

Wenker, Jan L.; Rüter, Sebastian

Research Report

Ökobilanz-Daten für holzbasierte Möbel

Thünen Report, No. 31

Provided in Cooperation with:

Johann Heinrich von Thünen Institute, Federal Research Institute for Rural Areas, Forestry and Fisheries

Suggested Citation: Wenker, Jan L.; Rüter, Sebastian (2015) : Ökobilanz-Daten für holzbasierte Möbel, Thünen Report, No. 31, ISBN 978-3-86576-137-8, Johann Heinrich von Thünen-Institut, Braunschweig,
<https://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:gbv:253-201508-dn055528-6>

This Version is available at:

<https://hdl.handle.net/10419/118642>

Standard-Nutzungsbedingungen:

Die Dokumente auf EconStor dürfen zu eigenen wissenschaftlichen Zwecken und zum Privatgebrauch gespeichert und kopiert werden.

Sie dürfen die Dokumente nicht für öffentliche oder kommerzielle Zwecke vervielfältigen, öffentlich ausstellen, öffentlich zugänglich machen, vertreiben oder anderweitig nutzen.

Sofern die Verfasser die Dokumente unter Open-Content-Lizenzen (insbesondere CC-Lizenzen) zur Verfügung gestellt haben sollten, gelten abweichend von diesen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Terms of use:

Documents in EconStor may be saved and copied for your personal and scholarly purposes.

You are not to copy documents for public or commercial purposes, to exhibit the documents publicly, to make them publicly available on the internet, or to distribute or otherwise use the documents in public.

If the documents have been made available under an Open Content Licence (especially Creative Commons Licences), you may exercise further usage rights as specified in the indicated licence.

Ökobilanz-Daten für holzbasierte Möbel

Jan L. Wenker und Sebastian Rüter

Thünen Report 31

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

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

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

*Volumes already published in
this series are available on the
Internet at www.ti.bund.de*

Zitationsvorschlag – *Suggested source citation:*

Wenker JL, Rüter S (2015) Ökobilanz-Daten für holzbasierte Möbel.
Braunschweig: Johann Heinrich von Thünen-Institut, 130 p,
Thünen Rep 31, DOI:10.3220/REP1440055961000

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

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



THÜNEN

Thünen Report 31

Herausgeber/Redaktionsanschrift – *Editor/address*

Johann Heinrich von Thünen-Institut
Bundesallee 50
38116 Braunschweig
Germany

thuenen-report@ti.bund.de
www.ti.bund.de

ISSN 2196-2324
ISBN 978-3-86576-137-8
DOI:10.3220/REP1440055961000
urn:nbn:de:gbv:253-201508-dn055528-6

Ökobilanz-Daten für holzbasierte Möbel

Jan L. Wenker und Sebastian Rüter

Thünen Report 31

Jan L. Wenker (Projektbearbeitung)
Sebastian Rüter (Projektleitung)

Thünen-Institut für Holzforschung
Leuschnerstraße 91c
21031 Hamburg

Telefon +49 40 73962-653/-619
Fax +49 40 73962-699
E-Mail jan.wenker@ti.bund.de / sebastian.rueter@ti.bund.de

Thünen Report 31

Hamburg/Germany, 2015

Zusammenfassung

Das Thema Nachhaltigkeit und deren Bewertung, insbesondere der ökologischen Komponente des Nachhaltigkeitsbegriffs, gewinnt auch in der Holz- und Möbelindustrie immer mehr an Bedeutung. Zugleich ist die Möbelindustrie ein nicht unerheblicher Verbraucher von Holz und Holzwerkstoffen. Für die Berechnung und Bewertung der Umweltauswirkungen bedient man sich klassischerweise der Methode der Ökobilanzierung, um so Ökobilanz-Daten über die potentiellen Umweltwirkungen von Produkten zu erhalten. Ökobilanz-Daten für holzbasierte Möbel stehen bisher lediglich in sehr eingeschränktem Umfang zur Verfügung.

Vor diesem Hintergrund stellt der vorliegende Bericht Ökobilanz-Daten über die Herstellung holzbasierter Möbel zur Verfügung, die im Rahmen eines Projekts auf Basis einer Primärdatenerhebung in der Möbelindustrie ermittelt wurden. Hierfür wurden die in den teilnehmenden Unternehmen hergestellten Produkte ausgehend von der Werksebene einer Möbelfabrik als zentraler Betrachtungsebene mit dem Instrument der Ökobilanz untersucht. Die Einbeziehung der gesamten Werksaufwendungen (top-down Ansatz) war dabei essentiell, damit alle tatsächlichen Material- und Energieverbräuche und daraus resultierende Umweltwirkungen, die ein Unternehmensstandort verursacht, berücksichtigt werden konnten. Somit beschreibt die vorliegende Studie zugleich eine Methode zur Verteilung der Werksaufwendungen auf die verschiedenen in einer Möbelfabrik hergestellten Produkte, die im Rahmen der Forschungsarbeit entstanden ist. Diese Datenberechnung beziehungsweise der Bezug auf die deklarierte Einheit erfolgt anhand verschiedener entwickelter Klassifizierungen der Produkte (Bildung von funktionellen Gruppen und Produktgruppen) und anschließender Zuordnung der Werksaufwendungen zu diesen Gruppen anhand von exemplarischen Stücklisten (bottom-up Ansatz). Die entwickelte Methode stellt somit eine Kombination von top-down und bottom-up Ansatz zur Datenerhebung und Datenberechnung dar.

Die auf Basis der erarbeiteten Methode zur Datenerhebung und Datenberechnung erstellten Sachbilanzen wurden anschließend in eine Wirkungsabschätzung überführt. Im Ergebnis der durchgeführten Forschungsarbeit werden somit, neben einer praxistauglichen Methode zur Datenerhebung und systematischen Erstellung von Sachbilanzen in Betrieben der Möbelindustrie, Ökobilanz-Daten für industriell hergestellte holzbasierte Möbel beschrieben. Der vorliegende Bericht enthält produktionsmengengewichtete Durchschnittswerte der an der Untersuchung beteiligten Industriepartner, die im Einklang mit den internationalen Normen ISO 14040, ISO 14044 sowie EN 15804 stehen.

Schlüsselwörter: Ökobilanzierung, Datenerhebung, Datenberechnung, top-down Ansatz, bottom-up Ansatz, Möbel

Summary

Sustainability and sustainability assessment is gaining importance in the timber and furniture industry. In particular, the investigation of the sustainability concept's environmental component is of increasing interest. At the same time, the furniture industry is a significant consumer of wood and wood-based materials. Life cycle assessment (LCA) is a classical method for the calculation and assessment of environmental impacts. LCA provides data on the potential environmental impacts of products. So far, LCA data for wood-based furniture is only available to a very limited extent.

Against this background, the report at hand provides LCA data for the production of wood-based furniture. This data was calculated on the basis of a primary data collection within the German furniture industry which was carried out in the context of a research project. Hence, furniture produced in the participating companies was investigated using LCA, with data collection starting at the plant level of a furniture factory. Consideration of the total material and energy fluxes as examined at the company level (top-down approach) was essential to ensure that all resulting environmental effects were included. Thus, besides the LCA data, the present study describes a method for calculating the company level data to the various products manufactured in a furniture factory. These data calculations, as well as relating the data to the declared units, are carried out using various developed classifications (formation of functional groups and product groups). Subsequently, the collected data was assigned to these groups on the basis of exemplary bills of material (bottom-up approach). The developed method is thus a combination of a top-down and bottom-up approach for data collection and data calculation.

The life cycle inventories drawn up on the basis of the developed method were subsequently transferred to a life cycle impact assessment. As a result of research carried out within this project, LCA data could be provided for industrially produced wood-based furniture. This report presents production volume weighted average results for furniture produced by the industry partners involved in the project. The LCA was carried out considering the international standards ISO 14040, ISO 14044 and EN 15804. In addition to the LCA data, a practicable method of data collection and systematic preparation of life cycle inventories in the furniture industry is an outcome of the presented research.

Keywords: life cycle assessment (LCA), data collection, data calculation, top-down approach, bottom-up approach, furniture

Inhaltsverzeichnis

1	Projektdarstellung	1
1.1	Hintergrund.....	1
1.2	Ziel des Projekts	2
2	Kenntnisstand.....	5
2.1	Ökobilanzierung nach ISO 14040/44	5
2.2	Einteilung des Lebenswegs in Module nach EN 15804	7
2.3	Berücksichtigung der holzzinhärenten Materialeigenschaften nach EN 16485	9
2.4	Ökobilanzen für Holzprodukte und Möbel	11
2.5	Ableitung des Handlungsbedarfs	13
3	Ziel und Untersuchungsrahmen	15
3.1	Systemgrenzen.....	15
3.2	Allokation und Ende der Abfalleigenschaft	16
3.3	Angewandte Wirkungsabschätzung	18
4	Methoden und Vorgehensweisen	19
4.1	Strategien zum Umgang mit dem Produktsystem Möbel	19
4.1.1	Entwickelte Klassifizierungen	19
4.1.1.1	Funktionelle Gruppen	20
4.1.1.2	Materialklassen	23
4.1.1.3	Produktgruppen	25
4.1.1.4	Standardmaterialien	26
4.1.1.5	Prozessgruppen	28
4.1.2	Systematisierte Datenverarbeitung	30
4.2	Datenerhebung	32
4.2.1	Erster Fragebogen zur Einordnung des Unternehmens	32
4.2.2	Zweiter Fragebogen zur detaillierten Erfassung der Werksaufwendungen	32
4.2.3	Stücklisten zur Verteilung der Werksaufwendungen auf die Produktgruppen	33
4.3	Erstellung der Sachbilanzen	34
4.3.1	Validierung der erhobenen Daten	34
4.3.2	Zuordnung der erhobenen Werksdaten auf die hergestellten Produktgruppen	35
4.3.2.1	Zuordnung der Rohstoffe und Halbwaren	37
4.3.2.2	Zuordnung der Abfälle	40
4.3.2.3	Ermittlung des Produktgewichts	40

4.3.2.4	Zuordnung der Energieverbräuche	41
4.4	Modellierung des Produktsystems	43
4.4.1	Erstellung eines parametrisierten Basismodells	43
4.4.2	Verwendete Hintergrunddaten	46
5	Ergebnisse der durchgeführten Studie	47
5.1	Struktur der Ergebnisdarstellung	47
5.2	Durchschnittsergebnis für alle erfassten Möbel	51
5.2.1	Sachbilanz	51
5.2.2	Ergebnisse aus Sachbilanz und Wirkungsabschätzung	53
5.2.3	Dominanzanalyse	56
5.2.4	Holzhärente Kohlenstoffbilanz	62
5.3	Ergebnisse nach funktionellen Gruppen	63
5.3.1	Ergebnis für Aufbewahrungsmöbel	63
5.3.1.1	Sachbilanz	63
5.3.1.2	Ergebnisse aus Sachbilanz und Wirkungsabschätzung	65
5.3.1.3	Dominanzanalyse	67
5.3.1.4	Holzhärente Kohlenstoffbilanz	74
5.3.2	Ergebnis für Ablagemöbel	75
5.3.2.1	Sachbilanz	75
5.3.2.2	Ergebnisse aus Sachbilanz und Wirkungsabschätzung	77
5.3.2.3	Dominanzanalyse	79
5.3.2.4	Holzhärente Kohlenstoffbilanz	86
5.4	Ergebnis für Küchenmöbel	87
5.4.1	Sachbilanz	87
5.4.2	Ergebnisse aus Sachbilanz und Wirkungsabschätzung	89
5.4.3	Dominanzanalyse	91
5.4.4	Holzhärente Kohlenstoffbilanz	97
6	Diskussion der erzielten Ergebnisse und der entwickelten Methode	99
6.1	Ergebnisdiskussion	99
6.1.1	Repräsentativität und Qualität der Daten	99
6.1.2	Erkenntnisse und Schlussfolgerungen	100
6.1.3	Modellierung des Produktsystems	102
6.1.4	Einfluss der Auslastung von Produktionsanlagen auf die Ökobilanzergebnisse	104
6.2	Methodendiskussion	105
6.2.1	Datenerhebung	105
6.2.2	Datenberechnung	106
6.3	Fazit aus Ergebnis- und Methodendiskussion	109
7	Literatur	i

1 Projektdarstellung

Der vorliegende Abschlussbericht des Forschungsprojekts *Ökobilanz-Daten für holzbasierte Möbel*, welches als vom Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) gefördertes Projekt am Thünen-Institut für Holzforschung durchgeführt wurde, stellt zusammenfassend dessen Ergebnisse dar. Die Durchführung des Projekts erfolgte in enger Zusammenarbeit mit dem Verband der Deutschen Möbelindustrie e.V. (VDM), einem Fachverband im Hauptverband der Deutschen Holzindustrie und Kunststoffe verarbeitenden Industrie und verwandter Industrie- und Wirtschaftszweige e.V. (HDH). In diesem Kapitel werden zunächst der für die Untersuchungen relevante Hintergrund und die sich daraus ergebenden Ziele dargelegt.

1.1 Hintergrund

Durch die Diskussion über Klimaschutz und Ressourcenschonung erlangt das Thema Nachhaltigkeit auf nationaler und internationaler Ebene immer mehr Bedeutung. Die heutige Gesellschaft erwartet eine Auseinandersetzung mit den Auswirkungen von Produkten auf die Umwelt, sei es durch entsprechende Nachweise, die im Rahmen von öffentlichen Ausschreibungen erbracht werden müssen, oder durch Information der Verbraucher über die Umweltrelevanz von Produkten und deren Beitrag zum Ausstoß klimaschädlicher Treibhausgase. Für die Berechnung und Bewertung von Umweltauswirkungen bedient man sich klassischerweise der Methode der Ökobilanzierung.

Die industrielle Möbelproduktion stellt einen wichtigen Teil der Holzwirtschaft dar, in dem beachtliche Mengen Holz und Holzwerkstoffe verbraucht werden. Mantau und Bilitewski (2010) weisen für das Jahr 2007 in Deutschland einen Holzverbrauch von 76,9 Mio. m³ (Festmeteräquivalent) aus inländischem Aufkommen aus. Davon gehen im weiteren Verlauf der Wertschöpfungskette 9,0 Mio. m³ Holzhalbwaren in den Fertigwarenbereich Möbel und Einrichtung. Dies entspricht 26,0 % der in Holzfertigwaren verwendeten Holzhalbwarenmenge von 34,7 Mio. m³, inklusive importierter Halbwaren (Mantau und Bilitewski, 2010: 11 ff.). Für die Produktion von Möbeln werden 6,5 Mio. m³ Spanplatte eingesetzt, welche ca. 70 % der zur Herstellung von Fertigwaren verwendeten Spanplattenmenge entsprechen (Mantau und Bilitewski, 2010: 34). Diese Zahlen verdeutlichen, dass Untersuchungen über die Umweltauswirkungen der Forst- und Holzindustrie diesen wichtigen Sektor nicht auslassen können. Vielmehr besteht ein Bedarf an Ökobilanz-Daten für Möbel, da diese in Deutschland bisher nur in sehr geringem Umfang vorliegen.

Auch im Kontext des Nachhaltigen Bauens können Ökobilanz-Daten für Möbel Verwendung finden. Möbel als Einbauegegenstände agieren hierbei als Grenzgänger zwischen Bauwerk und Innenausstattung. Zugleich ermöglichen Ökobilanz-Daten eine verbesserte Abschätzung der Kohlenstoffspeicherwirkung in Holzprodukten, wie sie für die nationale Treibhausgasberichterstattung zur Abschätzung der Netto-Emissionen der stofflichen Holznutzung erhoben wird.

1.2 Ziel des Projekts

Im Rahmen dieses Projekts sollten Ökobilanz-Daten für Möbel generiert werden. Weil Möbel während der Gebrauchsphase relativ geringe Umweltauswirkungen aufweisen, war davon auszugehen, dass die wesentlichen Umweltwirkungen von Möbeln bereits in der Herstellungsphase auftreten¹. Aus diesem Grund fokussierte das Projekt in Zusammenarbeit mit deutschen Möbelherstellern auf die cradle-to-gate Analyse von holzbasierten Möbeln.

Der Schwerpunkt der Arbeit lag dabei auf der Erarbeitung des methodischen Rahmens für die Ökobilanzierung von Möbeln, um die Umweltauswirkungen der Herstellungsprozesse eines Möbelwerks entlang der Produktionskette den zahlreichen Produkten der Möbelindustrie sinnvoll zuordnen zu können. Dabei stand die Repräsentativität der Daten auf Werksebene im Vordergrund, denn für spätere sektorale Betrachtungen, beispielsweise im Rahmen der nationalen Treibhausgasberichterstattung, ist es essentiell, dass die Sachbilanzen die tatsächlichen Gegebenheiten in der Möbelfabrik widerspiegeln. Daher verdient die Tatsache Beachtung, dass der zu entwickelnde Ansatz von der Werksebene ausgeht und damit alle entstehenden Stoff- und Energieflüsse mit Sicherheit abbildet. Die Analyse der Umweltauswirkungen von Möbeln als Teil der Nachhaltigkeitsbewertung wurde als Ökobilanzierung in Übereinstimmung mit den internationalen Normen ISO 14040 und ISO 14044 (auf nationaler Ebene DIN EN ISO 14040:2009-11 und DIN EN ISO 14044:2006-10) durchgeführt.

Die hierfür unabdingbare Sachbilanzanalyse stellt alle relevanten Informationen zu den eingesetzten Materialien hinsichtlich ihrer verwendeten Grundstoffe, der Prozesskette und dem Abfallaufkommen, sowie zu den resultierenden Emissionen bereit. Im Rahmen des Projekts sollte die Datengrundlage durch eine Primärdatenerhebung in den Möbelfabriken der Mitgliedsunternehmen des VDM geschaffen werden. Die Datenerhebung in den Betrieben der Möbelindustrie erfolgte dabei mittels mehrstufiger Fragebögen. Dabei stand die Durchführbarkeit in der Praxis unter Berücksichtigung der für eine Bewertung erforderlichen Datenqualität im Vordergrund. Ergänzende Informationen über die Vorketten werden aktuellen Ökobilanz-Datenbanken entnommen. Das Projekt sollte darüber hinaus auf den Ergebnissen des Projekts „Ökobilanz-Basisdaten für Bauprodukte aus Holz“ (ÖkoHolzBauDat) aufbauen (Rüter und Diederichs, 2012; Diederichs, 2014a,b), welches sich mit den Umweltauswirkungen von Holzhalbwaren, wie z. B. Spanplatten, befasst hat.

