis gesteuert wird. Dabei spielen die Zuführung von Wasser und Wärmeenergie in Form von erhitzter Luft eine zentrale Rolle. In Abhängigkeit von der Anfangsfeuchte und der gewünschten Endfeuchte des Holzes, sowie der Dimension der einzelnen Schnittholzelemente, kann die Trocknung mehrere Tage dauern. Andere Trocknungstechniken sind für den heutigen Laubschnittholzmarkt nicht relevant und werden in dieser Studie nicht weiter betrachtet. Nach der Trocknung wird das Produkt für den Transport gesta-

pelt und verpackt. Tabelle 3.2.3.B zeigt die verwendeten Verpackungsmaterialien je funktionaler Einheit (1 m<sup>3</sup> Produkt).

**Tabelle 3.2.3.B: Verwendete Verpackungsmaterialien**

Verpackungsmaterial	[kg/m <sup>3</sup> ]
Metalle	0,997
Vollholz	3,125
PE Folie	0,126
anderen Kunststoffe	0,042

Der Rohstoffpreis für 1 m<sup>3</sup> des verwendeten Rundholzes beträgt 50 € und für das aus dem Produkt resultierende Altholz (Altholz AI) wurde ein Wert von 11 € ermittelt (vgl. Tabelle 2-4). Somit ergibt sich bei der Berechnung des Szenarios der allgemeinen Verwertung nach ILCD eine Gutschrift in Höhe von 22 % der Aufwendungen der Bereitstellung der Holzrohstoffe.

Durchschnittlich wurde das Rohholz über eine Distanz von 97 km transportiert. Detaillierte Angaben zur Herkunft der Laubrundhölzer waren jedoch nicht verfügbar. Die Anlieferung erfolgt zum größten Teil in Rinde.

Tabelle 3.2.1.C bildet die Sachbilanz für kammergetrocknetes Laubschnittholz inklusive der bei der Produktion entstehenden Nebenprodukte ab. Die funktionale Einheit ist die Bereitstellung von 1 m<sup>3</sup> des Produktes am Werkstor. Die Sachbilanz erfolgt ohne Darstellung der Vorketten.

**Tabelle 3.2.3.C: Sachbilanz für die Herstellung von kammergetrocknetem Laubschnittholz**

Fluss	Menge	Einheit
<b>INPUT</b>		
<b>Holzrohstoffe</b>		
Rundholz in Rinde	2,060	m <sup>3</sup>
<b>Strom</b>	118,762	kWh
<b>Brennstoffe</b>		
IRH Zukauf	497,167	MJ
IRH eigene Produktion	1047,580	MJ
Rinde eigene Produktion	853,111	MJ
<b>Betriebsmittel</b>		
Diesel	1,571	kg
Maschinenöl	0,171	kg
Schneidstoffe	0,045	kg
Reinigungsmittel	0,002	kg
Reifen	0,178	kg
Trinkwasser	13,599	kg
Oberflächenwasser	19,851	kg
Motoröl	0,041	kg

<b>OUTPUT</b>		
<b>Produkte</b>		
Kammergetrocknetes Laubschnittholz	1,000	m <sup>3</sup>
Nebenprodukte (Späne und Hackschnitzel)	1,060	m <sup>3</sup>
<b>Emissionen aus</b>		
Verbrennung Brennstoffe	siehe Hintergrunddaten	
Verbrennung Diesel in Kraftprozess		
<b>Sonstiges</b>		
Abfälle	0,436	kg
Asche	siehe Hintergrunddaten	
Abwasser /teilweise als Emission in Luft	33,45	kg

Tabelle 3.2.3.D: Zusammenfassung aller Wirkungsindikatoren, Ressourceneinsätze und Outputflüsse

Parameter	Einheit	Bereitstellung der Rohstoffe (A1)	Transport (A2)	Herstellungsprozess (A3)	Summe cradle to gate (A1 - A3)	maximale Abweichung +%/-%	Transport zum Entsorger (C2)	Abfallwirtschaft (C3)	energetische Verwertung (D)	stoffliche Verwertung (D)	Verrechnung von A1 nach ILCD
<b>Ergebnisse Umweltauswirkung</b>											
GWP	[kg CO2-Äqv.]	-1,23E+03	7,32E+00	1,07E+02	<b>-1,12E+03</b>	+2/-8	6,82E-01	1,25E+03	-5,79E+02	-2,10E+01	-7,91E+00
ODP	[kg CFC11-Äqv.]	4,13E-07	1,29E-08	1,89E-05	<b>1,93E-05</b>	+10/-23	1,36E-09	1,19E-06	-1,32E-04	-1,62E-06	-6,95E-07
AP	[kg SO2-Äqv.]	6,74E-02	3,29E-02	1,06E+00	<b>1,17E+00</b>	+46/-31	2,93E-03	6,98E-03	-5,96E-01	-8,25E-02	-2,32E-02
EP	[kg PO43--Äqv.]	1,50E-02	7,55E-03	2,23E-01	<b>2,45E-01</b>	+51/-33	6,79E-04	5,89E-04	-6,08E-03	-1,67E-02	-3,90E-03
POCP	[kg Ethen-Äqv.]	1,40E-02	3,26E-03	1,76E-01	<b>1,93E-01</b>	+33/-22	3,17E-04	4,64E-04	-4,03E-02	-1,04E-02	-4,05E-03
ADPE	[kg Sb-Äqv.]	4,28E-07	2,47E-07	3,32E-03	<b>3,32E-03</b>	+37/-63	1,44E-08	1,23E-07	-7,44E-05	-6,51E-05	-6,47E-05
ADPF	[MJ]	1,62E+02	1,02E+02	1,06E+03	<b>1,32E+03</b>	+5/-6	9,63E+00	4,62E+01	-6,49E+03	-2,76E+02	-1,10E+02
<b>Ergebnisse Ressourceneinsatz</b>											
PERE	[MJ]	2,03E+00	1,11E-01	9,35E+03	<b>9,35E+03</b>		1,28E-02	4,70E+00	-5,19E+02	-1,31E+04	-4,47E-01
PERM	[MJ]	1,31E+04	0,00E+00	6,02E+01	<b>1,32E+04</b>		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	-2,88E+03
PERT	[MJ]	1,31E+04	1,11E-01	9,41E+03	<b>2,25E+04</b>		1,28E-02	4,70E+00	-5,19E+02	-1,31E+04	-2,88E+03
PENRE	[MJ]	1,77E+02	1,02E+02	1,71E+03	<b>1,99E+03</b>		9,68E+00	8,78E+01	-1,10E+04	-5,28E+02	-3,88E+01
PENRM	[MJ]	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	<b>0,00E+00</b>		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
PENRT	[MJ]	1,77E+02	1,02E+02	1,71E+03	<b>1,99E+03</b>		9,68E+00	8,78E+01	-1,10E+04	-5,28E+02	-3,88E+01
SM	[kg]	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	<b>0,00E+00</b>		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	3,43E+02	0,00E+00
RSF	[MJ]	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	<b>0,00E+00</b>		0,00E+00	0,00E+00	6,61E+03	0,00E+00	0,00E+00
NRSF	[MJ]	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	<b>0,00E+00</b>		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
FW	[m³]	7,62E+02	1,88E+00	1,35E+03	<b>2,11E+03</b>		1,81E-01	4,99E+01	5,37E+03	-3,53E+02	-1,40E+02
<b>Ergebnisse Outputflüsse und Abfallkategorien</b>											
HWD	[kg]	1,06E-06	0,00E+00	5,41E-02	<b>5,41E-02</b>		0,00E+00	0,00E+00	2,36E+00	2,06E-02	2,06E-02
NHWD	[kg]	1,11E-05	0,00E+00	7,09E-02	<b>7,09E-02</b>		0,00E+00	0,00E+00	6,68E-02	6,68E-02	6,68E-02
RWD	[kg]	5,18E-03	1,61E-04	2,32E-01	<b>2,37E-01</b>		1,70E-05	1,49E-02	-1,64E+00	-1,27E-02	-1,14E-03
CRU	[kg]	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	<b>0,00E+00</b>		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
MFR	[kg]	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	<b>0,00E+00</b>		0,00E+00	7,62E+02	0,00E+00	-7,62E+02	0,00E+00
MER	[kg]	0,00E+00	0,00E+00	3,13E+00	<b>3,13E+00</b>		0,00E+00	7,62E+02	-7,65E+02	-3,13E+00	0,00E+00
EE1	[MJ]	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	<b>0,00E+00</b>		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
EE2	[MJ]	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	<b>0,00E+00</b>		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00

Alle nicht genannten Module fallen unter den Bereich „MND“ (= „Modul nicht deklariert“). <sup>1</sup> Strom & <sup>2</sup> Wärme

**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 (Institute of Environmental Sciences Faculty of Science Universität Leiden, Niederlande) verwendet. Der Charakterisierungsfaktor für den Verbrauch von abiotischen Ressourcen (fossile Stoffe) ist der jeweilige unterer Heizwert am Extraktionspunkt des fossilen Brennstoffs. Langzeitemissionen (> 100 Jahre) werden in der Wirkungsabschätzung nicht berücksichtigt.

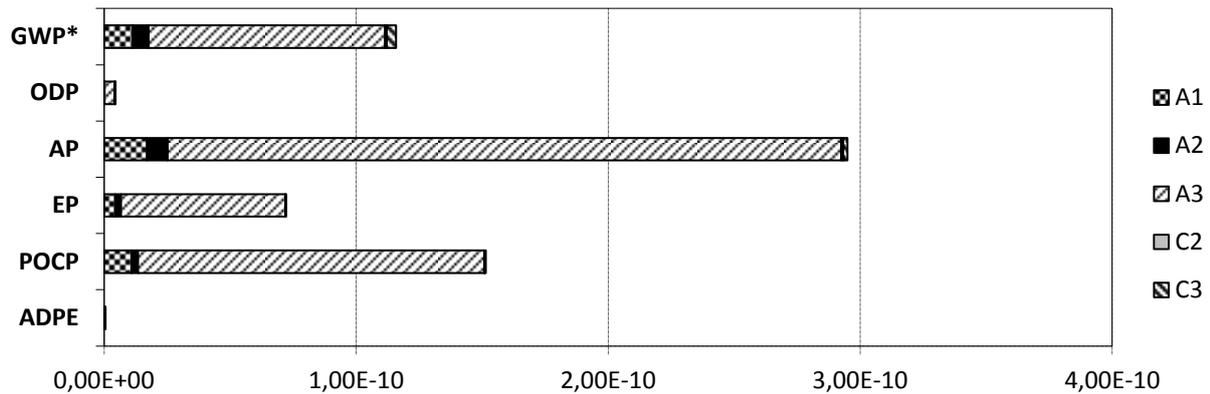


Abbildung 3.2.3.C: Wirkungspotentiale normiert nach deutschen Gesamtemissionen (ohne Modul D) für die Module A1 bis A3, C2 und C3 (energetisch) [%/100 der deutschen Gesamtemissionen]

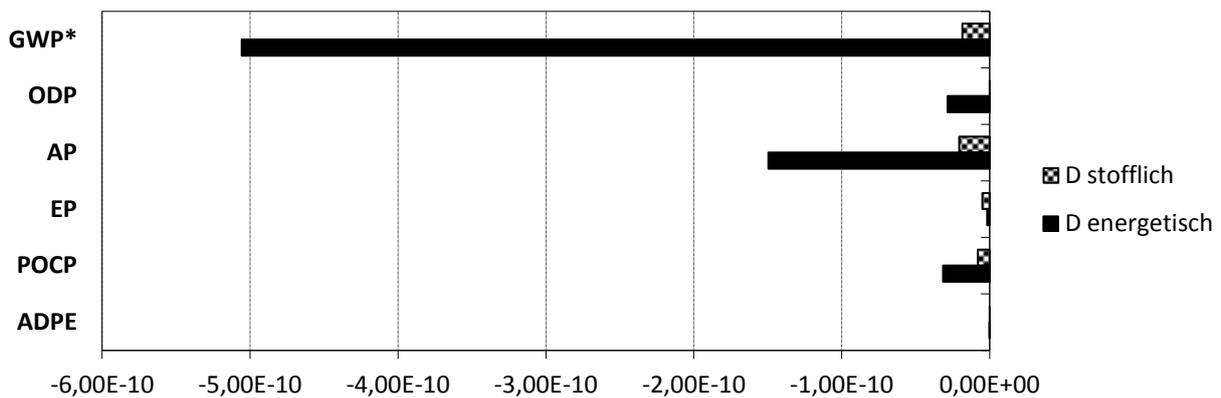


Abbildung 3.2.3.D: Wirkungspotentiale normiert nach deutschen Gesamtemissionen für die Szenarien im Modul D (stofflich und energetisch) [%/100 der deutschen Gesamtemissionen]

Tabelle 3.2.3.E: Haupteinflussfaktoren auf die Ergebnisse der drei relevantesten Wirkungsindikatoren (nach Normierung) [kg/m³]

Nr.	Indikator	Σ (A1 bis A3)	Haupteinflussfaktoren
1	<b>AP</b> Versauerungspotential [SO <sub>2</sub> -Äqv.]	1,165	78,4% - Wärmeproduktion ; 5,8% - Rundholzvorkette ; 4,4% - Werkslogistik ; 3,7% - Strom Trocknung Prozess ; 2,8% - Transport Rundholz ; 2,7% - Strom Einschnitt Prozess ; Rest 2,2%
2	<b>POCP</b> Ozonbildungspotential [Ethen-Äqv.]	0,193	57,8% - Wärmeproduktion ; 25,7% - Prozess Trocknung ; 7,2% - Rundholzvorkette ; 3,5% - Werkslogistik ; 1,7% - Transport Rundholz ; 1,5% - Strom Trocknung Prozess ; Rest 2,6%
3	<b>GWP</b> Treibhausgaspotential – fossil [CO <sub>2</sub> -Äqv.]	127,457	32,4% - Wärmeproduktion ; 20,9% - Strom Trocknung Prozess ; 15,4% - Strom Einschnitt Prozess ; 10% - Rundholzvorkette ; 5,7% - Transport Rundholz ; 4,5% - Werkslogistik ; Rest 11,1%

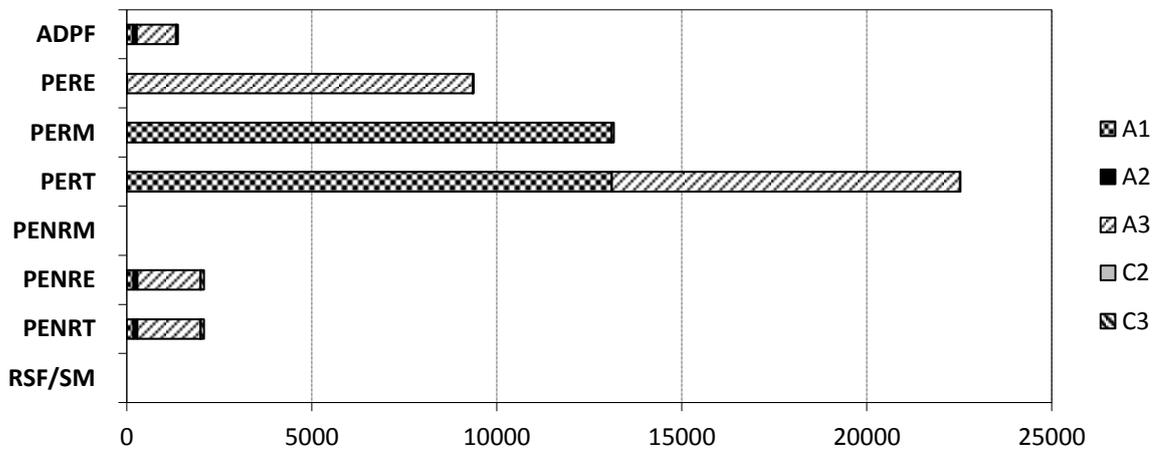


Abbildung 3.2.3.E: Einsatz von Ressourcen in den Modulen A1 bis A3, C2 und C3 (energetisch) [MJ/m³]

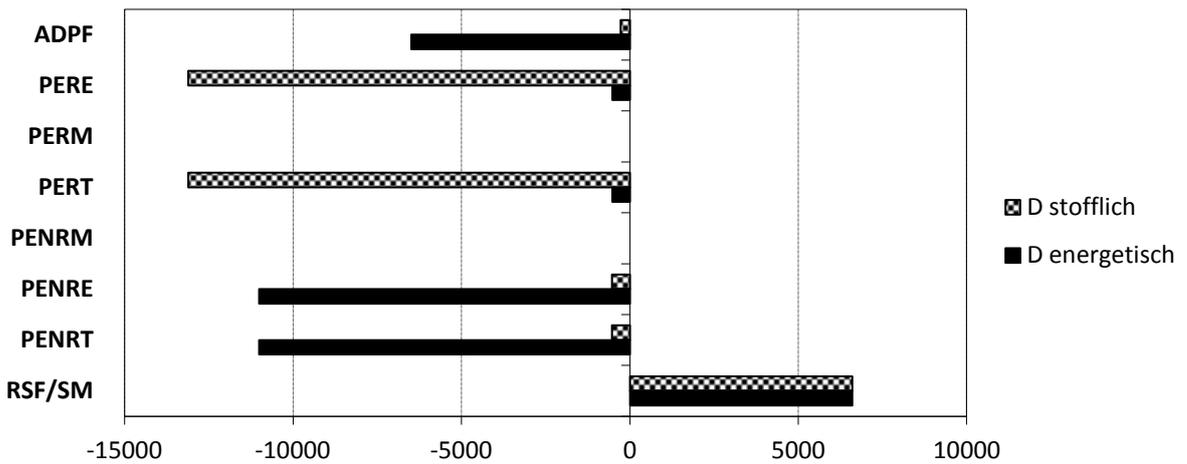


Abbildung 3.2.3.F: Gut- und Lastschriften für Ressourcen in Modul D stofflich und D energetisch [MJ/m³]

Tabelle 3.2.3.F: Hauptsächlichste Verwendung der eingesetzten Primärenergie und der Ressourcen [MJ/m³]

Primärenergietyp	Σ (A1 bis A3)	Hauptsächlichste Verwendung
<b>PERE</b> Erneuerbare Primärenergie als Energieträger [MJ]	9351	Die eingesetzten Brennstoffe werden zur Erzeugung der Trocknungswärme genutzt.
<b>PENRE</b> Nicht-erneuerbare Primärenergie als Energieträger [MJ]	1990	28,5% - Strom Trocknung Prozess ; 23,9% - Wärmeproduktion ; 20,9% - Strom Einschnitt Prozess ; 9,3% - Rundholzvorkette ; 5,4% - Transport Rundholz ; 4,2% - Werkslogistik ; Rest 7,7%
<b>RSF</b> Erneuerbare Sekundärbrennstoffe [MJ]	0	Es wird kein Altholz als Energieträger eingesetzt.

Tabelle 3.2.3.G: Relation des Einsatzes ausgewählter Primärenergietypen zueinander

Primärenergietyp	Relation	Primärenergietyp
<b>PERE</b> Erneuerbare Primärenergie als Energieträger [MJ]	1 : 1,41	<b>PERM</b> Erneuerbare Primärenergie zur stofflichen Nutzung [MJ]
<b>PENRE</b> Nicht-erneuerbare Primärenergie als Energieträger [MJ]	1 : 6,62	<b>PERM</b> Erneuerbare Primärenergie zur stofflichen Nutzung [MJ]
<b>PERE</b> Erneuerbare Primärenergie als Energieträger [MJ]	1 : 0,21	<b>PENRE</b> Nicht-erneuerbare Primärenergie als Energieträger [MJ]

Von der insgesamt eingesetzten Masse an Holz ohne Nebenprodukte werden bis zum Werkstor etwa 41 % zur Erzeugung von Wärme verbrannt. Der Anteil an eingesetzter fossiler Energie entspricht etwa 2/13 des Energieinhalts des Produktes. Es wird etwa fünfmal so viel Energie aus erneuerbaren Quellen im Vergleich zu Energie aus fossilen Quellen eingesetzt.

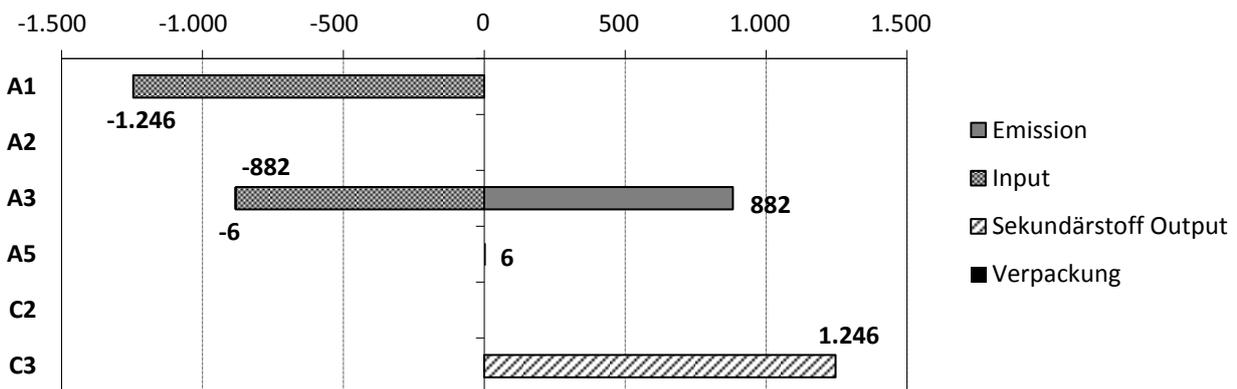


Abbildung 3.2.3.G: Bilanz der Kohlenstoffflüsse in der Holzbiomasse [kg CO<sub>2</sub>]

Insgesamt werden mit dem Rohstoff Holz etwa 2134 kg biogenes CO<sub>2</sub> (gespeichert in Biomasse) in dem bilanzierten Systemraum eingesetzt. Davon werden 882 kg CO<sub>2</sub> im Rahmen der Wärmeerzeugung bei der Herstellung von kammergetrocknetem Laubschnittholz (Modul A3) emittiert. 6 kg CO<sub>2</sub> werden über die Verpackung dem System zugeführt und im Rahmen der Entsorgung der Verpackung wieder emittiert (Modul A5). Die im Produkt gespeicherte Menge an Kohlenstoff scheidet bei der Entsorgung in Modul C3 entweder als Emission in Höhe von 1246 kg CO<sub>2</sub> oder noch gebunden im Altholz aus dem System wieder aus.

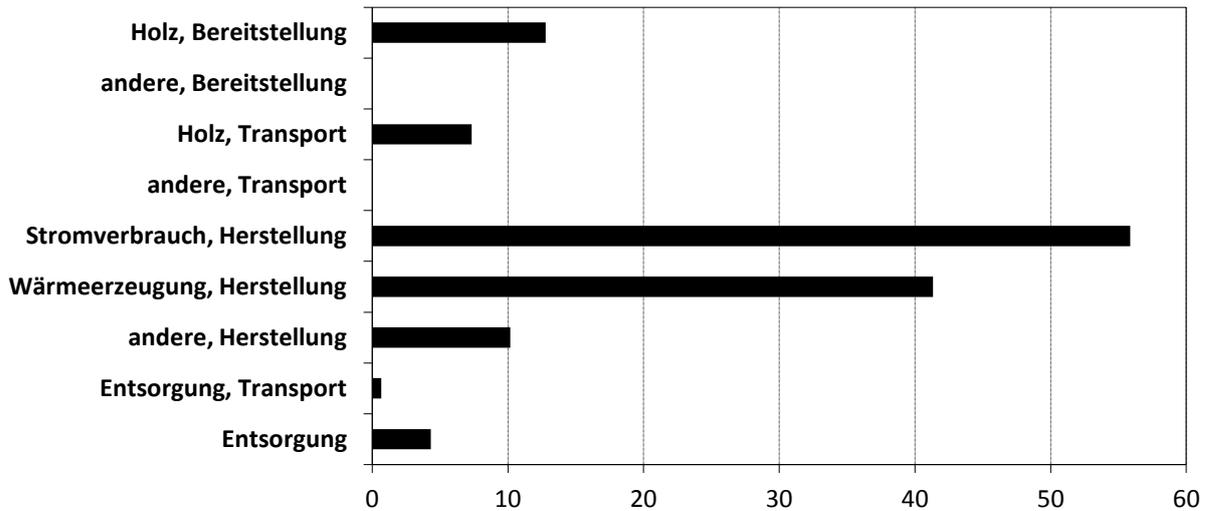


Abbildung 3.2.3.H: Treibhausgasemissionen aus fossilen Quellen nach Modulen A1 bis A3, C2 und C3 (energetisch) [kg CO<sub>2</sub>-Äqv./m<sup>3</sup> Produkt]

Der Großteil der Treibhausgasemissionen aus fossilen Quellen entsteht durch den Stromverbrauch bei der Herstellung des Produktes im Werk (42 %) sowie durch die Bereitstellung der Holzbrennstoffe bei der Wärmeerzeugung (31 %). Auffällig ist, dass die Emissionen der Logistik im Werk (8 %) die der Rundholztransporte übertreffen.

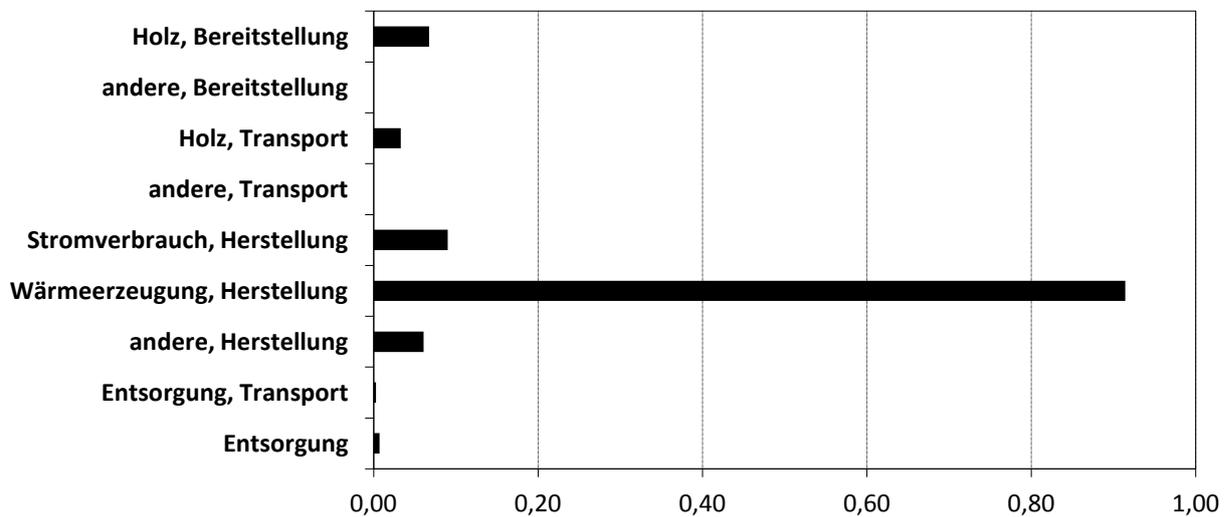


Abbildung 3.2.3.I: Versauerungspotential nach Modulen A1 bis A3, C2 und C3 (energetisch) [kg SO<sub>2</sub>-Äqv./m<sup>3</sup> Produkt]

Bei der Betrachtung des Versauerungspotentials zeigt sich, dass die Emissionen der Wärmeerzeugung im Werk den größten Anteil am Ergebnis des Indikators haben. Sie machen 78 % aus.

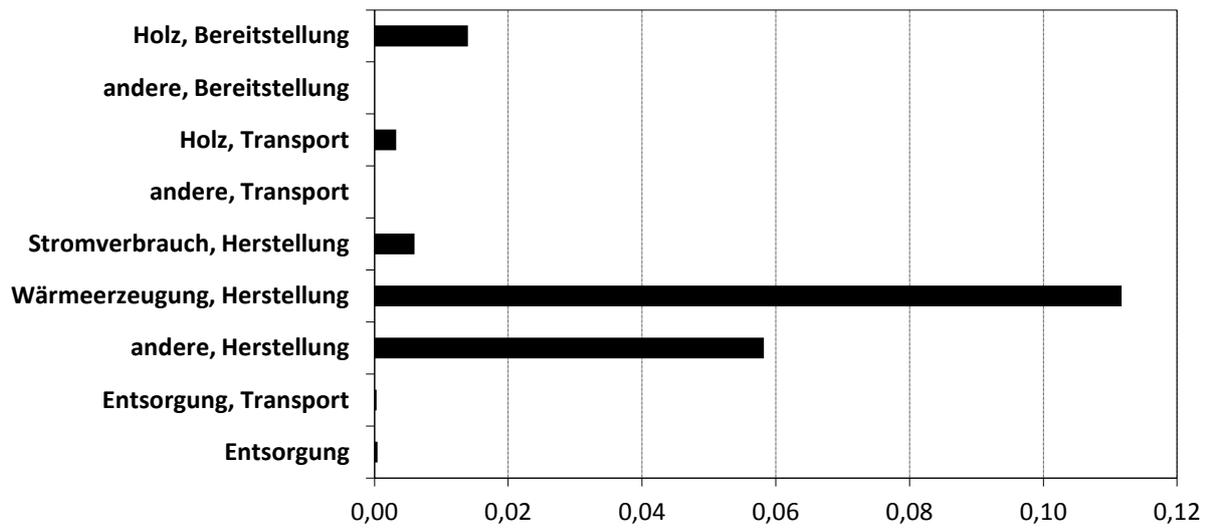


Abbildung 3.2.3.J: Ozonbildungspotential nach Modulen A1 bis A3, C2 und C3 (energetisch) [kg Ethen-Äqv./m<sup>3</sup> Produkt]

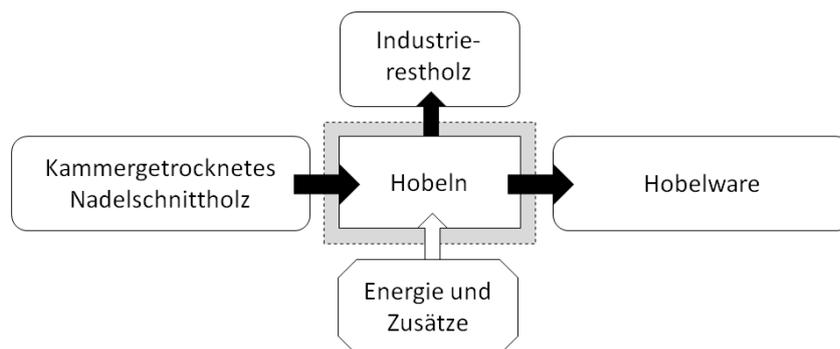
Neben den Emissionen der Wärmeerzeugung (58 %) tragen die direkten Emissionen der Trocknung und der Werkslogistik zu etwa 30 % beim Indikator POCP bei.

### 3.2.4 Hobelware

Die hier beschriebene Hobelware ist Nadelholz in allen typischen Dimensionen als Balken, Bohle, Vierkantholz oder Latte. Es wird kammergetrocknet und hat mindestens eine maschinell bearbeitete Fläche. Das Produkt wird nicht mit Holzschutzmitteln oder ähnlichen Mitteln behandelt. Tabelle 3.2.4.A zeigt die Zusammensetzung der funktionalen Einheit (1 m<sup>3</sup> Produkt).

**Tabelle 3.2.4.A: Zusammensetzung der funktionalen Einheit am Werkstor**

Stoff	Am Werkstor	
	[kg/m <sup>3</sup> ]	Anteil [%]
Holz	433,31	89,433
<i>davon Kohlenstoff (50%)</i>	<i>216,66</i>	<i>44,716</i>
Wasser	52,00	10,732
<b>Gesamt</b>	<b>484,51</b>	



**Abbildung 3.2.4.A: Schematische Darstellung der Herstellung von Hobelware**

Zur Herstellung von Hobelware aus Nadelholz wird kammergetrocknetes Nadelschnittholz auf mindestens einer Seite maschinell bearbeitet, wobei in den meisten Fällen von einem vierseitigen Hobelvorgang ausgegangen werden kann (vgl. Abbildung 3.2.4.A).

**Tabelle 3.2.4.B: Verwendete Verpackungsmaterialien**

Verpackungsmaterial	[kg/m <sup>3</sup> ]
Metalle	0,228
Vollholz	3,871
PE Folie	0,562
Papier und Pappe	0,081
andere Kunststoffe	0,108

Der Hobelvorgang kann ein Nuten oder Profilieren des eingeschnittenen Holzes beinhalten. Nach dem Hobeln wird das Produkt für den Transport gestapelt und verpackt. Tabelle 3.2.4.B zeigt die verwendeten Verpackungsmaterialien je funktionaler Einheit (1 m<sup>3</sup> Produkt).

Der in dieser Untersuchung unterstellte Rohstoffpreis für 1 m<sup>3</sup> des Mixes aus Rundholz und frischem Schnittholz beträgt 53,44 €. Der Preis für das aus dem Produkt resultierende Altholz (Altholz AI) wurde auf einen Wert von 11 € festgesetzt (vgl. Tabelle 2-4). Somit ergibt sich bei der Berechnung des Szenarios der allgemeinen Verwertung nach ILCD eine Gutschrift in Höhe von 20,6 % der Aufwendungen der Bereitstellung der Holzrohstoffe.

Für die Herstellung von Hobelware aus Nadelholz wurden die Rohstoffe durchschnittlich über eine Distanz von 111 km transportiert. Die meisten Werke bezogen dabei Rundholz in Rinde. Etwa 87 % der bezogenen Holzrohstoffe stammen aus Deutschland. Die Rohstoffherkunft wird in Abbildung 3.2.4.B dargestellt.

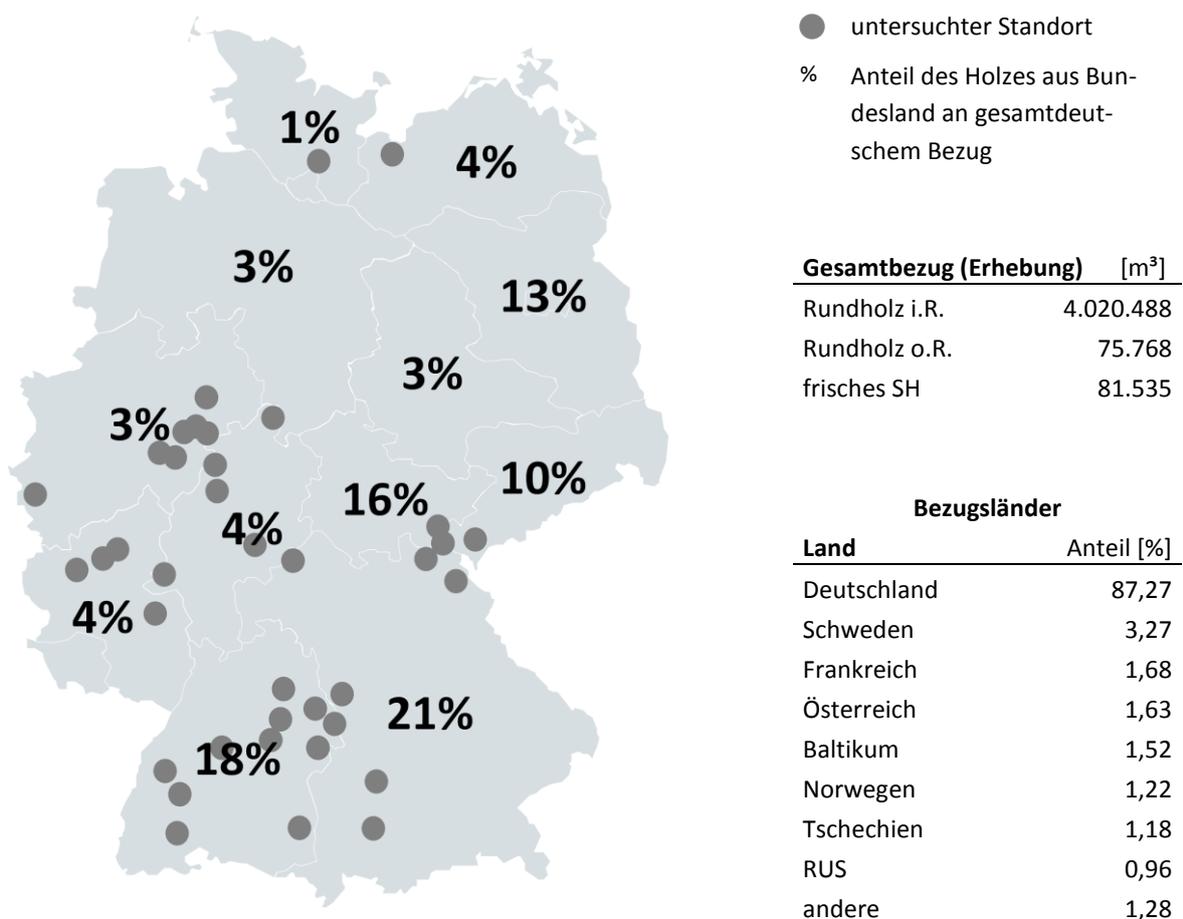


Abbildung 3.2.4.B: Rohholzherkunft für die Herstellung von Hobelware in Deutschland

Tabelle 3.2.4.C bildet die Sachbilanz für Hobelware inklusive der bei der Produktion entstehenden Nebenprodukte ab. Die funktionale Einheit ist die Bereitstellung von 1 m<sup>3</sup> des Produktes am Werkstor. Die Sachbilanz erfolgt ohne Darstellung der Vorketten.

**Tabelle 3.2.4.C: Sachbilanz für die Herstellung von Hobelware**

Fluss	Menge	Einheit
<b>INPUT</b>		
<b>Holzrohstoffe</b>		
Rundholz in Rinde	2,181	m <sup>3</sup>
Rundholz ohne Rinde	0,041	m <sup>3</sup>
Schnittholz, waldfrisch	0,044	m <sup>3</sup>
<b>Schnittholz, kammergetrocknet</b>	0,084	m <sup>3</sup>
<b>Strom</b>	73,444	kWh
<b>Brennstoffe</b>		
Erdgas	3,690	MJ
Heizöl leicht	1,483	MJ
andere (auch Pflanzenöle)	5,697	MJ
Altholz	123,453	MJ
IRH Zukauf	26,505	MJ
IRH eigene Produktion	677,360	MJ
Rinde eigene Produktion	551,595	MJ
<b>Betriebsmittel</b>		
Diesel	1,652	kg
Maschinenöl	0,138	kg
Schneidstoffe	0,022	kg
Reinigungsmittel	0,013	kg
Reifen	0,050	kg
Trinkwasser	25,529	kg
Oberflächenwasser	33,476	kg
Motoröl	0,029	kg
<b>OUTPUT</b>		
<b>Produkte</b>		
Hobelware	1,000	m <sup>3</sup>
Nebenprodukte (Späne und Hackschnitzel)	1,350	m <sup>3</sup>
<b>Emissionen aus</b>		
Verbrennung Brennstoffe	siehe Hintergrunddaten	
Verbrennung Diesel in Kraftprozess		
<b>Sonstiges</b>		
Abfälle	0,252	kg
Asche	siehe Hintergrunddaten	
Abwasser /teilweise als Emission in Luft	59,055	kg

Tabelle 3.2.4.D: Zusammenfassung aller Wirkungsindikatoren, Ressourceneinsätze und Outputflüsse

Parameter	Einheit	Bereitstellung der Rohstoffe (A1)	Transport (A2)	Herstellungsprozess (A3)	Summe cradle to gate (A1 - A3)	maximale Abweichung +%/-%	Transport zum Entsorger (C2)	Abfallwirtschaft (C3)	energetische Verwertung (D)	stoffliche Verwertung (D)	Verrechnung von A1 nach ILCD
<b>Ergebnisse Umweltauswirkung</b>											
GWP	[kg CO <sub>2</sub> -Äqv.]	-7,76E+02	5,12E+00	5,09E+01	<b>-7,20E+02</b>	+89/-46	4,35E-01	7,98E+02	-3,66E+02	-1,44E+01	-7,91E+00
ODP	[kg CFC11-Äqv.]	9,27E-07	1,24E-08	9,63E-06	<b>1,06E-05</b>	+127/-91	8,69E-10	1,19E-06	-8,35E-05	-1,47E-06	-1,02E-06
AP	[kg SO <sub>2</sub> -Äqv.]	1,03E-01	2,26E-02	3,22E-01	<b>4,48E-01</b>	+60/-24	1,87E-03	6,98E-03	-3,77E-01	-5,38E-02	-2,78E-02
EP	[kg PO <sub>43</sub> -Äqv.]	2,27E-02	5,18E-03	6,37E-02	<b>9,15E-02</b>	+55/-27	4,32E-04	5,89E-04	-3,85E-03	-1,06E-02	-5,06E-03
POCP	[kg Ethen-Äqv.]	1,76E-02	2,29E-03	8,64E-02	<b>1,06E-01</b>	+27/-15	2,02E-04	4,64E-04	-2,54E-02	-6,60E-03	-4,23E-03
ADPE	[kg Sb-Äqv.]	8,80E-05	1,63E-07	8,00E-04	<b>8,88E-04</b>	+92/-91	9,18E-09	1,23E-07	-2,11E-05	-1,53E-05	-3,30E-05
ADPF	[MJ]	2,22E+02	7,14E+01	5,54E+02	<b>8,47E+02</b>	+84/-46	6,13E+00	4,62E+01	-4,14E+03	-2,14E+02	-1,31E+02
<b>Ergebnisse Ressourceneinsatz</b>											
PERE	[MJ]	1,48E+02	9,30E-02	2,08E+03	<b>2,23E+03</b>		8,13E-03	4,70E+00	-3,31E+02	-8,36E+03	-3,06E+01
PERM	[MJ]	8,35E+03	0,00E+00	7,46E+01	<b>8,42E+03</b>		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	-1,72E+03
PERT	[MJ]	8,50E+03	9,30E-02	2,16E+03	<b>1,07E+04</b>		8,13E-03	4,70E+00	-3,31E+02	-8,36E+03	-1,75E+03
PENRE	[MJ]	2,54E+02	7,18E+01	8,81E+02	<b>1,21E+03</b>		6,17E+00	8,78E+01	-7,02E+03	-3,37E+02	-5,22E+01
PENRM	[MJ]	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	<b>0,00E+00</b>		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
PENRT	[MJ]	2,54E+02	7,18E+01	8,81E+02	<b>1,21E+03</b>		6,17E+00	8,78E+01	-7,02E+03	-3,37E+02	-5,22E+01
SM	[kg]	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	<b>0,00E+00</b>		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	2,18E+02	0,00E+00
RSF	[MJ]	1,13E+01	0,00E+00	6,69E+01	<b>7,83E+01</b>		0,00E+00	0,00E+00	4,21E+03	0,00E+00	-2,34E+00
NRSF	[MJ]	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	<b>0,00E+00</b>		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
FW	[m <sup>3</sup> ]	5,45E+02	1,45E+00	5,51E+02	<b>1,10E+03</b>		1,16E-01	4,99E+01	3,41E+03	-2,06E+02	-7,62E+01
<b>Ergebnisse Outputflüsse und Abfallkategorien</b>											
HWD	[kg]	2,38E-03	0,00E+00	2,83E-02	<b>3,07E-02</b>		0,00E+00	0,00E+00	1,51E+00	3,52E-02	3,47E-02
NHWD	[kg]	3,80E-03	0,00E+00	1,94E-02	<b>2,32E-02</b>		0,00E+00	0,00E+00	1,53E-02	1,53E-02	1,45E-02
RWD	[kg]	1,14E-02	1,55E-04	1,17E-01	<b>1,29E-01</b>		1,09E-05	1,49E-02	-1,04E+00	-8,10E-03	-2,35E-03
CRU	[kg]	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	<b>0,00E+00</b>		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
MFR	[kg]	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	<b>0,00E+00</b>		0,00E+00	4,85E+02	0,00E+00	-4,85E+02	0,00E+00
MER	[kg]	0,00E+00	0,00E+00	3,87E+00	<b>3,87E+00</b>		0,00E+00	4,85E+02	-4,89E+02	-3,87E+00	0,00E+00
EE1	[MJ]	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	<b>0,00E+00</b>		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
EE2	[MJ]	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	<b>0,00E+00</b>		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00

Alle nicht genannten Module fallen unter den Bereich „MND“ (= „Modul nicht deklariert“). <sup>1</sup> Strom & <sup>2</sup> Wärme

**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 (Institute of Environmental Sciences Faculty of Science Universität Leiden, Niederlande) verwendet. Der Charakterisierungsfaktor für den Verbrauch von abiotischen Ressourcen (fossile Stoffe) ist der jeweilige unterer Heizwert am Extraktionspunkt des fossilen Brennstoffs. Langzeitemissionen (> 100 Jahre) werden in der Wirkungsabschätzung nicht berücksichtigt.

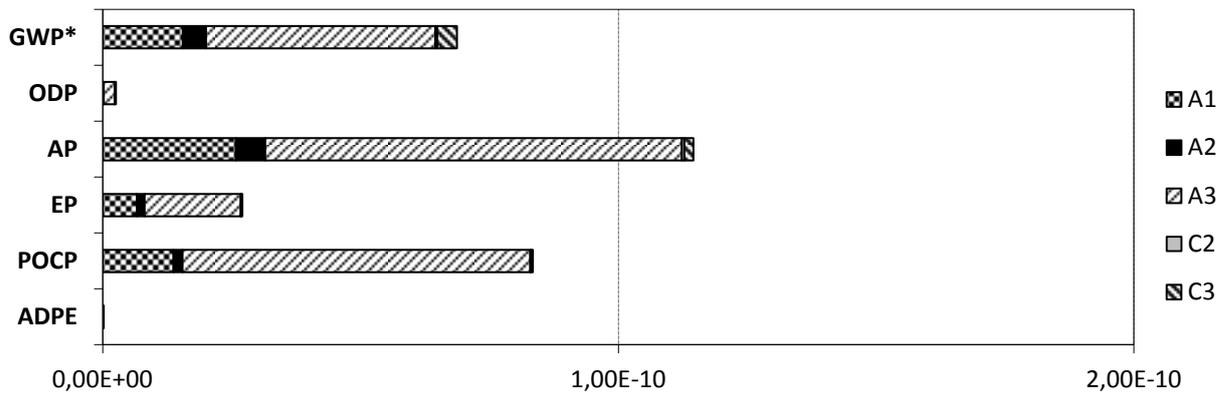


Abbildung 3.2.4.C: Wirkungspotentiale normiert nach deutschen Gesamtemissionen (ohne Modul D) für die Module A1 bis A3, C2 und C3 (energetisch) [%/100 der deutschen Gesamtemissionen]

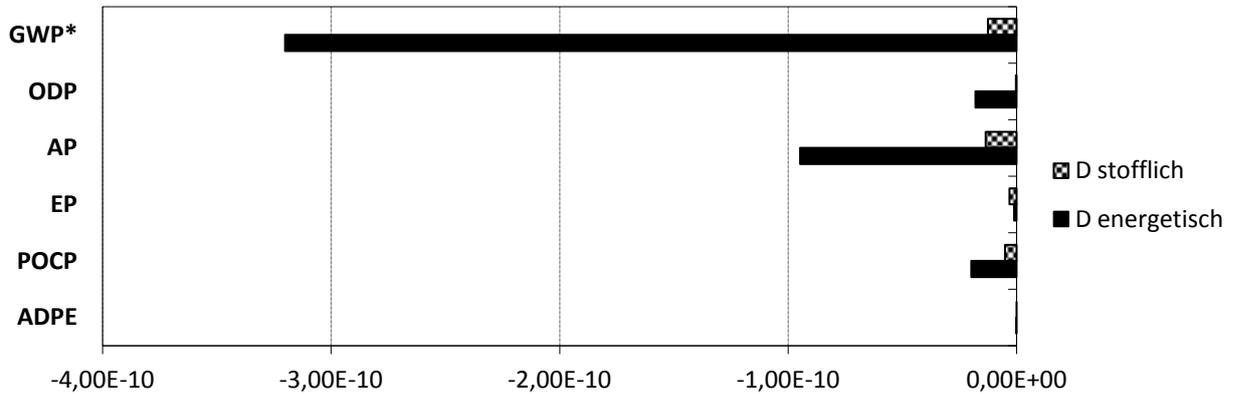


Abbildung 3.2.4.D: Wirkungspotentiale normiert nach deutschen Gesamtemissionen für die Szenarien im Modul D (stofflich und energetisch) [%/100 der deutschen Gesamtemissionen]

Tabelle 3.2.4.E: Haupteinflussfaktoren auf die Ergebnisse der drei relevantesten Wirkungsindikatoren (nach Normierung) [kg/m³]

Nr.	Indikator	Σ (A1 bis A3)	Haupteinflussfaktoren
1	<b>AP</b> Versauerungspotential [SO <sub>2</sub> -Äqv.]	0,448	46,7% - Wärmeproduktion ; 16,3% - Rundholzvorkette ; 12,1% - Werkslogistik ; 6,2% - Schnittholz(trocken)vorkette ; 4,3% - Transport Rundholz ; 3,5% - Strom Abrichten Prozess ; 3,2% - Strom Trocknung Prozess ; 2% - Strom Einschnitt Prozess ; 1,3% - Verpackung ; Rest 4,4%
2	<b>POCP</b> Ozonbildungspotential [Ethen-Äqv.]	0,106	43,2% - Prozess Trocknung ; 26,5% - Wärmeproduktion ; 9,5% - Rundholzvorkette ; 6,8% - Schnittholz(trocken)vorkette ; 6,7% - Werkslogistik ; 1,8% - Transport Rundholz ; 1,2% - Verpackung ; 1% - Strom Abrichten Prozess ; 0,9% - Strom Trocknung Prozess ; Rest 2,4%
3	<b>GWP</b> Treibhausgaspotential – fossil [CO <sub>2</sub> -Äqv.]	73,823	17,8% - Rundholzvorkette ; 13,1% - Strom Abrichten Prozess ; 12,6% - Wärmeproduktion ; 12,2% - Strom Trocknung Prozess ; 8,1% - Werkslogistik ; 7,7% - Strom Einschnitt Prozess ; 5,9% - Transport Rundholz ; 5,6% - Schnittholz(trocken)vorkette ; 2,8% - Verpackung ; Rest 14,2%

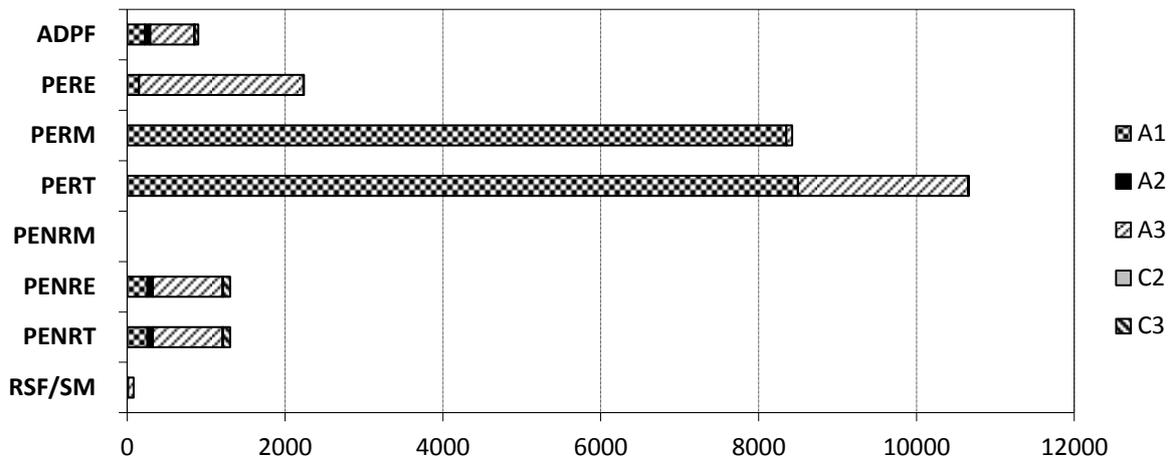


Abbildung 3.2.4.E: Einsatz von Ressourcen in den Modulen A1 bis A3, C2 und C3 (energetisch) [MJ/m³]

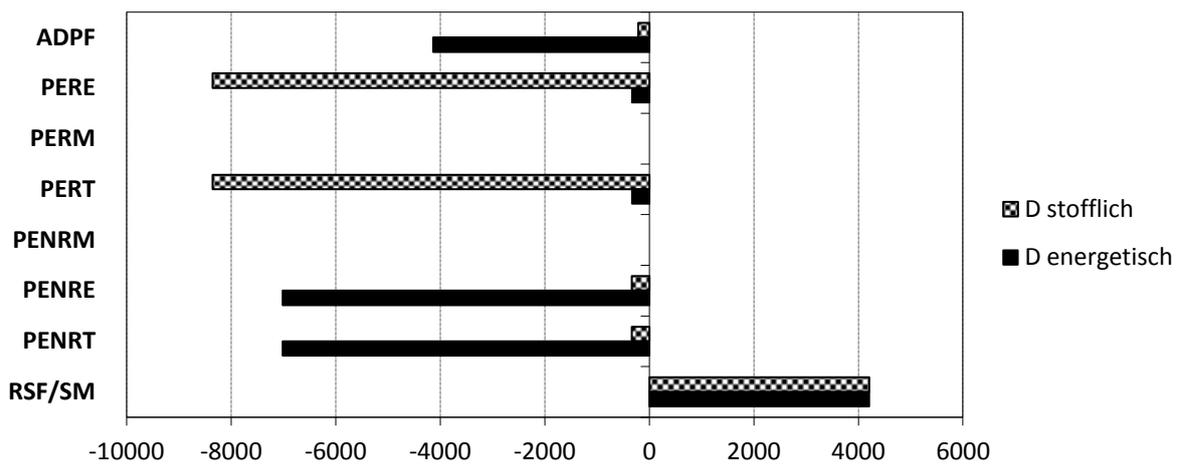


Abbildung 3.2.4.F: Gut- und Lastschriften für Ressourcen in Modul D stofflich und D energetisch [MJ/m³]

Tabelle 3.2.4.F: Hauptsächliche Verwendung der eingesetzten Primärenergie und der Ressourcen [MJ/m³]

Primärenergietyp	Σ (A1 bis A3)	Hauptsächliche Verwendung
<b>PERE</b> Erneuerbare Primärenergie als Energieträger [MJ]	2230	Verbrennung von Holz zur Erzeugung von Trocknungswärme
<b>PENRE</b> Nicht-erneuerbare Primärenergie als Energieträger [MJ]	1207	16,2% - Strom Abrichten Prozess ; 15,2% - Rundholzvorkette ; 15,2% - Strom Trocknung Prozess ; 9,6% - Strom Einschnitt Prozess ; 8% - Wärmeproduktion ; 6,9% - Werkslogistik ; 5,3% - Schnittholz(trocken)vorkette ; 5,1% - Transport Rundholz ; 4,6% - Verpackung ; Rest 14,1%
<b>RSF</b> Erneuerbare Sekundärbrennstoffe [MJ]	78	Verbrennung von Altholz zur Erzeugung von Trocknungswärme

Tabelle 3.2.4.G: Relation des Einsatzes ausgewählter Primärenergietypen zueinander

Primärenergietyp	Relation	Primärenergietyp
<b>PERE</b> Erneuerbare Primärenergie als Energieträger [MJ]	1 : 3,78	<b>PERM</b> Erneuerbare Primärenergie zur stofflichen Nutzung [MJ]
<b>PENRE</b> Nicht-erneuerbare Primärenergie als Energieträger [MJ]	1 : 6,98	<b>PERM</b> Erneuerbare Primärenergie zur stofflichen Nutzung [MJ]
<b>PERE</b> Erneuerbare Primärenergie als Energieträger [MJ]	1 : 0,54	<b>PENRE</b> Nicht-erneuerbare Primärenergie als Energieträger [MJ]

Von der für die Herstellung von Hobelware insgesamt eingesetzten Masse an Holz ohne Nebenprodukte werden bis zum Werkstor etwa 20 % zur Erzeugung von Wärme verbrannt. Der Anteil an eingesetzter fossiler Energie entspricht etwa 1/7 des Energieinhalts des Produktes. Im Vergleich zu Energie aus fossilen Quellen wird doppelt so viel Energie aus erneuerbaren Quellen eingesetzt.

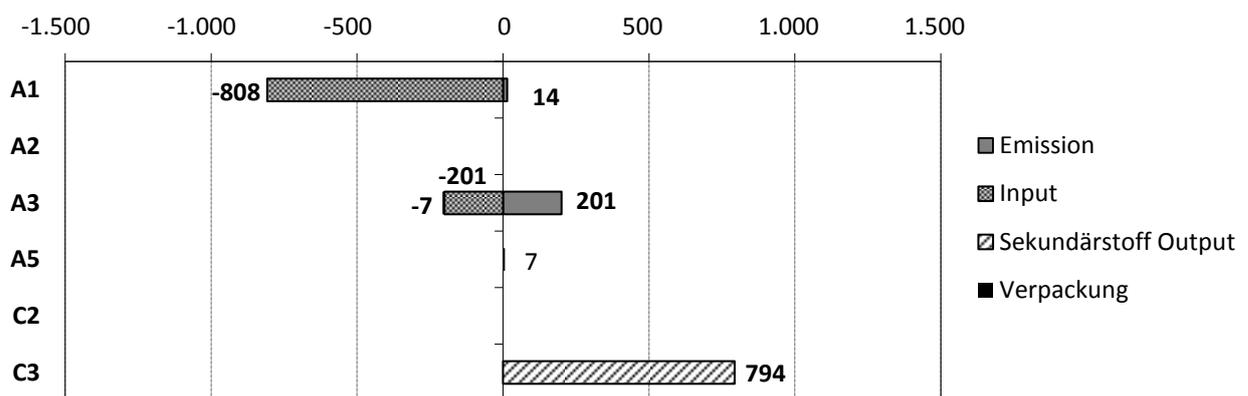


Abbildung 3.2.4.G: Bilanz der Kohlenstoffflüsse in der Holzbiomasse [kg CO<sub>2</sub>]

Insgesamt fließen etwa 1016 kg CO<sub>2</sub> in Form von Kohlenstoff gespeichert in Biomasse in das System ein. Davon werden 14 kg CO<sub>2</sub> entlang der Vorketten und 201 kg CO<sub>2</sub> im Rahmen der Wärmeerzeugung vor Ort im Werk emittiert. Etwa 7 kg CO<sub>2</sub> werden dem Vordergrundsystem über die Verpackung zugeführt, die bei ihrer Entsorgung wieder an die Atmosphäre abgegeben werden (Modul A5). Die im Produkt gespeicherte Menge an biogenem Kohlenstoff verlässt das System in Form von Kohlenstoff im Altholz. Dies entspricht einer Emission in Höhe von 794 kg CO<sub>2</sub>.

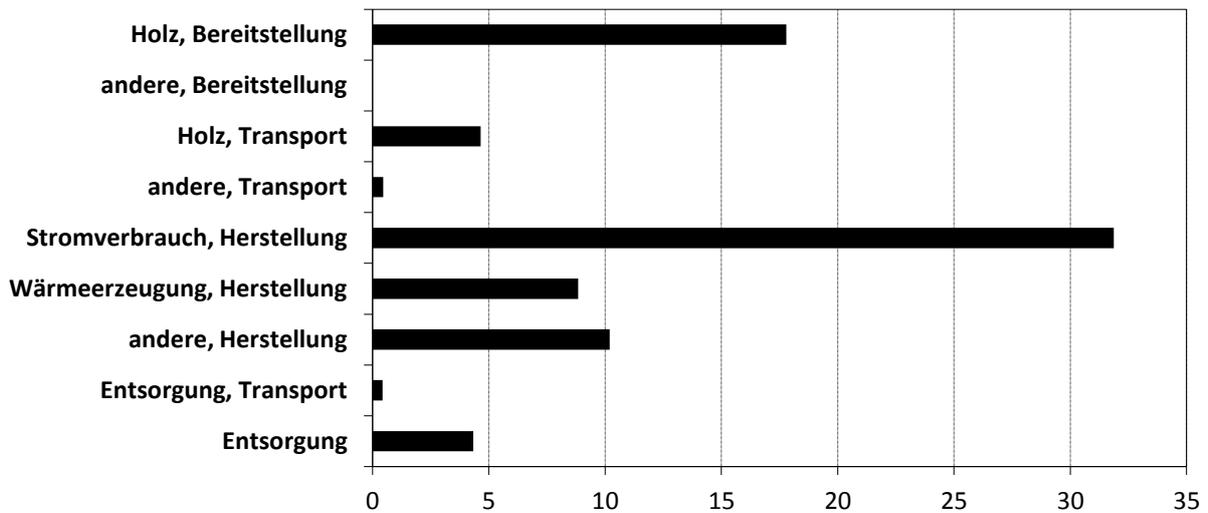


Abbildung 3.2.4.H: Treibhausgasemissionen aus fossilen Quellen nach Modulen A1 bis A3, C2 und C3 (energetisch) [kg CO<sub>2</sub>-Äqv./m<sup>3</sup> Produkt]

Die wesentlichen Quellen des Treibhausgaspotentials sind der Stromverbrauch (41 %), die Bereitstellung der Holzrohstoffe (23 %), die Emissionen der Werkslogistik zusammen mit den Emissionen der Trocknung (13 %) und die Vorkette der Brennstoffbereitstellung, sowie deren Verbrennung (11 %) (Abbildung 3.2.4.H).

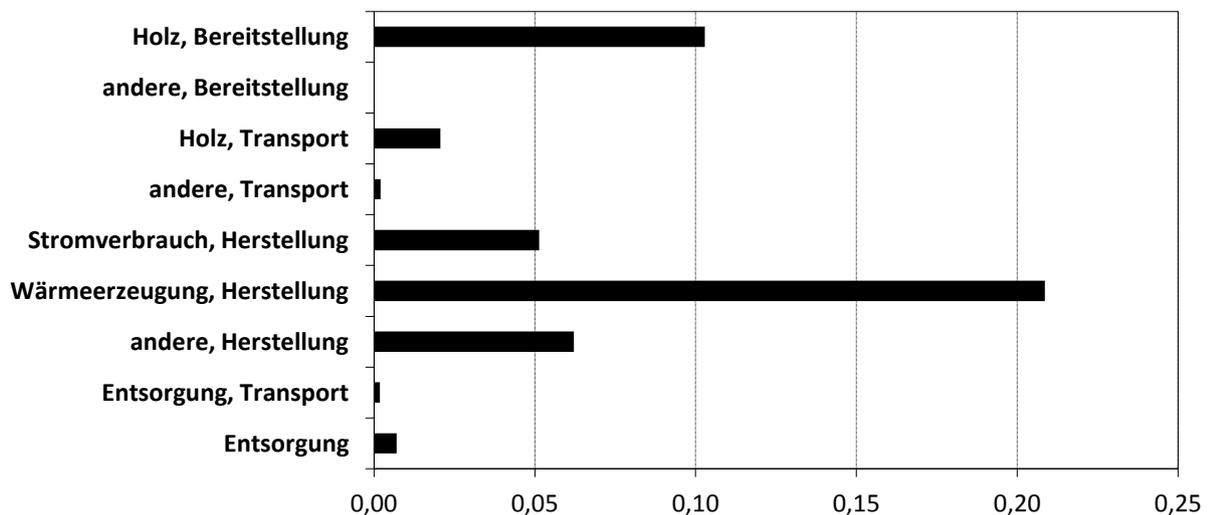


Abbildung 3.2.4.I: Versauerungspotential nach Modulen A1 bis A3, C2 und C3 (energetisch) [kg SO<sub>2</sub>-Äqv./m<sup>3</sup> Produkt]

Die Verbrennung der Nebenprodukte vor Ort zur Erzeugung der Trocknungswärme hat den größten Einfluss auf das Versauerungspotential (46 %) (Abbildung 3.2.4.I). Daneben spielt die Bereitstellung der Holzrohstoffe mit einem Beitrag von 23 % eine wesentliche Rolle.

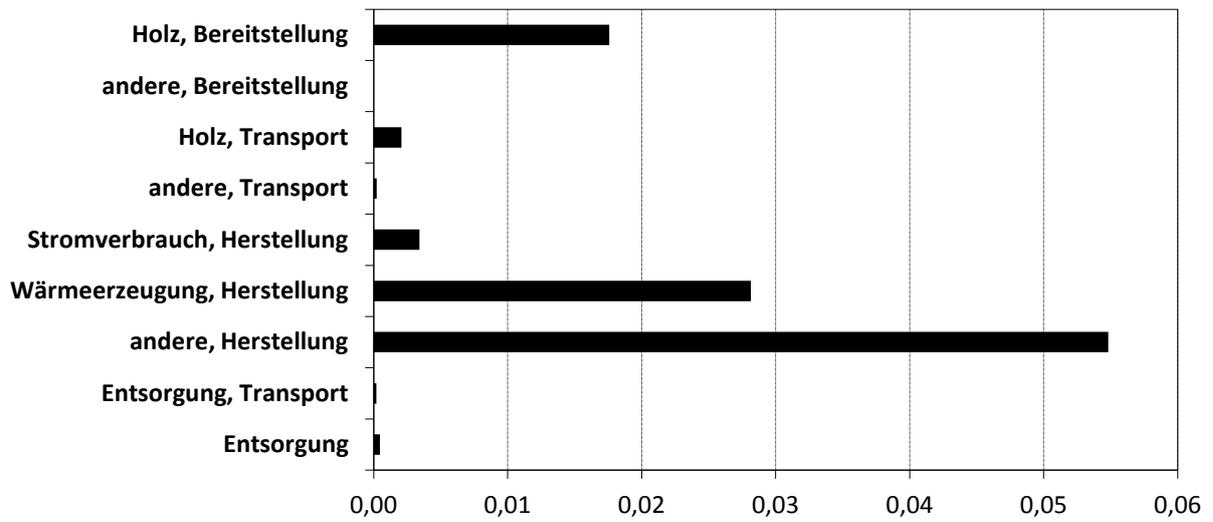


Abbildung 3.2.4.J: Ozonbildungspotential nach Modulen A1 bis A3, C2 und C3 (energetisch) [kg Ethen-Äqv./m³ Produkt]

Haupttreiber für das Ozonbildungspotential (POPC) von Hobelware ist der Trocknungsprozess im Werk mit einem Beitrag von 51 %.

### 3.2.5 Konstruktionsvollholz

Konstruktionsvollholz ist ein industriell gefertigtes Produkt für tragende Konstruktionen. Es besteht aus in der Länge kraftschlüssig mittels Keilzinkenverbindungen gestoßenen, kammergetrockneten Kanthölzern aus Nadelholz. Die im Produkt enthaltenen Bindemittel sind vorwiegend auf Basis von Melamin-Harnstoff-Formaldehyd und Polyurethan. Vereinzelt kommen Phenol-Resorzin-Harze zum Einsatz. Das Produkt wird nicht mit Holzschutzmitteln oder ähnlichen Mitteln behandelt. Tabelle 3.2.5.A zeigt die Zusammensetzung der funktionalen Einheit (1 m<sup>3</sup> Produkt).

Die in der funktionalen Einheit dargestellte Leimflotte stellt den durchschnittlichen Einsatz dar. Im Einzelfall wird jeweils nur ein Typ eingesetzt. Die eingesetzte Masse je funktionaler Einheit variiert für jeden Klebstoff und jeden Hersteller.

**Tabelle 3.2.5.A: Zusammensetzung der funktionalen Einheit am Werkstor**

Stoff	Am Werkstor	
	[kg/m <sup>3</sup> ]	Anteil [%]
Holz	439,65	89,192
<i>davon Kohlenstoff</i>	219,83	44,596
Wasser	52,76	10,703
Melamin-Harnstoff-Formaldehyd Bindemittel	0,21	0,043
Phenol-Resorzin-Bindemittel	0,01	0,002
1 Komponenten Polyurethan Bindemittel	0,29	0,059
<b>Gesamt</b>	<b>492,92</b>	

Das auf weniger als 18 % getrocknete konventionelle Schnittholz (kammergetrocknetes Schnittholz) wird zunächst vorgehobelt und visuell bzw. maschinell nach der Festigkeit sortiert (Hobelware). Identifizierte Kantholzabschnitte mit festigkeitsvermindernden Stellen werden abhängig von der erwünschten Festigkeitsklasse ausgekappt und die entstandenen Kanthölzer werden je nach gewünschter Länge ggf. durch Keilzinkenverbindung zu endlos langen Lamellen gestoßen. Nach Aushärtung, bei nicht keilgezinktem Konstruktionsvollholz unmittelbar nach der Festigkeitssortierung, wird der Rohling gehobelt, gefast, abgebunden und verpackt. Abbildung 3.2.5.A zeigt den Herstellungsprozess schematisch auf und Tabelle 3.2.5.B listet die verwendeten Verpackungsmaterialien je funktionaler Einheit (1 m<sup>3</sup> Produkt).

**Tabelle 3.2.5.B: Verwendete Verpackungsmaterialien**

Verpackungsmaterial	[kg/m <sup>3</sup> ]
Vollholz	1,968
PE Folie	0,561
Papier und Pappe	0,041
andere Kunststoffe	0,001

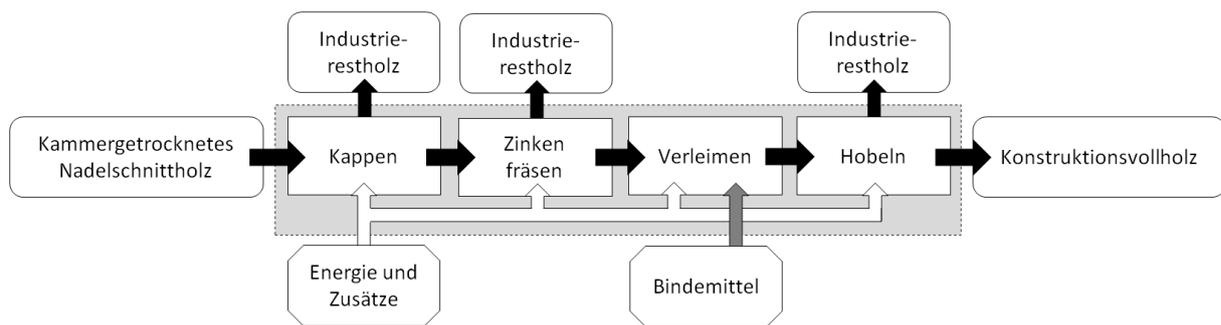


Abbildung 3.2.5.A: Schematische Darstellung der Herstellung von Konstruktionsvollholz

Der Rohstoffpreis für 1 m<sup>3</sup> des Mix der verwendeten Rohstoffe in Form von Rundholz und Schnittholz in frischem und getrocknetem Zustand beträgt 91,27 €. Das aus dem Produkt resultierende Altholz (Altholz AI) wird auf einen Wert von 11 € geschätzt. Somit ergibt sich bei der Berechnung des Szenarios der allgemeinen Verwertung nach ILCD eine Gutschrift in Höhe von 12,1 % der Aufwendungen der Bereitstellung der Holzrohstoffe.

Die Transportdistanz der für die Herstellung notwendigen Holzrohstoffe beträgt etwa 175 km. Den größten Anteil hat dabei kammergetrocknetes Schnittholz. Etwa 80 % der bezogenen Holzrohstoffe stammen aus Deutschland (Abbildung 3.2.5.B).

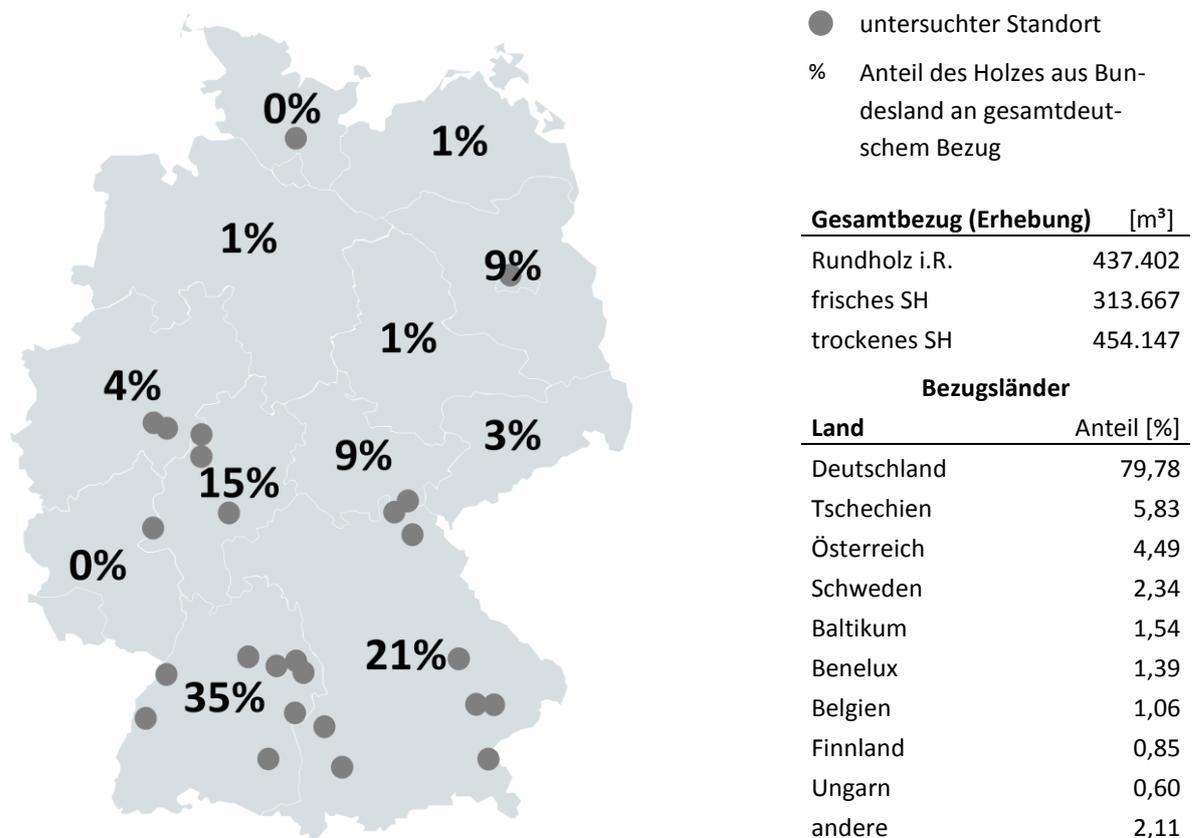


Abbildung 3.2.5.B: Rohholzherkunft für die Herstellung von Konstruktionsvollholz

Tabelle 3.2.1.C bildet die Sachbilanz für Konstruktionsvollholz inklusive der bei der Produktion entstehenden Nebenprodukte ab. Die funktionale Einheit ist die Bereitstellung von 1 m<sup>3</sup> Konstruktionsvollholz am Werkstor. Die Sachbilanz erfolgt ohne Darstellung der Vorketten.

**Tabelle 3.2.5.C: Sachbilanz für die Herstellung von Konstruktionsvollholz**

Fluss	Menge	Einheit
<b>INPUT</b>		
<b>Holzrohstoffe</b>		
Rundholz in Rinde	0,529	m <sup>3</sup>
Schnittholz, waldfrisch	0,379	m <sup>3</sup>
Schnittholz, kammergetrocknet	0,549	m <sup>3</sup>
<b>Strom</b>	58,663	kWh
<b>Brennstoffe</b>		
Erdgas	6,230	MJ
Heizöl leicht	2,265	MJ
andere (auch Pflanzenöle)	39,241	MJ
Altholz	115,961	MJ
IRH eigene Produktion	962,604	MJ
Rinde eigene Produktion	223,736	MJ
<b>Betriebsmittel</b>		
Diesel	1,180	kg
Maschinenöl	0,082	kg
Schneidstoffe	0,016	kg
Reinigungsmittel	0,009	kg
Reifen	0,110	kg
Trinkwasser	0,017	kg
Oberflächenwasser	23,184	kg
Motoröl	0,013	kg
<b>Bindemittel</b>		
Melamin Harnstoff Formaldehyd Bindemittel	0,212	kg
Phenol Resorzin Formaldehyd Bindemittel	0,012	kg
Polyurethan Bindemittel	0,291	kg

<b>OUTPUT</b>		
<b>Produkte</b>		
Konstruktionsvollholz	1,000	m <sup>3</sup>
Nebenprodukte (Späne und Hackschnitzel)	0,456	m <sup>3</sup>
<b>Emissionen aus</b>		
Verbrennung Brennstoffe	siehe Hintergrunddaten	
Abbinden der Klebstoffe		
Verbrennung Diesel in Kraftprozess		
<b>Sonstiges</b>		
Abfälle	0,231	kg
Asche	siehe Hintergrunddaten	
Abwasser /teilweise als Emission in Luft	23,204	kg

Tabelle 3.2.5.D: Zusammenfassung aller Wirkungsindikatoren, Ressourceneinsätze und Outputflüsse

Parameter	Einheit	Bereitstellung der Rohstoffe (A1)	Transport (A2)	Herstellungsprozess (A3)	Summe cradle to gate (A1 - A3)	maximale Abweichung +%/-%	Transport zum Entsorger (C2)	Abfallwirtschaft (C3)	energetische Verwertung (D)	stoffliche Verwertung (D)	Verrechnung von A1 nach ILCD
<b>Ergebnisse Umweltauswirkung</b>											
GWP	[kg CO2-Äqv.]	-7,67E+02	7,12E+00	4,77E+01	<b>-7,12E+02</b>	+32/-21	4,42E-01	8,10E+02	-3,65E+02	-1,20E+01	-6,18E+00
ODP	[kg CFC11-Äqv.]	3,86E-06	3,67E-08	1,06E-05	<b>1,45E-05</b>	+37/-27	8,83E-10	1,19E-06	-8,34E-05	-1,11E-06	-9,13E-07
AP	[kg SO2-Äqv.]	2,29E-01	3,12E-02	2,15E-01	<b>4,75E-01</b>	+24/-15	1,90E-03	6,98E-03	-3,75E-01	-5,13E-02	-3,06E-02
EP	[kg PO43--Äqv.]	4,87E-02	7,07E-03	3,93E-02	<b>9,50E-02</b>	+39/-19	4,39E-04	5,89E-04	-3,67E-03	-1,06E-02	-5,99E-03
POCP	[kg Ethen-Äqv.]	5,11E-02	3,24E-03	5,36E-02	<b>1,08E-01</b>	+17/-11	2,05E-04	4,64E-04	-2,52E-02	-6,36E-03	-6,39E-03
ADPE	[kg Sb-Äqv.]	5,64E-04	1,87E-07	8,55E-05	<b>6,50E-04</b>	+51/-88	9,33E-09	1,23E-07	-6,34E-06	-4,70E-07	-6,77E-05
ADPF	[MJ]	4,62E+02	9,97E+01	5,31E+02	<b>1,09E+03</b>	+33/-23	6,23E+00	4,62E+01	-4,11E+03	-1,81E+02	-1,02E+02
<b>Ergebnisse Ressourceneinsatz</b>											
PERE	[MJ]	8,72E+02	2,57E-01	9,76E+02	<b>1,85E+03</b>		8,26E-03	4,70E+00	-3,35E+02	-8,48E+03	-1,05E+02
PERM	[MJ]	8,47E+03	0,00E+00	3,79E+01	<b>8,51E+03</b>		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	-1,02E+03
PERT	[MJ]	9,34E+03	2,57E-01	1,01E+03	<b>1,04E+04</b>		8,26E-03	4,70E+00	-3,35E+02	-8,48E+03	-1,13E+03
PENRE	[MJ]	5,88E+02	1,01E+02	8,95E+02	<b>1,58E+03</b>		6,27E+00	8,78E+01	-7,14E+03	-3,41E+02	-6,64E+01
PENRM	[MJ]	5,18E+00	0,00E+00	0,00E+00	<b>5,18E+00</b>		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
PENRT	[MJ]	5,93E+02	1,01E+02	8,95E+02	<b>1,59E+03</b>		6,27E+00	8,78E+01	-7,14E+03	-3,41E+02	-6,64E+01
SM	[kg]	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	<b>0,00E+00</b>		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	2,22E+02	0,00E+00
RSF	[MJ]	6,70E+01	0,00E+00	1,10E+02	<b>1,77E+02</b>		0,00E+00	0,00E+00	4,27E+03	0,00E+00	-8,07E+00
NRSF	[MJ]	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	<b>0,00E+00</b>		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
FW	[m³]	7,25E+02	2,81E+00	5,04E+02	<b>1,23E+03</b>		1,17E-01	4,99E+01	3,40E+03	-2,26E+02	-6,60E+01
<b>Ergebnisse Outputflüsse und Abfallkategorien</b>											
HWD	[kg]	2,33E-02	0,00E+00	1,99E-02	<b>4,32E-02</b>		0,00E+00	0,00E+00	1,50E+00	1,74E-02	1,53E-02
NHWD	[kg]	2,47E-02	0,00E+00	7,85E-03	<b>3,25E-02</b>		0,00E+00	0,00E+00	4,52E-05	-4,11E-06	-2,93E-03
RWD	[kg]	4,68E-02	4,60E-04	1,30E-01	<b>1,78E-01</b>		1,10E-05	1,49E-02	-1,04E+00	-8,22E-03	-5,51E-03
CRU	[kg]	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	<b>0,00E+00</b>		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
MFR	[kg]	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	<b>0,00E+00</b>		0,00E+00	4,93E+02	0,00E+00	-4,93E+02	0,00E+00
MER	[kg]	0,00E+00	0,00E+00	1,97E+00	<b>1,97E+00</b>		0,00E+00	4,93E+02	-4,95E+02	-1,97E+00	0,00E+00
EE1	[MJ]	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	<b>0,00E+00</b>		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
EE2	[MJ]	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	<b>0,00E+00</b>		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00

Alle nicht genannten Module fallen unter den Bereich „MND“ (= „Modul nicht deklariert“). <sup>1</sup> Strom & <sup>2</sup> Wärme

**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 (Institute of Environmental Sciences Faculty of Science Universität Leiden, Niederlande) verwendet. Der Charakterisierungsfaktor für den Verbrauch von abiotischen Ressourcen (fossile Stoffe) ist der jeweilige unterer Heizwert am Extraktionspunkt des fossilen Brennstoffs. Langzeitemissionen (> 100 Jahre) werden in der Wirkungsabschätzung nicht berücksichtigt.