Die erarbeiteten Daten geben Aufschluss über den Holzeinsatz in Möbeln und dienen einer verbesserten Abschätzung der Treibhausgasemissionen des Möbelsektors. Eine weitere Zielgruppe dieser Studie sind die teilnehmenden Industriepartner. Diese können die Daten entweder intern zur Prozess- und Produktoptimierung verwenden oder gezielt auf Kundenanfragen bezüglich der

¹ Hier sind ausdrücklich die klassischen Umweltwirkungen, wie beispielsweise Versauerung und Überdüngung gemeint. Die Innenraumluftqualität, Stichwort VOC, kann durch Möbel während der Gebrauchsphase sehr wohl beeinflusst werden, wie beispielsweise Skaar und Jorgensen (2013) oder Chaudhary und Hellweg (2014) zeigen konnten.

Umweltwirkungen der hergestellten Produkte reagieren. Für die Unternehmen der Möbelindustrie sind Ökobilanzen eine hervorragende Möglichkeit, den Herstellungsprozess unter umweltlichen Gesichtspunkten zu analysieren und zu optimieren. Da die Produkte der Möbelindustrie dem Endverbraucher unmittelbar zur Verfügung stehen liefert die Kommunikation der Umweltauswirkungen von Möbeln eine wichtige Entscheidungshilfe für den Kunden. Insbesondere im Objektgeschäft, d. h. der Ausstattung von öffentlichen Gebäuden, Bürogebäuden, Hotels und Ähnlichem, sind Nachweise über die Umweltleistung der zu liefernden Möbel mittlerweile häufig nachgefragt. Das Hauptziel dieses Projekts, die Erarbeitung von Ökobilanz-Daten für industriell hergestellte, holzbasierte Möbel, schafft also Perspektiven auf den beiden genannten Gebieten der Prozessoptimierung und der Kommunikation.

2 Kenntnisstand

Im Rahmen der Umweltbewertung ist die Methode der Ökobilanzierung eine in den Normen DIN EN ISO 14040/44 geregelte Vorgehensweise. Für die Verwendung von Ökobilanzinformationen im Kontext des Nachhaltigen Bauens spezifiziert die DIN EN 15804:2014 die Berechnung und Darstellung von Ergebnissen für Bauprodukte, welche für Holz durch die DIN EN 16485:2014 noch einmal weiter präzisiert wird. Seit Mitte der 1990er Jahre arbeitet das Thünen-Institut für Holzforschung (ehemals Teil der Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft, BFH) in enger Kooperation mit dem Zentrum Holzwirtschaft der Universität Hamburg an Ökobilanzen für die verschiedensten Holzprodukte. Auch an der Entwicklung der Ökobilanz-Methodik sowie der Normung auf diesem Gebiet war und ist das Institut aktiv beteiligt.

2.1 Ökobilanzierung nach ISO 14040/44

Ökobilanzierung ist eine Methode zur Bewertung der potentiellen Umweltauswirkungen von Produkten. Sie ist seit Ende der 1990er Jahre im Rahmen von ISO-Normen standardisiert. Aktuell gültig sind die Versionen DIN EN ISO 14040:2009-11 und DIN EN ISO 14044:2006-10. Da die Methode der Ökobilanzierung hier nur in knapper Form vorgestellt wird, sind für vertiefende Ausführungen Lehrbücher, wie beispielsweise Baumann und Tillman (2004), Klöpffer und Grahl (2009) oder die Beiträge in Curran (2012), heranzuziehen. DIN EN ISO 14040:2009 definiert die Ökobilanz als „Zusammenstellung und Beurteilung der Input- und Outputflüsse und der potentiellen Umweltwirkungen eines Produktsystems im Verlauf seines Lebensweges“. Das heißt, eine Ökobilanz ist eine Stoff- und Energieflussanalyse mit anschließender Bewertung der potentiellen Umweltauswirkungen des definierten Produktsystems.

Es werden in den Normen DIN EN ISO 14040/44 vier Phasen der Ökobilanz unterschieden, wobei die Ökobilanzierung ein iterativer Prozess ist, bei dem einzelne Phasen Ergebnisse der anderen Phasen verwenden. Auch Rückschritte zu eigentlich bereits abgeschlossenen Phasen sind möglich und notwendig, wenn Korrekturen an der Vorgehensweise oder Festlegungen durchgeführt werden müssen, was aber in jedem Fall zu dokumentieren ist (Klöpffer und Grahl, 2009: 27). Die vier Phasen nach DIN EN ISO 14040/44 sind:

- Festlegung des Ziels und des Untersuchungsrahmens
- Sachbilanz
- Wirkungsabschätzung
- Auswertung

Bei der Festlegung des Ziels und des Untersuchungsrahmens müssen bereits intensive Überlegungen zum untersuchten Produkt bzw. Produktsystem, den Grenzen der Untersuchung und

deren Detaillierungsgrad sowie den angewandten Verfahren angestellt werden. Es wird eine funktionelle Einheit bestimmt, die den quantifizierten Nutzen des Produktsystems ausdrückt. Dies ist notwendig, damit alle nachfolgenden Berechnungsschritte auf diese Einheit als Bezugsbasis bezogen werden können. Nach DIN EN 15804:2014 wird die Bezugsbasis *deklarierte Einheit* statt funktionelle Einheit genannt, wenn entweder die Funktion bzw. die Summe der Funktionen des Produkts unbekannt ist oder nicht der gesamte Lebenszyklus von der Wiege bis zur Bahre Gegenstand der Untersuchung ist. Auch für Verfahren zur Allokation von Flüssen und Emissionen im Falle einer Koppelproduktion sind in der ersten Phase der Ökobilanz bereits Festlegungen zu treffen. Eine transparente Darstellung der Studie wird dadurch erreicht, dass getroffene Annahmen und Einschränkungen sowie Anforderungen an die Datenqualität klar kommuniziert werden.

Die Sachbilanz, bestehend aus Datenerhebung, Datenberechnung und Allokation, ist in der Regel die zeitintensivste Phase einer Ökobilanz. Es werden Daten für das sogenannte Vordergrundsystem erhoben, welche später im Rahmen der Modellierung in einer Ökobilanzsoftware mit Vorketendaten aus Datenbanken für das sogenannte Hintergrundsystem kombiniert werden². Die Datenerhebung erfasst alle stofflichen und energetischen Inputs und Outputs für das definierte Produktsystem. Ausgehend von einer Stückliste kann sie entweder *bottom-up*, oder ausgehend von einem gesamten Werk *top-down*, erfolgen. In der vorliegenden Studie wurde die Datenerhebung *top-down* durchgeführt, da nur so sichergestellt war, dass wirklich alle Aufwendungen, die im Werk entstehen, auch erfasst wurden. Im Rahmen der Datenberechnung wurden die erhobenen Daten nach einer Validierung auf die gewählte funktionelle bzw. deklarierte Einheit bezogen. Zur Datenberechnung wurde der top-down Ansatz der Datenerhebung mit einem bottom-up Ansatz ausgehend von Stücklisten kombiniert. Dieses Verfahren wird in Kapitel 4 (S. 19) eingehend beschrieben. Sofern das betrachtete System mehrere Produkte verwertet (Multi-Input, z. B. Müllverbrennung) oder erzeugt (Multi-Output bzw. Koppelproduktion, z. B. Sägewerk), müssen Verfahren zur Allokation angewendet werden.

In der Wirkungsabschätzung werden die erhobenen Sachbilanzdaten mit Charakterisierungsmodellen verknüpft und so die potentiellen Umweltwirkungen des Systems ermittelt. Dies erfolgt in verschiedenen sogenannten Wirkungskategorien. Jede Wirkungskategorie hat ein ihr zugehöriges Charakterisierungsmodell zur Berechnung der Indikatorwerte. Näher beschrieben ist dies bei Klöpffer und Grahl (2009: 202 ff.). Neben den obligatorischen Bestandteilen Auswahl von Wirkungskategorien, Wirkungsindikatoren und Charakterisierungsmodellen, Zuordnung der Sachbilanzergebnisse (Klassifizierung) und Berechnung der Wirkungsindikatorwerte (Charakterisierung) können optional noch eine Normierung, Ordnung und Gewichtung vorgenommen werden.

In der letzten Phase der Ökobilanz, der Auswertung, werden die Ergebnisse aus Sachbilanz und Wirkungsabschätzung entsprechend dem Ziel und Untersuchungsrahmen aufbereitet und beurteilt. Die Kernelemente der Auswertung sind nach DIN EN ISO 14044:2006 die Identifizierung

² Für das Vordergrundsystem, in diesem Projekt die Möbelfabrik, werden Primärdaten in den Werken erhoben. Das Hintergrundsystem, auch Vorketten genannt, hier z. B. die Spanplattenherstellung, wird durch generische Daten aus Datenbanken beschrieben.

der signifikanten Parameter, Beurteilung der Ergebnisse und das Ableiten von Schlussfolgerungen, Einschränkungen und Empfehlungen. Ein zentraler Bestandteil der Auswertung ist die Identifizierung der signifikanten Parameter bzw. Hauptbeiträge. Dieser Schritt dient dazu, die ökologischen Hotspots innerhalb eines Produktsystems zu identifizieren. Als Methoden zur Identifizierung der signifikanten Parameter kommen Beitragsanalyse sowie Dominanzanalyse als spezielle Form der Beitragsanalyse zum Einsatz (Baumann und Tillman, 2004: 189 ff.; Klöpffer und Grahl, 2009: 359 ff.). Zur Beurteilung der Ergebnisse können eine Vollständigkeitsprüfung, Sensitivitätsprüfung und Konsistenzprüfung angewandt werden, wobei in der Regel, je nach Erkenntnisinteresse, nicht alle drei Verfahren durchgeführt werden. Die Sensitivitätsprüfung ist dabei die am häufigsten angewandte Methode zur Beurteilung (Klöpffer und Grahl, 2009: 260 f.). Es werden in der Regel Schlussfolgerungen aus den Ergebnissen gezogen und Empfehlungen ausgesprochen, wobei die Einschränkungen, denen diese unterliegen, klar kommuniziert werden müssen.

2.2 Einteilung des Lebenswegs in Module nach EN 15804

Insbesondere im Baubereich sind Umweltproduktdeklarationen (Environmental Product Declarations, EPD) ein vielfach eingesetztes Kommunikationsmittel geworden. So liefern sie für die seit 2005 entwickelten Systeme zur Bewertung der Nachhaltigkeit von Gebäuden (z. B. Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen des Bundes (BNB) und Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen (DGNB)) die Basis der für die Bewertung notwendigen Umweltinformationen der in den Gebäuden eingesetzten Bauprodukte. Diese Umweltkennzeichnungen des Typs III nach DIN EN ISO 14025:2011-10 beinhalten Ökobilanzen als Kernstück des Informationsteils. Für die Erstellung der Ökobilanzen, die in den Umweltproduktdeklarationen verwendet werden, sind sogenannte Produktgruppenregeln (PCR) eine Voraussetzung. Im Baubereich gibt die Norm DIN EN 15804:2014 eine Rahmen-Produktgruppenregel vor, aus der Produktgruppenregeln für die verschiedenen Bauproduktgruppen abgeleitet werden können. Auch wenn zum jetzigen Zeitpunkt die Verwendung von EPDs für Möbel nicht sinnvoll erscheint und Möbel in den allermeisten Fällen nicht als Bauprodukte zu bezeichnen sind, soll dennoch die Grundstruktur der DIN EN 15804:2014 auch für die Modellierungen innerhalb dieser Studie verwendet werden. So fließen die inhaltlich sinnvollen Spezifizierungen, insbesondere die Unterteilung des Lebenswegs³ in einheitlich definierte Module bzw. Systemgrenzen, in die vorliegende Studie ein, so dass die Modellierungen und Ergebnisse zu einem späteren Zeitpunkt auch für EPDs verwendet werden können.

Die Einteilung des Lebenswegs in Module entsprechend der DIN EN 15804:2014, bei Rüter und Diederichs (2012), Rüter (2012, 2013) sowie Schmincke (2011) ausführlicher beschrieben, wird in der nachfolgenden Abbildung 2.1 dargestellt:

³ Die Begriffe *Lebensweg* und *Lebenszyklus* werden im Rahmen dieses Berichts synonym verwendet, obwohl sie es streng genommen nicht sind. Der Grund für die synonyme Verwendung liegt in der inkonsequenten Trennung der Begriffe in den einschlägigen Normen. In DIN EN ISO 14040:2009 und DIN EN ISO 14044:2006 wird der Begriff *Lebensweg* verwendet und in DIN EN 15804:2014 und DIN EN 16485:2014 wird für denselben Sachverhalt der Begriff *Lebenszyklus* genutzt. Daher wird in der vorliegenden Arbeit kein Unterschied zwischen den beiden Begriffen gemacht.

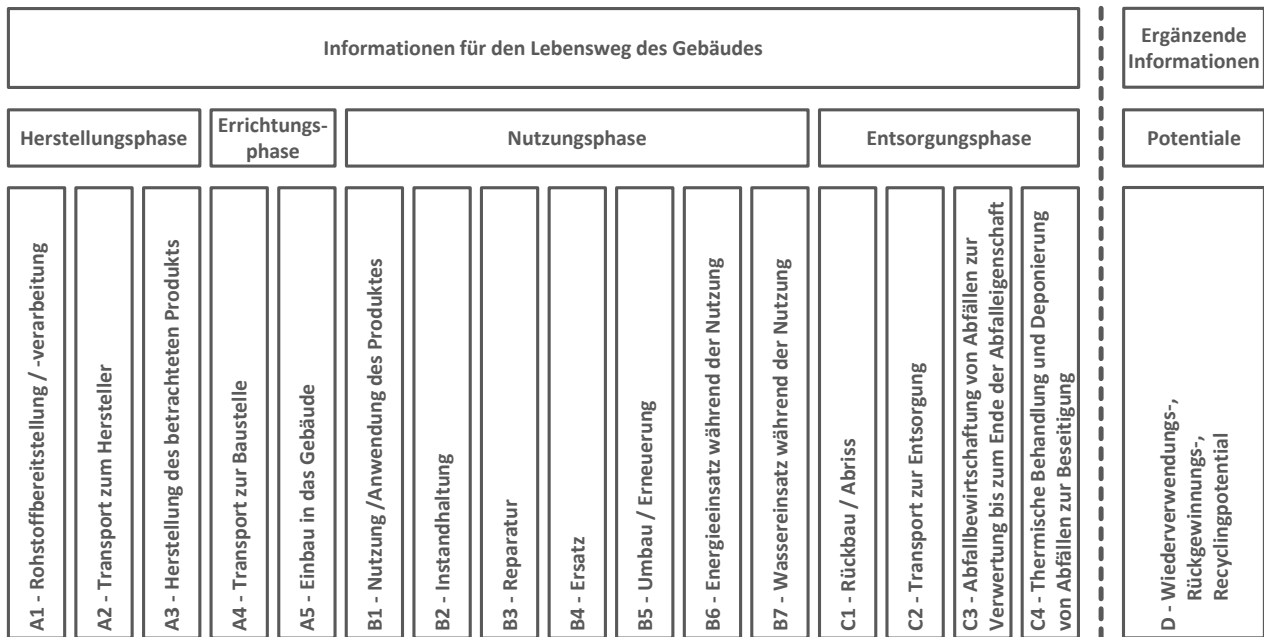


Abbildung 2.1: Einteilung des Lebenswegs in definierte Module, in Anlehnung an DIN EN 15804:2014 sowie Rüter und Diederichs (2012: 35)

Da die Norm für den Gebäudesektor entwickelt wurde, sind die Einteilung in Lebenszyklusabschnitte und die verwendeten Begrifflichkeiten stark geprägt von den Gegebenheiten im Baubereich und eher auf Gebäudeebene bzw. für Baustoffe, die in Gebäuden eingesetzt werden, praktikabel. Allerdings ist auch außerhalb des Baubereichs die Definition von einheitlichen Systemgrenzen durch spezifizierte Module grundsätzlich sinnvoll, weshalb die methodischen Festlegungen der DIN EN 15804:2014 im Rahmen der vorliegenden Studie auf die Ökobilanzierung von Möbeln angewendet werden.

2.3 Berücksichtigung der holzinhärenten Materialeigenschaften nach EN 16485

Als Ergänzung zu den Rahmen-Produktgruppenregeln in DIN EN 15804:2014 präzisiert die Norm DIN EN 16485:2014 einige Spezifikationen für Holz und Holzwerkstoffe. Insbesondere der Umgang mit dem biogenen Kohlenstoffgehalt als materialinhärenter Eigenschaft des Holzes wird detailliert geregelt. Danach wird biogener Kohlenstoff gesondert betrachtet, obwohl das bei seiner Verbrennung entstehende CO_2 physikalisch dieselbe Wirkung hat, wie das aus der Verbrennung fossiler Brennstoffe Entstandene. Diese Unterscheidung erfolgt dennoch, da der biogene Kohlenstoff unter den Bedingungen einer nachhaltigen Forstwirtschaft im natürlichen Kohlenstoffkreislauf innerhalb einiger Jahrzehnte zyklisch gebunden und wieder freigesetzt wird. Dies steht im Gegensatz zur lediglichen Freisetzung von CO_2 bei der Nutzung fossiler Materialien. Die folgend beschriebene Vorgehensweise für die Berücksichtigung der holzinhärenten Kohlenstoffbilanz ist bei Rüter (2013) vertiefend dargestellt.

Der im Holz enthaltene Kohlenstoff wird zunächst der Atmosphäre durch das Baumwachstum mittels der Photosynthese in Form von CO_2 entzogen. Daher wird dieser holzinhärente Kohlenstoff auch als biogener Kohlenstoff bezeichnet. Die Bäume speichern diesen in ihrer lebenden Biomasse, aber auch abgestorbene Biomasse bindet den Kohlenstoff weiter, bis dieser durch natürliche Zersetzungsprozesse oxidiert und als CO_2 wieder in die Atmosphäre abgegeben wird. Durch die Nutzung des Holzes wird die gespeicherte Kohlenstoffmenge vom Baum auf das betrachtete Produktsystem übertragen. Zu einem späteren Zeitpunkt, d.h. nach Ablauf der Nutzungsdauer des entsprechenden Produktsystems, scheidet dieser Kohlenstoff wieder aus dem Produktsystem aus. So wird er z. B. durch die energetische Nutzung von Holz im Rahmen der Produktion und teilweise nach der erfolgten stofflichen Nutzung durch Verbrennung von ausgedienten Holzprodukten wieder oxidiert und der Atmosphäre als CO_2 zugeführt. Im Fall von Holzprodukten wird durch die stoffliche Nutzung somit ein Teil der Kohlenstoffbindung der Bäume um die entsprechende Nutzungsdauer des Produkts verlängert. Über den gesamten Lebenszyklus eines einzelnen Holzprodukts ist die biogene Kohlenstoffbilanz bzw. die biogene CO_2 -Bilanz allerdings immer ausgeglichen, d. h. null.