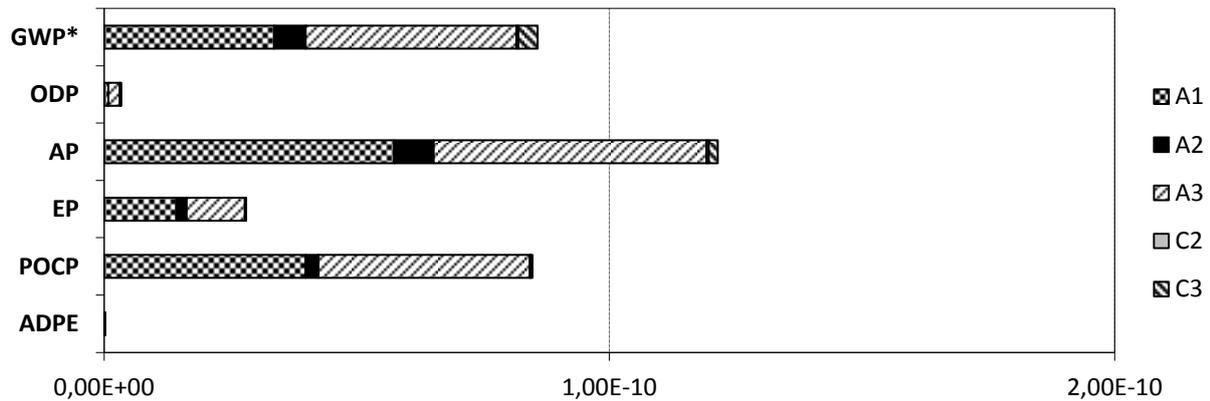


Abbildung 3.2.5.C: Wirkungspotentiale normiert nach deutschen Gesamtemissionen (ohne Modul D) für die Module A1 bis A3, C2 und C3 (energetisch) [%/100 der deutschen Gesamtemissionen]

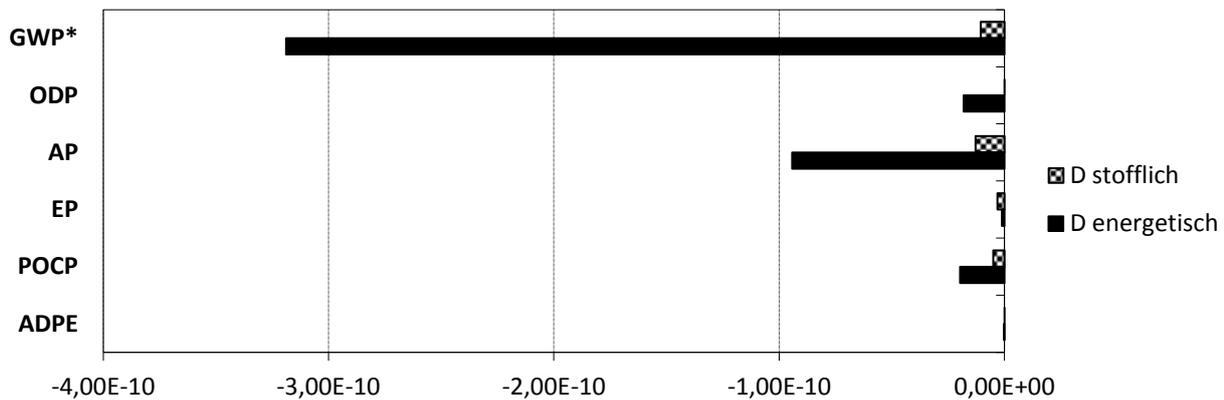


Abbildung 3.2.5.D: Wirkungspotentiale normiert nach deutschen Gesamtemissionen für die Szenarien im Modul D (stofflich und energetisch) [%/100 der deutschen Gesamtemissionen]

Tabelle 3.2.5.E: Haupteinflussfaktoren auf die Ergebnisse der drei relevantesten Wirkungsindikatoren (nach Normierung) [kg/m<sup>3</sup>]

Nr.	Indikator	Σ (A1 bis A3)	Haupteinflussfaktoren
1	<b>AP</b> Versauerungspotential [SO <sub>2</sub> -Äqv.]	0,475	34,7% - Schnittholz(trocken)vorkette ; 25,1% - Wärmeproduktion ; 8,2% - Werkslogistik ; 7,3% - Schnittholzvorkette ; 5,5% - Rundholzvorkette ; 4,2% - Transport Schnittholz ; 2,4% - Transport Rundholz ; 2,2% - Strom Trocknung Prozess ; 1,8% - Strom Abrichten Prozess ; 1,4% - Strom egalisieren Prozess ; Rest 7,2%
2	<b>POCP</b> Ozonbildungspotential [Ethen-Äqv.]	0,108	26,3% - Schnittholz(trocken)vorkette ; 9,1% - Wärmeproduktion ; 7,9% - Schnittholzvorkette ; 6,9% - Strom Trocknung Prozess ; 5,6% - Strom Abrichten Prozess ; 5% - Rundholzvorkette ; 4,9% - Transport Schnittholz ; 4,6% - Werkslogistik ; 4,4% - Strom egalisieren Prozess ; Rest 25,3%
3	<b>GWP</b> Treibhausgaspotential – fossil [CO <sub>2</sub> -Äqv.]	93,323	39,5% - Schnittholz(trocken)vorkette ; 25,5% - Prozess Trocknung ; 15,1% - Wärmeproduktion ; 4,7% - Werkslogistik ; 4,1% - Schnittholzvorkette ; 3,4% - Rundholzvorkette ; 1,9% - Transport Schnittholz ; 1,1% - Transport Rundholz ; 0,8% - Verpackung ; 0,6% - Strom Trocknung Prozess ; Rest 3,3%

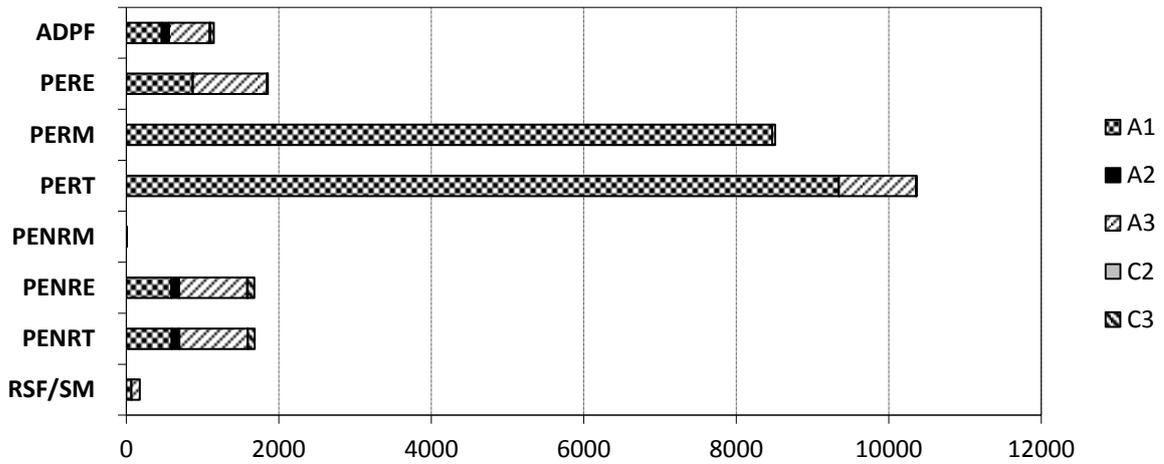


Abbildung 3.2.5.E: Einsatz von Ressourcen in den Modulen A1 bis A3, C2 und C3 (energetisch) [MJ/m³]

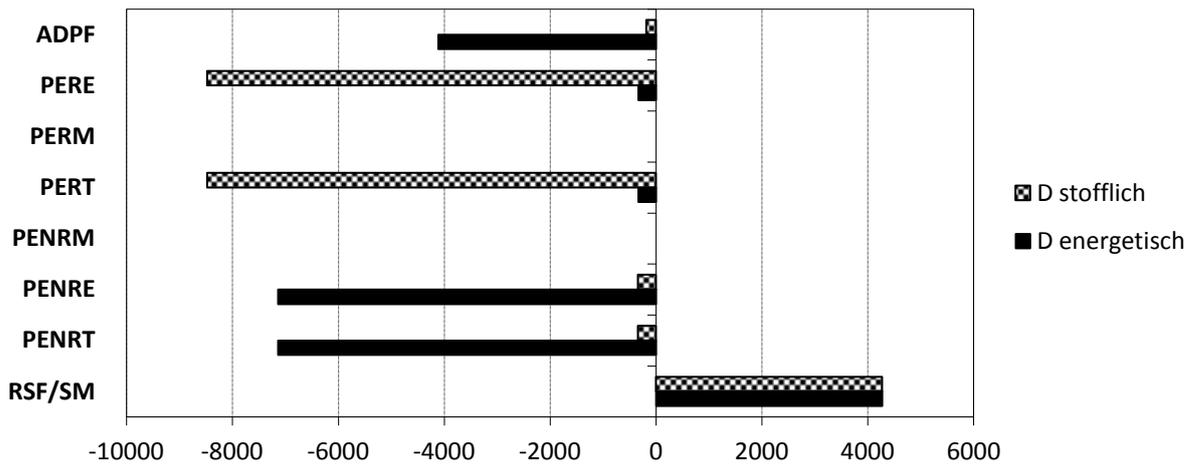


Abbildung 3.2.5.F: Gut- und Lastschriften für Ressourcen in Modul D stofflich und D energetisch

Tabelle 3.2.5.F: Hauptsächlichste Verwendung der eingesetzten Primärenergie und der Ressourcen [MJ/m³]

Primärenergietyp	Σ (A1 bis A3)	Hauptsächlichste Verwendung
<b>PERE</b> Erneuerbare Primärenergie als Energieträger [MJ]	1849	Erzeugung von Wärme mit Holz
<b>PENRE</b> Nicht-erneuerbare Primärenergie als Energieträger [MJ]	1584	23,6% - Schnittholz(trocken)vorkette ; 8,2% - Strom Trocknung Prozess ; 7,5% - Wärmeproduktion ; 7,3% - Schnittholzvorkette ; 6,7% - Strom Abrichten Prozess ; 5,3% - Strom egalisieren Prozess ; 5,2% - Strom egalisieren Sonstiges ; 5,1% - Strom Längsverleimen Prozess ; 4,1% - Rundholzvorkette ; 4,1% - Transport Schnittholz ; Rest 22,9%
<b>RSF</b> Erneuerbare Sekundärbrennstoffe [MJ]	177	Erzeugung von Wärme mit Altholz

Tabelle 3.2.5.G: Relation des Einsatzes ausgewählter Primärenergietypen zueinander

Primärenergietyp	Relation	Primärenergietyp
<b>PERE</b> Erneuerbare Primärenergie als Energieträger [MJ]	1 : 4,6	<b>PERM</b> Erneuerbare Primärenergie zur stofflichen Nutzung [MJ]
<b>PENRE</b> Nicht-erneuerbare Primärenergie als Energieträger [MJ]	1 : 5,37	<b>PERM</b> Erneuerbare Primärenergie zur stofflichen Nutzung [MJ]
<b>PERE</b> Erneuerbare Primärenergie als Energieträger [MJ]	1 : 0,86	<b>PENRE</b> Nicht-erneuerbare Primärenergie als Energieträger [MJ]

Von der insgesamt eingesetzten Masse an Holz ohne Nebenprodukte werden bis zum Werkstor etwa 18 % zur Erzeugung von Wärme verbrannt. Der Anteil an eingesetzter fossiler Energie entspricht etwa 1/5 des Energieinhalts des Produktes. Es wird etwa 1,15-mal so viel Energie aus erneuerbaren Quellen im Vergleich zu Energie aus fossilen Quellen eingesetzt (Tabelle 3.2.5.G).

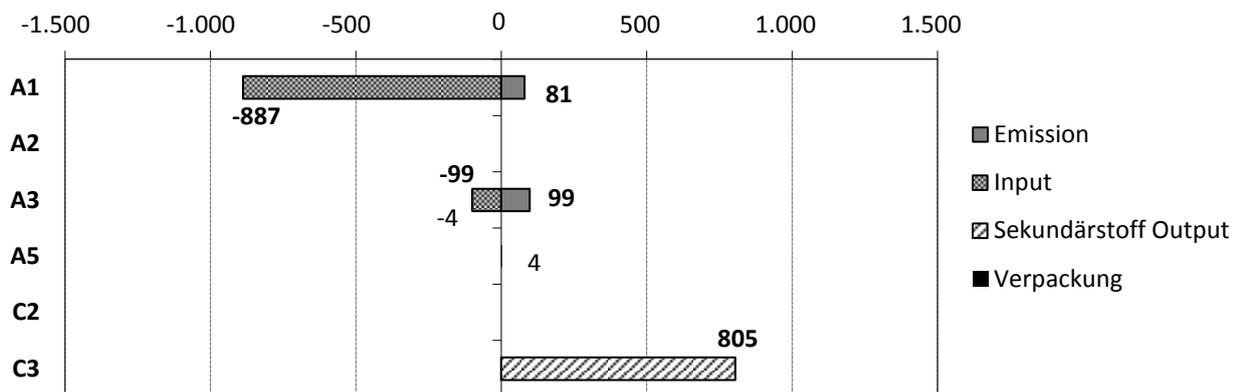


Abbildung 3.2.5.G: Bilanz der Kohlenstoffflüsse in der Holzbiomasse [kg CO<sub>2</sub>]

Insgesamt gehen etwa 990 kg CO<sub>2</sub> in Form von in der Biomasse gespeichertem Kohlenstoff in das System ein. Hiervon werden 81 kg CO<sub>2</sub> entlang der Vorketten und 99 kg CO<sub>2</sub> im Rahmen der Wärmeenergieerzeugung vor Ort wieder emittiert. Etwa 4 kg CO<sub>2</sub> werden über die Verpackung dem System zugeführt und im Rahmen der Entsorgung der Verpackung wieder emittiert. Die letztlich im Konstruktionsvollholz gespeicherte Menge an Kohlenstoff wird bei seiner Entsorgung, die in Modul C3 dargestellt ist, in Form von Altholz dem System wieder entzogen.

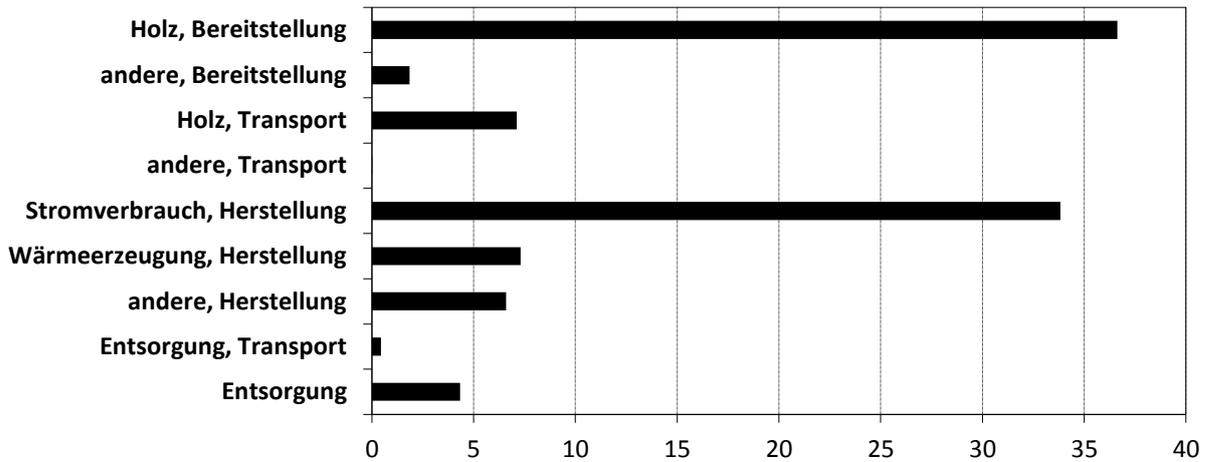


Abbildung 3.2.5.H: Treibhausgasemissionen aus fossilen Quellen nach Modulen A1 bis A3, C2 und C3 (energetisch) [kg CO<sub>2</sub>-Äqv./m<sup>3</sup> Produkt]

Die wesentlichen Quellen der Treibhausgasemissionen entlang des Produktlebenszyklus sind Aufwendungen zur Bereitstellung der Holzrohstoffe (37 %) und der Stromverbrauch im Werk (34 %). Da bereits vorveredelte Produkte eingekauft werden, liegen wesentliche Aufwendungen in der Vorkette (Abbildung 3.2.5.H).

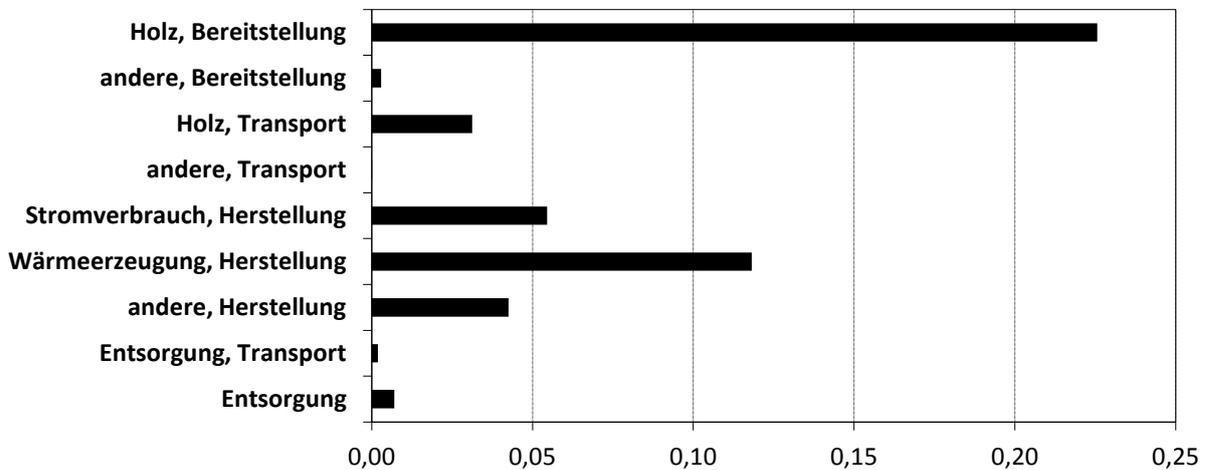


Abbildung 3.2.5.I: Versauerungspotential nach Modulen A1 bis A3, C2 und C3 (energetisch) [kg SO<sub>2</sub>-Äqv./m<sup>3</sup> Produkt]

Die Bereitstellung der Rohstoffe hat den größten Einfluss auf das Versauerungspotential mit 47 %. Grund hierfür ist der hohe Anteil an getrockneter Ware (Trocknungsprozess) beim Rohstoffmix der Hersteller (Abbildung 3.2.5.I).

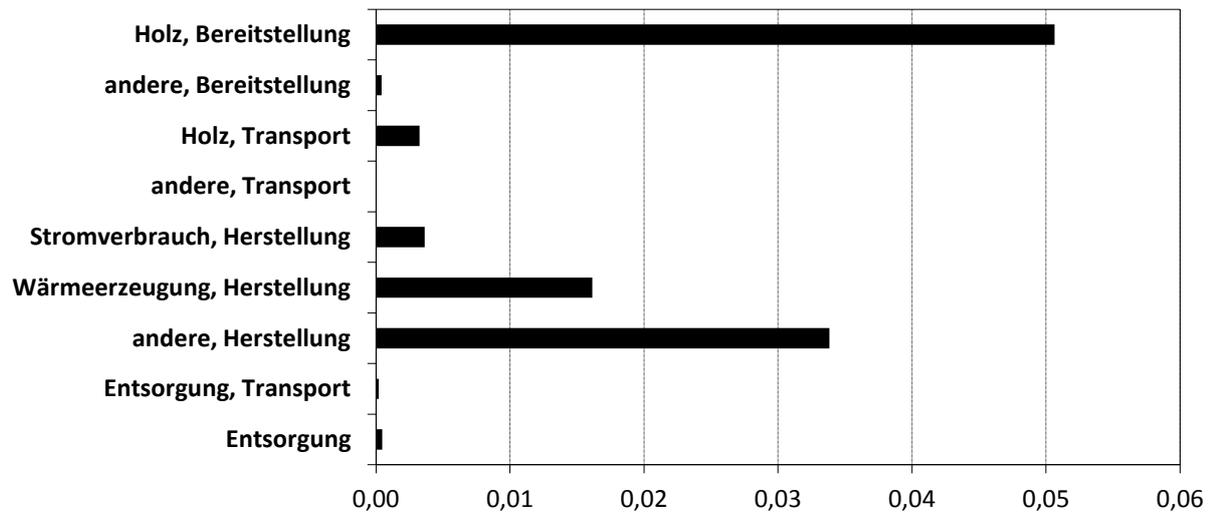


Abbildung 3.2.5.J: Ozonbildungspotential nach Modulen A1 bis A3, C2 und C3 (energetisch) [kg Ethen-Äqv./m³ Produkt]

Auch für das Ozonbildungspotential sind die Trocknungsemissionen in der Vorkette und im Werk ausschlaggebend (Abbildung 3.2.5.J).

### 3.2.6 Brettschichtholz, Standardträger

Brettschichtholz ist ein industriell gefertigtes Produkt für tragende Konstruktionen. Es besteht aus mindestens drei faserparallel miteinander verklebten getrockneten Brettern oder Brettlamellen (i.e. keilgezinktes Konstruktionsvollholz) aus Nadelholz. Die hier aufgeführten Ergebnisse und Parameter beziehen sich auf gerade, horizontal laminierte Träger (Standardträger). Tabelle 3.2.6.A zeigt die Zusammensetzung der funktionalen Einheit (1m<sup>3</sup> Produkt).

Die Verklebung von Brettschichtholz Standardträgern wird vornehmlich mittels Melamin-Harnstoff-Formaldehyd Bindemittel durchgeführt. Teilweise werden jedoch auch 1-Komponenten-Polyurethan-Bindemittel und in seltenen Fällen Emulsion-Polymer-Isocyanat-Bindemittel genutzt. Die keilgezinkten Lamellen werden analog zu den Konstruktionsvollhölzern verklebt. Die in Tabelle 4.2.A dargestellten Inhaltsstoffe beschreiben den durchschnittlich eingesetzten Bindemittelmix. Im Einzelfall werden maximal zwei verschiedene Klebstofftypen genutzt.

**Tabelle 3.2.6.A: Zusammensetzung der funktionalen Einheit am Werkstor**

Stoff	Am Werkstor	
	[kg/m <sup>3</sup> ]	Anteil [%]
Holz	444,91	87,736
<i>davon Kohlenstoff</i>	<i>222,46</i>	<i>43,867</i>
Wasser	53,39	10,528
Melamin-Harnstoff-Formaldehyd Bindemittel	8,22	1,622
Phenol-Resorzin-Bindemittel	0,29	0,058
1-Komponenten-Polyurethan-Bindemittel	0,29	0,057
Emulsion-Polymer-Isocyanat-Bindemittel	0,001	0,0003
<b>Gesamt</b>	<b>507,11</b>	

Für die Herstellung von Brettschichtholz Standardträgern wird konventionelles Schnittholz zunächst auf etwa 12 % Holzfeuchte getrocknet, vorgehobelt und visuell bzw. maschinell nach Festigkeit sortiert. Identifizierte Brettabschnitte mit festigkeitsvermindernden Stellen werden abhängig von der erwünschten Festigkeitsklasse ausgekappt und die entstandenen Bretter durch Keilzinkenverbindung zu endlos langen Lamellen gestoßen. Im darauf folgenden Vorhobelprozess werden die Lamellen auf bis zu 45mm Stärke gehobelt, um nach Beleimung der Breitseite im Pressbett zu mindesten 3-lagigen Holzrohlingen verpresst zu werden. Nach Aushärtung wird der Rohling gehobelt, gefast, abgebunden und verpackt.

**Tabelle 3.2.6.B: Verwendete Verpackungsmaterialien**

Verpackungsmaterial	[kg/m <sup>3</sup> ]
Vollholz	1,876
PE Folie	0,463
Papier und Pappe	0,054

Tabelle 3.2.6.B zeigt die verwendeten Verpackungsmaterialien je funktionaler Einheit (1 m<sup>3</sup> Produkt). Der Rohstoffpreis für 1 m<sup>3</sup> des Rohstoffmix in Form von Rundholz und Schnittholz in trockenem und frischem Zustand beträgt 96,89 € und das aus dem Produkt resultierende Altholz (Altholz AI) wird auf einen Wert von 11 € geschätzt (vgl. Tabelle 2-4). Somit ergibt sich bei der Berechnung des Szenarios der allgemeinen Verwertung nach ILCD eine Gutschrift in Höhe von 11,4 % der Aufwendungen der Bereitstellung der Holzrohstoffe.

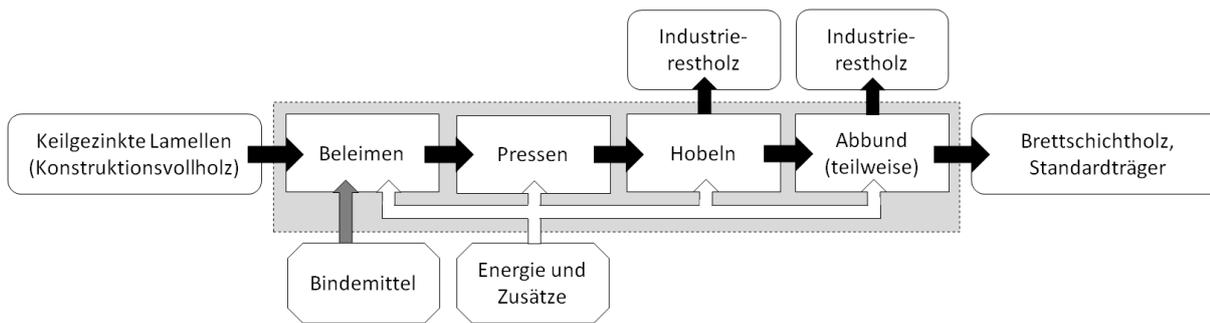


Abbildung 3.2.6.A: Schematische Darstellung der Herstellung von Brettschichtholz (Standardträger)

Durchschnittlich wurden die Holzrohstoffe über eine Distanz von 827 km transportiert. Der größte Anteil der bezogenen Rohstoffe ist frisches Schnittholz. Etwa 64 % der bezogenen Holzrohstoffe stammen aus Deutschland (Abbildung 3.2.6.B).

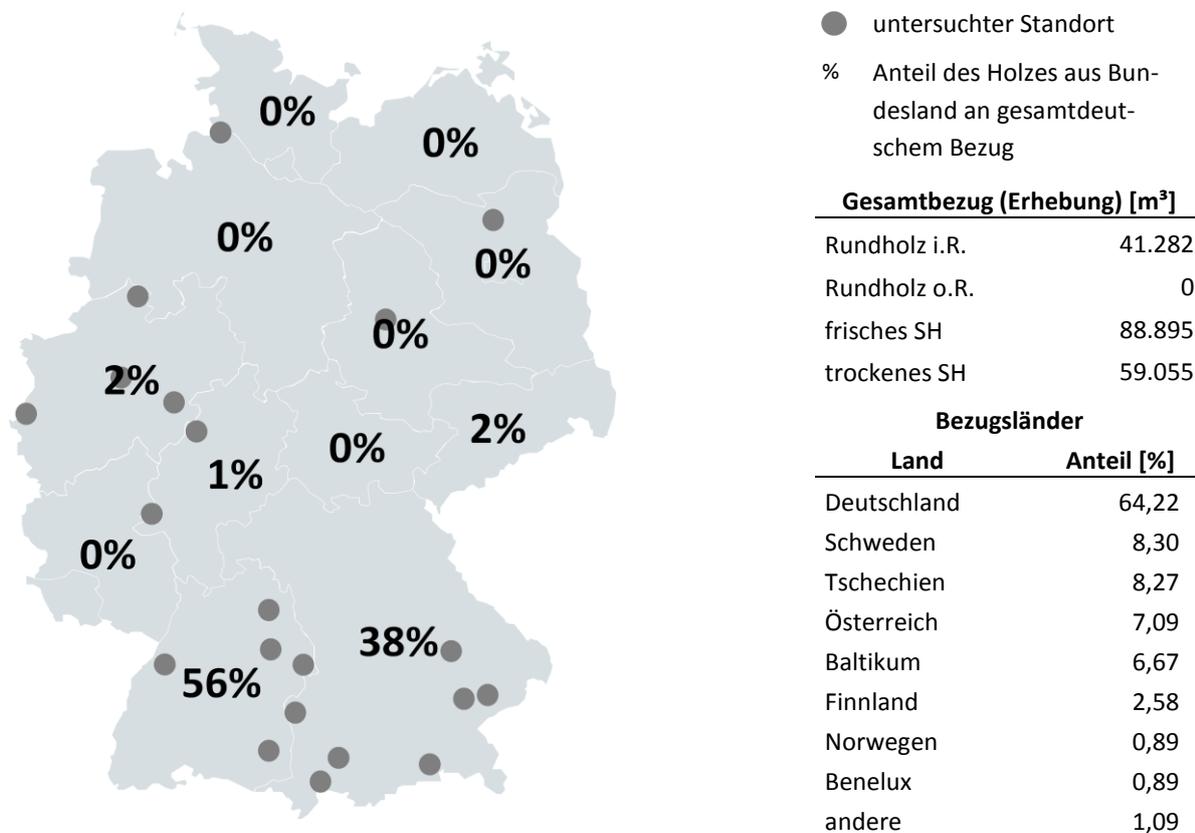


Abbildung 3.2.6.B: Rohholzherkunft für die Herstellung von Brettschichtholz (Standardträger)

Tabelle 3.2.6.C bildet die Sachbilanz für Brettschichtholz, Standardware inklusive der bei der Produktion entstehenden Nebenprodukte ab. Die funktionale Einheit ist die Bereitstellung von 1 m<sup>3</sup> des Produktes am Werkstor. Die Sachbilanz erfolgt ohne Darstellung der Vorketten.

**Tabelle 3.2.6.C: Sachbilanz für die Herstellung der funktionalen Einheit**

Fluss	Menge	Einheit
<b>INPUT</b>		
<b>Holzrohstoffe</b>		
Rundholz in Rinde	0,306	m <sup>3</sup>
Schnittholz, waldfrisch	0,659	m <sup>3</sup>
Schnittholz, kammergetrocknet	0,438	m <sup>3</sup>
<b>Strom</b>	88,619	kWh
<b>Brennstoffe</b>		
Erdgas	6,663	MJ
Heizöl leicht	19,377	MJ
andere (auch Pflanzenöle)	95,020	MJ
Altholz	19,778	MJ
IRH Zukauf	58,198	MJ
IRH eigene Produktion	1178,068	MJ
Rinde eigene Produktion	50,401	MJ
<b>Betriebsmittel</b>		
Diesel	1,105	kg
Maschinenöl	0,069	kg
Schneidstoffe	0,018	kg
Reinigungsmittel	0,027	kg
Reifen	0,134	kg
Trinkwasser	0,024	kg
Oberflächenwasser	34,567	kg
Motoröl	0,033	kg
<b>Bindemittel</b>		
Melamin Harnstoff Formaldehyd Bindemittel	8,722	kg
Phenol Resorzin Formaldehyd Bindemittel	0,325	kg
Polyurethan Bindemittel	0,415	kg
Emulsion-Polymer-Isocyanat	0,001	kg

<b>OUTPUT</b>		
<b>Produkte</b>		
Brettschichtholz, Standardträger	1,000	m <sup>3</sup>
Nebenprodukte (Späne und Hackschnitzel)	0,403	m <sup>3</sup>
<b>Emissionen aus</b>	siehe Hintergrunddaten	
Verbrennung Brennstoffe		
Verbrennung Diesel in Kraftprozess		
Abbinden der Klebstoffe		
<b>Sonstiges</b>		
Abfälle	0,280	kg
Asche	siehe Hintergrunddaten	
Abwasser /teilweise als Emission in Luft	34,590	kg

Tabelle 3.2.6.D: Zusammenfassung aller Wirkungsindikatoren, Ressourceneinsätze und Outputflüsse

Parameter	Einheit	Bereitstellung der Rohstoffe (A1)	Transport (A2)	Herstellungsprozess (A3)	Summe cradle to gate (A1 - A3)	maximale Abweichung +/- %	Transport zum Entsorger (C2)	Abfallwirtschaft (C3)	energetische Verwertung (D)	stoffliche Verwertung (D)	Verrechnung von A1 nach ILCD
<b>Ergebnisse Umweltauswirkung</b>											
GWP	[kg CO <sub>2</sub> -Äqv.]	-7,56E+02	3,17E+01	7,43E+01	<b>-6,50E+02</b>	+63/-41	4,62E-01	8,19E+02	-3,74E+02	-1,21E+01	-6,00E+00
ODP	[kg CFC11-Äqv.]	5,02E-06	1,79E-06	1,51E-05	<b>2,19E-05</b>	+122/-54	9,24E-10	1,19E-06	-8,53E-05	-1,09E-06	-8,79E-07
AP	[kg SO <sub>2</sub> -Äqv.]	2,45E-01	1,59E-01	3,42E-01	<b>7,46E-01</b>	+69/-35	1,98E-03	6,98E-03	-3,84E-01	-5,16E-02	-2,76E-02
EP	[kg PO <sub>43</sub> -Äqv.]	6,12E-02	2,64E-02	6,21E-02	<b>1,50E-01</b>	+52/-35	4,60E-04	5,89E-04	-3,73E-03	-1,07E-02	-5,36E-03
POCP	[kg Ethen-Äqv.]	4,72E-02	1,41E-02	8,10E-02	<b>1,42E-01</b>	+44/-22	2,15E-04	4,64E-04	-2,57E-02	-6,40E-03	-5,28E-03
ADPE	[kg Sb-Äqv.]	5,49E-04	1,03E-06	1,23E-04	<b>6,73E-04</b>	+103/-83	9,76E-09	1,23E-07	-6,47E-06	-4,54E-07	-6,15E-05
ADPF	[MJ]	8,58E+02	4,20E+02	8,31E+02	<b>2,11E+03</b>	+50/-47	6,52E+00	4,62E+01	-4,21E+03	-1,78E+02	-9,61E+01
<b>Ergebnisse Ressourceneinsatz</b>											
PERE	[MJ]	7,03E+02	1,08E+01	1,70E+03	<b>2,41E+03</b>		8,64E-03	4,70E+00	-3,43E+02	-8,58E+03	-7,92E+01
PERM	[MJ]	8,57E+03	0,00E+00	3,62E+01	<b>8,61E+03</b>		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	-9,73E+02
PERT	[MJ]	9,28E+03	1,08E+01	1,74E+03	<b>1,10E+04</b>		8,64E-03	4,70E+00	-3,43E+02	-8,58E+03	-1,05E+03
PENRE	[MJ]	9,41E+02	4,83E+02	1,35E+03	<b>2,78E+03</b>		6,56E+00	8,78E+01	-7,64E+03	-3,46E+02	-5,58E+01
PENRM	[MJ]	8,80E+01	0,00E+00	0,00E+00	<b>8,80E+01</b>		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
PENRT	[MJ]	1,03E+03	4,83E+02	1,35E+03	<b>2,87E+03</b>		6,56E+00	8,78E+01	-7,64E+03	-3,46E+02	-5,58E+01
SM	[kg]	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	<b>0,00E+00</b>		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	2,28E+02	0,00E+00
RSF	[MJ]	5,17E+01	0,00E+00	2,49E+01	<b>7,65E+01</b>		0,00E+00	0,00E+00	4,40E+03	0,00E+00	-5,87E+00
NRSF	[MJ]	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	<b>0,00E+00</b>		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
FW	[m <sup>3</sup> ]	8,20E+02	7,86E+01	7,33E+02	<b>1,63E+03</b>		1,23E-01	4,99E+01	3,48E+03	-2,30E+02	-6,19E+01
<b>Ergebnisse Outputflüsse und Abfallkategorien</b>											
HWD	[kg]	7,41E-02	0,00E+00	2,49E-02	<b>9,91E-02</b>		0,00E+00	0,00E+00	1,54E+00	1,98E-02	1,74E-02
NHWD	[kg]	2,40E-02	0,00E+00	9,32E-03	<b>3,34E-02</b>		0,00E+00	0,00E+00	4,63E-05	-4,17E-06	-2,66E-03
RWD	[kg]	6,08E-02	2,24E-02	1,87E-01	<b>2,70E-01</b>		1,15E-05	1,49E-02	-1,07E+00	-8,32E-03	-5,43E-03
CRU	[kg]	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	<b>0,00E+00</b>		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
MFR	[kg]	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	<b>0,00E+00</b>		0,00E+00	5,07E+02	0,00E+00	-5,07E+02	0,00E+00
MER	[kg]	0,00E+00	0,00E+00	1,88E+00	<b>1,88E+00</b>		0,00E+00	5,07E+02	-5,09E+02	-1,88E+00	0,00E+00
EE1	[MJ]	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	<b>0,00E+00</b>		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
EE2	[MJ]	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	<b>0,00E+00</b>		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00

Alle nicht genannten Module fallen unter den Bereich „MND“ (= „Modul nicht deklariert“). <sup>1</sup> Strom & <sup>2</sup> Wärme

**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 (Institute of Environmental Sciences Faculty of Science Universität Leiden, Niederlande) verwendet. Der Charakterisierungsfaktor für den Verbrauch von abiotischen Ressourcen (fossile Stoffe) ist der jeweilige unterer Heizwert am Extraktionspunkt des fossilen Brennstoffs. Langzeitemissionen (> 100 Jahre) werden in der Wirkungsabschätzung nicht berücksichtigt.

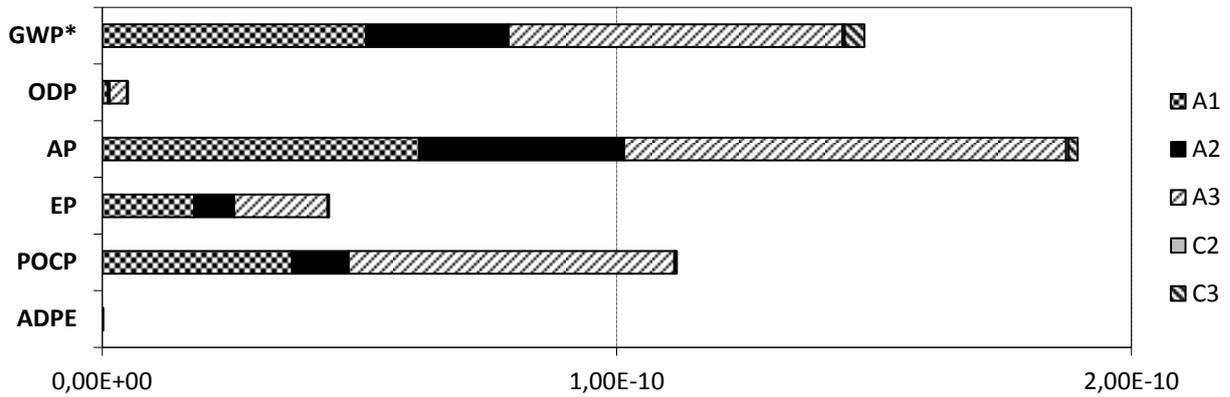


Abbildung 3.2.6.C: Wirkungspotentiale normiert nach deutschen Gesamtemissionen (ohne Modul D) für die Module A1 bis A3, C2 und C3 (energetisch) [%/100 der deutschen Gesamtemissionen]

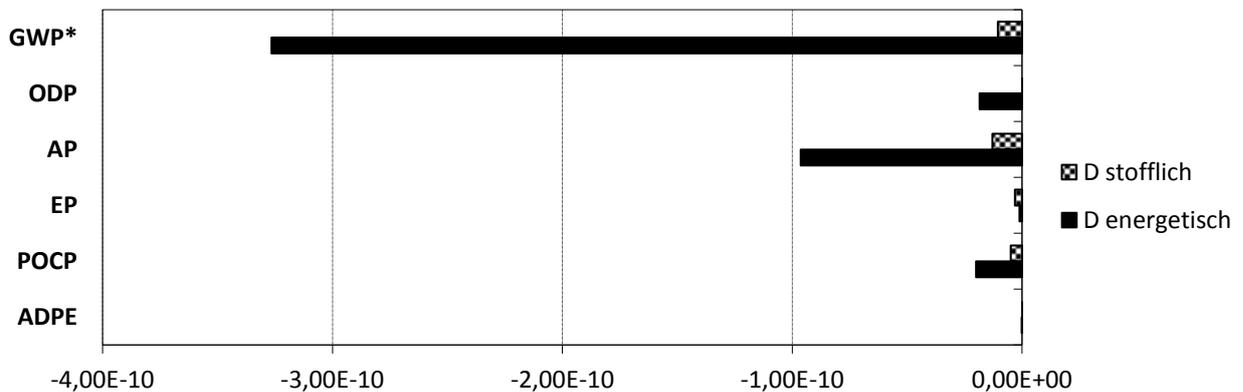


Abbildung 3.2.6.D: Wirkungspotentiale normiert nach deutschen Gesamtemissionen für die Szenarien im Modul D (stofflich und energetisch) [%/100 der deutschen Gesamtemissionen]

Tabelle 3.2.6.E: Haupteinflussfaktoren auf die Ergebnisse der drei relevantesten Wirkungsindikatoren (nach Normierung) [kg/m<sup>3</sup>]

Nr.	Indikator	Σ (A1 bis A3)	Haupteinflussfaktoren
1	<b>AP</b> Versauerungspotential [SO <sub>2</sub> -Äqv.]	0,746	30,5% - Wärmeproduktion ; 20,9% - Transport Schnittholz ; 17% - Schnittholz(trocken)vorkette ; 10,8% - Schnittholzvorkette ; 4,9% - Werkslogistik ; 3,1% - MUF Klebstoff ; 1,8% - Strom Dickenverleimung Prozess ; 1,4% - Strom Trocknung Prozess ; 1,1% - Rundholzvorkette ; Rest 8,5%
2	<b>GWP</b> Treibhausgaspotential – fossil [CO <sub>2</sub> -Äqv.]	164,612	18,9% - Transport Schnittholz ; 13,2% - Wärmeproduktion ; 11,5% - Schnittholz(trocken)vorkette ; 11,2% - MUF Klebstoff ; 10,4% - Schnittholzvorkette ; 5% - Strom Dickenverleimung Prozess ; 3,9% - Strom Trocknung Prozess ; 2,7% - Strom Abrichten Prozess ; 2,5% - Werkslogistik ; Rest 20,7%
3	<b>POCP</b> Ozonbildungspotential [Ethen-Äqv.]	0,142	23,1% - Schnittholz(trocken)vorkette ; 22,9% - Prozess Trocknung ; 22% - Wärmeproduktion ; 9,7% - Transport Schnittholz ; 7,1% - Schnittholzvorkette ; 4,4% - Zusätze Emissionen vor Ort ; 3,4% - Werkslogistik ; 1,6% - MUF Klebstoff ; 0,8% - Rundholzvorkette ; Rest 5%

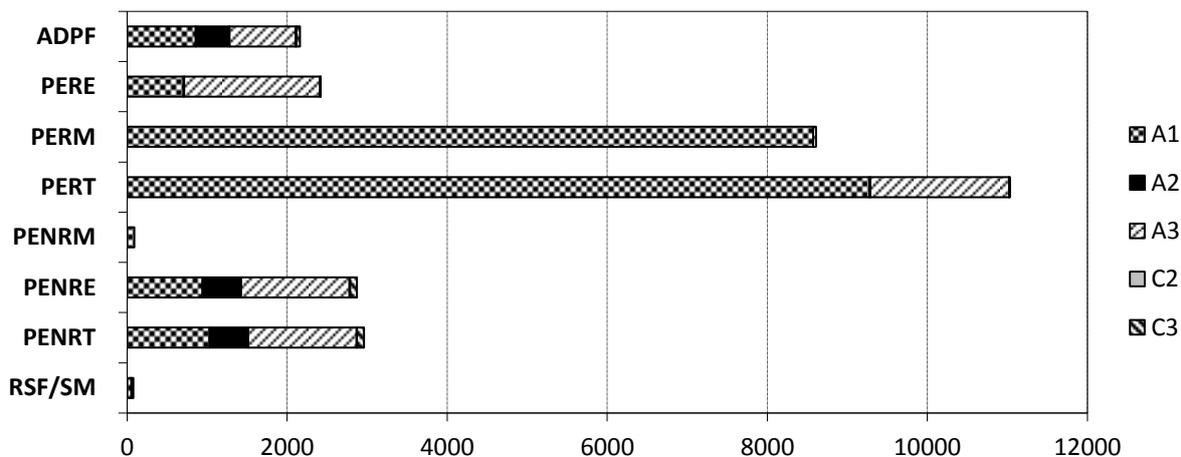


Abbildung 3.2.6.E: Einsatz von Ressourcen in den Modulen A1 bis A3, C2 und C3 (energetisch) [MJ/m³]

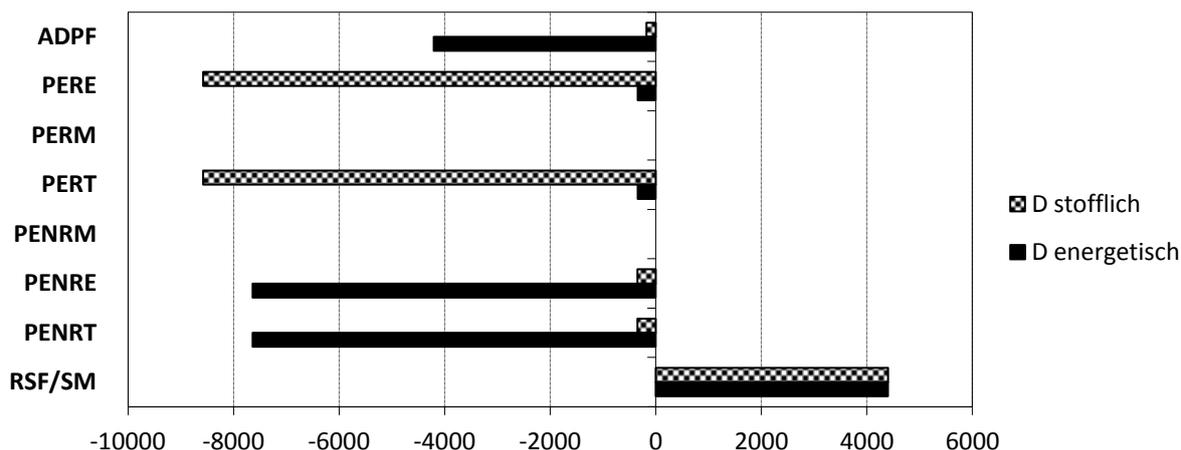


Abbildung 3.2.6.F: Gut- und Lastschriften für Ressourcen in Modul D stofflich und D energetisch [MJ/m³]

Tabelle 3.2.6.F: Hauptsächlichste Verwendung der eingesetzten Primärenergie und der Ressourcen [MJ/m³]

Primärenergietyp	Σ (A1 bis A3)	Hauptsächlichste Verwendung
<b>PERE</b> Erneuerbare Primärenergie als Energieträger [MJ]	2413	Verbrennung von Holz zur Erzeugung von Wärme
<b>PENRE</b> Nicht-erneuerbare Primärenergie als Energieträger [MJ]	2778	16,5% - Transport Schnittholz ; 13,7% - MUF Klebstoff ; 11,1% - Wärmeproduktion ; 10,1% - Schnittholz(trocken)vorkette ; 9,4% - Schnittholzvorkette ; 5,8% - Strom Dickenverleimung Prozess ; 4,6% - Strom Trocknung Prozess ; 3,1% - Strom Abrichten Prozess ; 2,7% - Strom Längsverleimen Prozess ; Rest 23%
<b>RSF</b> Erneuerbare Sekundärbrennstoffe [MJ]	77	Verbrennung von Altholz zur Erzeugung von Wärme

Tabelle 3.2.6.G: Relation des Einsatzes ausgewählter Primärenergietypen zueinander

Primärenergietyp	Relation	Primärenergietyp
<b>PERE</b> Erneuerbare Primärenergie als Energieträger [MJ]	1 : 3,57	<b>PERM</b> Erneuerbare Primärenergie zur stofflichen Nutzung [MJ]
<b>PENRE</b> Nicht-erneuerbare Primärenergie als Energieträger [MJ]	1 : 3,1	<b>PERM</b> Erneuerbare Primärenergie zur stofflichen Nutzung [MJ]
<b>PERE</b> Erneuerbare Primärenergie als Energieträger [MJ]	1 : 1,15	<b>PENRE</b> Nicht-erneuerbare Primärenergie als Energieträger [MJ]

Von der insgesamt eingesetzten Masse an Holz ohne Nebenprodukte werden bis zum Werkstor etwa 22 % zur Erzeugung von Wärme verbrannt. Der Anteil an eingesetzter fossiler Energie entspricht etwa 1/3 des Energieinhalts des Produktes. Der Anteil eingesetzter Energie aus erneuerbaren Quellen ist kleiner als der Anteil an Energie aus fossilen Quellen (Tabelle 3.2.6.G).

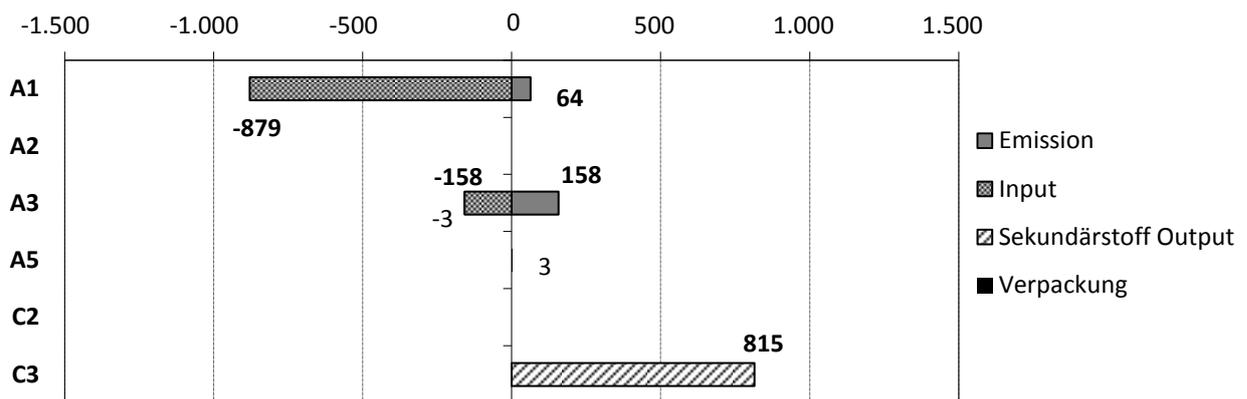


Abbildung 3.2.6.G: Bilanz der Kohlenstoffflüsse in der Holzbiomasse [kg CO<sub>2</sub>]

Insgesamt werden durch den Rohstoff Holz etwa 1040 kg CO<sub>2</sub> (gespeichert als Kohlenstoff in der Biomasse) in dem System eingesetzt. Davon werden 64 kg CO<sub>2</sub> im Verlauf der Vorketten und 158 kg CO<sub>2</sub> im Rahmen der Wärmeerzeugung vor Ort emittiert. Etwa 3 kg CO<sub>2</sub> werden über die Verpackung dem System zugeführt und im Rahmen der Entsorgung der Verpackung wieder emittiert. Die im Produkt gespeicherte Menge an Kohlenstoff verlässt mit der Entsorgung in Modul C3 das System wieder in Form von Altholz.

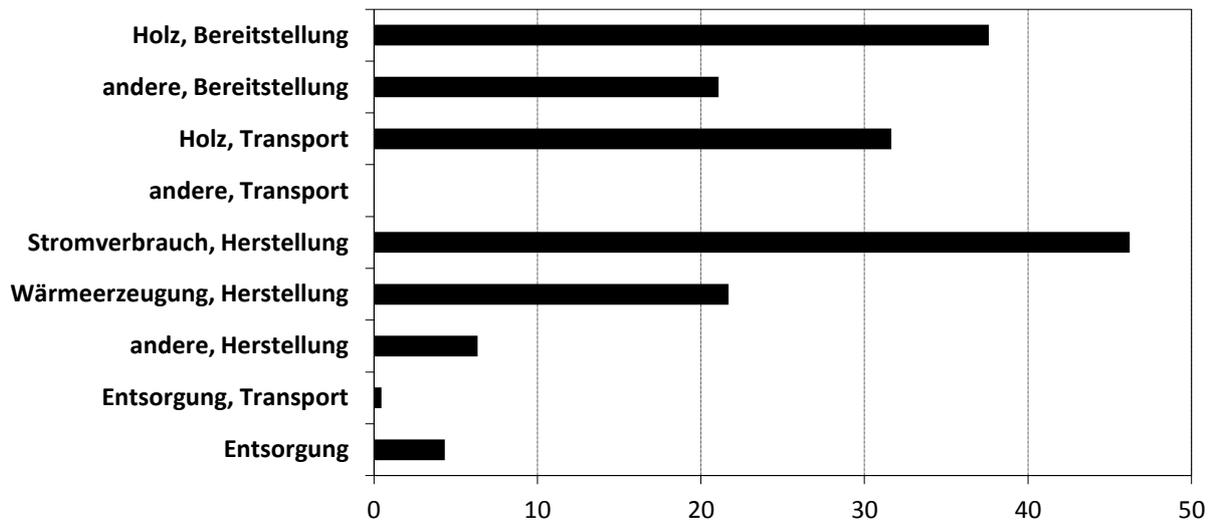


Abbildung 3.2.6.H: Treibhausgasemissionen aus fossilen Quellen nach Modulen A1 bis A3, C2 und C3 (energetisch) [kg CO<sub>2</sub>-Äqv./m<sup>3</sup> Produkt]

Hauptinflussgrößen für die Emission von Treibhausgasen sind der Stromverbrauch im Werk (27 %), sowie die Bereitstellung von Holz (22 %) und dessen Transport (19 %). Daneben spielen die Bereitstellung der Klebstoffe (12 %) und die Erzeugung von Wärme bzw. die Vorkette der Brennstoffe (13 %) eine entscheidende Rolle.

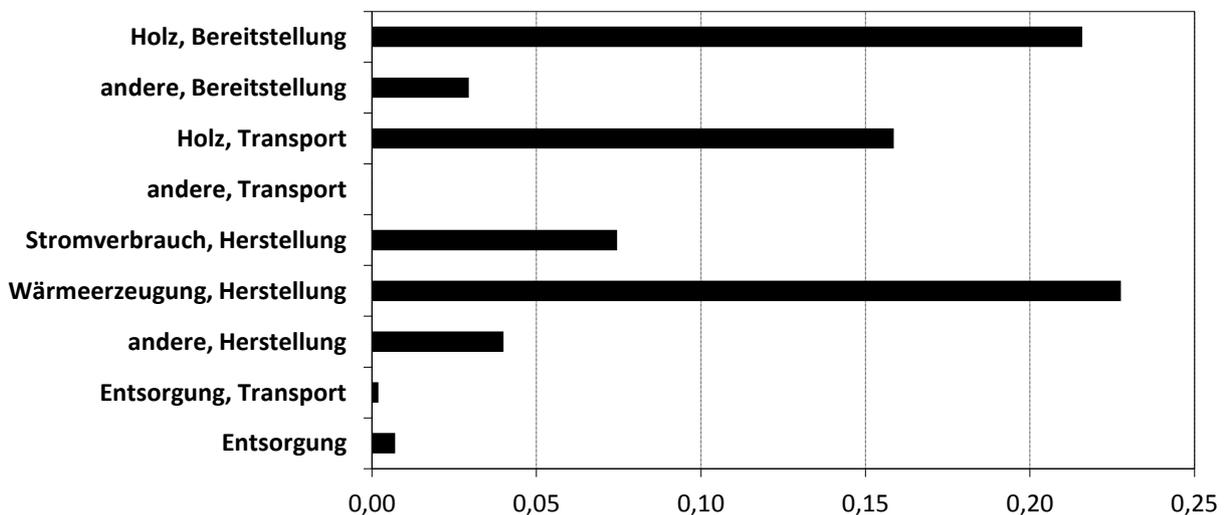


Abbildung 3.2.6.I: Versauerungspotential nach Modulen A1 bis A3, C2 und C3 (energetisch) [kg SO<sub>2</sub>-Äqv./m<sup>3</sup> Produkt]

Großen Einfluss auf das Versauerungspotential haben die Erzeugung von Wärme im Werk (30 %) und die Bereitstellung der Rohstoffe (29 %). Daneben spielen aber auch der Transport der Holzrohstoffe und die damit verbundenen Aufwendungen eine Rolle (21 %).

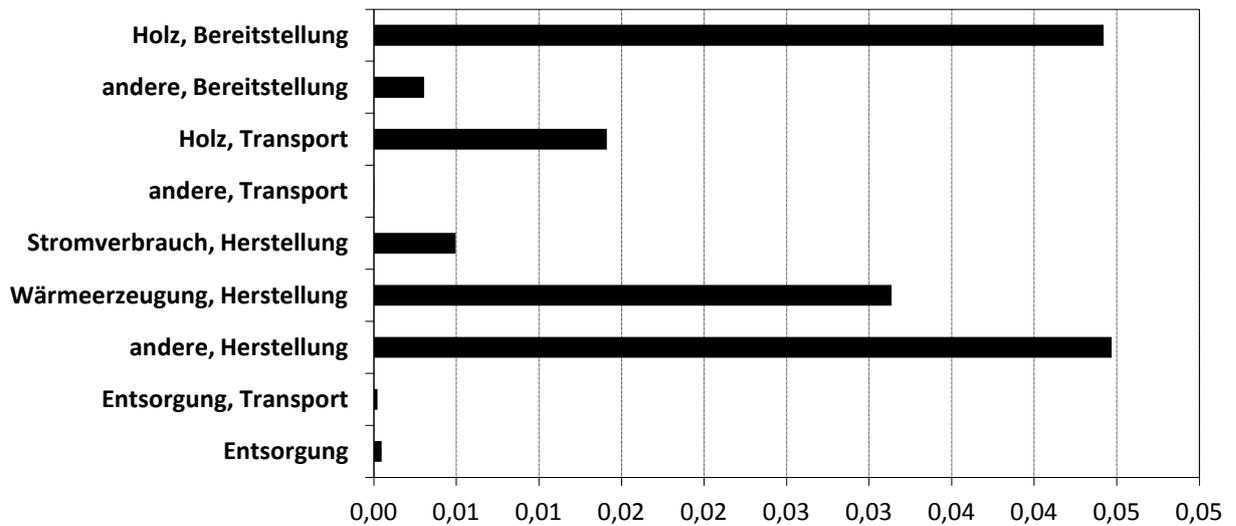


Abbildung 3.2.6.J: Ozonbildungspotential nach Modulen A1 bis A3, C2 und C3 (energetisch) [kg Ethen-Äqv./m³ Produkt]

Ausschlaggebend für das Ozonbildungspotential sind die Emissionen der Klebstoffaushärtung vor Ort sowie der Trocknungsprozesse im Werk (zusammen 31 %). Weiterhin hat die Erzeugung von Wärme (22 %) und die Bereitstellung der Rohstoffe (31 %) einen wesentlichen Anteil.

### 3.2.7 Brettschichtholz, Sonderformen

Brettschichtholz ist ein industriell gefertigtes Produkt für tragende Konstruktionen. Es besteht aus mindestens drei faserparallel miteinander verklebten getrockneten Brettern oder Brettlamellen (keilgezinktes Konstruktionsvollholz) aus Nadelholz. Die im Folgenden aufgeführten Ergebnisse und Parameter beziehen sich auf gekrümmte horizontal laminierte Träger (Sonderformen). Tabelle 3.2.7.A zeigt die Zusammensetzung der funktionalen Einheit (1 m<sup>3</sup> Produkt).

Die Verklebung von Brettschichtholz Sonderformen wird vornehmlich mittels Melamin-Harnstoff-Formaldehyd Bindemitteln durchgeführt. Teilweise werden auch 1 Komponenten Polyurethan-Bindemittel genutzt. Die keilgezinkten Lamellen werden analog zu den Konstruktionsvollhölzern verklebt. Die in Tabelle 4.2.A dargestellten Inhaltsstoffe beschreiben den durchschnittlich eingesetzten Bindemittelmix. Im Einzelfall werden maximal zwei verschiedene Klebstofftypen genutzt.

Tabelle 3.2.7.A: Zusammensetzung der funktionalen Einheit am Werkstor

Stoff	Am Werkstor	
	[kg/m <sup>3</sup> ]	Anteil [%]
Holz	442,59	87,050
<i>davon Kohlenstoff</i>	221,30	43,525
Wasser	53,11	10,446
Melamin-Harnstoff-Formaldehyd Bindemittel	11,18	2,199
Phenol-Resorzin-Bindemittel	1,49	0,293
1 Komponenten Polyurethan-Bindemittel	0,05	0,011
<b>Gesamt</b>	<b>508,43</b>	

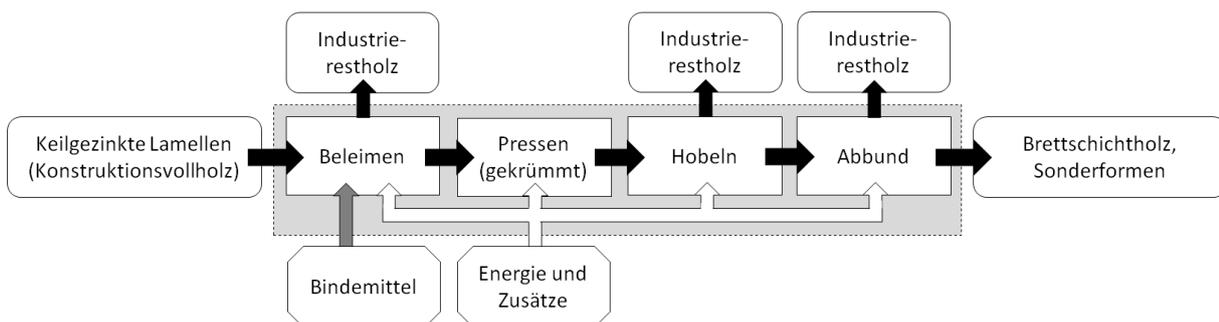


Abbildung 3.2.7.A: Schematische Darstellung der Herstellung von Brettschichtholz, Sonderformen

Für die Herstellung von Brettschichtholz Sonderformen wird konventionelles Schnittholz zunächst auf etwa 12 % Holzfeuchte getrocknet, vorgehobelt und visuell bzw. maschinell nach Festigkeit sortiert. Identifizierte Brettabschnitte mit festigkeitsvermindernden Stellen werden abhängig von der erwünschten Festigkeitsklasse ausgekappt und die entstandenen Bretter durch Keilzinkenverbindung zu endlos langen Lamellen gestoßen. Im darauf folgenden Vorhobelprozess werden die Lamellen auf bis

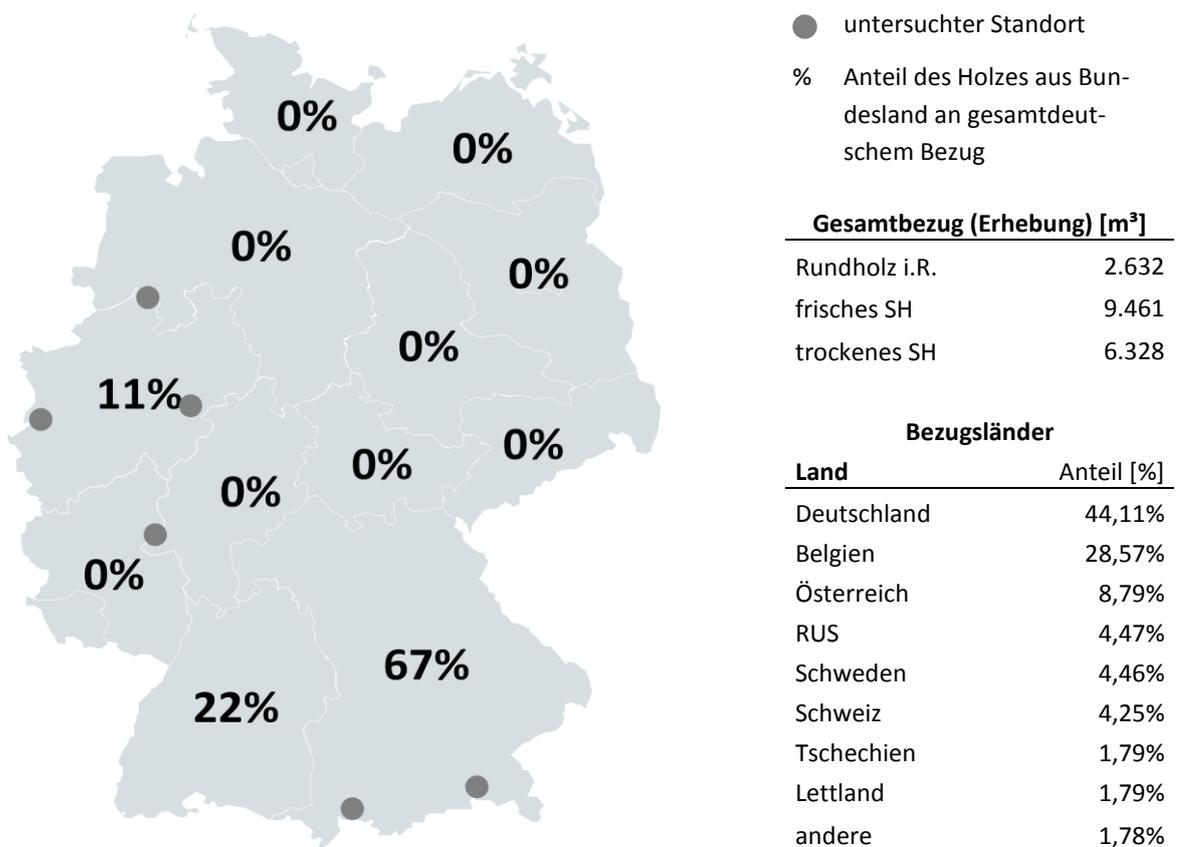
zu 45 mm Stärke gehobelt, um nach Beleimung der Breitseite im gekrümmten Pressbett zu mindesten 3-lagigen Holzrohlingen verpresst zu werden. Nach Aushärtung wird der Rohling gehobelt, gefast, abgebunden und verpackt. Tabelle 3.2.7.B zeigt die verwendeten Verpackungsmaterialien je funktionaler Einheit (1 m<sup>3</sup> Produkt).

**Tabelle 3.2.7.B: Verwendete Verpackungsmaterialien**

Verpackungsmaterial	[kg/m <sup>3</sup> ]
PE Folie	0,589

Der Rohstoffpreis für 1 m<sup>3</sup> des Rohstoffmix in Form von Rundholz und Schnittholz beträgt 101,44 € und das aus dem Produkt resultierende Altholz (Altholz AI) wird auf einen Wert von 11 € geschätzt (vgl. Tabelle 2-4). Damit ergibt sich bei der Berechnung des Szenarios der allgemeinen Verwertung nach ILCD eine Gutschrift in Höhe von 10,8 % der Aufwendungen der Bereitstellung der Holzrohstoffe.

Durchschnittlich wurden die Holzrohstoffe über eine Distanz von 468 km transportiert. Der größte Anteil der bezogenen Rohstoffe ist frisches Schnittholz. Etwa 44 % der bezogenen Holzrohstoffe stammen aus Deutschland, 29 % aus Belgien, 8 % aus Österreich (Abbildung 3.2.1.B).



**Abbildung 3.2.1.B: Rohholzherkunft für die Herstellung der funktionalen Einheit**

Tabelle 3.2.1.C bildet die Sachbilanz für Brettschichtholz, Sonderformen inklusive der bei der Produktion entstehenden Nebenprodukte ab. Die funktionale Einheit ist die Bereitstellung von 1 m<sup>3</sup> des Produktes am Werkstor. Die Sachbilanz erfolgt ohne Darstellung der Vorketten.

**Tabelle 3.2.7.C: Sachbilanz für die Herstellung von Brettschichtholz, Sonderformen**

Fluss	Menge	Einheit
<b>INPUT</b>		
<b>Holzrohstoffe</b>		
Rundholz in Rinde	0,235	m <sup>3</sup>
Schnittholz, waldfrisch	0,845	m <sup>3</sup>
Schnittholz, kammergetrocknet	0,565	m <sup>3</sup>
<b>Strom</b>	128,290	kWh
<b>Brennstoffe</b>		
Erdgas	5,418	MJ
Heizöl leicht	1,217	MJ
Altholz	175,994	MJ
IRH Zukauf	253,457	MJ
IRH eigene Produktion	1624,543	MJ
Rinde eigene Produktion	113,352	MJ
<b>Betriebsmittel</b>		
Diesel	1,828	kg
Maschinenöl	0,110	kg
Schneidstoffe	0,023	kg
Reinigungsmittel	0,015	kg
Reifen	0,190	kg
Trinkwasser	0,021	kg
Oberflächenwasser	41,530	kg
Motoröl	0,026	kg
<b>Bindemittel</b>		
Melamin Harnstoff Formaldehyd Bindemittel	11,182	kg
Phenol Resorzin Formaldehyd Bindemittel	1,492	kg
Polyurethan Bindemittel	0,054	kg

<b>OUTPUT</b>		
<b>Produkte</b>		
Brettschichtholz, Sonderformen	1,000	m <sup>3</sup>
Nebenprodukte (Späne und Hackschnitzel)	0,645	m <sup>3</sup>
<b>Emissionen aus</b>		
Verbrennung Brennstoffe	siehe Hintergrunddaten	
Verbrennung Diesel in Kraftprozess		
Abbinden der Klebstoffe		
<b>Sonstiges</b>		
Abfälle	0,364	kg
Asche	siehe Hintergrunddaten	
Abwasser /teilweise als Emission in Luft	41,551	kg

Tabelle 3.2.7.D: Zusammenfassung aller Wirkungsindikatoren, Ressourceneinsätze und Outputflüsse

Parameter	Einheit	Bereitstellung der Rohstoffe (A1)	Transport (A2)	Herstellungsprozess (A3)	Summe cradle to gate (A1 - A3)	maximale Abweichung +%/-%	Transport zum Entsorger (C2)	Abfallwirtschaft (C3)	energetische Verwertung (D)	stoffliche Verwertung (D)	Verrechnung von A1 nach ILCD
<b>Ergebnisse Umweltauswirkung</b>											
GWP	[kg CO <sub>2</sub> -Äqv.]	-7,49E+02	1,91E+01	8,37E+01	<b>-6,46E+02</b>	+43/-32	4,60E-01	8,15E+02	-3,66E+02	-9,80E+00	-3,61E+00
ODP	[kg CFC11-Äqv.]	5,20E-06	4,62E-08	1,92E-05	<b>2,44E-05</b>	+67/-55	9,19E-10	1,19E-06	-8,39E-05	-7,39E-07	-5,18E-07
AP	[kg SO <sub>2</sub> -Äqv.]	2,61E-01	8,26E-02	3,02E-01	<b>6,45E-01</b>	+51/-15	1,97E-03	6,98E-03	-3,77E-01	-4,94E-02	-2,53E-02
EP	[kg PO <sub>43</sub> -Äqv.]	6,49E-02	1,90E-02	5,14E-02	<b>1,35E-01</b>	+46/-8	4,57E-04	5,89E-04	-3,62E-03	-1,06E-02	-5,22E-03
POCP	[kg Ethen-Äqv.]	5,03E-02	8,78E-03	7,38E-02	<b>1,33E-01</b>	+38/-8	2,14E-04	4,64E-04	-2,53E-02	-6,22E-03	-5,18E-03
ADPE	[kg Sb-Äqv.]	5,70E-04	4,53E-07	1,23E-04	<b>6,94E-04</b>	+73/-35	9,70E-09	1,23E-07	-6,35E-06	-4,12E-07	-6,11E-05
ADPF	[MJ]	9,32E+02	2,69E+02	9,30E+02	<b>2,13E+03</b>	+47/-21	6,49E+00	4,62E+01	-4,13E+03	-1,52E+02	-6,93E+01
<b>Ergebnisse Ressourceneinsatz</b>											
PERE	[MJ]	7,54E+02	3,97E-01	1,16E+03	<b>1,91E+03</b>		8,59E-03	4,70E+00	-3,37E+02	-8,54E+03	-8,12E+01
PERM	[MJ]	8,53E+03	0,00E+00	0,00E+00	<b>8,53E+03</b>		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	-9,25E+02
PERT	[MJ]	9,28E+03	3,97E-01	1,16E+03	<b>1,04E+04</b>		8,59E-03	4,70E+00	-3,37E+02	-8,54E+03	-1,01E+03
PENRE	[MJ]	9,83E+02	2,71E+02	1,60E+03	<b>2,85E+03</b>		6,52E+00	8,78E+01	-7,68E+03	-3,44E+02	-4,99E+01
PENRM	[MJ]	1,27E+02	0,00E+00	0,00E+00	<b>1,27E+02</b>		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
PENRT	[MJ]	1,11E+03	2,71E+02	1,60E+03	<b>2,98E+03</b>		6,52E+00	8,78E+01	-7,68E+03	-3,44E+02	-4,99E+01
SM	[kg]	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	<b>0,00E+00</b>		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	2,29E+02	0,00E+00
RSF	[MJ]	5,66E+01	0,00E+00	8,65E+01	<b>1,43E+02</b>		0,00E+00	0,00E+00	4,41E+03	0,00E+00	-6,14E+00
NRSF	[MJ]	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	<b>0,00E+00</b>		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
FW	[m <sup>3</sup> ]	8,74E+02	5,41E+00	8,77E+02	<b>1,76E+03</b>		1,22E-01	4,99E+01	3,43E+03	-2,43E+02	-7,30E+01
<b>Ergebnisse Outputflüsse und Abfallkategorien</b>											
HWD	[kg]	7,61E-02	0,00E+00	2,92E-02	<b>1,05E-01</b>		0,00E+00	0,00E+00	1,50E+00	1,28E-03	-9,45E-04
NHWD	[kg]	2,40E-02	0,00E+00	5,06E-03	<b>2,90E-02</b>		0,00E+00	0,00E+00	4,55E-05	-4,34E-06	-2,65E-03
RWD	[kg]	6,30E-02	5,78E-04	2,38E-01	<b>3,02E-01</b>		1,15E-05	1,49E-02	-1,05E+00	-8,27E-03	-5,29E-03
CRU	[kg]	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	<b>0,00E+00</b>		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
MFR	[kg]	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	<b>0,00E+00</b>		0,00E+00	5,09E+02	0,00E+00	-5,09E+02	0,00E+00
MER	[kg]	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	<b>0,00E+00</b>		0,00E+00	5,09E+02	-5,09E+02	0,00E+00	0,00E+00
EE1	[MJ]	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	<b>0,00E+00</b>		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
EE2	[MJ]	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	<b>0,00E+00</b>		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00

Alle nicht genannten Module fallen unter den Bereich „MND“ (= „Modul nicht deklariert“). <sup>1</sup> Strom & <sup>2</sup> Wärme

**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 Sekundär-brennstoffe; NRSF = Nicht erneuerbare Sekundär-brennstoffe; 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 (Institute of Environmental Sciences Faculty of Science Universität Leiden, Niederlande) verwendet. Der Charakterisierungsfaktor für den Verbrauch von abiotischen Ressourcen (fossile Stoffe) ist der jeweilige unterer Heizwert am Extraktionspunkt des fossilen Brennstoffs. Langzeitemissionen (> 100 Jahre) werden in der Wirkungsabschätzung nicht berücksichtigt.

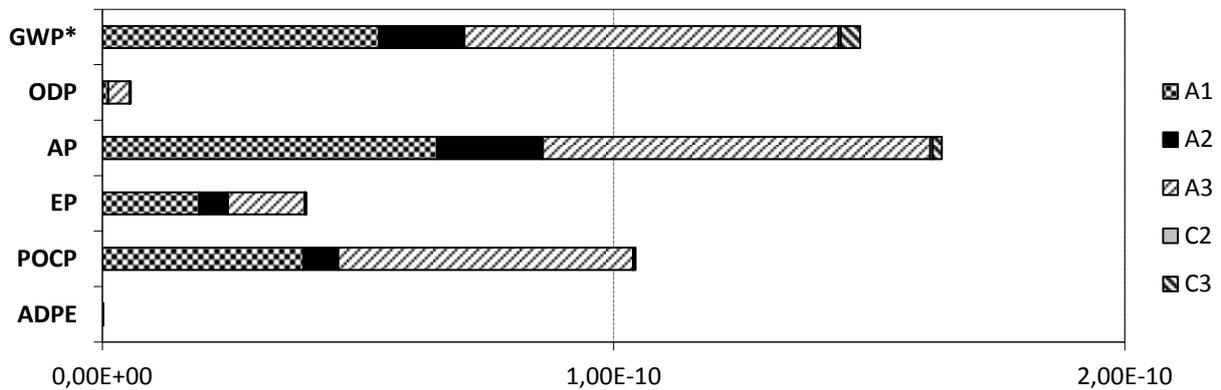


Abbildung 3.2.7.C: Wirkungspotentiale normiert nach deutschen Gesamtemissionen (ohne Modul D) für die Module A1 bis A3, C2 und C3 (energetisch) [%/100 der deutschen Gesamtemissionen]

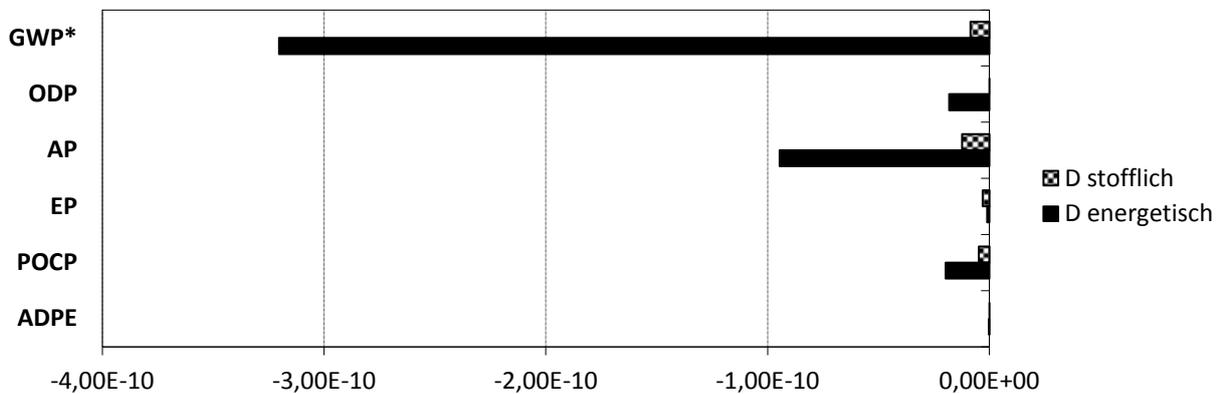


Abbildung 3.2.7.D: Wirkungspotentiale normiert nach deutschen Gesamtemissionen für die Szenarien im Modul D (stofflich und energetisch) [%/100 der deutschen Gesamtemissionen]

Tabelle 3.2.7.E: Haupteinflussfaktoren auf die Ergebnisse der drei relevantesten Wirkungsindikatoren (nach Normierung) [kg/m³]

Nr.	Indikator	Σ (A1 bis A3)	Haupteinflussfaktoren
1	<b>AP</b> Versauerungspotential [SO <sub>2</sub> -Äqv.]	0,645	21,6% - Schnittholz(trocken)vorkette ; 21% - Wärmeproduktion ; 11,4% - Schnittholzvorkette ; 10,2% - Transport Schnittholz ; 9,3% - Werkslogistik ; 4,1% - MUF Klebstoff ; 2,6% - Transport Rundholz ; 2,4% - Strom Trocknung Prozess ; 2,4% - Strom Dickenverleimung Prozess ; 1,7% - PRF Klebstoff ; 1,6% - Rundholzvorkette ; Rest 11,7%
2	<b>GWP</b> Treibhausgaspotential – fossil [CO <sub>2</sub> -Äqv.]	164,769	12,7% - MUF Klebstoff ; 12,6% - Schnittholz(trocken)vorkette ; 9,5% - Schnittholzvorkette ; 9,3% - Transport Schnittholz ; 7,1% - Wärmeproduktion ; 5,8% - Strom Trocknung Prozess ; 5,8% - Strom Dickenverleimung Prozess ; 4,1% - Werkslogistik ; 3,3% - Strom Dickenverleimung Sonstig ; 2,8% - Strom Abbund Prozess ; 2,5% - Strom Längsverleimen Prozess ; Rest 24,5%
3	<b>POCP</b> Ozonbildungspotential [Ethen-Äqv.]	0,133	27,1% - Schnittholz(trocken)vorkette ; 23,3% - Prozess Trocknung ; 14,6% - Wärmeproduktion ; 6,9% - Schnittholzvorkette ; 6% - Zusätze Emissionen vor Ort ; 5,9% - Werkslogistik ; 5,3% - Transport Schnittholz ; 1,9% - MUF Klebstoff ; 1,3% - Transport Rundholz ; 1,1% - Rundholzvorkette ; 0,8% - Strom Trocknung Prozess ; Rest 5,8%

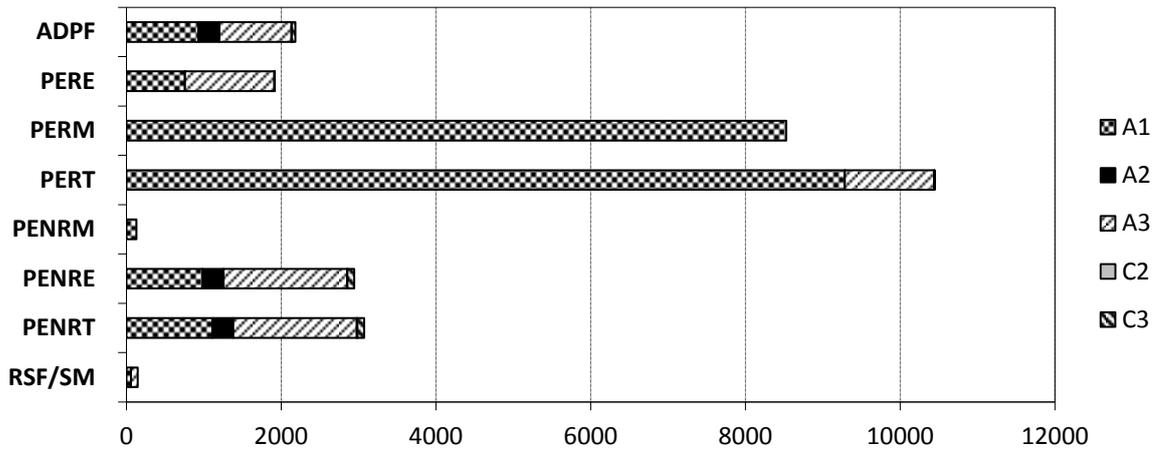


Abbildung 3.2.7.E: Einsatz von Ressourcen in den Modulen A1 bis A3, C2 und C3 (energetisch) [MJ/m³]

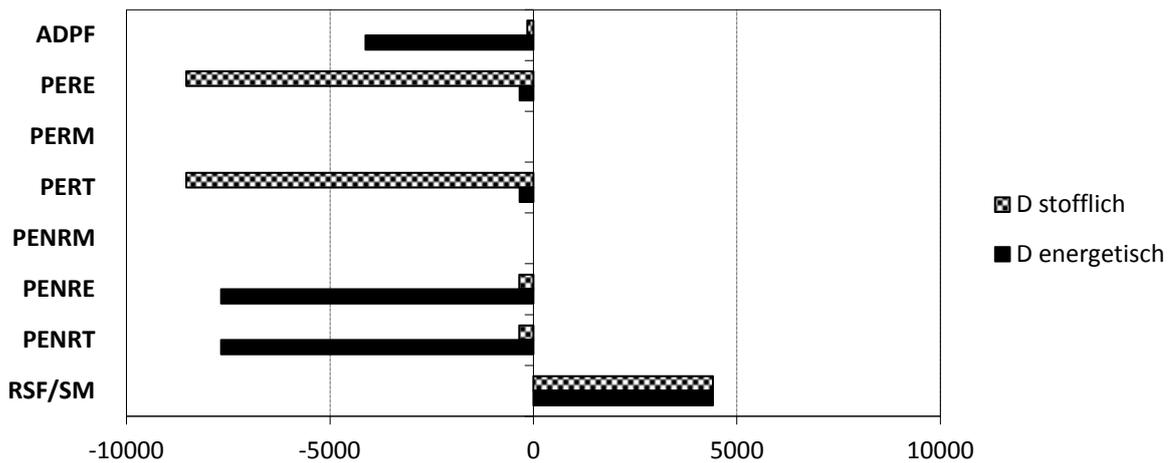


Abbildung 3.2.7.F: Gut- und Lastschriften für Ressourcen in Modul D stofflich und D energetisch [MJ/m³]

Tabelle 3.2.7.F: Hauptsächlichste Verwendung der eingesetzten Primärenergie und der Ressourcen [MJ/m³]

Primärenergietyp	Σ (A1 bis A3)	Hauptsächlichste Verwendung
<b>PERE</b> Erneuerbare Primärenergie als Energieträger [MJ]	1912	Holz als Brennstoff für die Wärmeerzeugung
<b>PENRE</b> Nicht-erneuerbare Primärenergie als Energieträger [MJ]	2850	15% - MUF Klebstoff ; 10,6% - Schnittholz(trocken)vorkette ; 8,2% - Schnittholzvorkette ; 7,3% - Transport Schnittholz ; 6,5% - Strom Trocknung Prozess ; 6,5% - Strom Dickenverleimung Prozess ; 5,8% - Wärmeproduktion ; 3,7% - Strom Dickenverleimung Sonstig ; 3,2% - Strom Abbund Prozess ; 3,1% - Werkslogistik ; 2,8% - Strom Längsverleimen Prozess ; Rest 27,3%
<b>RSF</b> Erneuerbare Sekundärbrennstoffe [MJ]	143	Altholz als Brennstoff für die Wärmeerzeugung

Tabelle 3.2.7.G: Relation des Einsatzes ausgewählter Primärenergietypen zueinander

Primärenergietyp	Relation	Primärenergietyp
<b>PERE</b> Erneuerbare Primärenergie als Energieträger [MJ]	1 : 4,46	<b>PERM</b> Erneuerbare Primärenergie zur stofflichen Nutzung [MJ]
<b>PENRE</b> Nicht-erneuerbare Primärenergie als Energieträger [MJ]	1 : 2,99	<b>PERM</b> Erneuerbare Primärenergie zur stofflichen Nutzung [MJ]
<b>PERE</b> Erneuerbare Primärenergie als Energieträger [MJ]	1 : 1,49	<b>PENRE</b> Nicht-erneuerbare Primärenergie als Energieträger [MJ]

Von der insgesamt eingesetzten Masse an Holz ohne Nebenprodukte werden bis zum Werkstor etwa 18 % zur Erzeugung von Wärme verbrannt. Der Anteil an eingesetzter fossiler Energie entspricht etwa 1/3 des Energieinhalts des Produktes. Der Anteil eingesetzter Energie aus erneuerbaren Quellen ist kleiner als der Anteil an Energie aus fossilen Quellen.

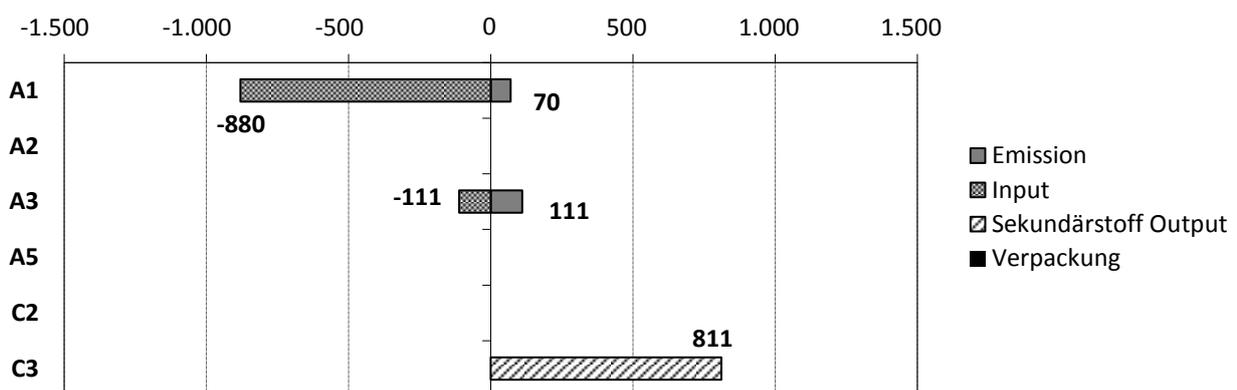


Abbildung 3.2.7.G: Bilanz der Kohlenstoffflüsse in der Holzbiomasse [kg CO<sub>2</sub>]

Insgesamt werden durch den Rohstoff Holz etwa 991 kg CO<sub>2</sub> (gespeichert in Biomasse) in dem System eingesetzt. Davon werden 70 kg CO<sub>2</sub> im Verlauf der Vorketten und 111 im Rahmen der Wärmeerzeugung vor Ort emittiert. Die im Produkt gespeicherte Menge an Kohlenstoff wird während der Entsorgung in Modul C3 entweder als Emission in Höhe von 811 kg CO<sub>2</sub> oder in Form von Altholz dem System entzogen.

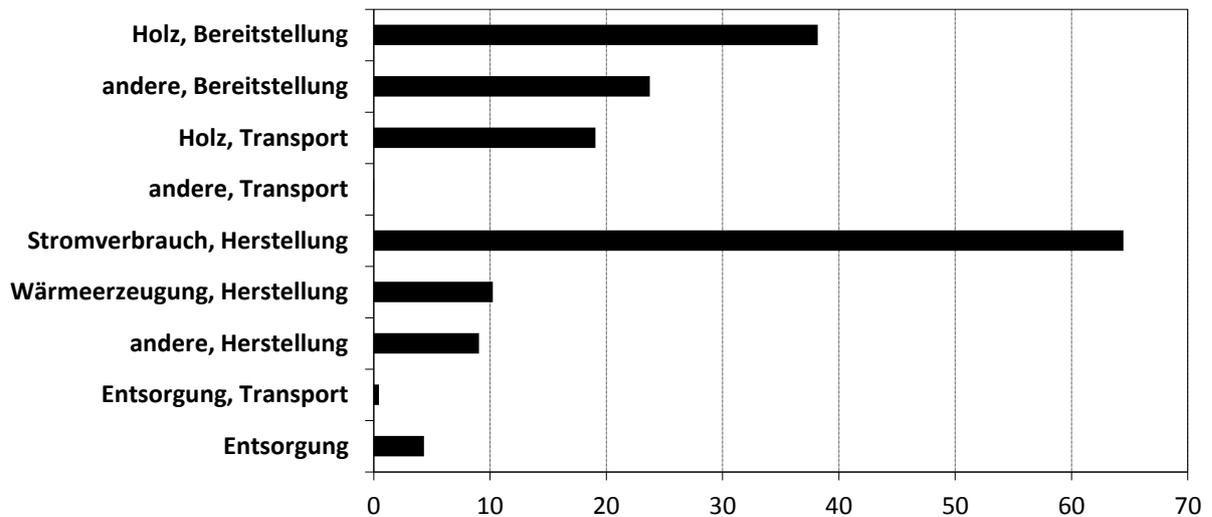


Abbildung 3.2.7.H: Treibhausgasemissionen aus fossilen Quellen nach Modulen A1 bis A3, C2 und C3 (energetisch) [kg CO<sub>2</sub>-Äqv./m<sup>3</sup> Produkt]

Ausschlaggebend für das Treibhausgaspotential sind der Stromverbrauch vor Ort (38 %), die Bereitstellung von Holz (23 %) und dessen Transport (11 %). Daneben spielt die Bereitstellung der Klebstoffe (14 %) sowie die Erzeugung von Wärme (6 %) eine entscheidende Rolle.

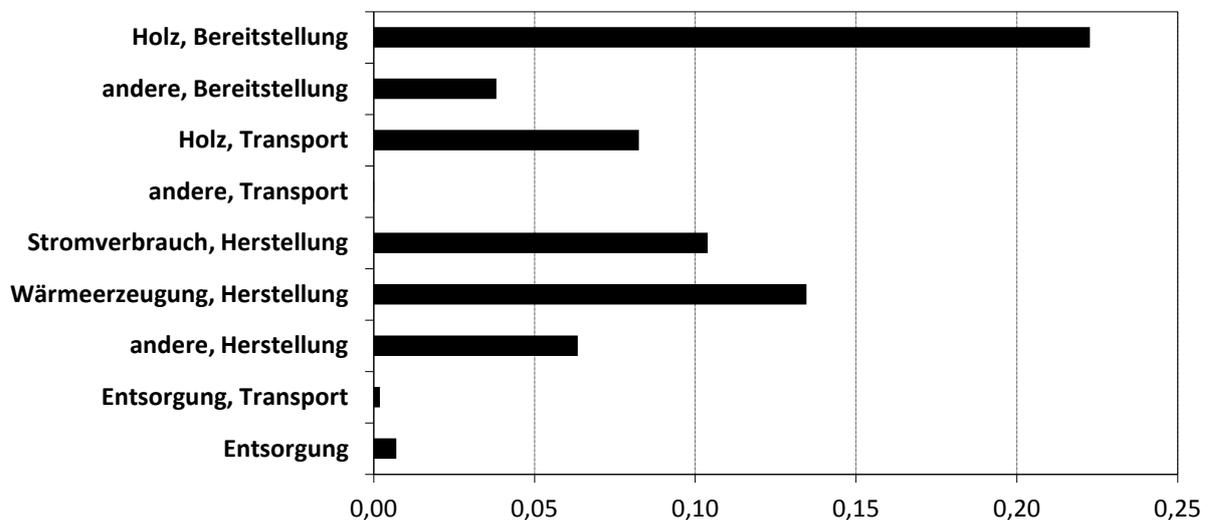
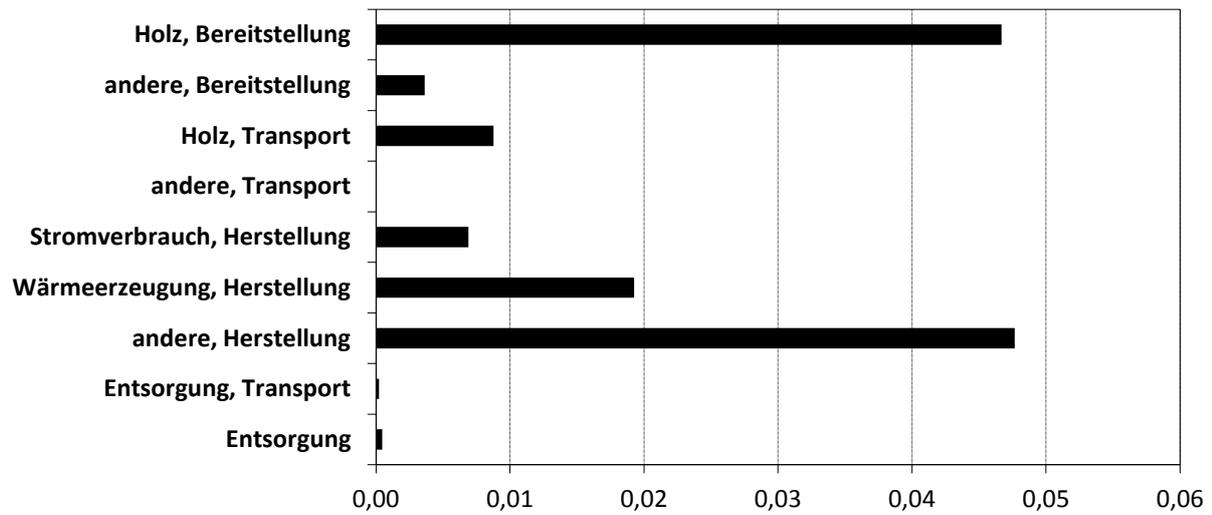


Abbildung 3.2.7.I: Versauerungspotential nach Modulen A1 bis A3, C2 und C3 (energetisch) [kg SO<sub>2</sub>-Äqv./m<sup>3</sup> Produkt]

Wesentliche Quellen des Versauerungspotentials sind die Erzeugung von Wärme vor Ort (21 %) und die Bereitstellung der Rohstoffe (34 %). Daneben spielen die Transporte der Holzrohstoffe (13 %) und der Stromverbrauch (16 %) eine Rolle.



**Abbildung 3.2.7.J: Ozonbildungspotential nach Modulen A1 bis A3, C2 und C3 (energetisch) [kg Ethen-Äqv./m³ Produkt]**

Ausschlaggebend für das Ozonbildungspotential sind die Emissionen der Klebstoffaushärtung vor Ort sowie der Trocknungsprozesse in der Vorkette und im Werk.

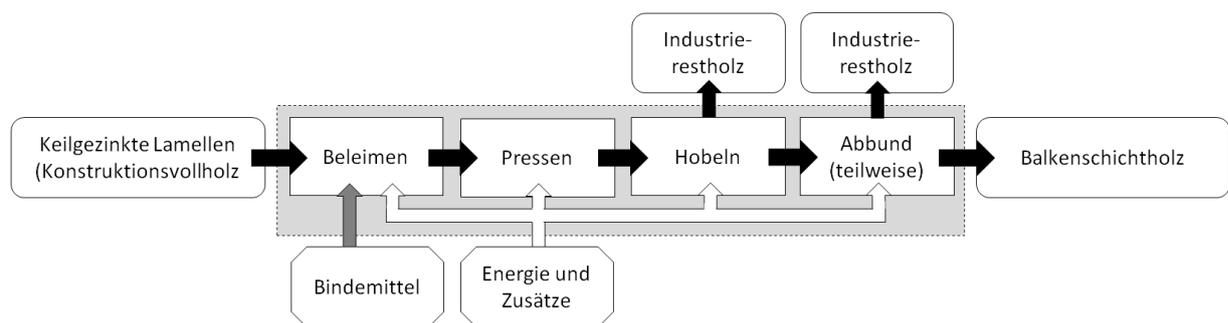
### 3.2.8 Balkenschichtholz

Balkenschichtholz ist ein industriell gefertigtes Produkte für tragende Konstruktionen. Es besteht aus zwei bzw. drei flachseitig, faserparallel miteinander verklebten Bohlen oder Kanthölzern aus Nadelholz. Das Herstellverfahren entspricht dem von Brettschichtholz, Standardträgern wobei größere Einzelquerschnitte miteinander verklebt werden. Tabelle 3.2.8.A zeigt die Zusammensetzung der funktionalen Einheit (1 m<sup>3</sup> Produkt).

Die Verklebung von Balkenschichtholz wird vornehmlich mittels Melamin-Harnstoff-Formaldehyd Bindemittel durchgeführt. Teilweise werden auch 1 Komponenten Polyurethan-Bindemittel genutzt. Die keilgezinkten Lamellen werden analog zu den Konstruktionsvollhölzern verklebt. Die in Tabelle 3.2.8.A dargestellten Inhaltsstoffe beschreiben den durchschnittlich eingesetzten Bindemittelmix. Im Einzelfall werden maximal zwei verschiedene Klebstofftypen genutzt.

**Tabelle 3.2.8.A: Zusammensetzung der funktionalen Einheit am Werkstor**

Stoff	Am Werkstor	
	[kg/m <sup>3</sup> ]	Anteil [%]
Holz	442,28	88,392
<i>davon Kohlenstoff</i>	<i>221,14</i>	<i>44,196</i>
Wasser	53,07	10,607
Melamin-Harnstoff-Formaldehyd Bindemittel	3,279	0,655
Phenol-Resorzin-Bindemittel	0,154	0,031
1 Komponenten Polyurethan-Bindemittel	1,547	0,309
Emulsion-Polymer-Isocyanat-Bindemittel	0,026	0,005
<b>Gesamt</b>	<b>500,36</b>	



**Abbildung 3.2.8.A: Schematische Darstellung der Herstellung**

Für die Herstellung von Balkenschichtholz wird konventionelles Schnittholz zunächst auf etwa 12 % Holzfeuchte getrocknet, vorgehobelt und visuell bzw. maschinell nach Festigkeit sortiert. Identifizierte Brettabschnitte mit festigkeitsvermindernden Stellen werden abhängig von der erwünschten Festigkeitsklasse ausgekappt und die entstandenen Bretter durch Keilzinkenverbindung zu endlos langen

Lamellen gestoßen. Im darauf folgenden Vorhobelprozess werden die Lamellen auf 45 mm – 120 mm Stärke gehobelt, um nach Beleimung der Breitseite im Pressbett zu 2- oder 3-lagigen Holzrohlingen verpresst zu werden. Nach Aushärtung wird der Rohling gehobelt, gefast, teilweise abgebunden und verpackt. Tabelle 3.2.8.B zeigt die verwendeten Verpackungsmaterialien je funktionaler Einheit (1 m<sup>3</sup> Produkt).

**Tabelle 3.2.8.B: Verwendete Verpackungsmaterialien**

Verpackungsmaterial	[kg/m <sup>3</sup> ]
Vollholz	2,104
PE Folie	0,760
Papier und Pappe	0,035
andere Kunststoffe	0,001

Der Rohstoffpreis für 1 m<sup>3</sup> des Rohstoffmix (Rundholz und Schnittholz) beträgt 99,07 € und für das aus dem Produkt resultierende Altholz (Al) 11 € (vgl. Tabelle 2-4). Somit ergibt sich bei der Berechnung des Szenarios der allgemeinen Verwertung nach ILCD eine Gutschrift in Höhe von 11,1 % der Aufwendungen der Bereitstellung der Holzrohstoffe.

Durchschnittlich wurden die Holzrohstoffe über eine Distanz von 369 km transportiert. Der größte Anteil der bezogenen Rohstoffe ist frisches Schnittholz. Etwa 50 % der bezogenen Holzrohstoffe stammen aus Deutschland, jeweils 11 bis 13 % aus Österreich, Tschechien und Schweden. Der erhobene Rohstoffbezug wird in Abbildung 3.2.1.B dargestellt.

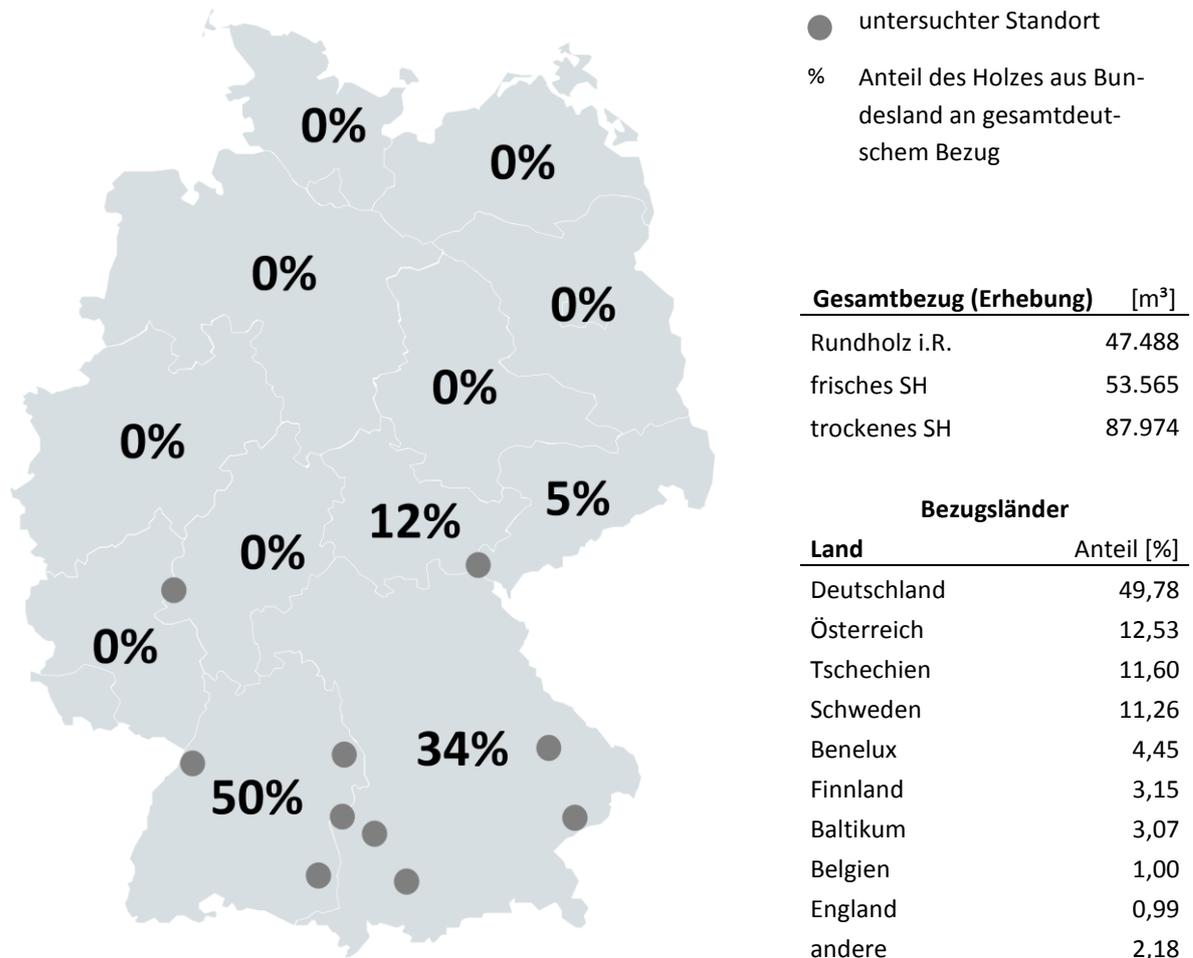


Abbildung 3.2.1.B: Rohholzherkunft für die Herstellung der funktionalen Einheit

Tabelle 3.2.8.C bildet die Sachbilanz für Balkenschichtholz inklusive der bei der Produktion entstehenden Nebenprodukte ab. Die funktionale Einheit ist die Bereitstellung von 1 m<sup>3</sup> des Produktes am Werkstor. Die Sachbilanz erfolgt ohne Darstellung der Vorketten.

Tabelle 3.2.8.C: Sachbilanz für die Herstellung von Balkenschichtholz

Fluss	Menge	Einheit
<b>INPUT</b>		
<b>Holzrohstoffe</b>		
Rundholz in Rinde	0,389	m <sup>3</sup>
Schnittholz, waldfrisch	0,438	m <sup>3</sup>
Schnittholz, kammergetrocknet	0,720	m <sup>3</sup>
<b>Strom</b>	97,744	kWh
<b>Brennstoffe</b>		
Erdgas	65,578	MJ
Heizöl leicht	10,571	MJ
andere (auch Pflanzenöle)	49,823	MJ
Altholz	97,772	MJ
IRH eigene Produktion	911,632	MJ
Rinde eigene Produktion	116,197	MJ
<b>Betriebsmittel</b>		
Diesel	1,217	kg
Maschinenöl	0,101	kg
Schneidstoffe	0,019	kg
Reinigungsmittel	0,019	kg
Reifen	0,123	kg
Trinkwasser	0,020	kg
Oberflächenwasser	29,955	kg
Motoröl	0,013	kg
<b>Bindemittel</b>		
Melamin Harnstoff Formaldehyd Bindemittel	3,279	kg
Phenol Resorzin Formaldehyd Bindemittel	0,154	kg
Polyurethan Bindemittel	1,547	kg
Emulsion-Polymer-Isocyanat	0,026	kg
<b>OUTPUT</b>		
<b>Produkte</b>		
Balkenschichtholz	1,000	m <sup>3</sup>
Nebenprodukte (Späne und Hackschnitzel)	0,547	m <sup>3</sup>
<b>Emissionen aus</b>		
Verbrennung Brennstoffe	siehe Hintergrunddaten	
Verbrennung Diesel in Kraftprozess		
Abbinden der Klebstoffe		
<b>Sonstiges</b>		
Abfälle	0,275	kg
Asche	siehe Hintergrunddaten	
Abwasser /teilweise als Emission in Luft	29,975	kg

Tabelle 3.2.8.D: Zusammenfassung aller Wirkungsindikatoren, Ressourceneinsätze und Outputflüsse

Parameter	Einheit	Bereitstellung der Rohstoffe (A1)	Transport (A2)	Herstellungsprozess (A3)	Summe cradle to gate (A1 - A3)	maximale Abweichung +%/-%	Transport zum Entsorger (C2)	Abfallwirtschaft (C3)	energetische Verwertung (D)	stoffliche Verwertung (D)	Verrechnung von A1 nach ILCD
<b>Ergebnisse Umweltauswirkung</b>											
GWP	[kg CO <sub>2</sub> -Äqv.]	-7,55E+02	1,39E+01	6,72E+01	<b>-6,74E+02</b>	+161/-29	4,50E-01	8,15E+02	-3,67E+02	-1,21E+01	-6,19E+00
ODP	[kg CFC11-Äqv.]	5,02E-06	3,79E-08	1,54E-05	<b>2,05E-05</b>	+251/-41	8,99E-10	1,19E-06	-8,38E-05	-1,17E-06	-9,88E-07
AP	[kg SO <sub>2</sub> -Äqv.]	2,72E-01	6,02E-02	2,20E-01	<b>5,52E-01</b>	+68/-13	1,93E-03	6,98E-03	-3,78E-01	-5,21E-02	-3,16E-02
EP	[kg PO <sub>43</sub> -Äqv.]	6,08E-02	1,39E-02	3,60E-02	<b>1,11E-01</b>	+32/-17	4,48E-04	5,89E-04	-3,74E-03	-1,07E-02	-6,12E-03
POCP	[kg Ethen-Äqv.]	6,05E-02	6,43E-03	5,06E-02	<b>1,17E-01</b>	+28/-12	2,09E-04	4,64E-04	-2,53E-02	-6,44E-03	-6,72E-03
ADPE	[kg Sb-Äqv.]	6,71E-04	3,20E-07	9,44E-05	<b>7,66E-04</b>	+30/-85	9,50E-09	1,23E-07	-6,40E-06	-5,04E-07	-7,26E-05
ADPF	[MJ]	7,47E+02	1,96E+02	7,66E+02	<b>1,71E+03</b>	+151/-35	6,35E+00	4,62E+01	-4,14E+03	-1,90E+02	-1,10E+02
<b>Ergebnisse Ressourceneinsatz</b>											
PERE	[MJ]	1,03E+03	3,12E-01	7,35E+02	<b>1,77E+03</b>		8,41E-03	4,70E+00	-3,37E+02	-8,53E+03	-1,14E+02
PERM	[MJ]	8,52E+03	0,00E+00	4,05E+01	<b>8,56E+03</b>		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	-9,46E+02
PERT	[MJ]	9,55E+03	3,12E-01	7,75E+02	<b>1,03E+04</b>		8,41E-03	4,70E+00	-3,37E+02	-8,53E+03	-1,06E+03
PENRE	[MJ]	8,69E+02	1,98E+02	1,30E+03	<b>2,37E+03</b>		6,38E+00	8,78E+01	-7,37E+03	-3,43E+02	-6,22E+01
PENRM	[MJ]	5,00E+01	0,00E+00	0,00E+00	<b>5,00E+01</b>		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
PENRT	[MJ]	9,19E+02	1,98E+02	1,30E+03	<b>2,42E+03</b>		6,38E+00	8,78E+01	-7,37E+03	-3,43E+02	-6,22E+01
SM	[kg]	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	<b>0,00E+00</b>		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	2,25E+02	0,00E+00
RSF	[MJ]	7,90E+01	0,00E+00	1,09E+02	<b>1,88E+02</b>		0,00E+00	0,00E+00	4,33E+03	0,00E+00	-8,78E+00
NRSF	[MJ]	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	<b>0,00E+00</b>		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
FW	[m <sup>3</sup> ]	8,27E+02	4,12E+00	6,95E+02	<b>1,53E+03</b>		1,20E-01	4,99E+01	3,42E+03	-2,24E+02	-6,01E+01
<b>Ergebnisse Outputflüsse und Abfallkategorien</b>											
HWD	[kg]	6,61E-02	0,00E+00	2,47E-02	<b>9,08E-02</b>		0,00E+00	0,00E+00	1,51E+00	1,70E-02	1,48E-02
NHWD	[kg]	3,04E-02	0,00E+00	6,23E-03	<b>3,66E-02</b>		0,00E+00	0,00E+00	4,55E-05	-4,11E-06	-3,14E-03
RWD	[kg]	6,08E-02	4,74E-04	1,91E-01	<b>2,53E-01</b>		1,12E-05	1,49E-02	-1,05E+00	-8,27E-03	-5,77E-03
CRU	[kg]	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	<b>0,00E+00</b>		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
MFR	[kg]	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	<b>0,00E+00</b>		0,00E+00	5,00E+02	0,00E+00	-5,00E+02	0,00E+00
MER	[kg]	0,00E+00	0,00E+00	2,10E+00	<b>2,10E+00</b>		0,00E+00	5,00E+02	-5,02E+02	-2,10E+00	0,00E+00
EE1	[MJ]	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	<b>0,00E+00</b>		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
EE2	[MJ]	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	<b>0,00E+00</b>		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00

Alle nicht genannten Module fallen unter den Bereich „MND“ (= „Modul nicht deklariert“). <sup>1</sup> Strom & <sup>2</sup> Wärme

**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 (Institute of Environmental Sciences Faculty of Science Universität Leiden, Niederlande) verwendet. Der Charakterisierungsfaktor für den Verbrauch von abiotischen Ressourcen (fossile Stoffe) ist der jeweilige unterer Heizwert am Extraktionspunkt des fossilen Brennstoffs. Langzeitemissionen (> 100 Jahre) werden in der Wirkungsabschätzung nicht berücksichtigt.

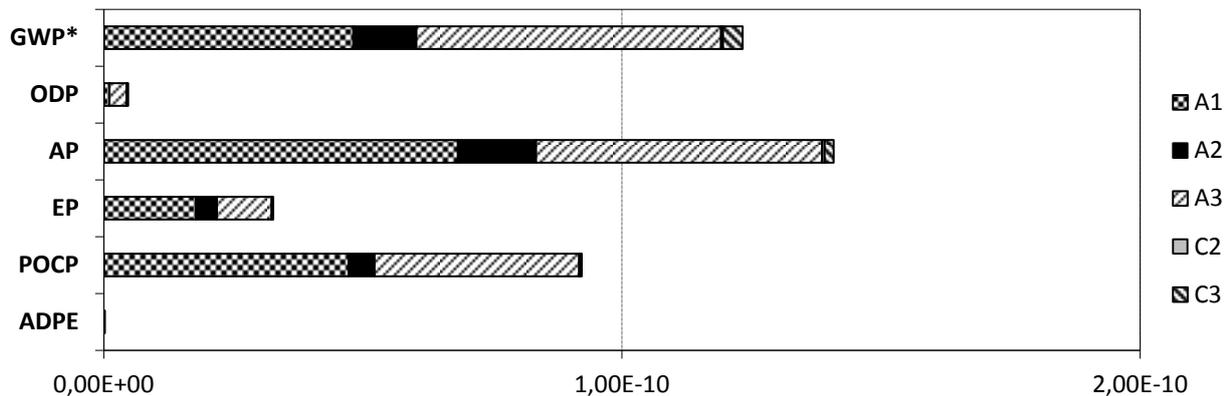


Abbildung 3.2.8.C: Wirkungspotentiale normiert nach deutschen Gesamtemissionen (ohne Modul D) für die Module A1 bis A3, C2 und C3 (energetisch) [%/100 der deutschen Gesamtemissionen]

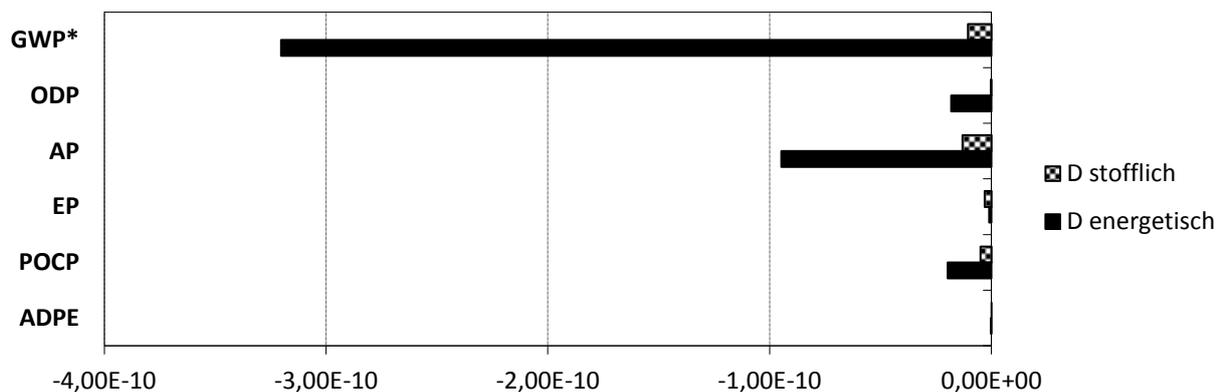


Abbildung 3.2.8.D: Wirkungspotentiale normiert nach deutschen Gesamtemissionen für die Szenarien im Modul D (stofflich und energetisch) [%/100 der deutschen Gesamtemissionen]

Tabelle 3.2.8.E: Haupteinflussfaktoren auf die Ergebnisse der drei relevantesten Wirkungsindikatoren (nach Normierung) [kg/m<sup>3</sup>]

Nr.	Indikator	Σ (A1 bis A3)	Haupteinflussfaktoren
1	<b>AP</b> Versauerungspotential [SO <sub>2</sub> -Äqv.]	0,552	35,2% - Schnittholz(trocken)vorkette ; 16,5% - Wärmeproduktion ; 9,4% - Transport Schnittholz ; 7,2% - Werkslogistik ; 6,6% - Schnittholzvorkette ; 4,7% - Strom Dickenverleimung Prozess ; 3,3% - Rundholzvorkette ; 2,4% - PUR Klebstoffe ; 1,7% - Strom Trocknung Prozess ; 1,6% - MUF Klebstoff ; Rest 11,4%
2	<b>GWP</b> Treibhausgaspotential – fossil [CO <sub>2</sub> -Äqv.]	136,258	21,2% - Schnittholz(trocken)vorkette ; 11,8% - Strom Dickenverleimung Prozess ; 8,8% - Transport Schnittholz ; 6% - Wärmeproduktion ; 5,8% - PUR Klebstoffe ; 5,7% - Schnittholzvorkette ; 5% - MUF Klebstoff ; 4,2% - Strom Trocknung Prozess ; 3,3% - Strom Abrichten Prozess ; 3,3% - Werkslogistik ; Rest 24,9%
3	<b>POCP</b> Ozonbildungspotential [Ethen-Äqv.]	0,117	42,8% - Schnittholz(trocken)vorkette ; 20,1% - Prozess Trocknung ; 10,7% - Wärmeproduktion ; 4,7% - Transport Schnittholz ; 4,4% - Werkslogistik ; 3,9% - Schnittholzvorkette ; 2,2% - Rundholzvorkette ; 2% - Zusätze Emissionen vor Ort ; 1,7% - PUR Klebstoffe ; 1,5% - Strom Dickenverleimung Prozess ; Rest 6%

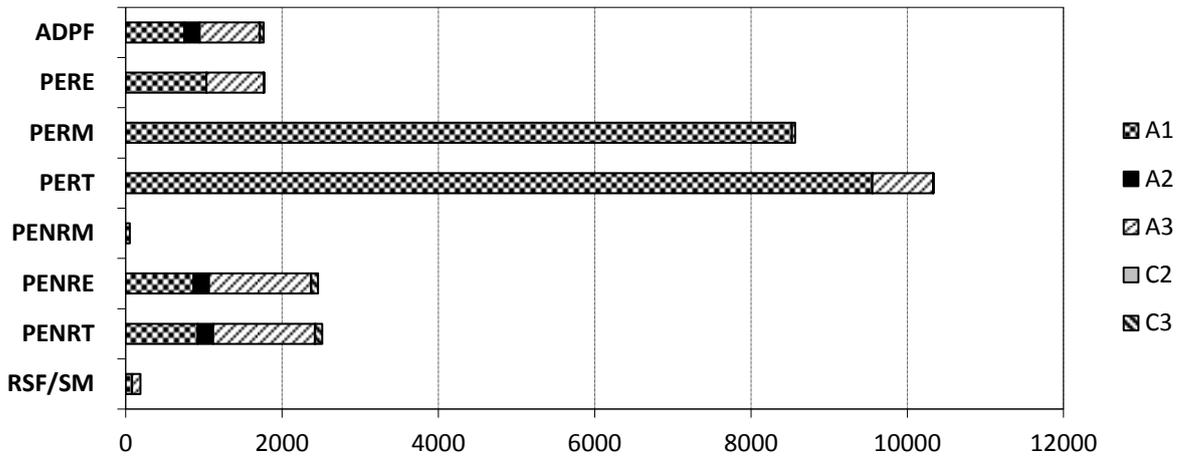


Abbildung 3.2.8.E: Einsatz von Ressourcen in den Modulen A1 bis A3, C2 und C3 (energetisch) [MJ/m³]

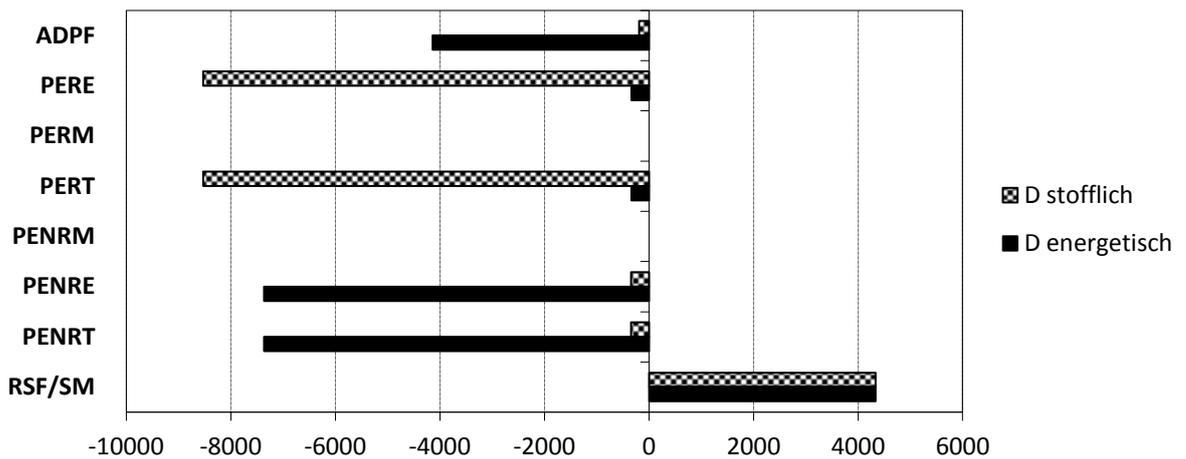


Abbildung 3.2.8.F: Gut- und Lastschriften für Ressourcen in Modul D stofflich und D energetisch [MJ/m³]

Tabelle 3.2.8.F: Hauptsächlichste Verwendung der eingesetzten Primärenergie und der Ressourcen [MJ/m³]

Primärenergietyp	Σ (A1 bis A3)	Hauptsächlichste Verwendung
<b>PERE</b> Erneuerbare Primärenergie als Energieträger [MJ]	1766	Erzeugung von Wärme mit Holz
<b>PENRE</b> Nicht-erneuerbare Primärenergie als Energieträger [MJ]	2368	18,3% - Schnittholz(trocken)vorkette ; 13,4% - Strom Dickenverleimung Prozess ; 7% - Transport Schnittholz ; 6,3% - PUR Klebstoffe ; 6% - MUF Klebstoff ; 5% - Schnittholzvorkette ; 4,9% - Wärmeproduktion ; 4,7% - Strom Trocknung Prozess ; 3,8% - Strom Abrichten Prozess ; 3,1% - Strom egalisieren Prozess ; Rest 27,5%
<b>RSF</b> Erneuerbare Sekundärbrennstoffe [MJ]	188	Erzeugung von Wärme mit Altholz

Tabelle 3.2.8.G: Relation des Einsatzes ausgewählter Primärenergietypen zueinander

Primärenergietyp	Relation	Primärenergietyp
<b>PERE</b> Erneuerbare Primärenergie als Energieträger [MJ]	1 : 4,85	<b>PERM</b> Erneuerbare Primärenergie zur stofflichen Nutzung [MJ]
<b>PENRE</b> Nicht-erneuerbare Primärenergie als Energieträger [MJ]	1 : 3,62	<b>PERM</b> Erneuerbare Primärenergie zur stofflichen Nutzung [MJ]
<b>PERE</b> Erneuerbare Primärenergie als Energieträger [MJ]	1 : 1,34	<b>PENRE</b> Nicht-erneuerbare Primärenergie als Energieträger [MJ]

Von der insgesamt eingesetzten Masse an Holz ohne Nebenprodukte werden bis zum Werkstor etwa 17 % zur Erzeugung von Wärme verbrannt. Der Anteil an eingesetzter fossiler Energie entspricht etwa 2/7 des Energieinhalts des Produktes. Der Anteil eingesetzter Energie aus erneuerbaren Quellen ist kleiner als der Anteil an Energie aus fossilen Quellen.

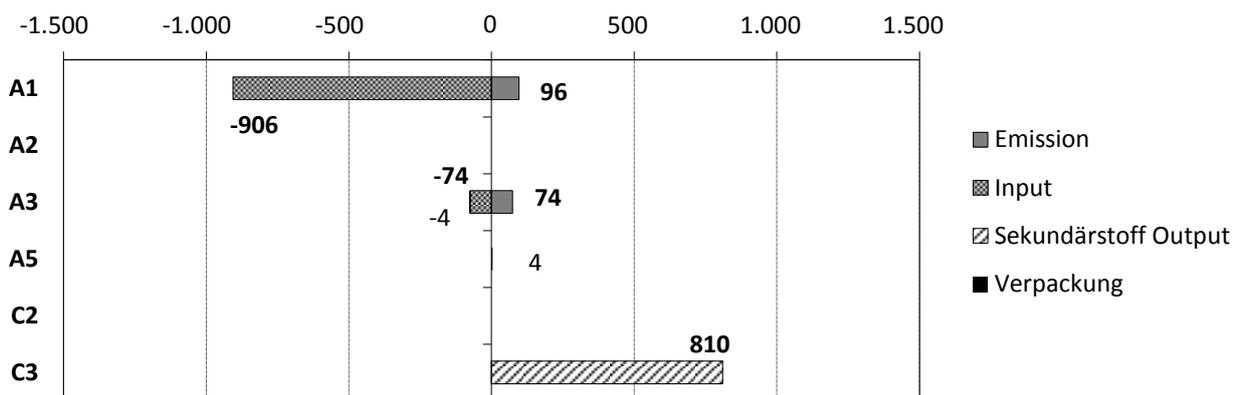


Abbildung 3.2.8.G: Bilanz der Kohlenstoffflüsse in der Holzbiomasse [kg CO<sub>2</sub>]

Insgesamt werden durch den Rohstoff Holz etwa 984 kg CO<sub>2</sub> (gespeichert in Biomasse) in dem System eingesetzt. Davon werden 96 kg CO<sub>2</sub> im Verlauf der Vorketten und 74 im Rahmen der Wärmeerzeugung vor Ort emittiert. Etwa 4 kg CO<sub>2</sub> werden über die Verpackung dem System zugeführt und im Rahmen der Entsorgung der Verpackung wieder emittiert. Die im Produkt gespeicherte Menge an Kohlenstoff wird während der Entsorgung in Modul C3 entweder als Emission in Höhe von 810 kg CO<sub>2</sub> oder in Form von Altholz dem System entzogen.

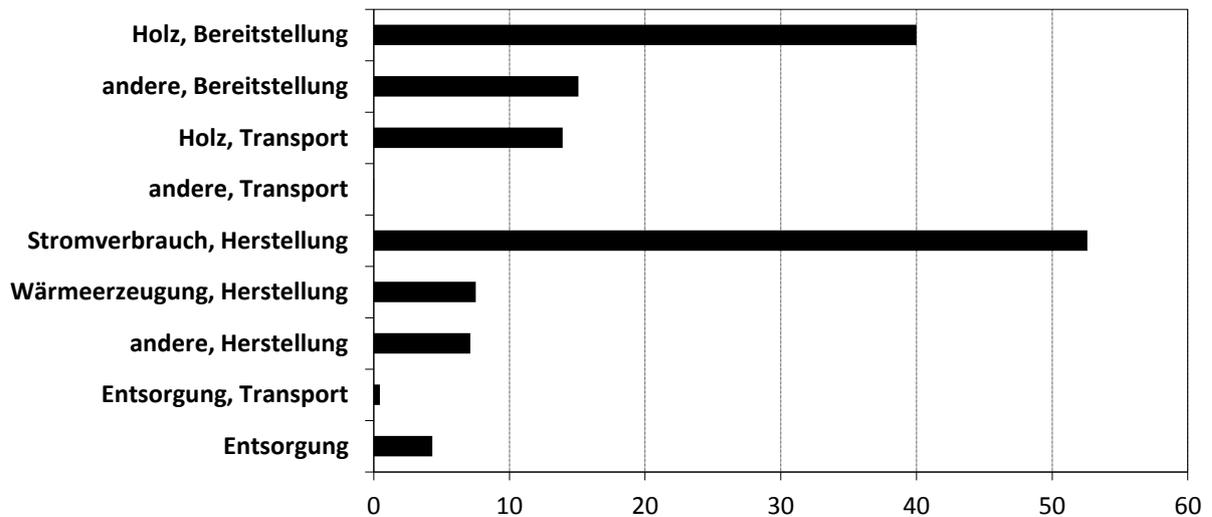


Abbildung 3.2.8.H: Treibhausgasemissionen aus fossilen Quellen nach Modulen A1 bis A3, C2 und C3 (energetisch) [kg CO<sub>2</sub>-Äqv./m<sup>3</sup> Produkt]

Die wesentlichen Quellen des Treibhausgaspotentials sind die Bereitstellung der Holzrohstoffe (28 %) und Bindemittel (11 %) sowie der Stromverbrauch vor Ort (37 %).

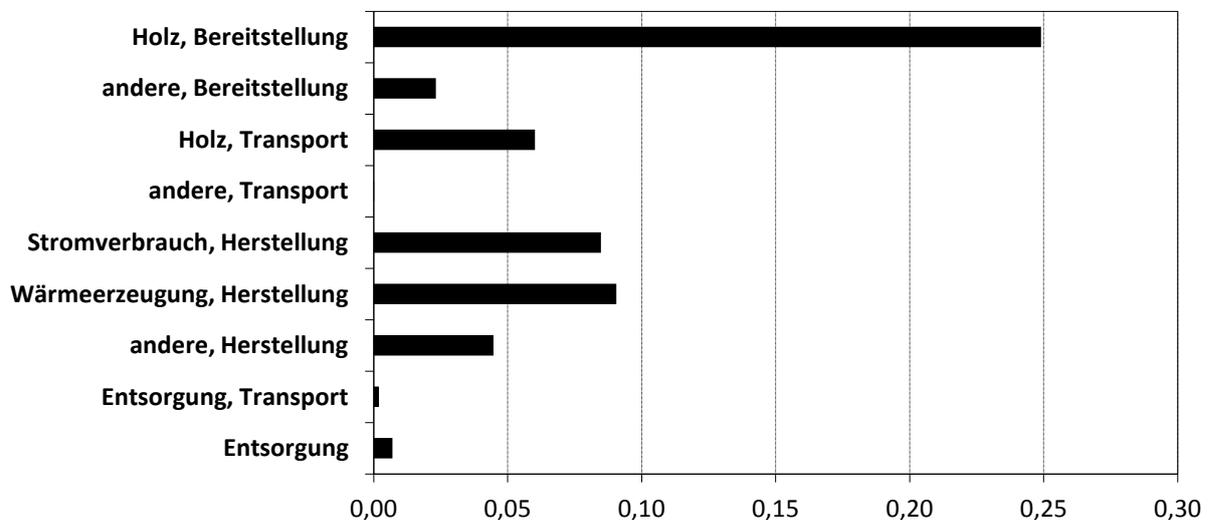


Abbildung 3.2.8.I: Versauerungspotential nach Modulen A1 bis A3, C2 und C3 (energetisch) [kg SO<sub>2</sub>-Äqv./m<sup>3</sup> Produkt]

Die Verbrennung von Holz in den Vorketten und die Erzeugung von Wärme vor Ort haben den größten Einfluss auf das Versauerungspotential. Daher stammen 44 % des Indikatorergebnisses aus der Vorkette und nur 15 % aus dem Stromverbrauch und 16 % aus der Wärmeerzeugung vor Ort.

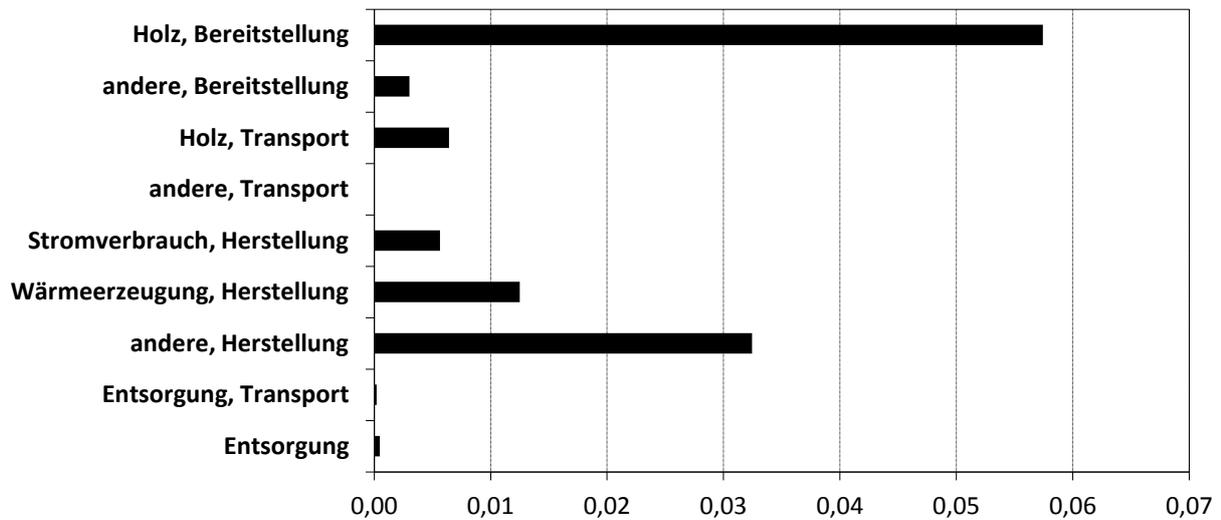


Abbildung 3.2.8.J: Ozonbildungspotential nach Modulen A1 bis A3, C2 und C3 (energetisch) [kg Ethen-Äqv./m³ Produkt]

Ausschlaggebend für das Ozonbildungspotential sind hauptsächlich die Emissionen der Trocknungsprozesse an den Vorketten. Dazu kommen etwa 27 % aus der Trocknung vor Ort (darunter auch Emissionen der Klebstoffaushärtung) sowie 11 % aus der Wärmeerzeugung vor Ort.

### 3.2.9 Brettsperrholz

Brettsperrholz ist ein industriell gefertigtes flächiges Holzprodukt für tragende Zwecke. Es wird als Platten- oder Scheibenelement eingesetzt. Brettsperrholz ist i.d.R. symmetrisch aufgebaut und besteht aus mindestens drei rechtwinklig zueinander verklebten Lagen aus Nadel-schnittholz, wobei die einzelnen Schnitthölzer längs ihrer Schmalseiten ohne oder mit planmäßigem seitlichem Abstand zueinander angeordnet sein können. Bei Brettsperrholz mit mehr als fünf Lagen können gemäß der Vorgaben der jeweiligen bauaufsichtlichen Zulassung bis zu drei benachbarte Vollholzlagen faserparallel miteinander verklebt werden. Die Vollholzlagen haben Dicken zwischen 17 und 45 mm.

Einige bauaufsichtliche Zulassungen erlauben den Einsatz von Lagen aus Holzwerkstoffen wie OSB oder Furnierschichtholz. Zusätzliche, außenseitig angeordnete, nicht tragende Funktionsschichten aus Holz- oder Gipswerkstoffen sind möglich. Im vorliegenden Dokument wird jedoch nur Brettsperrholz ohne Holzwerkstofflage betrachtet. Tabelle 3.2.9.A zeigt die Zusammensetzung der funktionalen Einheit (1 m<sup>3</sup> Produkt).

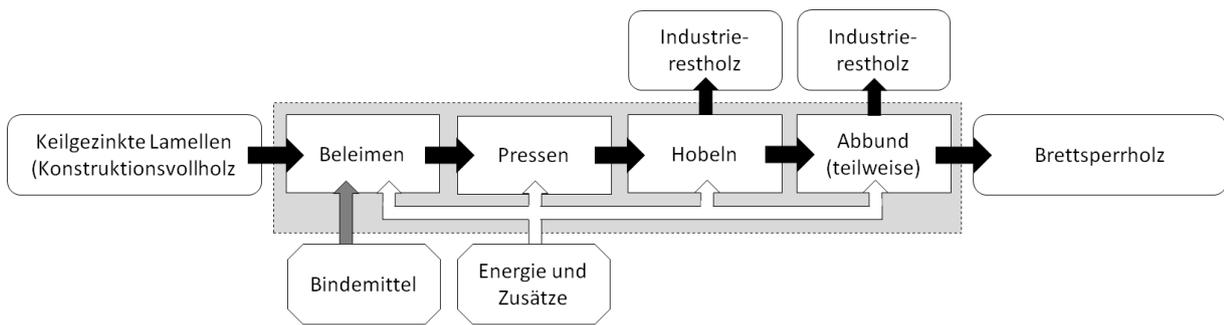
Die Verklebung von Brettsperrholz wird vornehmlich mittels Melamin-Harnstoff-Formaldehyd und 1 Komponenten Polyurethan-Bindemittel durchgeführt. Teilweise kommen Emulsion-Polymer-Isocyanat-Bindemittel zum Einsatz. Die in Tabelle 3.2.9.A dargestellten Inhaltsstoffe beschreiben den durchschnittlich eingesetzten Bindemittelmix. Im Einzelfall werden maximal zwei verschiedene Klebstofftypen genutzt.

**Tabelle 3.2.9.A: Zusammensetzung der funktionalen Einheit am Werkstor**

Stoff	Am Werkstor	
	[kg/m <sup>3</sup> ]	Anteil [%]
Holz	430,23	87,942
<i>davon Kohlenstoff</i>	<i>215,12</i>	<i>43,971</i>
Wasser	51,63	10,553
Melamin-Harnstoff-Formaldehyd Bindemittel	3,983	0,814
1 Komponenten Polyurethan-Bindemittel	3,382	0,691
Emulsion-Polymer-Isocyanat-Bindemittel	0,189	0,039
<b>Gesamt</b>	<b>489,22</b>	

Für die Herstellung von Brettsperrholz werden Bretter und Bohlen aus Nadelholz zunächst auf weniger als 15 % Holzfeuchte getrocknet, vorgehobelt und visuell bzw. maschinell nach der Festigkeit sortiert. Identifizierte Brettabschnitte mit festigkeitsvermindernden Stellen werden abhängig von der erwünschten Festigkeitsklasse ausgekappt und die so entstandenen Brettabschnitte durch Keilzinkenverbindung zu endlos langen Lamellen gestoßen.

Im folgenden Vorhobelprozess werden die Lamellen auf Stärken zwischen 17 mm und 45 mm vierseitig gehobelt. Bei einigen Herstellern werden die Lamellen mittels Schmalseitenverklebung zu einer Einschichtplatte verklebt.



**Abbildung 3.2.9.A: Schematische Darstellung der Herstellung**

Produziert der Brettsperrholzhersteller zunächst Einschichtplatten, so werden diese nach der Aushärtung gehobelt, beleimt und danach in der Presse kreuzweise angeordnet. Hersteller, die ohne Schmalseitenverklebung arbeiten, ordnen unmittelbar die beleimten Lamellen kreuzweise im Pressbett an. Je nach Hersteller können einzelne Lagen aus Holzwerkstoffplatten hergestellt werden, die wiederum herstellerabhängig in den Fugen kraftschlüssig gestoßen sein können. Nach dem Pressen und Aushärten wird der Rohling gehobelt, gefast, abgebunden und verpackt. Tabelle 3.2.9.B zeigt die verwendeten Verpackungsmaterialien je funktionaler Einheit (1 m<sup>3</sup> Produkt).

**Tabelle 3.2.9.B: Verwendete Verpackungsmaterialien**

Verpackungsmaterial	[kg/m <sup>3</sup> ]
PE Folie	0,563

Der Rohstoffpreis für 1 m<sup>3</sup> des Rohstoffmix in Form von Rundholz und Schnittholz beträgt 95,10 € und das aus dem Produkt resultierende Altholz (Altholz AI) wird auf einen Wert von 11 € geschätzt (vgl. Tabelle 2-4). Somit ergibt sich bei der Berechnung des Szenarios der allgemeinen Verwertung nach ILCD eine Gutschrift in Höhe von 11,6 % der Aufwendungen der Bereitstellung der Holzrohstoffe.

Durchschnittlich wurden die Holzrohstoffe über eine Distanz von 188 km transportiert. Der größte Anteil der bezogenen Rohstoffe ist kammergetrocknetes Schnittholz. Etwa 35 % der bezogenen Holzrohstoffe stammen aus Deutschland und 56 % aus Österreich. Der Bezug wird in Abbildung 3.2.9.B dargestellt.

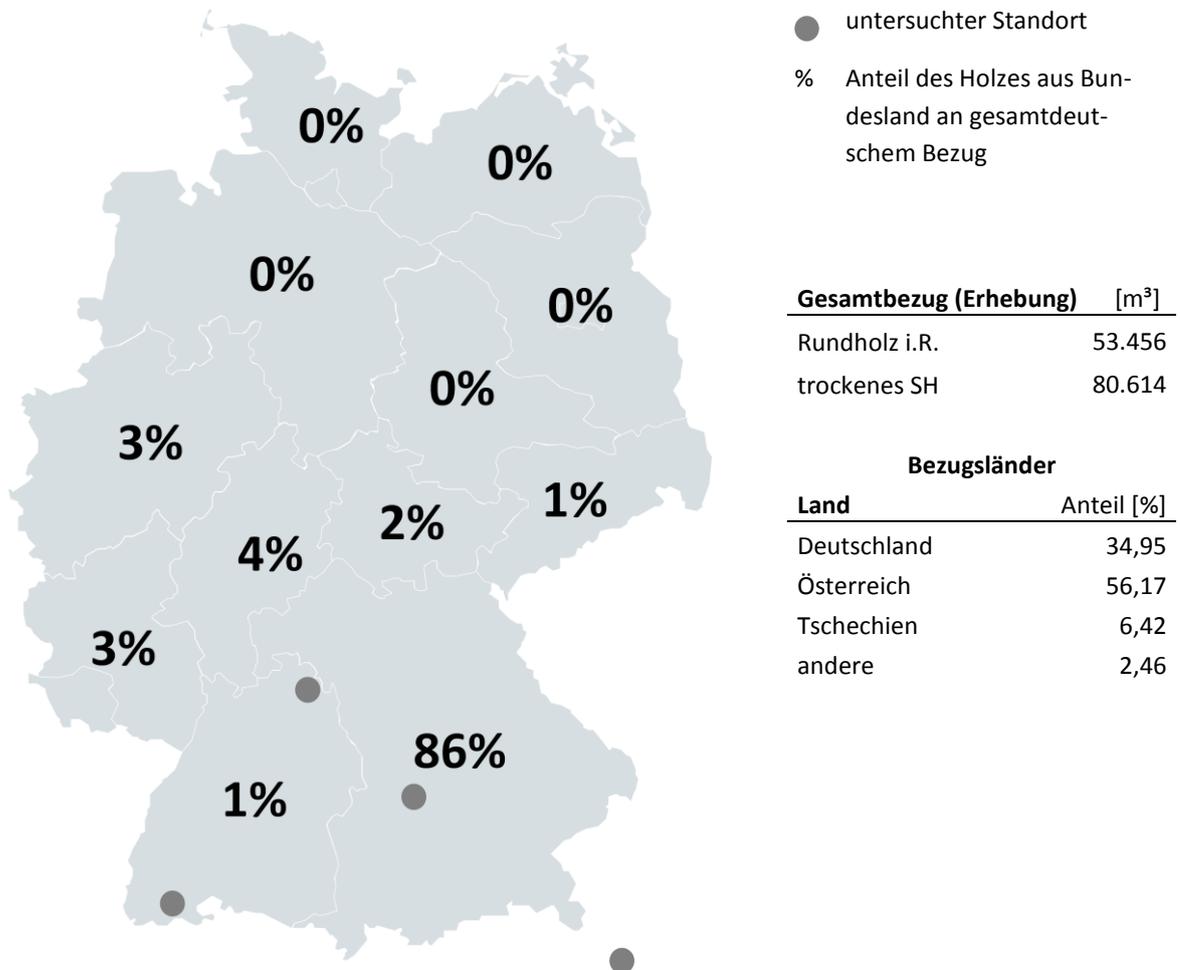


Abbildung 3.2.9.B: Rohholzherkunft für die Herstellung der funktionalen Einheit

Tabelle 3.2.1.C bildet die Sachbilanz für Brettsperrholz inklusive der bei der Produktion entstehenden Nebenprodukte ab. Die funktionale Einheit ist die Bereitstellung von 1 m<sup>3</sup> des Produktes am Werkstor. Die Sachbilanz erfolgt ohne Darstellung der Vorketten.

**Tabelle 3.2.9.C: Sachbilanz für die Herstellung von Brettsperrholz**

Fluss	Menge	Einheit
<b>INPUT</b>		
<b>Holzrohstoffe</b>		
Rundholz in Rinde	0,633	m <sup>3</sup>
Schnittholz, kammergetrocknet	0,955	m <sup>3</sup>
<b>Strom</b>	101,776	kWh
<b>Brennstoffe</b>		
andere (auch Pflanzenöle)	1,167	MJ
IRH eigene Produktion	811,319	MJ
Rinde eigene Produktion	33,561	MJ
<b>Betriebsmittel</b>		
Diesel	1,809	kg
Maschinenöl	0,333	kg
Schneidstoffe	0,017	kg
Reinigungsmittel	0,016	kg
Reifen	0,061	kg
Trinkwasser	88,990	kg
Oberflächenwasser	25,487	kg
Motoröl	0,025	kg
<b>Bindemittel</b>		
Melamin Harnstoff Formaldehyd Bindemittel	3,983	kg
Polyurethan Bindemittel	3,382	kg
Emulsion-Polymer-Isocyanat	0,189	kg

<b>OUTPUT</b>		
<b>Produkte</b>		
Brettsperrholz	1,000	m <sup>3</sup>
Nebenprodukte (Späne und Hackschnitzel)	0,588	m <sup>3</sup>
<b>Emissionen aus</b>		
Verbrennung Brennstoffe	siehe Hintergrunddaten	
Abbinden der Klebstoffe		
Verbrennung Diesel in Kraftprozess		
<b>Sonstiges</b>		
Abfälle	0,435	kg
Asche	siehe Hintergrunddaten	
Abwasser /teilweise als Emission in Luft	114,477	kg

Tabelle 3.2.9.D: Zusammenfassung aller Wirkungsindikatoren, Ressourceneinsätze und Outputflüsse

Parameter	Einheit	Bereitstellung der Rohstoffe (A1)	Transport (A2)	Herstellungsprozess (A3)	Summe cradle to gate (A1 - A3)	maximale Abweichung +%/-%	Transport zum Entsorger (C2)	Abfallwirtschaft (C3)	energetische Verwertung (D)	stoffliche Verwertung (D)	Verrechnung von A1 nach ILCD
<b>Ergebnisse Umweltauswirkung</b>											
GWP	[kg CO <sub>2</sub> -Äqv.]	-7,21E+02	6,49E+00	8,18E+01	<b>-6,32E+02</b>	+17/-17	4,42E-01	7,93E+02	-3,58E+02	-9,54E+00	-4,44E+00
ODP	[kg CFC11-Äqv.]	5,86E-06	4,62E-08	1,92E-05	<b>2,51E-05</b>	+28/-37	8,82E-10	1,19E-06	-8,19E-05	-7,17E-07	-6,19E-07
AP	[kg SO <sub>2</sub> -Äqv.]	3,20E-01	2,80E-02	2,34E-01	<b>5,82E-01</b>	+9/-8	1,90E-03	6,98E-03	-3,68E-01	-4,80E-02	-3,37E-02
EP	[kg PO <sub>43</sub> -Äqv.]	7,14E-02	6,41E-03	3,67E-02	<b>1,14E-01</b>	+13/-5	4,39E-04	5,89E-04	-3,53E-03	-1,03E-02	-7,04E-03
POCP	[kg Ethen-Äqv.]	7,54E-02	2,92E-03	4,30E-02	<b>1,21E-01</b>	+5/-4	2,05E-04	4,64E-04	-2,46E-02	-6,05E-03	-8,21E-03
ADPE	[kg Sb-Äqv.]	8,05E-04	1,74E-07	6,02E-05	<b>8,65E-04</b>	+36/-80	9,32E-09	1,23E-07	-6,20E-06	-4,00E-07	-8,89E-05
ADPF	[MJ]	9,40E+02	9,06E+01	9,02E+02	<b>1,93E+03</b>	+17/-16	6,23E+00	4,62E+01	-4,03E+03	-1,47E+02	-7,59E+01
<b>Ergebnisse Ressourceneinsatz</b>											
PERE	[MJ]	1,35E+03	2,44E-01	5,74E+02	<b>1,93E+03</b>		8,25E-03	4,70E+00	-3,28E+02	-8,30E+03	-1,56E+02
PERM	[MJ]	8,29E+03	0,00E+00	0,00E+00	<b>8,29E+03</b>		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	-9,59E+02
PERT	[MJ]	9,64E+03	2,44E-01	5,74E+02	<b>1,02E+04</b>		8,25E-03	4,70E+00	-3,28E+02	-8,30E+03	-1,11E+03
PENRE	[MJ]	1,07E+03	9,23E+01	1,56E+03	<b>2,72E+03</b>		6,26E+00	8,78E+01	-7,29E+03	-3,34E+02	-6,62E+01
PENRM	[MJ]	7,56E+01	0,00E+00	0,00E+00	<b>7,56E+01</b>		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
PENRT	[MJ]	1,14E+03	9,23E+01	1,56E+03	<b>2,79E+03</b>		6,26E+00	8,78E+01	-7,29E+03	-3,34E+02	-6,62E+01
SM	[kg]	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	<b>0,00E+00</b>		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	2,20E+02	0,00E+00
RSF	[MJ]	1,05E+02	0,00E+00	0,00E+00	<b>1,05E+02</b>		0,00E+00	0,00E+00	4,24E+03	0,00E+00	-1,21E+01
NRSF	[MJ]	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	<b>0,00E+00</b>		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
FW	[m <sup>3</sup> ]	9,10E+02	3,10E+00	9,21E+02	<b>1,83E+03</b>		1,17E-01	4,99E+01	3,34E+03	-2,36E+02	-8,64E+01
<b>Ergebnisse Outputflüsse und Abfallkategorien</b>											
HWD	[kg]	1,00E-01	0,00E+00	3,96E-02	<b>1,40E-01</b>		0,00E+00	0,00E+00	1,46E+00	1,22E-03	-9,93E-04
NHWD	[kg]	3,77E-02	0,00E+00	2,33E-03	<b>4,01E-02</b>		0,00E+00	0,00E+00	4,44E-05	-4,22E-06	-3,84E-03
RWD	[kg]	7,12E-02	5,79E-04	2,35E-01	<b>3,07E-01</b>		1,10E-05	1,49E-02	-1,03E+00	-8,04E-03	-6,59E-03
CRU	[kg]	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	<b>0,00E+00</b>		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
MFR	[kg]	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	<b>0,00E+00</b>		0,00E+00	4,89E+02	0,00E+00	-4,89E+02	0,00E+00
MER	[kg]	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	<b>0,00E+00</b>		0,00E+00	4,89E+02	-4,89E+02	0,00E+00	0,00E+00
EE1	[MJ]	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	<b>0,00E+00</b>		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
EE2	[MJ]	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	<b>0,00E+00</b>		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00

Alle nicht genannten Module fallen unter den Bereich „MND“ (= „Modul nicht deklariert“). <sup>1</sup> Strom & <sup>2</sup> Wärme

**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 (Institute of Environmental Sciences Faculty of Science Universität Leiden, Niederlande) verwendet. Der Charakterisierungsfaktor für den Verbrauch von abiotischen Ressourcen (fossile Stoffe) ist der jeweilige unterer Heizwert am Extraktionspunkt des fossilen Brennstoffs. Langzeitemissionen (> 100 Jahre) werden in der Wirkungsabschätzung nicht berücksichtigt.

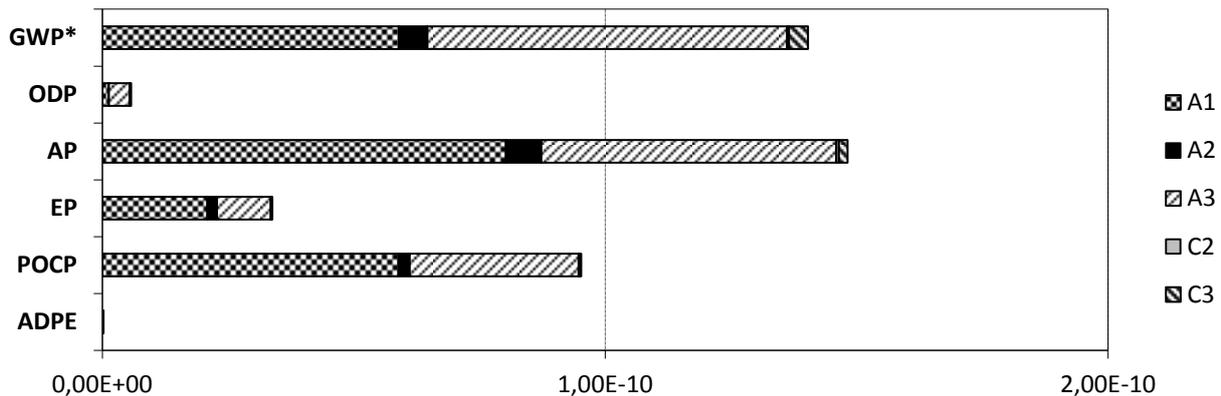


Abbildung 3.2.9.C: Wirkungspotentiale normiert nach deutschen Gesamtemissionen (ohne Modul D) für die Module A1 bis A3, C2 und C3 (energetisch) [%/100 der deutschen Gesamtemissionen]

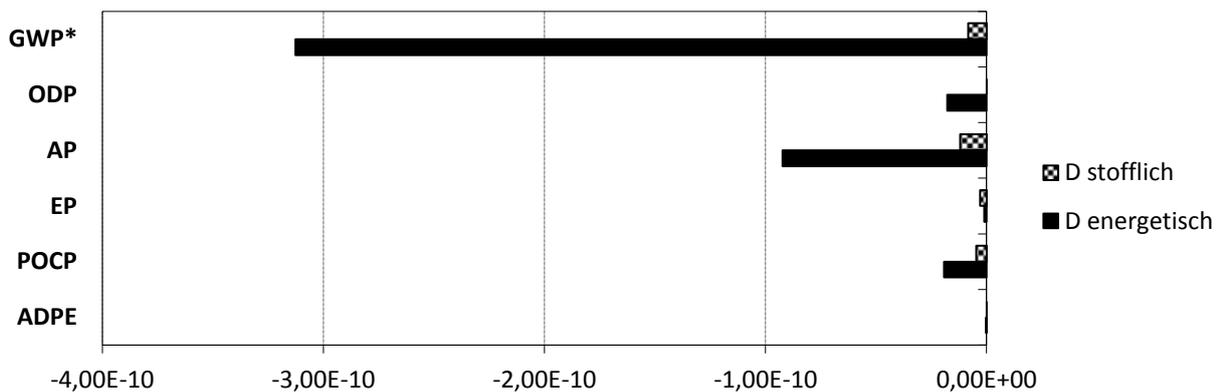


Abbildung 3.2.9.D: Wirkungspotentiale normiert nach deutschen Gesamtemissionen für die Szenarien im Modul D (stofflich und energetisch) [%/100 der deutschen Gesamtemissionen]

Tabelle 3.2.9.E: Haupteinflussfaktoren auf die Ergebnisse der drei relevantesten Wirkungsindikatoren (nach Normierung) [kg/m<sup>3</sup>]

Nr.	Indikator	Σ (A1 bis A3)	Haupteinflussfaktoren
1	<b>AP</b> Versauerungspotential [SO <sub>2</sub> -Äqv.]	0,582	44,3% - Schnittholzvorkette ; 10,2% - Werkslogistik ; 10,2% - Wärmeproduktion ; 4,8% - PUR Klebstoffe ; 4,2% - Rundholzvorkette ; 3,7% - Strom egalisieren Prozess ; 3,7% - Strom egalisieren Sonstiges ; 2,6% - Strom Plattenverleim Prozess ; 2,5% - Transport andere ; Rest 13,8%
2	<b>GWP</b> Treibhausgaspotential – fossil [CO <sub>2</sub> -Äqv.]	155,757	24,6% - Schnittholzvorkette ; 10,7% - PUR Klebstoffe ; 8,5% - Strom egalisieren Prozess ; 8,5% - Strom egalisieren Sonstiges ; 6% - Strom Plattenverleim Prozess ; 5,1% - MUF Klebstoff ; 4,3% - Strom Längsverleimen Prozess ; 4,2% - Werkslogistik ; 3,9% - Strom Abbund Prozess ; Rest 24,2%
3	<b>POCP</b> Ozonbildungspotential [Ethen-Äqv.]	0,121	55% - Schnittholzvorkette ; 12,5% - Prozess Trocknung ; 7,1% - Wärmeproduktion ; 6,4% - Werkslogistik ; 3,6% - PUR Klebstoffe ; 2,8% - Rundholzvorkette ; 2,1% - Zusätze Emissionen vor Ort ; 1,3% - Transport andere ; 1,2% - Strom egalisieren Prozess ; Rest 8%

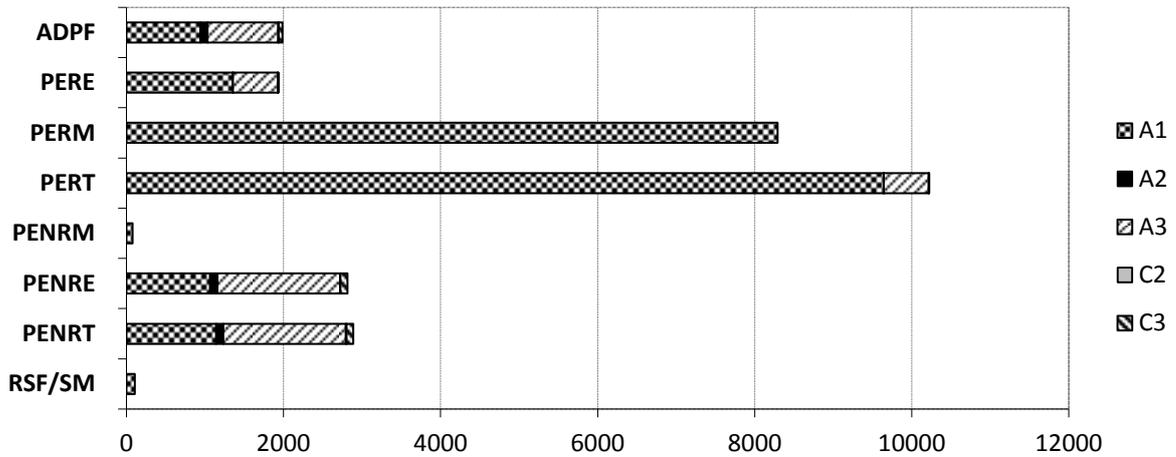


Abbildung 3.2.9.E: Einsatz von Ressourcen in den Modulen A1 bis A3, C2 und C3 (energetisch) [MJ/m³]

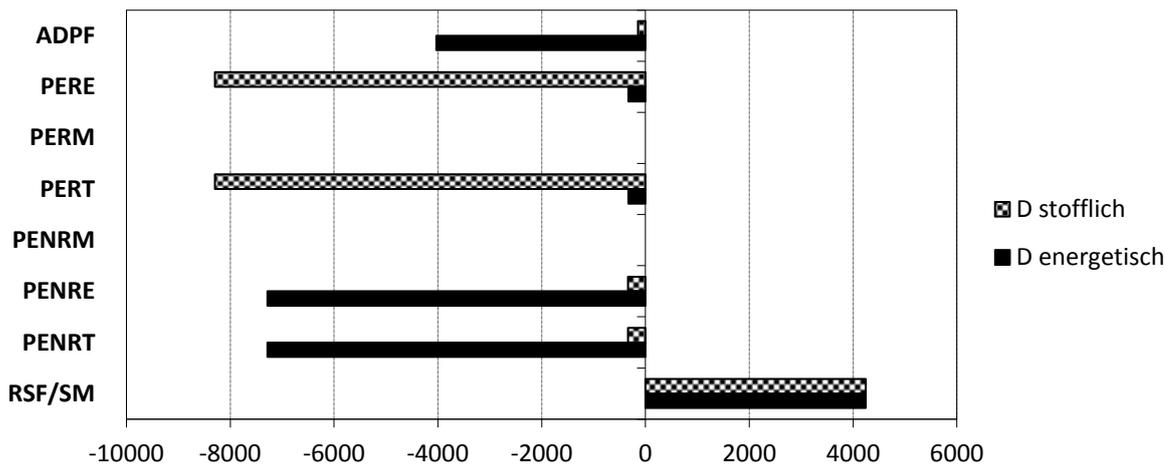


Abbildung 3.2.9.F: Gut- und Lastschriften für Ressourcen in Modul D stofflich und D energetisch

Tabelle 3.2.9.F: Hauptsächlichste Verwendung der eingesetzten Primärenergie und der Ressourcen [MJ/m³]

Primärenergietyp	Σ (A1 bis A3)	Hauptsächlichste Verwendung
<b>PERE</b> Erneuerbare Primärenergie als Energieträger [MJ]	1927	Erzeugung von Wärme mit Holz
<b>PENRE</b> Nicht-erneuerbare Primärenergie als Energieträger [MJ]	2719	21% - Schnittholzvorkette ; 11,6% - PUR Klebstoffe ; 9,6% - Strom egalisieren Prozess ; 9,6% - Strom egalisieren Sonstiges ; 6,8% - Strom Plattenverleim Prozess ; 6,1% - MUF Klebstoff ; 4,9% - Strom Längsverleimen Prozess ; 4,4% - Strom Abbund Prozess ; 3,3% - Werkslogistik ; Rest 22,7%
<b>RSF</b> Erneuerbare Sekundärbrennstoffe [MJ]	105	Erzeugung von Wärme mit Altholz

Tabelle 3.2.9.G: Relation des Einsatzes ausgewählter Primärenergietypen zueinander

Primärenergietyp	Relation	Primärenergietyp
<b>PERE</b> Erneuerbare Primärenergie als Energieträger [MJ]	1 : 4,3	<b>PERM</b> Erneuerbare Primärenergie zur stofflichen Nutzung [MJ]
<b>PENRE</b> Nicht-erneuerbare Primärenergie als Energieträger [MJ]	1 : 3,05	<b>PERM</b> Erneuerbare Primärenergie zur stofflichen Nutzung [MJ]
<b>PERE</b> Erneuerbare Primärenergie als Energieträger [MJ]	1 : 1,41	<b>PENRE</b> Nicht-erneuerbare Primärenergie als Energieträger [MJ]

Von der insgesamt eingesetzten Masse an Holz ohne Nebenprodukte werden bis zum Werkstor etwa 19 % zur Erzeugung von Wärme verbrannt. Der Anteil an eingesetzter fossiler Energie entspricht etwa 1/3 des Energieinhalts des Produktes. Der Anteil eingesetzter Energie aus erneuerbaren Quellen ist kleiner als der Anteil an Energie aus fossilen Quellen.

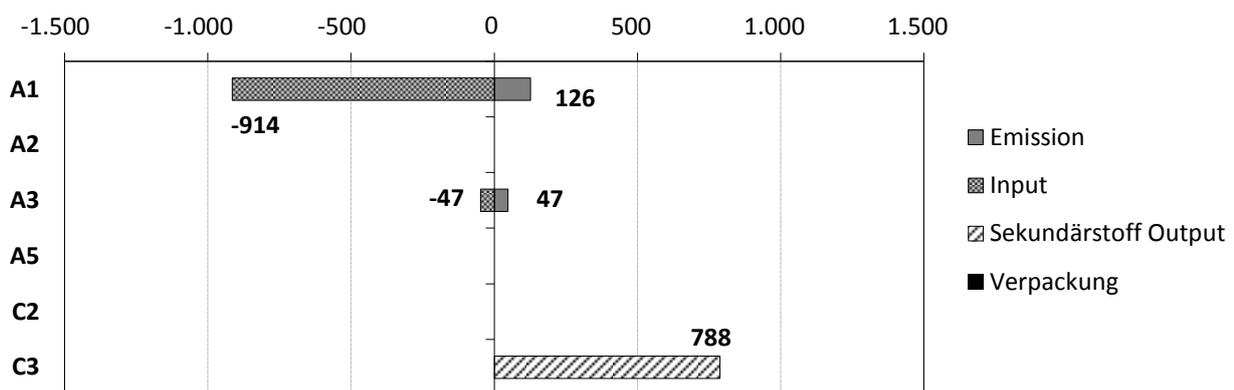


Abbildung 3.2.9.G: Bilanz der Kohlenstoffflüsse in der Holzbiomasse [kg CO<sub>2</sub>]

Insgesamt werden durch den Rohstoff Holz etwa 961 kg CO<sub>2</sub> (gespeichert in Biomasse) in dem System eingesetzt. Davon werden 126 kg CO<sub>2</sub> im Verlauf der Vorketten und 47 im Rahmen der Wärmeerzeugung vor Ort emittiert. Die im Produkt gespeicherte Menge an Kohlenstoff wird während der Entsorgung in Modul C3 entweder als Emission in Höhe von 788 kg CO<sub>2</sub> oder in Form von Altholz dem System entzogen.