Die auf die Holznutzung zurückzuführenden biogenen CO_2 -Flüsse könnten daher in der Wirkungskategorie Klimaänderung über die gesamte Lebensdauer des Produkts ausgeblendet werden, da der Beitrag insgesamt null ist. Eine andere Möglichkeit ist jedoch, die Flüsse des biogenen Kohlenstoffs, ausgedrückt als CO_2 , nach DIN EN 16485:2014 in den entsprechenden Modulen zu berücksichtigen. Bei der Nutzung von Frischholz oder auch Altholz findet der im Holz gebundene Kohlenstoff als materialinhärente Eigenschaft Eingang in das System, wird also aus Sicht der Atmosphäre auf das Produktsystem übertragen. Der Zufluss des biogenen Kohlenstoffs, ausgedrückt als CO_2 , ist demnach in Modul A1 für den auf das Produkt selbst zurückzuführenden Beitrag und gegebenenfalls in Modul A3 für den auf Holz als Verpackungsmaterial zurückzuführenden Beitrag als negativer Wert (-1) zu verbuchen. Der Abfluss biogenen Kohlenstoffs ist, neben der Verbrennung von Holz in den Modulen A1 und A3, durch den gegebenenfalls in der Produktverpackung enthaltenen Holzanteil und den Holzanteil des Produkts selbst am Ende der Abfall-

eigenschaft (verwertbares Altholz Output) in den Modulen A5 (Verpackung) und C3 (Produkt) als Emission (+1) auszuweisen. Der biogene Kohlenstoff als materialinhärente Eigenschaft verlässt folglich mit dem Altholz das Produktsystem. Daher findet sich die Freisetzung des biogenen Kohlenstoffs, ausgedrückt als CO₂, in den Modulen A5 und C3⁴ wieder. Da in der vorliegenden Studie das Modul A5 nicht deklariert ist, wurde der holzinhärente Kohlenstoff aus eventuellen Holzanteilen in der Verpackung abweichend von DIN EN 15804:2014 und DIN EN 16485:2014 in Modul C3 verbucht, um die holzinhärente Kohlenstoffbilanz vollständig abzubilden.

Die CO₂-Neutralität von Holz, und damit die beschriebene Verrechnung, kann nach DIN EN 16485:2014 allerdings lediglich für Holz angenommen werden, das aus Ländern stammt, die unter Artikel 3.4 des Kyoto-Protokolls berichten oder für Holz, das aus Wäldern stammt, die nach etablierten Nachhaltigkeits-Zertifizierungssystemen zertifiziert sind. Die Umrechnung von absolut trockener Holzmasse (0 % Holzfeuchte) in CO₂ erfolgt über die im Holz enthaltenen Kohlenstoffmenge und das Verhältnis der Molmassen von CO₂ zu Kohlenstoff. Das Verhältnis beträgt 44/12 und der Kohlenstoffgehalt von absolut trockenem Holz wird mit 50 % angenommen. Daher verursacht die Verbrennung von 1 kg absolut trockener Holzmasse eine Emission von 1,832 kg CO₂.

Da die zeitliche Abfolge der holzinhärenten Kohlenstoffflüsse und die Speicherwirkung nur bei differenzierter Betrachtung der Zuflüsse und Abflüsse detailliert erkennbar sind, wird diese Darstellungsmöglichkeit im Rahmen der durchgeführten Studie verwendet.

Mit dem Energiegehalt als materialinhärenter Eigenschaft des hergestellten Produkts, d. h. der stofflich genutzten Primärenergie (Parameter PERM/PENRM), wird in ähnlicher Weise verfahren. Diese findet aus Sicht des Produktsystems nach DIN EN 16485:2014 in den Modulen A1 (Produkt) und A3 (Verpackung) Eingang in das Produktsystem (+1) und wird in den Modulen A5 (Verpackung) und C3 (Produkt) wieder aus dem Produktsystem exportiert (-1) und damit quasi wieder gutschrieben, da die stofflich genutzte Primärenergie im ausgedienten Produkt bzw. seiner Verpackung am Ende der Abfalleigenschaft immer noch vorliegt und somit in weiteren Produktsystemen genutzt werden kann. Die beschriebene Vorgehensweise bezüglich der stofflich genutzten Primärenergie wurde entsprechend der Vorgaben der Norm EN 16485 auch von Takano et al. (2015) angewandt. Auch an dieser Stelle wurde in der vorliegenden Studie, da das Modul A5 nicht deklariert ist, die in der Produktverpackung enthaltene Menge stofflich genutzter Primärenergie (PERM/PENRM) abweichend von DIN EN 15804:2014 und DIN EN 16485:2014 aus Modul C3 exportiert, um die Bilanz der stofflich genutzten Primärenergie zu vervollständigen.

⁴ DIN EN 16485:2014 spezifiziert dazu: „Der Gehalt von biogenem Kohlenstoff und der Energiegehalt von Produkten aus Holz und Holzwerkstoffen, wie in den Indikatoren „Einsatz der als Rohstoffe verwendeten, erneuerbaren Primärenergieträger“ und „Einsatz der als Rohstoffe verwendeten nicht erneuerbaren Primärenergieträger“ quantifiziert, gelten als spezifische Werkstoffeigenschaften. Als Ergebnis werden diese spezifischen Werkstoffeigenschaften aus Modul C3 exportiert.“

2.4 Ökobilanzen für Holzprodukte und Möbel

Seit Mitte der 1990er Jahre wurden von verschiedenen Forschungseinrichtungen Studien zur Ökobilanzierung von Rundholz, Schnittholz sowie weiteren Holzhalbwaren veröffentlicht. Einen umfassenden Überblick zur vorhandenen Literatur zu Ökobilanzen von Holzprodukten und Holzhalbwaren mit Stand April 2012 geben Rüter und Diederichs (2012: 19 ff.).

Die Ökobilanz-Methode nach DIN EN ISO 14040/44 wurde bisher nur in sehr wenigen Fällen auf Möbel angewendet. Als Vorbereitung der vorliegenden Studie wurden verfügbare Informationen über bereits durchgeführte Ökobilanz-Studien zu Möbeln zusammengetragen. Bei diesen Arbeiten handelt es sich mit Ausnahme der Carbon Footprint Studie der FIRA (2011) um Studien, die einzelne Möbelstücke als Untersuchungsgegenstand haben. Inwieweit diese repräsentativ für alle bei dem untersuchten Unternehmen hergestellten Möbel bzw. sogar für einen eingegrenzten industriellen Sektor sind, lässt sich anhand der verfügbaren Informationen nicht sagen. Einige dieser Studien sind mit dem Ziel der Verwendung in einer Umweltproduktdeklaration (EPD) angefertigt worden. Die detaillierten Hintergrundberichte zu diesen Deklarationen sind allerdings nicht allgemein verfügbar.

Einen guten Überblick über veröffentlichte vergleichenden Ökobilanzstudien zu Holzprodukten bietet die Zusammenstellung von Werner und Richter (2007). Hier wird konstatiert, dass es für Möbel zum Zeitpunkt der Betrachtung keine belastbaren vergleichenden Ökobilanzen gab. Daran hat sich bis heute nichts geändert, vergleichende Studien, deren Dokumentation Rückschlüsse auf die Vorgehensweise und die Qualität der Ergebnisse zulässt, können nicht gefunden werden.

Die Ergebnisse von bisher durchgeführten Studien sind nicht vergleichbar oder als Referenzwert heranzuziehen, da sich die Untersuchungsgegenstände, Systemgrenzen und auch die Vorgehensweisen beträchtlich unterscheiden. Erkenntnisse zur verwendeten Methodik können dennoch aus diesen Studien abgeleitet werden. Vorhandene Studien zur Ökobilanzierung der Möbelfertigung im weiteren Sinne werden im Folgenden aufgelistet:

- AHEC (o. J.) – Sustainable design of Chair design Concepts.
- Arper (2011) , HAG (2008) , RH Chairs (2009) – Ökobilanzen für Stühle, die in EPDs Verwendung fanden.
- Babarenda Gamage und Boyle (2006) – Developing the Use of Environmental Impact Assessment in Commercial Organisations: A Case Study of Formway Furniture.
- Babarenda Gamage et al. (2008) – Life cycle assessment of commercial furniture: a case study of Formway LIFE chair.
- Bovea und Vidal (2004) – Materials selection for sustainable product design: a case study of wood based furniture eco-design.
- Cinar (2005) – Eco-design and furniture: Environmental impacts of wood-based panels, surface and edge finishes.

- Dietz (2005) – Life cycle assessment of office furniture products.
- Fet und Skaar (2006) – Eco-labeling, product category rules and certification procedures based on ISO 14025 requirements.
- Fet et al. (2009) – Product category rules and environmental product declarations as tool to promote sustainability products: experiences from a case study of furniture production.
- FIRA (2011) – Benchmark carbon footprints of furniture products.
- Gonzalez et al. (2008) – Life Cycle Assessment of Mexican School Furniture.
- Gonzalez-Garcia et al. (2011) – Assessing the global warming potential of wooden products from the furniture sector to improve their ecodesign.
- Gonzalez-Garcia et al. (2012) – Eco-innovation of a wooden childhood furniture set: An example of environmental solutions in the wood sector.
- HAG (2008) – Environmental Declaration ISO 14025 HAG Capisco 8106.
- Iritani et al. (2015) – Sustainable strategies analysis through Life Cycle Assessment: a case study in a furniture industry.
- Kutnar (2011) – Sustainable development in wood industry.
- Laemlaksakul und Sangsai (2013) – A Study of Ecological Products by Life Cycle Assessment in Thai Furniture Industry.
- Lioi (2014) – Environmental life cycle assessment study about material substitution in office desks in Germany. Masterarbeit, Technische Universität München.
- Mirabella et al. (2014) – LCA for assessing environmental benefit of eco-design strategies and forest wood short supply chain: a furniture case study.
- Nonnenmacher, U. (1999) – Besondere Aspekte der ökologischen Bewertung der Oberfläche von Möbeln. Diplomarbeit, Universität Hamburg.
- Scandinavian Business Seating (2014, 2015) – Environmental Product Declaration in accordance with ISO 14025. HÅG H04 4400; Environmental Product Declaration in accordance with ISO 14025. RH Mereo 220 with armrests.
- Swill (2010) – Hessens Tischler starten Projekt mit CO₂-Rechner.
- Skaar und Jorgensen (2013) – Integrating human health impact from indoor emissions into an LCA: a case study evaluating the significance of the use stage.
- Spitzley et al. (2006) – Life-Cycle Assessment of Office furniture Products. Final report on the study of three Steelcase office furniture.
- Steelcase (2004) – Environmental Product Declaration. A presentation of quantified environmental life cycle product information for the Think task chair.
- Svenheim Mobelindustrie (2015) – Environmental Product Declaration in accordance with ISO 14025. Fix table 1800x800x26 mm.

- Weitzel, P. (1999) – Ökologische Evaluierung einer Möbelfertigung. Diplomarbeit, Universität Hamburg.
- Wenker, J. L. (2010) – Ökobilanzierung in der Möbelbranche. Klassifizierung unterschiedlicher Möbel sowie praktische Durchführung einer Ökobilanz. Masterarbeit, Universität Hamburg.
- Wiesner-Hager (2014), Anonymus (2012) – EPDs für diverse Büromöbel des österreichischen Herstellers Wiesner-Hager.

2.5 Ableitung des Handlungsbedarfs

Aus den oben identifizierten existierenden Studien geht hervor, dass es einige wenige Ergebnisse für die ökobilanzielle Betrachtung einzelner Möbelstücke gibt. Über die Repräsentativität dieser ausgewählten Möbelstücke auf Werksebene lässt sich keine Aussage treffen. Es lässt sich daher nicht feststellen, ob die Gegebenheiten im Werk mit allen Stoff- und Energieflüssen in den Ergebnissen verarbeitet worden sind. Zum Beispiel entfallen nicht unwesentliche Mengen der elektrischen Energie auf Beleuchtung oder andere Infrastrukturelemente. Es ist nicht bekannt ob und wie diese Umstände berücksichtigt worden sind. Daher muss es als notwendig erachtet werden, für werksspezifische Durchschnittsmöbel Ökobilanzdaten bereitzustellen. Dabei muss sichergestellt werden, dass alle im Werk anfallenden Aufwendungen auch in der Ökobilanzierung Berücksichtigung finden. Dies kann nur durch eine top-down Datenerhebung, ausgehend von der Werksebene, realisiert werden. Ferner sollte die Transparenz bei durchgeführten Untersuchungen erhöht werden. Die Befolgung der Regeln nach DIN EN 16485:2014 zum Umgang mit der Bilanz des biogenen Kohlenstoffs, welcher eine materialinhärente Eigenschaft von Holzprodukten ist, sowie die Beachtung der DIN EN 15804:2014 im Hinblick auf die Einteilung des Lebenswegs in Module als einheitlich definierte Systemgrenzen sind dabei essentiell.

Für die vorliegende Studie wurden in Zusammenarbeit mit dem Verband der Deutschen Möbelindustrie e. V. (VDM) industriell hergestellte Möbel betrachtet. Handwerklich in Tischlereibetrieben hergestellte Möbel waren nicht Untersuchungsgegenstand dieses Projekts.

3 Ziel und Untersuchungsrahmen

Nachfolgend werden die Systemgrenzen, Allokationsaspekte sowie die angewandte Methode der durchgeführten Wirkungsabschätzung dargelegt.

3.1 Systemgrenzen

Direkt zu Beginn einer Ökobilanzstudie müssen die Systemgrenzen festgelegt sowie das betrachtete Produktsystem bzw. die betrachteten Produktsysteme identifiziert werden. Nur so kann ein strukturiertes Vorgehen bei Datenerhebung, Sachbilanzerstellung und schließlich Wirkungsabschätzung und Auswertung sichergestellt werden.

Im Rahmen dieser Studie wurde die Möbelherstellung von der Wiege bis zum Werkstor betrachtet und um ein Entsorgungsszenario erweitert (cradle-to-gate mit Optionen). Die Möbelfabrik (Modul A3, Herstellung) stellt dabei das Vordergrundsystem⁵ dar, in dem eine Primärdatenerhebung durchgeführt wurde. Aber auch alle Vorketten, d. h. die Umweltwirkungen der Bereitstellung der Materialien und Halbwaren, die in der Möbelherstellung benötigt werden, waren von der Wiege an Bestandteil der Betrachtung. Die Aktivitäten zur Produktion der Materialien und Halbwaren sowie deren Transport zur Möbelfabrik stellen dabei das Hintergrundsystem⁶ dar (Module A1 und A2), für das auf generische Daten aus Datenbanken zurückgegriffen wird. Die Betrachtung endet mit den verpackten und zum Versand vorbereiteten Möbelstücken. Dies entspricht einer Untersuchung der Module A1 bis A3, wie sie in der DIN EN 15804:2014 definiert sind. Zusätzlich wurde ein Entsorgungsszenario entwickelt, das die Module C2 und C3 abdeckt. Die Umweltwirkung im Entsorgungsstadium hängen stark von den materialinhärenten Eigenschaften des Produkts (z. B. Masse, Heizwert oder Elementarzusammensetzung) ab. Daher können im Rahmen des entwickelten Entsorgungsszenarios Aussagen über die Umweltauswirkungen der Entsorgung getroffen werden. Potentiale aus dem Recycling bzw. der energetischen Verwertung nach Erreichen des Endes der Abfalleigenschaft werden in Modul D, welches außerhalb des Produktlebenszyklus liegt, abgebildet. Graphisch sind die Systemgrenzen für die untersuchten Produktsysteme in Abbildung 3.1 dargestellt.

⁵ Detaillierte Informationen zu Abläufen und Prozessen innerhalb des Vordergrundsystems (Möbelherstellung, Modul A3) finden sich in Kapitel 4.1.1.5 (S. 28) und bei Wenker (2010: 21 ff.) sowie Soiné (1995).

⁶ Prozessbeschreibungen zu Aktivitäten im Hintergrundsystem (Vorketten und Transporte, Module A1 und A2) können für holzbasierte Werkstoffe Rüter und Diederichs (2012) sowie Hasch (2002) entnommen werden. Für alle übrigen Prozesse geben die Prozessdokumentationen von PE International (o. J.) Auskunft.

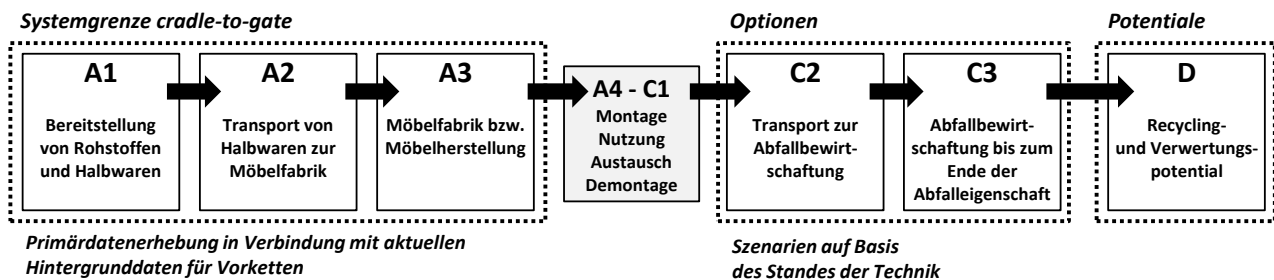


Abbildung 3.1: Systemgrenzen für die Ermittlung der Umweltauswirkungen der Möbelherstellung

Es wurden keine bekannten Stoff- oder Energieflüsse vernachlässigt. Für Stoffströme, für die aus den verwendeten Datenbanken⁷ keine exakt passenden Vorkettendaten vorliegen, wurde bei hoher Massenrelevanz ein Datensatz modelliert, basierend auf eigenen Recherchen und zum Teil auch eigenen Datenerhebungen. Bei geringer Massenrelevanz und aufgrund von Expertenwissen geringer zu erwartender Umweltrelevanz wurde ein ähnlicher Datensatz aus den verwendeten Datenbanken herangezogen.

3.2 Allokation und Ende der Abfalleigenschaft

Als Nebenprodukt fallen bei der Herstellung von Möbeln (Modul A3) Holzspäne und teilweise auch stückige Holz- bzw. Holzwerkstoffreste an. Als Verwendung dieser Späne kommt in erster Linie eine Verbrennung zur Erzeugung thermischer Energie in Betracht, da die Späne einen hohen Anteil an Staub und Verunreinigungen enthalten. Nach erfolgter Fraktionierung ist aber auch ein stofflicher Einsatz in der Holzwerkstoffindustrie möglich.⁸ Ein beträchtlicher Teil der anfallenden Späne wird in der Möbelfabrik verbrannt, um die notwendige thermische Energie für die Möbelherstellung zu erzeugen und ist daher nicht als Nebenprodukt zu betrachten. Die überschüssigen Späne und Holzreste werden als Industrierestholz extern verkauft.⁹ Hier wäre nach ökonomischem Wert zu allozieren, da der Unterschied im Betriebseinkommen zwischen Hauptprodukt (Möbel) und Nebenprodukt (verkaufte Späne) groß ist. Die verkauften Späne leisten allerdings einen sehr geringen Beitrag zum Betriebseinkommen, so dass die Allokation entsprechend DIN EN 15804:2014 vernachlässigt wird. Der Anteil der Späne am Betriebseinkommen liegt für die betrachteten Unternehmen je nach verkaufter Spänemenge und erzieltm Umsatz zwischen

⁷ Als Datenbanken werden GaBi Professional, Version 6.108 (PE International, 2014) sowie die Ergebnisse aus dem Thünen-Projekt ÖkoHolzBauDat (Rüter und Diederichs, 2012; Diederichs, 2014a,b) verwendet.

⁸ Der Einsatz von stückigen Holzresten und Spänen (Industrierestholz als Nebenprodukt) aus der Möbelherstellung in der Holzwerkstoffherstellung wird vor allem von Unternehmen praktiziert, die sowohl Holzwerkstoffe als auch Möbel bzw. Möbelteile produzieren. So ist eine sortenreine Rückführung mit geringem Aufwand möglich.

⁹ Nicht alle Unternehmen verkaufen Späne und/oder Holzreste als Nebenprodukt. In einigen Unternehmen der Möbelindustrie werden alle anfallenden Späne und/oder Holzreste im Werk verbrannt, um thermische Energie für die Produktion zu erzeugen.

0,004 % und 0,61 %¹⁰ und damit deutlich unter der Bemessungsgrenze von 1 %. Der Anteil der Holz und Holzwerkstoffe, die zerspant und dann als Nebenprodukt verkauft werden, ist in der Ökobilanzmodellierung im Gegensatz zur vollständig dargestellten Sachbilanz nicht berücksichtigt, d. h. die Herstellung dieses Anteils wird nicht als Vorkette betrachtet. Damit werden dem Hauptprodukt lediglich der Energie- und Betriebsmittelanteil angelastet, welcher bei Vorliegen der Voraussetzungen für eine Coprodukt-Allokation dem Nebenprodukt zugewiesen werden müsste. Diese Zusatzbelastung des deklarierten Produkts (mit Energie- und Betriebsmittelanteilen des Nebenprodukts) ist als konservativ anzusehen. In der gesamten Modellierung des Vordergrundsystems treten daher keine Coprodukt-Allokationen auf. Die Allokationsmethoden, die den verwendeten Hintergrunddatensätzen zu Grunde liegen, sind der jeweiligen Dokumentation dieser Datensätze zu entnehmen.¹¹

Durch die Beachtung der Systemgrenzen nach DIN EN 15804:2014 endet das Produktsystem in Modul C3 mit dem Erreichen des Endes der Abfalleigenschaft. Die in Modul C3 zur Entsorgung anstehenden Altmöbel erreichen als Altholz nach Sortieren und Hacken das Ende der Abfalleigenschaft. Das Verwertungsszenario in Modul D liegt folglich außerhalb der Systemgrenzen und stellt die Potentiale des möglichen Einsatzes der Sekundärstoffe bzw. Sekundärbrennstoffe, die das untersuchte Produktsystem *Möbel* verlassen, in einem weiteren Produktsystem dar. In diesem Szenario werden die metallischen Bestandteile (Beschläge) stofflich verwertet und der Rest (Altholz) energetisch verwertet. Neben den Lasten der Verbrennung des Altholzes werden für die daraus erhaltenen Strom- und Wärmemengen Gutschriften für die Substitution fossiler Energieträger berechnet. Für die Berechnung der Gutschriften aus der energetischen Verwertung des Altholzes in Modul D (Substitution von Wärme aus Erdgas sowie Elektrizität aus dem deutschen Strommix) ist nach DIN EN 15804:2014 die Ermittlung des Altholz-Nettoflusses notwendig. Dafür wird von der Altholzmenge am Ende des Moduls C3, die das Ende der Abfalleigenschaft erreicht hat, diejenige Altholzmenge abgezogen, die in der Möbelherstellung zur Energieerzeugung eingekauft wurde. Bei den für diese Studie befragten Unternehmen wurde allerdings keinerlei Altholz zur Energieerzeugung eingekauft, sodass die Altholzmenge in Modul C3 der in Modul D energetisch verwerteten Altholzmenge entspricht.

¹⁰ Zur Berechnung des Anteils der als Nebenprodukt verkauften Späne am Betriebseinkommen wird der Erlös der verkauften Spänemenge ins Verhältnis zum Umsatz der Unternehmen gesetzt. Als Grundlage für den Wert der Späne wurde eine Abschätzung basierend auf Rüter und Diederichs (2012: 69) von 84 €/t angenommen. Dies ist als konservativ anzusehen, da diese Preise für nicht verunreinigte Späne aus der Sägeindustrie gezahlt werden, jedoch nicht für mit Fremdbestandteilen verunreinigte Späne aus der Möbelindustrie. Der Beitrag der Späne zum Betriebseinkommen ist entsprechend hoch angesetzt worden, um die Allokation gegebenenfalls auf Basis einer möglichst sicheren Entscheidung vernachlässigen zu können.

¹¹ Durchgeführte Allokationen innerhalb von Datensätzen der holzbasierten Vorketten (Modul A1, Hintergrundsystem), die sämtlich dem Projekt ÖkoHolzBauDat (Rüter und Diederichs, 2012) entnommen wurden, folgen ebenfalls den Regeln der DIN EN 15804:2014. Informationen zu angewandten Allokationsmethoden innerhalb von generischen Datensätzen aus der GaBi Professional Datenbank können der spezifischen Dokumentation zu den einzelnen Datensätzen (PE International / thinkstep, o. J.) sowie den allgemeinen Modellierungsgrundsätzen von PE International (PE International, 2013) entnommen werden.

3.3 Angewandte Wirkungsabschätzung

Die Auswahl der Wirkungskategorien und der weiteren betrachteten Umweltparameter erfolgt auf Grundlage der DIN EN 15804:2014. Neben den Ergebnissen der klassischen Wirkungsabschätzung fließen auch Informationen aus der Sachbilanz, wie beispielsweise verschiedenen Parameter zum Primärenergiebedarf, in die Ergebnisdarstellung ein. Die Wirkungsabschätzung als solche wird nach der am Centrum voor Milieukunde in Leiden (CML) entwickelten Methode (Heijungs et al., 1992; Guinée et al., 2002) durchgeführt.

4 Methoden und Vorgehensweisen

Dieses Kapitel beschreibt detailliert die Vorgehensweise bei der Ökobilanzerstellung. Ein wesentliches Element dabei ist die Klassifizierung von Produkten und Prozessen in der Möbelherstellung vor dem Hintergrund der Komplexität der Möbelindustrie in Bezug auf die hergestellten Produkte und durchgeführten Prozesse. Besonders konzeptionelle Überlegungen zur Bildung von funktionalen Gruppen sowie zur Datenberechnung, insbesondere der Verteilung der Werksaufwendungen auf die verschiedenen hergestellten Produktgruppen, werden dargelegt.

4.1 Strategien zum Umgang mit dem Produktsystem Möbel

Das Produktsystem *Möbel* in seiner Gesamtheit ist in mehrfacher Hinsicht äußerst komplex. Zum einen ist die sehr große Variationsbreite mit einer hohen Anzahl an verschiedenen individuellen Möbelstücken bei Losgröße-1-Fertigung inklusive einer unüberschaubaren Anzahl eingesetzter Materialien bzw. Komponenten, und zum anderen der Fertigungsprozess selbst als komplex zu bezeichnen. Schlussendlich sorgen die vielen verschiedenen Funktionen und deren Kombinationen, die die unterschiedlichen Möbelstücke erfüllen, für Komplexität. Das System muss daher aufgeteilt werden in verschiedene Teilsysteme. Dies erfolgt anhand verschiedener, eigens für diese Studie entwickelter, Klassifizierungen und der Verteilung bzw. Zuordnung der Werksdaten auf diese Gruppen bzw. Klassen. Die Klassifizierung nach dem Merkmal Funktion ist im Rahmen dieser Studie das übergeordnete Element, da so dem Grundgedanken der DIN EN ISO 14040/44 Rechnung getragen wird.

4.1.1 Entwickelte Klassifizierungen

In dieser Studie sollte die Datenerhebung auf Werksebene mit einer anschließenden Verteilung auf die hergestellten Produkte (top-down Ansatz) erfolgen. Diese wurde im Rahmen der Datenberechnung, d. h. dem Bezug auf die deklarierte Einheit, mit einem bottom-up Ansatz kombiniert. Daher war es erforderlich zunächst einige Klassifizierungen zu entwickeln. Nur so kann mit der nahezu unendlich großen Anzahl von verschiedenen Möbelstücken, die eine Möbelfabrik herstellt, in der Bilanzierung sinnvoll umgegangen werden. Die Klassifizierungen dienen in erster Linie der Komplexitätsreduktion. Die Komplexitätsreduktion ist eine in der Ökobilanzierung immer wieder anzutreffende Vorgehensweise, um das zu untersuchende System fassbar zu machen, beispielsweise bei Behrendt et al. (1998) oder Ekener-Petersen und Finnveden (2013). Das System wird in der Modellierung mit einem geringeren Komplexitätsgrad abgebildet, als es in der Wirklichkeit vorzufinden ist. Der Grad der Komplexitätsreduktion sollte dabei möglichst gering sein. Es wird bei den verschiedenen Klassifizierungen auf den entsprechenden Grad der Komplexitätsreduktion eingegangen. Für die Beschreibung des Grades der Komplexitätsreduktion werden dabei die qualitativen Attribute *hoch*, *mittel* und *gering* verwendet.

4.1.1.1 Funktionelle Gruppen

Ein Produktsystem ist nach DIN EN ISO 14040:2009 die „Zusammenstellung von Prozessmodulen mit Elementar- und Produktflüssen, die den Lebensweg eines Produktes modelliert und die eine oder mehrere festgelegte Funktionen erfüllt“. In dieser cradle-to-gate-plus-Optionen Studie wird der Lebensweg nicht vollständig abgebildet, sondern nur bis zur erfolgten Herstellung der Produkte. Die Nutzungsphase wird nicht betrachtet und das Ende des Lebenswegs über ein Szenario abgebildet. Die Zusammenstellung der Prozessmodule besteht daher aus der Herstellung der Rohstoffe bzw. Halbwaren, dem Transport zur Möbelfabrik und der Möbelherstellung in der Möbelfabrik sowie dem Szenario zum End-of-Life (EoL).

Der zweite Aspekt, den der Begriff *Produktsystem* beschreibt, ist im Fall der Möbelherstellung deutlich schwieriger zu umreißen – die Funktion des Produkts bzw. des Produktsystems und daraus resultierend die funktionelle Einheit. Die für die Ökobilanzierung notwendige Festlegung einer funktionellen Einheit stellt bei der Produktvielfalt, die eine Möbelfabrik herstellt, eine Herausforderung dar. Die Funktionen des betrachteten Produktsystems müssen deutlich beschrieben werden, um eine sinnvolle funktionelle Einheit festlegen zu können. In der DIN EN ISO 14040/44 ist die funktionelle Einheit als Quantifizierung der angegebenen Funktionen und somit als Bezugsgröße für die Input- und Outputflüsse umschrieben. Es müssen bei der Ökobilanzierung von Produkten einer Möbelfabrik daher mehrere Produktsysteme mit unterschiedlichen Funktionen betrachtet werden.

In Anlehnung an Josten et al. (2009: 320) können vier verschiedene Funktionsbereiche oder Anwendungszwecke unterschieden werden.

- Aufbewahrungsmöbel
- Ablagemöbel
- Sitzmöbel
- Liegemöbel

Die oben dargestellten Bereiche sollen als erster Ausgangspunkt für die Bildung sogenannter *funktioneller Gruppen*, in Anlehnung an die in der DIN EN ISO 14040:2009 definierte *funktionelle Einheit*, für die weitere Einordnung der Möbel innerhalb dieser Studie dienen.

Treten Funktionskombinationen auf, werden die Möbelstücke entsprechend der Hauptfunktion klassifiziert. Ein Sideboard ist ein Aufbewahrungsmöbel, auch wenn die Deckplatte zusätzlich Abstellfläche bietet. Weitere Funktionen, wie beispielsweise Designfunktionen, sind im Rahmen des Konzeptes der funktionellen Einheit aus DIN EN ISO 14040/44 nicht fassbar und daher nicht Gegenstand dieser Studie. Diese Vernachlässigung weiterer möglicher Funktionen stellt eine Komplexitätsreduktion im oben genannten Sinn dar. Der Grad der Komplexitätsreduktion ist dabei als *gering* zu bezeichnen, da die Hauptfunktion des Produktsystems, für deren Erfüllung es primär hergestellt wurde, berücksichtigt wird.

Küchenmöbel haben eine Vielzahl von Funktionen, die erst durch die Kombination der verschiedenen Küchenelemente zur Einbauküche nutzbar werden. Die Funktion der Küchenmöbel lässt sich nicht auf eine einzelne Hauptfunktion reduzieren. Es kann daher für Küchenmöbel keine Einheit zur Quantifizierung der Funktion angegeben werden, ebenso wenig wie eine Zuordnung zu den oben erwähnten vier Funktionsbereichen erfolgen kann. Eine separate Betrachtung der verschiedenen Elemente einer Einbauküche (Hochschrank, Unterschrank, Hängeschrank, etc.) erscheint nicht sinnvoll, da diese nur in der Kombination Einbauküche ihre volle Funktion entfalten.¹² Des Weiteren haben umfangreiche Recherchen in den teilnehmenden Betrieben der Küchenmöbelindustrie ergeben, dass die Datenerhebung getrennt nach Einzelkomponenten nicht durchführbar ist. Daher stellen Küchenmöbel eine separate Gruppe in der Einteilung nach Funktion dar und werden in ihrer Gesamtheit untersucht. Möbelteilen kann aufgrund der fehlenden eigenständigen Funktion ebenfalls keine funktionelle Einheit zugewiesen werden. Auch Teilen für den Innenausbau kann losgelöst vom Einzelfall keine Funktion zugeordnet werden. Sie müssen aber bei der Stoff- und Energieflusserfassung aus Gründen der Verteilung der Werksaufwendungen unbedingt mit erfasst werden, damit die ihnen anzulastenden Umweltwirkungen nicht fälschlicherweise den Möbeln in den funktionellen Gruppen angelastet werden.

Ist die Funktion eines Produktsystems nicht bekannt oder kann nicht quantifiziert werden, so ist nach DIN EN 15804:2014 statt der funktionellen Einheit die sogenannte *deklarierte Einheit* als mathematische Bezugsbasis für die Sachbilanzierung und Wirkungsabschätzung zu verwenden. Dies ist auch erforderlich, falls nicht der gesamte Lebenszyklus von der Wiege bis zur Bahre in der Studie abgebildet wird. Es sprechen, wie nachfolgend erläutert wird, einige Gründe dafür, bei der Ökobilanzierung von Möbeln die deklarierte Einheit statt der funktionellen Einheit als Berechnungsbasis heranzuziehen. Ein Grund ist zunächst, dass bei einem top-down Ansatz zur Datenerhebung die insgesamt in einem Werk jährlich hergestellte Menge an Stauraum oder Ablagefläche nicht ermittelbar ist. Daher ist auch die Funktion der hergestellten Möbel auf Werksebene nicht quantifizierbar. Dies wäre allerdings zwingend notwendig, um die Funktion der hergestellten Aufbewahrungsmöbel bzw. Ablagemöbel auf Ebene der funktionellen Gruppen zu quantifizieren. Ferner ist der Materialeinsatz, um eine bestimmte funktionelle Einheit herzustellen, sehr variabel und ist nicht nur von technischen oder konstruktiven Gegebenheiten abhängig. So könnte eine funktionelle Einheit beispielsweise 1 m³ Stauraum sein. Ob dieser Kubikmeter von einer 16 mm, 19 mm oder einer noch stärkeren Spanplatte umschlossen wird, ist nicht immer eine Frage der technischen Notwendigkeit. Es ist also im Rahmen dieser Studie, wo es um eine *top-down* Betrachtung von der Werksebene aus geht, unabdingbar, mit der deklarierten Einheit kg Möbel in den jeweiligen funktionellen Gruppen zu arbeiten. Folgerichtig werden in dieser Studie keine Ökobilanzergebnisse für bestimmte funktionelle Einheiten ausgewiesen. Später können über die deklarierte Einheit als Hilfseinheit einem Möbelstück mit einer definierten Funktion oder einer bestimmten funktionellen Einheit, charakterisiert über die jeweilige Masse, die entsprechenden Umweltwirkungen zugeordnet werden.

¹² Zum Beispiel ist ein Unterschrank ohne Arbeitsplatte nicht funktionsfähig und lediglich Hängeschränke ohne Arbeitsplatte darunter sind wenig sinnvoll.

Da die Funktion von Möbeln auch sehr subjektive Elemente beinhaltet, wie beispielsweise optisches Gefallen und Designaspekte, ist die Summe der Funktionen letztlich nicht quantifizierbar. Die Grundidee, die hinter der Angabe von potentiellen Umweltwirkungen bezogen auf 1 kg Möbel steht, ist die reine Information losgelöst von einer oder mehreren Funktionen. Somit können die potentiellen Umweltwirkungen von Möbeln objektiviert über die deklarierte Einheit 1 kg Möbel dargestellt werden. Kommt es zu späteren Zeitpunkten zu Vergleichen, so können über die objektive Basis Kilogramm zwei Möbelstücke miteinander verglichen werden, unabhängig davon, ob diese objektiv oder subjektiv funktionsgleich sind. Ein Kunde im Möbelhaus oder ein Architekt kann zwei Möbelstücke der engeren Auswahl, die technisch, optisch und von der zugedachten Funktion her seinen Ansprüchen genügen, über die potentiellen Umweltwirkungen je kg multipliziert mit der Masse in Bezug auf ihre gesamten potentiellen Umweltwirkungen vergleichen.