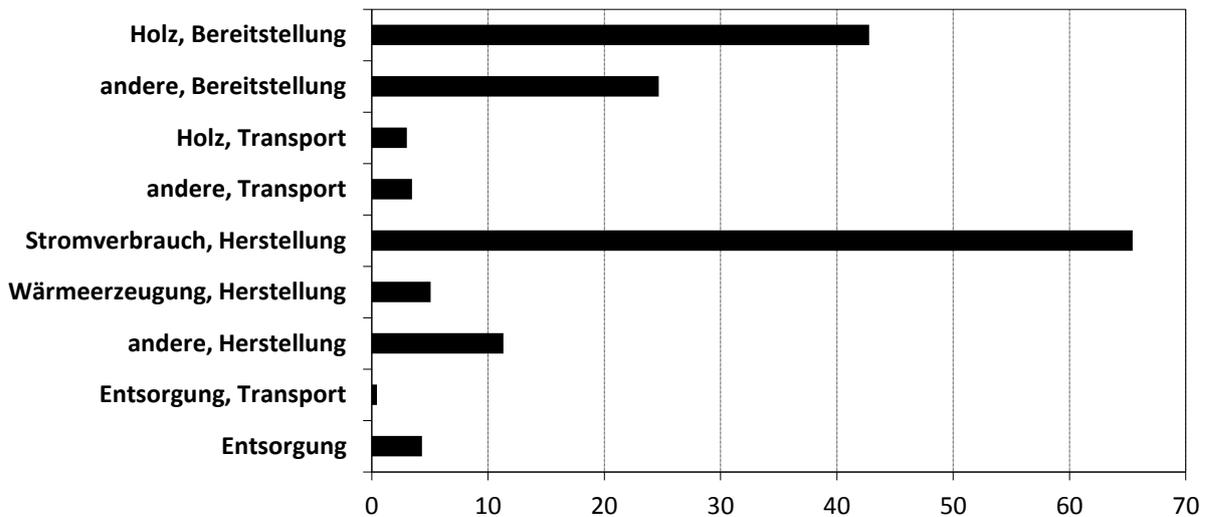


Abbildung 3.2.9.H: Treibhausgasemissionen aus fossilen Quellen nach Modulen A1 bis A3, C2 und C3 (energetisch) [kg CO<sub>2</sub>-Äqv./m<sup>3</sup> Produkt]

Die wesentlichen Quellen des Treibhausgaspotentials sind der Stromverbrauch vor Ort (41 %) und die Aufwendungen in den Vorketten der Bereitstellung der Holzrohstoffe (27 %). Daneben spielt die Herstellung der Klebstoffe eine wesentliche Rolle (15 %).

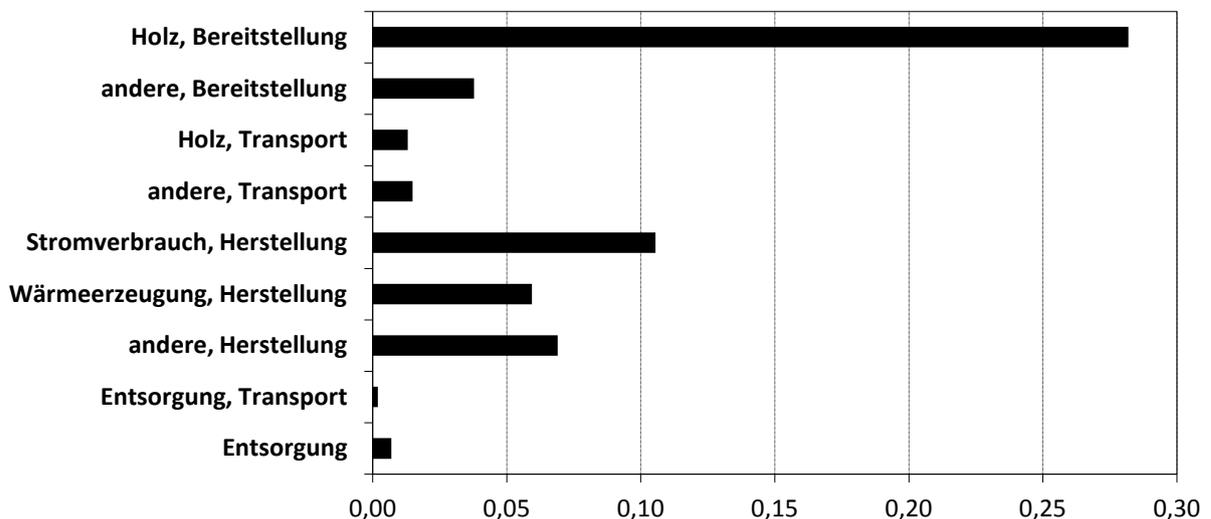


Abbildung 3.2.9.I: Versauerungspotential nach Modulen A1 bis A3, C2 und C3 (energetisch) [kg SO<sub>2</sub>-Äqv./m<sup>3</sup> Produkt]

Maßgeblich zum Versauerungspotential tragen die Bereitstellung von Holz (48 %) und der Stromverbrauch vor Ort bei (18 %).

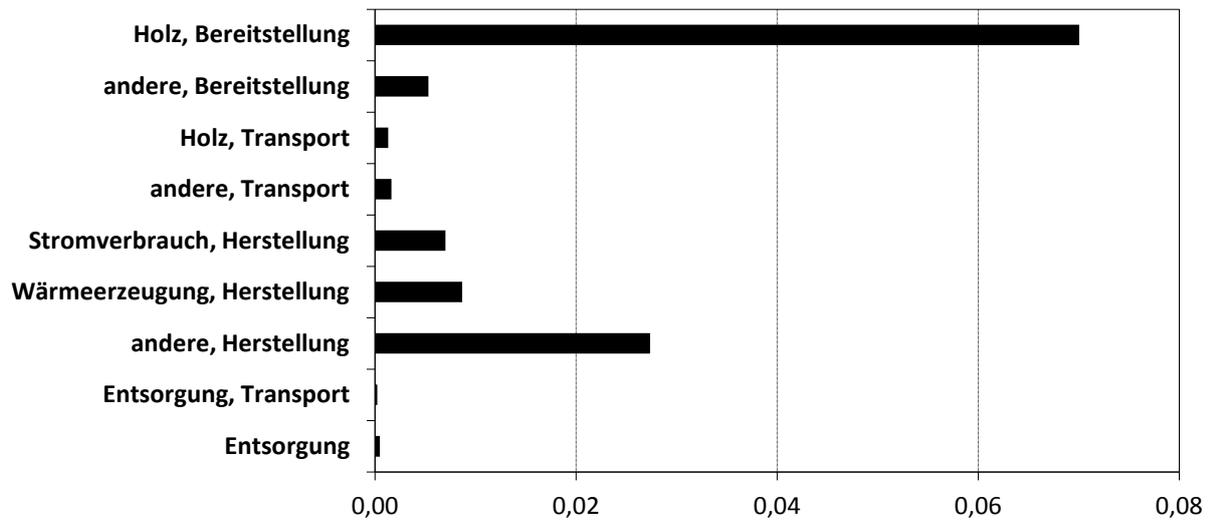


Abbildung 3.2.9.J: Ozonbildungspotential nach Modulen A1 bis A3, C2 und C3 (energetisch) [kg Ethen-Äqv./m³ Produkt]

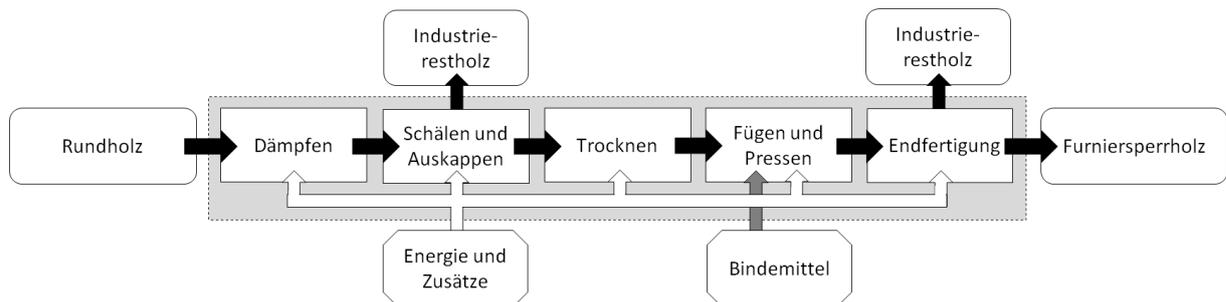
Ausschlaggebend für das Ozonbildungspotential sind die Emissionen der Trocknungsprozesse aus den Vorketten und vor Ort sowie die Emissionen aus dem Abbindevorgang der Klebstoffe.

### 3.2.10 Furniersperrholz

Furniersperrhölzer sind plattenförmige Holzwerkstoffe auf Basis von Furnieren aus Laub- und/oder Nadelholz. Die Furniere sind im 90° Winkel zueinander angeordnet (gesperrt) und mittels duroplastischer Bindemitteln miteinander verklebt. Tabelle 3.2.10.A zeigt die Zusammensetzung der funktionalen Einheit (1 m<sup>3</sup> Produkt).

**Tabelle 3.2.10.A: Zusammensetzung der funktionalen Einheit am Werkstor**

Stoff	Am Werkstor	
	[kg/m <sup>3</sup> ]	Anteil [%]
Holz	680,00	82,53
<i>davon Kohlenstoff</i>	340,00	41,27
Wasser	54,40	6,60
Harnstoff-Formaldehyd Bindemittel	89,53	10,87
<b>Gesamt</b>	<b>823,93</b>	



**Abbildung 3.2.10.A: Schematische Darstellung der Herstellung**

Rundholz wird nach der Lagerung (Bewässerung) in Dämpfgruben plastifiziert und in schälfähige Abschnitte gekappt. Die Abschnitte werden zu einem endlosen Furnierband geschält und Fehlerstellen werden ausgekappt. Das Furnierband wird getrocknet und die Furnierabschnitte werden gefügt (zu größeren Elementen zusammengesetzt). Zur Herstellung der Platten werden die gefügten Furnierabschnitte mit Klebstoff beschichtet, senkrecht zueinander zusammengelegt (jede Lage senkrecht zu der darunter liegenden) und miteinander verpresst. Nachdem der Klebstoff vollständig ausgehärtet ist, werden die Platten formatiert, geschliffen, eventuell ausgebessert und verpackt.

Tabelle 3.2.10.B zeigt die verwendeten Verpackungsmaterialien je funktionaler Einheit (1 m<sup>3</sup> Produkt).

**Tabelle 3.2.10.B: Verwendete Verpackungsmaterialien**

Verpackungsmaterial	[kg/m <sup>3</sup> ]
PE Folie	0,987
Spanplatte	0,548
Metallteile	0,647
Papier und Pappe	5,955
Kunststoffteile	0,800

Der Rohstoffpreis für 1 m<sup>3</sup> des Rohstoffmix in Form von Rundholz wurde auf einen Wert von 50 € und für das aus dem Produkt resultierende Altholz (Al) auf 4 € gemittelt (vgl. Tabelle 2-4). Somit ergibt sich bei der Berechnung des Szenarios der allgemeinen Verwertung nach ILCD eine Gutschrift in Höhe von 8 % der Aufwendungen der Bereitstellung der Holzrohstoffe.

Durchschnittlich wurden die Holzrohstoffe über Transportdistanzen von 150 km bezogen.

Tabelle 3.2.1.C bildet die Sachbilanz für Furniersperrholz inklusive der bei der Produktion entstehenden Nebenprodukte ab. Die funktionale Einheit ist die Bereitstellung von 1 m<sup>3</sup> des Produktes am Werkstor. Die Sachbilanz erfolgt ohne Darstellung der Vorketten.

Tabelle 3.2.10.C: Sachbilanz für die Herstellung von Furniersperrholz

Fluss	Menge	Einheit
<b>INPUT</b>		
<b>Holzrohstoffe</b>		
Rundholz in Rinde	2,268	m <sup>3</sup>
<b>Strom</b>	533,995	kWh
<b>Brennstoffe</b>		
Heizöl leicht	73,017	MJ
IRH eigene Produktion	11572,983	MJ
<b>Betriebsmittel</b>		
Diesel	0,084	kg
Schmierstoffe	0,242	kg
Metalle	0,116	kg
Trinkwasser	124,094	kg
Schleifbänder	0,274	kg
Oberflächenwasser	10632,015	kg
Reifen	0,022	kg
<b>Bindemittel</b>		
Harnstoff Formaldehyd Bindemittel	89,530	kg

<b>OUTPUT</b>		
<b>Produkte</b>		
Furniersperrholz	1,000	m <sup>3</sup>
Nebenprodukte (Späne, Hackschnitzel und Schälreste)	1,261	m <sup>3</sup>
<b>Emissionen aus</b>		
Verbrennung Brennstoffe	siehe Hintergrunddaten	
Abbinden der Klebstoffe		
Verbrennung Diesel in Kraftprozess		
<b>Sonstiges</b>		
Abfälle	0,655	kg
Asche	siehe Hintergrunddaten	
Abwasser /teilweise als Emission in Luft	10756,109	kg

Tabelle 3.2.10.D: Zusammenfassung aller Wirkungsindikatoren, Ressourceneinsätze und Outputflüsse

Parameter	Einheit	Bereitstellung der Rohstoffe (A1)	Transport (A2)	Herstellungsprozess (A3)	Summe cradle to gate (A1 - A3)	maximale Abweichung +%/-%	Transport zum Entsorger (C2)	Abfallwirtschaft (C3)	energetische Verwertung (D)	stoffliche Verwertung (D)	Verrechnung von A1 nach ILCD
<b>Ergebnisse Umweltauswirkung</b>											
GWP	[kg CO <sub>2</sub> -Äqv.]	-1,09E+03	1,10E+01	2,55E+02	<b>-8,25E+02</b>	+80/-24	7,20E-01	1,25E+03	-5,77E+02	-1,89E+01	-3,99E+00
ODP	[kg CFC11-Äqv.]	8,53E-06	1,95E-08	5,53E-05	<b>6,39E-05</b>	+70/-21	1,44E-09	3,31E-09	-1,31E-04	-1,52E-06	-5,38E-07
AP	[kg SO <sub>2</sub> -Äqv.]	2,48E-01	4,84E-02	1,41E+00	<b>1,71E+00</b>	+140/-41	3,09E-03	2,42E-04	-5,90E-01	-7,70E-02	-7,91E-03
EP	[kg PO <sub>43</sub> -Äqv.]	1,32E-01	1,11E-02	2,81E-01	<b>4,24E-01</b>	+136/-39	7,16E-04	5,25E-05	-5,58E-03	-1,62E-02	-1,22E-03
POCP	[kg Ethen-Äqv.]	3,17E-02	4,87E-03	3,14E-01	<b>3,51E-01</b>	+116/-34	3,34E-04	3,07E-05	-3,95E-02	-9,62E-03	-1,30E-03
ADPE	[kg Sb-Äqv.]	2,25E-05	3,66E-07	2,07E-04	<b>2,30E-04</b>	+2/-7	1,52E-08	1,70E-09	-9,91E-06	-6,20E-07	-1,31E-07
ADPF	[MJ]	3,21E+03	1,53E+02	2,73E+03	<b>6,09E+03</b>	+77/-23	1,02E+01	6,60E-01	-6,46E+03	-2,42E+02	-5,22E+01
<b>Ergebnisse Ressourceneinsatz</b>											
PERE	[MJ]	3,83E+01	1,68E-01	1,99E+04	<b>2,00E+04</b>		1,35E-02	4,70E+00	-4,96E+02	-1,31E+04	-1,63E-01
PERM	[MJ]	1,31E+04	0,00E+00	5,05E+01	<b>1,32E+04</b>		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	-1,05E+03
PERT	[MJ]	1,31E+04	1,68E-01	2,00E+04	<b>3,31E+04</b>		1,35E-02	4,70E+00	-4,96E+02	-1,31E+04	-1,05E+03
PENRE	[MJ]	2,62E+03	1,54E+02	4,66E+03	<b>7,43E+03</b>		1,02E+01	8,78E+01	-1,27E+04	-5,28E+02	5,84E+01
PENRM	[MJ]	8,95E+02	0,00E+00	0,00E+00	<b>8,95E+02</b>		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
PENRT	[MJ]	3,51E+03	1,54E+02	4,66E+03	<b>8,33E+03</b>		1,02E+01	8,78E+01	-1,27E+04	-5,28E+02	5,84E+01
SM	[kg]	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	<b>0,00E+00</b>		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	3,71E+02	0,00E+00
RSF	[MJ]	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	<b>0,00E+00</b>		0,00E+00	0,00E+00	7,14E+03	0,00E+00	0,00E+00
NRSF	[MJ]	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	<b>0,00E+00</b>		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
FW	[m <sup>3</sup> ]	1,50E+03	2,82E+00	3,51E+03	<b>5,01E+03</b>		1,91E-01	4,99E+01	5,36E+03	-3,60E+02	-4,03E+01
<b>Ergebnisse Outputflüsse und Abfallkategorien</b>											
HWD	[kg]	3,96E-01	0,00E+00	3,68E-02	<b>4,33E-01</b>		0,00E+00	2,09E-09	2,35E+00	1,04E-02	1,04E-02
NHWD	[kg]	1,66E-03	0,00E+00	1,15E-02	<b>1,31E-02</b>		0,00E+00	2,19E-08	7,14E-05	-6,39E-06	-5,63E-07
RWD	[kg]	1,06E-01	2,42E-04	6,91E-01	<b>7,97E-01</b>		1,80E-05	4,15E-05	-1,64E+00	-1,27E-02	-4,07E-04
CRU	[kg]	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	<b>0,00E+00</b>		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
MFR	[kg]	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	<b>0,00E+00</b>		0,00E+00	8,24E+02	0,00E+00	-8,24E+02	0,00E+00
MER	[kg]	0,00E+00	0,00E+00	2,62E+00	<b>2,62E+00</b>		0,00E+00	8,24E+02	-8,27E+02	-2,62E+00	0,00E+00
EE1	[MJ]	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	<b>0,00E+00</b>		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
EE2	[MJ]	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	<b>0,00E+00</b>		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00

Alle nicht genannten Module fallen unter den Bereich „MND“ (= „Modul nicht deklariert“). <sup>1</sup> Strom & <sup>2</sup> Wärme

**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 (Institute of Environmental Sciences Faculty of Science Universität Leiden, Niederlande) verwendet. Der Charakterisierungsfaktor für den Verbrauch von abiotischen Ressourcen (fossile Stoffe) ist der jeweilige unterer Heizwert am Extraktionspunkt des fossilen Brennstoffs. Langzeitemissionen (> 100 Jahre) werden in der Wirkungsabschätzung nicht berücksichtigt.

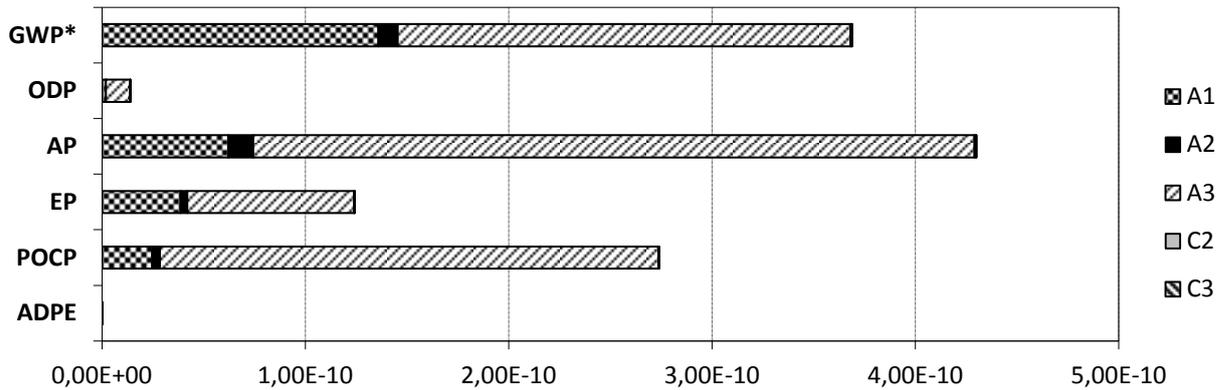


Abbildung 3.2.10.C: Wirkungspotentiale normiert nach deutschen Gesamtemissionen (ohne Modul D) für die Module A1 bis A3, C2 und C3 (energetisch) [%/100 der deutschen Gesamtemissionen]

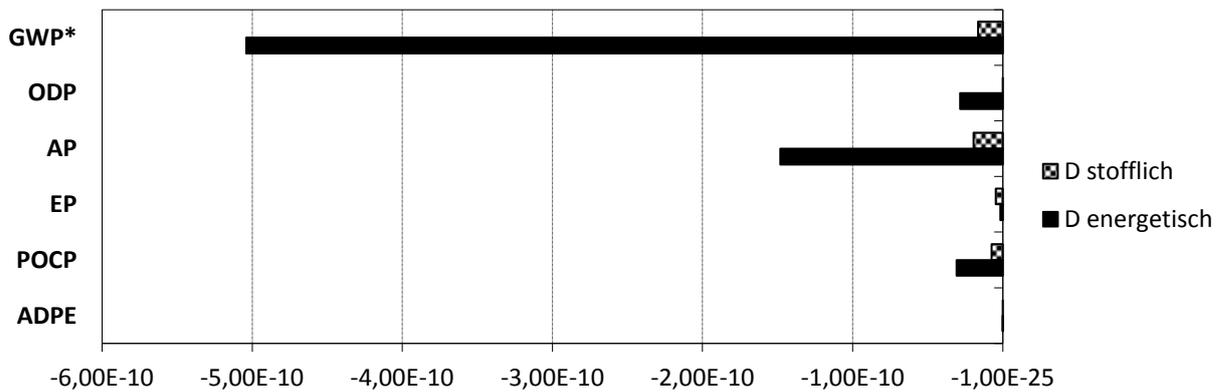


Abbildung 3.2.10.D: Wirkungspotentiale normiert nach deutschen Gesamtemissionen für die Szenarien im Modul D (stofflich und energetisch) [%/100 der deutschen Gesamtemissionen]

Tabelle 3.2.10.E: Haupteinflussfaktoren auf die Ergebnisse der drei relevantesten Wirkungsindikatoren (nach Normierung) [kg/m³]

Nr.	Indikator	Σ (A1 bis A3)	Haupteinflussfaktoren
1	<b>AP</b> <i>Versauerungspotential [SO<sub>2</sub>-Äqv.]</i>	1,709	26,6% - Wärme Heizung ; 25,6% - Wärme Trocknung ; 11,7% - Wärme Dämpfen ; 10,9% - UF Klebstoff ; 4,8% - Strom Furnierschälen Prozess ; 3,6% - Rundholzvorkette ; Rest 16,8%
2	<b>GWP</b> <i>Treibhausgaspotential – fossil [CO<sub>2</sub>-Äqv.]</i>	421,155	34,1% - UF Klebstoff ; 12% - Strom Furnierschälen Prozess ; 7,3% - Strom Trocknung Prozess ; 6,8% - Wärme Heizung ; 6,7% - Wärme Trocknung ; 6,7% - Strom Urformen ; Rest 26,4%
3	<b>POCP</b> <i>Ozonbildungspotential [Ethen-Äqv.]</i>	0,351	21,4% - Wärme Heizung ; 20,7% - Wärme Trocknung ; 16,9% - Abbinden Klebstoff ; 14,1% - Prozess Trocknung ; 9,4% - Wärme Dämpfen ; 5,2% - UF Klebstoff ; Rest 12,3%

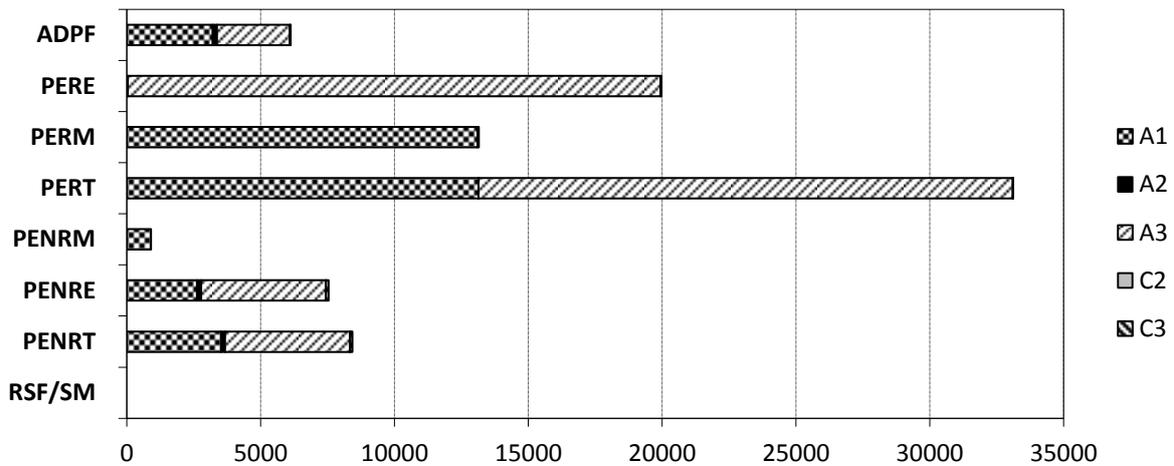


Abbildung 3.2.10.E: Einsatz von Ressourcen in den Modulen A1 bis A3, C2 und C3 (energetisch) [MJ/m³]

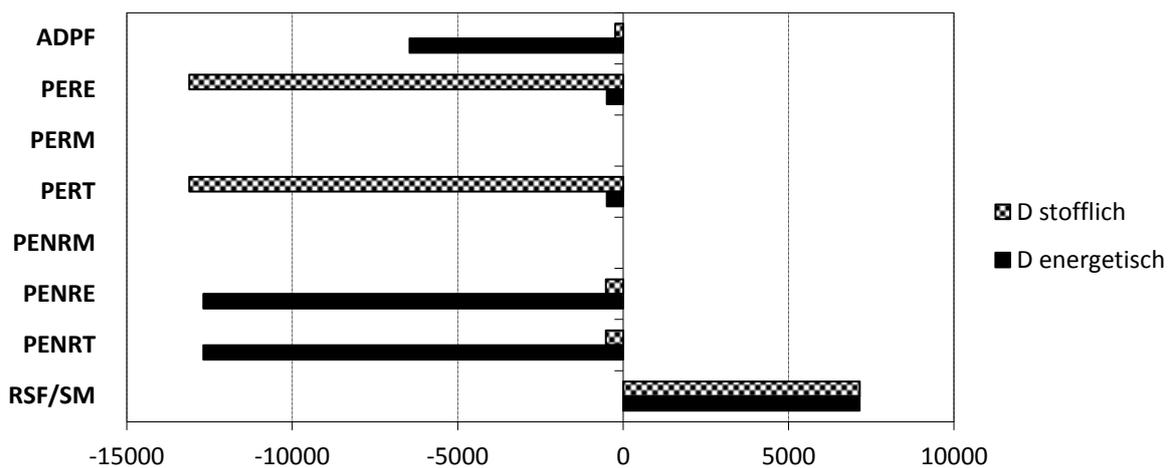


Abbildung 3.2.10.F: Gut- und Lastschriften für Ressourcen in Modul D stofflich und D energetisch

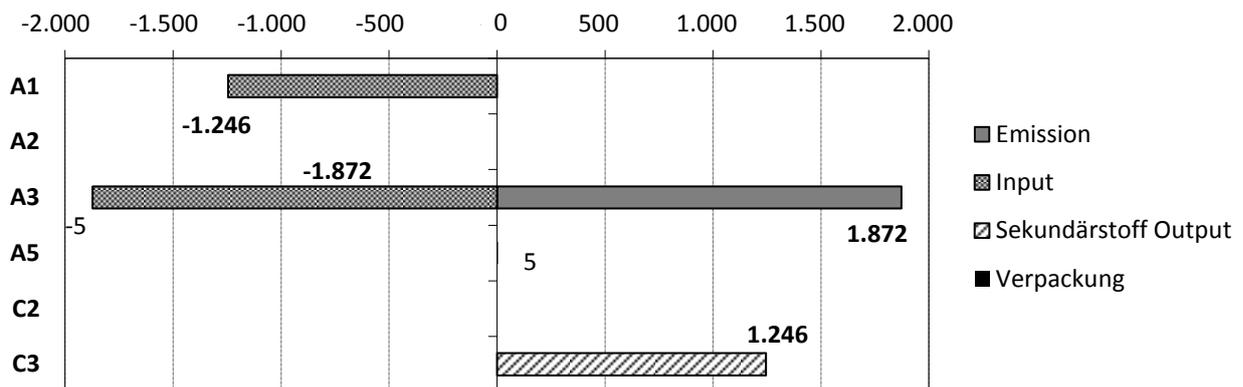
Tabelle 3.2.10.F: Hauptsächlichste Verwendung der eingesetzten Primärenergie und der Ressourcen [MJ/m³]

Primärenergietyp	Σ (A1 bis A3)	Hauptsächlichste Verwendung
<b>PERE</b> Erneuerbare Primärenergie als Energieträger [MJ]	19950	Erzeugung von Wärme mit Holz
<b>PENRE</b> Nicht-erneuerbare Primärenergie als Energieträger [MJ]	7432	40,2% - UF Klebstoff ; 12,3% - Strom Furnierschalen Prozess ; 7,5% - Strom Trocknung Prozess ; 6,9% - Strom Urformen ; 4,9% - Wärme Heizung ; 4,8% - Wärme Trocknung ; Rest 23,4%
<b>RSF</b> Erneuerbare Sekundärbrennstoffe [MJ]	0	Es wird kein Altholz eingesetzt.

Tabelle 3.2.10.G: Relation des Einsatzes ausgewählter Primärenergietypen zueinander

Primärenergietyp	Relation	Primärenergietyp
<b>PERE</b> Erneuerbare Primärenergie als Energieträger [MJ]	1 : 0,66	<b>PERM</b> Erneuerbare Primärenergie zur stofflichen Nutzung [MJ]
<b>PENRE</b> Nicht-erneuerbare Primärenergie als Energieträger [MJ]	1 : 1,77	<b>PERM</b> Erneuerbare Primärenergie zur stofflichen Nutzung [MJ]
<b>PERE</b> Erneuerbare Primärenergie als Energieträger [MJ]	1 : 0,37	<b>PENRE</b> Nicht-erneuerbare Primärenergie als Energieträger [MJ]

Von der insgesamt eingesetzten Masse an Holz ohne Nebenprodukte werden bis zum Werkstor etwa 60 % zur Erzeugung von Wärme verbrannt. Der Anteil an eingesetzter fossiler Energie entspricht etwa der Hälfte des Energieinhalts des Produktes. Der Anteil eingesetzter Energie aus erneuerbaren Quellen ist etwa 3mal höher im Vergleich zum Anteil an Energie aus fossilen Quellen.

Abbildung 3.2.10.G: Bilanz der Kohlenstoffflüsse in der Holzbiomasse [kg CO<sub>2</sub>]

Insgesamt werden durch den Rohstoff Holz etwa 3123 kg CO<sub>2</sub> (gespeichert in Biomasse) in dem System eingesetzt. Davon werden 1872 kg CO<sub>2</sub> im Rahmen der Wärmeerzeugung vor Ort emittiert. Etwa 5 kg CO<sub>2</sub> werden über die Verpackung in Form von gespeichertem Kohlenstoff dem System zugeführt und im Rahmen der Entsorgung der Verpackung wieder als CO<sub>2</sub> emittiert. Die im Produkt gespeicherte Menge an Kohlenstoff wird während der Entsorgung in Modul C3 entweder als Emission in Höhe von 1246 kg CO<sub>2</sub> oder in Form von gespeichertem Kohlenstoff im Altholz dem System entzogen.

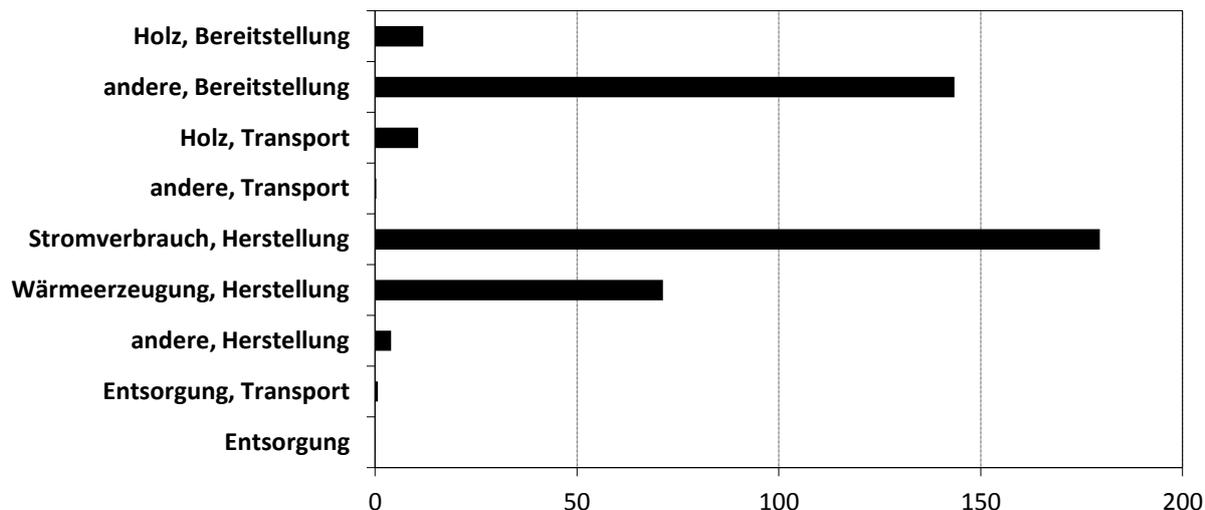


Abbildung 3.2.10.H: Treibhausgasemissionen aus fossilen Quellen nach Modulen A1 bis A3, C2 und C3 (energetisch) [kg CO<sub>2</sub>-Äqv./m<sup>3</sup> Produkt]

Die wesentlichen Quellen des Treibhausgaspotentials sind die Bereitstellung der Klebstoffe (34 %) und der Stromverbrauch im Werk (43 %).

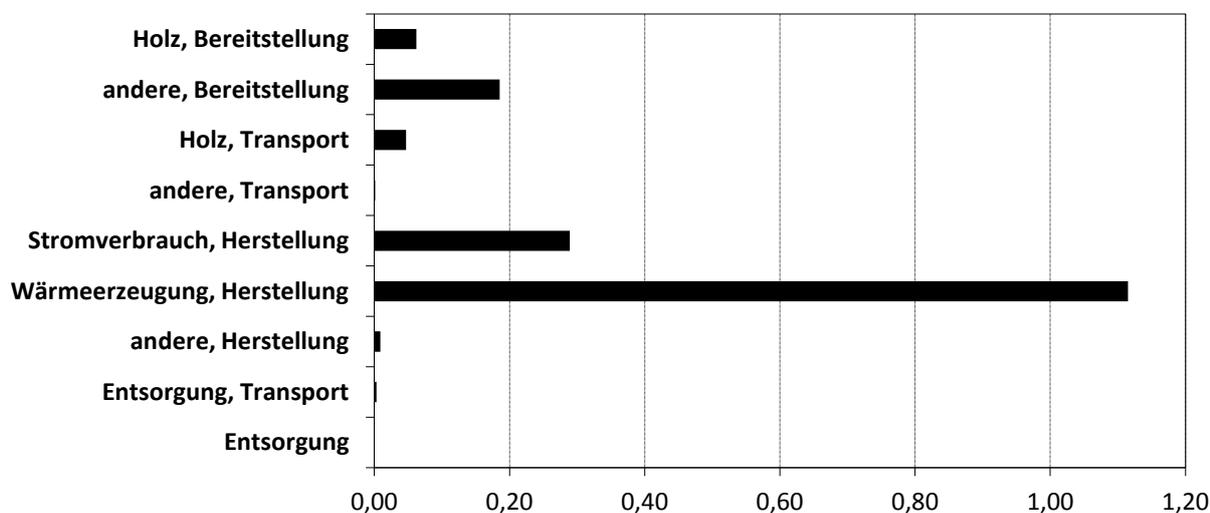


Abbildung 3.2.10.I: Versauerungspotential nach Modulen A1 bis A3, C2 und C3 (energetisch) [kg SO<sub>2</sub>-Äqv./m<sup>3</sup> Produkt]

Die Hauptquelle für die zur Versauerung beitragenden Emissionen ist die Verbrennung von Holz vor Ort (65 %).

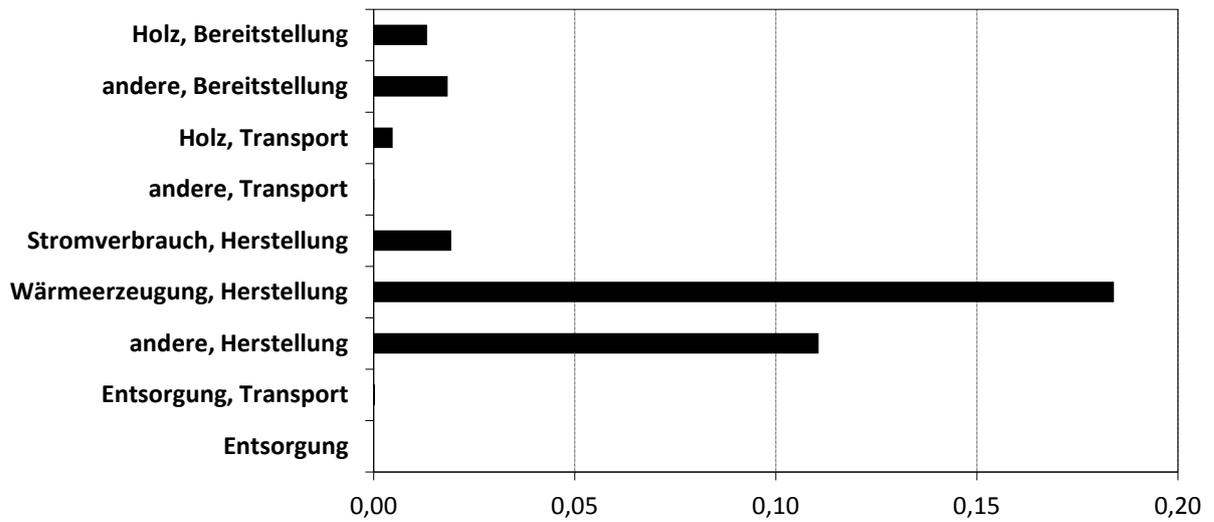


Abbildung 3.2.10.J: Ozonbildungspotential nach Modulen A1 bis A3, C2 und C3 (energetisch) [kg Ethen-Äqv./m³ Produkt]

Zum Ozonbildungspotential tragen vornehmlich die Verbrennung von Holz vor Ort (52 %) und die Emissionen der Trocknung bei.

### 3.2.11 3- und 5-Schicht Massivholzplatten

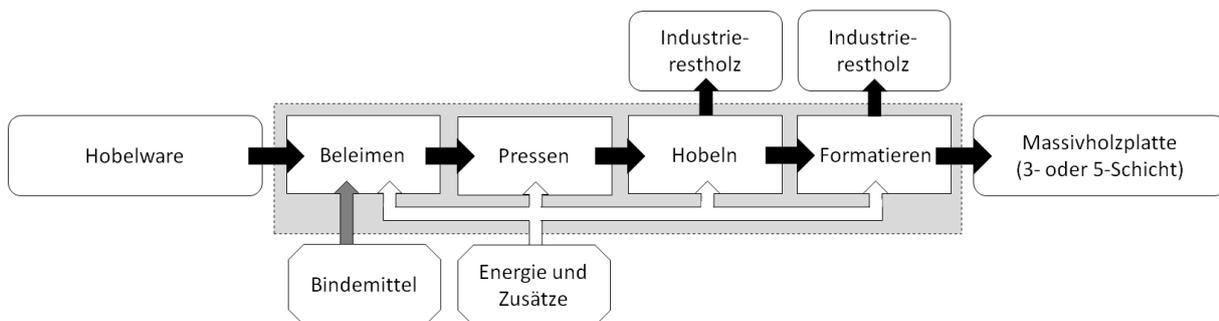
Massivholzplatten in 3- oder 5- schichtigem Aufbau sind industriell gefertigte flächige Holzprodukte für den Innenausbau, Möbelbau oder konstruktiven Holzbau.

Massivholzplatten sind in der Regel symmetrisch aufgebaut und bestehen aus drei oder fünf rechteckig zueinander verklebten Lagen aus Nadelholz. Die Plattendicke beträgt normalerweise zwischen 12 und 100 mm. Tabelle 3.2.11.A zeigt die Zusammensetzung der funktionalen Einheit (1m<sup>3</sup> Produkt).

Die Verklebung von Massivholzplatten wird vornehmlich mittels Melamin-Harnstoff-Formaldehyd-Bindemittel durchgeführt. Die in Tabelle 3.2.11.A dargestellten Inhaltsstoffe beschreiben die durchschnittlich eingesetzten Bindemittelmengen.

**Tabelle 3.2.11.A: Zusammensetzung der funktionalen Einheit am Werkstor**

Stoff	Am Werkstor	
	[kg/m <sup>3</sup> ]	Anteil [%]
Holz	439,87	86,173
<i>davon Kohlenstoff</i>	<i>2219,94</i>	<i>43,086</i>
Wasser	52,78	10,341
Melamin-Harnstoff-Formaldehyd Bindemittel	17,793	3,486
<b>Gesamt</b>	<b>510,45</b>	



**Abbildung 3.2.11.A: Schematische Darstellung der Herstellung von 3- und 5-Schicht-Massivholzplatten**

Für die Herstellung von Massivholzplatten werden Bretter und Bohlen aus Nadelholz zunächst auf weniger als 15 % Holzfeuchte getrocknet, gehobelt und mittels Schmalseitenverklebung zu einer Einschichtplatte verklebt. Diese werden nach der Aushärtung gehobelt, beleimt und anschließend in der Presse kreuzweise angeordnet. Nach dem Pressen und Aushärten wird der Rohling gehobelt, gefast, abgebunden und verpackt.

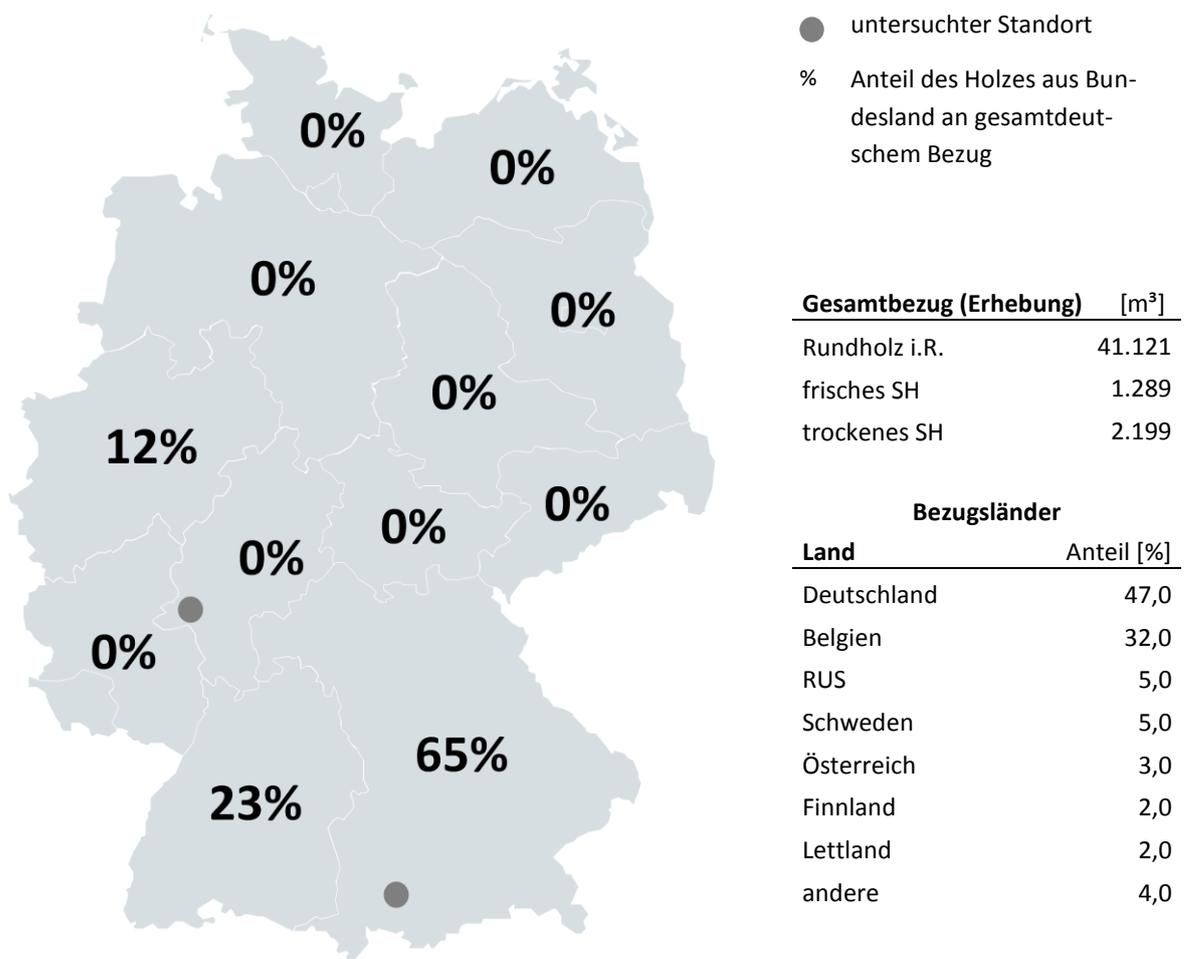
Tabelle 3.2.11.B zeigt die verwendeten Verpackungsmaterialien je funktionaler Einheit (1 m<sup>3</sup> Produkt).

**Tabelle 3.2.11.B: Verwendete Verpackungsmaterialien**

Verpackungsmaterial	[kg/m <sup>3</sup> ]
PE Folie	0,226
andere Kunststoffe	0,541

Für 1 m<sup>3</sup> des Rohstoffmix werden 55,14 € und für das aus dem Produkt resultierende Altholz (Altholz AI) ein Wert von 11 € angesetzt (vgl. Tabelle 2-4). Somit ergibt sich bei der Berechnung des Szenarios der allgemeinen Verwertung nach ILCD eine Gutschrift in Höhe von 19,9 % der Aufwendungen der Bereitstellung der Holzrohstoffe.

Die Holzrohstoffe wurden über eine durchschnittliche Distanz von 396 km transportiert. Der größte Anteil der bezogenen Rohstoffe ist Rundholz in Rinde. Etwa 47 % der bezogenen Holzrohstoffe stammen aus Deutschland und 32 % aus Belgien (Abbildung 3.2.1.B).



**Abbildung 3.2.1.B: Rohholzherkunft für die Herstellung der funktionalen Einheit**

Tabelle 3.2.1.C bildet die Sachbilanz für 3- und 5-Schichtplatte inklusive der bei der Produktion entstehenden Nebenprodukte ab. Die funktionale Einheit ist die Bereitstellung von 1 m<sup>3</sup> des Produktes am Werkstor. Die Sachbilanz erfolgt ohne Darstellung der Vorketten.

**Tabelle 3.2.11.C: Sachbilanz für die Herstellung von 3- und 5-Schicht-Massivholzplatten**

Fluss	Menge	Einheit
<b>INPUT</b>		
<b>Holzrohstoffe</b>		
Rundholz in Rinde	2,492	m <sup>3</sup>
Schnittholz, waldfrisch	0,078	m <sup>3</sup>
Schnittholz, kammergetrocknet	0,133	m <sup>3</sup>
<b>Strom</b>	179,448	kWh
<b>Brennstoffe</b>		
Altholz	256,021	MJ
IRH eigene Produktion	1444,801	MJ
<b>Betriebsmittel</b>		
Diesel	0,919	kg
Maschinenöl	0,260	kg
Schneidstoffe	0,028	kg
Reinigungsmittel	0,019	kg
Reifen	0,155	kg
Trinkwasser	48,118	kg
Oberflächenwasser	40,227	kg
Motoröl	0,034	kg
<b>Bindemittel</b>		
Melamin Harnstoff Formaldehyd Bindemittel	17,793	kg
<b>OUTPUT</b>		
<b>Produkte</b>		
3- und 5-Schicht Massivholzplatten	1,000	m <sup>3</sup>
Nebenprodukte (Späne und Hackschnitzel)	1,704	m <sup>3</sup>
<b>Emissionen aus</b>		
Verbrennung Brennstoffe	siehe Hintergrunddaten	
Verbrennung Diesel in Kraftprozess		
<b>Sonstiges</b>		
Abfälle	0,495	kg
Asche	siehe Hintergrunddaten	
Abwasser /teilweise als Emission in Luft	88,344	kg

Tabelle 3.2.11.D: Zusammenfassung aller Wirkungsindikatoren, Ressourceneinsätze und Outputflüsse

Parameter	Einheit	Bereitstellung der Rohstoffe (A1)	Transport (A2)	Herstellungsprozess (A3)	Summe cradle to gate (A1 - A3)	maximale Abweichung +%/-%	Transport zum Entsorger (C2)	Abfallwirtschaft (C3)	energetische Verwertung (D)	stoffliche Verwertung (D)	Verrechnung von A1 nach ILCD
<b>Ergebnisse Umweltauswirkung</b>											
GWP	[kg CO <sub>2</sub> -Äqv.]	-7,49E+02	1,97E+01	8,73E+01	<b>-6,42E+02</b>	+7/-10	4,63E-01	8,10E+02	-3,66E+02	-9,62E+00	-4,92E+00
ODP	[kg CFC11-Äqv.]	4,07E-06	8,19E-08	2,16E-05	<b>2,58E-05</b>	+13/-20	9,26E-10	1,19E-06	-8,38E-05	-7,10E-07	-5,72E-07
AP	[kg SO <sub>2</sub> -Äqv.]	2,06E-01	8,55E-02	3,05E-01	<b>5,97E-01</b>	+5/-8	1,99E-03	6,98E-03	-3,76E-01	-4,84E-02	-3,43E-02
EP	[kg PO <sub>43</sub> -Äqv.]	5,95E-02	1,96E-02	5,14E-02	<b>1,30E-01</b>	+1/-1	4,61E-04	5,89E-04	-3,51E-03	-1,04E-02	-7,22E-03
POCP	[kg Ethen-Äqv.]	3,83E-02	8,77E-03	7,84E-02	<b>1,26E-01</b>	+1/-1	2,15E-04	4,64E-04	-2,52E-02	-6,14E-03	-6,99E-03
ADPE	[kg Sb-Äqv.]	2,69E-04	5,81E-07	9,62E-05	<b>3,65E-04</b>	+48/-72	9,78E-09	1,23E-07	-6,30E-06	-3,70E-07	-5,27E-05
ADPF	[MJ]	8,98E+02	2,74E+02	9,09E+02	<b>2,08E+03</b>	+2/-4	6,54E+00	4,62E+01	-4,12E+03	-1,46E+02	-8,07E+01
<b>Ergebnisse Ressourceneinsatz</b>											
PERE	[MJ]	5,70E+02	5,01E-01	1,09E+03	<b>1,67E+03</b>		8,66E-03	4,70E+00	-3,35E+02	-8,48E+03	-1,12E+02
PERM	[MJ]	8,48E+03	0,00E+00	0,00E+00	<b>8,48E+03</b>		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	-1,69E+03
PERT	[MJ]	9,05E+03	5,01E-01	1,09E+03	<b>1,01E+04</b>		8,66E-03	4,70E+00	-3,35E+02	-8,48E+03	-1,80E+03
PENRE	[MJ]	8,60E+02	2,77E+02	1,65E+03	<b>2,79E+03</b>		6,57E+00	8,78E+01	-7,83E+03	-3,42E+02	-4,77E+01
PENRM	[MJ]	1,78E+02	0,00E+00	0,00E+00	<b>1,78E+02</b>		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
PENRT	[MJ]	1,04E+03	2,77E+02	1,65E+03	<b>2,97E+03</b>		6,57E+00	8,78E+01	-7,83E+03	-3,42E+02	-4,77E+01
SM	[kg]	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	<b>0,00E+00</b>		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	2,30E+02	0,00E+00
RSF	[MJ]	2,81E+01	0,00E+00	7,31E+01	<b>1,01E+02</b>		0,00E+00	0,00E+00	4,44E+03	0,00E+00	-5,60E+00
NRSF	[MJ]	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	<b>0,00E+00</b>		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
FW	[m <sup>3</sup> ]	7,78E+02	6,99E+00	1,01E+03	<b>1,80E+03</b>		1,23E-01	4,99E+01	3,42E+03	-2,43E+02	-1,25E+02
<b>Ergebnisse Outputflüsse und Abfallkategorien</b>											
HWD	[kg]	8,37E-02	0,00E+00	3,99E-02	<b>1,24E-01</b>		0,00E+00	0,00E+00	1,51E+00	1,20E-02	9,56E-03
NHWD	[kg]	1,18E-02	0,00E+00	3,85E-03	<b>1,57E-02</b>		0,00E+00	0,00E+00	4,57E-05	-4,07E-06	-2,30E-03
RWD	[kg]	4,98E-02	1,02E-03	2,66E-01	<b>3,17E-01</b>		1,16E-05	1,49E-02	-1,05E+00	-8,22E-03	-6,29E-03
CRU	[kg]	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	<b>0,00E+00</b>		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
MFR	[kg]	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	<b>0,00E+00</b>		0,00E+00	5,12E+02	0,00E+00	-5,12E+02	0,00E+00
MER	[kg]	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	<b>0,00E+00</b>		0,00E+00	5,12E+02	-5,12E+02	0,00E+00	0,00E+00
EE1	[MJ]	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	<b>0,00E+00</b>		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
EE2	[MJ]	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	<b>0,00E+00</b>		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00

Alle nicht genannten Module fallen unter den Bereich „MND“ (= „Modul nicht deklariert“). <sup>1</sup> Strom & <sup>2</sup> Wärme

**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 (Institute of Environmental Sciences Faculty of Science Universität Leiden, Niederlande) verwendet. Der Charakterisierungsfaktor für den Verbrauch von abiotischen Ressourcen (fossile Stoffe) ist der jeweilige unterer Heizwert am Extraktionspunkt des fossilen Brennstoffs. Langzeitemissionen (> 100 Jahre) werden in der Wirkungsabschätzung nicht berücksichtigt.

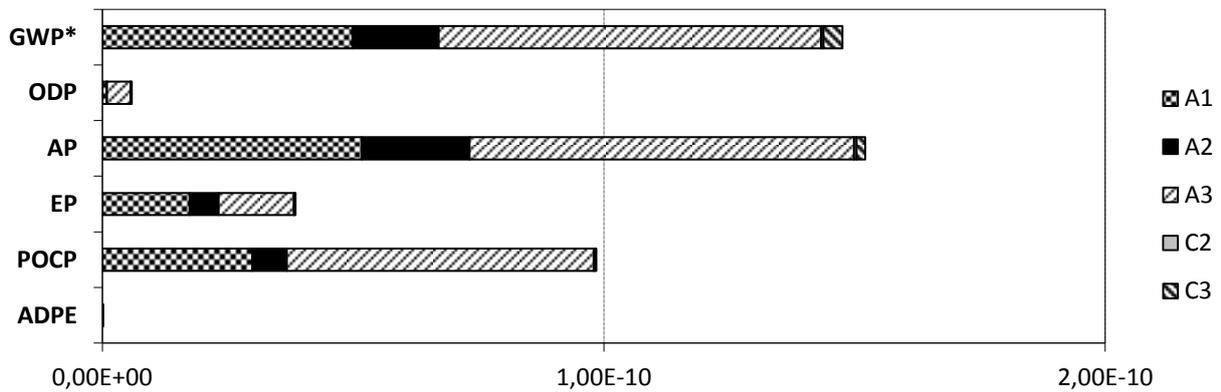


Abbildung 3.2.11.C: Wirkungspotentiale normiert nach deutschen Gesamtemissionen (ohne Modul D) für die Module A1 bis A3, C2 und C3 (energetisch) [%/100 der deutschen Gesamtemissionen]

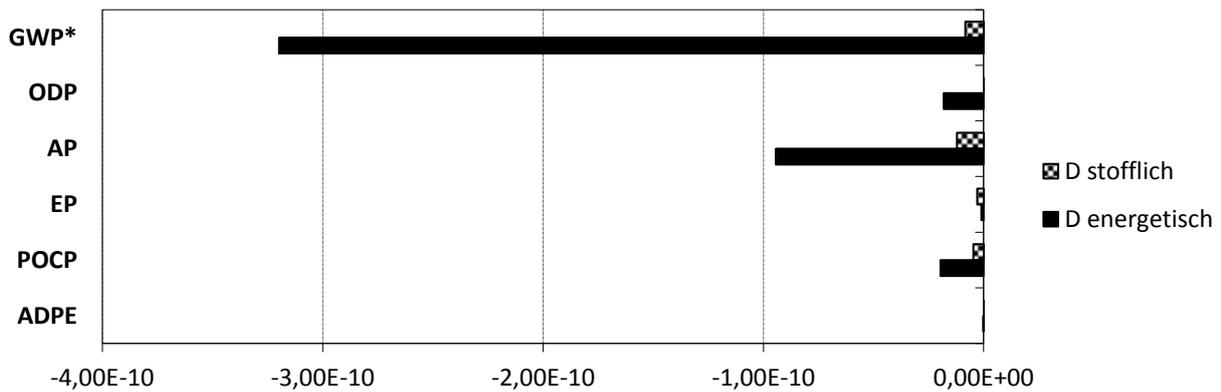


Abbildung 3.2.11.D: Wirkungspotentiale normiert nach deutschen Gesamtemissionen für die Szenarien im Modul D (stofflich und energetisch) [%/100 der deutschen Gesamtemissionen]

Tabelle 3.2.11.E: Haupteinflussfaktoren auf die Ergebnisse der drei relevantesten Wirkungsindikatoren (nach Normierung) [kg/m³]

Nr.	Indikator	Σ (A1 bis A3)	Haupteinflussfaktoren
1	<b>AP</b> Versauerungspotential [SO <sub>2</sub> -Äqv.]	0,597	23,2% - Wärmeproduktion ; 18,8% - Schnittholzvorkette ; 9,8% - Transport Rundholz ; 9,5% - Rundholzvorkette ; 7,1% - Werkslogistik ; 6,2% - MUF Klebstoff ; 5,4% - Strom Plattenverleim Prozess ; 3,5% - Strom Trocknung Prozess ; 3,4% - Transport andere ; Rest 13,1%
2	<b>GWP</b> Treibhausgaspotential – fossil [CO <sub>2</sub> -Äqv.]	163,982	17,7% - MUF Klebstoff ; 12,1% - Strom Plattenverleim Prozess ; 10,8% - Schnittholzvorkette ; 8,1% - Transport Rundholz ; 8% - Strom Trocknung Prozess ; 6,7% - Strom Plattenverleim Sonstig ; 6,2% - Rundholzvorkette ; 4,8% - Wärmeproduktion ; 4% - Strom Trocknung Sonstige ; Rest 21,6%
3	<b>POCP</b> Ozonbildungspotential [Ethen-Äqv.]	0,126	29,4% - Prozess Trocknung ; 21,4% - Schnittholzvorkette ; 13,9% - Wärmeproduktion ; 7,5% - Zusätze Emissionen vor Ort ; 6,2% - Rundholzvorkette ; 4,6% - Transport Rundholz ; 4,5% - Werkslogistik ; 2,9% - MUF Klebstoff ; 1,7% - Transport andere ; Rest 7,9%

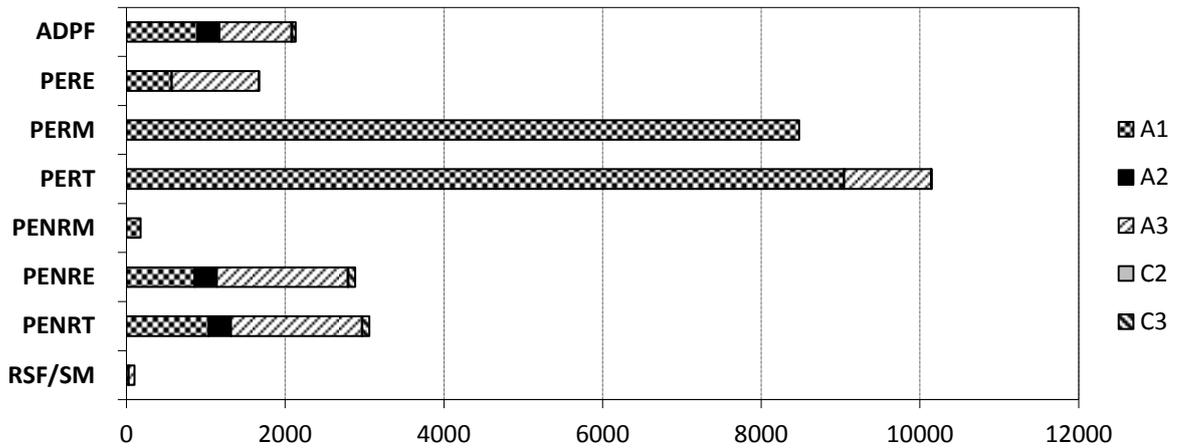


Abbildung 3.2.11.E: Einsatz von Ressourcen in den Modulen A1 bis A3, C2 und C3 (energetisch) [MJ/m³]

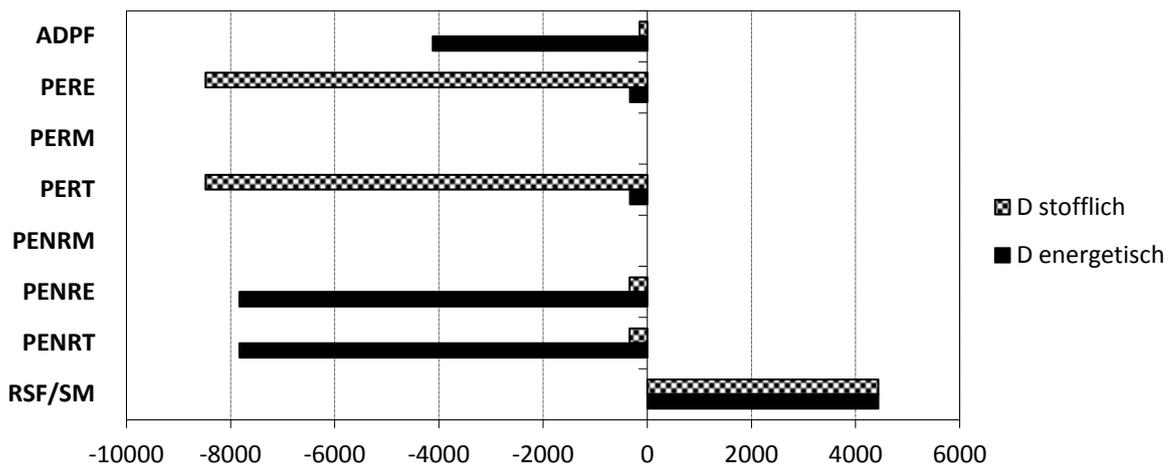


Abbildung 3.2.11.F: Gut- und Lastschriften für Ressourcen in Modul D stofflich und D energetisch [MJ/m³]

Tabelle 3.2.11.F: Hauptsächliche Verwendung der eingesetzten Primärenergie und der Ressourcen [MJ/m³]

Primärenergietyp	Σ (A1 bis A3)	Hauptsächliche Verwendung
<b>PERE</b> Erneuerbare Primärenergie als Energieträger [MJ]	1665	Wärmeerzeugung mit Holz
<b>PENRE</b> Nicht-erneuerbare Primärenergie als Energieträger [MJ]	2789	20,9% - MUF Klebstoff ; 13,6% - Strom Plattenverleim Prozess ; 9,3% - Schnittholzvorkette ; 8,9% - Strom Trocknung Prozess ; 7,5% - Strom Plattenverleim Sonstig ; 6,3% - Transport Rundholz ; 4,8% - Rundholzvorkette ; 4,4% - Strom Trocknung Sonstige ; 3,5% - Strom Einschnitt Prozess ; Rest 20,8%
<b>RSF</b> Erneuerbare Sekundärbrennstoffe [MJ]	101	Wärmeerzeugung mit Altholz

Tabelle 3.2.11.G: Relation des Einsatzes ausgewählter Primärenergietypen zueinander

Primärenergietyp	Relation	Primärenergietyp
<b>PERE</b> Erneuerbare Primärenergie als Energieträger [MJ]	1 : 5,09	<b>PERM</b> Erneuerbare Primärenergie zur stofflichen Nutzung [MJ]
<b>PENRE</b> Nicht-erneuerbare Primärenergie als Energieträger [MJ]	1 : 3,04	<b>PERM</b> Erneuerbare Primärenergie zur stofflichen Nutzung [MJ]
<b>PERE</b> Erneuerbare Primärenergie als Energieträger [MJ]	1 : 1,68	<b>PENRE</b> Nicht-erneuerbare Primärenergie als Energieträger [MJ]

Von der insgesamt eingesetzten Masse an Holz ohne Nebenprodukte werden bis zum Werkstor etwa 16 % zur Erzeugung von Wärme verbrannt. Der Anteil an eingesetzter fossiler Energie entspricht etwa 1/3 des Energieinhalts des Produktes. Der Anteil eingesetzter Energie aus erneuerbaren Quellen ist kleiner als der Anteil an Energie aus fossilen Quellen.

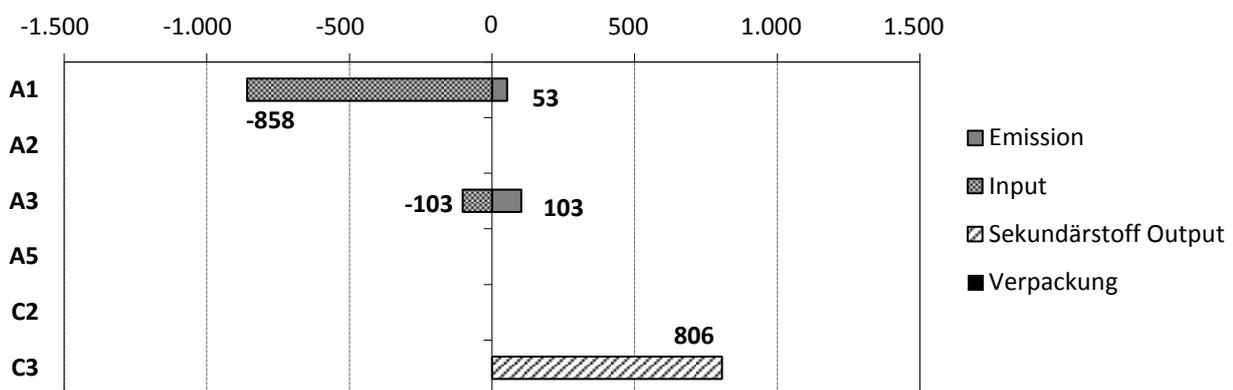


Abbildung 3.2.11.G: Bilanz der Kohlenstoffflüsse in der Holzbiomasse [kg CO<sub>2</sub>]

Insgesamt werden durch den Rohstoff Holz etwa 961 kg CO<sub>2</sub> (gespeichert in Biomasse) in dem System eingesetzt. Davon werden 53 kg CO<sub>2</sub> im Verlauf der Vorketten und 103 im Rahmen der Wärmeerzeugung vor Ort emittiert. Die im Produkt gespeicherte Menge an Kohlenstoff wird während der Entsorgung in Modul C3 entweder als Emission in Höhe von 806 kg CO<sub>2</sub> oder in Form von Altholz dem System entzogen.

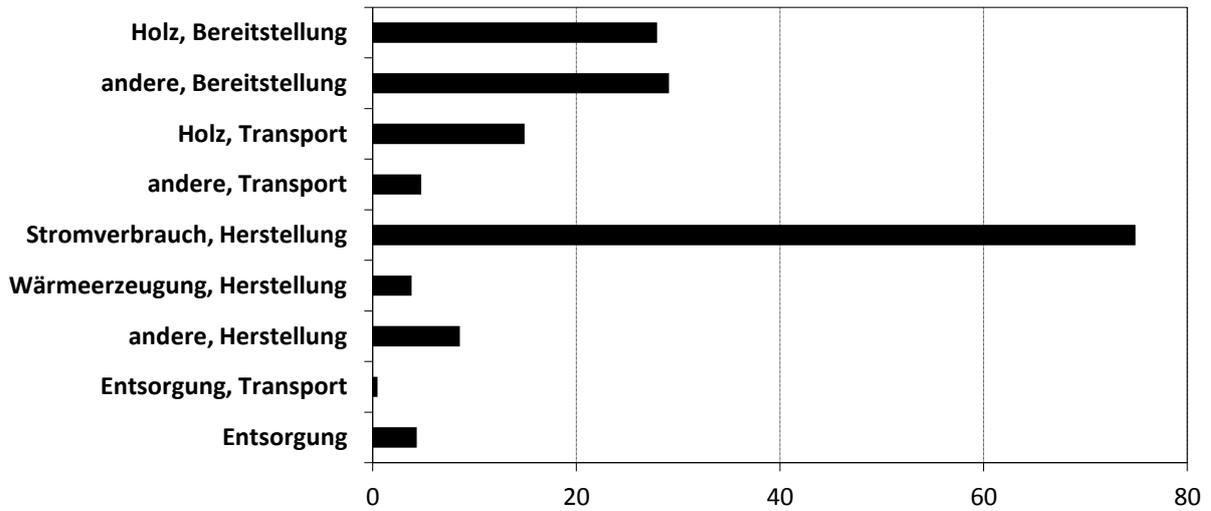


Abbildung 3.2.11.H: Treibhausgasemissionen aus fossilen Quellen nach Modulen A1 bis A3, C2 und C3 (energetisch) [kg CO<sub>2</sub>-Äqv./m<sup>3</sup> Produkt]

Die wesentlichen Quellen des Treibhausgaspotentials sind der Stromverbrauch vor Ort (44 %) und die Bereitstellung der Rohstoffe in Form von Holz (17 %) und Klebstoffen (17 %).

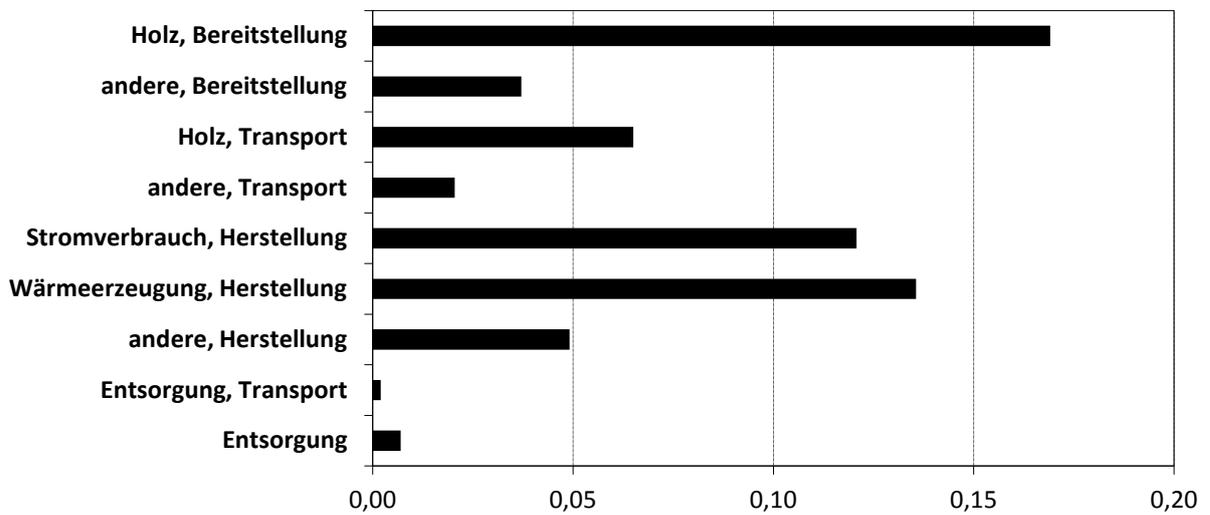


Abbildung 3.2.11.I: Versauerungspotential nach Modulen A1 bis A3, C2 und C3 (energetisch) [kg SO<sub>2</sub>-Äqv./m<sup>3</sup> Produkt]

Wesentliche Emissionen hinsichtlich des Versauerungspotentials stammen aus den Vorketten der Bereitstellung von Holz (28 %) und dessen Transport (11 %). Dazu kommen die Emissionen aus der Verbrennung von Holz vor Ort (22 %). Insgesamt spielt der Stromverbrauch eine weitere tragende Rolle (20 %).

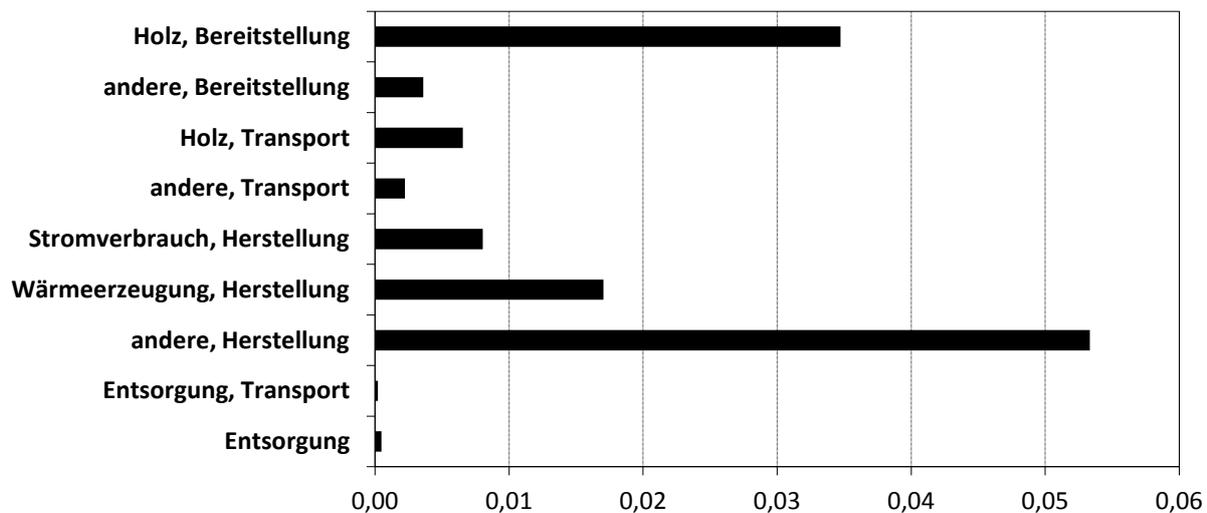


Abbildung 3.2.11.J: Ozonbildungspotential nach Modulen A1 bis A3, C2 und C3 (energetisch) [kg Ethen-Äqv./m³ Produkt]

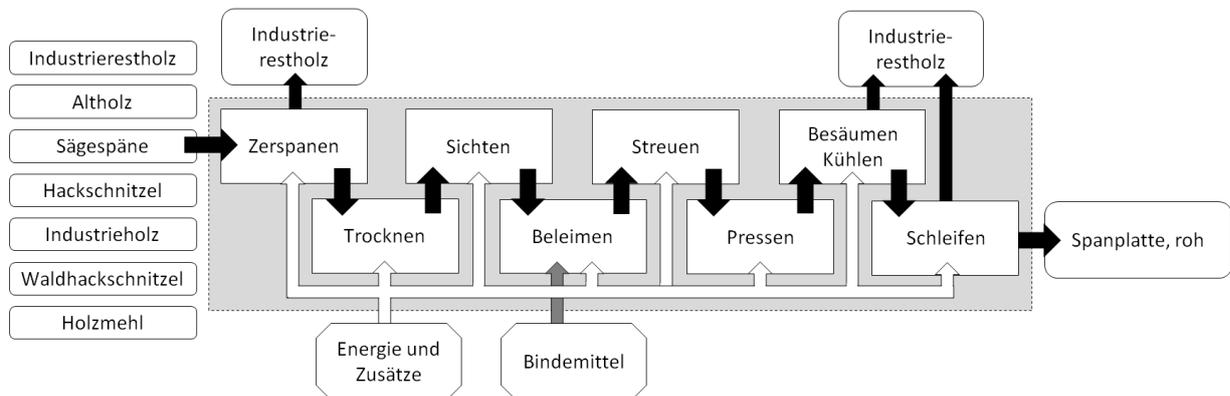
Ausschlaggebend für das Ozonbildungspotential sind vor allem die Emissionen der Trocknung vor Ort, das Abbinden der Klebstoffe sowie die Emissionen entlang der Vorkette für die Bereitstellung der Holzrohstoffe.

### 3.2.12 Spanplatte, roh

Spanplatten sind plattenförmige Holzwerkstoffe. Sie bestehen hauptsächlich aus kleinteiligen Holzpartikeln wie Spänen und Mehl und werden mit duroplastischen Bindemitteln verpresst. Tabelle 3.2.12.A zeigt die Zusammensetzung der funktionalen Einheit (1 m<sup>3</sup> Produkt).

**Tabelle 3.2.12.A: Zusammensetzung der funktionalen Einheit am Werkstor**

Stoff	Am Werkstor	
	[kg/m <sup>3</sup> ]	Anteil [%]
Holz	537,65	84,893
<i>davon Kohlenstoff</i>	<i>268,83</i>	<i>42,447</i>
Wasser	37,64	5,943
Harnstoff-Formaldehyd Bindemittel	47,58	7,513
Melamin-Harnstoff-Formaldehyd Bindemittel	5,04	0,796
Phenol-Formaldehyd Bindemittel	0,41	0,065
Polymeres Diphenylmethandiisocyanat-Bindemittel	0,85	0,135
Paraffine (Hydrophobierung)	2,48	0,392
Harnstoff	1,39	0,220
Polyol	0,01	0,002
Brandhemmer	0,26	0,042
<b>Gesamt</b>	<b>633,32</b>	



**Abbildung 3.2.12.A: Schematische Darstellung der Herstellung von Spanplatte, roh**

Zur Herstellung dieser spanbasierten Holzwerkstoffe werden Holzrohstoffe aus Waldholz (Industrieholz oder Waldhackschnitzel), Industriestholz (Industriestholz, Hackschnitzel, Holzmehl) und Recyclingholz (Altholz, Ausschuss der eigenen Produktion) zunächst aufbereitet und getrocknet. Die Fraktionen werden sortiert (teilweise auch schon vor der Trocknung) und mit Bindemitteln vermischt bevor sie gleichmäßig in horizontalen Schichten gestreut und anschließend verpresst werden. Die verpressten Platten bzw. der verpresste Plattenstrang wird aufgetrennt und formatiert. Nachdem die

Klebstoffe vollständig ausgehärtet sind, werden die Platten verpackt. Tabelle 3.2.12.B zeigt die verwendeten Verpackungsmaterialien je funktionaler Einheit (1 m<sup>3</sup> Produkt).

**Tabelle 3.2.12.B: Verwendete Verpackungsmaterialien**

Verpackungsmaterial	[kg/m <sup>3</sup> ]
Metalle	0,058
Kunststoffe	0,161
Holz	5,2446
Papier	0,1299

Der Rohstoffpreis für 1 m<sup>3</sup> des Rohstoffmix in Form von Frischholz, Reststoffen und Altholz beträgt 27,24 € und das aus dem Produkt resultierende Altholz (Al) wird auf einen Wert von 4 € geschätzt (vgl. Tabelle 2-4). Somit ergibt sich bei der Berechnung des Szenarios der allgemeinen Verwertung nach ILCD eine Gutschrift in Höhe von 14,7 % der Aufwendungen der Bereitstellung der Holzrohstoffe.

Durchschnittlich wurden die Holzrohstoffe über Distanzen zwischen 47 km (Holzmehl) und 89 km (Industrieholz) transportiert. Der Rohstoffbezug ist somit regional.

Tabelle 3.2.1.C bildet die Sachbilanz für Spanplatte, roh inklusive der bei der Produktion entstehenden Nebenprodukte ab. Die funktionale Einheit ist die Bereitstellung von 1 m<sup>3</sup> des Produktes am Werkstor. Die Sachbilanz erfolgt ohne Darstellung der Vorketten.