Nachfolgende Tabelle 4.1 gibt eine Übersicht über die gängigsten Funktionen von Möbeln und die daraus resultierenden funktionellen Gruppen. Ferner ist die in einer Gruppe jeweils deklarierte Einheit dargestellt, für die im weiteren Verlauf Ökobilanzergebnisse bereitgestellt werden. Bei hergestellten Produkten, die keine eigenständige Funktion haben, oder deren Funktion nicht quantifiziert werden kann, sind der Anwendungsbereich und die deklarierte Einheit angegeben.

Tabelle 4.1: Funktionen bzw. Anwendungsbereiche von Möbeln und daraus resultierende funktionelle und deklarierte Einheiten

Funktion	funktionelle Gruppe	funktionelle Einheit	deklarierte Einheit
Aufbewahren: Bereitstellung eines umschlossenen Raumes zur Aufbewahrung von Gegenständen	Aufbewahrungsmöbel	m ³ umschlossener Stauraum	1 kg Aufbewahrungsmöbel
Ablegen: Bereitstellung einer Ablagefläche	Ablagemöbel	m ² Abstellfläche	1 kg Ablagemöbel
Sitzen: Bereitstellung von Sitzplätzen	Sitzmöbel	Anzahl Sitzplätze	1 kg Sitzmöbel
Liegen: Bereitstellung von Liegeplätzen	Liegemöbel	Anzahl Liegeplätze	1 kg Liegemöbel
Anwendungsbereich	Gruppe	funktionelle Einheit	deklarierte Einheit
Küche: Bereitstellung von Stauraum, Ablagefläche sowie Möglichkeiten zur Zubereitung von Speisen	Küchenmöbel	---	1 kg Küchenmöbel
Innenausbau: Vorgesehen für die Verwendung im Innenausbau (diverse Funktionen)	Teile für den Innenausbau	---	1 kg Innenausbau-teile
Vorprodukt: Vorgesehen für Verwendung in Möbeln (Halbwaren)	Möbelteile	---	1 kg Möbelteile

4.1.1.2 Materialklassen

Da verschiedene Materialien verschiedene Fertigungsabläufe im Werk verlangen, ist es essentiell, eine Klassifizierung bezüglich der eingesetzten Materialien zu verwenden. Eine Einteilung nach dem verwendeten Trägermaterial und der anschließenden Oberflächenbehandlung wurde bereits im Rahmen einer Masterarbeit entwickelt (Wenker, 2010: 18 ff.). Diese Einteilung bietet auch für die vorliegende Studie eine Hilfestellung, insbesondere um den innerbetrieblichen Energieverbrauch verursachergerecht zu verteilen.

Nach Wenker (2010: 18) determinieren die verwendeten Materialien die Prozessschritte, die notwendig sind, um diese zum fertigen Möbelstück zu verarbeiten. So benötigt z. B. ein Möbel aus melaminharzbeschichteter Spanplatte, die bereits beschichtet eingekauft wird, keine Flächenbeschichtung im Werk mehr. Genauso wenig benötigt dieses Möbelstück eine Lackierung in einer Oberflächenstraße. Es sind daher in der Möbelfabrik deutlich weniger Prozesse notwendig für ein melaminharzbeschichtetes Möbel, als für ein furniertes, das anschließend klar lackiert wird. Daher dürfen dem melaminharzbeschichteten Möbel keine Aufwendung aus Prozessen der Flächenbeschichtung und Oberflächenbehandlung zugeordnet werden.

Für die adäquate Berücksichtigung der je nach eingesetzten Materialien benötigten Prozessschritte ist bereits bei Wenker (2010: 19) eine Matrix entwickelt worden, die die Einordnung von Möbeln anhand der beiden Kriterien Trägermaterial und Oberfläche ermöglicht. Die für diese Studie relevanten Teile der entwickelten Klassifizierung zeigt Abbildung 4.1.

		A	B	C
Trägermaterial		Massivholz	Holzwerkstoff	Massivholz und Holzwerkstoff ¹³
Oberfläche				
1	Furnier¹⁴		HWS / Furnier B1	MH, HWS / Furnier C1
2	Klarlack	MH / Klarlack A2		
3	pigmentierter Lack (Farblack)	MH / Farblack A3	HWS / Farblack B3	MH, HWS / Farblack C3
4	geölt/gewachst	MH / Öl, Wachs A4		
5	kunststoffbeschichtet¹⁵		HWS / Kunststoff B5	MH, HWS / Kunststoff C5
6	Stoff/Leder/ Sonstiges	MH / Stoff... A6	HWS / Stoff... B6	MH, HWS / Stoff... C6

Abbildung 4.1: Klassifizierung nach Trägermaterial und Oberfläche, in Anlehnung an Wenker (2010: 19)

Leere Felder in der obigen Abbildung stellen in der industriellen Möbelfertigung nicht relevante Kombinationen von Trägermaterial und Oberfläche dar. Die im Original enthaltene Spalte D (Wenker, 2010: 19) mit großen Anteilen von Nichtholzbestandteilen als Trägermaterial ist für die Verteilung der Energieverbräuche innerhalb der Möbelfabrik nicht relevant, da die Nichtholzbestandteile wie Glas, Kunststoffbauteile oder Metallgestelle nicht in der Möbelfabrikation gefertigt werden.¹⁶ Nach der Funktion als übergeordnetem Klassifizierungsmerkmal erfolgt somit die weitere Einteilung nach den im Werk mit Energieaufwand verarbeiteten (nicht nur montierten) Materialien.

Der Grad der Komplexitätsreduktion ist bei der Einordnung aller in einem Unternehmen hergestellten Möbel in die oben dargestellten Materialklassen¹⁷ als *mittel* zu bezeichnen. Die Tatsache,

¹³ Diese Klasse repräsentiert sogenannte teilmassive Möbel mit unterschiedlichen Anteilen an Holz und Holzwerkstoffen.

¹⁴ Furnierte Flächen erfordern eine anschließende Oberflächenbehandlung, in der Regel mit Klarlack, bisweilen auch mit Farblack.

¹⁵ Kunststoffbeschichtet ist eine Beschichtung mit Melaminharzpapier, HPL oder Ähnlichem.

¹⁶ Bei Unternehmen, die eine Metallwarenfertigung bzw. Schlosserei betreiben, muss diese getrennt von der Möbelherstellung betrachtet werden, da Metallwaren eine in der Möbelfertigung eingesetzte Halbware sind und deren Herstellung kein integraler Bestandteil einer Möbelfabrik ist.

¹⁷ Zu beachten ist an dieser Stelle, dass die Bezeichnung der Materialklassen als Kombination aus Buchstabe und Zahl nicht mit den Modulbezeichnungen nach DIN EN 15804:2014 verwechselt werden darf.

dass aus praktischen Gründen der Datenerhebung¹⁸ lediglich rein qualitativ eingeordnet werden kann, lässt auf den mittleren Grad der Komplexitätsreduktion schließen.

4.1.1.3 Produktgruppen

Die Produktgruppe stellt die höchste Auflösungsmöglichkeit in der vorliegenden Studie dar und ist unbedingt erforderlich, um die Klassifizierungen nach funktioneller Gruppe und Materialklasse miteinander kombinieren zu können. Produktgruppen sind von den Unternehmen relativ frei definierbar. Die in einem Werk gefertigten Möbel werden nach den Unterscheidungsmerkmalen *funktionelle Gruppe* und *Materialklasse* den verschiedenen Produktgruppen zugeordnet.¹⁹ So formen z. B. Kleiderschränke genauso wie Esstische jeweils eine Produktgruppe. Innerhalb der Kleiderschränke stellen jedoch sowohl Kleiderschränke aus melaminharzbeschichteter Spanplatte als auch Kleiderschränke aus furnierter Spanplatte je eine Produktgruppe dar. Essentiell für dieses Projekt war zudem die Klassifizierung nach Funktion als übergeordnetes Klassifizierungsmerkmal. Daher können Tische und Schränke, auch wenn sie aus demselben Material bestehen, niemals in eine Produktgruppe sortiert werden. Die höchstmögliche Auflösung trennt daher nach funktioneller Gruppe sowie Materialklasse und damit nach Fertigungstechnologie.

Tabelle 4.2: Beispiel für das Zusammenspiel von Produktgruppe, Materialklasse und funktioneller Gruppe

	Produktgruppe 1	Produktgruppe 2	Produktgruppe 3
Bezeichnung	Kleiderschränke	Kleiderschränke	Esstische
Materialklasse	B1 HWS/Furnier	B5 HWS/Kunststoff	B1 HWS/Furnier
Funktionelle Gruppe	Aufbewahrungsmöbel	Aufbewahrungsmöbel	Ablagemöbel

Tabelle 4.2 stellt die Auflösungsmöglichkeiten für die Daten innerhalb der vorliegenden Studie dar. Die Produktgruppe ist das von den Unternehmen zu definierende Element. Für jede definierte Produktgruppe wurde die Materialklasse sowie die funktionelle Gruppe bestimmt. In der Praxis haben die Unternehmen in der Regel zunächst nach Materialklasse differenziert und daraufhin die Produktgruppe einer funktionellen Gruppe zugeordnet, da die Differenzierung nach Funktion für das Tagesgeschäft der Produktionsplanung und -steuerung von untergeordneter Bedeutung

¹⁸ Es kann mit der derzeit in der Möbelindustrie vorliegenden Datenstruktur keine quantitative Einordnung in Materialklassen im Sinne von Anteilen der Materialien am Produktgewicht durchgeführt werden.

¹⁹ Mit der Materialklasse sind gleichzeitig die benötigten Fertigungsprozesse weitgehend determiniert. Die in Abbildung 4.1 vorgestellte Matrix ist lediglich eine Hilfestellung bei der Bildung von Produktgruppen. So ist die Herstellung von Schreibtischen aus melaminharzbeschichteter Spanplatte von solchen, die aus im Werk mit HPL beschichteter Spanplatte hergestellt werden, abzugrenzen, obwohl beides Ablagemöbel der Materialklasse B5 sind. Die melaminharzbeschichteten Spanplatten werden beschichtet zugekauft, das HPL wird in der Möbelfabrik verpresst. Letztgenannten Möbeln muss ein höherer Energieverbrauch zugewiesen werden und daher sind hier zwei Produktgruppen zu bilden. Die Bildung der Produktgruppen ist folgerichtig als iterativer Prozess zu verstehen, der intensive Abstimmung zwischen den Unternehmen und den Wissenschaftlern erfordert.

ist. Oberste Priorität bei diesem Vorgehen hat die strikte Trennung der Funktionen und der Fertigungsschritte, d. h. es dürfen sich in einer Produktgruppe nicht mehrere funktionelle Gruppen und Materialklassen mischen. Maximal wurden in diesem Projekt 12 Produktgruppen differenziert. Die Zahl der Produktgruppen war dabei nicht von vornherein limitiert, sondern hat sich an den Gegebenheiten in den teilnehmenden Unternehmen orientiert.²⁰

Es ist möglich, die Ergebnisse für die Unternehmen, neben der in dieser Studie durchgeführten Darstellung je funktioneller Gruppe, auch in der höchsten Auflösung nach Produktgruppen auszuweisen. Dabei können verschiedene Produktgruppen durchaus derselben funktionellen Gruppe angehören. Beispielsweise stellen Kleiderschränke aus Massivholz und solche aus melaminharzbeschichteter Spanplatte je eine Produktgruppe dar, aber beide gehören der funktionellen Gruppe Aufbewahrungsmöbel an. Die Gliederung der Daten nach funktioneller Gruppe bedeutet eine Aggregation der Produktgruppen nach dem Merkmal der funktionellen Gruppe. Dies ist die Aggregationsstufe, auf der im diesem Bericht die zu einem Durchschnitt der teilnehmenden Unternehmen verschmolzenen Ökobilanzergebnisse innerhalb jeder Auswertegröße dargestellt werden. Nicht vorgesehen ist eine Aggregation nach Materialklasse, da diese nicht dem Gedanken der funktionellen Einheit aus der DIN EN ISO 14040/44 entspricht und auch ein ökobilanzieller Vergleich verschiedener für die Möbelherstellung nutzbarer Materialien nicht intendiert ist. Ferner ist die Trennschärfe der Materialklassen nicht ausreichend. Die Klassen sind, wie bereits bei Wenker (2010: 21) konstatiert wurde, nicht überschneidungsfrei. Auch können die Anteile der verschiedenen Materialien allein aufgrund der qualitativen Einsortierung in die Klassen nicht quantifiziert werden. Für die Verteilung der Energieaufwendungen ist es ausreichend zu wissen, welche hölzernen Trägermaterialien und dazugehörigen Oberflächenbeschichtungen vorkommen. Danach können dann die Produktgruppen im Werk festgelegt werden. Für eine sinnvolle Aggregation der Ökobilanzergebnisse nach Materialklassen ist diese Information jedoch noch nicht ausreichend.

Der Grad der Komplexitätsreduktion bei der Bildung von Produktgruppen ist als *gering* anzusehen, da theoretisch eine sehr große Anzahl an Produktgruppen gebildet werden kann, um das Produktportfolio einer Möbelfabrik abzubilden. Dass im Rahmen des in dieser Studie vorgestellten Projekts maximal 12 Produktgruppen gebildet wurden, hat mit praktischen Gründen der Datenerhebung zu tun und ist nicht auf Beschränkungen in der Methode zurückzuführen.

4.1.1.4 Standardmaterialien

In Bezug auf die eingesetzten Materialien gibt es zwei Aspekte, die für eine strukturierte Datenverarbeitung zu beachten sind: Erstens, dass sehr viele unterschiedliche Materialien und diese wiederum in unterschiedlichen Vorfertigungsgraden verwendet werden. Zweitens, dass für

²⁰ Je nach Erkenntnisinteresse in den Unternehmen ist es auch möglich, eine feinere Unterteilung der Produktgruppen vorzunehmen. Es können z. B. auch Kleiderschränke und Nachtkästchen, beides Aufbewahrungsmöbel und aus furnierter Spanplatte bestehend, je eine Produktgruppe darstellen, wenn diese Unterscheidung für das Unternehmen von Relevanz ist.

gleiche Materialien in den einzelnen Unternehmen oftmals unternehmensspezifische Bezeichnungen gewählt werden, die sich deutlich voneinander unterscheiden.

Da in der Möbelindustrie eine sehr hohe Materialvielfalt anzutreffen ist (alleine in der Beschlagtechnik gibt es mehrere tausend verschiedene Bänder, Verbinder, Auszüge oder sonstige Teile), war es unumgänglich, ähnliche Teile zusammenzufassen. Hauptgrund dafür ist, dass die exakte Materialzusammensetzung jedes im Werk eingesetzten Bauteils in der Regel nicht bekannt ist und derzeit vor dem Hintergrund der aktuellen Datenstruktur in der Möbelindustrie mit vertretbarem Aufwand nicht ermittelt werden kann. Ferner ist zu beachten, dass die verfügbaren Ökobilanz-Datenbanken nicht für jedes eingesetzte Bauteil mit seiner spezifischen Materialzusammensetzung Hintergrunddaten für die exakte Abbildung der Vorkette bieten. Unterschieden wurde daher in Beschlagteile, die überwiegend aus Metall bestehen und solche, die aus Kunststoff bestehen. Für den Kunststoff wird, sofern keine genaueren Informationen auf Werksebene erhältlich sind, ein festgelegter Mix als Hintergrunddatensatz verwendet.

Die unterschiedlichen Bezeichnungen seien am Beispiel des Materials Rohspanplatte erläutert. Für Rohspanplatte sind unter anderem die Bezeichnungen *Rohspan*, *Spanplatte* und *Flachpressplatte* zu finden. So wurde eine Liste erstellt, mit der alle in den teilnehmenden Unternehmen auftretenden Werkstoffe abgedeckt werden können. Die in den einzelnen Fragebögen auftretenden Werkstoffe wurden dann dieser Liste entsprechend zugeordnet. Die Liste (Tabelle 4.3) beinhaltet 50 Werkstoffe bzw. Halbwaren sowie Verpackungsmaterialien und Betriebsmittel. Ferner sind drei Holzwerkstoff-Dummies sowie drei allgemeine Werkstoff-Dummies als Platzhalter enthalten, die zu einem späteren Zeitpunkt bei Bedarf für weitere Werkstoffe leicht umbenannt werden können.

Tabelle 4.3: Standardmaterialien zur Vereinheitlichung der Bezeichnungen für die Sachbilanzerstellung

H_Spanroh	H_HWS Dummy x	Spiegel	Werkstoff Dummy x
H_Spanmelamin	H_HWS Dummy y	Mineralwerkstoff	Werkstoff Dummy y
H_Spanfurniert	H_HWS Dummy z	Tiefziehfolie	Werkstoff Dummy z
H_Korpus Zukauf	Papier	PP_Kunststoff	V_Karton
H_Fronten Zukauf Mix	HPL_CPL	PS_Kunststoff	V_PEFolie
H_Fronten Zukauf y	Melam_Besch	PVC_Kunststoff	V_Polystyrol
H_Fronten Zukauf z	Lack_Lösemittel	PE_Kunststoff	V_Stahlband
H_MDFroh	Lack_Wasserbasiert	PA_Kunststoff	V_Nadelholz
H_MDFmelamin	ABS_Kante	PU_Kunststoff	V_Spanplatte
H_MDFfurniert	PUR_Klebstoff	Kunststoff_Mix	B_Öl_Fett
H_Sperroh	UF_Klebstoff	Beton	B_Reinigungsmittel
H_Schnitt_NH	PVAC_Klebstoff	Aluminium	B_Schleifbänder
H_Schnitt_LH	EVA_Klebstoff	Metall_Stahl_Gestelle	B_Diesel_Stapler
H_Furnier	Beschläge/Schrauben	Stoff/Textilien	B_Trinkwasser
	Glas	Leder	

Der Grad der Komplexitätsreduktion ist als *gering* zu bezeichnen, da eine hohe Anzahl von unterschiedlichen Standardmaterialien berücksichtigt wird und auch die Erweiterung dieser Liste jederzeit möglich ist. Lediglich bei Beschlägen und Kunststoffbestandteilen ist der Grad der Komplexitätsreduktion *mittel* bis *groß*, da die vielen tausend Beschlagteile und Kunststoffbauteile, die in einer industriellen Möbelfertigung verwendet werden aus Gründen der Praktikabilität der Datenerhebung relativ stark zusammengefasst werden. Detaillierte Daten auf Unternehmensebene zu Art und Zusammensetzung einzelner Beschlagtypen bzw. Kunststoffbauteile sind, wie erläutert, derzeit nicht ermittelbar.

4.1.1.5 Prozessgruppen

Prozessgruppen wurden gebildet, um den Verbrauch elektrischer und thermischer Energie verursachergerecht auf die in einer Möbelfabrik hergestellten Produktgruppen zu verteilen. Aus den vorhergegangenen Ausführungen wird deutlich, dass nicht alle im Werk hergestellten Möbel alle Fertigungsschritte durchlaufen (siehe Kapitel 4.1.1.2, S. 23). Die verarbeiteten Materialien sowie die Fertigungstiefe des betrachteten Werks bedingen die Fertigungsschritte bzw. Prozesse, die in der Möbelfabrik selber notwendig sind, um das betreffende Möbelstück zu fertigen. Somit bedingen die für eine Produktgruppe eingesetzten Materialien direkt den Energieverbrauch zur Verarbeitung dieser Materialien und damit zur Herstellung dieser Produktgruppe in der Möbelfabrik. Eine allgemeine Prozesskette für die unterschiedlichen Produkte einer Möbelfabrik, die so oder in Teilen bzw. Abänderungen in den Betrieben der Möbelindustrie zu finden ist, zeigt Abbildung 4.2.

Die Grafik zeigt, dass es grundsätzlich unterschiedliche Verarbeitungsrouten für Massivholz und Holzwerkstoffe gibt. Aber auch die verschiedenen Holzwerkstoffe werden teilweise differenziert bearbeitet. Beispielsweise kann eine Spanplatte beschichtet oder direktlackiert werden. Daher benötigen nicht alle Möbel alle in der Abbildung dargestellten Fertigungsschritte.

Die Fertigungsmaschinen sind in Betrieben der Möbelindustrie in der Regel zu komplexen Anlagen, sogenannten Fertigungsstraßen²¹, zusammengeschlossen. Das macht es unmöglich, für einzelne Bearbeitungsschritte den Energieverbrauch zu ermitteln. Im Sinne einer Komplexitätsreduktion auf ein praktikables Maß wurden sogenannte Prozessgruppen entwickelt (Wenker, 2010: 30 f.). Eine Prozessgruppe fasst ähnliche Fertigungsschritte, die bestimmte Materialien verlangen, zusammen. Oftmals sind die verschiedenen Prozessgruppen in den jeweiligen Unternehmen auch räumlich voneinander getrennt, sodass eine Datenerfassung auf Prozessgruppenebene auch tatsächlich durchführbar ist. Mitunter müssen elektrisch Energieverbräuche rechnerisch bestimmt werden, da es keine Zwischenzähler gibt.

²¹ Eine Fertigungsstraße ist bei AGGTELEKY (1990: 492) beschrieben als Zusammenfassung von aufeinanderfolgenden Fertigungsschritten im Sinne der Reihenfertigung bzw. Linienfertigung, sodass diese für die Produktionsplanung und -steuerung eine Einheit bilden.

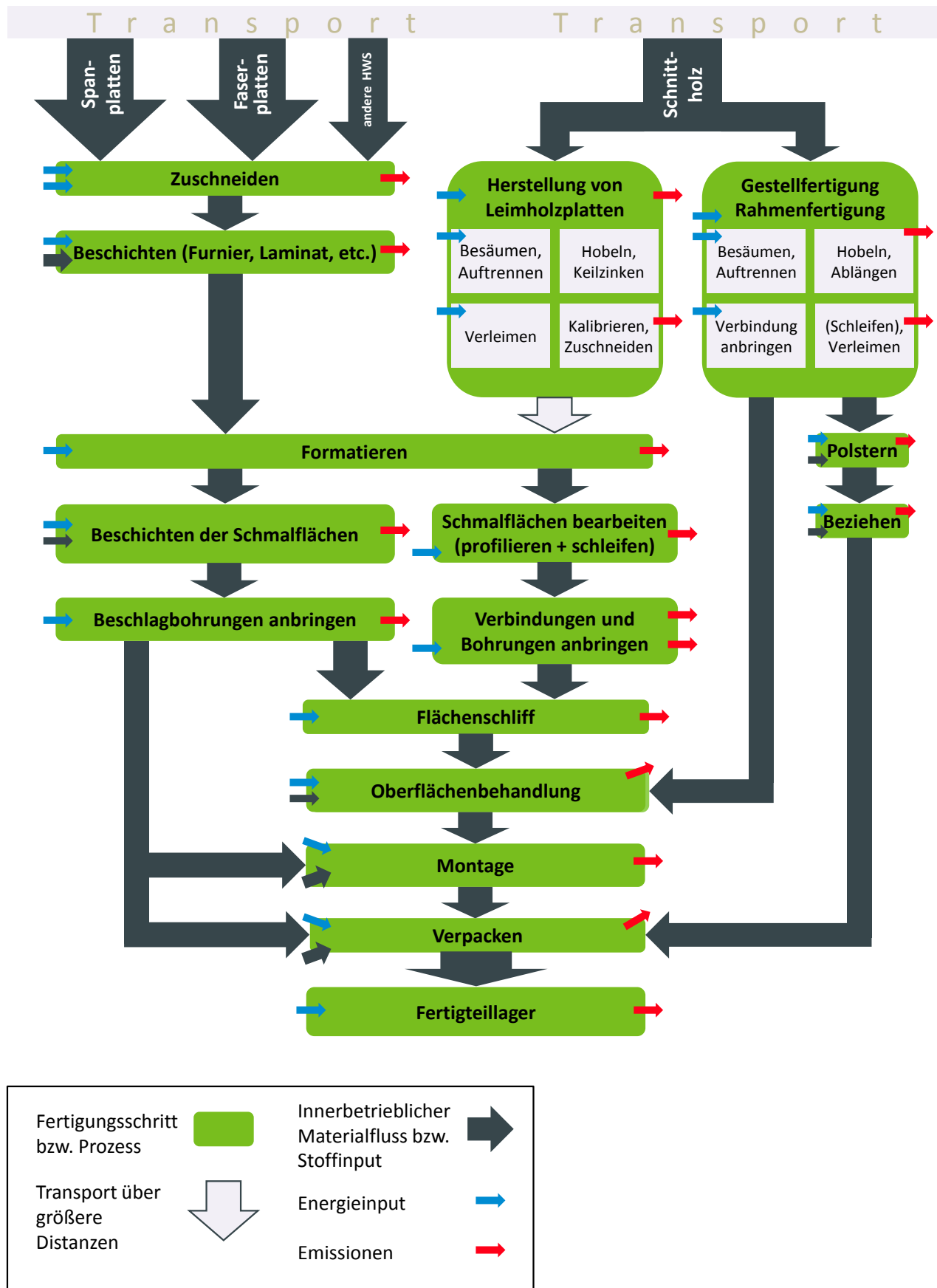


Abbildung 4.2: Fertigungsschritte bzw. Prozesse in der Möbelherstellung (Modul A3), in Anlehnung an Wenker (2010: 22)

Es wurden fünf allgemeine Prozessgruppen gebildet, denen sich die in den Unternehmen vorzufindenden spezifischen Prozessgruppen zuordnen lassen. Diese Prozessgruppen sind in Tabelle 4.4 dargestellt. Eine Prozessgruppe stellt dabei die Zusammenfassung einzelner Bearbeitungsschritte zu Gruppen dar. Daher ist eine Prozessgruppe nicht mit einer einzelnen Maschine gleichzusetzen, sondern vielmehr mit einer Verkettung von Einzelmaschinen bzw. mit einer oder mehreren Maschinenstraßen, die einen bestimmten Prozess, wie beispielsweise die Oberflächenbehandlung, durchführen. In den Unternehmen sind in der Regel die Maschinenstraßen bzw. die unterschiedlichen Abteilungen zur Definition der Prozessgruppen herangezogen worden. So stellen beispielsweise eine oder mehrere Lackierstraßen, evtl. durch Handspritzstände ergänzt, die Prozessgruppe Oberflächenbehandlung dar.

Tabelle 4.4: Gruppierung der Fertigungsschritte zu Prozessgruppen, in Anlehnung an Wenker (2010: 31)

Prozessgruppe	Bedeutung allgemein
G	Flächenbeschichtung / Furnieren
H	Maschinensaal / spanende Bearbeitung
I	Oberflächenbehandlung / Lackieren
J	Montage und Verpackung
K	(Fertig-) Lager

Die Verteilung der Energieflüsse erfolgte vom Werk ausgehend auf die Prozessgruppen und schließlich auf die Produktgruppen. Näheres zur Verteilung der im Werk eingesetzten Energie findet sich in Kapitel 4.3.2.4 (S. 41).

Der Grad der Komplexitätsreduktion bei der Aufteilung des gesamten Fertigungsprozesses in Prozessgruppen ist als *mittel* zu bezeichnen. Sicherlich erhöht sich die Genauigkeit der Zuordnung des Energieeinsatzes, indem das Werk in verschiedene Prozessgruppen aufgeteilt wird, in denen ähnliche Fertigungsschritte zusammengefasst sind. Eine genauere Betrachtung von Einzelmaschinen oder gar einzelnen Bearbeitungsschritten würde noch detailliertere Ökobilanzergebnisse ermöglichen, ist aber aufgrund der komplexen Produktionsprozesse derzeit nicht umsetzbar.

4.1.2 Systematisierte Datenverarbeitung

Um für alle Unternehmen die Daten unter gleichen Bedingungen und mit gleichen Rechenoperationen aufzubereiten, war es notwendig, die Datenverarbeitung, sowohl zur Erstellung der Sachbilanzen als auch zur Durchführung der Wirkungsabschätzung, mit Hilfe von Software-Tools zu systematisieren. Das bedeutet, dass eine für alle Datensätze anzuwendende Struktur erarbeitet werden musste, so dass die Vorgehensweise jeweils dieselbe ist und lediglich der Inhalt der Datensätze variabel ist. Ziel war es, alle unternehmensspezifischen Datensätze der gleichen *Behandlung* zu unterziehen und damit die Methoden, mit denen die Daten verarbeitet werden, für jeden Datensatz identisch anzuwenden. Dies gilt für Sachbilanzerstellung, Modellierung,

Ergebnisberechnung bzw. Wirkungsabschätzung sowie Ergebnisdarstellung und damit für alle essentiellen Bereiche der Ökobilanzierung.

Die Sachbilanzierung in der vorliegenden Studie wurde als Synthese eines top-down und eines bottom-up Ansatzes zur Datenerhebung und Datenberechnung durchgeführt. Der Kern der Datenerhebung fand *top-down* statt, um sicherzustellen, dass alle im Werk entstehenden Inputs (Material, Energie) und Outputs (Produkt, Abfall, Emissionen) als gesamte Werksaufwendungen erfasst werden. Es kann daher davon ausgegangen werden, dass die Aktivitäten der Unternehmen an ihren betrachteten Standorten in Gänze zur Ökobilanzierung berücksichtigt worden sind. Ziel der Studie war die Bereitstellung von Ökobilanz-Daten für die verschiedenen identifizierten funktionellen Gruppen. Daher war es notwendig, die im Rahmen der top-down Datenerhebung ermittelten Werksaufwendungen den verschiedenen in einer Möbelfabrik hergestellten Produktgruppen und damit auch den funktionellen Gruppen zuzuordnen. Die Verteilung der Werksaufwendungen bezüglich Material und Energie auf die Produktgruppen erfolgte durch die Ermittlung von Verteilungsfaktoren ausgehend von einer exemplarischen Stückliste je Produktgruppe. Die Verteilungsfaktoren wurden daher *bottom-up* ermittelt. Als Synthese der beiden Ansätze wurden die *bottom-up* ermittelten Verteilungsfaktoren auf die *top-down* erhobenen Werksdaten angewandt. Für die Ermittlung der Verteilungsfaktoren (bottom-up Element der Studie) sowie die Validierung der Werksdaten und deren Verteilung auf die Produktgruppen (top-down Element der Studie) wurde je ein Excel-Tool entwickelt, das eine komfortable, gleiche und nachvollziehbare Datenverarbeitung für alle Datensätze gewährleistet. Näher erläutert werden die beiden Tools in Kapitel 4.3 (S. 34).

Um eine zügige Umsetzung der Sachbilanzergebnisse zur Wirkungsabschätzung zu ermöglichen, wurde zudem ein parametrisiertes Modell des Produktsystems Möbel in der Ökobilanz-Software GaBi 6 (PE International, 2014) erstellt. Damit können die Ergebnisse der Sachbilanz eindeutig benannten Parametern zugeordnet werden, die die entsprechenden Stoff- bzw. Energieflüsse im GaBi-Modell repräsentieren. Eine Beschreibung des erstellten Modells findet sich in Kapitel 4.4 (S. 43). Wie bereits bei Rüter und Diederichs (2012) für eine hohe Anzahl an strukturell gleichen und lediglich von den Zahlenwerten her unterschiedlichen Ergebnissen erfolgreich durchgeführt, wurde auch hier eine Standard-Ergebnisdarstellung entwickelt. Dabei folgen alle Tabellen und Abbildungen für jedes betrachtete Produktsystem derselben Systematik. Dargestellt wird die Ergebnisstruktur in Kapitel 5.1 (S. 47).

4.2 Datenerhebung

Die Datenerhebung für die Sachbilanzerstellung erfolgte zweistufig, da die eingesetzten Materialien und das daraus gefertigte Produktportfolio der teilnehmenden Unternehmen zu Beginn der Studie nicht bekannt waren. Die Fragebögen wurden als Microsoft Excel Datei erstellt um den Befragten das Ausfüllen am Rechner zu ermöglichen. Die Datenerhebung fand parallel zu der Entwicklung der Berechnungsmethoden in den Jahren 2011 bis 2014 statt. Für jedes Werk wurden Daten über die gesamte Produktion eines Kalenderjahres oder Wirtschaftsjahres erhoben, so dass in jedem Fall Produktionsdaten für den Bezugszeitraum von 12 Monaten vorliegen.

4.2.1 Erster Fragebogen zur Einordnung des Unternehmens

In einem ersten Fragebogen zur Einordnung des Unternehmens erfolgte eine allgemeine Erfassung der erzeugten Produkte, der eingesetzten Rohstoffe sowie der Prozesskette. Dabei wurden die erzeugten Hauptprodukte, d. h. die hergestellten Möbel, anhand verschiedener Ansätze klassifiziert. Zunächst wurden die Möbel nach dem Verwendungszweck bzw. ihrer Funktion eingeordnet. Der zweite Ansatz war die in der Studie von Wenker (2010) entwickelte Klassifizierung nach Trägermaterial und Oberfläche, d. h. Materialklassen. Die Einteilung nach Verwendungszweck diente der Festlegung von funktionellen Gruppen, wohingegen die Einteilung nach Trägermaterial und Oberfläche (Materialklassen) den Zweck verfolgte, eingesetzte Materialien und Fertigungsprozesse zu identifizieren. Weiterhin wurden Angaben zu erzeugten Nebenprodukten, dem Fertigungsprozess unter organisatorischen Gesichtspunkten, eingesetzter Technik, Herkunft der Materialien, Art der verwendeten Betriebs- und Hilfsstoffe sowie der Energieerzeugung abgefragt. Die einzelnen dargestellten Aspekte sind im Fragebogendokument jeweils auf einem Tabellenblatt behandelt. In der ersten Stufe der Befragung wurde für alle teilnehmenden Unternehmen derselbe Fragebogen verwendet, da es hier zunächst um die Einordnung des Unternehmens in den Gesamtkontext des Projekts *Ökobilanz-Daten für holzbasierte Möbel* ging.

4.2.2 Zweiter Fragebogen zur detaillierten Erfassung der Werksaufwendungen

Der zweite Fragebogen wurde für jedes Unternehmen differenziert erstellt. Dabei ist die Grundstruktur gleich, jedoch wurde der Fragebogen in den Ausprägungen auf die Gegebenheiten des jeweiligen Unternehmens abgestimmt. So konnte beispielsweise gezielt auf diejenigen Arten der Energieerzeugung eingegangen werden, die im ersten Fragebogen angekreuzt wurden, Andere wurden hingegen ausgelassen. In der zweiten Stufe der Datenerhebung wurden alle zur Sachbilanzierung des Werks notwendigen Daten erhoben, wobei insbesondere die Stoffströme als Massenströme ermittelt wurden. Das bedeutet, dass die Unternehmen gegebenenfalls Umrechnungen unter Verwendung von material- und unternehmensspezifischen Umrechnungsfaktoren für eingesetzte Werkstoffe und Halbwaren sowie daraus hergestellte Produkte durchführen mussten, um die Materialmengen in der für die Ökobilanzierung benötigten Einheit kg liefern zu können. Ferner mussten die Unternehmen die Energieverbräuche (elektrisch und thermisch) auf die im Unternehmen vorzufindenden Prozessgruppen verteilen. Bei der Auswertung dieser

Fragebögen wurde dann von der Sachbilanz des gesamten Werks über zu entwickelnde Verteilungskriterien und Verteilungsschlüssel auf die verschiedenen hergestellten Produktgruppen bzw. funktionellen Gruppen unterverteilt. Die Zuordnung der Werksaufwendungen auf die Produktgruppen wird in Kapitel 4.3.2 (S. 35) näher erläutert.

Transportdistanzen für alle angelieferten Rohstoffe und Halbwaren wurden in dieser Stufe der Datenerhebung ebenfalls abgefragt. Bei Inputs, die von der Masse her bedeutende Rollen spielen, wurde geprüft, wo diese genau hergestellt wurden. In der Regel sind das die Holzbestandteile, deren Herkunft auch im Detail nachvollziehbar ist, da diese von einer überschaubaren Anzahl an Lieferanten bezogen werden. Für alle übrigen Materialien wurde die Transportentfernung bis zum letzten Vorlieferanten erhoben. In diesem Zusammenhang wurde die Transportdistanz in Kategorien abgefragt (Raster von 200 km um die Möbelfabrik).

4.2.3 Stücklisten zur Verteilung der Werksaufwendungen auf die Produktgruppen

Nachdem mit der oben beschriebenen zweistufigen Datenerhebung die Materialflüsse auf Werksebene und die Energieflüsse auf Werks- und Prozessgruppenebene ermittelt worden sind, wurde für die *bottom-up* Ermittlung der Verteilungsschlüssel je Produktgruppe eine exemplarische Stückliste von den Unternehmen erbeten. Diese sollte möglichst durchschnittlich und damit repräsentativ für die jeweilige Produktgruppe sein. So haben die Ansprechpartner in den Unternehmen mit Hilfe ihres Expertenwissens je Produktgruppe eine Stückliste identifiziert.