**Tabelle 3.2.12.C: Sachbilanz für die Herstellung von Spanplatte, roh**

Fluss	Menge	Einheit
<b>INPUT</b>		
<b>Holzrohstoffe</b>		
Industrieholz	0,087	t (atro)
Waldhackschnitzel	0,008	t (atro)
Hackschnitzel	0,095	t (atro)
Späne	0,123	t (atro)
Sägemehl	0,023	t (atro)
IRH	0,149	t (atro)
Holzreste (eigenes Sägewerk)	0,008	t (atro)
Altholz	0,126	t (atro)
<b>Strom</b>	102,419	kWh
<b>Brennstoffe</b>		
Erdgas	69,048	MJ
Heizöl leicht	17,218	MJ

Fortsetzung Tabelle 3.2.12.C

Altholz	1934,314	MJ
IRH eigene Produktion	1196,252	MJ
Rinde eigene Produktion	83,085	MJ
<b>Betriebsmittel</b>		
Diesel	0,604	kg
Schmierstoffe	0,056	kg
Metalle	0,014	kg
Trinkwasser	202,692	kg
Schleifbänder	0,049	kg
<b>Bindemittel</b>		
Harnstoff Formaldehyd Bindemittel	42,848	kg
Melamin Harnstoff Formaldehyd Bindemittel	3,743	kg
Phenol Formaldehyd Bindemittel	1,519	kg
PMDI	4,022	kg
<b>Zusätze</b>		
Hydrophobierung	2,666	kg
Formaldehydfänger	1,328	kg
Polyol	0,056	kg
Trennmittel	0,003	kg
Brandhemmer	0,196	kg

OUTPUT		
<b>Produkte</b>		
Spanplatte, roh	1,000	m <sup>3</sup>
Reststoffe	0,080	m <sup>3</sup>
<b>Emissionen aus</b>	siehe Hintergrunddaten	
Verbrennung Brennstoffe		
Abbinden der Klebstoffe		
Verbrennung Diesel in Kraftprozess		
<b>Sonstiges</b>		
Abfälle	0,119	kg
Asche	siehe Hintergrunddaten	
Abwasser /teilweise als Emission in Luft	202,692	kg

Tabelle 3.2.12.D: Zusammenfassung aller Wirkungsindikatoren, Ressourceneinsätze und Outputflüsse

Parameter	Einheit	Bereitstellung der Rohstoffe (A1)	Transport (A2)	Herstellungsprozess (A3)	Summe cradle to gate (A1 - A3)	maximale Abweichung +%/-%	Transport zum Entsorger (C2)	Abfallwirtschaft (C3)	energetische Verwertung (D)	stoffliche Verwertung (D)	Verrechnung von A1 nach ILCD
<b>Ergebnisse Umweltauswirkung</b>											
GWP	[kg CO <sub>2</sub> -Äqv.]	-8,58E+02	4,06E+00	8,56E+01	<b>-7,68E+02</b>	+33/-23	5,85E-01	9,89E+02	-4,06E+02	-1,26E+01	-4,83E+00
ODP	[kg CFC11-Äqv.]	7,00E-06	8,11E-09	1,73E-05	<b>2,43E-05</b>	+35/-21	1,17E-09	1,19E-06	-9,25E-05	-1,07E-06	-5,69E-07
AP	[kg SO <sub>2</sub> -Äqv.]	2,56E-01	1,74E-02	2,25E-01	<b>4,98E-01</b>	+119/-19	2,51E-03	6,98E-03	-4,15E-01	-4,92E-02	-1,31E-02
EP	[kg PO <sub>43</sub> -Äqv.]	1,06E-01	4,04E-03	4,18E-02	<b>1,52E-01</b>	+44/-21	5,82E-04	5,89E-04	-3,94E-03	-1,02E-02	-2,39E-03
POCP	[kg Ethen-Äqv.]	2,85E-02	1,89E-03	2,17E-01	<b>2,47E-01</b>	+32/-11	2,72E-04	4,64E-04	-2,78E-02	-6,11E-03	-1,56E-03
ADPE	[kg Sb-Äqv.]	3,87E-05	8,56E-08	1,76E-04	<b>2,15E-04</b>	+161/-29	1,23E-08	1,23E-07	-6,98E-06	-4,13E-07	-1,58E-07
ADPF	[MJ]	2,62E+03	5,72E+01	9,83E+02	<b>3,66E+03</b>	+43/-21	8,25E+00	4,62E+01	-4,54E+03	-1,62E+02	-6,28E+01
<b>Ergebnisse Ressourceneinsatz</b>											
PERE	[MJ]	3,13E+01	7,58E-02	5,33E+02	<b>5,65E+02</b>		1,09E-02	4,70E+00	-4,01E+02	-8,26E+03	-5,72E-01
PERM	[MJ]	8,25E+03	0,00E+00	4,34E+01	<b>8,29E+03</b>		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	-9,65E+02
PERT	[MJ]	8,28E+03	7,58E-02	5,77E+02	<b>8,86E+03</b>		1,09E-02	4,70E+00	-4,01E+02	-8,26E+03	-9,65E+02
PENRE	[MJ]	2,29E+03	5,75E+01	1,58E+03	<b>3,93E+03</b>		8,29E+00	8,78E+01	-1,03E+04	-3,32E+02	3,48E+01
PENRM	[MJ]	5,80E+02	0,00E+00	0,00E+00	<b>5,80E+02</b>		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
PENRT	[MJ]	2,87E+03	5,75E+01	1,58E+03	<b>4,51E+03</b>		8,29E+00	8,78E+01	-1,03E+04	-3,32E+02	3,48E+01
SM	[kg]	1,10E+02	0,00E+00	0,00E+00	<b>1,10E+02</b>		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	2,85E+02	-1,28E+01
RSF	[MJ]	0,00E+00	0,00E+00	1,15E+03	<b>1,15E+03</b>		0,00E+00	0,00E+00	5,49E+03	0,00E+00	0,00E+00
NRSF	[MJ]	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	<b>0,00E+00</b>		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
FW	[m <sup>3</sup> ]	1,61E+03	1,08E+00	9,11E+02	<b>2,52E+03</b>		1,55E-01	4,99E+01	3,77E+03	-2,22E+02	-5,67E+01
<b>Ergebnisse Outputflüsse und Abfallkategorien</b>											
HWD	[kg]	2,82E-01	0,00E+00	5,56E-02	<b>3,38E-01</b>		0,00E+00	0,00E+00	1,65E+00	8,95E-03	8,95E-03
NHWD	[kg]	1,51E-02	0,00E+00	1,11E-02	<b>2,62E-02</b>		0,00E+00	0,00E+00	5,02E-05	-3,95E-06	-7,95E-07
RWD	[kg]	8,44E-02	1,01E-04	2,14E-01	<b>2,99E-01</b>		1,46E-05	1,49E-02	-1,16E+00	-8,00E-03	-1,68E-03
CRU	[kg]	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	<b>0,00E+00</b>		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
MFR	[kg]	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	<b>0,00E+00</b>		0,00E+00	6,33E+02	0,00E+00	-6,33E+02	0,00E+00
MER	[kg]	0,00E+00	0,00E+00	2,25E+00	<b>2,25E+00</b>		0,00E+00	6,33E+02	-6,36E+02	-2,25E+00	0,00E+00
EE1	[MJ]	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	<b>0,00E+00</b>		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
EE2	[MJ]	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	<b>0,00E+00</b>		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00

Alle nicht genannten Module fallen unter den Bereich „MND“ (= „Modul nicht deklariert“). <sup>1</sup> Strom & <sup>2</sup> Wärme

**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 Sekundärstoffbrennstoffe; NRSF = Nicht-erneuerbare Sekundärstoffbrennstoffe; 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 (Institute of Environmental Sciences Faculty of Science Universität Leiden, Niederlande) verwendet. Der Charakterisierungsfaktor für den Verbrauch von abiotischen Ressourcen (fossile Stoffe) ist der jeweilige unterer Heizwert am Extraktionspunkt des fossilen Brennstoffs. Langzeitemissionen (> 100 Jahre) werden in der Wirkungsabschätzung nicht berücksichtigt.

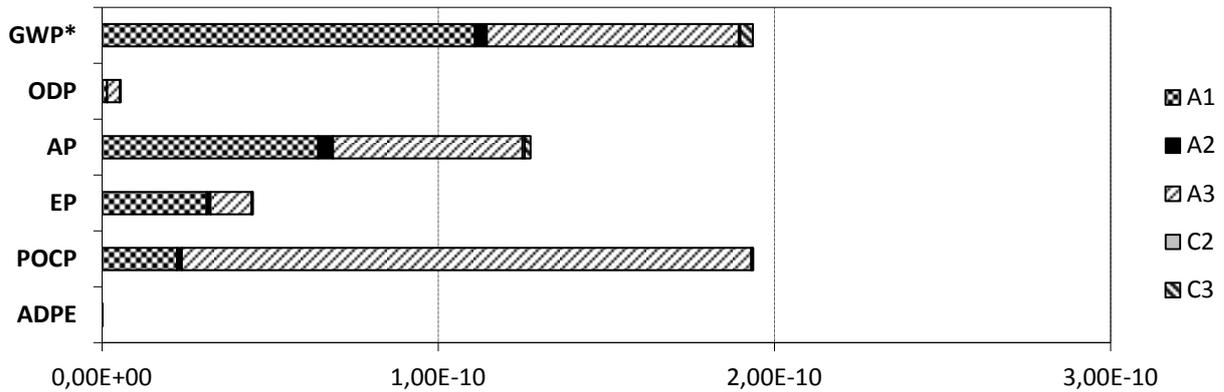


Abbildung 3.2.12.C: Wirkungspotentiale normiert nach deutschen Gesamtemissionen (ohne Modul D) für die Module A1 bis A3, C2 und C3 (energetisch) [%/100 der deutschen Gesamtemissionen]

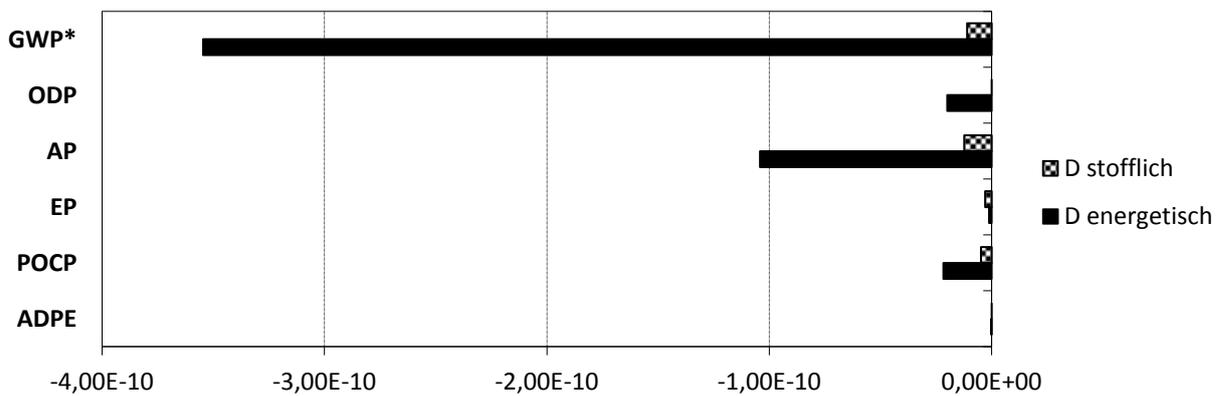


Abbildung 3.2.12.D: Wirkungspotentiale normiert nach deutschen Gesamtemissionen für die Szenarien im Modul D (stofflich und energetisch) [%/100 der deutschen Gesamtemissionen]

Tabelle 3.2.12.E: Haupteinflussfaktoren auf die Ergebnisse der drei relevantesten Wirkungsindikatoren (nach Normierung) [kg/m<sup>3</sup>]

Nr.	Indikator	Σ (A1 bis A3)	Haupteinflussfaktoren
1	AP Versauerungspotential [SO <sub>2</sub> -Äqv.]	0,498	23% - UF Klebstoff ; 18,1% - Wärme Trocknung ; 16,8% - SNP stofflich ; 5,8% - Strom Urformen ; 4,1% - Strom Infrastruktur ; 3,7% - Diesel ; Rest 28,5%
2	GWP Treibhausgaspotential – fossil [CO <sub>2</sub> -Äqv.]	216,622	41% - UF Klebstoff ; 8,3% - Strom Urformen ; 8,3% - SNP stofflich ; 7,1% - Wärme Trocknung ; 5,9% - Strom Infrastruktur ; 5,7% - MUF Klebstoff ; Rest 23,7%
3	POCP Ozonbildungspotential [Ethen-Äqv.]	0,247	56,9% - Zusätze Emissionen vor Ort ; 16,5% - Abbinden Klebstoff ; 8,8% - Wärme Trocknung ; 4,6% - UF Klebstoff ; 4,3% - SNP stofflich ; 1,5% - Wärme Urformen ; Rest 7,4%

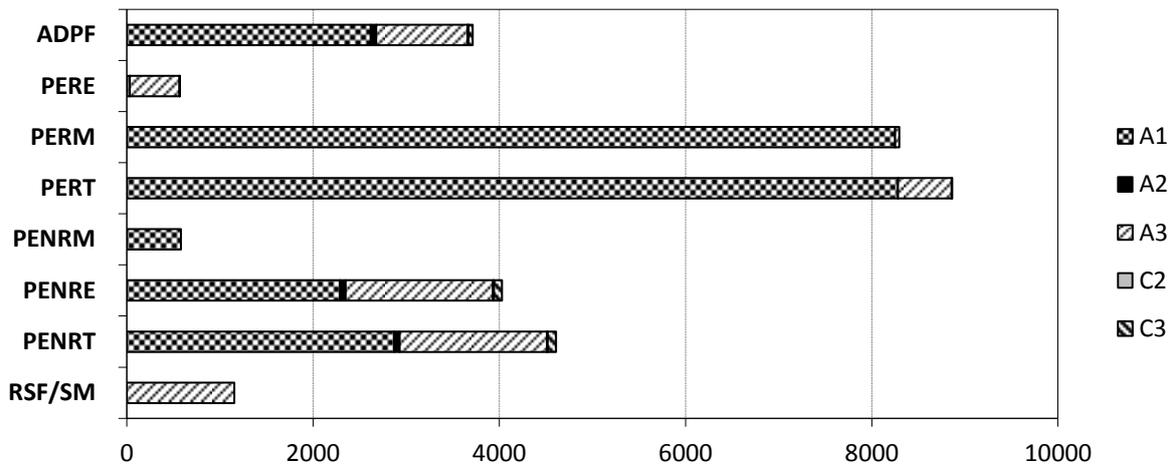


Abbildung 3.2.12.E: Einsatz von Ressourcen in den Modulen A1 bis A3, C2 und C3 (energetisch) [MJ/m³]

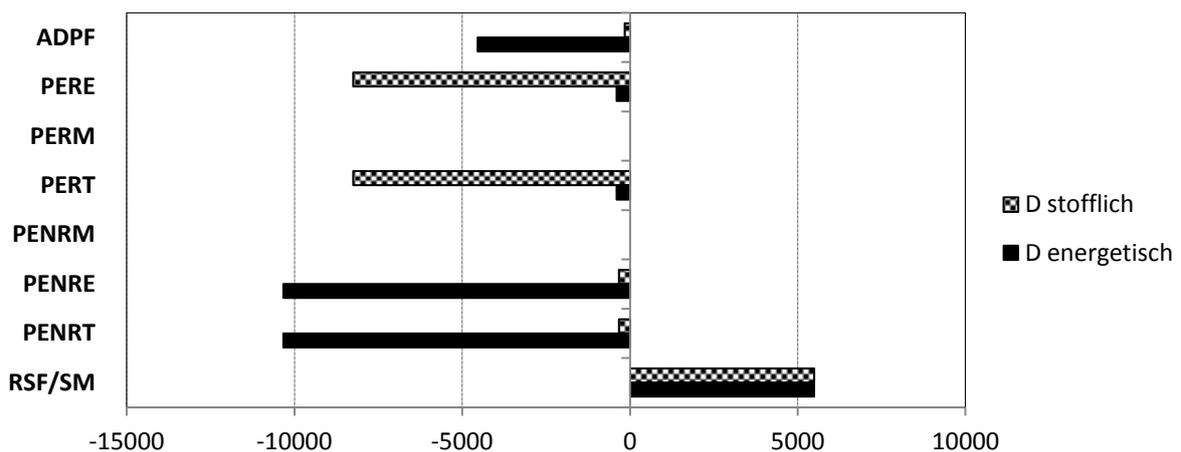


Abbildung 3.2.12.F: Gut- und Lastschriften für Ressourcen in Modul D stofflich und D energetisch [MJ/m³]

Tabelle 3.2.12.F: Hauptsächlichste Verwendung der eingesetzten Primärenergie und der Ressourcen [MJ/m³]

Primärenergietyp	Σ (A1 bis A3)	Hauptsächlichste Verwendung
<b>PERE</b> Erneuerbare Primärenergie als Energieträger [MJ]	565	Erzeugung von Wärme mit Holz.
<b>PENRE</b> Nicht-erneuerbare Primärenergie als Energieträger [MJ]	3932	45,9% - UF Klebstoff ; 8,1% - Strom Urformen ; 6,3% - Wärme Trocknung ; 5,9% - SNP stofflich ; 5,9% - MUF Klebstoff ; 5,7% - Strom Infrastruktur ; Rest 22,2%
<b>RSF</b> Erneuerbare Sekundärbrennstoffe [MJ]	1153	Erzeugung von Wärme mit Holz.

Tabelle 3.2.12.G: Relation des Einsatzes ausgewählter Primärenergietypen zueinander

Primärenergietyp	Relation	Primärenergietyp
<b>PERE</b> Erneuerbare Primärenergie als Energieträger [MJ]	1 : 14,69	<b>PERM</b> Erneuerbare Primärenergie zur stofflichen Nutzung [MJ]
<b>PENRE</b> Nicht-erneuerbare Primärenergie als Energieträger [MJ]	1 : 2,11	<b>PERM</b> Erneuerbare Primärenergie zur stofflichen Nutzung [MJ]
<b>PERE</b> Erneuerbare Primärenergie als Energieträger [MJ]	1 : 6,96	<b>PENRE</b> Nicht-erneuerbare Primärenergie als Energieträger [MJ]

Von der insgesamt eingesetzten Masse an Holz ohne Nebenprodukte werden bis zum Werkstor etwa 6 % zur Erzeugung von Wärme verbrannt. Der Anteil an eingesetzter fossiler Energie entspricht etwa der Hälfte des Energieinhalts des Produktes. Der Anteil eingesetzter Energie aus erneuerbaren Quellen entspricht etwa 14 % des Anteils an Energie aus fossilen Quellen.

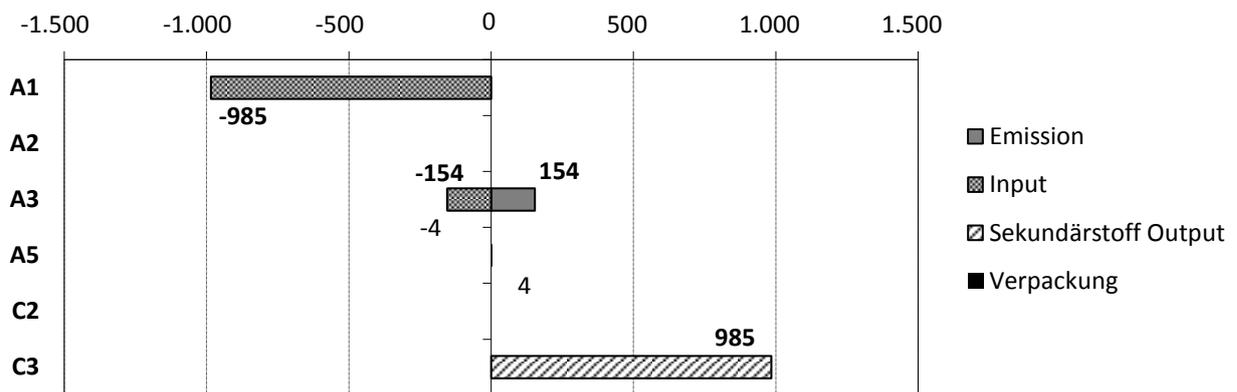


Abbildung 3.2.12.G: Bilanz der Kohlenstoffflüsse in der Holzbiomasse [kg CO<sub>2</sub>]

Insgesamt werden mit dem Rohstoff Holz etwa 1143 kg CO<sub>2</sub> (gespeichert in Biomasse) in dem System eingesetzt. Davon werden 154 kg CO<sub>2</sub> im Rahmen der Wärmeerzeugung vor Ort emittiert. Etwa 4 kg CO<sub>2</sub> werden über die Verpackung dem System zugeführt und im Rahmen der Entsorgung der Verpackung wieder emittiert. Die im Produkt gespeicherte Menge an Kohlenstoff wird während der Entsorgung in Modul C3 entweder als Emission in Höhe von 985 kg CO<sub>2</sub> oder in Form von Altholz dem System entzogen.

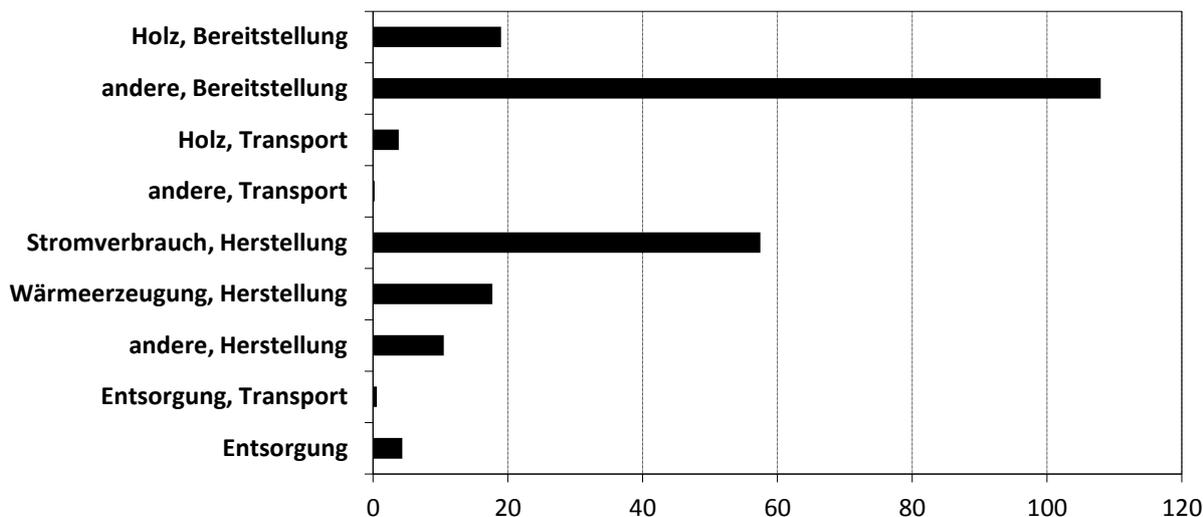


Abbildung 3.2.12.H: Treibhausgasemissionen aus fossilen Quellen nach Modulen A1 bis A3, C2 und C3 (energetisch) [kg CO<sub>2</sub>-Äqv./m<sup>3</sup> Produkt]

Die wesentlichen Quellen des Treibhausgaspotentials sind die Herstellung der Bindemittel (49 %) und der Stromverbrauch im Werk (26 %).

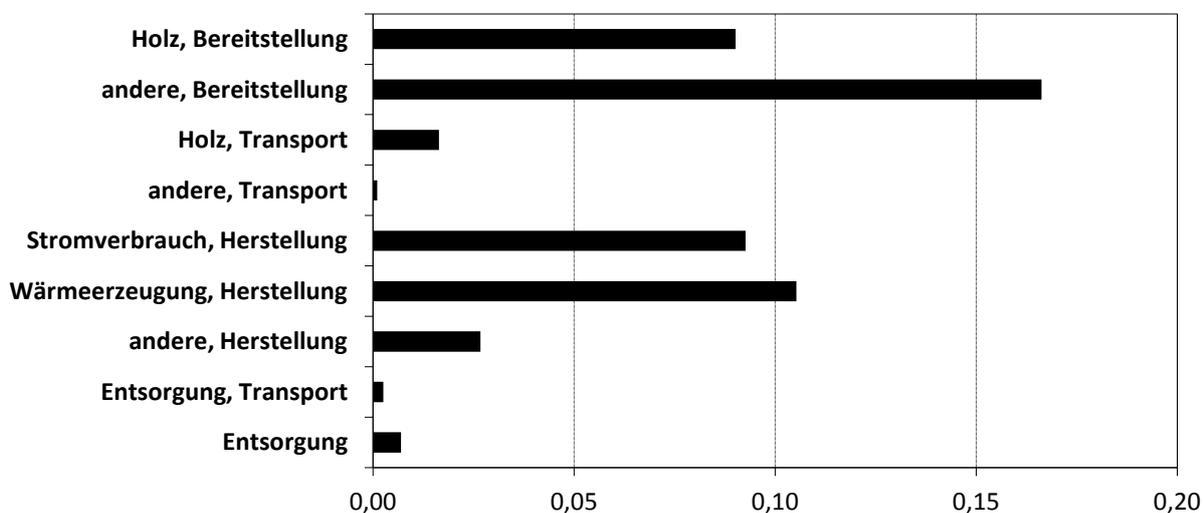


Abbildung 3.2.12.I: Versauerungspotential nach Modulen A1 bis A3, C2 und C3 (energetisch) [kg SO<sub>2</sub>-Äqv./m<sup>3</sup> Produkt]

Wesentlich auch im Bereich des Versauerungspotentials ist die Herstellung der Klebstoffe (33 %). Weiterhin ist der Stromverbrauch vor Ort (18 %) und die Wärmeerzeugung (21 %) relevant.

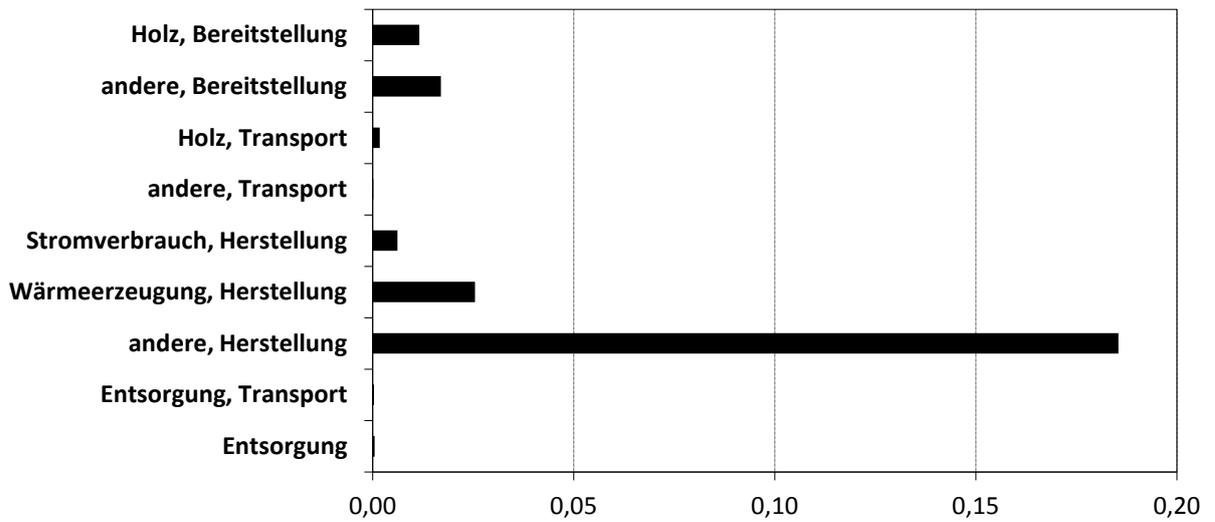


Abbildung 3.2.12.J: Ozonbildungspotential nach Modulen A1 bis A3, C2 und C3 (energetisch) [kg Ethen-Äqv./m³ Produkt]

Ausschlaggebend für das Ozonbildungspotential sind vor allem die Emissionen aus der Holz Trocknung.

### 3.2.13 Spanplatte, melaminbeschichtet

Melaminbeschichtete Spanplatten sind rohe Spanplatten, die mit melamingetränkten Beschichtungspapieren belegt sind. Tabelle 3.2.13.A zeigt die Zusammensetzung der funktionalen Einheit (1 m<sup>3</sup> Produkt).

Tabelle 3.2.13.A: Zusammensetzung der funktionalen Einheit am Werkstor

Stoff	Am Werkstor	
	[kg/m <sup>3</sup> ]	Anteil
Holz	530,95	83,840%
<i>davon Kohlenstoff</i>	<i>265,48</i>	<i>41,920%</i>
Wasser	37,17	5,869%
Harnstoff-Formaldehyd Bindemittel	43,32	6,840%
Melamin-Harnstoff-Formaldehyd Bindemittel	8,69	1,372%
Polymeres Diphenylmethandiisocyanat-Bindemittel	0,003	0,001%
Paraffine (Hydrophobierung)	1,97	0,311%
Harnstoff	1,48	0,234%
Brandhemmer	0,52	0,082%
Beschichtung	9,19	1,452%
<b>Gesamt</b>	<b>633,29</b>	

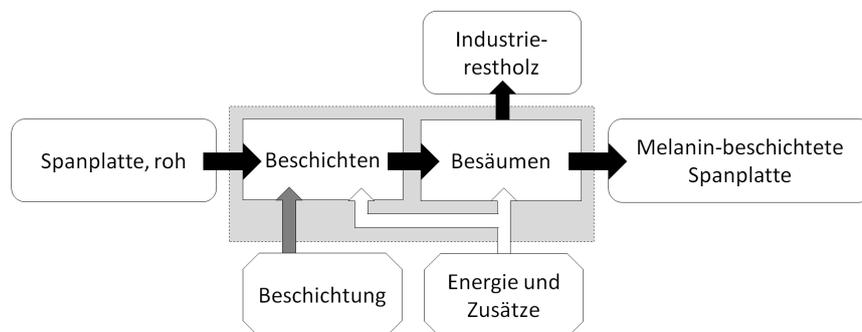


Abbildung 3.2.13.A: Schematische Darstellung der Herstellung

Zur Herstellung von beschichteten Spanplatten werden zunächst rohe Spanplatten mit melaminharzgetränkten Papieren belegt. Die vorpolymerisierten Papiere werden dann in einer Heißpresse mit der Spanplatten verpresst. Die Platten werden besäumt und verpackt. Tabelle 3.2.13.B zeigt die verwendeten Verpackungsmaterialien je funktionaler Einheit (1 m<sup>3</sup> Produkt).

**Tabelle 3.2.13.B: Verwendete Verpackungsmaterialien**

Verpackungsmaterial	[kg/m <sup>3</sup> ]
Metalle	0,063
Kunststoffe	0,205
Holz	5,221
Papier	0,124

Der Rohstoffpreis für 1 m<sup>3</sup> des Rohstoffmix in Form von frischem Waldholz, Resthölzer und Altholz beträgt 24,39 € und das aus dem Produkt resultierende Altholz (Altholz AI) wird auf einen Wert von 4 € geschätzt (vgl. Tabelle 2-4). Somit ergibt sich bei der Berechnung des Szenarios der allgemeinen Verwertung nach ILCD eine Gutschrift in Höhe von 16,4 % der Aufwendungen der Bereitstellung der Holzrohstoffe.

Durchschnittlich wurden die Holzrohstoffe über Distanzen zwischen 54 km (Holzmehl) und 119 km (Industrieholz) transportiert.

Tabelle 3.2.1.C bildet die Sachbilanz für melaminbeschichtete Spanplatte inklusive der bei der Produktion entstehenden Nebenprodukte ab. Die funktionale Einheit ist die Bereitstellung von 1 m<sup>3</sup> des Produktes am Werkstor. Die Sachbilanz erfolgt ohne Darstellung der Vorketten.

**Tabelle 3.2.13.C: Sachbilanz für die Herstellung von melaminbeschichteter Spanplatte**

Fluss	Menge	Einheit
<b>INPUT</b>		
<b>Holzrohstoffe</b>		
Industrieholz	0,085	t (atro)
Waldhackschnitzel	0,002	t (atro)
Hackschnitzel	0,017	t (atro)
Späne	0,040	t (atro)
IRH	0,326	t (atro)
Holzreste (eigenes Sägewerk)	0,017	t (atro)
Altholz	0,135	t (atro)
<b>Strom</b>	121,059	kWh
<b>Brennstoffe</b>		
Erdgas	112,873	MJ
Heizöl leicht	4,740	MJ
Heizöl schwer	0,586	MJ
Altholz	2109,011	MJ
IRH eigene Produktion	1982,632	MJ
<b>Betriebsmittel</b>		
Diesel	0,729	kg
Schmierstoffe	0,061	kg

Fortsetzung von Tabelle 3.2.13.C

Metalle	0,011	kg
Trinkwasser	317,425	kg
Schleifbänder	0,058	kg
<b>Bindemittel</b>		
Harnstoff Formaldehyd Bindemittel	43,320	kg
Melamin Harnstoff Formaldehyd Bindemittel	8,686	kg
PMDI	0,003	kg
<b>Zusätze</b>		
Hydrophobierung	1,972	kg
Formaldehydfänger	1,482	kg
Trennmittel	0,011	kg
Brandhemmer	0,517	kg
Melaminbeschichtung	9,193	kg

OUTPUT		
<b>Produkte</b>		
Spanplatte, melaminbeschichtet	1,000	m <sup>3</sup>
Reststoffe	0,091	m <sup>3</sup>
<b>Emissionen aus</b>	siehe Hintergrunddaten	
Verbrennung Brennstoffe		
Verbrennung Diesel in Kraftprozess		
<b>Sonstiges</b>		
Abfälle	0,131	kg
Asche	siehe Hintergrunddaten	
Abwasser /teilweise als Emission in Luft	310,425	kg

Tabelle 3.2.13.D: Zusammenfassung aller Wirkungsindikatoren, Ressourceneinsätze und Outputflüsse

Parameter	Einheit	Bereitstellung der Rohstoffe (A1)	Transport (A2)	Herstellungsprozess (A3)	Summe cradle to gate (A1 - A3)	maximale Abweichung +%/-%	Transport zum Entsorger (C2)	Abfallwirtschaft (C3)	energetische Verwertung (D)	stoffliche Verwertung (D)	Verrechnung von A1 nach ILCD
<b>Ergebnisse Umweltauswirkung</b>											
GWP	[kg CO <sub>2</sub> -Äqv.]	-7,60E+02	4,49E+00	1,10E+02	<b>-6,46E+02</b>	+24/-19	5,84E-01	9,77E+02	-4,23E+02	-1,25E+01	-5,22E+00
ODP	[kg CFC11-Äqv.]	2,10E-05	8,98E-09	2,24E-05	<b>4,34E-05</b>	+30/-23	1,17E-09	1,19E-06	-9,65E-05	-1,09E-06	-6,16E-07
AP	[kg SO <sub>2</sub> -Äqv.]	4,40E-01	1,93E-02	2,60E-01	<b>7,19E-01</b>	+32/-20	2,51E-03	6,98E-03	-4,34E-01	-4,80E-02	-1,41E-02
EP	[kg PO <sub>43</sub> -Äqv.]	1,69E-01	4,47E-03	4,82E-02	<b>2,22E-01</b>	+30/-18	5,81E-04	5,89E-04	-4,12E-03	-9,92E-03	-2,58E-03
POCP	[kg Ethen-Äqv.]	5,89E-02	2,09E-03	2,24E-01	<b>2,85E-01</b>	+20/-13	2,71E-04	4,64E-04	-2,90E-02	-5,96E-03	-1,68E-03
ADPE	[kg Sb-Äqv.]	5,40E-05	9,49E-08	1,92E-04	<b>2,46E-04</b>	+19/-15	1,23E-08	1,23E-07	-7,29E-06	-4,11E-07	-1,71E-07
ADPF	[MJ]	3,68E+03	6,34E+01	1,30E+03	<b>5,04E+03</b>	+21/-19	8,24E+00	4,62E+01	-4,74E+03	-1,61E+02	-6,79E+01
<b>Ergebnisse Ressourceneinsatz</b>											
PERE	[MJ]	7,71E+01	8,40E-02	8,35E+02	<b>9,12E+02</b>		1,09E-02	4,70E+00	-3,96E+02	-8,02E+03	-6,17E-01
PERM	[MJ]	8,01E+03	0,00E+00	4,70E+01	<b>8,06E+03</b>		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	-1,03E+03
PERT	[MJ]	8,09E+03	8,40E-02	8,82E+02	<b>8,97E+03</b>		1,09E-02	4,70E+00	-3,96E+02	-8,02E+03	-1,03E+03
PENRE	[MJ]	3,67E+03	6,37E+01	2,08E+03	<b>5,81E+03</b>		8,28E+00	8,78E+01	-1,04E+04	-3,23E+02	4,81E+01
PENRM	[MJ]	6,52E+02	0,00E+00	0,00E+00	<b>6,52E+02</b>		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
PENRT	[MJ]	4,33E+03	6,37E+01	2,08E+03	<b>6,47E+03</b>		8,28E+00	8,78E+01	-1,04E+04	-3,23E+02	4,81E+01
SM	[kg]	1,15E+02	0,00E+00	0,00E+00	<b>1,15E+02</b>		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	2,85E+02	-1,48E+01
RSF	[MJ]	2,14E+01	0,00E+00	5,99E+02	<b>6,20E+02</b>		0,00E+00	0,00E+00	5,49E+03	0,00E+00	-2,75E+00
NRSF	[MJ]	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	<b>0,00E+00</b>		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
FW	[m <sup>3</sup> ]	1,85E+03	1,20E+00	1,11E+03	<b>2,96E+03</b>		1,55E-01	4,99E+01	3,94E+03	-2,13E+02	-6,17E+01
<b>Ergebnisse Outputflüsse und Abfallkategorien</b>											
HWD	[kg]	3,80E-01	0,00E+00	7,02E-02	<b>4,51E-01</b>		0,00E+00	0,00E+00	1,73E+00	9,69E-03	9,69E-03
NHWD	[kg]	1,62E-03	0,00E+00	1,09E-02	<b>1,25E-02</b>		0,00E+00	0,00E+00	5,24E-05	-3,81E-06	-8,51E-07
RWD	[kg]	2,28E-01	1,12E-04	2,79E-01	<b>5,07E-01</b>		1,46E-05	1,49E-02	-1,21E+00	-7,77E-03	-1,82E-03
CRU	[kg]	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	<b>0,00E+00</b>		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
MFR	[kg]	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	<b>0,00E+00</b>		0,00E+00	6,33E+02	0,00E+00	-6,33E+02	0,00E+00
MER	[kg]	0,00E+00	0,00E+00	2,44E+00	<b>2,44E+00</b>		0,00E+00	6,33E+02	-6,36E+02	-2,44E+00	0,00E+00
EE1	[MJ]	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	<b>0,00E+00</b>		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
EE2	[MJ]	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	<b>0,00E+00</b>		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00

Alle nicht genannten Module fallen unter den Bereich „MND“ (= „Modul nicht deklariert“). <sup>1</sup> Strom & <sup>2</sup> Wärme

**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 (Institute of Environmental Sciences Faculty of Science Universität Leiden, Niederlande) verwendet. Der Charakterisierungsfaktor für den Verbrauch von abiotischen Ressourcen (fossile Stoffe) ist der jeweilige unterer Heizwert am Extraktionspunkt des fossilen Brennstoffs. Langzeitemissionen (> 100 Jahre) werden in der Wirkungsabschätzung nicht berücksichtigt.

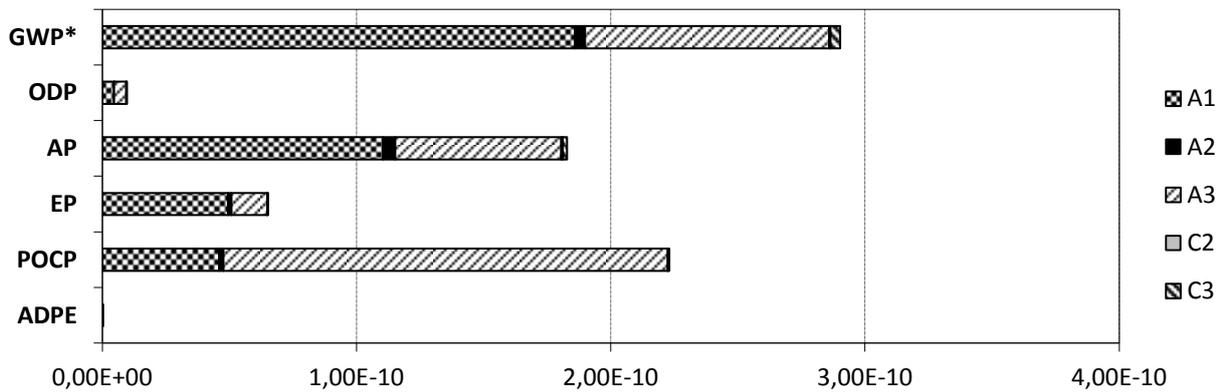


Abbildung 3.2.13.C: Wirkungspotentiale normiert nach deutschen Gesamtemissionen (ohne Modul D) für die Module A1 bis A3, C2 und C3 (energetisch) [%/100 der deutschen Gesamtemissionen]

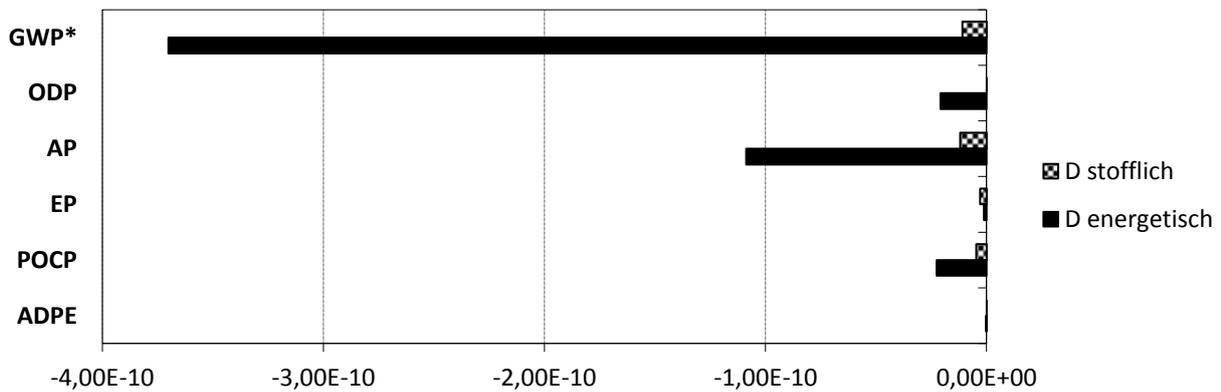


Abbildung 3.2.13.D: Wirkungspotentiale normiert nach deutschen Gesamtemissionen für die Szenarien im Modul D (stofflich und energetisch) [%/100 der deutschen Gesamtemissionen]

Tabelle 3.2.13.E: Haupteinflussfaktoren auf die Ergebnisse der drei relevantesten Wirkungsindikatoren (nach Normierung) [kg/m³]

Nr.	Indikator	Σ (A1 bis A3)	Haupteinflussfaktoren
1	<b>AP</b> Versauerungspotential [SO <sub>2</sub> -Äqv.]	0,719	29,1% - Beschichtung ; 14,3% - UF Klebstoff ; 12,7% - Wärme Trocknung ; 11,4% - SNP stofflich ; 5,2% - Strom Infrastruktur ; 4,7% - Strom Urformen ; Rest 22,6%
2	<b>GWP</b> Treibhausgaspotential – fossil [CO <sub>2</sub> -Äqv.]	327,124	28,1% - Beschichtung ; 24,3% - UF Klebstoff ; 7,1% - Strom Infrastruktur ; 6,8% - Wärme Trocknung ; 6,4% - Strom Urformen ; 6,3% - MUF Klebstoff ; Rest 21%
3	<b>POCP</b> Ozonbildungspotential [Ethen-Äqv.]	0,285	48,9% - Zusätze Emissionen vor Ort ; 13,9% - Abbinden Klebstoff ; 11,5% - Beschichtung ; 9,4% - Wärme Trocknung ; 3,7% - SNP stofflich ; 3,6% - UF Klebstoff ; Rest 9%

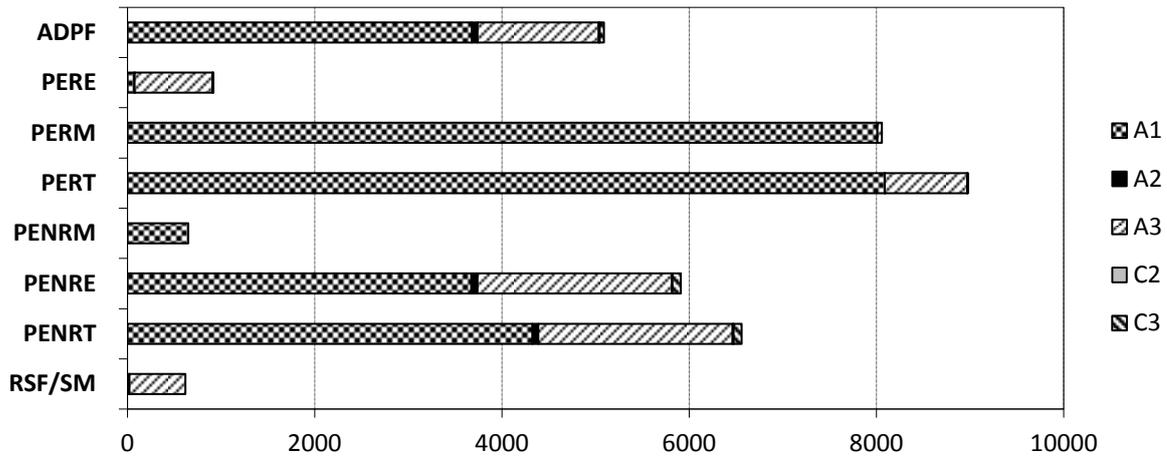


Abbildung 3.2.13.E: Einsatz von Ressourcen in den Modulen A1 bis A3, C2 und C3 (energetisch) [MJ/m³]

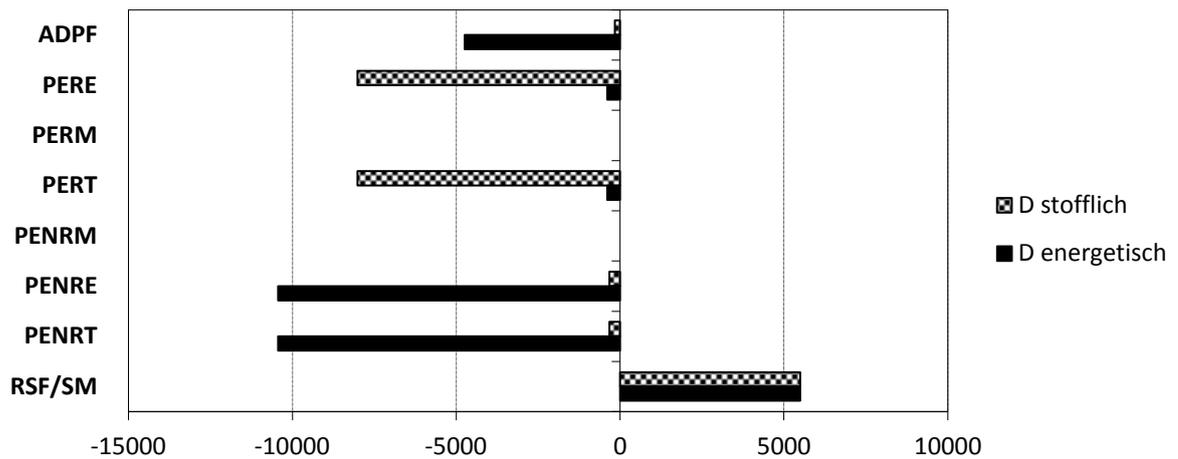


Abbildung 3.2.13.F: Gut- und Lastschriften für Ressourcen in Modul D stofflich und D energetisch [MJ/m³]

Tabelle 3.2.13.F: Hauptsächliche Verwendung der eingesetzten Primärenergie und der Ressourcen [MJ/m³]

Primärenergietyp	Σ (A1 bis A3)	Hauptsächliche Verwendung
<b>PERE</b> Erneuerbare Primärenergie als Energieträger [MJ]	912	Erzeugung von Wärme mit Holz
<b>PENRE</b> Nicht-erneuerbare Primärenergie als Energieträger [MJ]	5814	28,7% - UF Klebstoff ; 25,3% - Beschichtung ; 7,3% - Strom Infrastruktur ; 6,9% - MUF Klebstoff ; 6,6% - Wärme Trocknung ; 6,5% - Strom Urformen ; Rest 18,7%
<b>RSF</b> Erneuerbare Sekundärbrennstoffe [MJ]	620	Erzeugung von Wärme mit Altholz

Tabelle 3.2.13.G: Relation des Einsatzes ausgewählter Primärenergietypen zueinander

Primärenergietyp	Relation	Primärenergietyp
<b>PERE</b> Erneuerbare Primärenergie als Energieträger [MJ]	1 : 8,83	<b>PERM</b> Erneuerbare Primärenergie zur stofflichen Nutzung [MJ]
<b>PENRE</b> Nicht-erneuerbare Primärenergie als Energieträger [MJ]	1 : 1,39	<b>PERM</b> Erneuerbare Primärenergie zur stofflichen Nutzung [MJ]
<b>PERE</b> Erneuerbare Primärenergie als Energieträger [MJ]	1 : 6,37	<b>PENRE</b> Nicht-erneuerbare Primärenergie als Energieträger [MJ]

Von der insgesamt eingesetzten Masse an Holz ohne Nebenprodukte werden bis zum Werkstor etwa 10 % zur Erzeugung von Wärme verbrannt. Der Anteil an eingesetzter fossiler Energie entspricht etwa 2/3 des Energieinhalts des Produktes. Der Anteil eingesetzter Energie aus erneuerbaren Quellen entspricht etwa 16 % des Anteils an Energie aus fossilen Quellen.

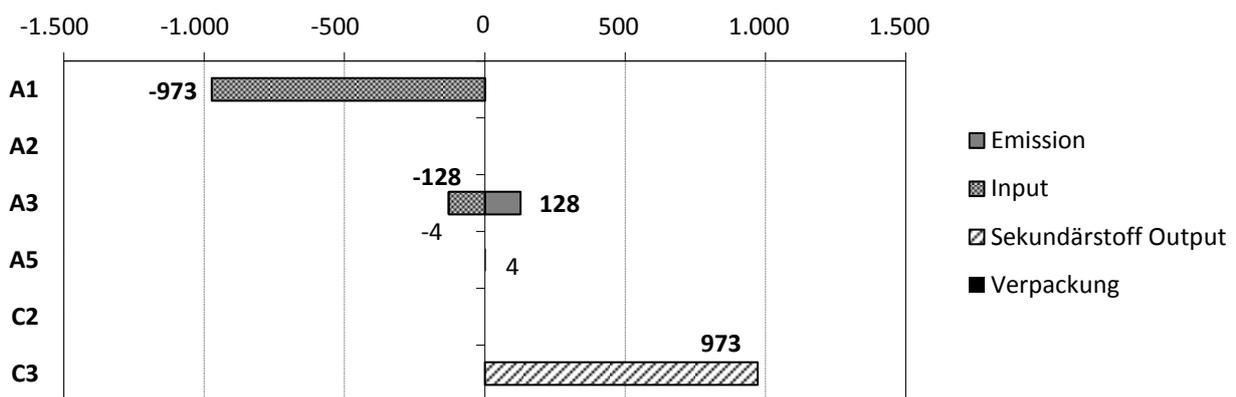


Abbildung 3.2.13.G: Bilanz der Kohlenstoffflüsse in der Holzbiomasse [kg CO<sub>2</sub>]

Insgesamt werden durch den Rohstoff Holz etwa 1105 kg CO<sub>2</sub> (gespeichert in Biomasse) in dem System eingesetzt. Davon werden 128 kg CO<sub>2</sub> im Rahmen der Wärmeerzeugung vor Ort emittiert. Etwa 4 kg CO<sub>2</sub> werden über die Verpackung dem System zugeführt und im Rahmen der Entsorgung der Verpackung wieder emittiert. Die im Produkt gespeicherte Menge an Kohlenstoff wird während der Entsorgung in Modul C3 entweder als Emission in Höhe von 973 kg CO<sub>2</sub> oder in Form von Kohlenstoff im Altholz dem System entzogen.

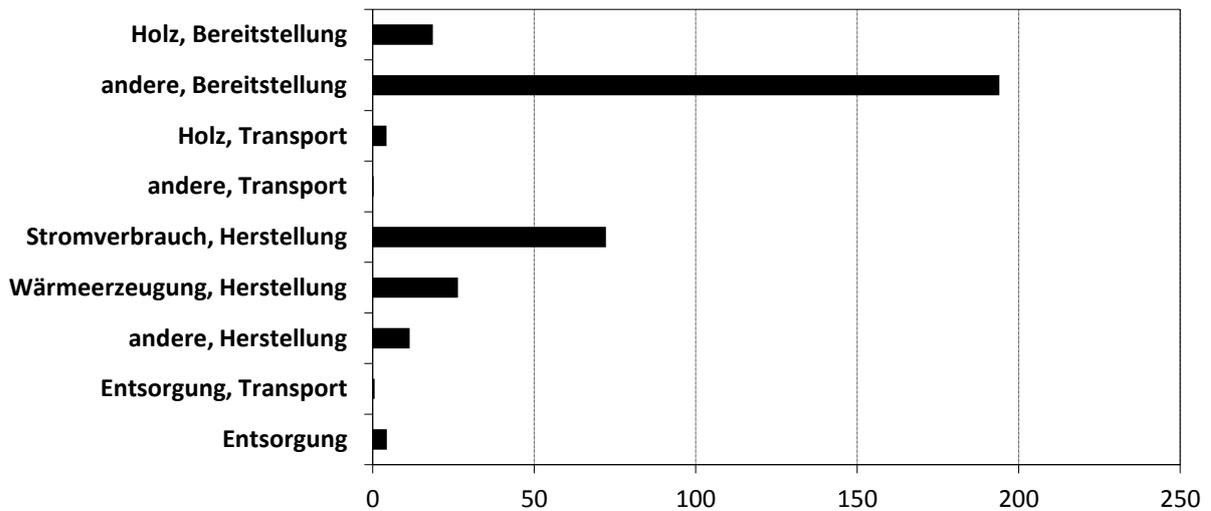


Abbildung 3.2.13.H: Treibhausgasemissionen aus fossilen Quellen nach Modulen A1 bis A3, C2 und C3 (energetisch) [kg CO<sub>2</sub>-Äqv./m<sup>3</sup> Produkt]

Die wesentlichen Quellen des Treibhausgaspotentials sind die Herstellung der Beschichtung und der Klebstoffe (zusammen 58 %). Daneben ist auch der Stromverbrauch im Werk mit einem Beitrag von 22 % bedeutend.

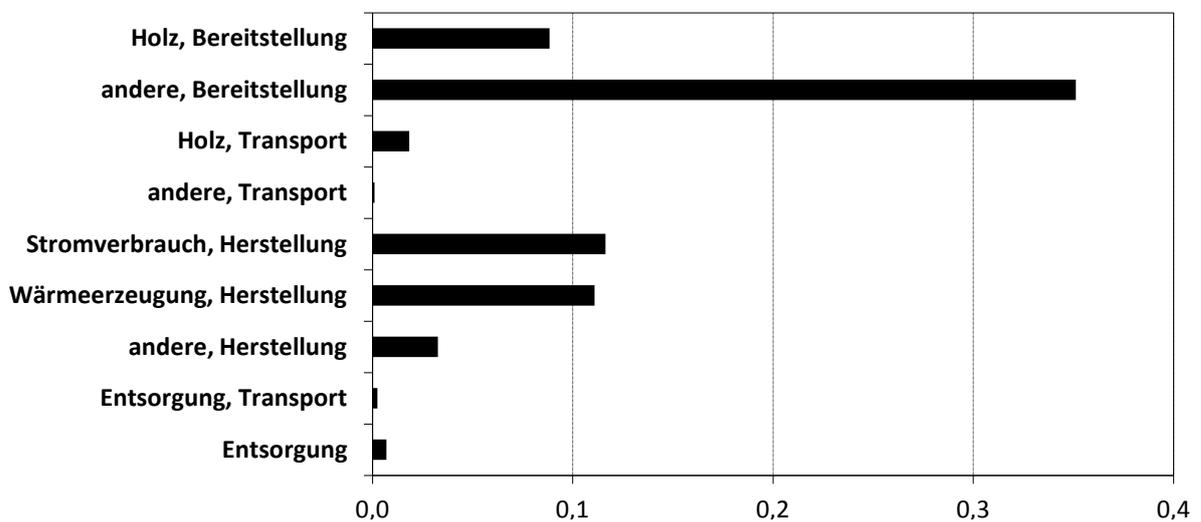


Abbildung 3.2.13.I: Versauerungspotential nach Modulen A1 bis A3, C2 und C3 (energetisch) [kg SO<sub>2</sub>-Äqv./m<sup>3</sup> Produkt]

Beim Versauerungspotential sind die Emissionen aus der Herstellung der Beschichtung und der Klebstoffe mit zusammen 48 % dominierend.

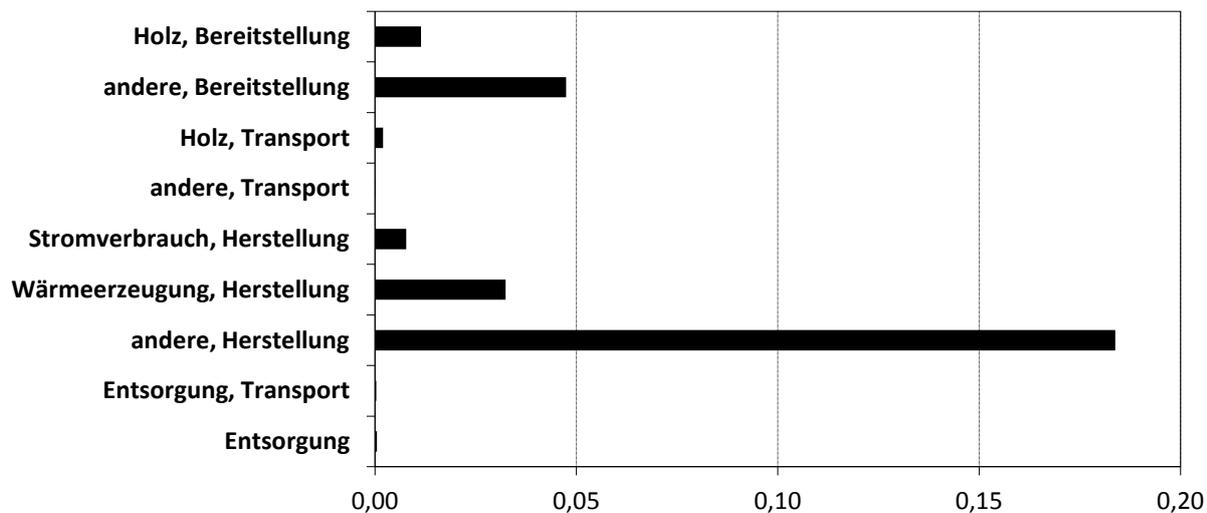


Abbildung 3.2.13.J: Ozonbildungspotential nach Modulen A1 bis A3, C2 und C3 (energetisch) [kg Ethen-Äqv./m³ Produkt]

Quellen für Emissionen, die zur Ozonbildung beitragen, stammen vor allem aus der Trocknung und dem Abbinden der Klebstoffe (zusammen 64 %).

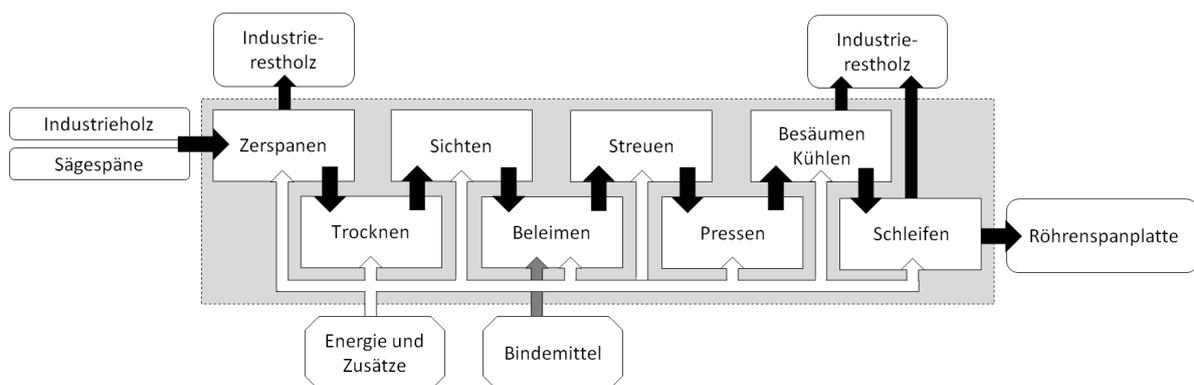
### 3.2.14 Spanplatte, Röhrenspanplatte

Röhrenspanplatten sind leichte Spanplatte, bei denen die mittlere Schicht mit röhrenförmigen Hohlräumen durchzogen ist. Sie bestehen hauptsächlich aus kleinteiligen Holzpartikeln wie Spänen und Mehl und werden mit duroplastischen Bindemitteln verpresst. Tabelle 3.2.14.A zeigt die Zusammensetzung der funktionalen Einheit (1 m<sup>3</sup> Produkt).

Als Bindemittel werden Harnstoff-Formaldehyd-Harze (UF) verwendet. Als weitere Inhaltstoffe werden Paraffine zur Hydrophobierung der Späne genutzt. Tabelle 3.2.14.A zeigt die Zusammensetzung der funktionalen Einheit (1 m<sup>3</sup> Produkt).

**Tabelle 3.2.14.A: Zusammensetzung der funktionalen Einheit am Werkstor**

Stoff	Am Werkstor	
	[kg/m <sup>3</sup> ]	Anteil [%]
Holz	235,20	86,47%
<i>davon Kohlenstoff</i>	<i>117,60</i>	<i>43,235%</i>
Wasser	16,32	6,000%
Harnstoff-Formaldehyd Bindemittel	20,14	7,405%
Paraffine (Hydrophobierung)	0,34	0,125%
<b>Gesamt</b>	<b>272,00</b>	



**Abbildung 3.2.14.A: Schematische Darstellung der Herstellung**

Zur Herstellung dieser spanbasierten Holzwerkstoffe werden Holzrohstoffe aus Waldholz (Industrieholz oder Waldhackschnitzel) und Industrierestholz (Industrierestholz, Hackschnitzel, Holzmehl) zunächst aufbereitet und getrocknet. Die sortierten Fraktionen werden mit Bindemitteln vermischt und durch einen Einfallkanal zwischen zwei Heizplatten gestreut. Die Späne werden über eine Kolben mit Rundstäben für die Hohlräume nach und nach komprimiert. Der verpresste Plattenstrang wird aufgetrennt und formatiert. Nachdem die Klebstoffe vollständig ausgehärtet sind, werden die Platten ver-

packt. Tabelle 3.2.14.B zeigt die verwendeten Verpackungsmaterialien je funktionaler Einheit (1 m<sup>3</sup> Produkt).

**Tabelle 3.2.14.B: Verwendete Verpackungsmaterialien**

Verpackungsmaterial	[kg/m <sup>3</sup> ]
Metalle	0,020
Kunststoffe	1,331
Holz	4,0243
Papier	0,0124

Der Rohstoffpreis für 1 m<sup>3</sup> des Rohstoffmixes aus Rundholz und Restholz beträgt 12,75 € und das aus dem Produkt resultierende Altholz (Altholz AII) wird auf einen Wert von 1,81 € geschätzt (vgl. Tabelle 2-4). Somit ergibt sich bei der Berechnung des Szenarios der allgemeinen Verwertung nach ILCD eine Gutschrift in Höhe von 15 % der Aufwendungen der Bereitstellung der Holzrohstoffe.

Die Holzrohstoffe für die Herstellung von Röhrenspanplatte wurden über eine Distanz von durchschnittlich 111 km transportiert.

Tabelle 3.2.14.C bildet die Sachbilanz für Röhrenspanplatte inklusive der bei der Produktion entstehenden Nebenprodukte ab. Die funktionale Einheit ist die Bereitstellung von 1 m<sup>3</sup> des Produktes am Werkstor. Die Sachbilanz erfolgt ohne Darstellung der Vorketten.

**Tabelle 3.2.14.C: Sachbilanz für die Herstellung von Röhrenspanplatte**

Fluss	Menge	Einheit
<b>INPUT</b>		
<b>Holzrohstoffe</b>		
Industrieholz	0,008	t (atro)
Späne	0,227	t (atro)
<b>Strom</b>	35,810	kWh
<b>Brennstoffe</b>		
Erdgas	3,928	MJ
Heizöl leicht	55,498	MJ
Heizöl schwer	426,879	MJ
IRH eigene Produktion	891,142	MJ
<b>Betriebsmittel</b>		
Diesel	0,300	kg
Schmierstoffe	0,015	kg
Metalle	0,270	kg
Trinkwasser	36,828	kg
Schleifbänder	0,060	kg
<b>Bindemittel</b>		
Harnstoff Formaldehyd Bindemittel	20,1429	kg
<b>Zusätze</b>		
Hydrophobierung	0,339	kg
<b>OUTPUT</b>		
<b>Produkte</b>		
Spanplatte, Röhrenspanplatte	1,000	m <sup>3</sup>
Nebenprodukte (Späne und Hackschnitzel)	0,050	t (atro)
<b>Emissionen aus</b>		
Verbrennung Brennstoffe	siehe Hintergrunddaten	
Abbinden der Klebstoffe		
Verbrennung Diesel in Kraftprozess		
<b>Sonstiges</b>		
Abfälle	0,345	kg
Asche	siehe Hintergrunddaten	
Abwasser /teilweise als Emission in Luft	36,828	kg

Tabelle 3.2.14.D: Zusammenfassung aller Wirkungsindikatoren, Ressourceneinsätze und Outputflüsse

Parameter	Einheit	Bereitstellung der Rohstoffe (A1)	Transport (A2)	Herstellungsprozess (A3)	Summe cradle to gate (A1 - A3)	maximale Abweichung +%/-%	Transport zum Entsorger (C2)	Abfallwirtschaft (C3)	energetische Verwertung (D)	stoffliche Verwertung (D)	Verrechnung von A1 nach ILCD
<b>Ergebnisse Umweltauswirkung</b>											
GWP	[kg CO2-Äqv.]	-3,81E+02	2,50E+00	7,74E+01	<b>-3,02E+02</b>		2,97E-01	4,35E+02	-2,01E+02	-8,19E+00	-4,49E+00
ODP	[kg CFC11-Äqv.]	2,89E-06	5,00E-09	7,44E-06	<b>1,03E-05</b>		5,95E-10	1,19E-06	-4,57E-05	-8,00E-07	-5,63E-07
AP	[kg SO2-Äqv.]	1,06E-01	1,07E-02	2,14E-01	<b>3,31E-01</b>		1,28E-03	6,98E-03	-2,06E-01	-2,82E-02	-1,10E-02
EP	[kg PO43--Äqv.]	4,31E-02	2,49E-03	3,00E-02	<b>7,56E-02</b>		2,96E-04	5,89E-04	-1,99E-03	-5,66E-03	-1,92E-03
POCP	[kg Ethen-Äqv.]	1,22E-02	1,16E-03	1,13E-01	<b>1,26E-01</b>		1,38E-04	4,64E-04	-1,38E-02	-3,45E-03	-1,27E-03
ADPE	[kg Sb-Äqv.]	7,86E-06	5,28E-08	1,81E-04	<b>1,89E-04</b>		6,28E-09	1,23E-07	-3,48E-06	-2,68E-07	-1,47E-07
ADPF	[MJ]	9,65E+02	3,53E+01	9,27E+02	<b>1,93E+03</b>		4,20E+00	4,62E+01	-2,26E+03	-1,06E+02	-5,85E+01
<b>Ergebnisse Ressourceneinsatz</b>											
PERE	[MJ]	1,26E+01	4,68E-02	8,44E+02	<b>8,57E+02</b>		5,56E-03	4,70E+00	-1,91E+02	-4,54E+03	-4,79E-01
PERM	[MJ]	4,53E+03	0,00E+00	4,49E+01	<b>4,58E+03</b>		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	-6,80E+02
PERT	[MJ]	4,55E+03	4,68E-02	8,89E+02	<b>5,43E+03</b>		5,56E-03	4,70E+00	-1,91E+02	-4,54E+03	-6,80E+02
PENRE	[MJ]	8,62E+02	3,55E+01	1,18E+03	<b>2,08E+03</b>		4,22E+00	8,78E+01	-5,54E+03	-1,83E+02	3,86E+00
PENRM	[MJ]	2,05E+02	0,00E+00	0,00E+00	<b>2,05E+02</b>		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
PENRT	[MJ]	1,07E+03	3,55E+01	1,18E+03	<b>2,28E+03</b>		4,22E+00	8,78E+01	-5,54E+03	-1,83E+02	3,86E+00
SM	[kg]	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	<b>0,00E+00</b>		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,22E+02	0,00E+00
RSF	[MJ]	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	<b>0,00E+00</b>		0,00E+00	0,00E+00	2,36E+03	0,00E+00	0,00E+00
NRSF	[MJ]	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	<b>0,00E+00</b>		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
FW	[m³]	4,99E+02	6,66E-01	4,38E+02	<b>9,38E+02</b>		7,91E-02	4,99E+01	1,87E+03	-1,13E+02	-2,54E+01
<b>Ergebnisse Outputflüsse und Abfallkategorien</b>											
HWD	[kg]	1,03E-01	0,00E+00	5,14E-02	<b>1,54E-01</b>		0,00E+00	0,00E+00	8,19E-01	9,25E-03	9,25E-03
NHWD	[kg]	4,34E-04	0,00E+00	1,03E-02	<b>1,08E-02</b>		0,00E+00	0,00E+00	2,49E-05	-2,04E-06	-4,98E-07
RWD	[kg]	3,56E-02	6,25E-05	9,12E-02	<b>1,27E-01</b>		7,43E-06	1,49E-02	-5,69E-01	-4,40E-03	-1,43E-03
CRU	[kg]	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	<b>0,00E+00</b>		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
MFR	[kg]	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	<b>0,00E+00</b>		0,00E+00	2,72E+02	0,00E+00	-2,72E+02	0,00E+00
MER	[kg]	0,00E+00	0,00E+00	2,33E+00	<b>2,33E+00</b>		0,00E+00	2,72E+02	-2,74E+02	-2,33E+00	0,00E+00
EE1	[MJ]	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	<b>0,00E+00</b>		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
EE2	[MJ]	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	<b>0,00E+00</b>		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00

Alle nicht genannten Module fallen unter den Bereich „MND“ (= „Modul nicht deklariert“). <sup>1</sup> Strom & <sup>2</sup> Wärme

**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 (Institute of Environmental Sciences Faculty of Science Universität Leiden, Niederlande) verwendet. Der Charakterisierungsfaktor für den Verbrauch von abiotischen Ressourcen (fossile Stoffe) ist der jeweilige unterer Heizwert am Extraktionspunkt des fossilen Brennstoffs. Langzeitemissionen (> 100 Jahre) werden in der Wirkungsabschätzung nicht berücksichtigt.

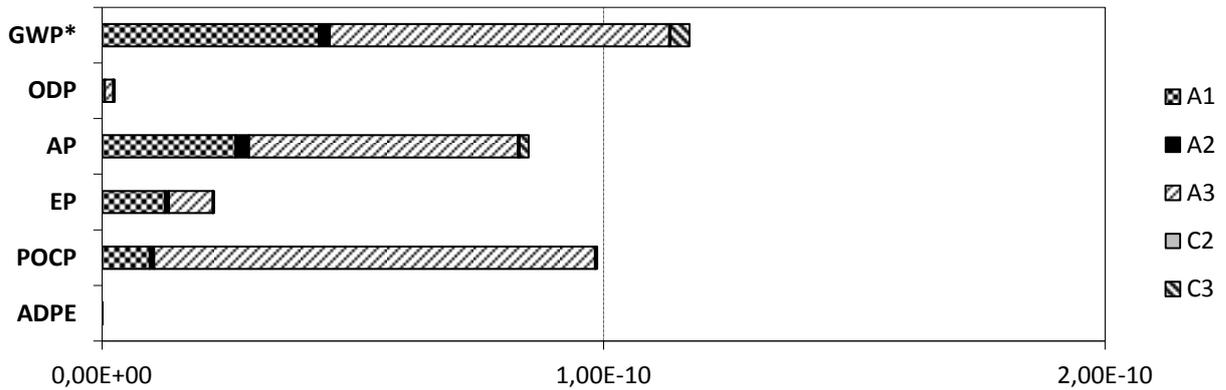


Abbildung 3.2.14.C: Wirkungspotentiale normiert nach deutschen Gesamtemissionen (ohne Modul D) für die Module A1 bis A3, C2 und C3 (energetisch) [%/100 der deutschen Gesamtemissionen]

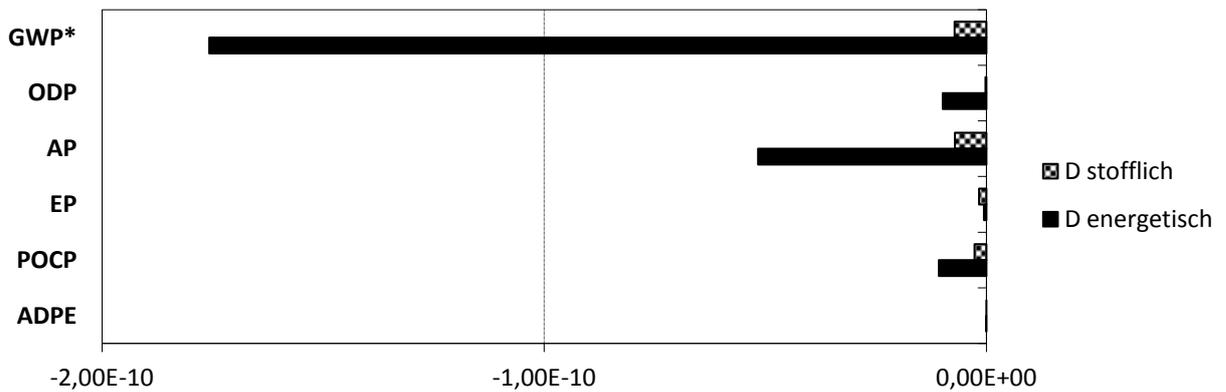


Abbildung 3.2.14.D: Wirkungspotentiale normiert nach deutschen Gesamtemissionen für die Szenarien im Modul D (stofflich und energetisch) [%/100 der deutschen Gesamtemissionen]

Tabelle 3.2.14.E: Haupteinflussfaktoren auf die Ergebnisse der drei relevantesten Wirkungsindikatoren (nach Normierung) [kg/m³]

Nr.	Indikator	∑ (A1 bis A3)	Haupteinflussfaktoren
1	<b>AP</b> Versauerungspotential [SO <sub>2</sub> -Äqv.]	0,331	45,8% - Wärme Trocknung ; 16,8% - SNP stofflich ; 14,6% - UF Klebstoff ; 4,5% - Wärme Urformen ; 3,5% - Strom Urformen ; 3,1% - Transport SNP stofflich ; Rest 11,7%
2	<b>GWP</b> Treibhausgaspotential – fossil [CO <sub>2</sub> -Äqv.]	129,385	36,6% - Wärme Trocknung ; 28,8% - UF Klebstoff ; 9,2% - SNP stofflich ; 5,6% - Strom Urformen ; 3,7% - Strom Trocknung ; 3,6% - Wärme Urformen ; Rest 12,5%
3	<b>POCP</b> Ozonbildungspotential [Ethen-Äqv.]	0,126	49,1% - Zusätze Emissionen vor Ort ; 22,3% - Wärme Trocknung ; 12,2% - Abbinden Klebstoff ; 5,6% - SNP stofflich ; 3,8% - UF Klebstoff ; 2,2% - Wärme Urformen ; Rest 4,8%

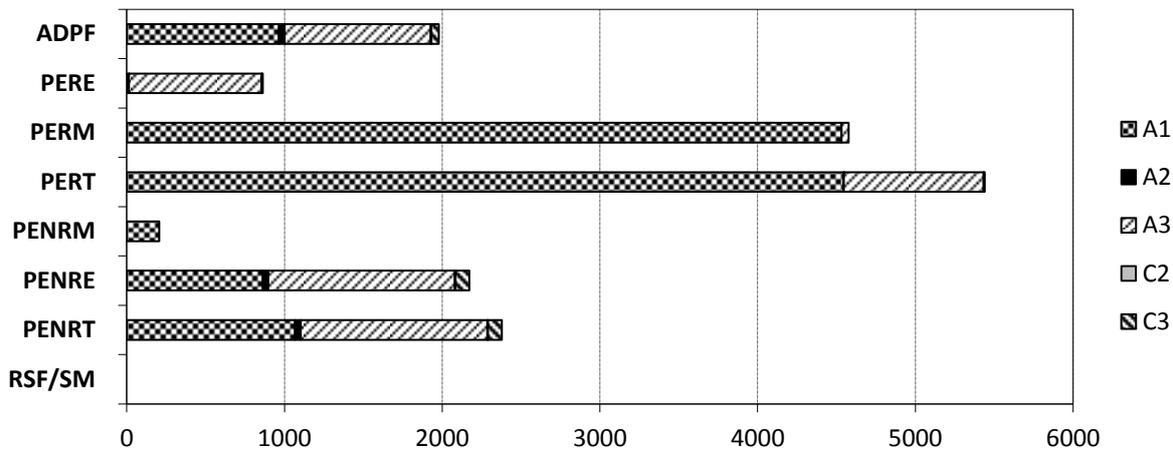


Abbildung 3.2.14.E: Einsatz von Ressourcen in den Modulen A1 bis A3, C2 und C3 (energetisch) [MJ/m³]

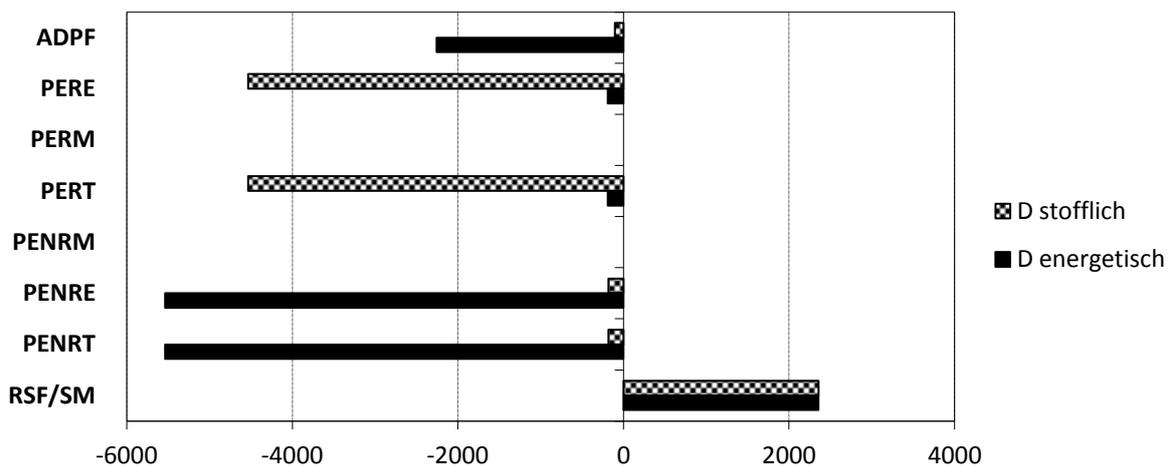


Abbildung 3.2.14.F: Gut- und Lastschriften für Ressourcen in Modul D stofflich und D energetisch [MJ/m³]

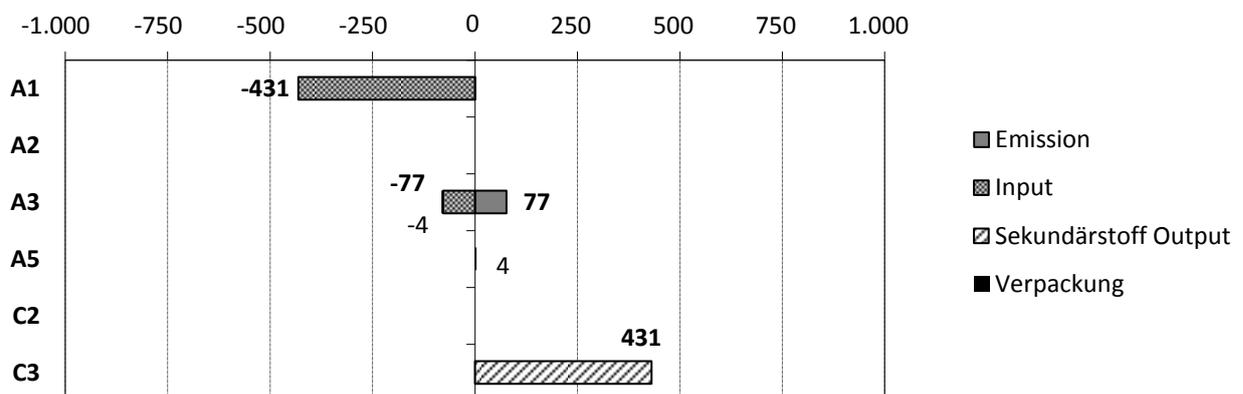
Tabelle 3.2.14.F: Hauptsächliche Verwendung der eingesetzten Primärenergie und der Ressourcen [MJ/m³]

Primärenergietyp	Σ (A1 bis A3)	Hauptsächliche Verwendung
<b>PERE</b> Erneuerbare Primärenergie als Energieträger [MJ]	857	Erzeugung von Wärme mit Holz
<b>PENRE</b> Nicht-erneuerbare Primärenergie als Energieträger [MJ]	2080	38% - UF Klebstoff ; 29,5% - Wärme Trocknung ; 7,8% - SNP stofflich ; 6,4% - Strom Urformen ; 4,2% - Strom Trocknung ; 3,8% - Strom Frischholzaufbereitung ; Rest 10,3%
<b>RSF</b> Erneuerbare Sekundärbrennstoffe [MJ]	0	Es wird kein Altholz eingesetzt.

Tabelle 3.2.14.G: Relation des Einsatzes ausgewählter Primärenergietypen zueinander

Primärenergietyp	Relation	Primärenergietyp
<b>PERE</b> Erneuerbare Primärenergie als Energieträger [MJ]	1 : 5,34	<b>PERM</b> Erneuerbare Primärenergie zur stofflichen Nutzung [MJ]
<b>PENRE</b> Nicht-erneuerbare Primärenergie als Energieträger [MJ]	1 : 2,2	<b>PERM</b> Erneuerbare Primärenergie zur stofflichen Nutzung [MJ]
<b>PERE</b> Erneuerbare Primärenergie als Energieträger [MJ]	1 : 2,43	<b>PENRE</b> Nicht-erneuerbare Primärenergie als Energieträger [MJ]

Von der insgesamt eingesetzten Masse an Holz ohne Nebenprodukte werden bis zum Werkstor etwa 16 % zur Erzeugung von Wärme verbrannt. Der Anteil an eingesetzter fossiler Energie entspricht etwa der Hälfte des Energieinhalts des Produktes. Der Anteil eingesetzter Energie aus erneuerbaren Quellen entspricht etwa 2/5 des Anteils an Energie aus fossilen Quellen.

Abbildung 3.2.14.G: Bilanz der Kohlenstoffflüsse in der Holzbiomasse [kg CO<sub>2</sub>]

Insgesamt werden durch den Rohstoff Holz etwa 512 kg CO<sub>2</sub> (gespeichert in Biomasse) in dem System eingesetzt. Davon werden 77 im Rahmen der Wärmeerzeugung vor Ort emittiert. Etwa 4 kg CO<sub>2</sub> werden über die Verpackung dem System zugeführt und im Rahmen der Entsorgung der Verpackung wieder emittiert. Die im Produkt gespeicherte Menge an Kohlenstoff wird während der Entsorgung in Modul C3 entweder als Emission in Höhe von 431 kg CO<sub>2</sub> oder in Form von Altholz dem System entzogen.

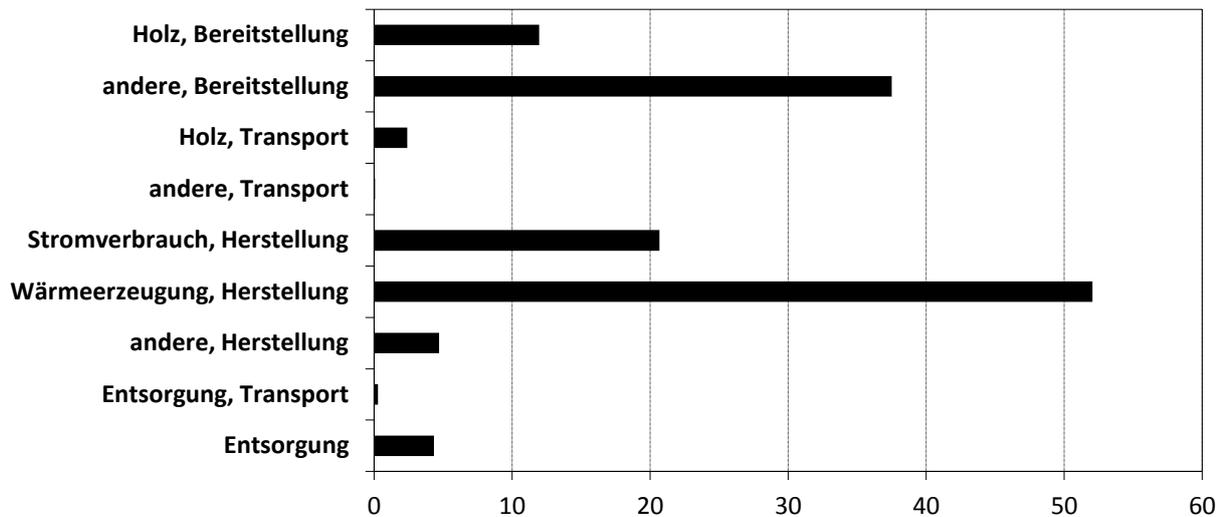


Abbildung 3.2.14.H: Treibhausgasemissionen aus fossilen Quellen nach Modulen A1 bis A3, C2 und C3 (energetisch) [kg CO<sub>2</sub>-Äqv./m<sup>3</sup> Produkt]

Die wesentlichen Quellen des Treibhausgaspotentials sind die Herstellung der Klebstoffe (28 %) und die Wärmeerzeugung vor Ort (39 %). Der Stromverbrauch spielt in seiner Gesamtheit eine weitere tragende Rolle (15 %).