Die Stückliste musste für die Ziele dieser Studie neben den Bezeichnungen der einzelnen Komponenten auch deren Masse und, so detailliert wie möglich, deren Materialzusammensetzung enthalten. Nur so konnten die einzelnen Komponenten der Stücklisten auch den bereits beschriebenen Standardmaterialien zugeordnet werden. Als zusätzliche Information wurde die Anzahl der Holzteile sowie deren Fläche benötigt. Aus den in der Möbelindustrie üblichen Stammdatensätzen geht in der Regel hervor, welche Teile aus Holz sind. Deren Abmessungen sind üblicherweise auch bereits hinterlegt, sodass diese Information aus den Stücklisten ohne weiteren Aufwand für die Unternehmen ausgelesen werden kann. Die Ermittlung der Einzelteil- bzw. Komponentennmassen gestaltet sich allerdings schwierig, da in der Regel in den Unternehmen der Möbelindustrie die Masse von Komponenten und Bauteilen nicht in den Materialstammdatensätzen enthalten ist. Hier müssen oft Einzelteilwägungen durchgeführt werden, um die benötigte Information bereitstellen zu können. Auch die Materialzusammensetzung ist bei fertig eingekauften Bauteilen nicht immer exakt ermittelbar. Daher wurden exemplarische Bauteile genauer untersucht und ansonsten Abschätzungen getroffen.

4.3 Erstellung der Sachbilanzen

Ein wesentliches Element der Ökobilanzierung ist die Erstellung von Sachbilanzen für das betrachtete Produktsystem. Der Kern dieses Forschungsprojekts war die strukturierte Erstellung von Sachbilanzen für die verschiedenen in einem Werk hergestellten Produktgruppen. Unterschiedliche Produktgruppen ergeben sich aus den oben genannten Merkmalen der Funktion und der eingesetzten Materialien.

4.3.1 Validierung der erhobenen Daten

Die Ausgangsbasis für die Datenerhebung war die Werksebene. Die Werksaufendungen mussten daher für weitere Datenberechnungen und Zuordnungen der Material- und Abfallströme auf die verschiedenen Produktgruppen und damit auch funktionellen Gruppen als gesichert angesehen werden können und plausibel sein. Daher wurde zunächst eine Massenbilanz auf Werksebene aufgestellt. Dieses Vorgehen bei der Validierung der erhobenen Daten stellt sicher, dass Mengendiskrepanzen zwischen Input und Output erkannt und beseitigt werden können. Da es bei komplexen Produktionen, wie der Möbelfertigung, zwangsläufig zu Abweichungen kommt, wurde eine Strategie entwickelt, wie mit diesen Abweichungen umgegangen wird.

Betrug die Abweichung auf Werksebene zwischen Input und Output mehr als 10 % des Outputs, so wurde das betreffende Unternehmen gebeten, die Daten auf Plausibilität zu prüfen. War die Abweichung geringer als 10 %, so wurde die Sachbilanz nach folgender Formel gutachterlich angepasst:

$$\frac{\Sigma \text{Input Werk}}{\Sigma \text{Output Werk}} \times \text{Output}_{i,\text{unskaliert}} = \text{Output}_{i,\text{skaliert}}$$

In Folge der gutachterlichen Anpassung war die Summe der skalierten Outputs, ergo der Gesamtoutput des Unternehmens, identisch mit dem Gesamtinput des Unternehmens. Die nun stimmige Werksachbilanz diente als Ausgangsbasis für alle weiteren Berechnungen. Bei einem der betrachteten Unternehmen lag die Abweichung zwischen Input und Output bei 11 % und es war aufgrund der Datenlage nicht möglich, diese Differenz durch nochmaliges Überprüfen zu verringern. Trotz dieser größeren Abweichung wurden die Daten im vorliegenden Fall nach der obigen Formel gutachterlich angepasst.

Als fixe Größe für die gutachterliche Anpassung der Stoffströme wurde der Input gewählt, da der Output im Zuge der Anpassung verändert werden sollte. Dies aus zwei Gründen: Erstens weil die Produktmassen im Output in der Regel mit relativ großen Ungenauigkeiten berechnet wurden und zweitens, da eine Veränderung des Inputs eine Veränderung der Umweltwirkung aus den

Vorketten zur Folge gehabt hätte. Die Umweltwirkungen des Werks aus dem Materialeinkauf wären im Fall einer Inputanpassung verändert worden.

Die Summen der Input- und Outputflüsse müssen auch auf der Ebene der verschiedenen hergestellten Möbel (Produktgruppen) sowie auf Ebene der funktionellen Gruppen eine ausgeglichene Massenbilanz ergeben, d. h. die Datenberechnung auf verschiedene Produktsysteme darf die Massenbilanz insgesamt nicht beeinträchtigen. Dies fordert auch die DIN EN ISO 14044:2006: „Die Summe der durch Allokation zugeordneten Inputs und Outputs eines Prozessmoduls muss gleich den Inputs und Outputs des Prozessmoduls vor der Allokation sein.“ Diese Aussage ist ebenso gültig für die Zuordnung von Inputs bzw. Outputs zu verschiedenen Produktgruppen, wie sie im nächsten Unterkapitel beschrieben wird. Dabei muss die Summe der Inputs bzw. Outputs nach der Zuordnung auf die verschiedenen Produktgruppen gleich der Summe der Inputs bzw. Outputs auf Werksebene sein.

4.3.2 Zuordnung der erhobenen Werksdaten auf die hergestellten Produktgruppen

Die Werksdaten wurden auf der Inputseite bezüglich Material- und Energieeinsatz sowie auf der Outputseite bezüglich Produkt- und Abfallaufkommen erhoben. Diese sollten in einem weiteren Schritt den im Werk hergestellten Produktgruppen zugeordnet werden. Die entwickelte Vorgehensweise stellt daher eine Methode zur Zuordnung der Werksdaten auf die jeweils unternehmensspezifisch definierten Produktgruppen dar. Die Zuordnung der Werksdaten auf die Produktgruppen ist letztlich eine virtuelle Zuordnung, die auf konkreten Stücklisten basiert. Virtuelle Verteilungen und Zuordnungen sind übliche Vorgehensweisen, wenn keine Informationen über die tatsächliche Verteilung vorliegen (European Commission, 2010: 192 ff.). Das Ergebnis sind die Werksaufwendungen, aufgeteilt auf virtuelle Durchschnittsmöbel und die zur Produktion der virtuellen Durchschnittsmöbel notwendigen Prozesse.

Ziel des Projekts war es, eine Durchschnitts-Ökobilanz für die verschiedenen Produkte eines Werks zu erstellen. Durchschnitts-Ökobilanz bedeutet, dass sich die gesamten Werksaufwendungen bezüglich Material und Energie anteilig in den Durchschnittsprodukten wiederfinden sollen. Wenn also die Sachbilanz der Durchschnittsprodukte mit der jeweiligen produzierten Menge hochgerechnet wird, ergibt sich folgerichtig die Sachbilanz des Werks.

Das Durchschnittsmöbel einer jeden Produktgruppe wird über konkrete Möbelstücke (Stücklisten) angenähert. Es gibt demnach bei der Datenerfassung und Datenberechnung drei unterschiedliche Betrachtungsebenen:

- Werksaufwendungen (Material, Energie)
- konkrete Möbelstücke (Stücklisten)
- virtuelle Durchschnittsmöbel, welche repräsentativ für das Werk sind

Graphisch dargestellt werden kann die Vorgehensweise folgendermaßen (Abbildung 4.3):

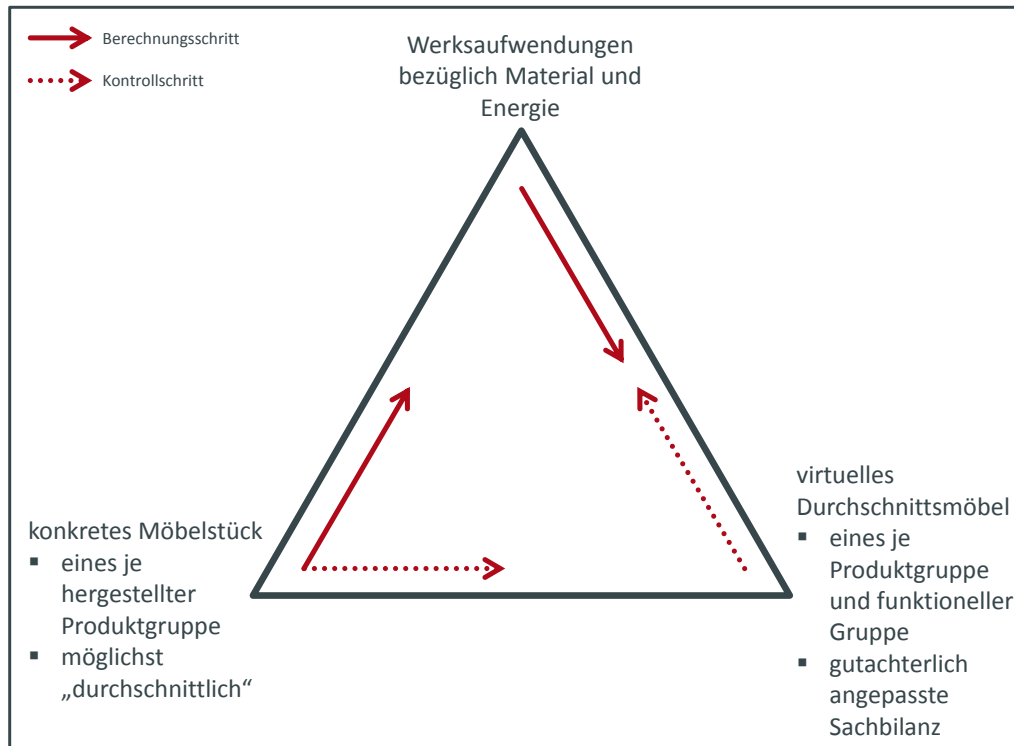


Abbildung 4.3: Graphische Darstellung der entwickelten Vorgehensweise

Die obere Ecke des Dreiecks stellt die validierten Input- und Outputdaten auf Werksebene dar. Diese werden nun *top-down* auf die virtuellen Durchschnittsmöbel verteilt. Stoffströme können dabei direkt auf die Durchschnittsmöbel verteilt werden, bei Energieflüssen wird ein Zwischenschritt über die Prozessgruppen eingeschoben. Die Methode der Verteilung unterscheidet sich daher zwischen der Zuordnung der Stoffflüsse (Material und Abfall) und Energieflüsse (elektrisch und thermisch). Die *top-down* Zuordnung entspricht dem Berechnungsschritt *Werksaufwendungen* → *virtuelles Durchschnittsmöbel*. Die Verteilungsschlüssel für diesen Schritt werden durch den Berechnungsschritt *konkretes Möbelstück* → *Werksaufwendungen* bzw. Materialinhalt ermittelt. Die Ermittlung der Verteilungsschlüssel ist letztlich eine Hochrechnung des Materialinhalts je Produktgruppe und dessen Anteil an den insgesamt in den Produkten des Werks enthaltenen Materialien. Zusammenfassend kann gesagt werden, dass über die Stücklisten die auf Werksebene erhobenen Aufwendungen auf die virtuellen Durchschnittsmöbel verteilt werden. Dieses Vorgehen wurde für jede Produktgruppe durchgeführt.

Der Kontrollschritt *virtuelles Durchschnittsmöbel* → *Werksaufwendungen* dient zur Überprüfung der Verteilung. So müssen bei Rückrechnung der den virtuellen Durchschnittsmöbeln und den jeweiligen deklarierten Einheiten zugewiesenen Mengen über die Anzahl der produzierten Einheiten exakt die Werksaufwendungen errechnet werden können. Diese Validierung der durchgeführten Verteilung zeigt, dass es gelingt, für das Werk repräsentative Durchschnittsmöbel mit gutachterlich angepasster Sachbilanz zu generieren. Dabei ist sichergestellt, dass in Summe die Aktivitäten eines Werks bzw. Standorts mit den zugehörigen Gesamtaufwendungen berücksichtigt worden sind.

Der Kontrollschritt *konkretes Möbel* → *virtuelles Durchschnittsmöbel* lässt Schlüsse über die Durchschnittlichkeit der mit Expertenwissen ausgewählten exemplarischen Stücklisten in den Produktgruppen zu. Weichen die Massen in einer Produktgruppe zwischen konkretem Möbelstück, d. h. der ausgewählten Stückliste, und dem gebildeten virtuellen Durchschnittsmöbel stark voneinander ab, so war die ausgewählte Stückliste nicht durchschnittlich. Zu differenzieren ist hier zwischen Ausreißern einzelner Produktgruppen und Abweichungen in allen Produktgruppen in eine Richtung. Letzteres bedeutet, dass alle ausgewählten konkreten Möbelstücke zu leicht oder zu schwer sind, was aber wiederum auf die relativen Verteilungsschlüssel keinen Einfluss hat. Problematisch ist hingegen, wenn lediglich in einzelnen Produktgruppen starke Abweichungen zwischen konkretem Möbelstück und virtuellem Durchschnittsmöbel auftreten, da es dann zu Materialverschiebungen zwischen den Produktgruppen kommt.

4.3.2.1 Zuordnung der Rohstoffe und Halbwaren

Die detaillierte Vorgehensweise zur Aufteilung der auf Werksebene eingesetzten Materialien auf die Produktgruppen ist in Abbildung 4.4 graphisch dargestellt.

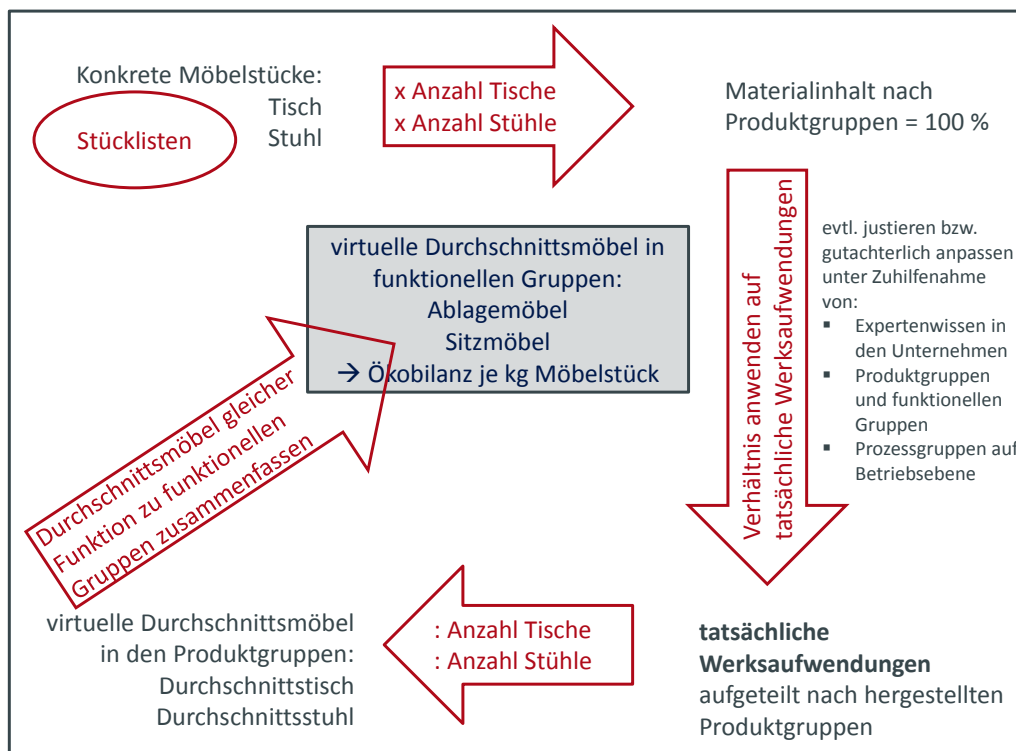


Abbildung 4.4: Rechenschritte zur Zuordnung der Werksaufwendungen zu den virtuellen Durchschnittsmöbeln in den Produktgruppen

Innerhalb jeder Produktgruppe dient die konkrete Stückliste zur Ermittlung der Verteilungsschlüssel, um die Werksaufwendungen auf die Produktgruppen verteilen zu können. Für die Ermittlung der Verteilungsschlüssel wurde ein Excel-Tool entwickelt, das zur Hochrechnung der Materialinhalte der verschiedenen Stücklisten dient.

Zur Beschreibung der Vorgehensweise soll das Beispiel Massivholz aus der Inputseite der Werksachbilanz einer fiktiven Möbelfabrik herangezogen werden, die Tische und Stühle herstellt. Der gesamte in dieser Möbelfabrik erhobene Massivholzinput ist auf die verschiedenen Produktgruppen Tische bzw. Stühle zu verteilen. Die Frage ist demnach, welcher Anteil des gesamten Massivholzinputs für Tische respektive Stühle aufgewendet wird. Die Verteilung des Inputs auf die verschiedenen Produktgruppen erfolgt anhand einer gelieferten Stückliste je Produktgruppe. Es wird ermittelt, wie viel Massivholz in der jeweiligen Stückliste enthalten ist. Dieser Wert wird anschließend mit der Anzahl der Möbelstücke multipliziert, die diese Stückliste repräsentiert. Nach Aufsummierung der Massivholzinhalte aus den Hochrechnungen in den Produktgruppen ergibt sich die Menge an Massivholz, die rechnerisch in allen Möbelstücken des Unternehmens enthalten ist. Dabei wird angenommen, dass die ausgewertete Stückliste dem Durchschnitt der in dieser Produktgruppe produzierten Möbel entspricht. Da dies in der Realität nicht immer gewährleistet ist, führt diese Annahme dazu, dass bei der Hochrechnung und Hinzuzählung des Verschnitts nicht exakt die Werksaufwendungen getroffen werden. Im Folgenden wird jedoch davon ausgegangen, dass die Stücklisten repräsentativ sind und der ermittelte Wert aus der Hochrechnung 100 % für die Bildung der Verteilungsschlüssel entspricht. Der Anteil einer Produktgruppe am errechneten Massivholzinhalt der Gesamtproduktion ist der Faktor, der den Anteil dieser Produktgruppe am realen Massivholzinput des Werks quantifiziert.²²

Analog zu dem Beispiel der Verteilung des Massivholzes von Werksebene auf die Produktgruppen wurde mit den anderen Inputpositionen verfahren. Diese wurden der Standardmaterialliste entsprechend zugeordnet und anschließend hochgerechnet. Lediglich Positionen, die üblicherweise nicht in den Stücklisten enthalten sind, wie beispielsweise Lack und Klebstoffe oder Verpackungsmaterialien und Betriebsmittel, wurden nach anderen Verfahren verteilt. Betriebsmittel und Verpackung wurden dabei verteilt nach dem übrigen Materialinput, d. h. der Materialmenge je Produktgruppe ohne Betriebsmittel und Verpackung. Der übrige Materialeinsatz, der für die Herstellung der Produkte benötigt wird, ist damit das Maß für die Verteilung der Betriebsmittel sowie der Verpackung.