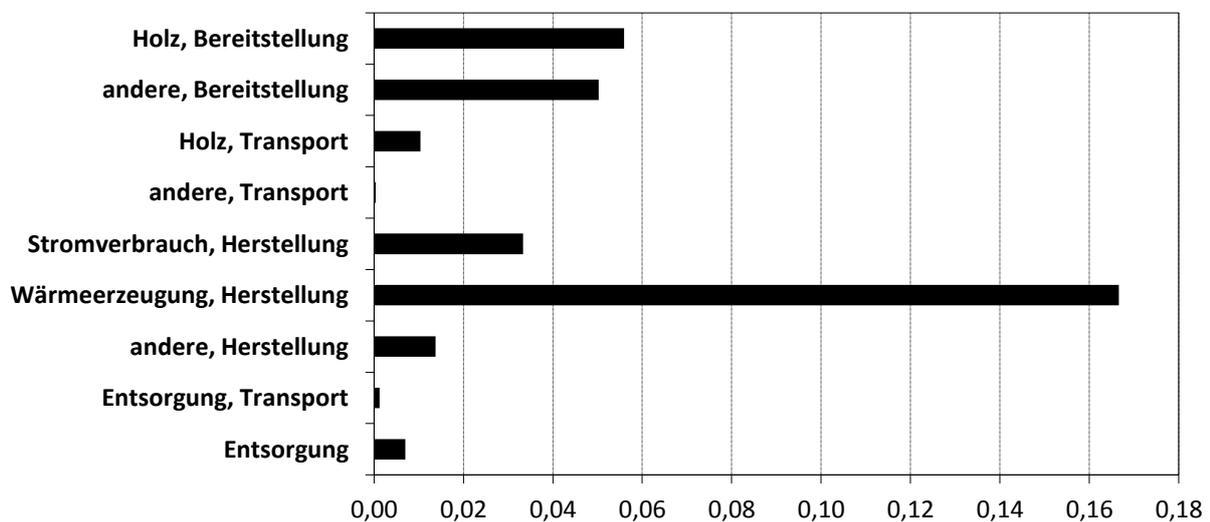


Abbildung 3.2.14.I: Versauerungspotential nach Modulen A1 bis A3, C2 und C3 (energetisch) [kg SO<sub>2</sub>-Äqv./m<sup>3</sup> Produkt]

Beim Versauerungspotential spielen vor allem die Verbrennungsprozesse vor Ort (49 %) und die Herstellung der Klebstoffe (15 %) sowie die Bereitstellung der Holzrohstoffe (18 %) eine Rolle.

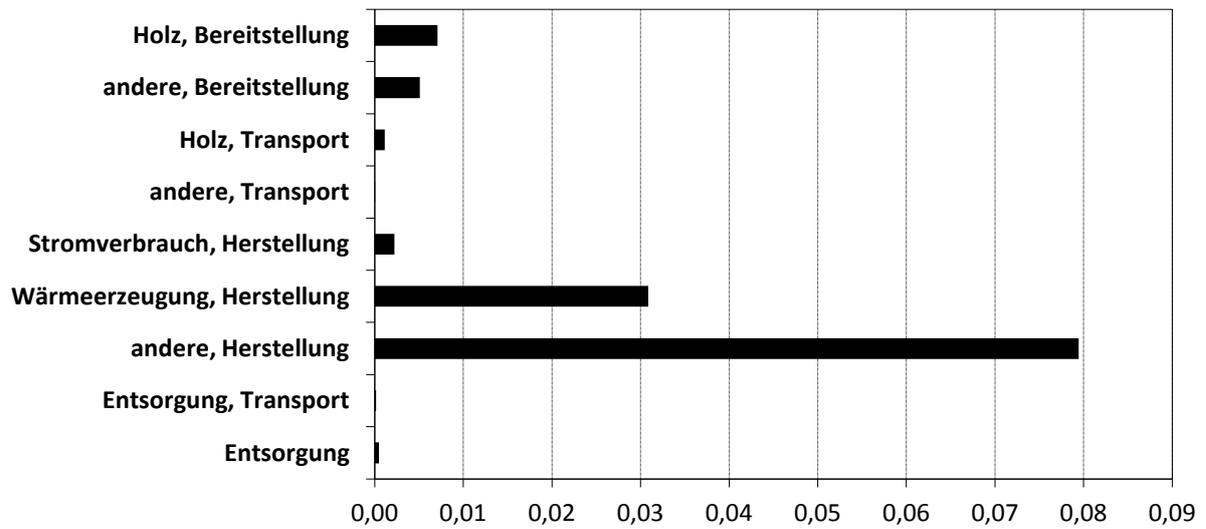


Abbildung 3.2.14.J: Ozonbildungspotential nach Modulen A1 bis A3, C2 und C3 (energetisch) [kg Ethen-Äqv./m<sup>3</sup> Produkt]

Ausschlaggebend für das Ozonbildungspotential sind die Emissionen der Trocknung mit einem Anteil von 63 %.

### 3.2.15 Oriented Strand Board (OSB)

Oriented Strand Boards (OSB) sind plattenförmige Holzwerkstoffe auf Basis von großen Spänen, sogenannten Strands. Neben Strands besteht OSB aus duroplastischen Bindemitteln. Tabelle 3.2.15.A zeigt die Zusammensetzung der funktionalen Einheit (1 m<sup>3</sup> Produkt).

Als Bindemittel wird Polymeres Diphenylmethandiisocyanat-Bindemittel verwendet. Die in Tabelle 3.2.15.A dargestellten Inhaltsstoffe beschreiben den durchschnittlich eingesetzten Rohstoffmix.

Tabelle 3.2.15.A: Zusammensetzung der funktionalen Einheit am Werkstor

Stoff	Am Werkstor	
	[kg/m <sup>3</sup> ]	Anteil [%]
Holz	530,86	88,48
<i>davon Kohlenstoff</i>	<i>265,43</i>	<i>44,24</i>
Wasser	27,00	4,50
Polymeres Diphenylmethandiisocyanat-Bindemittel	21,14	3,52
Melamin-Harnstoff-Formaldehyd Bindemittel	9,68	1,61
Paraffin	11,32	1,89
<b>Gesamt</b>	<b>600,00</b>	

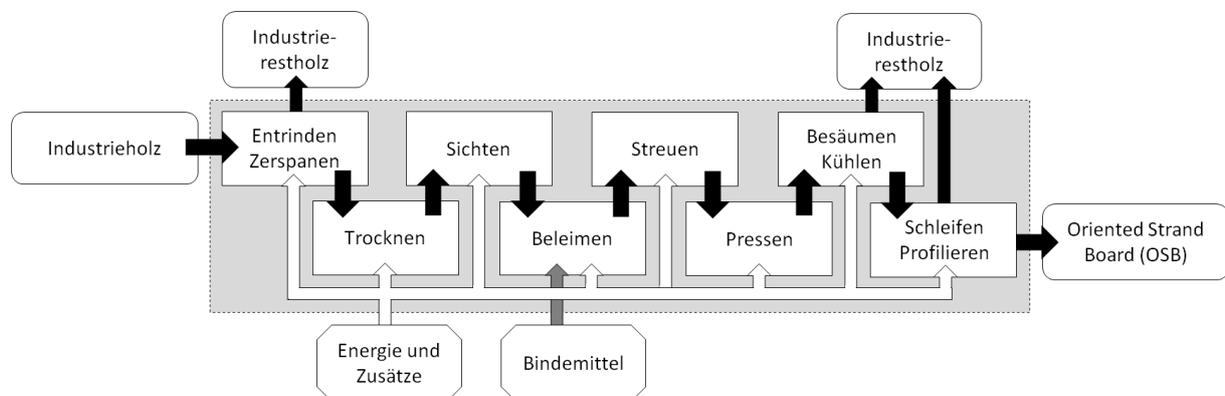


Abbildung 3.2.15.A: Schematische Darstellung der Herstellung von Oriented Strand Board (OSB)

Entrindetes Rundholz wird im feuchten Zustand zerspannt und der Feingutanteil wird ausgesiebt. Die Strands werden getrocknet, beleimt und zum Pressen gestreut. Die verpressten Platten bzw. der verpresste Plattenstrang wird aufgetrennt und formatiert. Nachdem der Klebstoff vollständig ausgehärtet ist, werden die Platten verpackt. Tabelle 3.2.15.B zeigt die verwendeten Verpackungsmaterialien je funktionaler Einheit (1 m<sup>3</sup> Produkt).

**Tabelle 3.2.15.B: Verwendete Verpackungsmaterialien**

<b>Verpackungsmaterial</b>	<b>kg/m<sup>3</sup></b>
Holzwerkstoffe	2,031
andere Kunststoffe	0,051
Metall	0,2514
Pappe / Karton	0,2309

Der Rohstoffpreis für 1 m<sup>3</sup> des Rohstoffmix in Form von Industrierundholz beträgt 50 € und das aus dem Produkt resultierende Altholz (Altholz AI) wird auf einen Wert von 4 € geschätzt (vgl. Tabelle 2-4). Somit ergibt sich bei der Berechnung des Szenarios der allgemeinen Verwertung nach ILCD eine Gut-schrift in Höhe von 8 % der Aufwendungen der Bereitstellung der Holzrohstoffe.

Durchschnittlich wurden die verwendeten Holzrohstoffe über Distanzen von 95 km transportiert.

Tabelle 3.2.15.C bildet die Sachbilanz für Oriented Strand Board inklusive der bei der Produktion entstehenden Nebenprodukte ab. Die funktionale Einheit ist die Bereitstellung von 1 m<sup>3</sup> des Produktes am Werkstor. Die Sachbilanz erfolgt ohne Darstellung der Vorketten.

**Tabelle 3.2.15.C: Sachbilanz für die Herstellung von Oriented Strand Board (OSB)**

Fluss	Menge	Einheit
<b>INPUT</b>		
<b>Holzrohstoffe</b>		
Industrieholz	0,708	t (atro)
<b>Strom</b>		
	120,923	kWh
<b>Brennstoffe</b>		
Erdgas	404,146	MJ
Heizöl leicht	5,228	MJ
IRH eigene Produktion	1682,791	MJ
<b>Betriebsmittel</b>		
Diesel	0,604	kg
Schmierstoffe	0,056	kg
Metalle	0,014	kg
Trinkwasser	202,692	kg
Schleifbänder	0,049	kg
Oberflächenwasser	296,303	
<b>Bindemittel</b>		
Melamin Harnstoff Phenol Formaldehyd Bindemittel	9,680	kg
PMDI	21,140	kg
<b>Zusätze</b>		
Hydrophobierung	11,320	kg
<b>OUTPUT</b>		
<b>Produkte</b>		
Oriented Strand Board (OSB)	1,000	m <sup>3</sup>
Nebenprodukte (Späne und Hackschnitzel)	0,178	t (atro)
<b>Emissionen aus</b>		
Verbrennung Brennstoffe	siehe Hintergrunddaten	
Abbinden der Klebstoffe		
Verbrennung Diesel in Kraftprozess		
<b>Sonstiges</b>		
Abfälle	0,199	kg
Asche	siehe Hintergrunddaten	
Abwasser /teilweise als Emission in Luft	498,996	kg

**Tabelle 3.2.15.D: Zusammenfassung aller Wirkungsindikatoren, Ressourceneinsätze und Outputflüsse**

Parameter	Einheit	Bereitstellung der Rohstoffe (A1)	Transport (A2)	Herstellungsprozess (A3)	Summe cradle to gate (A1 - A3)	maximale Abweichung +%/-%	Transport zum Entsorger (C2)	Abfallwirtschaft (C3)	energetische Verwertung (D)	stoffliche Verwertung (D)	Verrechnung von A1 nach ILCD
<b>Ergebnisse Umweltauswirkung</b>											
GWP	[kg CO <sub>2</sub> -Äqv.]	-7,81E+02	4,77E+00	2,11E+02	<b>-5,65E+02</b>		5,67E-01	9,77E+02	-4,56E+02	-2,09E+01	-9,10E+00
ODP	[kg CFC11-Äqv.]	3,10E-06	9,54E-09	2,06E-05	<b>2,37E-05</b>		1,13E-09	1,19E-06	-1,04E-04	-2,21E-06	-1,42E-06
AP	[kg SO <sub>2</sub> -Äqv.]	7,77E-01	2,05E-02	6,06E-01	<b>1,40E+00</b>		2,44E-03	6,98E-03	-4,67E-01	-6,60E-02	-1,19E-02
EP	[kg PO <sub>4</sub> -Äqv.]	9,66E-02	4,75E-03	8,19E-02	<b>1,83E-01</b>		5,64E-04	5,89E-04	-4,59E-03	-1,29E-02	-1,17E-03
POCP	[kg Ethen-Äqv.]	7,71E-02	2,22E-03	6,04E-01	<b>6,84E-01</b>		2,64E-04	4,64E-04	-3,13E-02	-7,98E-03	-1,30E-03
ADPE	[kg Sb-Äqv.]	4,11E-04	1,01E-07	7,85E-04	<b>1,20E-03</b>		1,20E-08	1,23E-07	-7,93E-06	-6,84E-07	-2,97E-07
ADPF	[MJ]	4,49E+03	6,74E+01	3,43E+03	<b>7,98E+03</b>		8,00E+00	4,62E+01	-5,12E+03	-2,70E+02	-1,20E+02
<b>Ergebnisse Ressourceneinsatz</b>											
PERE	[MJ]	3,43E+01	8,93E-02	1,83E+03	<b>1,87E+03</b>		1,06E-02	4,70E+00	-3,99E+02	-1,02E+04	-2,52E-02
PERM	[MJ]	1,02E+04	0,00E+00	1,41E+02	<b>1,04E+04</b>		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	-8,18E+02
PERT	[MJ]	1,03E+04	8,93E-02	1,97E+03	<b>1,22E+04</b>		1,06E-02	4,70E+00	-3,99E+02	-1,02E+04	-8,18E+02
PENRE	[MJ]	4,36E+03	6,77E+01	4,23E+03	<b>8,66E+03</b>		8,04E+00	8,78E+01	-9,83E+03	-4,12E+02	2,55E+01
PENRM	[MJ]	4,21E+02	0,00E+00	0,00E+00	<b>4,21E+02</b>		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
PENRT	[MJ]	4,79E+03	6,77E+01	4,23E+03	<b>9,08E+03</b>		8,04E+00	8,78E+01	-9,83E+03	-4,12E+02	2,55E+01
SM	[kg]	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	<b>0,00E+00</b>		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	2,70E+02	0,00E+00
RSF	[MJ]	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	<b>0,00E+00</b>		0,00E+00	0,00E+00	5,20E+03	0,00E+00	0,00E+00
NRSF	[MJ]	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	<b>0,00E+00</b>		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
FW	[m <sup>3</sup> ]	1,25E+04	1,27E+00	7,03E+03	<b>1,96E+04</b>		1,51E-01	4,99E+01	4,23E+03	-2,40E+02	1,14E+01
<b>Ergebnisse Outputflüsse und Abfallkategorien</b>											
HWD	[kg]	3,05E-01	0,00E+00	2,61E-01	<b>5,66E-01</b>		0,00E+00	0,00E+00	1,86E+00	2,91E-02	2,91E-02
NHWD	[kg]	4,87E-01	0,00E+00	2,79E-01	<b>7,67E-01</b>		0,00E+00	0,00E+00	5,64E-05	-4,37E-06	-6,38E-08
RWD	[kg]	2,19E-02	1,19E-04	2,43E-01	<b>2,65E-01</b>		1,42E-05	1,49E-02	-1,28E+00	-9,92E-03	-2,73E-05
CRU	[kg]	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	<b>0,00E+00</b>		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
MFR	[kg]	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	<b>0,00E+00</b>		0,00E+00	6,00E+02	0,00E+00	-6,00E+02	0,00E+00
MER	[kg]	0,00E+00	0,00E+00	7,32E+00	<b>7,32E+00</b>		0,00E+00	6,00E+02	-6,07E+02	-7,32E+00	0,00E+00
EE1	[MJ]	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	<b>0,00E+00</b>		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
EE2	[MJ]	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	<b>0,00E+00</b>		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00

Alle nicht genannten Module fallen unter den Bereich „MND“ (= „Modul nicht deklariert“). <sup>1</sup> Strom & <sup>2</sup> Wärme

**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 (Institute of Environmental Sciences Faculty of Science Universität Leiden, Niederlande) verwendet. Der Charakterisierungsfaktor für den Verbrauch von abiotischen Ressourcen (fossile Stoffe) ist der jeweilige unterer Heizwert am Extraktionspunkt des fossilen Brennstoffs. Langzeitemissionen (> 100 Jahre) werden in der Wirkungsabschätzung nicht berücksichtigt.

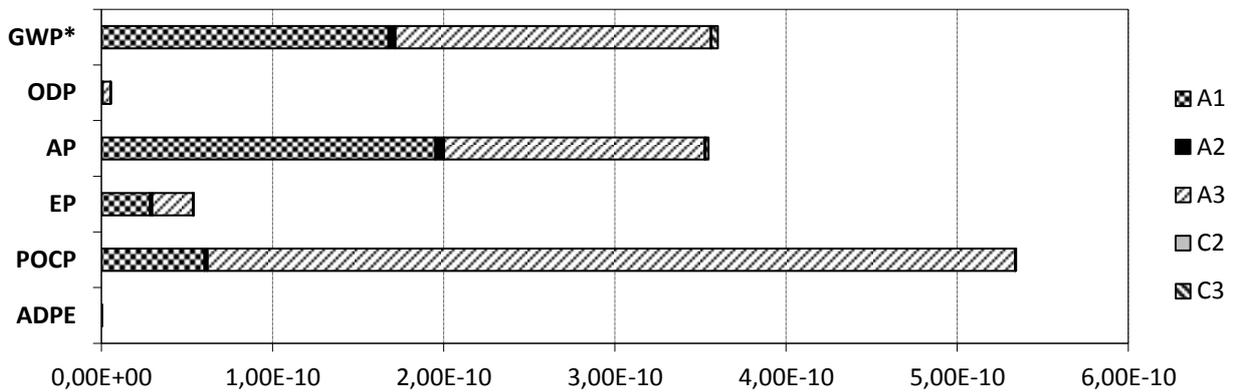


Abbildung 3.2.15.C: Wirkungspotentiale normiert nach deutschen Gesamtemissionen (ohne Modul D) für die Module A1 bis A3, C2 und C3 (energetisch) [%/100 der deutschen Gesamtemissionen]

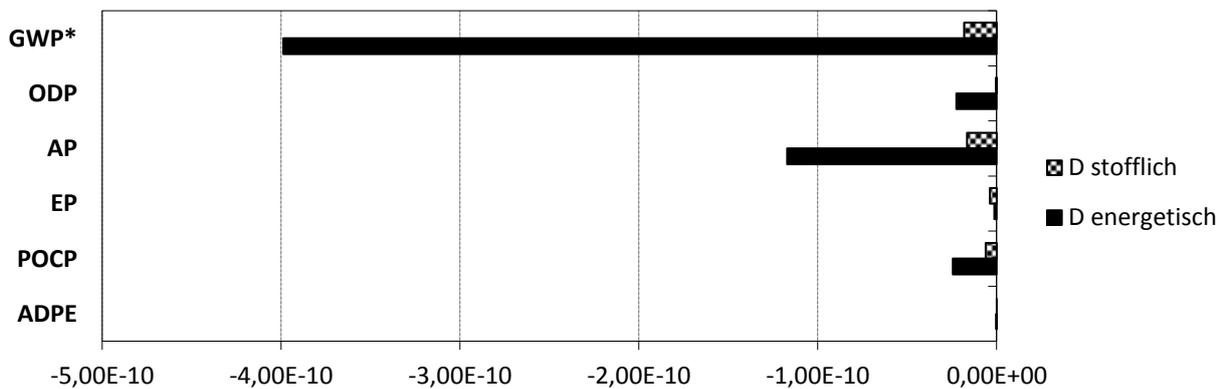


Abbildung 3.2.15.D: Wirkungspotentiale normiert nach deutschen Gesamtemissionen für die Szenarien im Modul D (stofflich und energetisch) [%/100 der deutschen Gesamtemissionen]

Tabelle 3.2.15.E: Haupteinflussfaktoren auf die Ergebnisse der drei relevantesten Wirkungsindikatoren (nach Normierung) [kg/m³]

Nr.	Indikator	Σ (A1 bis A3)	Haupteinflussfaktoren
1	<b>AP</b> Versauerungspotential [SO <sub>2</sub> -Äqv.]	1,404	40,6% - PMDI Klebstoff ; 34,5% - Wärme ; 8% - Hydrophobierung ; 7,5% - Strom OSB ; 3,3% - Industrierundholz stofflich ; 3,1% - MUF Klebstoff ; Rest 3%
2	<b>GWP</b> Treibhausgaspotential – fossil [CO <sub>2</sub> -Äqv.]	407,131	32,9% - PMDI Klebstoff ; 31,8% - Wärme ; 16% - Strom OSB ; 8,3% - MUF Klebstoff ; 3,7% - Hydrophobierung ; 2,3% - Abbinden Klebstoff ; Rest 5%
3	<b>POCP</b> Ozonbildungspotential [Ethen-Äqv.]	0,684	53,6% - Abbinden Klebstoff ; 33,2% - Wärme ; 7% - PMDI Klebstoff ; 2,4% - Hydrophobierung ; 1,2% - Industrierundholz stofflich ; 1% - Strom OSB ; Rest 1,6%

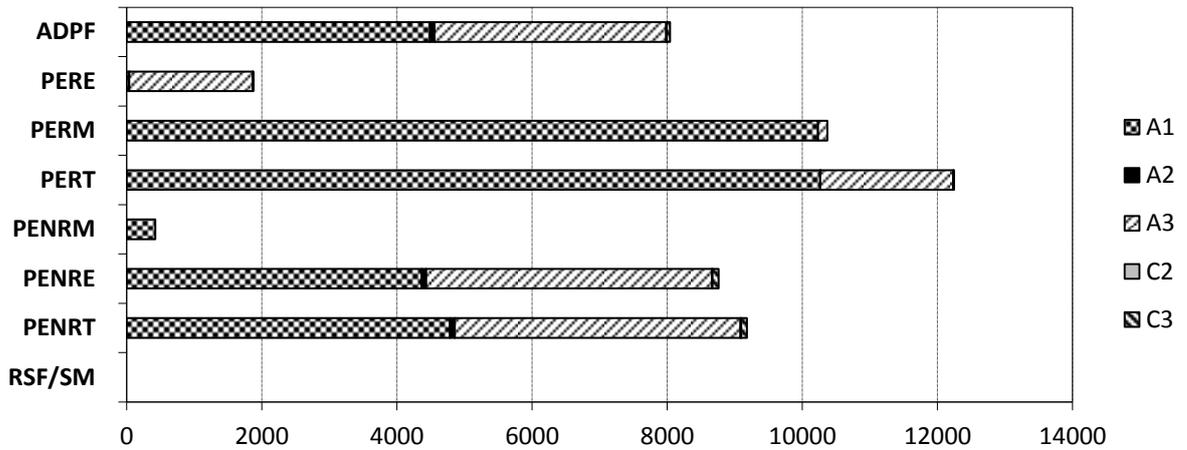


Abbildung 3.2.15.E: Einsatz von Ressourcen in den Modulen A1 bis A3, C2 und C3 (energetisch) [MJ/m³]

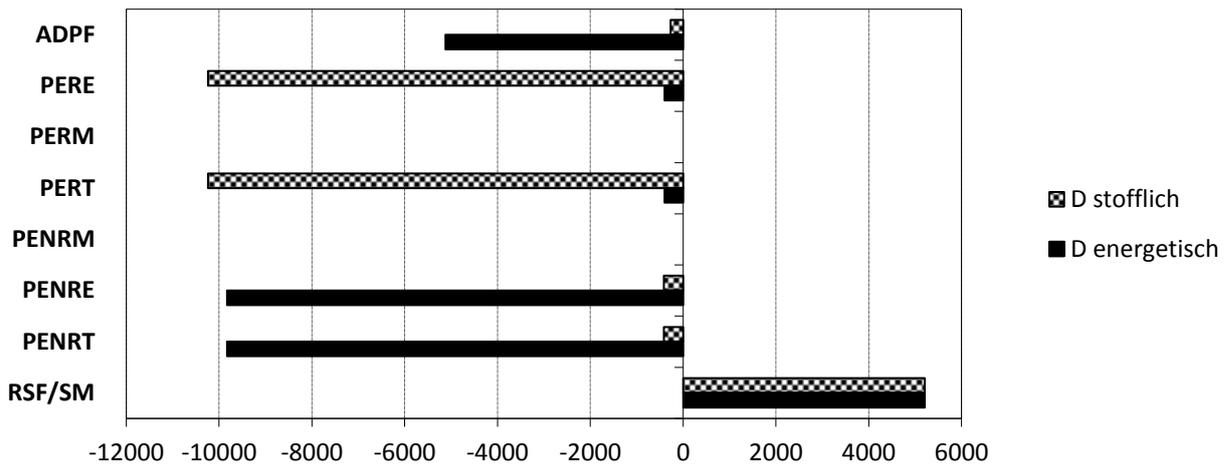


Abbildung 3.2.15.F: Gut- und Lastschriften für Ressourcen in Modul D stofflich und D energetisch [MJ/m³]

Tabelle 3.2.15.F: Hauptsächlichste Verwendung der eingesetzten Primärenergie und der Ressourcen [MJ/m³]

Primärenergietyp	$\Sigma$ (A1 bis A3)	Hauptsächlichste Verwendung
<b>PERE</b> Erneuerbare Primärenergie als Energieträger [MJ]	1866	Erzeugung von Wärme aus Holz
<b>PENRE</b> Nicht-erneuerbare Primärenergie als Energieträger [MJ]	8662	31,9% - PMDI Klebstoff ; 31,7% - Wärme ; 14,5% - Strom OSB ; 11,2% - Hydrophobierung ; 8% - MUF Klebstoff ; 1,1% - Industrierundholz stofflich ; Rest 1,6%
<b>RSF</b> Erneuerbare Sekundärbrennstoffe [MJ]	0	Es wird kein Altholz verbrannt.

Tabelle 3.2.15.G: Relation des Einsatzes ausgewählter Primärenergietypen zueinander

Primärenergietyp	Relation	Primärenergietyp
<b>PERE</b> Erneuerbare Primärenergie als Energieträger [MJ]	1 : 5,6	<b>PERM</b> Erneuerbare Primärenergie zur stofflichen Nutzung [MJ]
<b>PENRE</b> Nicht-erneuerbare Primärenergie als Energieträger [MJ]	1 : 1,2	<b>PERM</b> Erneuerbare Primärenergie zur stofflichen Nutzung [MJ]
<b>PERE</b> Erneuerbare Primärenergie als Energieträger [MJ]	1 : 4,64	<b>PENRE</b> Nicht-erneuerbare Primärenergie als Energieträger [MJ]

Von der insgesamt eingesetzten Masse an Holz ohne Nebenprodukte werden bis zum Werkstor etwa 15 % zur Erzeugung von Wärme verbrannt. Der Anteil an eingesetzter fossiler Energie entspricht etwa 80 % des Energieinhalts des Produktes. Der Anteil eingesetzter Energie aus erneuerbaren Quellen entspricht etwa 1/5 des Anteils an Energie aus fossilen Quellen.

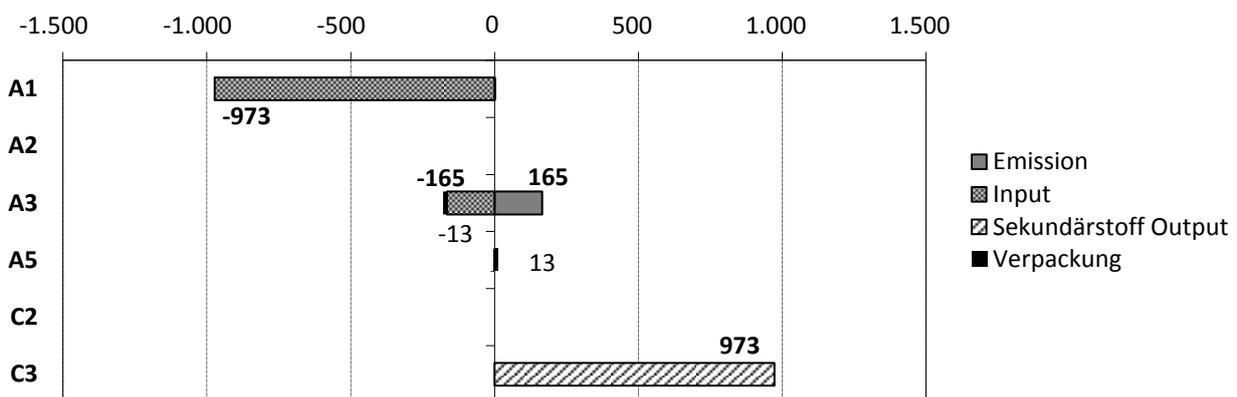


Abbildung 3.2.15.G: Bilanz der Kohlenstoffflüsse in der Holzbiomasse [kg CO<sub>2</sub>]

Insgesamt werden etwa 1151 kg CO<sub>2</sub> in Form von in der Biomasse gespeichertem Kohlenstoff im System eingesetzt. Davon werden 165 kg CO<sub>2</sub> im Rahmen der Wärmeherzeugung vor Ort emittiert. Etwa 13 kg CO<sub>2</sub> werden über die Verpackung dem System zugeführt und im Rahmen der Entsorgung der Verpackung wieder emittiert. Die im Produkt gespeicherte Menge an Kohlenstoff wird während der Entsorgung in Modul C3 entweder als Emission in Höhe von 973 kg CO<sub>2</sub> oder in Form von Altholz dem System wieder entzogen.

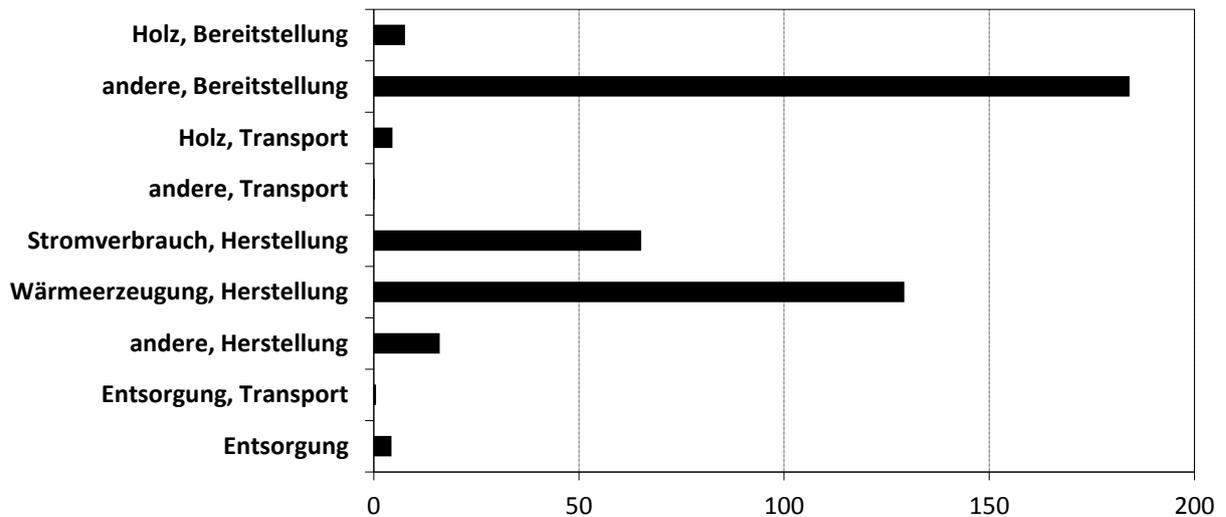


Abbildung 3.2.15.H: Treibhausgasemissionen aus fossilen Quellen nach Modulen A1 bis A3, C2 und C3 (energetisch) [kg CO<sub>2</sub>-Äqv./m<sup>3</sup> Produkt]

Die wesentlichen Quellen des Treibhausgaspotentials sind die Herstellung der Bindemittel (45 %) und die Wärmeerzeugung vor Ort (31 %). Daneben ist der Stromverbrauch (16 %) eine relevante Größe.

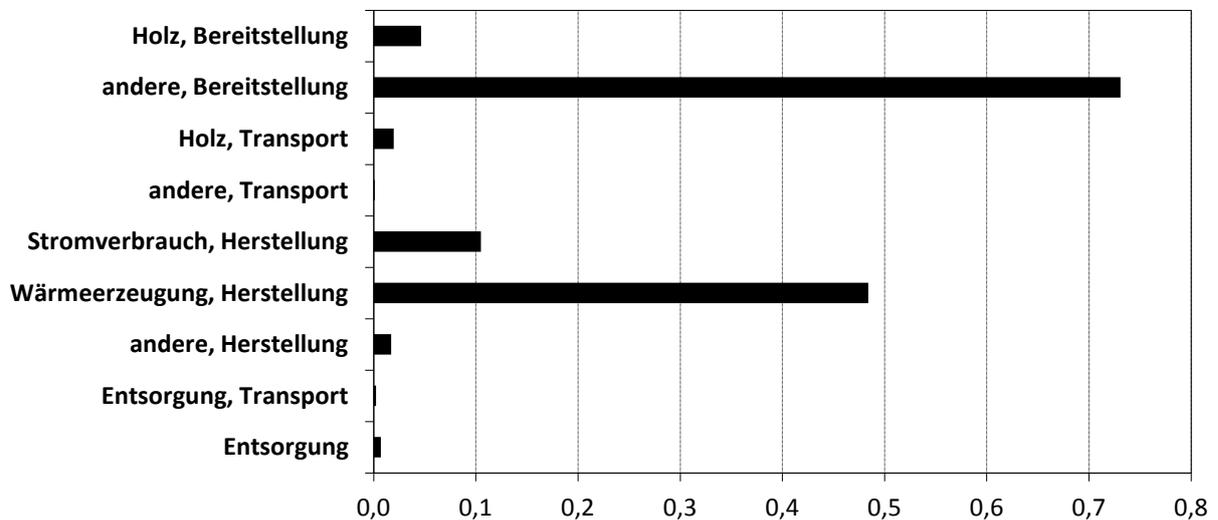


Abbildung 3.2.15.I: Versauerungspotential nach Modulen A1 bis A3, C2 und C3 (energetisch) [kg SO<sub>2</sub>-Äqv./m<sup>3</sup> Produkt]

Die Quellen der Emissionen, die zur Versauerung beitragen, liegen in der Bereitstellung der Klebstoffe und in der Hydrophobierung (zusammen 52%). Daneben spielt die Erzeugung von Wärme im Werk mit einem Beitrag von 34 % eine wesentliche Rolle.

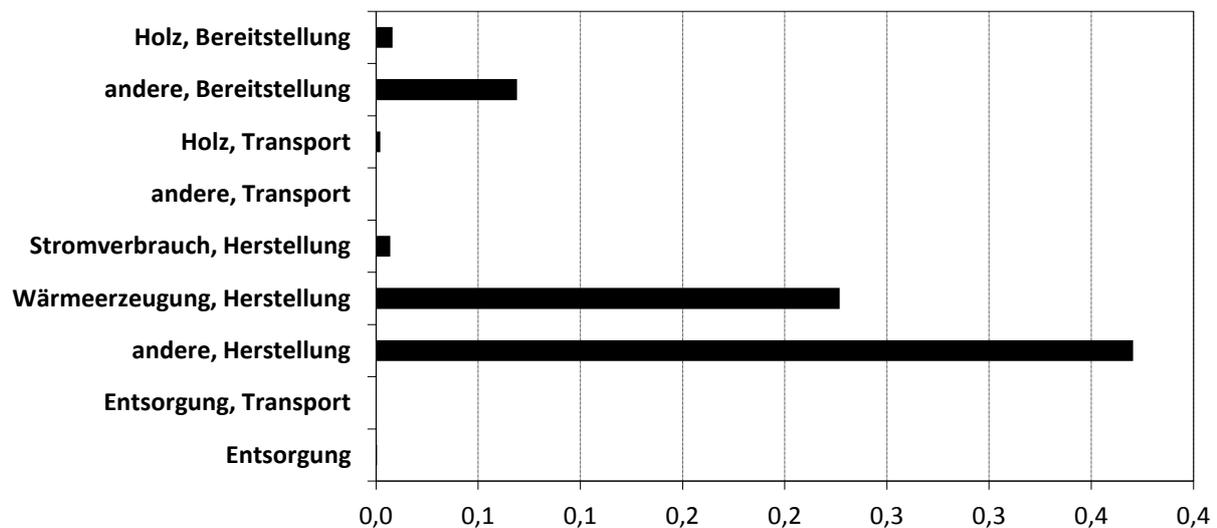


Abbildung 3.2.15.J: Ozonbildungspotential nach Modulen A1 bis A3, C2 und C3 (energetisch) [kg Ethen-Äqv./m³ Produkt]

Ausschlaggebend für das Ozonbildungspotential sind vor allem die Emissionen aus der Trocknung und dem Abbindeprozess der Klebstoffe (zusammen 54 %). Die Emissionen der Feuerung fallen mit 33 % ins Gewicht.

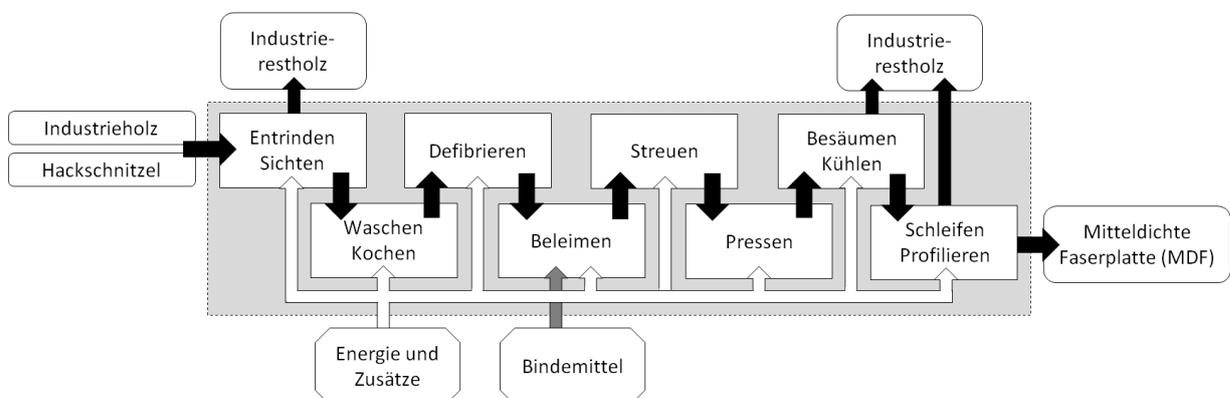
### 3.2.16 Mitteldichte Faserplatte (MDF)

Mitteldichte Faserplatten (MDF) sind im Trockenverfahren hergestellte Holzwerkstoffe auf Basis von Holzfasern. Neben Holzfasern besteht MDF aus duroplastischen Bindemitteln und weiteren Zusätzen. Tabelle 3.2.16.A zeigt die Zusammensetzung der funktionalen Einheit (1 m<sup>3</sup> Produkt).

Als Bindemittel werden Harnstoff-Formaldehyd-Harze (UF) verwendet. Paraffine werden zur Hydrophobierung der Fasern eingesetzt. Die in Tabelle 3.2.16.A dargestellten Inhaltsstoffe beschreiben den durchschnittlich eingesetzten Bindemittelmix.

**Tabelle 3.2.16.A: Zusammensetzung der funktionalen Einheit am Werkstor**

Stoff	Am Werkstor	
	[kg/m <sup>3</sup> ]	Anteil [%]
Holz	590,30	80,041
<i>davon Kohlenstoff</i>	<i>295,15</i>	<i>40,020</i>
Wasser	46,95	6,366
Harnstoff-Formaldehyd Bindemittel	95,59	12,961
Paraffine (Hydrophobierung)	4,66	0,631
<b>Gesamt</b>	<b>737,50</b>	



**Abbildung 3.2.16.A: Schematische Darstellung der Herstellung von MDF**

Zur Herstellung von MDF werden Industrieholz und Hackschnitzel als Holzrohstoffe angeliefert. Das Rundholz wird entrindet, zerhackt und zusammen mit den Hackschnitzeln gekocht. Die gekochten Hackschnitzel werden in einem Refiner unter hohem Druck zerfasert und anschließend direkt beleimt. Die beleimten Fasern werden getrocknet und zur Verpressung in entsprechenden Dicken gestreut. Die verpressten Platten bzw. der verpresste Plattenstrang wird aufgetrennt und formatiert. Nachdem der Klebstoff vollständig ausgehärtet ist, werden die Platten verpackt. Tabelle 3.2.16.B zeigt die verwendeten Verpackungsmaterialien je funktionaler Einheit (1 m<sup>3</sup> Produkt).

**Tabelle 3.2.16.B: Verwendete Verpackungsmaterialien**

<b>Verpackungsmaterial</b>	<b>[kg/m<sup>3</sup>]</b>
PE Folie [kg]	0,063
MDF [kg]	21,600
Metallteile [kg]	0,647
Papier und Pappe [kg]	0,520
Kunststoffteile [kg]	0,134

Der Rohstoffpreis für 1 m<sup>3</sup> des Rohstoffmix in Form von Rundholz und Hackschnitzeln beträgt 47,45 € und das aus dem Produkt resultierende Altholz (Altholz AI) wird auf einen Wert von 4 € geschätzt (vgl. Tabelle 2-4). Somit ergibt sich bei der Berechnung des Szenarios der allgemeinen Verwertung nach ILCD eine Gutschrift in Höhe von 8,4 % der Aufwendungen der Bereitstellung der Holzrohstoffe.

Tabelle 3.2.1.C bildet die Sachbilanz für mitteldichte Faserplatte inklusive der bei der Produktion entstehenden Nebenprodukte ab. Die funktionale Einheit ist die Bereitstellung von 1 m<sup>3</sup> des Produktes am Werkstor. Die Sachbilanz erfolgt ohne Darstellung der Vorketten.

**Tabelle 3.2.16.C: Sachbilanz für die Herstellung von Mitteldichter Faserplatte (MDF)**

Fluss	Menge	Einheit
<b>INPUT</b>		
<b>Holzrohstoffe</b>		
Industrieholz	0,414	t (atro)
Hackschnitzel	0,399	t (atro)
<b>Strom</b>	297,637	kWh
<b>Brennstoffe</b>		
Erdgas	1,942	MJ
Heizöl leicht	70,298	MJ
Altholz	3843,028	MJ
IRH eigene Produktion	3462,318	MJ
<b>Betriebsmittel</b>		
Diesel	0,791	kg
Schmierstoffe	0,260	kg
Metalle	0,030	kg
Trinkwasser	59,200	kg
Schleifbänder	0,104	kg
Oberflächenwasser	1048,000	kg
Reifen	0,020	kg
<b>Bindemittel</b>		
Harnstoff Formaldehyd Bindemittel	95,591	kg
Paraffine (Hydrophobierung)	4,657	kg
<b>OUTPUT</b>		
<b>Produkte</b>		
Mitteldichte Faserplatte (MDF)	1,000	m <sup>3</sup>
Reststoffe	0,222	m <sup>3</sup>
<b>Emissionen aus</b>		
Verbrennung Brennstoffe	siehe Hintergrunddaten	
Abbinden der Klebstoffe		
Verbrennung Diesel in Kraftprozess		
<b>Sonstiges</b>		
Abfälle	0,414	kg
Asche	siehe Hintergrunddaten	
Abwasser /teilweise als Emission in Luft	1107,200	kg

Tabelle 3.2.16.D: Zusammenfassung aller Wirkungsindikatoren, Ressourceneinsätze und Outputflüsse

Parameter	Einheit	Bereitstellung der Rohstoffe (A1)	Transport (A2)	Herstellungsprozess (A3)	Summe cradle to gate (A1 - A3)	maximale Abweichung +/- %	Transport zum Entsorger (C2)	Abfallwirtschaft (C3)	energetische Verwertung (D)	stoffliche Verwertung (D)	Verrechnung von A1 nach ILCD
<b>Ergebnisse Umweltauswirkung</b>											
GWP	[kg CO <sub>2</sub> -Äqv.]	-9,06E+02	1,15E+01	2,18E+02	<b>-6,76E+02</b>	+19/-21	6,52E-01	1,09E+03	-3,56E+02	-1,71E+01	-5,11E+00
ODP	[kg CFC11-Äqv.]	9,80E-06	2,30E-08	4,78E-05	<b>5,76E-05</b>	+10/-22	1,30E-09	1,19E-06	-8,10E-05	-1,44E-06	-6,48E-07
AP	[kg SO <sub>2</sub> -Äqv.]	3,26E-01	9,00E-02	6,81E-01	<b>1,10E+00</b>	+32/-24	2,80E-03	6,98E-03	-3,64E-01	-6,75E-02	-1,19E-02
EP	[kg PO <sub>43</sub> -Äqv.]	1,48E-01	2,02E-02	1,30E-01	<b>2,98E-01</b>	+31/-21	6,49E-04	5,89E-04	-3,49E-03	-1,41E-02	-2,04E-03
POCP	[kg Ethen-Äqv.]	3,84E-02	1,06E-02	3,38E-01	<b>3,87E-01</b>	+22/-18	3,03E-04	4,64E-04	-2,44E-02	-8,41E-03	-1,52E-03
ADPE	[kg Sb-Äqv.]	4,69E-05	2,43E-07	2,33E-04	<b>2,80E-04</b>	+9/-10	1,38E-08	1,23E-07	-6,14E-06	-5,61E-07	-1,67E-07
ADPF	[MJ]	3,69E+03	1,62E+02	2,57E+03	<b>6,42E+03</b>	+20/-19	9,20E+00	4,62E+01	-3,99E+03	-2,19E+02	-6,68E+01
<b>Ergebnisse Ressourceneinsatz</b>											
PERE	[MJ]	4,30E+01	2,15E-01	2,83E+03	<b>2,88E+03</b>		1,22E-02	4,70E+00	-4,32E+02	-1,14E+04	-4,07E-01
PERM	[MJ]	1,14E+04	0,00E+00	5,55E+01	<b>1,14E+04</b>		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	-9,59E+02
PERT	[MJ]	1,14E+04	2,15E-01	2,89E+03	<b>1,43E+04</b>		1,22E-02	4,70E+00	-4,32E+02	-1,14E+04	-9,59E+02
PENRE	[MJ]	3,03E+03	1,63E+02	4,24E+03	<b>7,43E+03</b>		9,25E+00	8,78E+01	-1,19E+04	-4,58E+02	5,86E+01
PENRM	[MJ]	1,00E+03	0,00E+00	0,00E+00	<b>1,00E+03</b>		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
PENRT	[MJ]	4,03E+03	1,63E+02	4,24E+03	<b>8,43E+03</b>		9,25E+00	8,78E+01	-1,19E+04	-4,58E+02	5,86E+01
SM	[kg]	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	<b>0,00E+00</b>		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	3,32E+02	0,00E+00
RSF	[MJ]	0,00E+00	0,00E+00	3,32E+03	<b>3,32E+03</b>		0,00E+00	0,00E+00	6,40E+03	0,00E+00	0,00E+00
NRSF	[MJ]	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	<b>0,00E+00</b>		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
FW	[m <sup>3</sup> ]	1,71E+03	3,06E+00	2,51E+03	<b>4,22E+03</b>		1,73E-01	4,99E+01	3,31E+03	-3,08E+02	-3,67E+01
<b>Ergebnisse Outputflüsse und Abfallkategorien</b>											
HWD	[kg]	4,21E-01	0,00E+00	1,11E-01	<b>5,32E-01</b>		0,00E+00	0,00E+00	1,45E+00	1,14E-02	1,14E-02
NHWD	[kg]	1,78E-03	0,00E+00	1,29E-02	<b>1,47E-02</b>		0,00E+00	0,00E+00	4,40E-05	-5,47E-06	-8,22E-07
RWD	[kg]	1,17E-01	2,87E-04	5,96E-01	<b>7,14E-01</b>		1,63E-05	1,49E-02	-1,01E+00	-1,10E-02	-1,15E-03
CRU	[kg]	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	<b>0,00E+00</b>		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
MFR	[kg]	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	<b>0,00E+00</b>		0,00E+00	7,37E+02	0,00E+00	-7,37E+02	0,00E+00
MER	[kg]	0,00E+00	0,00E+00	2,88E+00	<b>2,88E+00</b>		0,00E+00	7,37E+02	-7,40E+02	-2,88E+00	0,00E+00
EE1	[MJ]	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	<b>0,00E+00</b>		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
EE2	[MJ]	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	<b>0,00E+00</b>		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00

Alle nicht genannten Module fallen unter den Bereich „MND“ (= „Modul nicht deklariert“). <sup>1</sup> Strom & <sup>2</sup> Wärme

**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 (Institute of Environmental Sciences Faculty of Science Universität Leiden, Niederlande) verwendet. Der Charakterisierungsfaktor für den Verbrauch von abiotischen Ressourcen (fossile Stoffe) ist der jeweilige unterer Heizwert am Extraktionspunkt des fossilen Brennstoffs. Langzeitemissionen (> 100 Jahre) werden in der Wirkungsabschätzung nicht berücksichtigt.

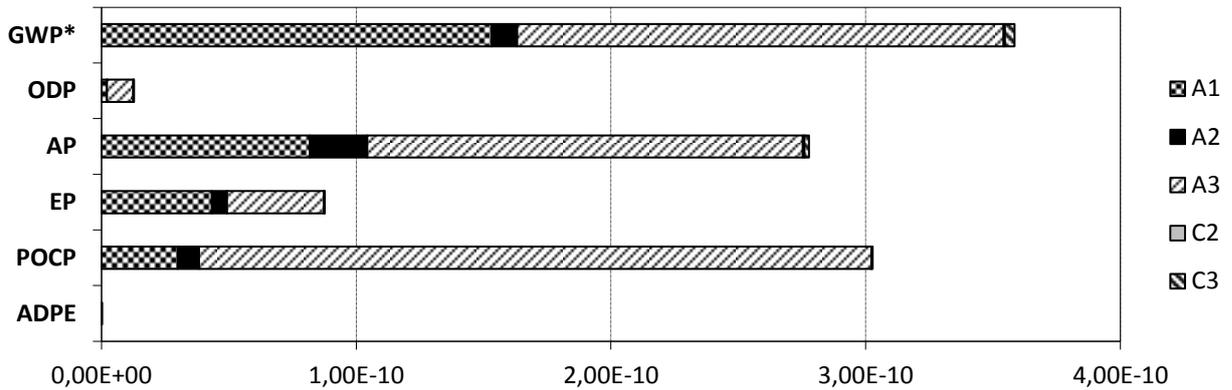


Abbildung 3.2.16.C: Wirkungspotentiale normiert nach deutschen Gesamtemissionen (ohne Modul D) für die Module A1 bis A3, C2 und C3 (energetisch) [%/100 der deutschen Gesamtemissionen]

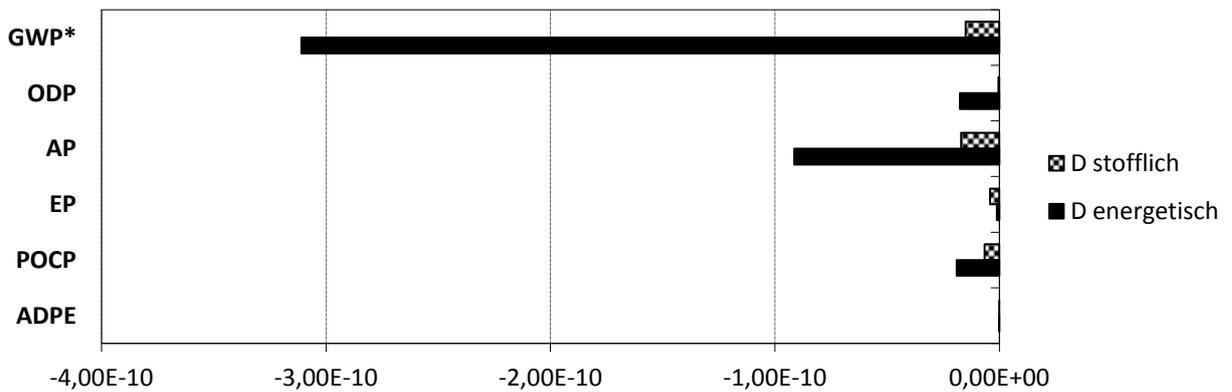


Abbildung 3.2.16.D: Wirkungspotentiale normiert nach deutschen Gesamtemissionen für die Szenarien im Modul D (stofflich und energetisch) [%/100 der deutschen Gesamtemissionen]

Tabelle 3.2.16.E: Haupteinflussfaktoren auf die Ergebnisse der drei relevantesten Wirkungsindikatoren (nach Normierung) [kg/m<sup>3</sup>]

Nr.	Indikator	Σ (A1 bis A3)	Haupteinflussfaktoren
1	<b>AP</b> Versauerungspotential [SO <sub>2</sub> -Äqv.]	1,097	25,9% - Wärme Trocknung ; 17,7% - UF Klebstoff ; 11,7% - Strom Faserherstellung ; 7,2% - Hackschnitzel stofflich ; 5,7% - Wärme Urformen ; 4,3% - Transport Hackschnitzel stoffl. ; Rest 27,5%
2	<b>GWP</b> Treibhausgaspotential – fossil [CO <sub>2</sub> -Äqv.]	405,142	37,1% - UF Klebstoff ; 19,7% - Strom Faserherstellung ; 10,6% - Wärme Trocknung ; 6,9% - Strom urformen ; 4,6% - Strom Infrastruktur ; 4,2% - Hackschnitzel stofflich ; Rest 16,9%
3	<b>POCP</b> Ozonbildungspotential [Ethen-Äqv.]	0,387	40,8% - Zusätze Emissionen vor Ort ; 17,3% - Wärme Trocknung ; 15,7% - Abbinden Klebstoff ; 5% - UF Klebstoff ; 3,8% - Wärme Urformen ; 2,6% - Hackschnitzel stofflich ; Rest 14,8%

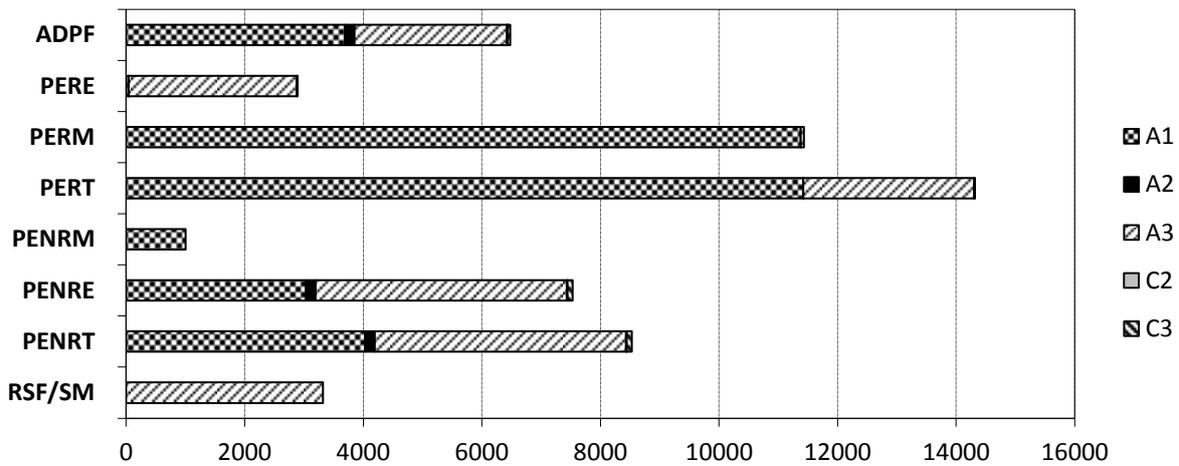


Abbildung 3.2.16.E: Einsatz von Ressourcen in den Modulen A1 bis A3, C2 und C3 (energetisch) [MJ/m³]

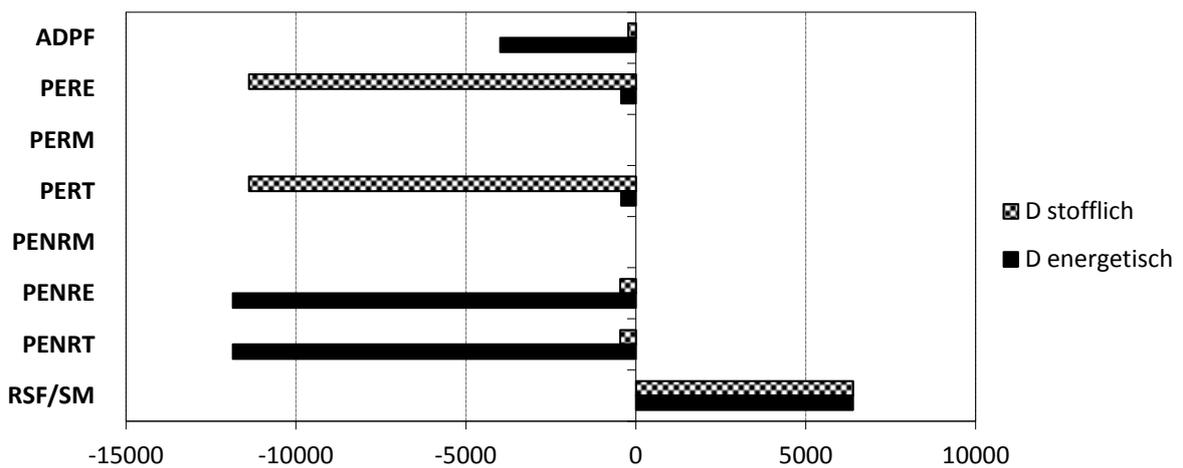


Abbildung 3.2.16.F: Gut- und Lastschriften für Ressourcen in Modul D stofflich und D energetisch [MJ/m³]

Tabelle 3.2.16.F: Hauptsächlichste Verwendung der eingesetzten Primärenergie und der Ressourcen [MJ/m³]

Primärenergietyp	$\Sigma$ (A1 bis A3)	Hauptsächlichste Verwendung
<b>PERE</b> Erneuerbare Primärenergie als Energieträger [MJ]	2877	Erzeugung von Wärme mit Holz
<b>PENRE</b> Nicht-erneuerbare Primärenergie als Energieträger [MJ]	7431	41,3% - UF Klebstoff ; 19,2% - Strom Faserherstellung ; 10% - Wärme Trocknung ; 6,7% - Strom urformen ; 4,5% - Strom Infrastruktur ; 3% - Hackschnitzel stofflich ; Rest 15,3%
<b>RSF</b> Erneuerbare Sekundärbrennstoffe [MJ]	3321	Erzeugung von Wärme mit Altholz

Tabelle 3.2.16.G: Relation des Einsatzes ausgewählter Primärenergietypen zueinander

Primärenergietyp	Relation	Primärenergietyp
<b>PERE</b> Erneuerbare Primärenergie als Energieträger [MJ]	1 : 3,97	<b>PERM</b> Erneuerbare Primärenergie zur stofflichen Nutzung [MJ]
<b>PENRE</b> Nicht-erneuerbare Primärenergie als Energieträger [MJ]	1 : 1,54	<b>PERM</b> Erneuerbare Primärenergie zur stofflichen Nutzung [MJ]
<b>PERE</b> Erneuerbare Primärenergie als Energieträger [MJ]	1 : 2,58	<b>PENRE</b> Nicht-erneuerbare Primärenergie als Energieträger [MJ]

Von der insgesamt eingesetzten Masse an Holz ohne Nebenprodukte werden bis zum Werkstor etwa 20 % zur Erzeugung von Wärme verbrannt. Der Anteil an eingesetzter fossiler Energie entspricht etwa 2/3 des Energieinhalts des Produktes. Der Anteil eingesetzter Energie aus erneuerbaren Quellen entspricht etwa 38 % des Anteils an eingesetzter Energie aus fossilen Quellen.

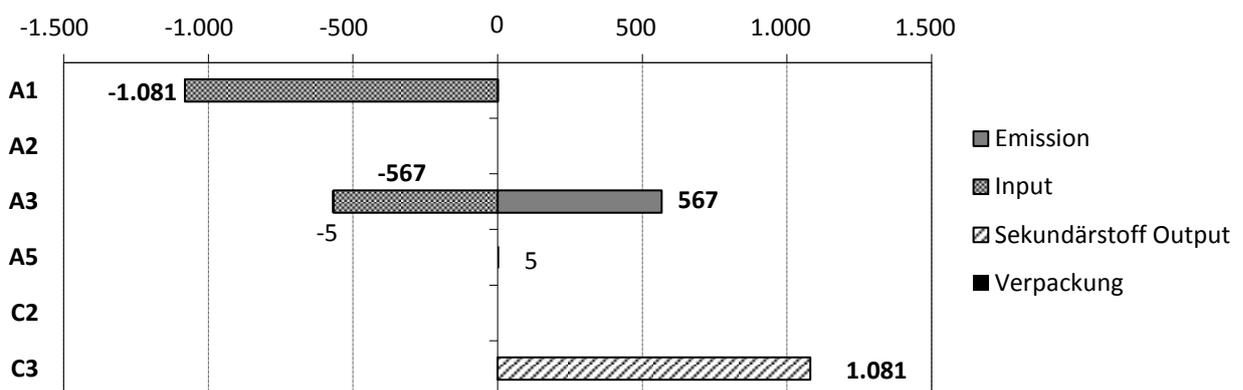


Abbildung 3.2.16.G: Bilanz der Kohlenstoffflüsse in der Holzbiomasse [kg CO<sub>2</sub>]

Insgesamt werden durch den Rohstoff Holz etwa 1653 kg CO<sub>2</sub> (gespeichert in Biomasse) in dem System eingesetzt. Davon werden 567 kg CO<sub>2</sub> im Rahmen der Wärmeerzeugung vor Ort emittiert. Etwa 5 kg CO<sub>2</sub> werden über die Verpackung dem System zugeführt und im Rahmen der Entsorgung der Verpackung wieder emittiert. Die im Produkt gespeicherte Menge an Kohlenstoff wird während der Entsorgung in Modul C3 entweder als Emission in Höhe von 1081 kg CO<sub>2</sub> oder in Form von im Altholz dem System wieder entzogen.

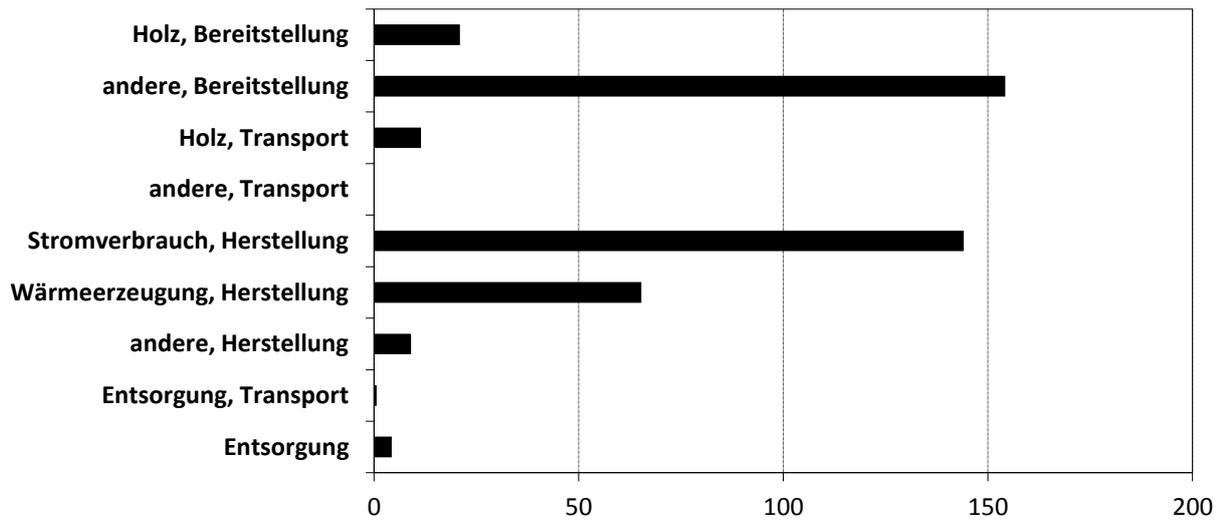


Abbildung 3.2.16.H: Treibhausgasemissionen aus fossilen Quellen nach Modulen A1 bis A3, C2 und C3 (energetisch) [kg CO<sub>2</sub>-Äqv./m<sup>3</sup> Produkt]

Die wesentlichen Quellen des Treibhausgaspotentials sind die Herstellung der Klebstoffe (38 %) und der Stromverbrauch im Werk (35 %). Daneben spielt die Wärmeerzeugung eine tragende Rolle (21 %).

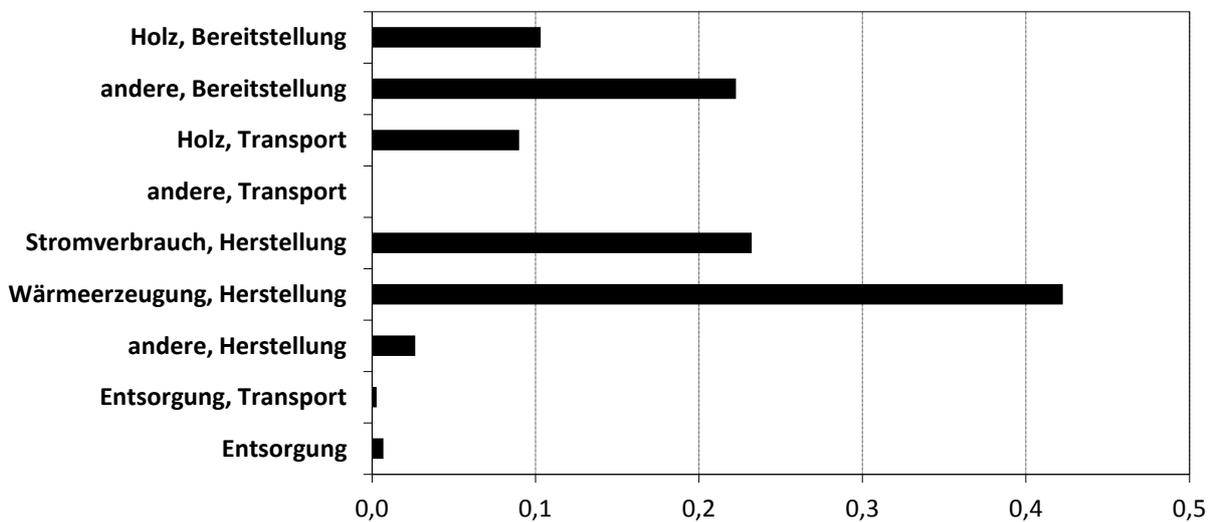


Abbildung 3.2.16.I: Versauerungspotential nach Modulen A1 bis A3, C2 und C3 (energetisch) [kg SO<sub>2</sub>-Äqv./m<sup>3</sup> Produkt]

Die Quellen der Emissionen, die zum Versauerungspotential beitragen, sind vor allem die Verbrennung von Holz vor Ort zur Erzeugung von Trocknungswärme (38 %) und die Vorkette der Brennstoffe. Daneben spielen der Stromverbrauch (21 %) sowie die Herstellung der Klebstoffe (20 %) eine wesentliche Rolle.

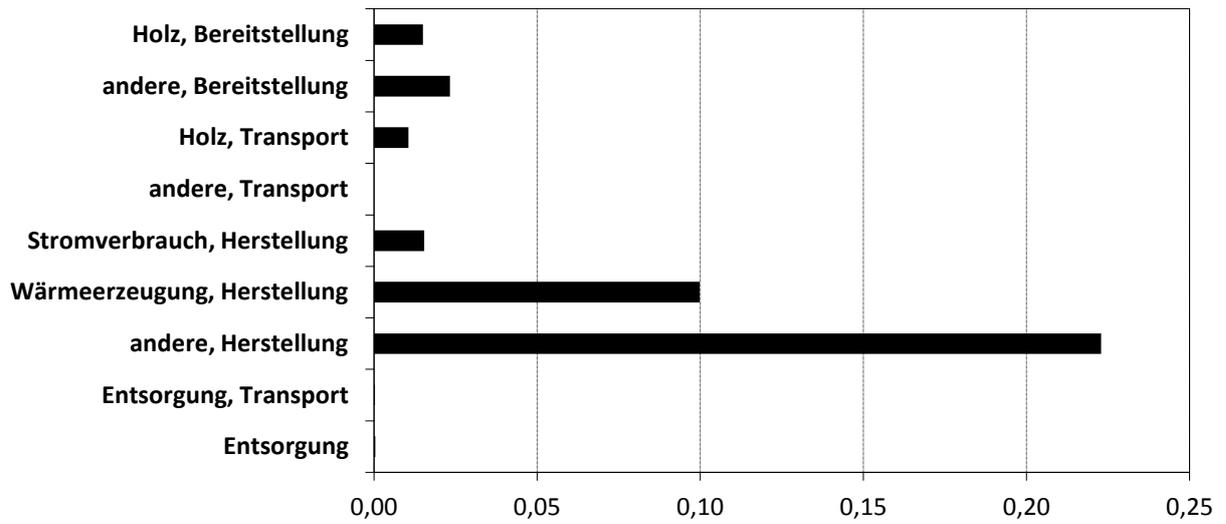


Abbildung 3.2.16.J: Ozonbildungspotential nach Modulen A1 bis A3, C2 und C3 (energetisch) [kg Ethen-Äqv./m³ Produkt]

Ausschlaggebend für das Ozonbildungspotential sind die Trocknungsemissionen zu etwa 57 %.

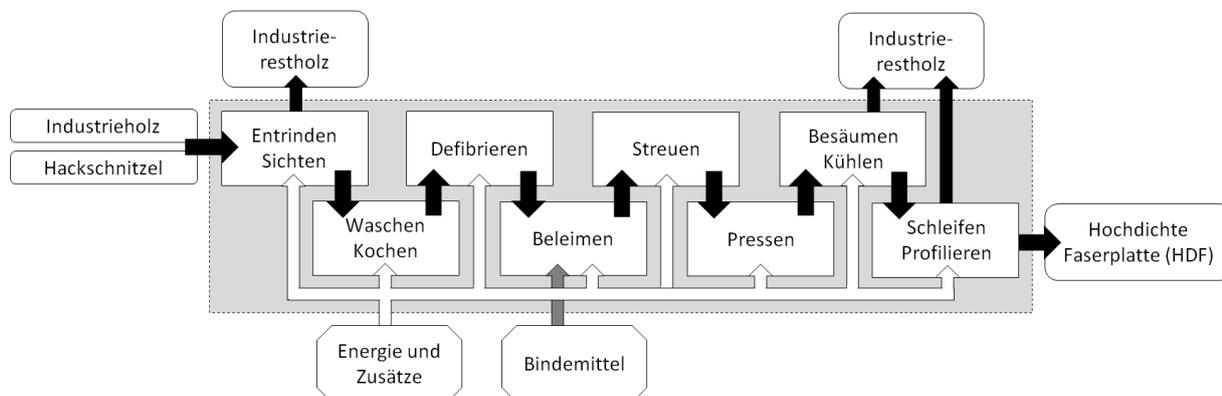
### 3.2.17 Hochdichte Faserplatte (HDF)

Hochdichte Faserplatten (HDF) sind im Trockenverfahren hergestellte Holzwerkstoffe auf Basis von Holzfasern. Neben Holzfasern besteht HDF aus duroplastischen Bindemitteln und weiteren Zusätzen. Tabelle 3.2.17.A zeigt die Zusammensetzung der funktionalen Einheit (1 m<sup>3</sup> Produkt).

Als Bindemittel werden Harnstoff-Formaldehyd-Harze (UF) verwendet. Paraffine werden zur Hydrophobierung der Fasern eingesetzt. Die in Tabelle 3.2.17.A dargestellten Inhaltsstoffe beschreiben den durchschnittlich eingesetzten Bindemittelmix.

**Tabelle 3.2.17.A: Zusammensetzung der funktionalen Einheit am Werkstor**

Stoff	Am Werkstor	
	[kg/m <sup>3</sup> ]	Anteil [%]
Holz	669,33	78,75
<i>davon Kohlenstoff</i>	334,67	39,38
Wasser	61,67	7,26
Harnstoff-Formaldehyd Bindemittel	113,28	13,33
Paraffine (Hydrophobierung)	5,64	0,66
<b>Gesamt</b>	<b>849,92</b>	



**Abbildung 3.2.17.A: Schematische Darstellung der Herstellung von HDF**

Die Herstellung von HDF verläuft analog zur Herstellung von MDF, jedoch werden höhere Dichten erreicht. Zur Herstellung von HDF werden Industrieholz und Hackschnitzel als Holzrohstoffe angeliefert. Das Rundholz wird entrindet, zerkleinert und zusammen mit den Hackschnitzeln gekocht. Die gekochten Hackschnitzel werden in einem Refiner unter hohem Druck zerfasert und anschließend direkt beleimt. Die beleimten Fasern werden getrocknet und zur Verpressung in entsprechenden Dicken gestreut. Die verpressten Platten bzw. der verpresste Plattenstrang wird aufgetrennt und formatiert. Nachdem der

Klebstoff vollständig ausgehärtet ist, werden die Platten verpackt. Tabelle 3.2.17.B zeigt die verwendeten Verpackungsmaterialien je funktionaler Einheit (1 m<sup>3</sup> Produkt).

**Tabelle 3.2.17.B: Verwendete Verpackungsmaterialien**

Verpackungsmaterial	[kg/m <sup>3</sup> ]
PE Folie [kg]	0,0632
MDF [kg]	21,6000
Metallteile [kg]	0,6470
Papier und Pappe [kg]	0,5196
Kunststoffteile [kg]	0,1342

Der Rohstoffpreis für 1 m<sup>3</sup> des Rohstoffmix in Form von Rundholz und Hackschnitzeln beträgt 47,99 € und der Preis für das aus dem Produkt resultierende Altholz (Altholz AI) wurde auf 4 € angesetzt (vgl. Tabelle 2-4). Somit ergibt sich bei der Berechnung des Szenarios der allgemeinen Verwertung nach ILCD eine Gutschrift in Höhe von 8,3 % der Aufwendungen der Bereitstellung der Holzrohstoffe.

Die Holzrohstoffe wurden über die durchschnittliche Distanz von 562 km transportiert.

Tabelle 3.2.17.C bildet die Sachbilanz für Hochdichte Faserplatte (HDF) inklusive der bei der Produktion entstehenden Nebenprodukte ab. Die funktionale Einheit ist die Bereitstellung von 1 m<sup>3</sup> des Produktes am Werkstor. Die Sachbilanz erfolgt ohne Darstellung der Vorketten.

Tabelle 3.2.17.C: Sachbilanz für die Herstellung von Hochdichter Faserplatte (HDF)

Fluss	Menge	Einheit
<b>INPUT</b>		
<b>Holzrohstoffe</b>		
Industrieholz	0,254	t (atro)
Hackschnitzel	0,614	t (atro)
<b>Strom</b>	301,062	kWh
<b>Brennstoffe</b>		
Erdgas	2,464	MJ
Heizöl leicht	34,683	MJ
Altholz	5883,355	MJ
IRH eigene Produktion	3700,988	MJ
<b>Betriebsmittel</b>		
Diesel	0,675	kg
Schmierstoffe	0,260	kg
Metalle	0,030	kg
Trinkwasser	59,200	kg
Schleifbänder	0,104	kg
Oberflächenwasser	1048,000	kg
Reifen	0,020	kg
<b>Bindemittel</b>		
Harnstoff Formaldehyd Bindemittel	113,278	kg
Hydrophobierung	5,641	kg

<b>OUTPUT</b>		
<b>Produkte</b>		
Hochdichte Faserplatte (HDF)	1,000	m <sup>3</sup>
Reststoffe	0,199	t (atro)
<b>Emissionen aus</b>	siehe Hintergrunddaten	
Verbrennung Brennstoffe		
Abbinden der Klebstoffe		
Verbrennung Diesel in Kraftprozess		
<b>Sonstiges</b>		
Abfälle	0,414	kg
Asche	siehe Hintergrunddaten	
Abwasser /teilweise als Emission in Luft	1107,200	kg

Tabelle 3.2.17.D: Zusammenfassung aller Wirkungsindikatoren, Ressourceneinsätze und Outputflüsse

Parameter	Einheit	Bereitstellung der Rohstoffe (A1)	Transport (A2)	Herstellungsprozess (A3)	Summe cradle to gate (A1 - A3)	maximale Abweichung +%/-%	Transport zum Entsorger (C2)	Abfallwirtschaft (C3)	energetische Verwertung (D)	stoffliche Verwertung (D)	Verrechnung von A1 nach ILCD
<b>Ergebnisse Umweltauswirkung</b>											
GWP	[kg CO2-Äqv.]	-1,02E+03	1,35E+01	2,10E+02	<b>-7,98E+02</b>	+20/-8	7,22E-01	1,23E+03	-4,00E+02	-1,94E+01	-6,19E+00
ODP	[kg CFC11-Äqv.]	1,16E-05	2,69E-08	4,69E-05	<b>5,86E-05</b>	+12/-6	1,44E-09	1,19E-06	-9,12E-05	-1,63E-06	-7,70E-07
AP	[kg SO2-Äqv.]	3,93E-01	1,00E-01	6,59E-01	<b>1,15E+00</b>	+34/-12	3,10E-03	6,98E-03	-4,10E-01	-7,66E-02	-1,52E-02
EP	[kg PO43--Äqv.]	1,73E-01	2,25E-02	1,24E-01	<b>3,20E-01</b>	+30/-10	7,18E-04	5,89E-04	-3,92E-03	-1,59E-02	-2,65E-03
POCP	[kg Ethen-Äqv.]	4,56E-02	1,17E-02	3,61E-01	<b>4,18E-01</b>	+21/-7	3,35E-04	4,64E-04	-2,74E-02	-9,53E-03	-1,86E-03
ADPE	[kg Sb-Äqv.]	5,43E-05	2,84E-07	2,61E-04	<b>3,15E-04</b>	+4/-1	1,52E-08	1,23E-07	-6,90E-06	-6,36E-07	-2,02E-07
ADPF	[MJ]	4,27E+03	1,90E+02	2,43E+03	<b>6,89E+03</b>	+19/-7	1,02E+01	4,62E+01	-4,49E+03	-2,49E+02	-8,07E+01
<b>Ergebnisse Ressourceneinsatz</b>											
PERE	[MJ]	5,08E+01	2,52E-01	2,22E+03	<b>2,27E+03</b>		1,35E-02	4,70E+00	-4,82E+02	-1,29E+04	-6,07E-01
PERM	[MJ]	1,29E+04	0,00E+00	6,30E+01	<b>1,30E+04</b>		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	-1,08E+03
PERT	[MJ]	1,29E+04	2,52E-01	2,28E+03	<b>1,52E+04</b>		1,35E-02	4,70E+00	-4,82E+02	-1,29E+04	-1,08E+03
PENRE	[MJ]	3,49E+03	1,91E+02	4,06E+03	<b>7,74E+03</b>		1,02E+01	8,78E+01	-1,30E+04	-5,20E+02	6,36E+01
PENRM	[MJ]	1,19E+03	0,00E+00	0,00E+00	<b>1,19E+03</b>		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
PENRT	[MJ]	4,68E+03	1,91E+02	4,06E+03	<b>8,93E+03</b>		1,02E+01	8,78E+01	-1,30E+04	-5,20E+02	6,36E+01
SM	[kg]	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	<b>0,00E+00</b>		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	3,82E+02	0,00E+00
RSF	[MJ]	0,00E+00	0,00E+00	3,84E+03	<b>3,84E+03</b>		0,00E+00	0,00E+00	7,37E+03	0,00E+00	0,00E+00
NRSF	[MJ]	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	<b>0,00E+00</b>		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
FW	[m³]	1,98E+03	3,58E+00	2,46E+03	<b>4,44E+03</b>		1,92E-01	4,99E+01	3,72E+03	-3,49E+02	-4,30E+01
<b>Ergebnisse Outputflüsse und Abfallkategorien</b>											
HWD	[kg]	4,80E-01	0,00E+00	1,06E-01	<b>5,87E-01</b>		0,00E+00	0,00E+00	1,63E+00	1,30E-02	1,30E-02
NHWD	[kg]	2,03E-03	0,00E+00	1,46E-02	<b>1,66E-02</b>		0,00E+00	0,00E+00	4,95E-05	-6,21E-06	-9,30E-07
RWD	[kg]	1,39E-01	3,36E-04	5,85E-01	<b>7,25E-01</b>		1,80E-05	1,49E-02	-1,14E+00	-1,25E-02	-1,74E-03
CRU	[kg]	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	<b>0,00E+00</b>		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
MFR	[kg]	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	<b>0,00E+00</b>		0,00E+00	8,50E+02	0,00E+00	-8,50E+02	0,00E+00
MER	[kg]	0,00E+00	0,00E+00	3,27E+00	<b>3,27E+00</b>		0,00E+00	8,50E+02	-8,53E+02	-3,27E+00	0,00E+00
EE1	[MJ]	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	<b>0,00E+00</b>		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
EE2	[MJ]	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	<b>0,00E+00</b>		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00

Alle nicht genannten Module fallen unter den Bereich „MND“ (= „Modul nicht deklariert“). <sup>1</sup> Strom & <sup>2</sup> Wärme

**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 (Institute of Environmental Sciences Faculty of Science Universität Leiden, Niederlande) verwendet. Der Charakterisierungsfaktor für den Verbrauch von abiotischen Ressourcen (fossile Stoffe) ist der jeweilige unterer Heizwert am Extraktionspunkt des fossilen Brennstoffs. Langzeitemissionen (> 100 Jahre) werden in der Wirkungsabschätzung nicht berücksichtigt.

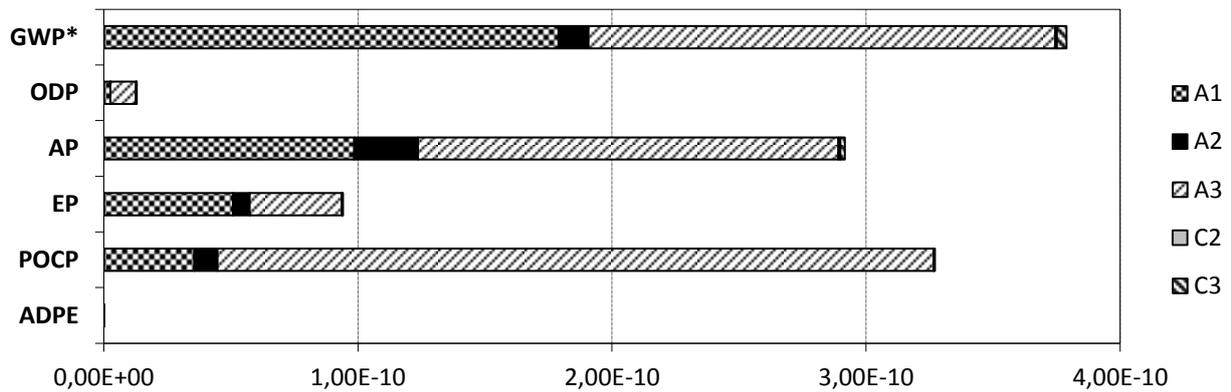


Abbildung 3.2.17.C: Wirkungspotentiale normiert nach deutschen Gesamtemissionen (ohne Modul D) für die Module A1 bis A3, C2 und C3 (energetisch) [%/100 der deutschen Gesamtemissionen]

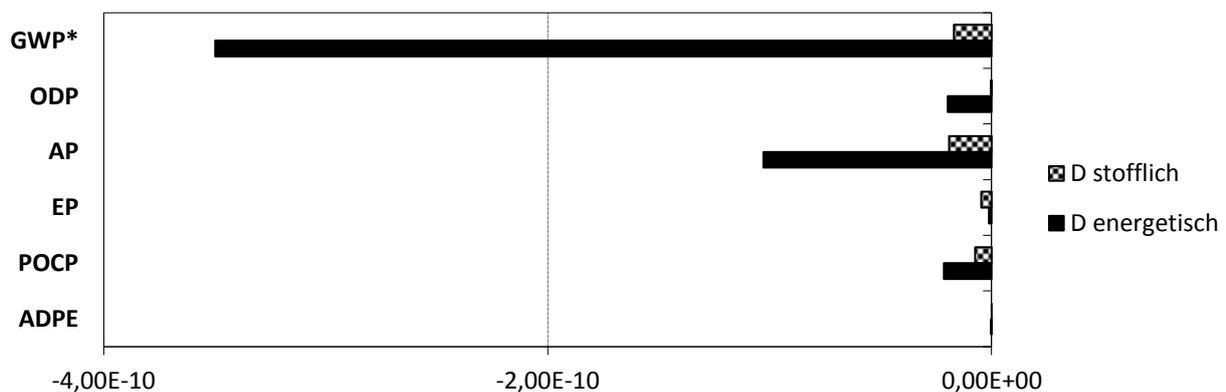


Abbildung 3.2.17.D: Wirkungspotentiale normiert nach deutschen Gesamtemissionen für die Szenarien im Modul D (stofflich und energetisch) [%/100 der deutschen Gesamtemissionen]

Tabelle 3.2.17.E: Haupteinflussfaktoren auf die Ergebnisse der drei relevantesten Wirkungsindikatoren (nach Normierung) [kg/m<sup>3</sup>]

Nr.	Indikator	∑ (A1 bis A3)	Haupteinflussfaktoren
1	<b>AP</b> Versauerungspotential [SO <sub>2</sub> -Äqv.]	1,152	25,3% - Wärme Trocknung ; 19,3% - UF Klebstoff ; 11,7% - Strom Faserherstellung ; 10,5% - Hackschnitzel stofflich ; 5,9% - Strom urformen ; 5% - Wärme Urformen ; Rest 22,3%
2	<b>GWP</b> Treibhausgaspotential – fossil [CO <sub>2</sub> -Äqv.]	428,425	40% - UF Klebstoff ; 19,6% - Strom Faserherstellung ; 9,9% - Strom urformen ; 8,8% - Wärme Trocknung ; 6,1% - Hackschnitzel stofflich ; 2,7% - Strom Endfertigung ; Rest 12,9%
3	<b>POCP</b> Ozonbildungspotential [Ethen-Äqv.]	0,418	43% - Zusätze Emissionen vor Ort ; 16,6% - Abbinden Klebstoff ; 16% - Wärme Trocknung ; 5,3% - UF Klebstoff ; 3,7% - Hackschnitzel stofflich ; 3,2% - Wärme Urformen ; Rest 12,2%

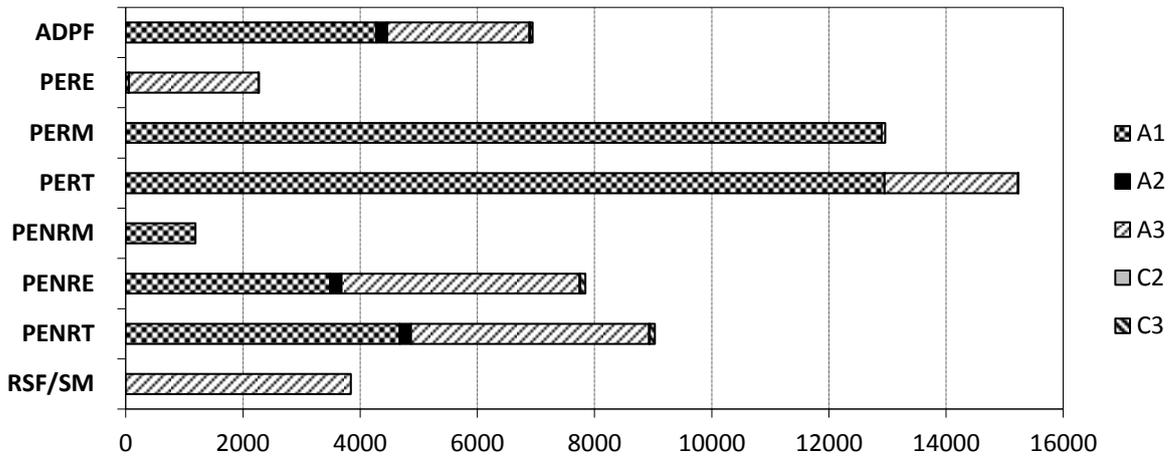


Abbildung 3.2.17.E: Einsatz von Ressourcen in den Modulen A1 bis A3, C2 und C3 (energetisch) [MJ/m³]

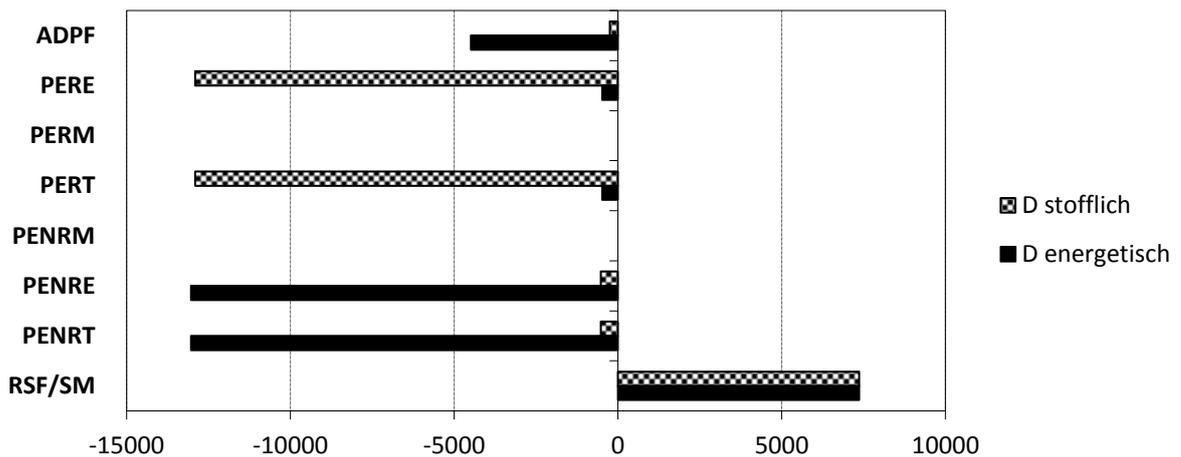


Abbildung 3.2.17.F: Gut- und Lastschriften für Ressourcen in Modul D stofflich und D energetisch

Tabelle 3.2.17.F: Hauptsächliche Verwendung der eingesetzten Primärenergie und der Ressourcen [MJ/m³]

Primärenergietyp	Σ (A1 bis A3)	Hauptsächliche Verwendung
<b>PERE</b> Erneuerbare Primärenergie als Energieträger [MJ]	2267	Erzeugung von Wärme aus Holz
<b>PENRE</b> Nicht-erneuerbare Primärenergie als Energieträger [MJ]	7744	44,4% - UF Klebstoff ; 19% - Strom Faserherstellung ; 9,6% - Strom urformen ; 8,2% - Wärme Trocknung ; 4,4% - Hackschnitzel stofflich ; 3,1% - Hydrophobierung ; Rest 11,3%
<b>RSF</b> Erneuerbare Sekundärbrennstoffe [MJ]	3839	Erzeugung von Wärme aus Altholz

Tabelle 3.2.17.G: Relation des Einsatzes ausgewählter Primärenergietypen zueinander

Primärenergietyp	Relation	Primärenergietyp
<b>PERE</b> Erneuerbare Primärenergie als Energieträger [MJ]	1 : 5,72	<b>PERM</b> Erneuerbare Primärenergie zur stofflichen Nutzung [MJ]
<b>PENRE</b> Nicht-erneuerbare Primärenergie als Energieträger [MJ]	1 : 1,67	<b>PERM</b> Erneuerbare Primärenergie zur stofflichen Nutzung [MJ]
<b>PERE</b> Erneuerbare Primärenergie als Energieträger [MJ]	1 : 3,42	<b>PENRE</b> Nicht-erneuerbare Primärenergie als Energieträger [MJ]

Von der insgesamt eingesetzten Masse an Holz ohne Nebenprodukte werden bis zum Werkstor etwa 15 % zur Erzeugung von Wärme verbrannt. Der Anteil an eingesetzter fossiler Energie entspricht etwa 60 % des Energieinhalts des Produktes. Der Anteil eingesetzter Energie aus erneuerbaren Quellen entspricht etwa 1/3 des Anteils an Energie aus fossilen Quellen.

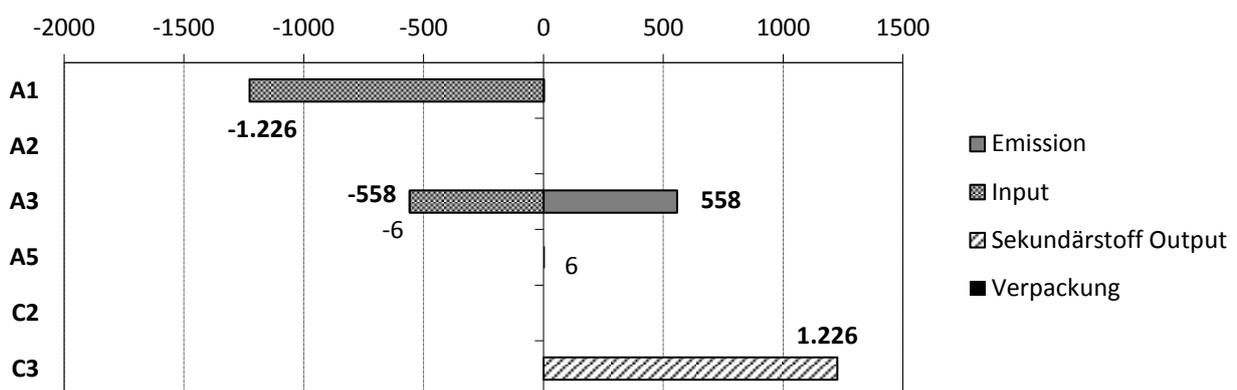


Abbildung 3.2.17.G: Bilanz der Kohlenstoffflüsse in der Holzbiomasse [kg CO<sub>2</sub>]

Insgesamt werden durch den Rohstoff Holz etwa 1790 kg CO<sub>2</sub> (gespeichert in Biomasse) in dem System eingesetzt. Davon werden 558 kg CO<sub>2</sub> im Rahmen der Wärmeerzeugung vor Ort emittiert. Etwa 64 kg CO<sub>2</sub> werden über die Verpackung dem System zugeführt und im Rahmen der Entsorgung der Verpackung wieder emittiert. Die im Produkt gespeicherte Menge an Kohlenstoff verlässt während der Entsorgung in Modul C3 entweder als Emission in Höhe von 1226 kg CO<sub>2</sub> oder in Form von Altholz wieder das System.

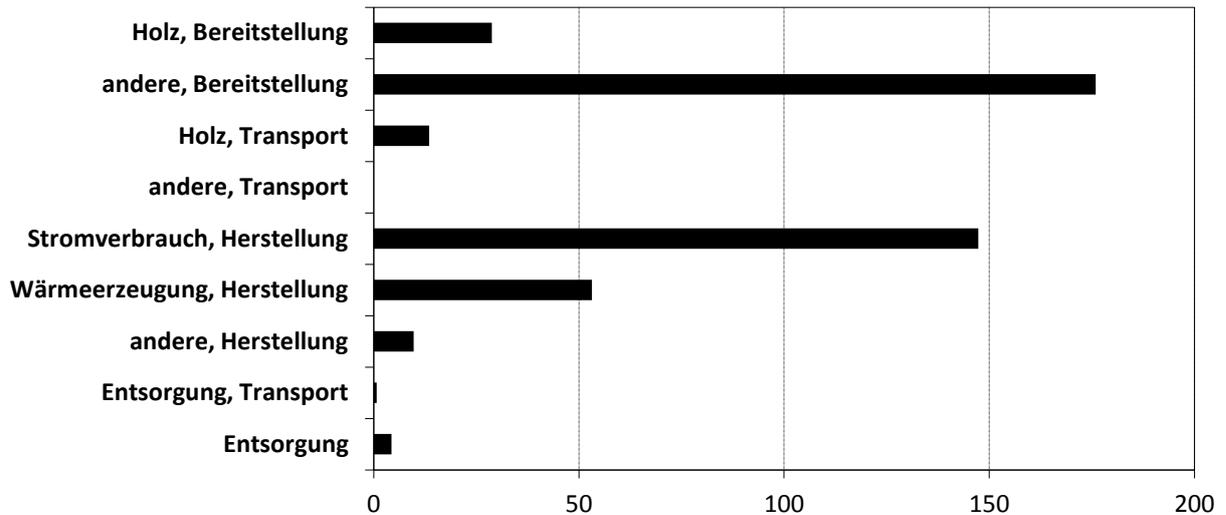


Abbildung 3.2.17.H: Treibhausgasemissionen aus fossilen Quellen nach Modulen A1 bis A3, C2 und C3 (energetisch) [kg CO<sub>2</sub>-Äqv./m<sup>3</sup> Produkt]

Die wesentlichen Quellen des Treibhausgaspotentials sind die Herstellung der Klebstoffe (41 %) und der Stromverbrauch vor Ort (34 %), wobei hier der Verbrauch des Refiners ausschlaggebend ist.

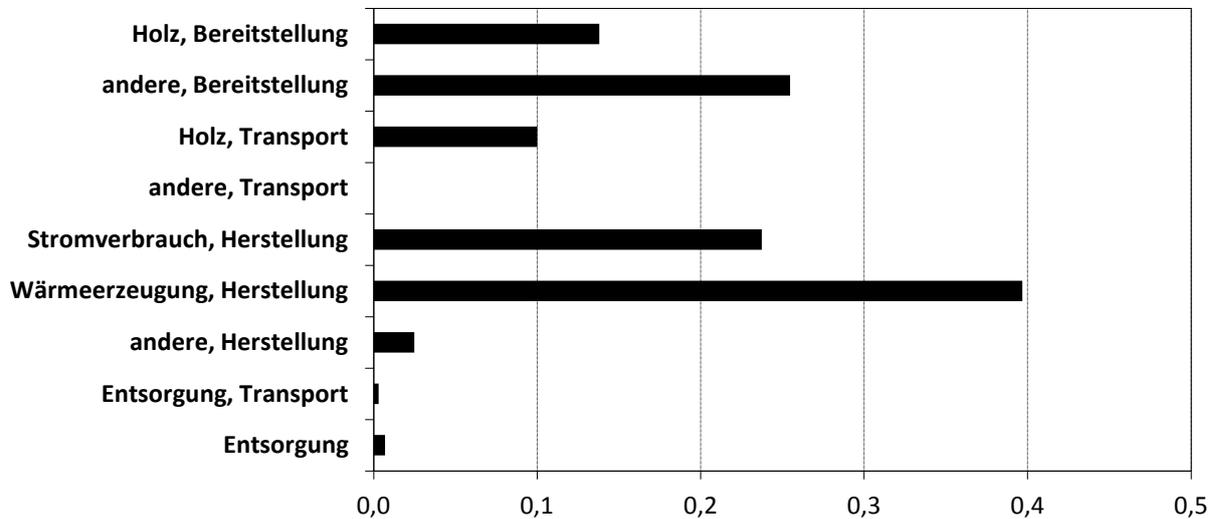


Abbildung 3.2.17.I: Versauerungspotential nach Modulen A1 bis A3, C2 und C3 (energetisch) [kg SO<sub>2</sub>-Äqv./m<sup>3</sup> Produkt]

Wesentlich trägt die Feuerung vor Ort (34 %) und die Herstellung der Klebstoffe (22 %) zum Versauerungspotential bei. Den größten Einfluss auf die Höhe des Ozonbildungspotentials haben die Trocknung der Fasern und die Emissionen beim Abbinden der Klebstoffe (zusammen 60 %).

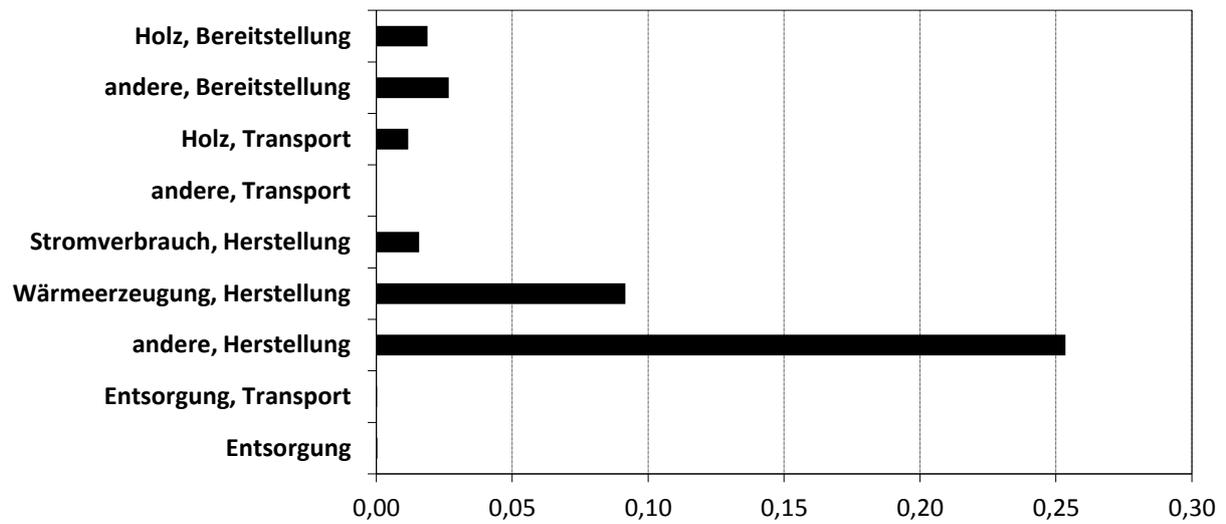


Abbildung 3.2.17.J: Ozonbildungspotential nach Modulen A1 bis A3, C2 und C3 (energetisch) [kg Ethen-Äqv./m³ Produkt]

### 3.2.18 Massivholzparkett

Einschichtige Holzböden sind einschichtige Bodenbeläge aus massivem Holz in Form von Massivholzparkett, Massivholzdielen oder Holzpflaster. Die Böden haben Dicken zwischen 8 und 40 mm und werden teilweise schwimmend, teilweise fest mit dem Untergrund verklebt, verlegt. Die hier betrachteten Produkte sind Massivholzböden am Werkstor der Herstellung ohne Oberflächenbeschichtung. Tabelle 3.2.18.A zeigt die Zusammensetzung der funktionalen Einheit (1 m<sup>2</sup> Produkt).

Tabelle 3.2.18.A: Zusammensetzung der funktionalen Einheit am Werkstor

Stoff	Am Werkstor	
	[kg/m <sup>2</sup> ]	Anteil [%]
Holz	10,84	92,57
<i>davon Kohlenstoff</i>	<i>5,42</i>	<i>46,285</i>
Wasser	0,87	7,43
<b>Gesamt</b>	<b>11,71</b>	

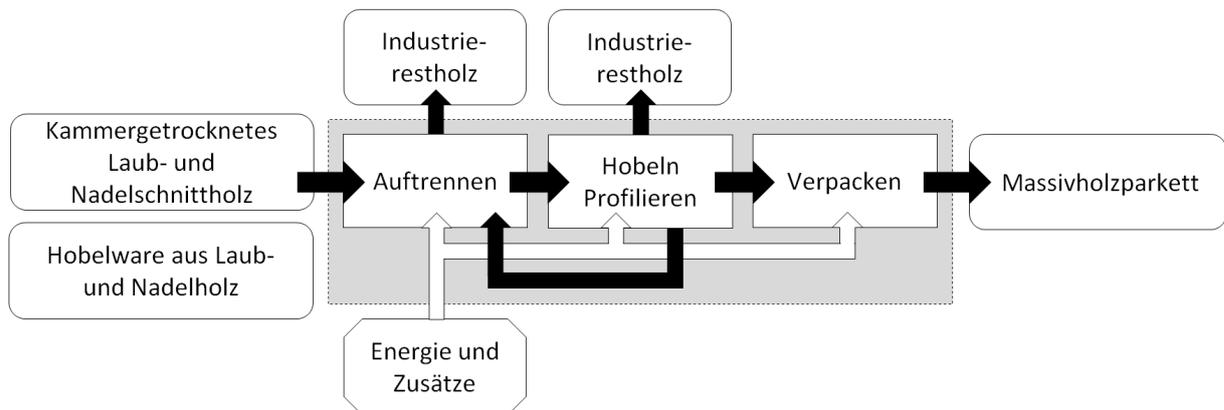


Abbildung 3.2.18.A: Schematische Darstellung der Herstellung von Massivholzparkett

Zur Herstellung von einschichtigen Massivholzböden wird getrocknetes Schnittholz oder Hobelware in mehreren Schritten zu verlegbaren, massiven Einzelelementen verarbeitet. Teilweise werden Rundhölzer eingekauft, die analog zur Herstellung von Schnittholz zunächst aufgetrennt und getrocknet werden. Je nach erwünschter Dimension der Einzelelemente werden je m<sup>2</sup> Bodenfläche verschieden viele Sägeschnitte und Hobelprozesse durchgeführt. Bei Stabparkett wird zusätzlich eine umlaufende Nut oder Nut und Feder angebracht. Grundsätzlich gilt, je kleiner die Einzelteile sind, desto höher wird der Prozessaufwand je m<sup>2</sup> Bodenfläche. Das Produkt wird nach Fertigstellung für den Transport zur Baustelle verpackt. Tabelle 3.2.18.B zeigt die verwendeten Verpackungsmaterialien je funktionaler Einheit (1 m<sup>2</sup> Produkt).

**Tabelle 3.2.18.B: Verwendete Verpackungsmaterialien**

Verpackungsmaterial	kg/m <sup>2</sup>
Vollholz	0,0012775
PE Folie	0,0002866
andere Kunststoffe	0,0001450

Der Rohstoffpreis für 1 m<sup>2</sup> des Rohstoffmix in Form von Rundholz, Schnittholz und Hobelware wird auf 1,78 € und das aus dem Produkt resultierende Altholz (Altholz AI) auf einen Wert von 0,19 € festgelegt (vgl. Tabelle 2-4). Somit ergibt sich bei der Berechnung des Szenarios der allgemeinen Verwertung nach ILCD eine Gutschrift in Höhe von 10,9 % der Aufwendungen der Bereitstellung der Holzrohstoffe.

Die eingesetzten Holzrohstoffe wurden durchschnittlich über Distanzen von 517 km transportiert.

Tabelle 3.2.1.C bildet die Sachbilanz für Massivholzböden inklusive der bei der Produktion entstehenden Nebenprodukte ab. Die funktionale Einheit ist die Bereitstellung von 1 m<sup>2</sup> des Produktes am Werkstor. Die Sachbilanz erfolgt ohne Darstellung der Vorketten.

**Tabelle 3.2.18.C: Sachbilanz für die Herstellung von Massivholzparkett**

Fluss	Menge	Einheit
<b>INPUT</b>		
<b>Holzrohstoffe</b>		
Rundholz in Rinde	0,075	m <sup>3</sup>
Schnittholz, waldfrisch	0,001	m <sup>3</sup>
Schnittholz, kammergetrocknet	0,009	m <sup>3</sup>
Hobelware	0,057	m <sup>3</sup>
<b>Strom</b>		
IRH Eigene Produktion	572,455	MJ
<b>Betriebsmittel</b>		
Diesel	0,119	kg
Maschinenöl	0,017	kg
Schneidstoffe	0,002	kg
Reinigungsmittel	0,003	kg
Reifen	0,028	kg
Trinkwasser	58,477	kg
Oberflächenwasser	15,375	kg
Motoröl	0,001	kg
Schleifbänder	0,007	kg

<b>OUTPUT</b>		
<b>Produkte</b>		
Massivholzparkett	1	m <sup>2</sup>
Nebenprodukte (Späne und Hackschnitzel)	0,0115	m <sup>3</sup>
<b>Emissionen aus</b>		
Verbrennung Brennstoffe	siehe Hintergrunddaten	
Verbrennung Diesel in Kraftprozess		
<b>Sonstiges</b>		
Abfälle	0,345	
Asche	siehe Hintergrunddaten	
Abwasser /teilweise als Emission in Luft	423,409	kg

Tabelle 3.2.18.D: Zusammenfassung aller Wirkungsindikatoren, Ressourceneinsätze und Outputflüsse

Parameter	Einheit	Bereitstellung der Rohstoffe (A1)	Transport (A2)	Herstellungsprozess (A3)	Summe cradle to gate (A1 - A3)	maximale Abweichung +/- %	Transport zum Entsorger (C2)	Abfallwirtschaft (C3)	energetische Verwertung (D)	stoffliche Verwertung (D)	Verrechnung von A1 nach ILCD
<b>Ergebnisse Umweltauswirkung</b>											
GWP	[kg CO <sub>2</sub> -Äqv.]	-1,87E+01	0,00E+00	3,33E+01	<b>1,46E+01</b>	+105/-68	1,09E-02	1,99E+01	-9,08E+00	-2,01E-01	5,90E-03
ODP	[kg CFC11-Äqv.]	1,65E-07	0,00E+00	7,84E-06	<b>8,00E-06</b>	+40/-95	2,17E-11	2,09E-08	-2,09E-06	-2,41E-08	-1,46E-08
AP	[kg SO <sub>2</sub> -Äqv.]	1,05E-02	0,00E+00	8,03E-02	<b>9,08E-02</b>	+327/-27	4,67E-05	1,23E-04	-9,43E-03	-1,26E-03	-5,01E-04
EP	[kg PO43--Äqv.]	2,23E-03	0,00E+00	1,32E-02	<b>1,54E-02</b>	+570/-42	1,08E-05	1,04E-05	-9,12E-05	-2,60E-04	-9,38E-05
POCP	[kg Ethen-Äqv.]	1,76E-03	0,00E+00	8,96E-03	<b>1,07E-02</b>	+473/-33	5,05E-06	8,17E-06	-6,34E-04	-1,58E-04	-7,93E-05
ADPE	[kg Sb-Äqv.]	2,85E-05	0,00E+00	1,80E-05	<b>4,65E-05</b>	+126/-55	2,30E-10	2,16E-09	-1,97E-07	-4,91E-08	-1,19E-06
ADPF	[MJ]	1,21E+01	0,00E+00	3,28E+02	<b>3,40E+02</b>	+33/-83	1,53E-01	8,12E-01	-1,04E+02	-5,01E+00	-2,27E+00
<b>Ergebnisse Ressourceneinsatz</b>											
PERE	[MJ]	7,19E+01	0,00E+00	4,61E+02	<b>5,33E+02</b>		2,03E-04	8,27E-02	-8,27E+00	-2,09E+02	-2,89E+00
PERM	[MJ]	2,09E+02	0,00E+00	2,06E-01	<b>2,09E+02</b>		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	-8,39E+00
PERT	[MJ]	2,81E+02	0,00E+00	4,61E+02	<b>7,42E+02</b>		2,03E-04	8,27E-02	-8,27E+00	-2,09E+02	-1,13E+01
PENRE	[MJ]	1,78E+01	0,00E+00	6,02E+02	<b>6,20E+02</b>		1,54E-01	1,54E+00	-1,76E+02	-8,42E+00	-7,14E-01
PENRM	[MJ]	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	<b>0,00E+00</b>		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
PENRT	[MJ]	1,78E+01	0,00E+00	6,02E+02	<b>6,20E+02</b>		1,54E-01	1,54E+00	-1,76E+02	-8,42E+00	-7,14E-01
SM	[kg]	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	<b>0,00E+00</b>		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	5,27E+00	0,00E+00
RSF	[MJ]	0,00E+00	0,00E+00	2,51E-01	<b>2,51E-01</b>		0,00E+00	0,00E+00	1,02E+02	0,00E+00	0,00E+00
NRSF	[MJ]	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	<b>0,00E+00</b>		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
FW	[m <sup>3</sup> ]	2,32E+01	0,00E+00	4,88E+02	<b>5,11E+02</b>		2,89E-03	8,78E-01	8,56E+01	-5,59E+00	-4,53E-01
<b>Ergebnisse Outputflüsse und Abfallkategorien</b>											
HWD	[kg]	3,17E-04	0,00E+00	5,06E-03	<b>5,38E-03</b>		0,00E+00	0,00E+00	3,90E-02	1,76E-03	1,74E-03
NHWD	[kg]	1,21E-03	0,00E+00	5,87E-04	<b>1,79E-03</b>		0,00E+00	0,00E+00	3,98E-05	3,86E-05	-9,71E-06
RWD	[kg]	2,03E-03	0,00E+00	9,78E-02	<b>9,98E-02</b>		2,72E-07	2,62E-04	-2,62E-02	-2,03E-04	-8,16E-05
CRU	[kg]	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	<b>0,00E+00</b>		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
MFR	[kg]	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	<b>0,00E+00</b>		0,00E+00	1,17E+01	0,00E+00	-1,17E+01	0,00E+00
MER	[kg]	0,00E+00	0,00E+00	1,07E-02	<b>1,07E-02</b>		0,00E+00	1,17E+01	-1,17E+01	-1,07E-02	0,00E+00
EE1	[MJ]	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	<b>0,00E+00</b>		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
EE2	[MJ]	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	<b>0,00E+00</b>		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00

Alle nicht genannten Module fallen unter den Bereich „MND“ (= „Modul nicht deklariert“). <sup>1</sup> Strom & <sup>2</sup> Wärme

**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 Sekundärstoffbrennstoffe; NRSF = Nicht-erneuerbare Sekundärstoffbrennstoffe; 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 (Institute of Environmental Sciences Faculty of Science Universität Leiden, Niederlande) verwendet. Der Charakterisierungsfaktor für den Verbrauch von abiotischen Ressourcen (fossile Stoffe) ist der jeweilige unterer Heizwert am Extraktionspunkt des fossilen Brennstoffs. Langzeitemissionen (> 100 Jahre) werden in der Wirkungsabschätzung nicht berücksichtigt.

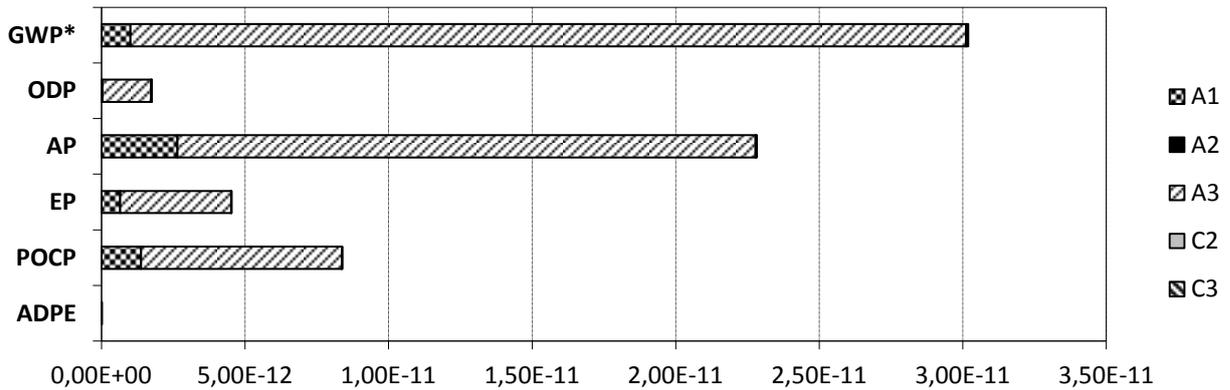


Abbildung 3.2.18.C: Wirkungspotentiale normiert nach deutschen Gesamtemissionen (ohne Modul D) für die Module A1 bis A3, C2 und C3 (energetisch) [%/100 der deutschen Gesamtemissionen]

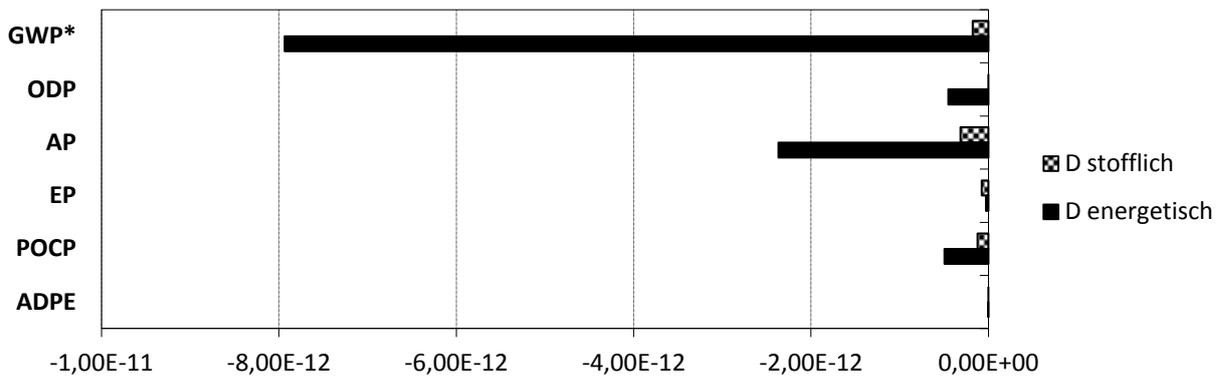


Abbildung 3.2.18.D: Wirkungspotentiale normiert nach deutschen Gesamtemissionen für die Szenarien im Modul D (stofflich und energetisch) [%/100 der deutschen Gesamtemissionen]

Tabelle 3.2.18.E: Haupteinflussfaktoren auf die Ergebnisse der drei relevantesten Wirkungsindikatoren (nach Normierung) [kg/m<sup>2</sup>]

Nr.	Indikator	Σ (A1 bis A3)	Haupteinflussfaktoren
1	<b>AP</b> Versauerungspotential [SO <sub>2</sub> -Äqv.]	0,091	42,2% - Wärme Parketherstellung ; 17,2% - Wärme Trocknung ; 11% - Schnittholz(trocken)vorkette ; 9,3% - Strom Trocknung Sonstige ; 8,6% - Betriebsmittel ; 4,5% - Strom Parketherstellung ; Rest 7,2%
2	<b>GWP</b> Treibhausgaspotential – fossil [CO <sub>2</sub> -Äqv.]	34,446	49% - Wärme Parketherstellung ; 15,2% - Strom Trocknung Sonstige ; 10,4% - Betriebsmittel ; 9,4% - Wärme Trocknung ; 7,4% - Strom Parketherstellung ; 3,1% - Schnittholz(trocken)vorkette ; Rest 5,5%
3	<b>POCP</b> Ozonbildungspotential [Ethen-Äqv.]	0,011	38% - Wärme Parketherstellung ; 23,3% - Wärme Trocknung ; 15,5% - Schnittholz(trocken)vorkette ; 5,2% - Strom Trocknung Sonstige ; 4,8% - Betriebsmittel ; 4,5% - Werkslogistik ; Rest 8,7%

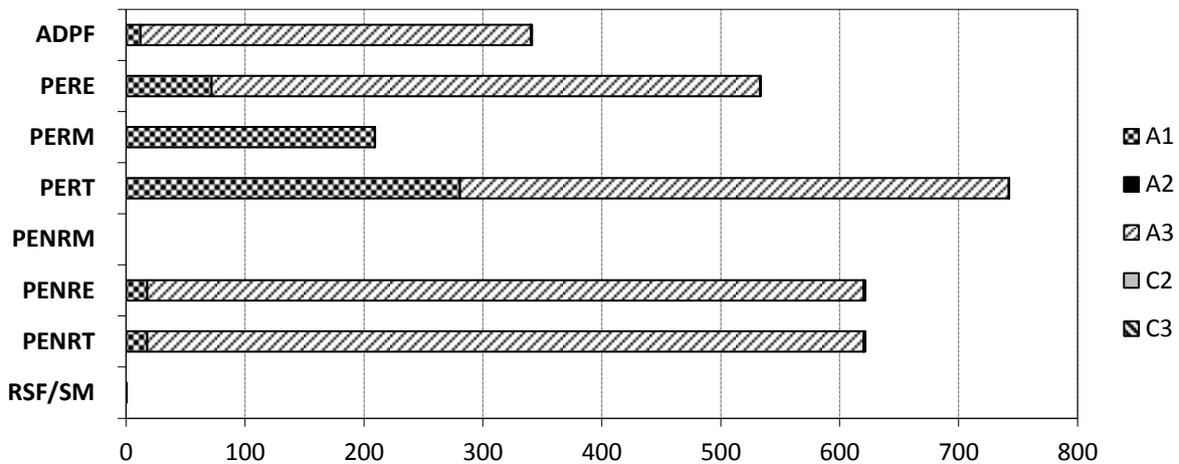


Abbildung 3.2.18.E: Einsatz von Ressourcen in den Modulen A1 bis A3, C2 und C3 (energetisch) [MJ/m²]

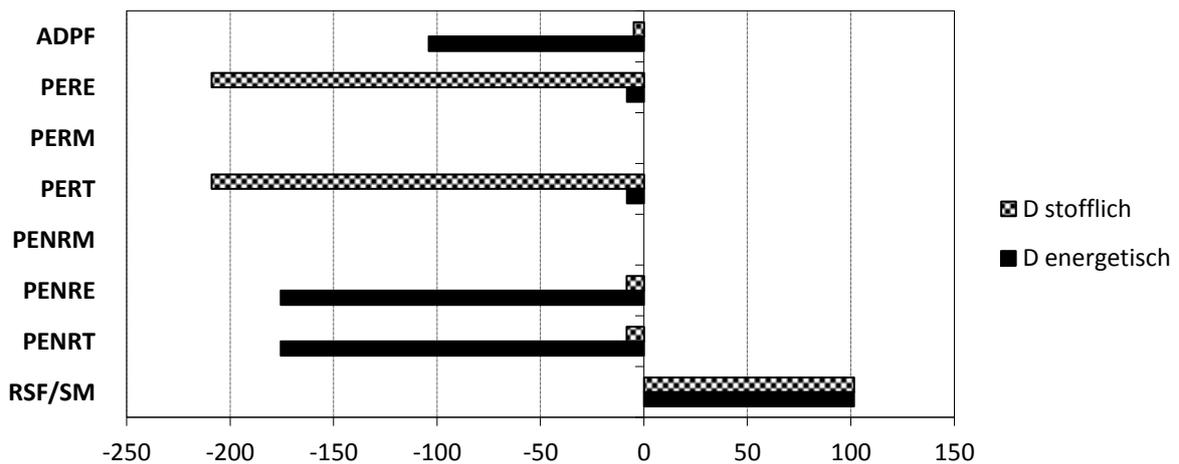


Abbildung 3.2.18.F: Gut- und Lastschriften für Ressourcen in Modul D stofflich und D energetisch [MJ/m²]

Tabelle 3.2.18.F: Hauptsächlichste Verwendung der eingesetzten Primärenergie und der Ressourcen [MJ/m²]

Primärenergietyp	$\Sigma$ (A1 bis A3)	Hauptsächlichste Verwendung
<b>PERE</b> Erneuerbare Primärenergie als Energieträger [MJ]	533	Erzeugung von Wärme mit Holz
<b>PENRE</b> Nicht-erneuerbare Primärenergie als Energieträger [MJ]	620	54,5% - Wärme Parkettherstellung ; 17,1% - Strom Trocknung Sonstige ; 10% - Wärme Trocknung ; 8,3% - Strom Parkettherstellung ; 2,6% - Schnittholz(trocken)vorkette ; 2,5% - Strom Infrastruktur ; Rest 5%
<b>RSF</b> Erneuerbare Sekundärbrennstoffe [MJ]	0,3	Erzeugung von Wärme mit Altholz

Tabelle 3.2.18.G: Relation des Einsatzes ausgewählter Primärenergietypen zueinander

Primärenergietyp	Relation	Primärenergietyp
<b>PERE</b> Erneuerbare Primärenergie als Energieträger [MJ]	1 : 0,39	<b>PERM</b> Erneuerbare Primärenergie zur stofflichen Nutzung [MJ]
<b>PENRE</b> Nicht-erneuerbare Primärenergie als Energieträger [MJ]	1 : 0,34	<b>PERM</b> Erneuerbare Primärenergie zur stofflichen Nutzung [MJ]
<b>PERE</b> Erneuerbare Primärenergie als Energieträger [MJ]	1 : 1,16	<b>PENRE</b> Nicht-erneuerbare Primärenergie als Energieträger [MJ]

Von der insgesamt eingesetzten Masse an Holz ohne Nebenprodukte werden bis zum Werkstor etwa 72 % zur Erzeugung von Wärme verbrannt. Der Anteil an eingesetzter fossiler Energie entspricht etwa dem Dreifachen des Energieinhalts des Produktes. Der Anteil eingesetzter Energie aus erneuerbaren Quellen entspricht etwa 2/3 des Anteils an Energie aus fossilen Quellen.

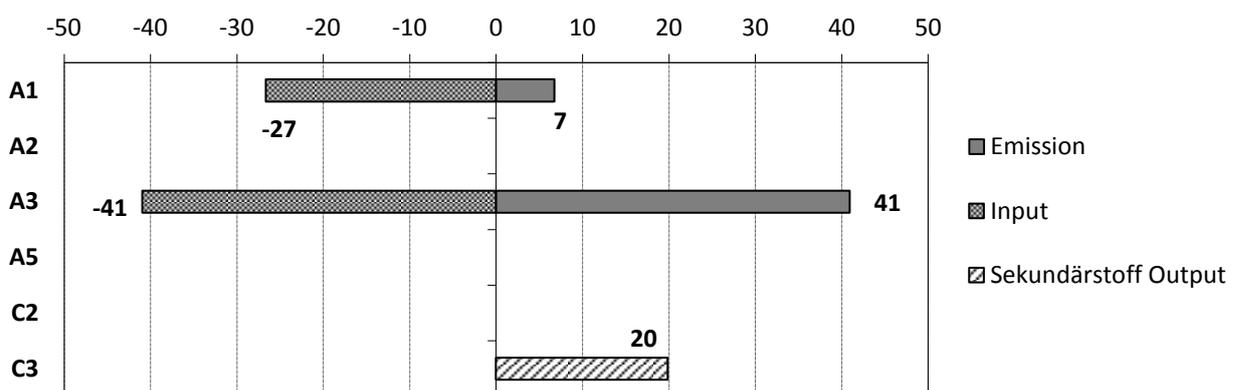


Abbildung 3.2.18.G: Bilanz der Kohlenstoffflüsse in der Holzbiomasse [kg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>]

Insgesamt werden etwa 68 kg CO<sub>2</sub> gespeichert als Kohlenstoff im Rohstoff Holz in dem System eingesetzt. Davon werden 7 kg CO<sub>2</sub> entlang der Vorketten und 41 kg CO<sub>2</sub> im Rahmen der Wärmeerzeugung durch den Einsatz von Holz als Energieträger vor Ort emittiert. Die im Produkt gespeicherte Menge an Kohlenstoff wird während der Entsorgung in Modul C3 entweder als Emission in Höhe von 20 kg CO<sub>2</sub> oder in Form von im Altholz gespeichertem Kohlenstoff wieder aus dem System entlassen.

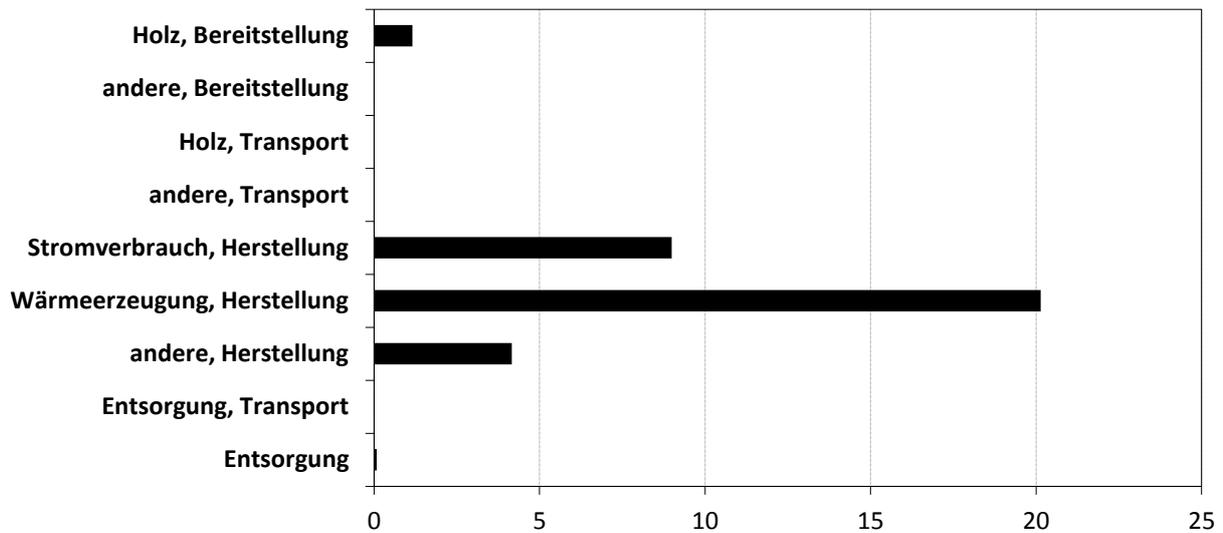


Abbildung 3.2.18.H: Treibhausgasemissionen aus fossilen Quellen nach Modulen A1 bis A3, C2 und C3 (energetisch) [kg CO<sub>2</sub>-Äqv./m<sup>2</sup> Produkt]

Die wesentlichen Quellen des Treibhausgaspotentials sind die Vorketten für die Bereitstellung der Brennstoffe für die Feuerung vor Ort (58 %). Da es sich dabei vor allem um Nebenprodukte der Fertigung handelt, werden die Aufwendungen der Herstellung auf die Brennstoffe alloziert, was in einem entsprechend hohen Wert resultiert. Daneben spielt aber auch der Stromverbrauch (26 %), der insbesondere bei der Trocknung anfällt, eine entscheidende Rolle.

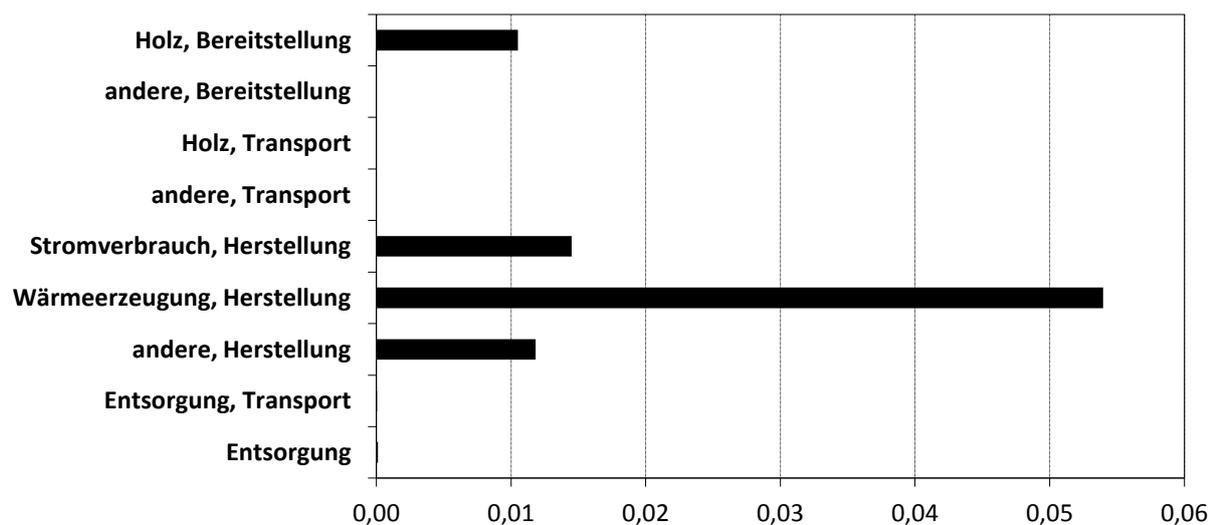


Abbildung 3.2.18.I: Versauerungspotential nach Modulen A1 bis A3, C2 und C3 (energetisch) [kg SO<sub>2</sub>-Äqv./m<sup>2</sup> Produkt]

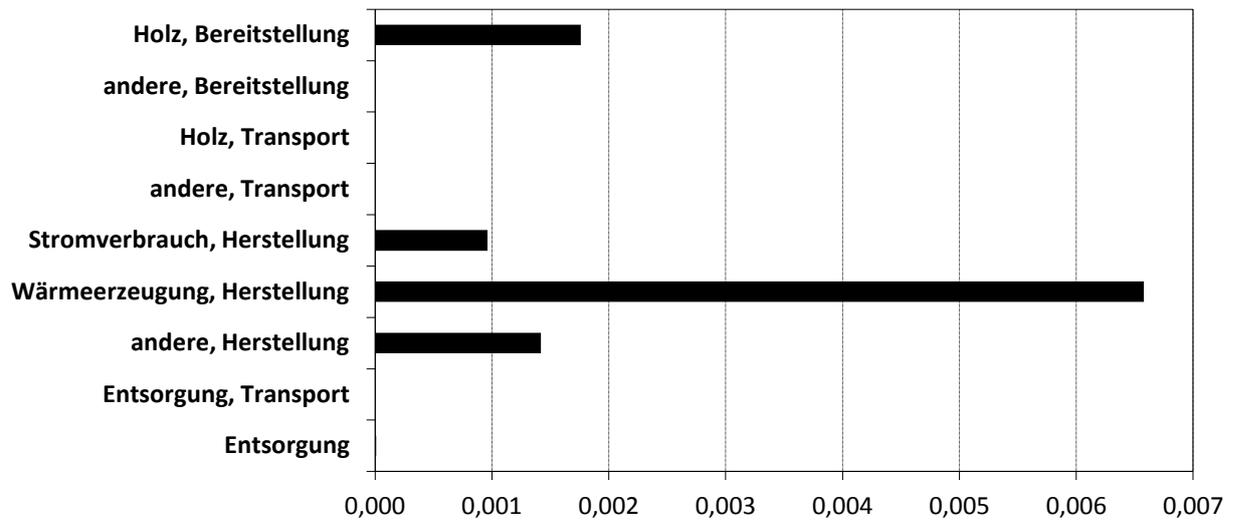


Abbildung 3.2.18.J: Ozonbildungspotential nach Modulen A1 bis A3, C2 und C3 (energetisch) [kg Ethen-Äqv./m<sup>2</sup> Produkt]

Im Wesentlichen trägt die Feuerung vor Ort zum Versauerungspotential bei (59 %), wobei neben den direkten Emissionen der Feuerung auch die Vorketten der Brennstoffe relevant sind.

Ausschlaggebend für das Ozonbildungspotential sind ebenfalls die Feuerung sowie die Vorkette der Brennstoffe (zusammen 61 %).

### 3.2.19 Mehrschichtparkett

Mehrschichtige Holzböden sind in Lagen aufgebaute Holzböden, die eine Deckschicht von mindestens 2 mm Dicke haben. Sie können 2-lagig mit Trägerplatte aus Vollholz oder Holzwerkstoffen und einer dekorativen Deckschicht, oder 3-lagig mit einer zusätzlichen Gegenzuglage ausgestattet sein. Die 2-lagigen Böden müssen auf der Baustelle mit dem Untergrund verklebt werden, die 3-lagigen können schwimmend verlegt werden. Die hier betrachteten Produkte sind mehrschichtige Holzböden am Werkstor der Herstellung ohne Oberflächenbeschichtung. Tabelle 3.2.19.A zeigt die Zusammensetzung der funktionalen Einheit (1 m<sup>2</sup> Produkt).

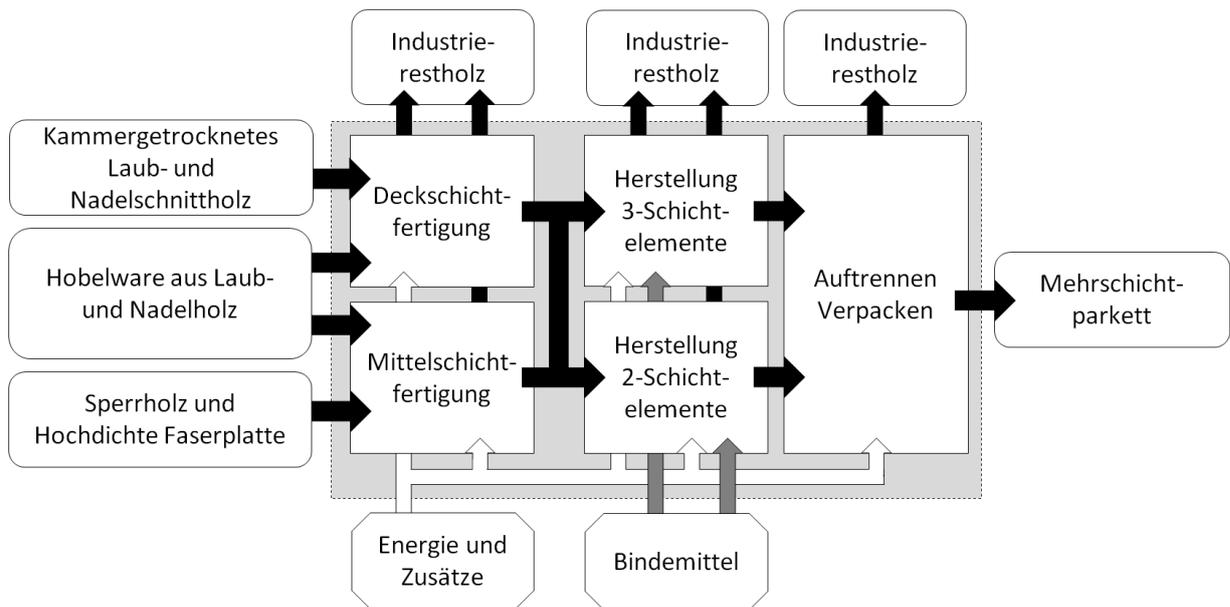
Grundsätzlich können die genutzten Materialien sehr unterschiedlich sein. Die Sachbilanz zeigt die durchschnittliche Zusammensetzung. Es handelt sich also nicht um die Sachbilanz eines realen Produktes, sondern um die mengengewichteten Durchschnittswerte der an der Erhebung beteiligten Unternehmen.

**Tabelle 3.2.19.A: Zusammensetzung der funktionalen Einheit am Werkstor**

Stoff	Am Werkstor	
	[kg/m <sup>2</sup> ]	Anteil [%]
Holz	5,647	63,61
Sperrholz	0,365	4,10
HDF	1,926	21,68
<i>davon Kohlenstoff</i>	<i>3,854</i>	<i>43,41</i>
Wasser	0,589	6,66
UF	0,317	3,57
PVAc	0,018	0,20
EPI	0,007	0,08
PUR	0,009	0,10
<b>Gesamt</b>	<b>8,878</b>	

Zur Herstellung von mehrschichtigen Holzbodenbelägen werden Rundhölzer, frische Schnitthölzer, kammergetrocknete Schnitthölzer oder Hobelware eingesetzt. Daneben kommen teilweise Sperrhölzer und HDF Platten zum Einsatz. Die Schichten werden zunächst getrennt hergestellt.

Die Deckschicht wird analog zu den einschichtigen Holzbodenbelägen hergestellt, jedoch ist sie hier wesentlich dünner. In der Regel ist sie etwa 4 mm dick. Die Mittellage kann aus Holzwerkstoffen oder massiven Einzelteilen bestehen, die grundsätzlich ähnlich wie die Deckschicht hergestellt werden, jedoch meist dicker und von geringerer Qualität (oft Nadelholz) sind. Im Falle des 3-lagigen Aufbaus wird ein Gegenzug aus Furnier genutzt. Die Furnierherstellung erfolgt hier analog zur Furnierherstellung bei der Herstellung von Furniersperrholz. Die einzelnen Lagen werden nach Aufbringung von Klebstoffen zusammengepresst und aufgetrennt. Die Oberflächen werden geschliffen und lackiert. Lack und Lackierung werden im Rahmen dieser Untersuchung jedoch nicht betrachtet.



**Abbildung 3.2.19.A: Schematische Darstellung der Herstellung von Mehrschichtparkett**

Die Böden werden nach der Fertigstellung verpackt. Tabelle 3.2.19.B zeigt die verwendeten Verpackungsmaterialien je funktionaler Einheit (1 m<sup>2</sup> Produkt).

**Tabelle 3.2.19.B: Verwendete Verpackungsmaterialien**

Verpackungsmaterial	[kg/m <sup>2</sup> ]
Metalle	0,0010
Vollholz	0,0002
PE Folie	0,0179
Papier und Pappe	0,0624
andere Kunststoffe	0,0629

Der Rohstoffpreis für 1 m<sup>2</sup> des Rohstoffmix in Form von Rundholz, Schnittholz, Hobelware und Holzwerkstoffen beträgt etwa 3,82 € und das aus dem Produkt resultierende Altholz (Altholz AI) wird auf einen Wert von etwa 0,05 € geschätzt (vgl. Tabelle 2-4). Somit ergibt sich bei der Berechnung des Szenarios der allgemeinen Verwertung nach ILCD eine Gutschrift in Höhe von 1 % der Aufwendungen der Bereitstellung der Holzrohstoffe.

Durchschnittlich wurden die Holzrohstoffe über Distanzen von 796,14 km bezogen.

Tabelle 3.2.19.C bildet die Sachbilanz für Mehrschichtparkett inklusive der bei der Produktion entstehenden Nebenprodukte ab. Die funktionale Einheit ist die Bereitstellung von 1 m<sup>2</sup> des Produktes am Werkstor. Die Sachbilanz erfolgt ohne Darstellung der Vorketten.

**Tabelle 3.2.19.C: Sachbilanz für die Herstellung von Mehrschichtparkett**

Fluss	Menge	Einheit
<b>INPUT</b>		
<b>Holzrohstoffe</b>		
Rundholz mit Rinde	0,0061	m <sup>3</sup>
Schnittholz trocken	0,0074	m <sup>3</sup>
Rohfriese	0,0036	m <sup>3</sup>
Schnittholz feucht	0,0064	m <sup>3</sup>
Decklamellen	0,0002	m <sup>3</sup>
Verpresste Halbfertigfabrikate	0,0008	m <sup>3</sup>
Furnier	0,0016	m <sup>3</sup>
Sperrholz	0,0006	m <sup>3</sup>
HDF	0,0033	m <sup>3</sup>
<b>Strom</b>	5,660	kWh
IRH Eigene Produktion	153,236	MJ
<b>Betriebsmittel</b>		
Maschinenöl	0,0025	kg
Fette	0,0001	kg
Schneidstoffe	0,0009	kg
Schleifbänder	0,0215	kg
Reinigungsmittel	0,0021	kg
Reifen	0,0041	kg
Motoröl	0,0001	kg
Diesel	0,0156	kg
Trinkwasser	4,3426	kg
Grundwasser	27,1018	kg
<b>Klebstoffe</b>		
Harnstoff Formaldehyd Bindemittel	0,317	kg
Dispersionsleim (PVAc)	0,018	kg
EPI	0,007	kg
Polyurethan Bindemittel	0,009	kg
<b>OUTPUT</b>		
<b>Produkte</b>		
Mehrschichtparkett	1	m <sup>2</sup>
Nebenprodukte (Späne und Hackschnitzel)	0,017	m <sup>3</sup>
<b>Emissionen aus</b>		
Verbrennung Brennstoffe	siehe Hintergrunddaten	
Abbinden der Klebstoffe		
Verbrennung Diesel in Kraftprozess		
<b>Sonstiges</b>		
Abfälle	0,044	
Asche	siehe Hintergrunddaten	
Abwasser /teilweise als Emission in Luft	31,444	kg

Tabelle 3.2.19.D: Zusammenfassung aller Wirkungsindikatoren, Ressourceneinsätze und Outputflüsse

Parameter	Einheit	Bereitstellung der Rohstoffe (A1)	Transport (A2)	Herstellungsprozess (A3)	Summe cradle to gate (A1 - A3)	maximale Abweichung +%/-%	Transport zum Entsorger (C2)	Abfallwirtschaft (C3)	energetische Verwertung (D)	stoffliche Verwertung (D)	Verrechnung von A1 nach ILCD
<b>Ergebnisse Umweltauswirkung</b>											
GWP	[kg CO <sub>2</sub> -Äqv.]	-1,24E+01	3,06E+00	5,96E+01	<b>5,02E+01</b>	+404/-77	8,06E-03	1,46E+01	-3,42E+00	-1,28E-01	3,67E-02
ODP	[kg CFC11-Äqv.]	2,39E-07	8,91E-10	4,58E-06	<b>4,82E-06</b>	+174/-50	1,61E-11	1,58E-08	-8,07E-07	-2,49E-08	-1,60E-08
AP	[kg SO <sub>2</sub> -Äqv.]	8,06E-03	2,38E-03	1,74E-01	<b>1,84E-01</b>	+255/-60	3,46E-05	9,31E-05	-3,64E-03	-9,46E-04	-1,82E-04
EP	[kg PO <sub>43</sub> -Äqv.]	2,12E-03	5,44E-04	3,90E-02	<b>4,17E-02</b>	+248/-62	8,02E-06	7,86E-06	-3,20E-05	-1,86E-04	-2,17E-05
POCP	[kg Ethen-Äqv.]	1,75E-03	2,63E-04	3,14E-02	<b>3,34E-02</b>	+244/-56	3,75E-06	6,19E-06	-2,48E-04	-1,19E-04	-3,27E-05
ADPE	[kg Sb-Äqv.]	1,65E-05	1,09E-08	2,00E-04	<b>2,16E-04</b>	+299/-47	1,70E-10	1,63E-09	-6,32E-08	-9,79E-09	-2,32E-07
ADPF	[MJ]	3,30E+01	6,44E+00	4,77E+02	<b>5,17E+02</b>	+185/-64	1,14E-01	6,16E-01	-4,13E+01	-4,72E+00	-2,63E+00
<b>Ergebnisse Ressourceneinsatz</b>											
PERE	[MJ]	4,47E+01	8,21E-03	2,96E+03	<b>3,01E+03</b>		1,51E-04	6,27E-02	-6,09E+00	-1,53E+02	-6,23E-01
PERM	[MJ]	1,53E+02	0,00E+00	6,66E-01	<b>1,54E+02</b>		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	-2,14E+00
PERT	[MJ]	1,98E+02	8,21E-03	2,96E+03	<b>3,16E+03</b>		1,51E-04	6,27E-02	-6,09E+00	-1,53E+02	-2,76E+00
PENRE	[MJ]	4,14E+01	6,47E+00	6,37E+02	<b>6,85E+02</b>		1,14E-01	1,17E+00	-1,31E+02	-6,16E+00	-3,71E-01
PENRM	[MJ]	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	<b>0,00E+00</b>		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
PENRT	[MJ]	4,14E+01	6,47E+00	6,37E+02	<b>6,85E+02</b>		1,14E-01	1,17E+00	-1,31E+02	-6,16E+00	-3,71E-01
SM	[kg]	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	<b>0,00E+00</b>		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	3,86E+00	0,00E+00
RSF	[MJ]	5,96E+00	0,00E+00	6,75E+01	<b>7,35E+01</b>		0,00E+00	0,00E+00	7,43E+01	0,00E+00	-8,33E-02
NRSF	[MJ]	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	<b>0,00E+00</b>		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
FW	[m <sup>3</sup> ]	2,46E+01	1,21E-01	3,95E+02	<b>4,19E+02</b>		2,14E-03	6,65E-01	3,31E+01	-3,73E+00	4,14E-01
<b>Ergebnisse Outputflüsse und Abfallkategorien</b>											
HWD	[kg]	3,17E-03	0,00E+00	2,23E-02	<b>2,55E-02</b>		0,00E+00	0,00E+00	1,67E-02	2,55E-03	2,53E-03
NHWD	[kg]	7,26E-04	0,00E+00	8,54E-03	<b>9,27E-03</b>		0,00E+00	0,00E+00	4,82E-07	-2,68E-08	-9,72E-06
RWD	[kg]	2,95E-03	1,11E-05	5,68E-02	<b>5,97E-02</b>		2,01E-07	1,99E-04	-9,96E-03	-1,48E-04	-3,53E-05
CRU	[kg]	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	<b>0,00E+00</b>		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
MFR	[kg]	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	<b>0,00E+00</b>		0,00E+00	8,57E+00	0,00E+00	-8,57E+00	0,00E+00
MER	[kg]	0,00E+00	0,00E+00	3,45E-02	<b>3,45E-02</b>		0,00E+00	8,57E+00	-8,61E+00	-3,45E-02	0,00E+00
EE1	[MJ]	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	<b>0,00E+00</b>		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
EE2	[MJ]	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	<b>0,00E+00</b>		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00

Alle nicht genannten Module fallen unter den Bereich „MND“ (= „Modul nicht deklariert“). <sup>1</sup> Strom & <sup>2</sup> Wärme

**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 (Institute of Environmental Sciences Faculty of Science Universität Leiden, Niederlande) verwendet. Der Charakterisierungsfaktor für den Verbrauch von abiotischen Ressourcen (fossile Stoffe) ist der jeweilige unterer Heizwert am Extraktionspunkt des fossilen Brennstoffs. Langzeitemissionen (> 100 Jahre) werden in der Wirkungsabschätzung nicht berücksichtigt.

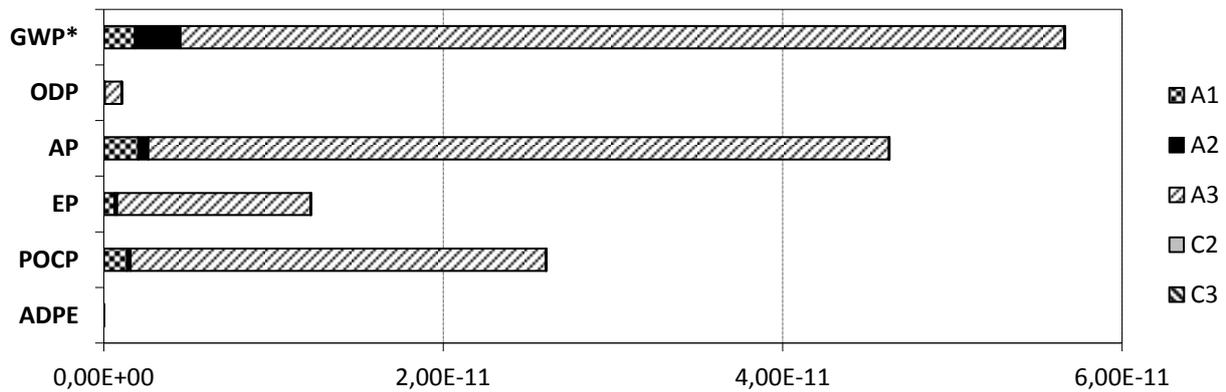


Abbildung 3.2.19.C: Wirkungspotentiale normiert nach deutschen Gesamtemissionen (ohne Modul D) für die Module A1 bis A3, C2 und C3 (energetisch) [%/100 der deutschen Gesamtemissionen]

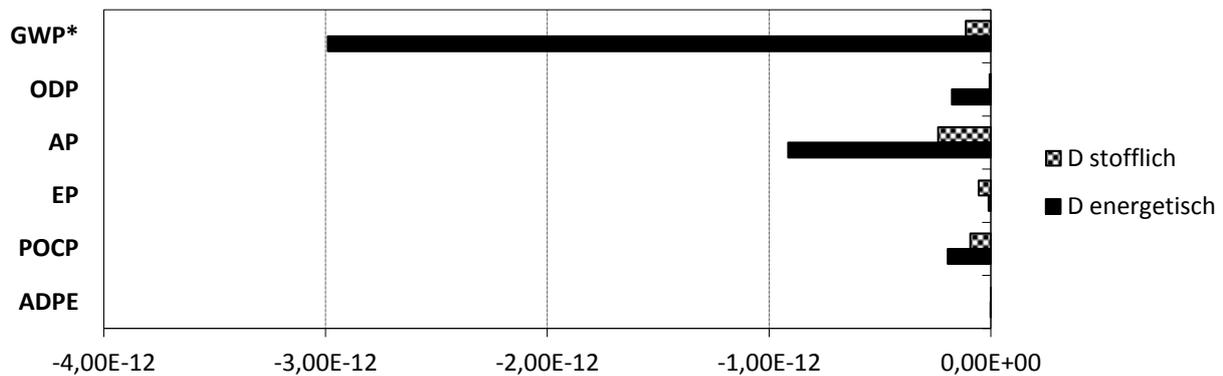


Abbildung 3.2.19.D: Wirkungspotentiale normiert nach deutschen Gesamtemissionen für die Szenarien im Modul D (stofflich und energetisch) [%/100 der deutschen Gesamtemissionen]

Tabelle 3.2.19.E: Haupteinflussfaktoren auf die Ergebnisse der drei relevantesten Wirkungsindikatoren (nach Normierung) [kg/m<sup>2</sup>]

Nr.	Indikator	Σ (A1 bis A3)	Haupteinflussfaktoren
1	<b>AP</b> Versauerungspotential [SO <sub>2</sub> -Äqv.]	0,184	90,5% - Wärmeproduktion ; 3,1% - Strom ; 2,8% - Primärholz stofflich ; 1,1% - Transport Primärholz ; 1,1% - HWS stofflich ; 0,4% - UF Klebstoff ; Rest 1%
2	<b>GWP</b> Treibhausgaspotential – fossil [CO <sub>2</sub> -Äqv.]	64,736	86% - Wärmeproduktion ; 5,5% - Strom ; 4,7% - Transport Primärholz ; 1,1% - Primärholz stofflich ; 1,1% - HWS stofflich ; 0,8% - UF Klebstoff ; Rest 0,8%
3	<b>POCP</b> Ozonbildungspotential [Ethen-Äqv.]	0,033	91,6% - Wärmeproduktion ; 2,9% - Primärholz stofflich ; 2,1% - HWS stofflich ; 1,1% - Strom ; 0,7% - Transport Primärholz ; 0,7% - Abbinden Klebstoff ; Rest 0,9%

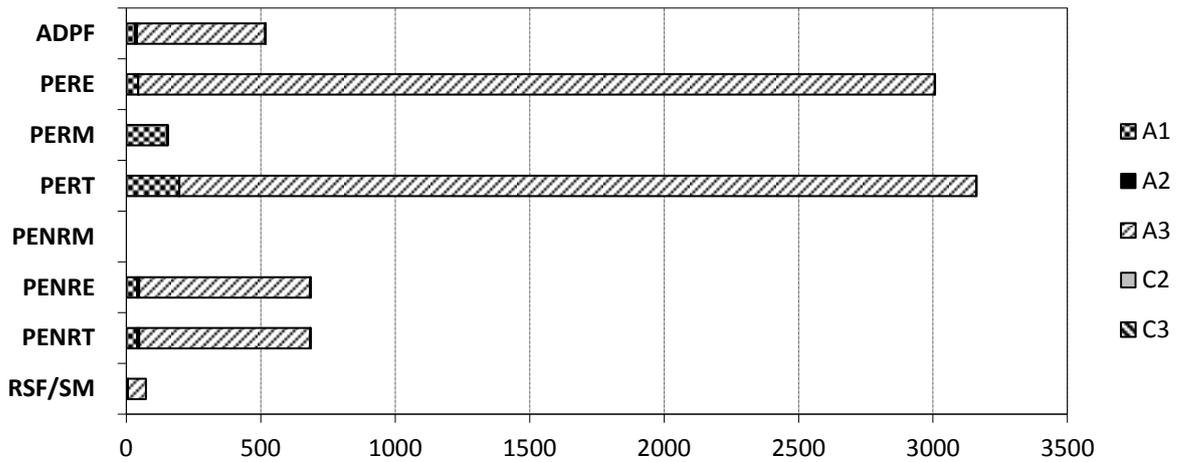


Abbildung 3.2.19.E: Einsatz von Ressourcen in den Modulen A1 bis A3, C2 und C3 (energetisch) [MJ/m²]

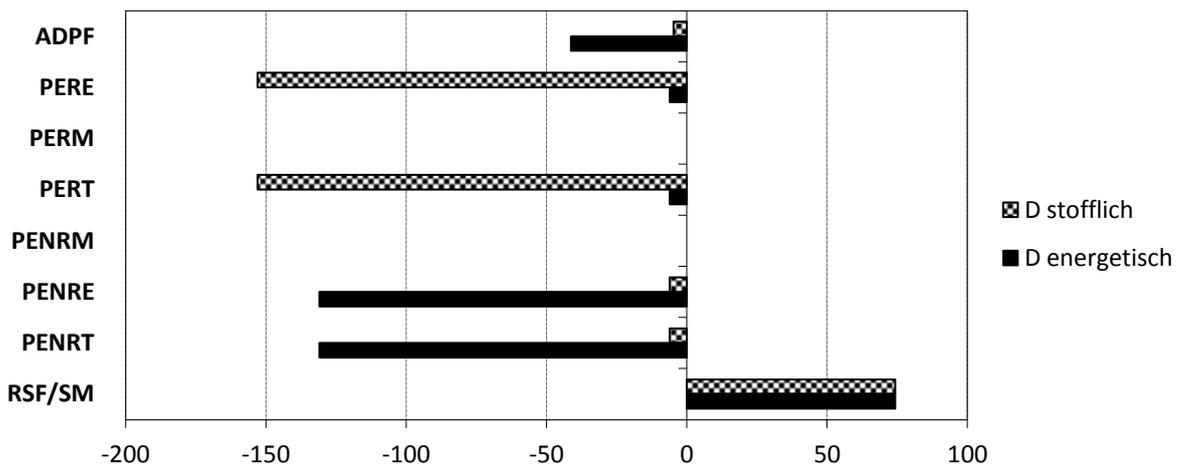


Abbildung 3.2.19.F: Gut- und Lastschriften für Ressourcen in Modul D stofflich und D energetisch [MJ/m²]

Tabelle 3.2.19.F: Hauptsächlichste Verwendung der eingesetzten Primärenergie und der Ressourcen [MJ/m²]

Primärenergietyp	$\Sigma$ (A1 bis A3)	Hauptsächlichste Verwendung
<b>PERE</b> Erneuerbare Primärenergie als Energieträger [MJ]	3007	Erzeugung von Wärme mit Holz
<b>PENRE</b> Nicht-erneuerbare Primärenergie als Energieträger [MJ]	685	81,9% - Wärmeproduktion ; 10,6% - Strom ; 2,2% - HWS stofflich ; 1,9% - UF Klebstoff ; 1,7% - Primärholz stofflich ; 0,8% - Transport Primärholz ; Rest 0,9%
<b>RSF</b> Erneuerbare Sekundärbrennstoffe [MJ]	74	Erzeugung von Wärme mit Altholz

Tabelle 3.2.19.G: Relation des Einsatzes ausgewählter Primärenergietypen zueinander

Primärenergietyp	Relation	Primärenergietyp
<b>PERE</b> Erneuerbare Primärenergie als Energieträger [MJ]	1 : 0,05	<b>PERM</b> Erneuerbare Primärenergie zur stofflichen Nutzung [MJ]
<b>PENRE</b> Nicht-erneuerbare Primärenergie als Energieträger [MJ]	1 : 0,22	<b>PERM</b> Erneuerbare Primärenergie zur stofflichen Nutzung [MJ]
<b>PERE</b> Erneuerbare Primärenergie als Energieträger [MJ]	1 : 0,23	<b>PENRE</b> Nicht-erneuerbare Primärenergie als Energieträger [MJ]

Von der insgesamt eingesetzten Masse an Holz (ohne Nebenprodukte) werden bis zum Werkstor etwa 94 % zur Erzeugung von Wärme verbrannt. Der Anteil an eingesetzter fossiler Energie entspricht etwa dem Dreifachen des Energieinhalts des Produktes. Der Anteil eingesetzter Energie aus erneuerbaren Quellen ist etwa dreimal so groß wie der Anteil an Energie aus fossilen Quellen.

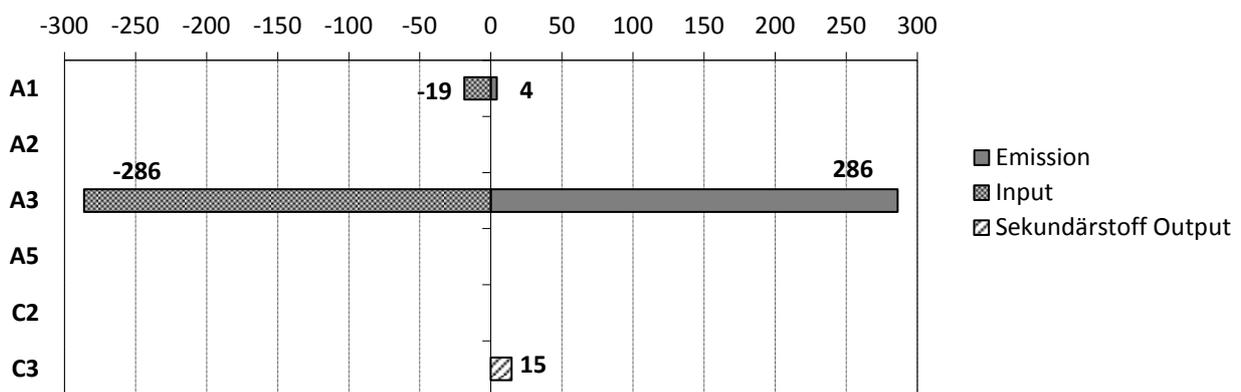


Abbildung 3.2.19.G: Bilanz der Kohlenstoffflüsse in der Holzbiomasse [kg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>]

Insgesamt werden durch den Rohstoff Holz etwa 305 kg CO<sub>2</sub> (gespeichert in Biomasse) in dem System eingesetzt. Davon werden 286 kg CO<sub>2</sub> im Rahmen der Wärmeerzeugung vor Ort emittiert. Bei der Entsorgung in Modul C3 verlässt die im Produkt gespeicherte Menge an Kohlenstoff das System entweder im Altholz oder als Emission in Höhe von 15 kg CO<sub>2</sub>.

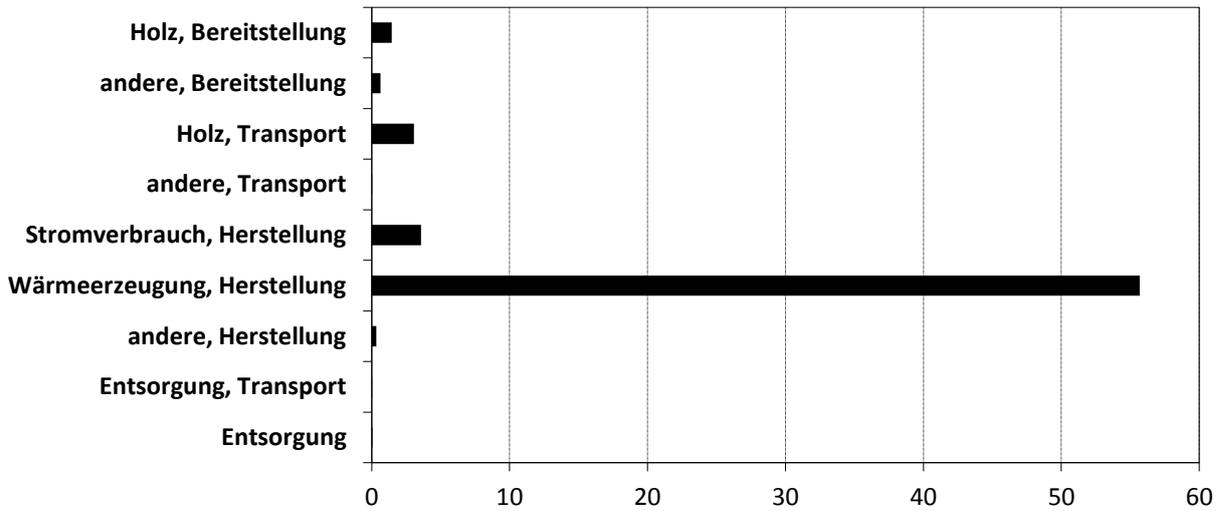


Abbildung 3.2.19.H: Treibhausgasemissionen aus fossilen Quellen nach Modulen A1 bis A3, C2 und C3 (energetisch) [kg CO<sub>2</sub>-Äqv./m<sup>2</sup> Produkt]

Die wesentlichen Quellen des Treibhausgaspotentials sind die Vorketten der Brennstoffe für die Feue- rung (86 %), die auf Grund der großen eingesetzten Menge ins Gewicht fallen. Dabei ist zu beachten, dass diese Vorketten bereits Teile der Produktion des Mehrschichtparketts beinhalten, da die Brenn- stoffe Nebenprodukte dieser Produktion sind.

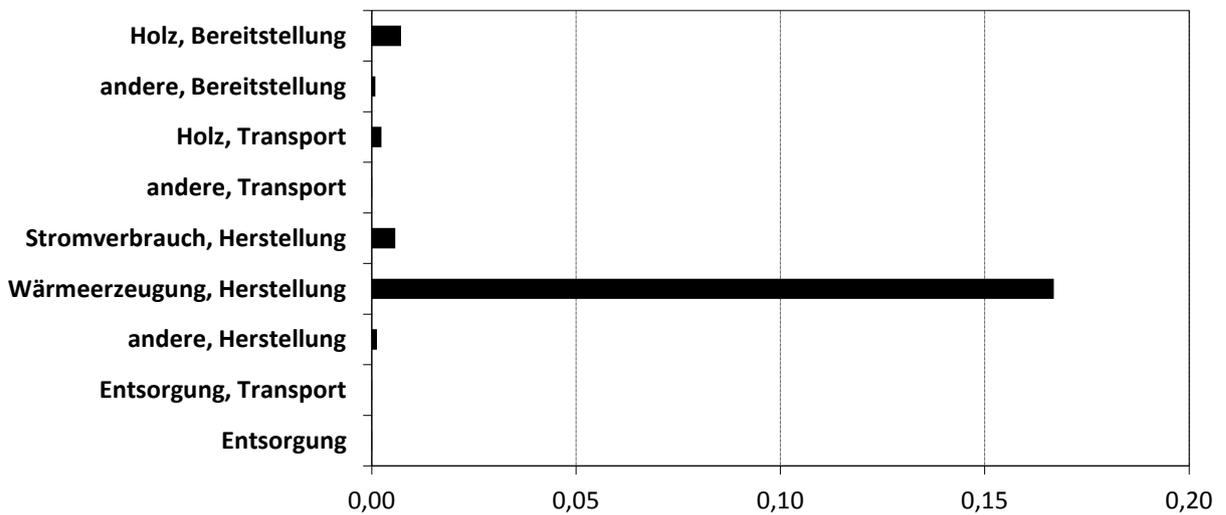


Abbildung 3.2.19.I: Versauerungspotential nach Modulen A1 bis A3, C2 und C3 (energetisch) [kg SO<sub>2</sub>-Äqv./m<sup>2</sup> Produkt]

Analog zum Treibhausgaspotential ist auch für das Versauerungspotential die Verbrennung der Ne- benprodukte die wesentliche Größe (90 %).

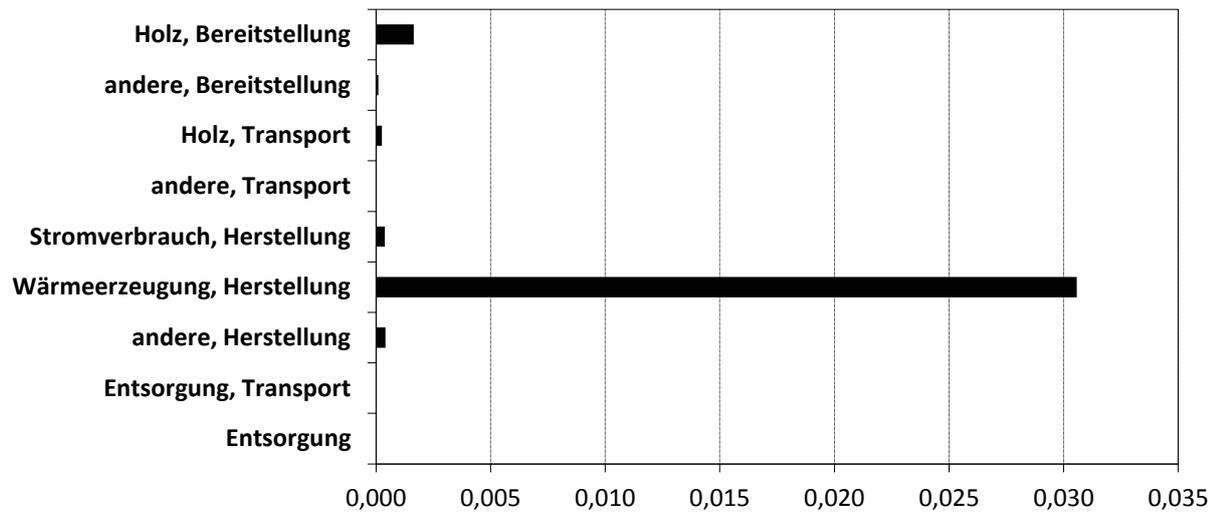


Abbildung 3.2.19.J: Ozonbildungspotential nach Modulen A1 bis A3, C2 und C3 (energetisch) [kg Ethen-Äqv./m² Produkt]

Etwa 92 % der Emissionen, die für das Ozonbildungspotential relevant sind, entstammen der Wärmeerzeugung.

## 4 Ergebnisdiskussion

Im Ergebnis der Durchführung des von der FNR geförderten Projektes konnten in enger Zusammenarbeit mit der deutschen Holzindustrie für 19 von 22 der in Kapitel 1.3.1 identifizierten Holzprodukte umfassende Ökobilanzdatensätze unter Berücksichtigung neuester Anforderung an Umweltkenndaten erstellt werden. Damit wurde das Ziel der Untersuchung, eine zukünftige Bewertung der Umweltwirkung von Holzprodukten auf eine möglichst breite Datenbasis zu stellen, die auch für die Erstellung von Umweltproduktdeklarationen und als Datensätze in öffentlichen Datenbanken Verwendung finden können, erreicht.

Drei der ursprünglich 22 für eine Untersuchung ausgewählten Bauprodukte aus Holz wurden aus folgenden Gründen nicht berücksichtigt:

- Frisches Laubschnittholz fiel bei den an dem Projekt beteiligten Herstellern nicht als zum Absatz bestimmtes Produkt an, sondern wurde nach dem Einschnitt umgehend getrocknet.
- Für Tischlersperrholz konnten die für die Berechnung notwendigen Primärdaten aufgrund in Kapitel 4.3 näher beschriebenen Gründe erst gegen Ende der Projektlaufzeit erhoben werden, weshalb eine Darstellung der Ergebnisse in diesem Projektbericht entfallen musste.
- Die für eine Berechnung notwendigen Daten für die Holzfaserdämmstoffe konnten nicht in Zusammenarbeit mit der Industrie erhoben werden, da sich der entsprechende Verband im Vorfeld gegen eine Teilnahme an dem Projekt entschieden hatte.

Für alle anderen Produkte wurden entsprechende Primärdaten in Zusammenarbeit mit den beteiligten Unternehmen erhoben, in einer Datenbank erfasst und für die weitere Verwendung aufbereitet. Mit den aus der Erhebung ermittelten Daten wurde eine institutsinterne Datenbank auf Basis der Ökobilanzsoftware GaBi 4.4 aufgebaut.

In den folgenden Kapiteln werden Aussagen zu der Repräsentativität der erzielten Ergebnisse getroffen und eine Einordnung der Verwertbarkeit der Ergebnisse im Blick auf die formulierten Ziele vorgenommen.

### 4.1 Repräsentativität und Qualität der ermittelten Daten

Im Rahmen der Primärdatenerhebung wurden von Seiten der Verbände die Mitgliedsunternehmen zunächst mit dem ersten Fragebogen kontaktiert. Da diese ersten Kontaktaufnahmen über die Verbände organisiert wurde, ist nicht bekannt wie viele Unternehmen in Deutschland letztlich angeschrieben wurden. Insgesamt waren zum Zeitpunkt der Umfragen jedoch mehr als 500 Unternehmen über die beteiligten Verbände organisiert. Der Rücklauf des ersten Fragebogens (s. Kapitel 2.4.1) belief sich auf 111 beantwortete Fragebögen, die alle in die Erstellung und Versendung eines zweiten Fragebogens mündeten. Von diesen wurden insgesamt 71 beantwortet, so dass nach der insgesamt geschätzten Anzahl der Unternehmen von einer Rücklaufquote von etwa 22 % für den ersten Fragebogen und etwa 15 % für den zweiten Fragebogen auszugehen ist.

Zur Beurteilung der Datenqualität von Ökobilanzdaten werden nach den Vorgaben des ILCD Handbuchs mehrere Kriterien herangezogen (s. Kapitel 2.2). Dies beinhaltet u.a. die Anforderung Angaben zur Variabilität der Daten zu treffen. Für die in diesem Projekt berechneten Datensätze wurde daher in der jeweiligen produktspezifischen Ergebnisdarstellung in den Tabellen D (Kapitel 3.2) die maximale Abweichung separat nach Wirkungsindikatoren für das produktionsmengengewichtete Ergebnis mit abgebildet. Die präsentierten Daten repräsentieren ausschließlich in Deutschland hergestellte Holzprodukte. Eine weitere Differenzierung der räumlichen Abdeckung geht aus der in den Abbildungen B dargestellten Anzahl der jeweils teilnehmenden Werke nach Bundesländern hervor (s. Kapitel 3.1.1). Da die Datenerhebung über einen Zeitraum von 2009 bis 2011 durchgeführt wurde, und jeweils Daten für das abgeschlossene Kalenderjahr abgefragt wurden, basieren die Ergebnisse auf einem Durchschnitt der Jahre 2008 bis 2010. Die technologische Repräsentativität wurde im Detail im Ergebnisteil behandelt und wird für den Vollholzbereich im folgenden Kapitel noch einmal thematisiert. Die mengenmäßige Repräsentativität der Datensätze wird in den folgenden Kapiteln behandelt, wobei alle Angaben auf das Jahr 2009 bezogen werden.

#### 4.1.1 Vollholz

Nach Angaben des statistischen Bundesamtes wurden 2009 insgesamt 16,5 Mio. m<sup>3</sup> Nadelvollholzprodukte und 0,7 Mio. m<sup>3</sup> Laubvollholzprodukte produziert, die zum Absatz bestimmt waren. Nach diesen Angaben wurde dies von 265 (Nadelholz) bzw. 76 (Laubholz) Unternehmen realisiert. Diese Zahlen beschreiben jeweils eine maximale Anzahl an Werken, da Angaben immer nur zu den spezifischen Meldenummern gemacht werden. Unklar ist, wie viele Werke doppelt oder mehrfach gelistet wurden.

**Tabelle 4-1: Untersuchte Produktionsmengen bei Vollholzprodukten**

Vollholzprodukte	Produktion der Projektpartner [m <sup>3</sup> ]	vollständig betrach- tete Produktion [%]	Projektpartner [Anzahl]
frisches Nadelschnittholz	2.362.422	75,6	31
kammergetrocknetes Nadelschnittholz	3.412.790	52,8	38
kammergetrocknetes Laubschnittholz	80.400	20,4	5
Hobelware (Nadelholz)	1.861.371	71,6	31
Konstruktionsvollholz (Nadelholz)	1.098.145	61,6	27
Brettschichtholz (Nadelholz, gerade Träger)	365.535	89,6	21
Brettschichtholz (Nadelholz, Sonderformen)	53.472	100,0	7
Balkenschichtholz (Nadelholz)	139.307	96,4	11
Brettsperrholz (Nadelholz)	99.434	84,9	5
3- und 5 Schichtplatte(Nadelholz)	41.500	100,0	2
<b>Summe</b>	<b>9.514.376</b>		<b>178</b>

Für eine weitere Unterteilung der Vollholzprodukte in die in dieser Untersuchung verwendeten Produktgruppen stehen keine Daten vom Statistischen Bundesamt zur Verfügung (s. Kapitel 1.3.1), weshalb in Tabelle 4-1 die absoluten Produktionsmengen der beteiligten Verbände und die jeweils im Rahmen des Projektes erreichte vollständige Abdeckung der bilanzierten Produkte dargestellt sind.

Mit Hilfe der 111 beantworteten Fragebögen konnten zunächst 178 Prozesslinien für Vollholzprodukte analysiert werden, da in vielen Fällen mehr als ein Produkt in den Werken produziert wurde. Über die 71 Fragebögen mit sehr detaillierten und vollständigen Antworten konnten insgesamt 126 dieser 178 Prozesslinien weiter untersucht werden. Nach einer Gewichtung mit den produzierten Mengen der Produkte ergab sich daraus eine Abdeckung von 6,2 Mio. m<sup>3</sup> für den Absatz bestimmter Nadelvollholzprodukte und 16.000 m<sup>3</sup> zum Absatz bestimmter Laubvollholzprodukte. Im Verhältnis zu den vom Statistischen Bundesamt gemeldeten Produktionsmengen entspricht dies einer Abdeckung von 38 % im Nadelholz- und 2 % im Laubholzbereich. Mit den weniger detaillierten Informationen aus den ersten Fragebögen (s. Kapitel 2.4.1) konnten bereits 58 % der gesamten Produktionsmenge im Nadelholzbereich und 11 % im Laubholzbereich abgedeckt werden.

Für die Produktion von insgesamt 5,7 Mio. m<sup>3</sup> Vollholzprodukten konnte die verwendete Einschnittstechnologie ermittelt werden. Demnach wurden 98,5 % der Produkte auf Profilerspanerlinien hergestellt, von welchen wiederum 17 % mit Gatter- und 5 % mit Bandsägen kombiniert wurden. 1 % der Vollholzprodukte wurde nur mit Bandsägen, 0,3 % nur mit Gattern und 0,2 % mit Bandsäge-Gatterkombinationen eingeschnitten.

Die Verteilung der Größenverhältnisse der analysierten Werke lag für den gesamten Vollholzbereich so, dass die größten 17 Werke etwa 84 % der Gesamtproduktion ausmachten. Davon produzierten 3 Werke wiederum mehr als 500.000 m<sup>3</sup>/a zum Absatz bestimmte Vollholzprodukte. Tabelle 4-2 zeigt eine Übersicht über die Größenverteilung. Voraussetzung für die Ermittlung dieser Werte war die Beantwortung des zweiten Fragebogens.

**Tabelle 4-2: Größenverteilung der untersuchten Werke (2. Fragebogen wurde beantwortet)**

Betriebsgröße [m <sup>3</sup> /a]	Anzahl der Werke	Gesamtproduktion [m <sup>3</sup> /a]
> 100.000	17	5.352.039
50.000 bis 100.000	10	718.290
10.000 bis 50.000	10	284.910
< 10.000	6	27.080

#### 4.1.2 Holzwerkstoffe

Da für die Herstellung von Holzwerkstoffen detaillierte Produktionszahlen vom Statistischen Bundesamt zur Verfügung stehen, können den meisten in der Erhebung abgedeckten Produkten entsprechende Jahresproduktionsmengen entgegengestellt werden. Insgesamt wurde von 17 Herstellern sowohl der erste als auch der zweite Fragebogen beantwortet. Eine Aufteilung nach Größen der Werke

ist an dieser Stelle nicht sinnvoll, da im Holzwerkstoffbereich weniger großer Unterschiede bestehen als im Vollholzbereich.

**Tabelle 4-3: Abdeckung der Jahresproduktion nach statistischem Bundesamt durch die Unternehmen der Erhebung**

Produkt	Produktion nach Stat. Bundesamt 2009 [m <sup>3</sup> /a]	Produktion Projektpartner [m <sup>3</sup> /a]	Abdeckung [%]
Spanplatte, roh	3.564.737	3.525.000	99
Spanplatte, beschichtet	2.560.399	671.000	26
Röhrenspanplatte	-	250.000	-
Oriented Strand Board	1.062.790	300.000	28
Mitteldichte Faserplatte, roh	1.795.859	290.000	16
Hochdichte Faserplatte, roh	1.592.587	360.000	23
Furniersperrholz	14.961	20.000	> 100

Die Repräsentativität der Erhebung erreicht für die rohe Spanplatte fast 100 %, für Furniersperrholz übertreffen die Produktionsangaben der teilnehmenden Werke für die abgefragten Jahre die Angaben des Statistischen Bundesamtes für das Jahr 2009. Für alle anderen Produkte wurden Abdeckungen zwischen 16 % und 28 % erreicht. Tabelle 4-3 zeigt eine Übersicht.

### 4.1.3 Parkett

Im Bereich der Parkettproduktion werden durch das Statistische Bundesamt nur 2 Meldenummern gelistet, die insgesamt eine Produktion von 9,6 Mio. m<sup>2</sup> angeben, wobei hier zwischen Mosaikparkett und Anderen unterschieden wird.

**Tabelle 4-4: Untersuchte Produktion bei Parkettprodukten und Abdeckung der Angaben des statistischen Bundesamtes**

Parkett	Produktion nach stat. Bundesamt 2009 [m <sup>2</sup> /a]	Abdeckung der Erhebung [m <sup>2</sup> /a]	Abdeckung [%]
Mosaikparkett	338.000	41.000	12
Stabparkett	9.292.000	156.300	88
Massivholzdielen		123.400	
Hochkantlamellen		7.800	
Holzpflaster		600	
2-Schichtparkett		1.168.000	
3-Schichtparkett		6.636.370	

Die Erhebung im Parkettbereich lieferte aussagekräftige Zahlen für 315.000 m<sup>2</sup> Massivholzbodenbeläge, die im Wesentlichen Stabparkett und Massivholzdielen, aber auch Hochkantlamellen und Mosaikparkett repräsentieren. Daneben wurde die Produktion von insgesamt 7,9 Mio. m<sup>2</sup> Mehrschichtparkett analysiert.

Die Bilanzierung der Parkettproduktion konnten etwa 88 % der unter Meldenummer 1622 10 600 gelisteten Produktion und 12 % der unter Meldenummer 1622 10 300 gelisteten Produktionsmengen abdecken. Eine Übersicht zeigt Tabelle 4-4.

## 4.2 Einordnung der Ergebnisse

Die Ergebnisse dieses Berichtes bilden die Umweltwirkung von Holzprodukten über ihren gesamten Lebenszyklus ab, wobei die Darstellung getrennt nach Lebenszyklusabschnitten erfolgt. Der Schwerpunkt der Untersuchung lag auf der Herstellung der Produkte und umfasst die ökobilanzielle Betrachtung von der Wiege, also der Bereitstellung der Rohstoffe, bis zum Werkstor der Produktion eines jeden Produktes.

Die Berechnung der Umweltauswirkung der Produkte wurde streng nach DIN EN ISO 14040 und 14044:2006 durchgeführt und einer unabhängigen kritischen Prüfung nach DIN EN ISO 14040/44 unterzogen. Die Ergebnisse können, wie in Kapitel 1.3.3 umfassend beschrieben, in Umweltproduktdeklarationen für Bauprodukte nach EN 15804:2012 bzw. bei Verweis auf die in diesem Dokument beschriebene Methodik auch im weiteren Kontext der ISO 14025:2006 und darüber hinaus angewandt werden. Grundsätzlich ist jedoch zu beachten, dass es sich bei der Modellierung um einen strikt deskriptiven Ansatz handelt. Die Verwendbarkeit der Ökobilanzergebnisse für Bereiche, welche im ILCD Handbuch mit Situation B beschrieben werden, d.h. als Entscheidungshilfe auf strategischer Ebene die Änderungen bei der Produktionskapazität erwarten lassen können (s. Kapitel 2.2.1.2), ist nur beschränkt möglich.

So werden die Ökobilanzergebnisse einzelner Produkte in dieser Studie auch nicht miteinander verglichen. Grund hierfür ist der fehlende Rahmen für einen Vergleich, der in einem solchen Fall eng an die Definition der Funktion der Produkte bzw. der daraus hergestellten Fertigwaren oder Bauteile geknüpft sein müsste (vgl. ALBRECHT, ET AL. 2008). Dies war nicht Ziel des Projektes.

Alle Ergebnisse beruhen auf den produktionsmengengewichteten Werten der an der Untersuchung teilgenommenen Unternehmen. Dies erklärt auch die sehr spezifischen Angaben der Dichte für die einzelnen Produkte oder die Angaben zu Klebstoffmengen und Zusatzstoffen in den Produkten, die sich nicht aus den im Gesamtmarkt eingesetzten Materialien, sondern aus den eingesetzten Materialien der an der Befragung teilnehmenden Unternehmen zusammensetzen.

Um einen Gesamtüberblick über einige ausgesuchte Indikatoren zu erlangen, sollen im Folgenden deren Ergebnisse für die gesamte Holzbranche beschrieben werden. Zudem soll ein Blick auf die in den Hintergrunddaten genannten Unsicherheiten bezüglich der Trocknungs- und Klebstoffemissionen und

deren Bedeutung für die Ergebnisse geworfen werden. Dabei werden die Ergebnisse der Auswirkungen von Bereitstellung der Rohstoffe bis zum Werkstor, also der Module A1 bis A3 näher betrachtet.

Der Indikator Treibhausgaspotential für Emissionen aus fossilen Quellen nimmt bei Vollholzprodukten Werte zwischen 33 kg CO<sub>2</sub>-Äqv. und 165kg CO<sub>2</sub>-Äqv. je m<sup>3</sup> Produkt an, während im Holzwerkstoffbereich Werte zwischen 129 kg CO<sub>2</sub>-Äqv. und 428 kg CO<sub>2</sub>-Äqv. je m<sup>3</sup> und im Bodenbereich 34 kg CO<sub>2</sub>-Äqv. bis 65 kg CO<sub>2</sub>-Äqv. je m<sup>2</sup> erreicht werden. Für 1 m<sup>3</sup> Holzprodukt sind also in Abhängigkeit der Zusammensetzung und des Produkttyps Werte zwischen 33 kg CO<sub>2</sub>-Äqv. und mindestens 428 kg CO<sub>2</sub>-Äqv. zu verzeichnen, was einem Faktor von fast 13 entspricht.

Hierzu sind sie Vergleichswerte zwischen PENRE und PERM, also der als Brennstoff genutzten Primärenergie aus fossilen Quellen (PENRE) und der im Produkt enthaltenen Energie (PERM) interessant. Diese schwanken (PENRE : PERM) zwischen 1 : 16 und 1 : 3 für den Vollholzbereich, zwischen 1 : 2,2 und 1 : 1,2 für den Holzwerkstoffbereich, und liegen bei etwa 1 : 0,3 für den Holzbodenbereich. Wird berücksichtigt, dass die Rückgewinnung der im Produkt enthaltenen Energie technisch in der Regel mit Verlusten verbunden ist, so liegen die hochveredelten Holzprodukte und alle Holzwerkstoffe bei Energieeinsätzen die mindestens der aus ihnen rückgewinnbaren Energie entsprechen oder über diese hinausgehen. Für Holzböden liegen sie in jedem Fall deutlich darüber.

Des Weiteren kann anhand der als Brennstoff eingesetzten Primärenergie aus erneuerbaren Quellen (PERE) – was im Wesentlichen die Verbrennung von Nebenprodukten aus Holz beschreibt - und der eingesetzten Energie aus erneuerbaren Sekundärbrennstoffen (RSF) – was die verbrannte Menge an Altholz beschreibt – in Zusammenhang mit der im Produkt enthaltenen Energie (PERM) die insgesamt verbrannte Menge an Holz im Vergleich zur Holzmenge im Produkt beschrieben werden. Daran zeigt sich, dass im Bereich der technisch getrockneten Nadelvollholzprodukte dieser Wert bei etwa 1 : 4 bis 1 : 5 liegt. Die verbrannte Menge bis zum Werkstor entspricht also in etwa 20 % bis 25 % der im Produkt enthaltenen Holzmenge. Für spanbasierte Holzwerkstoffe liegt dieser Wert bei etwa 1 : 5 bis 1 : 6, für faserbasierte Holzwerkstoffe bei etwa 1 : 2. Für die Herstellung der Holzböden wird mehr Holz verbrannt als im Produkt enthaltenen ist. Das gleiche gilt für furnierbasierte Holzwerkstoffe.

Mit Blick auf die in der Zusammenstellung der Hintergrunddaten erwähnten Unsicherheiten bezüglich der Emissionen aus der Trocknung von Holz und dem Abbinden der Klebstoffe zeigt sich eine starke Sensitivität der zugrundeliegenden Annahmen in Bezug auf das Potential zur Bildung photochemischer Oxidantien (POPC). Hier sind in Zukunft weiterführende Untersuchungen durchzuführen, insbesondere im Hinblick auf die durch die Normierung betonte Relevanz dieses Indikators der Umweltbewertung.

### 4.3 Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse

Als direkte Wirkung des in Kapitel 1.1.1 beschriebenen Normungsprozesses ergaben sich kurz vor geplantem Projektabschluss erhebliche Änderungen bei den methodischen Grundlagen für die Berechnung von Produktökobilanzen für Bauprodukte. Damit die Ergebnisse zum Zeitpunkt der Veröffentlichung bereits den Anforderungen des Abschlussentwurfs der allgemeinen Produktgruppenregeln für Bauprodukten auf europäischer Ebene (EN 15804:2012) entsprechen konnten, und somit auch als Be-

wertungsgrundlage für Bauprodukte aus Holz im Nachhaltigen Bauen verwendet werden können, wurden die hierfür definierten Anforderungen im Rahmen des Projektes vollständig umgesetzt. Ein Umstand der die Veröffentlichung der Ergebnisse um 6 Monate verzögerte. Eine detaillierte Darstellung dieser erweiterten Anforderungen findet sich in Kapitel 2.2.

Die Erstellung der Datensätze erfolgte nach international anerkannten Regeln, d.h. alle Berechnungsschritte im Verlauf dieser Studie wurden strikt nach DIN EN ISO 14040/44:2006 und unter Berücksichtigung der methodischen Vorgaben von EN 15804:2012 durchgeführt. Neben der Berücksichtigung der normativen Vorgaben im Kontext des Nachhaltigen Bauens, wurden die Unterschiede zu den von der europäischen Kommission formulierten Anforderungen an Ökobilanzdatensätze für das europäische *International Reference Life Cycle Data System* (ILCD Handbuch) herausgearbeitet.

In Abhängigkeit von der Beteiligung der Unternehmen an diesem Projekt, entsprechen die Ergebnisse einzelner Produktparten darüber hinaus dem deutschen Durchschnitt und können daher als Durchschnittsdatsätze für alle in Deutschland produzierten Halbwaren dieser Kategorie genutzt werden (s. Kapitel 4.1). Mit der Veröffentlichung des vorliegenden Berichtes werden insbesondere die Vorgaben nach einer transparenten und umfassenden Dokumentation der verwendeten Methodik bei der Berechnung von Ökobilanzdaten erfüllt.

Mit Hilfe des Projektes konnte eine institutsinterne Ökobilanzdatenbank erfolgreich aufgebaut werden, die u.a. bei der Durchführung weiterer Projekte des Thünen-Instituts für Holztechnologie und Holzbiologie im Bereich der Ökobilanzierung von Fertigwaren aus Holz Verwendung finden wird<sup>5</sup>. Darüber hinaus werden die ermittelten Daten dazu beitragen eine verbesserte Abschätzung der verzögerten Freisetzung des in Holzprodukten gespeicherten Kohlenstoffs durch die stoffliche Nutzung zu leisten und helfen ein entsprechendes Monitoring der Umweltauswirkungen des Holzsektors in Deutschland unterstützen.

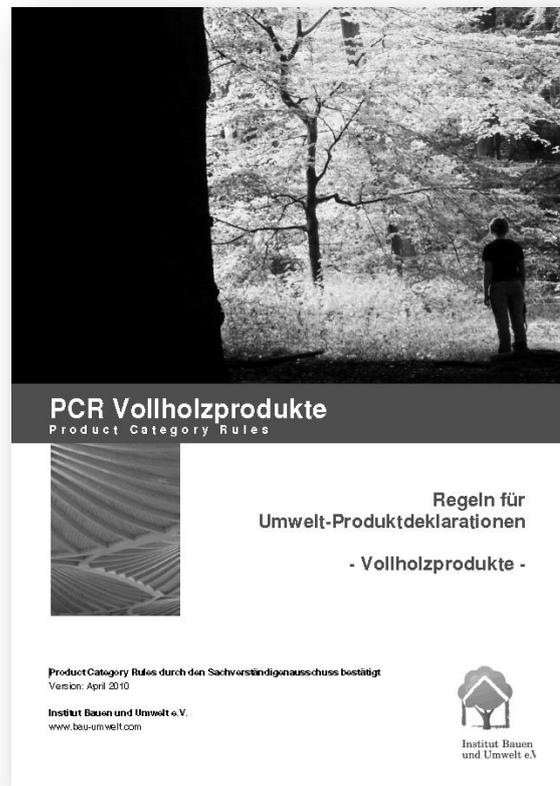
### **4.3.1 Erstellung von Umweltproduktdeklarationen für die beteiligten Verbände**

Ein weiteres formuliertes Ziel des Projektes war die Aufbereitung der Datensätze für eine mögliche Verwendung der Ergebnisse in Umweltproduktdeklarationen nach ISO 14025:2006 (s. Kapitel 1.2.3).

Um eine erfolgreiche Umsetzung dieses Ziels zu gewährleisten, wurde auf Betreiben des Johann Heinrich von Thünen-Instituts zu Projektbeginn ein Produktgruppenforum ins Leben gerufen, um die Rahmenbedingungen und spezifischen Anforderungen an Umweltproduktdeklarationen für Vollholzprodukte in entsprechenden Produktkategorie-Regeln (*PCR*) festzulegen. Das als begleitendes Arbeitspaket definierte Vorgehen geschah in enger Kooperation mit dem deutschen Programmhalter Institut für Bauen und Umwelt e.V. (*IBU*) (s. Kapitel 1.3.3 und 2.3) und mündete im Frühjahr 2010 mit der Veröffentlichung der PCR für Vollholzprodukte (s. Abbildung 4-1).

---

<sup>5</sup> Siehe Projektwebseite <[www.holzundklima.de/projekte](http://www.holzundklima.de/projekte)>



**Abbildung 4-1: Produktkategorie-Regeln (PCR) für Vollholzprodukte (IBU 2010a)**

Wie beschrieben, können die vorliegenden Ökobilanzdaten in ihrer Form als werks-, unternehmens-, oder verbandsspezifischer Datensatz zur Erstellung von Umweltproduktdeklarationen nach ISO 14025 bzw. EN 15804 genutzt werden. Dementsprechend wurden die Ergebnisse projektbegleitend auf Nachfrage der beteiligten Verbände auch separat für die in den jeweiligen Verbänden organisierten Unternehmen gerechnet. Da mit der Durchführung der Befragung im Vollholzbereich begonnen wurde, konnten die Daten für Brett-schichtholz in Zusammenarbeit mit der Studiengemeinschaft Holzleimbau e.V. bereits während der Projektlaufzeit aufbereitet und als verbandsspezifische Umweltproduktdeklaration veröffentlicht werden (IBU 2010b).

Da sich allerdings, wie beschrieben, gegen Ende der Projektlaufzeit die normativen Vorgaben für die Erstellung von Produktdeklarationen erheblich geändert haben, konnte die Umsetzung der für die jeweiligen Produkt ermittelten Daten in EPD für alle weiteren im Projekt beteiligten Verbände nicht mehr während der Laufzeit des Vorhabens durchgeführt werden.

Um die Umsetzung des formulierten Projektziels dennoch zu gewährleisten, soll der vorliegende Bericht als Hintergrundinformation für das methodische Vorgehen bei der Erstellung von Umweltproduktdeklarationen nach den neuen normativen Vorgaben verwendet werden können. Die in diesem Bericht vorgestellten Ökobilanzergebnisse wurden daher auf Konformität mit den entsprechenden An-

forderungen geprüft. Somit können im Nachgang dieses Projektes auf Basis des vorliegenden Berichtes weitere werks-, unternehmens-, oder verbandsspezifische Datensätze erstellt werden, die in ihrer Methodik dem hier beschriebenen Rahmen entsprechen.

Bei der Berechnung der vorliegenden Ökobilanzdaten wurden die Informationen aller am Projekt beteiligten Unternehmen für die jeweiligen Produktgruppen berücksichtigt – unabhängig beispielsweise von ihrer Verbandszugehörigkeit. In diesem Zusammenhang ist daher zu beachten, dass die in spezifischen EPD präsentierten Ergebnisse, die auf Basis der in diesem Vorhaben durchgeführten Erhebungen erstellt werden, aufgrund einer veränderten Zusammensetzung der beteiligten Unternehmen, von den hier vorgestellten Werten abweichen können.

### 4.3.2 Verwendung der Ökobilanzergebnisse in öffentlichen Datenbanken

Neben dem erfolgreichen Aufbau einer institutsinternen Ökobilanzdatenbank wurde das Ziel formuliert, Datensätze bereitzustellen, welche in öffentlichen Datenbanken verwendet werden können. Wie in Kapitel 1.2.2 beschrieben, sind in diesem Zusammenhang insbesondere die Baustoffdatenbank *Ökobau.dat* des BMVBS und die Datenbanken zu nennen, die Informationen für die Bewertung der Nachhaltigkeit von Gebäuden bereitstellen.

Wie in den Kapiteln 1.1.1 und 1.3.4 beschrieben, sind für die Verwendung von Baustoffen bei der Durchführung von Baumaßnahmen, der Unterhaltung und dem Betrieb von baulichen Anlagen im Bereich des Bundes entsprechende Richtlinien (*RBBau*) verbindlich anzuwenden (BMVBS 2009). Dazu gehören auch der überarbeitete Leitfaden Nachhaltiges Bauen und die mit dem Bewertungssystem BNB eingeführten Anforderungen an die Bereitstellung der entsprechenden Datengrundlage für die ökologische Bewertung von Baustoffen. Neben der laut Leitfaden hierfür möglichen Verwendung von Umweltproduktdeklarationen, werden „darüber hinaus [...] branchenspezifische Durchschnittsdaten für Bauprodukte im Internetportal Nachhaltiges Bauen als Datenbank zur Verfügung gestellt“ (BMVBS 2011c:21). Die darin enthaltenen Datensätze entsprachen zum Zeitpunkt der Veröffentlichung dieses Berichtes jedoch in weiten Teilen noch nicht den formulierten Anforderungen und neuen normativen Vorgaben (s. Kapitel 1.3.4 und 2.2). Zudem sind laut BNB-Bewertungssystem auch herstellerspezifische Daten zugelassen, welche gemäß den Anforderungen an DIN EN ISO 14040/44:2006 und ISO 14025 verifiziert werden sollen. Auch sollen laut letzter verfügbarer Fassung des BNB Systems (Version 2011\_01) generische und nicht verifizierte Datensätze mit einem pauschalen Sicherheitsaufschlag von 10 % beaufschlagt werden (BMVBS 2011b:7)

Es kann davon ausgegangen werden, dass die mit diesem Bericht vorliegenden Datensätze nicht nur den internationalen normativen Vorgaben an Ökobilanzdaten entsprechen, sondern auch bereits die neuesten Anforderungen an solche Datensätze für die Kommunikation in Umweltproduktdeklarationen und eine Verwendung für die Nachhaltigkeitsbewertung im Gebäudebereich erfüllen (vgl. CEN 2012). Somit konnte das Ziel des Projektes vollständig erreicht werden.

Um die vorliegenden Ergebnisse für eine zukünftige Verwendung weiter aufzubereiten, müssen zunächst Schnittstellen von den jeweiligen Datenbankbetreibern geschaffen bzw. aktualisiert werden

und den neuen normativen Vorgaben angepasst werden. Dies betrifft beispielsweise auch die Darstellung der Ergebnisse für die Wirkungsindikatoren nach den in Kapitel 2.2.1 beschriebenen Anforderungen an die Systemgrenzen nach EN 15804:2012. Inwieweit die im Rahmen des Projektes erstellten Datensätze, die den neuen qualitativen Anforderungen an eine Veröffentlichung genügen, beispielsweise der Datenbank *Ökobau.dat* – unabhängig von der für die Berechnung genutzten Ökobilanzsoftware – zur Verfügung gestellt werden können, ist bislang noch offen (Stand 01.2012). Um eine zukünftige Verwendung der vorliegenden Projektergebnisse zu ermöglichen, wird eine Zusammenarbeit zwischen dem Johann Heinrich von Thünen-Institut und dem für die Betreuung des Internetportals zuständigen Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (*BBR*) angestrebt und erste Gespräche hierzu fanden bereits statt. Darüber hinaus wurde auch von Seiten der Deutschen Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen e.V. (*DGNB*) das Interesse bekundet, die im Rahmen des Projektes generierten Ergebnisse in das angebotene Internetportal *DGNB Navigator* aufzunehmen.

Die veröffentlichten Datensätze sollten den Anforderungen der möglichen Anwender der präsentierten Daten entsprechend strukturiert und aufbereitet sein. So müssen sie beispielsweise klare Angaben zu der deklarierten funktionalen Einheit enthalten, auf welche sich die Umweltkennwerte beziehen. Datensätze sind für die praktische Anwendung wertlos, wenn die Ergebnisse für die Wirkungsindikatoren zwar auf einen  $\text{m}^3$  des jeweiligen Baustoffs bezogen sind, aber die dazugehörige Angabe über seine Dichte nicht gegeben ist. Auch sollte für eine sinnvolle Einordnung der Datensätze die dazugehörige Sachbilanz dokumentiert sein. In jedem Fall benötigt werden Angaben, welche Komponenten, Lebenszyklusabschnitte oder Vorketten bei der Berechnung des Datensatzes mit berücksichtigt wurden. Zudem ist zu hinterfragen, welche Informationen die Ökobilanzdatensätze für eine sinnvolle Verwendung (z.B. für Planer und Architekten) tatsächlich enthalten müssen, welche Informationen nicht zuletzt aufgrund von Anforderungen an Transparenz und Nachvollziehbarkeit von öffentlich präsentierten Ökobilanzergebnissen mit den jeweiligen Datensätzen zu veröffentlichen sind, und welche Informationen schließlich überflüssig sein könnten. So besteht für Baustoff-Ökobilanzdaten, die im Rahmen einer Nachhaltigkeitsbewertung von Gebäuden verwendet werden sollen, nicht unbedingt die Notwendigkeit, auch die bei der Berechnung mit entsprechender Ökobilanzsoftware verwendeten Elementarflüsse als Datensatz zur Verfügung zu stellen, wie es aber z.B. das ILCD System der Europäischen Kommission vorgibt (s. Kapitel 1.3.4, 2.2 und 2.5). Die sehr komplexen und umfangreichen Anforderungen des ILCD Handbuchs fokussieren eher auf die Kompatibilität von verschiedenen Ökobilanzdatenbanken untereinander und zielen auf die Austauschbarkeit der darin enthaltenen Datensätze (u.a. der Elementarflüsse und Industrieprozesse) für eine anwenderfreundliche Modellierung ab. Dies beinhaltet beispielsweise die Vorgabe sogenannte CAS Registrierungsnummern (*Chemical Abstracts Service*) für modellierte Elementarflüsse zu hinterlegen. Da es aber nicht das Ziel dieses Projektes war, Datensätze zu generieren, deren Elementarflüsse veröffentlicht werden sollen, wurden diese Vorgaben weitgehend ignoriert. Nichtsdestotrotz stellte ein Großteil der formulierten Vorgaben, beispielsweise die Verwendung zu allgemeiner Namen bei der Benennung von Flüssen oder Prozessen (z.B. „Holz“) zu vermeiden, eine Grundvoraussetzung für die Bilanzierung im Rahmen dieses Projektes dar. Auch wurde darauf verzichtet die für vTI interne Zwecke aufgebaute Ökobilanzdatenbank bzw. die in

diesem Bericht vorgestellten Ergebnisse von einem im ILCD Gutachterverzeichnis registrierten Gutachter auf Konformität mit den Vorgaben des ILCD Handbuchs prüfen zu lassen.

Inwieweit die hier präsentierten Ergebnisse beispielsweise als rückverknüpfte Prozesse zur Verfügung gestellt werden, welche die gesamte Umweltwirkung von der Wiege bis zum Werkstor abbilden, oder die Datensätze, dem modularen Aufbau der vTI internen Datenbank folgend, als Teilergebnisse für die jeweiligen Lebenszyklusabschnitte bzw. Informationsmodule nach EN 15804:2012 angeboten werden, wird im Nachgang des Projektes zu klären sein.

### **4.3.3 Präsentation der Ergebnisse**

Im Zuge der Projektbearbeitung wurden die Inhalte und der Bearbeitungsstand der Untersuchungen auf zahlreichen Veranstaltungen den beteiligten Verbänden und Unternehmen präsentiert.

#### **4.3.3.1 Projekthomepage**

Neben der offiziellen Projektwebseite des vTI Instituts für Holztechnologie und Holzbiologie (<http://www.vti.bund.de/de/startseite/institute/htb.html>) wurde das Projekt auf der Projektwebseite der Arbeitsgruppe „Ökobilanzierung und Kohlenstoffmanagement“ <[www.holzundklima.de](http://www.holzundklima.de)> vorgestellt und den beteiligten Verbänden projektbegleitendes Informationsmaterial zur Verfügung gestellt. Dies umfasste u.a. eine nur den beteiligten Unternehmen zugängliche Online-Hilfe für das Ausfüllen von Fragebögen und weitere Hintergrundinformationen zum Projekt.

Über das Projektende hinaus wird der vorliegende Projektbericht ebenso wie die mit diesem Vorhaben erstellten Ökobilanzergebnisse auf der Webseite unter dem hierfür eingerichteten Pfad Home > Aktivitäten > Datenbank Ökobilanzen zur Verfügung stehen. Zudem werden auch ausgewählte Vorträge und Veröffentlichungen zum Projekt auf der Webseite präsentiert und sind auch in Zukunft abrufbar.



Abbildung 4-2: Screenshot der Projektwebseite

#### 4.3.3.2 Vorträge und Veröffentlichungen

Projektbegleitend wurden einzelne Erkenntnisse aus der Projektarbeit im Rahmen von nationalen und internationalen Konferenzen präsentiert. Eine Auswahl:

- RÜTER S (2009) Wood products in sustainable building assessment schemes and climate policies [Präsentation]. Geneva: 67. UNECE Timber Committee Week - Green building workshop, 12. - 16. Oktober 2009
- DIEDERICH S, RÜTER S (2010) Deviation of LCI Results from Primary Industry Data and Application of Derived LCA in the Framework of Sustainable Construction Certification Schemes Using the Example of Glue Laminated Timber. In: Caldeira F, Ferreira JV, Petric M, Rowel RM (eds) 4th International Conference on Environmentally Compatible Forest Products, Porto, Portugal, 8.- 10. September 2010
- DIEDERICH S (2010) Averaged Data of Life Cycle Assessment for Wooden Building Products [Präsentation]. Erfurt: naro.tech, 8th International Symposium, 9.-10. September 2010

- RÜTER S (2010) Consideration of wood products in climate policies and its linkage to sustainable building assessment schemes. In: Proceedings of the 53rd International Convention of Society of Wood Science and Technology and United Nations Economic Commission for Europe - Timber Committee, Geneva, 11. -14. October 2010, pp 88-101
- DIEDERICH S (2011) Deklaration von Umweltwirkungen auf Produktebene nach EN 15804 [Präsentation]. Alfeld: Forschungskreis Holzwerkstoffe, 13. Oktober 2011
- DIEDERICH S (2011) Ökobilanz-Basisdaten für Holzprodukte - Nutzung der Ergebnisse im Kontext der vollholzverarbeitenden Unternehmen [Präsentation]. Fulda: BSHD Arbeitskreis Nadelholz, 16. November 2011
- RÜTER S (2012) Ökobilanzen und ihre Verwendung bei der Bewertung der Nachhaltigkeit von Gebäuden [Präsentation]. Würzburg: 7. Internat. Kongress der Säge- und Holzindustrie, 19. Januar 2012



## 5 Literatur

- AGEB (2010) Auswertungstabellen zur Energiebilanz Deutschland - Daten für die Jahre 1990 bis 2009. Berlin: AG Energiebilanzen e.V 13 p
- ALBRECHT S, RÜTER S, WELLING J, KNAUF M, MANTAU U, BRAUNE A, BAITZ M, WEIMAR H, SÖRCEL C, KREIßIG J, DEIMLING S, HELLWIG S (2008) Ökologische Potenziale durch Holznutzung gezielt fördern. Hamburg: Johann Heinrich von Thünen-Institut (vTI), 298 p, Arbeitsbericht aus dem Institut für Holztechnologie und Holzbiologie No. 2008/5
- ALTHOLZV (2002) Verordnung über Anforderungen an die Verwertung und Beseitigung von Altholz (Altholzverordnung), vom 15.08.2002
- BAUER C (2007) Teil IX: Holzenergie. Villingen: Swiss Centre for Life Cycle Inventories, 140 p, Project "ecoinvent data v2.0" Report No. 6
- BERGMAN RD, BOWE SA (2008a) Environmental impact of producing hardwood lumber using life-cycle inventory. Wood and Fiber Science 40(3):448 – 458
- BERGMAN RD, BOWE SA (2008b) Life-Cycle Inventory of Hardwood Lumber Manufacturing in the Northeast and North Central United States. Module C. Madison, USA: University of Wisconsin, 55 p, CORRIM: Phase II Final Report
- BERGMAN RD, BOWE SA (2009) Life-Cycle Inventory of Softwood Lumber Manufacturing in the Northeastern and North Central United States. Module D. Madison, USA: University of Wisconsin, 56 p, CORRIM: Phase II Final Report
- BERGMAN RD, BOWE SA (2010a) Life-Cycle Inventory of Hardwood Lumber Manufacturing in the Southeastern United States. Module L. Madison, USA: University of Wisconsin, 57 p, CORRIM: Phase II Final Report
- BERGMAN RD, BOWE SA (2010b) Life-Cycle Inventory of Softwood Lumber Manufacturing in the Northeastern and North Central United States. Wood and Fiber Science 40(3):67-78
- BERGMAN RD, BOWE SA (2011) Life-Cycle Inventory of Manufacturing Prefinished Engineered Wood Flooring in the Eastern United States. Module N. Madison, USA: University of Wisconsin, 57 p, CORRIM: Phase II Final Report
- BIMSCHV (2002) Siebzehnte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über die Verbrennung und die Mitverbrennung von Abfällen - 17. BImSchV), vom 23.11.1990, geändert durch Art. 2 V v. 27.1.2009
- BMVBS (2009) Richtlinien für die Durchführung von Bauaufgaben des Bundes (RBBau). Berlin: Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Stadtentwicklung (BMVBS), 468 p, Grundwerk bis 19. Austauschlieferung eingearbeitet
- BMVBS (2011a) Informationsportal Nachhaltiges Bauen - Baustoff- und Gebäudedaten: Nutzungsdauern von Bauteilen [online]. Zu finden in <http://www.nachhaltigesbauen.de/baustoff-und-gebaeuedaten/nutzungsdauern-von-bauteilen.html>

- BMVBS (2011b) Kriteriensteckbrief Treibhausgaspotential (GWP). Systemvariante BNB 2011\_1. Berlin: Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Stadtentwicklung (BMVBS), 18 p, Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB), Neubau Büro- und Verwaltungsgebäude
- BMVBS (2011c) Leitfaden Nachhaltiges Bauen. Berlin: Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Stadtentwicklung (BMVBS), 97 p
- BMVBW (2001) Leitfaden Nachhaltiges Bauen. Berlin: Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR), im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen (BMVBW), 121 p
- BÖHMER S, GALLAUNER T, GÖSSL M, KRUTZLER T, MOSER G (2010) Biomassefeuerungsanlagen. Leistungsbereich von 400 kW bis 10 MW. Wien: Umweltbundesamt, 76 p, Reports Band 0282
- BORCHERDING M (2007) Rundholztransportlogistik in Deutschland - eine transaktionskostenorientierte empirische Analyse. 266 p, Hamburg, Department Wirtschaftswissenschaften, Fakultät Wirtschafts- und Sozialwissenschaften der Universität Hamburg, Dissertation
- BUNDESREGIERUNG (2005) Wegweiser Nachhaltigkeit 2005 - Bilanz und Perspektiven. Berlin: Presse- und Informationsamt der Bundesregierung. *Kabinettsbeschluss vom 10. August 2005.*
- CEN (2012) Sustainability of construction works - Environmental product declarations - Core rules for the product category of construction products. *EN 15804:2012.*
- UNIVERSITEIT LEIDEN - INSTITUTE OF ENVIRONMENTAL SCIENCES (CML). CML-IA Database, Version 3.9: normalization factors. Zu finden in <http://cml.leiden.edu/software/data-cmlia.html> [01.10.2010]
- COLE RJ, LINDSEY G, TODD JA (2000) Assessing Life Cycles: Shifting from Green to Sustainable Design. In: International Conference Sustainable Building 2000, Maastricht, The Netherlands, 22-25 October 2000, p 4
- DASE N (2006) Die Stoffstromanalyse eines OSB-Werkes. 196 p, Hamburg, Ordinariat für Holztechnologie der Universität Hamburg, Diplomarbeit
- DGNB (2011) DGNB Navigator [online]. Zu finden in <http://www.dgnb-navigator.de/>
- DIEFENBACH N, CISCHINSKY H, RODENFELS M (2010) Datenbasis Gebäudebestand - Datenerhebung zur energetischen Qualität und zu den Modernisierungstrends im deutschen Wohnungsgebäudebestand. Darmstadt: Institut für Wohnen und Umwelt GmbH, 180 p, Forschungsbericht
- DIN (2006a) Umweltmanagement - Ökobilanz - Anforderungen und Anleitungen. *DIN EN ISO 14044:2006-10.*
- DIN (2006b) Umweltmanagement - Ökobilanz - Grundsätze und Rahmenbedingungen. *DIN EN ISO 14040:2006-10.*
- DIN (2011) Umweltkennzeichnungen und -deklarationen - Typ III Umweltdeklarationen - Grundsätze und Verfahren (ISO 14025:2006); Deutsche und Englische Fassung *DIN EN ISO 14025:2011-10.*
- EC (2010a) Compliance rules and entry-level requirements. Version 1. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 18 p, International Reference Life Cycle Data System (ILCD) Data Network EUR 24380 EN

- EC (2010b) European Platform on Life Cycle Assessment - LCA Info Hub. European Commission - DG Joint Research Centre - Institute for Environment and Sustainability [online]. Zu finden in <<http://lca.jrc.ec.europa.eu/lcainfohub/index.vm>>
- EC (2010c) General guide for Life Cycle Assessment - Detailed guidance. First edition March 2010. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 417 p, International Reference Life Cycle Data System (ILCD) Handbook EUR 24708 EN
- EC (2010d) General guide for Life Cycle Assessment - Provisions and action steps. First edition March 2010. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 163 p, International Reference Life Cycle Data System (ILCD) Handbook EUR 24378 EN
- EC (2010e) Nomenclature and other conventions. First edition 2010. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 58 p, International Reference Life Cycle Data System (ILCD) Handbook EUR 24384 EN
- EC (2010f) Specific guide for Life Cycle Inventory data sets. First edition March 2010. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 142 p, International Reference Life Cycle Data System (ILCD) Handbook EUR 24709 EN
- EUROPEAN COMMISSION - DG JOINT RESEARCH CENTRE - INSTITUTE FOR ENVIRONMENT AND SUSTAINABILITY (EC JRC). ELCD core database version II. Zu finden in <<http://lca.jrc.ec.europa.eu/lcainfohub/datasetArea.vm>> [01.10.2011]
- EC (2011b) Leitlinien zur Auslegung der R1-Energieeffizienzformel für Verbrennungsanlagen, deren Zeck in der Behandlung fester Siedlungsabfälle besteht, gemäß Anhang II der Richtlinie 2008/98/EG über Abfälle [online].36 zu finden in <[www.proenvi.de/recht/R1-Guidance\\_Juni\\_2011\\_Deutsch.pdf](http://www.proenvi.de/recht/R1-Guidance_Juni_2011_Deutsch.pdf)>
- EU (2008) Abfallrahmenrichtlinie. *Richtlinie 2008/98/EG vom 19.11.2008.*
- FEIFEL S, FAUL A, SCHEBEK L (2011) Vergleichende ökologische Analyse leichter Holzwerkstoffplatten mit unterschiedlichem Aufbau. *Holztechnologie* 52(3):22-27
- FRÜHWALD A, HASCH J, SCHARAI-RAD M (1999) Ökologische Bewertung von Spanplatten. Hamburg: Ordinariat für Holztechnologie der Universität Hamburg, 134 p, Abschlussbericht
- FRÜHWALD A, SCHARAI-RAD M, HASCH J (2000a) Ökologische Bewertung von Holzwerkstoffen. Ergänzt in den Bereichen Spanplattenrecycling und OSB-Bilanzen. Hamburg: Ordinariat für Holztechnologie der Universität Hamburg, 176 p, Abschlussbericht
- FRÜHWALD A, SPECKELS L, SCHARAI-RAD M, WELLING J (2000b) Ökologische Bilanzierung von Bauschnittholz und veredelten Vollholzprodukten. Hamburg: Ordinariat für Holztechnologie der Universität Hamburg, 16 p, Schlussbericht
- GABRIEL J (2005) PUR Klebstoffe für strukturell Holzelemente. In: Marutzky R (ed) Klebstoffe für Holzprodukte, WKI Bericht Nr. 39, Braunschweig, 10.-11. November 2005, p 210
- GONZÁLEZ-GARCÍA S, FEIJOO G, HEATHCOTE C, KANDELBAUER A, MOREIRA MT (2011) Environmental assessment of green hardboard production coupled with a laccase activated system. *Journal of Cleaner Production* 19(5):445-453

- GONZÁLEZ-GARCÍA S, FEIJOO G, WIDSTEN P, KANDELBAUER A, ZIKULNIG-RUSCH E, MOREIRA M (2009) Environmental performance assessment of hardboard manufacture. *The International Journal of Life Cycle Assessment* 14(5):456-466
- GUINÉE J (2001) Handbook on life cycle assessment — operational guide to the ISO standards. *Int J LCA* 6(5):255-255
- HAGAUER D (2009) Empfohlene Umrechnungsfaktoren für Energieholzsortimente bei Holz- bzw. Energiebilanzberechnungen. Wien: Österreichische Energieagentur, 24 p, Klimaschutzinitiative klima:aktiv
- HASCH J (2002) Ökologische Betrachtungen von Holzspan- und Holzfaserplatten. 301 p, Hamburg, Ordinariat für Holztechnologie der Universität Hamburg, Dissertation
- HUBBARD SB, BOWE SA (2010) A gate-to-gate life-cycle inventory of solid hardwood flooring in the Eastern US. *Wood and Fiber Science* 40(3):79-89
- HUBBARD SS, BOWE SA (2008) Life-Cycle Inventory of Solid Strip Hardwood Flooring in the Eastern United States. Module E. Madison, USA: University of Wisconsin, 59 p, CORRIM: Phase II Final Report
- IBU (2010a) PCR Vollholzprodukte : Regeln für Umwelt-Produktdeklarationen - Vollholzprodukte. Königswinter: Institut Bauen und Umwelt e.V. (IBU), 24 p
- IBU (2010b) Umwelt-Produktdeklaration: Brettschichtholz (BS-Holz). Königswinter: Institut Bauen und Umwelt e.V. (IBU), 22 p, Deklarationsnummer EPD –SHL –2010111–D
- INDUSTRIEVERBAND KLEBSTOFFE E.V. (2007) EPI-Klebstoffe, THK Merkblatt 5.
- IPCC (2006) IPCC Guidelines for Greenhouse Gas Inventories - Vol 4 Agriculture, Forestry and other Land Use. Hayama, Kanagawa, Japan: IEA/OECD, IPCC National Greenhouse Gas Inventories Programme, Technical Support Unit, 683 p
- KAIRI M, ZIMMER B, WEGENER G (1999) Life cycle assessment of KERTO laminated veneer lumber. Helsinki: University of Technology, Band 80 von Tiedonanto
- KALTSCHMITT M, HARTMANN H (2009) Energie aus Biomasse. Grundlagen, Techniken und Verfahren. 2. Auflage. Berlin, Heidelberg: Springer, 1032 p
- KOLLMANN F (1951) Technologie des Holzes und der Holzwerkstoffe. Band 1: Anatomie und Pathologie, Chemie, Physik, Elastizität und Festigkeit. 2. Auflage. Berlin, Springer / München, Bergmann, 1050 p
- KROTH W, KOLLERT W, FILLIPPI M (1991) Analyse und Quantifizierung der Holzverwendung im Bauwesen. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, p 168 p, Bauforschung T 2350
- LEGEP (2012) Webportal der LEGEP Software des Anbieters LEGEP Software GmbH. <<http://www.legep.de>>
- LI Y, LOHREY JD (2001) Moisture-curable polyurethane hot melt adhesives containing reactive amine catalysts. Patent 6635722, PatentGenius. Zu finden in <<http://www.patentgenius.com/patent/6635722.html>> [08 October 2011]

- MANTAU U (2005) Holzverwendung im Baubereich. Hamburg: Studie im Auftrag des Holzabsatzfonds (HAF), 53 p, Abschlussbericht
- MANTAU U, BILITEWSKI B (2010) Stoffstrom-Modell-Holz: Rohstoffströme und CO<sub>2</sub>-Speicherung in der Holzverwendung. Celle: Forschungsbericht für das Kuratorium für Forschung und Technik des Verbandes der Deutschen Papierfabriken e.V. (VDP), 77 p
- MANTAU U, KAISER C (2002a) Holzeinsatz im Modernisierungsmarkt - Nichtwohnbau. Hamburg: Studie im Auftrag des Holzabsatzfonds (HAF), 85 p p
- MANTAU U, KAISER C (2002b) Holzeinsatz im Modernisierungsmarkt - Wohnungsbau. Hamburg: Studie im Auftrag des Holzabsatzfonds (HAF), 105 p p
- MANTAU U, SÖRCEL C (2006) Holzrohstoffbilanz Deutschland - Bestandesaufnahme 2004. Hamburg: Zentrum Holzwirtschaft Arbeitsbereich: Ökonomie der Holz- und Forstwirtschaft, Universität Hamburg, 64 p p, Methodikbericht
- MANTAU U, SÖRCEL C, WEIMAR H (2004) Marktveränderungen bei Bauholz. Hamburg: Zentrum Holzwirtschaft Arbeitsbereich: Ökonomie der Holz- und Forstwirtschaft, Universität Hamburg, 34 p, Abschlussbericht
- MILOTA MR (2000) Emissions from wood drying: The science and the issues. For Prod J 50(5):10-20
- NEBEL B, WEGENER G, ZIMMER B (2002) Ökobilanzierung Holzfußböden. München: Holzforschung München - HFM, Technische Universität München, 24 p
- NEBEL B, ZIMMER B, WEGENER G (2006) Life Cycle Assessment of Wood Floor Coverings. Int J LCA 11(3):172-182
- NRW (2011) Holzmarkt und Holzpreise. Landesbetrieb Wald und Holz Nordrhein-Westfalen, Pressestelle - Öffentlichkeitsarbeit [online]. Zu finden in <[http://www.wald-und-holz.nrw.de/45Wald und Holz/20 Holzmarkt/10 Holzpreise/index.php](http://www.wald-und-holz.nrw.de/45Wald%20und%20Holz/20%20Holzmarkt/10%20Holzpreise/index.php)>
- PE-INTERNATIONAL-GMBH (2012) Webportal der Ökobilanz-Software GaBi (Ganzheitliche Bilanzierung) des Anbieters PE International GmbH [online]. Zu finden in <<http://www.gabi-software.com>>
- POLLEY H, KROIHER F (2006) Struktur und regionale Verteilung des Holzvorrates und des potenziellen Rohholzaufkommens in Deutschland im Rahmen der Clusterstudie Forst- und Holzwirtschaft. Eberswalde: Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft (BFH), 130 p, Arbeitsbericht des Institut für Waldökologie und Waldinventuren 2006/3
- PUETTMANN ME, BERGMAN R, HUBBARD S, JOHNSON L, LIPPKE B, ONEIL E, WAGNER FG (2010a) Cradle-to-gate Life-cycle Inventory of US wood products production: CORRIM Phase I and Phase II Products. Wood and Fiber Science 42(CORRIM Special Issue):15-28
- PUETTMANN ME, WAGNER FG, JOHNSON L (2010b) Life-cycle Inventory of softwood limber from the inland Northwest US. Wood and Fiber Science 42(CORRIM Special Issue):52-66
- PUETTMANN ME, WILSON JB (2005) Life-cycle analysis of wood products: cradle to gate LCI of residential wood building materials. Wood and Fiber Science 37(CORRIM Special Issue):18-29
- PURBOND (2011) Ecoprofile for the Life Cycle of a 1K-PUR Wood Adhesive. *Persönliche Kommunikation per E-Mail*. [21 Februar 2011]

- REED BUSINESS INFORMATION LIMITED (RBI). ICIS pricing chemical price reports. Zu finden in <http://www.icispricing.com> [01.10.2011]
- REITBERGER F, FRIEB H, HUBER S, STREIT A, SCHMOECKEL G, EBERTSCH G, STOTTNER A, ZELL B (2001) Forschungsergebnisse zu Emissionen und Emissionsminderungsmöglichkeiten : Energetische Nutzung nachwachsender Rohstoffe. München: Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen, 77 p
- RESSEL J (1986) Energieanalyse der Holzindustrie der Bundesrepublik Deutschland. Hamburg: BFH, Institut für Holzphysik und mechanische Technologie des Holzes, 161 p, Forschungsbericht Band 86, Ausgabe 184
- RICHTER K (2002) Ökologische Beurteilung von Holzwerkstoffen. TEC21 - Fachzeitschrift für Architektur, Ingenieurwesen und Umwelt 13:7-11
- RIVELA B, HOSPIDO A, MOREIRA T, FEIJOO G (2006) Life Cycle Inventory of Particleboard: A Case Study in the Wood Sector. Int J LCA 11(2):106 – 113
- RIVELA B, MOREIRA M, FEIJOO G (2007) Life cycle inventory of medium density fibreboard. The International Journal of Life Cycle Assessment 12(3):143-150
- RÜTER S (2011) Projection of Net-Emissions from Harvested Wood Products in European Countries - For the period 2013-2020. Hamburg: Johann Heinrich von Thünen-Institut (vTI), 63 p, Arbeitsbericht aus dem Institut für Holztechnologie und Holzbiologie Report No: 2011/01
- RÜTER S, KREIBIG J (2007) Grunddatensätze für Holz und Holzwerkstoffe im Netzwerk Lebenszyklusdaten. Karlsruhe, Hamburg Leinfeld-Echterdingen: Forschungszentrum Karlsruhe, Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse – Zentralabteilung Technikbedingte Stoffströme, 46 p, Projektbericht im Netzwerk Lebenszyklusdaten
- SCHWEINLE FJ (1996) Analyse und Bewertung der forstlichen Produktion als Grundlage für weiterführende forst- und holzwirtschaftliche Produktlinien-Analysen. Hamburg: Institut für Ökonomie der BFH, xxx p, Arbeitsbericht
- SPECKELS L-G (2001) Ökologischer Vergleich verschiedener Verwertungs- und Entsorgungswege für Altholz. Hamburg: Fachbereich Biologie der Universität Hamburg, 404 p p, Dissertation
- STATISTISCHES BUNDESAMT (StBA). Produzierendes Gewerbe: Produktion. Fachserie 4, Reihe 3.1. Diverse Jahrgänge. Wiesbaden
- STBA (2010) Bautätigkeitsstatistik. *Persönliche Kommunikation per E-Mail*. [12.05.2010]
- STATISTISCHES BUNDESAMT (StBA). Land- und Forstwirtschaft, Fischerei: Landwirtschaftliche Bodennutzung und pflanzliche Erzeugung. Fachserie 3, Reihe 3. Diverse Jahrgänge. Wiesbaden
- STELF (2011) Der aktuelle Rohholzmarkt in Bayern. Bayerische Forstverwaltung, Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten [online]. Zu finden in <http://www.forst.bayern.de/holz/004816/index.php>
- THRÄN D, WITT J, HENNIG C, DANIEL-GROMKE J, RENSBERG N, SCHWENKER A, SCHEFTELOWITZ M, WIRKNER R, VETTER A, GRAF T, REINHOLD DG (2009) Monitoring zur Wirkung des Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG) auf die Entwicklung der Stromerzeugung aus Biomasse - Stromerzeugung aus Biomasse. Leipzig: Deutsches BiomasseForschungsZentrum gemeinnützige GmbH (DBFZ) und Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft (TLL), 65 p

- TSUPARI E, MONNI S, PIPATTI R (2005) Non-CO<sub>2</sub> greenhouse gas emissions from boilers and industrial processes. Otamedia Oy, Espoo: VTT, VTT RESEARCH NOTES 2321
- UMWELTBUNDESAMT (2011) Entwicklung der spezifischen Kohlendioxid-Emissionen des deutschen Strommix 1990-2009 und erste Schätzung 2010 im Vergleich zum Stromverbrauch [Grafik]. Energiepolitik und Energiedaten, Umweltbundesamt, FG I 2.5. (Stand: März 2011) zu finden in <[www.umweltbundesamt.de/energie/archiv/co2-strommix.pdf](http://www.umweltbundesamt.de/energie/archiv/co2-strommix.pdf)>
- UN (1987) Report of the World Commission on Environment and Development - "Our common future". Note by the Secretary-General, *Brundtland-Report A/42/427*.
- UNEP (2007) Buildings and Climate Change - Status, Challenges and Opportunities. Paris: UNEP Division of Technology, Industry and Economics, Sustainable Consumption and Production Branch, 87 p p
- WAGNER FG, PUETTMANN ME, JOHNSON LR (2009) Life-Cycle Inventory of Inland Northwest Softwood Lumber Manufacturing. Module B. Moscow, USA: University of Idaho, 72 p, CORRIM: Phase II Final Report
- WERNER F, ALTHAUS H-J, KÜNNIGER T, RICHTER K, JUNGBLUTH N (2007) Life Cycle Inventories of Wood as Fuel and Construction Material. Dübendorf, Schweiz: Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Final report ecoinvent data v2.0 No. 9
- WERNER F, RICHTER K (2007) Wooden Building Products in Comparative LCA - A literature review [online]. The International Journal of Life Cycle Assessment:10 zu finden in <<http://dx.doi.org/10.1065/lca2007.04.317>>
- WILSON JB (2008a) Medium Density Fiberboard (MDF): A Life-Cycle Inventory of Manufacturing Panels from Resource through Product. Module G. Corvallis, USA: Oregon State University, 58 p, CORRIM: Phase II Final Report
- WILSON JB (2008b) Particleboard: A Life-Cycle Inventory of Manufacturing Panels from Resource through Product. Module F. Corvallis, USA: Oregon State University, 57 p, CORRIM: Phase II Final Report
- WILSON JB (2010a) Life-Cycle Inventory of Formaldehyde-Based Resins Used in Wood Composites in Terms of Resources, Emissions, Energy and Carbon. *Wood and Fiber Science* 42(1):125-143
- WILSON JB (2010b) Life-Cycle Inventory of Particleboard in Terms of Resources, Emissions, Energy and Carbon. *Wood and Fiber Science* 42(1):90-106
- ZEPPENFELD G, GRÜNWALD D (2005) Klebstoffe in der Holz- und Möbelindustrie. Leinfelden-Echterdingen: DRW-Verlag Weinbrenner GmbH & Co. KG, 368 p, Auflage: 2., überarb. u. erw. A. (Juni 2005)
- ZIMMER B (2010) Ökobilanz Waldhackschnitzel. *LWF aktuell* 17(74):22-25

## Abkürzungsverzeichnis

BBR	Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung
BFH	Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft
BMVBS	Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung
BMVBW	Bundesministerium für Verkehr, Bau und Wohnwesen
BNB	Bewertungssystem für Nachhaltiges Bauen für Bundesgebäude
CAS	Chemical Abstracts Service
CEN	Comité Européen de Normalisation (Internationale Organisation für Normung)
CML	Institute of Environmental Science, Universiteit Leiden
DGNB	Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen e.V.
DIN	Deutsches Institut für Normung e.V.
ELCD	European Life Cycle Database (Europäische Ökobilanz-Datenbank)
EPD	Environmental Product Declaration (Umweltproduktdeklaration)
FAO	Food and Agricultural Organization of the United Nations
FNR	Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe e.V.
IEA	International Energy Agency (Internationale Energieagentur)
ILCD	International Life Cycle Data System (Internationales System für Lebenszyklusdaten)
ISO	International Organization for Standardization
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung
LCA	Life cycle assessment (Ökobilanzierung)
LCI	Life cycle inventory (Sachbilanz)
RBBau	Richtlinien für die Durchführung von Bauaufgaben des Bundes
SNCR	Selektive nicht-katalytische Reduktion
StBA	Statistisches Bundesamt
UBA	Umweltbundesamt
UNFCCC	United Nations Framework Convention of Climate Change (Rahmenübereinkommen der Vereinten Nationen über Klimaänderungen)
VOC	Volatile organic compounds (Flüchtige organische Substanzen)
vTI	Johann Heinrich von Thünen-Institut, Bundesforschungsinstitut für Ländliche Räume, Wald und Fischerei (ehem. BFH)
WECOBIS	Webbasiertes ökologisches Baustoffinformationssystem

# Abbildungsverzeichnis

<i>Abbildung 1-1: Informationsfluss vom Bauprodukt zum Gebäude mit Hilfe von EPD .....</i>	<i>10</i>
<i>Abbildung 1-2: Anteil des Holzbaus an Baufertigstellungen von Wohngebäuden in Deutschland.....</i>	<i>13</i>
<i>Abbildung 1-3: Schema zur Einteilung von Holzhalbwaren nach der Klassifikation der FAO.....</i>	<i>17</i>
<i>Abbildung 2-1: Phasen einer Ökobilanz nach ISO EN DIN 14040:2006 .....</i>	<i>32</i>
<i>Abbildung 2-2: Stadien des Lebenswegs und Informationsmodule eines Produktsystems nach EN15804:2012.....</i>	<i>35</i>
<i>Abbildung 2-3: Zeitplan für die Bearbeitung der Arbeitspakete des Projektes.....</i>	<i>42</i>
<i>Abbildung 2-4: Einteilung der Produktionskette in Vorder- und Hintergrundsystem am Beispiel Spanplatte.....</i>	<i>45</i>
<i>Abbildung 2-5: Festgelegte Systemgrenzen für die Bewertung der Umweltauswirkungen von Holzprodukten..</i>	<i>51</i>
<i>Abbildung 2-6: Systemgrenzen der Module A1 bis A3 .....</i>	<i>56</i>
<i>Abbildung 2-7: Modellierung der Module A1 bis A3 in Ökobilanzsoftware am Beispiel der Herstellung von Konstruktionsvollholz.....</i>	<i>57</i>
<i>Abbildung 2-8: Modellierung der Herstellung von Spanplatte in Ökobilanzsoftware.....</i>	<i>57</i>
<i>Abbildung 2-9: Systemgrenzen der Szenarien C2 bis C4 (stofflich und energetisch) .....</i>	<i>60</i>
<i>Abbildung 2-10: Allokationen nach Exergie (E), Masse (M) und Preis (P) in Modul A 3 .....</i>	<i>63</i>
<i>Abbildung 2-11: Modellierung der MUF Harze in Ökobilanzsoftware.....</i>	<i>81</i>
<i>Abbildung 2-12: Modellierung der PRF Harze in Ökobilanzsoftware .....</i>	<i>84</i>
<i>Abbildung 2-13: Modellierung der PUR Klebstoffe in Ökobilanzsoftware.....</i>	<i>85</i>
<i>Abbildung 2-14: Modellierung der EPI Klebstoffe in Ökobilanzsoftware .....</i>	<i>85</i>
<i>Abbildung 2-15: Kohlenmonoxid-Emissionen der untersuchten Anlagen und Grenzwerte verschiedener Verordnungen .....</i>	<i>92</i>
<i>Abbildung 2-16: Stickoxid-Emissionen der untersuchten Anlagen und Grenzwerte verschiedener Verordnungen .....</i>	<i>94</i>
<i>Abbildung 2-17: Schwefeldioxid-Emissionen der untersuchten Anlagen und Grenzwerte verschiedener Verordnungen .....</i>	<i>95</i>
<i>Abbildung 4-1: Produktkategorie-Regeln (PCR) für Vollholzprodukte.....</i>	<i>286</i>
<i>Abbildung 4-2: Screenshot der Projektwebseite.....</i>	<i>290</i>

## Tabellenverzeichnis

<i>Tabelle 1-1: Produktion und Verbrauch von Holzhalbwaren im Baubereich in Deutschland für 2007</i> .....	12
<i>Tabelle 1-2: Holzverbrauch in Holzhäusern in m<sup>3</sup> bezogen auf 1000m<sup>3</sup> umbauten Raum</i> .....	12
<i>Tabelle 1-3: Anteil holzbasierter Wandtypen im Wohngebäudebestand nach Regionen, Baualtersklassen und Gebäudetyp unter Angabe des Standardfehlers*</i> .....	13
<i>Tabelle 1-4: Marktanteile stabförmiger Vollholzprodukte am Verbrauch im Jahr 2003</i> .....	14
<i>Tabelle 1-5: Datenlage und Ableitung des Handlungsbedarfs für Vollholzprodukte</i> .....	26
<i>Tabelle 1-6: Datenlage und Ableitung des Handlungsbedarfs für Holzwerkstoffe</i> .....	27
<i>Tabelle 2-1: Der Entscheidungskontext: Entscheidungshilfe und Auswirkung der Umweltbewertung auf Hintergrundprozesse oder andere Systeme</i> .....	36
<i>Tabelle 2-2: Anforderung an auszuwertende Wirkungsindikatoren und Umsetzung in dieser Studie</i> .....	41
<i>Tabelle 2-3: Anteil der Altholzverbrennung in 2008</i> .....	59
<i>Tabelle 2-4: Preise der Produkte und Koppelprodukte als Basis der Allokationen nach Preis</i> .....	69
<i>Tabelle 2-5: Liste der nicht beachteten oder geschätzten Stoff- und Energieflüsse</i> .....	70
<i>Tabelle 2-6: Relevante Aspekte der Vollholzproduktion auf die Umweltwirkung</i> .....	72
<i>Tabelle 2-7: Relevante Einflussgrößen der Holzwerkstoffproduktion auf die Umwelt</i> .....	72
<i>Tabelle 2-8: Preise für Stammholz und Industrieholz als Mittelwerte der Jahre 2008 und 2009</i> .....	74
<i>Tabelle 2-9: Zusammenstellung der Transportrahmenbedingungen für Rundholz in Deutschland</i> .....	75
<i>Tabelle 2-11: Übertragung der Transportparameter in GaBi-Module</i> .....	76
<i>Tabelle 2-11: Darrdichte und Brennwerte verschiedener Holzarten</i> .....	78
<i>Tabelle 2-12: Einsatz von Energieträgern zur Stromerzeugung in Deutschland 2009 (Strommix)</i> .....	79
<i>Tabelle 2-13: Zusammensetzung von MUF Harzen</i> .....	80
<i>Tabelle 2-14: Ergebnisse der Modellierung der UF Harz Herstellung und Verarbeitung</i> .....	82
<i>Tabelle 2-15: Ergebnisse der Modellierung der PF Harz Herstellung und Verarbeitung</i> .....	83
<i>Tabelle 2-16: Zusammensetzung der PRF Harze</i> .....	83
<i>Tabelle 2-17: Berechnung der Massen für Resorzin-Herstellung</i> .....	83
<i>Tabelle 2-18: Zusammensetzung der PUR Klebstoffe</i> .....	85
<i>Tabelle 2-19: Zusammenstellung der genutzten Daten zur Modellierung der Zusätze</i> .....	86
<i>Tabelle 2-20: Ergebnisse der Modellierung der Zusätze (Vorkette inklusive Transport)</i> .....	86
<i>Tabelle 2-21: Trocknungsemissionen flüchtiger organischer Substanzen (VOC)</i> .....	87

<i>Tabelle 2-22: Abschätzung der Emissionen beim Pressen und Trocknen (ohne Klebstoffabbindung) bei Holzwerkstoffen auf Span- und Faserbasis .....</i>	<i>88</i>
<i>Tabelle 2-23: Untersuchte Holzfeuerungsanlagen aus Literaturquellen .....</i>	<i>88</i>
<i>Tabelle 2-24: Relevanz und Beitrag einzelner Emissionen bei der Holzverbrennung .....</i>	<i>89</i>
<i>Tabelle 2-25: Produktionsmenge von Holzhalbwaren in 2007 und abgeleiteter Klebstoffanteil im Altholzmix..</i>	<i>90</i>
<i>Tabelle 2-26: Feuerungsemissionen (CO) .....</i>	<i>92</i>
<i>Tabelle 2-27: Feuerungsemissionen (NO<sub>x</sub>).....</i>	<i>94</i>
<i>Tabelle 2-28: Feuerungsemissionen (SO<sub>2</sub>) .....</i>	<i>96</i>
<i>Tabelle 3-1: Verrechnung der Ergebnisse für eine Nutzung nach verschiedener Methodik und Anwendung ....</i>	<i>100</i>
<i>Tabelle 3-2: Beschreibung der Haupteinflussfaktoren und deren Bedeutung .....</i>	<i>101</i>
<i>Tabelle 3-3: Hilfstabelle für den Einsatz von Primärenergie.....</i>	<i>102</i>
<i>Tabelle 4-1: Untersuchte Produktionsmengen bei Vollholzprodukten.....</i>	<i>280</i>
<i>Tabelle 4-2: Größenverteilung der untersuchten Werke (2. Fragebogen wurde beantwortet) .....</i>	<i>281</i>
<i>Tabelle 4-3: Abdeckung der Jahresproduktion nach statistischem Bundesamt durch die Unternehmen der Erhebung.....</i>	<i>282</i>
<i>Tabelle 4-4: Untersuchte Produktion bei Parkettprodukten und Abdeckung der Angaben des statistischen Bundesamtes .....</i>	<i>282</i>

## **Anhang: Kritische Prüfung (Critical Review)**

Die nachfolgenden Seiten beinhalten den Bericht des unabhängigen externen Experten, welcher die kritische Prüfung der vorliegenden Studie „Ökobilanz-Basisdaten für Bauprodukte aus Holz“ durchgeführt hat.

Dieser beinhaltet und bestätigt, dass die Studie entsprechend den Normen DIN EN ISO 14040 und 14044 durchgeführt wurde.

Dr. Frank Werner

**Umwelt & Entwicklung**

Waffenplatzstrasse 89

CH-8002 Zürich

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

e-mail: frank@frankwerner.ch

Kritische Prüfung nach ISO 14040/44 der Studie

**Ökobilanz-Basisdaten für Bauprodukte aus Holz**

**Abschlussbericht (April 2012)**

Erstellt durch das Bundesforschungsinstitut für Ländliche Räume, Wald und Fischerei  
Institut für Holztechnologie und Holzbiologie (HTB)

**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-Basisdaten für Bauprodukte aus Holz; Abschlussbericht (April 2012)“ 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 14044, 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.

Im Bericht werden verschiedentlich auch methodische Setzungen des vom Joint Research Centre (JRC) in Ispra erarbeiteten ILCD handbooks erörtert und angewendet. Die Übereinstimmung dieser Setzungen mit ISO 14044 oder die Übereinstimmung der Berechnungen mit den Setzungen des ILCD handbooks sind nicht Gegenstand dieser Kritischen Prüfung.

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

ten, deren Aggregation und Gewichtung zu Durchschnittssatzen und auch keine direkte 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 ISO 14044 sind,
- die in der Ökobilanz verwendeten Methoden wissenschaftlich und technisch gültig sind,
- die verwendeten Daten angemessen sind im 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.

### **Ergebnis der Kritischen Prüfung**

Im Folgenden ist das Ergebnis der Kritischen Prüfung zusammengefasst:

Generell:

- Der Forschungsbericht dokumentiert bei hoher Repräsentativität und in grosser Detailtiefe die methodischen Grundlagen für die Datenerhebung und Auswertung, die Sachbilanzierung, die Berechnung der Umweltindikatoren sowie deren Interpretation für die Ökobilanzen einer Vielzahl von Holzprodukten für das Bauwesen 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 14044 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 bei Erstellung der Studie erst im Entwurf vorliegenden aber inhaltlich weitestgehend bekannten Norm FprEN 15804:2011 als Grundlage für die Erarbeitung einer Umweltproduktdeklaration. Als funktionale Einheiten werden 1 m<sup>3</sup> (bzw. 1 m<sup>2</sup>) der untersuchten Holzprodukte gewählt.
- Die Systemgrenze der untersuchten Produktsysteme sowie deren Strukturierung sind transparent dargestellt. Sie folgen dem modularen Aufbau des Normentwurfs FprEN 15804:2011.

Sachbilanz

- Die in den jeweiligen Modulen des Lebenszyklus berücksichtigten Prozesse sind umfassend beschrieben. Sie sind innerhalb der Prozesskette nicht modular aufgebaut dokumentiert, sondern umfassen sämtliche, z.T. bereits allozierten Prozesse in einem gate-to-gate Ansatz.
- Die Daten für die Herstellung der Holzprodukte basieren auf umfangreichen Fragebogen-gestützten Werkserhebungen. Die Berechnungen von z.B. den VOC-Emissionen aus der Her-

stellung 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 des Normentwurfs FprEN 15804 befolgt, die in Übereinstimmung mit ISO 14044 sind.
- Als Indikatoren der Sachbilanz werden die vom Normentwurf FprEN 15804 vorgegebenen Indikatoren ausgewiesen.
- Die bilanzierten Mengen der einzelnen Materialien und Prozesse sind - soweit über Plausibilitätsüberlegungen vergleichbar - für alle Produkte plausibel, einerseits bei Vergleichen innerhalb eines Produktes, andererseits im Vergleich der Produkte untereinander.

#### Wirkungsabschätzung

- Die gewählten Indikatoren für die Wirkungsabschätzung entsprechen denjenigen des Normentwurfs FprEN 15804, 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 alle Produkte 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-Basisdaten für Bauprodukte aus Holz; Abschlussbericht (April 2012)“ weder betreffend die Durchführung noch betreffend die Dokumentation der Ökobilanzen Abweichungen von der für Ökobilanzen massgebenden Norm ISO EN DIN 14044:2006 gefunden habe.

Zürich, den 17. April 2012



Dr. Frank Werner

## Review protocol for life cycle assessments according to ISO 14044

Quotation of the LCA study: **Ökobilanz-Basisdaten für Bauprodukte aus Holz; Abschlussbericht**

Version of the study report: **Bericht vom 4. April 2011**

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

Date of the review: **17. April 2011**

	Compliance with the methodological requirements of ISO 14044 (according to Clause 4)	Compliance with the documentation requirements of ISO 14044 (according to Clause 5)
<b>I. GENERAL REQUIREMENTS AND CONSIDERATIONS (Clause 5.1)</b>		
<b>Type and format of the report (Clause 5.1.1)</b>		
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.	-	√
<b>The following items should be considered when preparing third-party reports (Clause 5.1.2)</b>		
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	-	√

	Compliance with the methodological requirements of ISO 14044 (according to Clause 4)	Compliance with the documentation requirements of ISO 14044 (according to Clause 5)
- data quality requirements;	-	√
e) choice of impact categories and category indicators.	-	√
<b>II. REQUIREMENTS AND GUIDANCE FOR THIRD-PARTY REPORTS (Clause 5.2)</b>		
<b>a) General aspects:</b>		
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>b) Goal of the study:</b>		
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.	-	√
<b>c) Scope of the study:</b>		
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 C2-C4 und Modul D; √	√
i) omissions of life cycle stages, processes or data needs,	Transporte zur Baustelle (A.4), Bauprozesse (A5),	i.o.

	Compliance with the methodological requirements of ISO 14044 (according to Clause 4)	Compliance with the documentation requirements of ISO 14044 (according to Clause 5)
	die Nutzungsphase (B1-B7) sowie der eigentliche Rückbau C1 werden nicht betrachtet; ✓	
ii) quantification of energy and material inputs and outputs, and	Biogenes C und Heizwert korrekt 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.	✓	✓
<b>d) Life cycle inventory analysis:</b>		
1) data collection procedures;	Fragebogen gestützte Erhebung bei einer grossen Auswahl an Herstellern von Holzprodukten; ✓	✓
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	-	-
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	✓

	Compliance with the methodological requirements of ISO 14044 (according to Clause 4)	Compliance with the documentation requirements of ISO 14044 (according to Clause 5)
	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 Produkte 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. Zusätzlich wurde eine Allokationsmethodik zu Recycling und Energierückgewinnung nach ILCD handbook des JRC angewendet; weder die Übereinstimmung der angewendeten Methodik mit ISO EN 14044 noch deren Übereinstimmung mit den Vorgaben des ILCD handbooks sind Gegenstand dieser Kritischen Prüfung; ✓	✓
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 alle Produkte 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; ✓	✓

	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) 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; ✓	✓
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.	-	-
<b>f) Life cycle interpretation:</b>		
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.	-	✓

	Compliance with the methodological requirements of ISO 14044 (according to Clause 4)	Compliance with the documentation requirements of ISO 14044 (according to Clause 5)
g) Critical review, where applicable:		
1) name and affiliation of reviewers;	-	√
2) critical review reports;	-	Vorgesehen
3) responses to recommendations.	-	√
<b>III. FOR LCA STUDIES SUPPORTING COMPARATIVE ASSERTIONS INTENDED TO BE DISCLOSED TO THE PUBLIC (Clause 5.3)</b>		
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 la 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);	-	-

	Compliance with the methodological requirements of ISO 14044 (according to Clause 4)	Compliance with the documentation requirements of ISO 14044 (according to Clause 5)
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.)".	-	-
<b>SUMMARY FINDINGS (Clause 6.1):</b>		
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.	-	√