²² Ein mit fiktiven Zahlen illustriertes Beispiel soll die Rechenschritte aus Abbildung 4.4 veranschaulichen: Auf Werksebene ist ein Massivholzinput von 132 000 kg ermittelt worden. Es werden im Werk 1000 Tische und 6000 Stühle hergestellt. Ein Tisch enthält laut Stückliste 40 kg Massivholz und ein Stuhl 10 kg Massivholz. Tische enthalten daher insgesamt 40 000 kg und Stühle 60 000 kg Massivholz. Demnach sind in allen Produkten auf Werksebene 100 000 kg Massivholz enthalten. Diese Menge enthält keinen Verschnitt, dieser wird aber für beide Produkte identisch angenommen, so dass der Verschnitt die Verteilung des Inputs nicht beeinflusst. Das sich ergebende Verhältnis von 40 zu 60 wird nun auf den Massivholzinput von 132 000 kg angewendet. Das heißt von den Werksaufwendungen der Inputposition Massivholz entfallen 52 800 kg auf Tische und 79 200 kg auf Stühle. Auf den virtuelle Durchschnittstisch entfallen damit 52,8 kg Massivholz inklusive Verschnitt und auf den virtuellen Durchschnittsstuhl 13,2 kg. Die ermittelten Werte werden in einem nächsten Rechenschritt auf die deklarierte Einheit 1 kg virtueller Durchschnittstisch bzw. Durchschnittsstuhl bezogen. Anschließend werden die Produktgruppen zu funktionellen Gruppen aggregiert, sodass die deklarierte Einheit 1 kg virtuelles Ablagemöbel etc. ist.

Resultat des oben beschriebenen Verfahrens ist eine Verteilungsmatrix mit Faktoren für jedes vorkommende Material und jede Produktgruppe erhalten. Ein Beispiel für eine solche Matrix mit fiktiven Zahlen zeigt Tabelle 4.5.

Tabelle 4.5: Matrix zur Verteilung des Inputs auf die verschiedenen Produktgruppen, erhalten aus Stücklisten-Hochrechnungen

Verhältnis der Materialinhalte in den Produktgruppen bezüglich Gesamtmaterialinhalt (aus Hochrechnung). Diese Verteilungsschlüssel werden auf den validierten Input aus dem zweiten Fragebogen (Detailfragebogen) angewandt!							
	Produktgruppe 1	Produktgruppe 2	Produktgruppe 3	...	Produktgruppe 11	Produktgruppe 12	KONTROLLE:
Produktgruppe	Kleiderschränke	Kommoden	Kommoden	...	Regalböden	Ersatzteile	Verteilung
Materialklasse	B3 HWS/Farblack	B5 HWS/Kunststoff	B1 HWS/Furnier	...	B3 HWS/Farblack	B3 HWS/Farblack	vollständig?
fkt. Gruppe	Aufbewahrungsmö	Aufbewahrungsmö	Aufbewahrungsmö	...	Möbelteile	Möbelteile	
H_Spanroh	0,436882	0,397775	0,008183	...	0,009503	0,013015	1,0000
H_Spanmelamin	0,000000	1,000000	0,000000	...	0,000000	0,000000	1,0000
H_Spanfurniert	0,000000	0,000000	1,000000	...	0,000000	0,000000	1,0000
H_Korpus Zukauf	0,711152	0,000000	0,000000	...	0,000000	0,000000	1,0000
H_Fronten Zukauf	0,000000	0,000000	0,000000	...	0,000000	0,000000	
H_Fronten Zukauf	0,000000	0,000000	0,000000	...	0,000000	0,000000	
H_Fronten Zukauf	0,000000	0,000000	0,000000	...	0,000000	0,000000	
H_MDFroh	0,000000	0,000000	0,000000	...	0,000000	0,000000	
H_MDFmelamin	0,408102	0,442465	0,004267	...	0,000000	0,001292	1,0000
H_MDFfurniert	0,000000	0,000000	0,000000	...	0,000000	0,000000	
H_Sperroh	0,000000	0,000000	0,000000	...	0,000000	0,000000	
H_Schnitt_NH	0,000000	0,000000	0,000000	...	0,000000	0,000000	
H_Schnitt_LH	0,130148	0,000000	0,007913	...	0,000000	0,000000	1,0000
H_Furnier	0,000000	0,000000	0,000000	...	0,000000	0,000000	
H_HWS Dummy x	0,000000	0,000000	0,000000	...	0,000000	0,000000	
H_HWS Dummy y	0,000000	0,000000	0,000000	...	0,000000	0,000000	
H_HWS Dummy z	0,000000	0,000000	0,000000	...	0,000000	0,000000	
Papier	0,586695	0,325402	0,002744	...	0,000000	0,000000	1,0000
HPL_CPL	0,000000	0,000000	0,000000	...	0,000000	0,000000	
Melam_Besch	0,000000	1,000000	0,000000	...	0,000000	0,000000	1,0000
Lack_Lösemittel	0,712540	0,000000	0,125000	...	0,021000	0,141460	1,0000
Lack_Wasserb	0,921400	0,000000	0,000000	...	0,001250	0,077350	1,0000
ABS_Kante	0,000000	0,000000	0,000000	...	0,000000	0,000000	
PUR_Klebstoff	0,000000	0,000000	0,000000	...	0,000000	0,000000	
UF_Klebstoff	0,000000	0,000000	0,000000	...	0,000000	0,000000	
PVAC_Klebstoff	0,581420	0,245800	0,025400	...	0,000026	0,147355	1,0000
EVA_Klebstoff	0,000000	0,000000	0,000000	...	0,000000	0,000000	
Beschläge	0,121320	0,752958	0,002674	...	0,000000	0,000687	1,0000
Glas	0,000000	0,000000	0,000000	...	0,000000	0,000000	
Spiegel	1,000000	0,000000	0,000000	...	0,000000	0,000000	1,0000
Mineralwerkstoff	0,000000	0,000000	0,000000	...	0,000000	0,000000	
...	...	...	...	...	...	...	

Die Tabelle musste mit den Unternehmen abgestimmt werden, da es im Einzelfall Inputs auf Werksebene gibt, die in keiner der Beispielstücklisten auftreten. Diese wurden dann von den Experten in den jeweiligen Unternehmen gutachterlich auf die Produktgruppen verteilt. Mit den ermittelten Verteilungsschlüsseln kann die nachfolgende Verteilung des Materialinputs erfolgen, wie ebenfalls in Abbildung 4.4 dargestellt. Für diesen Zweck wurde ein zweites Excel-Tool erstellt, das als Ergebnis die Sachbilanzen für 1 kg Möbel zzgl. Verpackung auf Werksebene, je Produktgruppe und je funktioneller Gruppe ausweist.

Auf das Beispiel angewandt bedeutet dies: Das Ergebnis sind die tatsächlichen Werksaufwendungen bezüglich des Massivholzes aufgeteilt auf die Produktgruppen Tische und Stühle und auf die funktionellen Gruppen Ablagemöbel und Sitzmöbel. Wird dann diese Menge durch die Anzahl der hergestellten Tische bzw. Stühle geteilt ist das virtuelle Durchschnittsmöbel in der Produktgruppe Tische bzw. Stühle erstellt. Wird jedoch durch die Produktionsmenge in kg in der jeweiligen Produktgruppe dividiert, so spiegelt das Ergebnis den Massivholzeinsatz der deklarierten Einheit 1 kg Tisch bzw. 1 kg Stuhl zzgl. Verpackung wider. Der letzte Schritt ist die Aggregation der Produktgruppen zu den funktionellen Gruppen Ablagemöbel und Sitzmöbel.

4.3.2.2 Zuordnung der Abfälle

Zunächst wurde der Abfall für die Sachbilanz und damit die Massenbilanz in den Produktgruppen nach physischem Aufkommen zugeordnet. Die Möbel in jeder Produktgruppe bekamen also den Abfall zugeordnet, der bei ihrer Herstellung tatsächlich entsteht. Es wird dabei angenommen, dass die Menge des Materialeinsatzes auch die Menge des Abfalls bedingt. Ein schweres Möbel produziert daher mehr Abfall als ein leichtes Möbel. Für die reine Sachbilanz, d. h. die physischen Gegebenheiten und die Massenbilanz in den Produktgruppen, wurde auch der hölzerne Verschnitt nach physischem Aufkommen verteilt. Der Abfall wurde den Produktgruppen nach folgenden Schlüsseln zugeteilt: Holzabfall und Späne wurden nach dem Holzwerkstoff-Einsatz in der Produktgruppe bezogen auf den Holzwerkstoff-Einsatz im Werk verteilt. Dabei wurde davon ausgegangen, dass alle eingesetzten Holzwerkstofftypen im Mittel denselben Verschnittsatz haben. Übriger Abfall, wie Folie, Pappe oder Gewerbemüll wurde nach dem Gesamtmaterialeinsatz in der Produktgruppe bezogen auf den Gesamtmaterialeinsatz im Werk aufgeteilt.

Zu einem späteren Zeitpunkt wurde die Verteilung des im Werk anfallenden Industrierestholzes, das direkt zur Wärmeerzeugung verbrannt wird, nach einem anderen Schema durchgeführt. Da die für eine Produktgruppe benötigte Wärmemenge direkt die Emissionen aus der Wärmeerzeugung bedingt, muss für die Modellierung der thermischen Energieflüsse die Industrierestholzmenge nicht nach dem physischen Aufkommen je Produktgruppe sondern nach dem Wärmebedarf je Produktgruppe zugewiesen werden. Näher erläutert wird dieses Vorgehen im übernächsten Unterkapitel.

4.3.2.3 Ermittlung des Produktgewichts

Die Abfrage der Produktmasse im zweiten Fragebogen (Detailfragebogen) diene lediglich zur Validierung der Massenströme auf Werksebene. Im Prinzip stellt die empirisch erhobene Produktmasse eine doppelte Information dar. Die Formel *Produktmasse gleich gesamter Input abzüglich gesamter Abfall* (fest, flüssig oder gasförmig) gilt aufgrund der Massenerhaltung immer, so dass die Erhebung von Input- und Abfallflüssen in Kombination mit den entwickelten Zuordnungsmethoden für Input und Abfall auf die Produktgruppen eine ausreichende Information darstellt. Mit dieser Information kann die Produktmasse in den Produktgruppen berechnet werden. Die Abfrage der Produktmasse auf Unternehmensebene als Summe der Masse in den einzelnen Produktgruppen ist allerdings dennoch notwendig zur Validierung der Unternehmensdaten

(Massenbilanz auf Unternehmensebene). Nachdem die Massenbilanz aufgestellt und der Output entsprechend skaliert ist, ist die in den einzelnen Produktgruppen abgefragte Produktmasse nicht mehr relevant. Diese wurde für alle Produktgruppen nach der *Formel Produktmasse je Gruppe gleich Input je Gruppe abzüglich des Abfalls je Gruppe* stimmig neu berechnet. Zunächst wurden demzufolge auf Unternehmensebene die Produktmasse und der Abfall skaliert (Massenbilanz auf Unternehmensebene), anschließend die empirisch für die einzelnen Produktgruppen erhobene Produktmasse verworfen und nach der Verteilung der Inputs und des Abfalls neu berechnet (Produktmassenanpassung auf Ebene der Produktgruppen).

4.3.2.4 Zuordnung der Energieverbräuche

Besonderes Augenmerk verdiente die Zuordnung der benötigten Energie zu den hergestellten Produktgruppen. Sowohl der elektrische als auch der thermische Energieverbrauch sind stark abhängig von den zur Produktion notwendigen Prozessschritten. Die Verteilung der Energieverbräuche erfolgte daher nach einem zweistufigen System. Zunächst wurde die Energie (elektrisch und thermisch) auf die Prozessgruppen verteilt und dann auf die die Prozessgruppen beanspruchenden Produktgruppen. Die Verteilung auf die Prozessgruppen wurde dabei von den Unternehmen durchgeführt und die anschließende Verteilung auf die Produktgruppen wurde analog zur Verteilung der Stoffströme vom Thünen-Institut durchgeführt. Zu beachten ist, dass nicht jedes Unternehmen alle Prozessgruppen vorhält. Dies hängt von der Fertigungstiefe sowie der Art der hergestellten Möbel, insbesondere den verwendeten Materialien ab. So benötigt ein Unternehmen, das ausschließlich melaminharzbeschichtete Möbel herstellt keine Prozessgruppe *Oberflächenbehandlung*, da melaminharzbeschichtete Holzwerkstoffe als Vorprodukt eingekauft werden und die Fläche keinerlei Behandlung mehr benötigt.

Der erste Schritt ist die Verteilung der im Werk benötigten Energie (Werksverbrauch) auf die einzelnen Prozessgruppen. Die elektrische Energie wurde dabei durch Berechnungen oder mit Hilfe von Belastungsmessungen an Zuleitungen zu den Prozessgruppen auf diese verteilt. Ein praxistaugliches Verfahren für die Verteilung über Belastungsmessungen in Stromzuleitungen wurde von Wenker (2010: 43) in Zusammenarbeit mit einem Industriepartner entwickelt. Dieser Schritt wurde von den Unternehmen in der Regel mit Hilfe des Betriebselektrikers durchgeführt.

Auch die benötigte Wärmemenge wurde auf die Prozessgruppen verteilt. Dies geschah über die beheizte Fläche je Prozessgruppe, da in der Möbelherstellung grundsätzlich alle Werkshallen beheizt sind. Wird in einer Prozessgruppe zusätzliche Energie benötigt, wie beispielsweise in Lacktrockenkanälen in der Prozessgruppe *Oberflächenbehandlung*, so wurde diese Energie gesondert zugeordnet. Die Holzreste und Späne verdienen vor dem Hintergrund der Moduleinteilung nach DIN EN 15804:2014 besondere Aufmerksamkeit. Die Vorkette der Herstellung von Holzwerkstoffen, die im Produkt verbleiben, ist Modul A1 zugeordnet, während die Vorkette der Herstellung von Holzwerkstoffen, welche als Verschnitt enden und zur Erzeugung thermischer Energie dienen, Modul A3 zugeordnet ist. Das heißt, die Produktion der Holzwerkstoffe, die physisch als Platten im Werk angeliefert werden, wurde gedanklich bereits geteilt in die Produktion des Anteils, der im Produkt verbleibt und die Produktion des Anteils, der später zur Erzeugung thermischer

Energie verbrannt wird. Die Menge an Holzresten und Spänen, die einer Produktgruppe zuzuordnen ist, wurde zunächst, wie bereits beschrieben, über die für das Möbel aufgewendete Menge an Holzwerkstoffen berechnet. Dabei wurde davon ausgegangen, dass jeder Holzwerkstofftyp denselben Verschnittsatz hat, was durchaus realistisch ist.

Bei der Verteilung im Werk erzeugten thermischen Energie ergibt sich eine Besonderheit, die für eine sinnvolle Verteilung der thermischen Energie auf die hergestellten Produktgruppen unbedingt beachtet werden musste. Die Menge an Spänen, die durch die Herstellung eines Möbelstücks physisch entsteht, ist nicht die Menge, die durch ihre Verbrennung an Wärme für die Produktion dieses Möbels benötigt wird. Beispielsweise produzieren zwei Kleiderschränke gleicher Größe und gleicher Masse dieselbe Menge an Spänen. Der eine Schrank ist aus melaminharzbeschichteter Spanplatte und der andere ist furniert und lackiert. In der Möbelfertigung (Modul A3) benötigt der letztere Schrank allerdings mehr thermische Energie als der erstere, da er zusätzlich die Prozessgruppen *Flächenbeschichtung* und *Oberflächenbehandlung* durchläuft. Daher war es notwendig, die Spänemenge, welche verbrannt wird (Modul A3) nach dem Wärmebedarf zuzuordnen. Es wurde eine getrennte Berechnung durchgeführt, wobei sich das Spänesilo als *Spänepool* vorgestellt werden kann. Für die Massenbilanz auf Unternehmensebene und die Produktmassenberechnung in den Produktgruppen wurden die Späne nach physischer Entstehung zugeordnet, d. h. der Beitrag in das Spänesilo (Spänepool) wurde berechnet. Für die Modellierung und Berechnung der Umweltwirkungen wurden die Späne nach Wärmebedarf verteilt, d. h. der Bezug aus dem Spänesilo wurde hier berechnet. In Modul A3 wurden Vorketten und Lasten der Verbrennung entsprechend dem Wärmebedarf, d. h. der Entnahme aus dem Spänesilo berechnet. So kann eine bestimmte Produktgruppe mehr Späne in A3 zugeordnet bekommen, als sie in das Spänesilo geliefert hat. Umgekehrt bekommen andere Produktgruppen weniger Späne in A3 zugeordnet, als sie in das Spänesilo geliefert haben. Bei beiden Verteilungen ist die Summe der Späne auf Werksebene gleich, es wird nur nach unterschiedlichen Kriterien verteilt.

Die Frage, die im zweiten Schritt der Zuordnung der Energieverbräuche beantwortet werden musste, ist: Welche Produktgruppe benötigt in welcher Intensität die einzelnen Prozessgruppen? Das kann von Intensität null (die Produktgruppe benötigt diese Prozessgruppe gar nicht) bis Intensität eins (die Produktgruppe benötigt als einzige Produktgruppe diese Prozessgruppe) reichen. Für die Verteilung der Energie von den Prozessgruppen auf die Produktgruppen, und damit auch auf die Durchschnittsmöbel in den jeweiligen Produktgruppen, sind in Abstimmung mit den Industriepartnern folgende Kriterien festgelegt worden (Tabelle 4.6):

Tabelle 4.6: Prozessgruppen und deren Kriterien zur Verteilung des Energieverbrauchs

Prozessgruppe	Bedeutung allgemein	Kriterium für die Verteilung der benötigten Energie
G	Flächenbeschichtung / Furnieren	Beschichtete Fläche in m ²
H	Maschinensaal / spanende Bearbeitung	Anzahl der bearbeiteten Teile in Stück
I	Oberflächenbehandlung / Lackieren	Lackierte Fläche in m ²
J	Montage und Verpackung	Möbelmasse in kg
K	(Fertig-) Lager	Möbelmasse in kg

Die Möbelmasse je Produktgruppe kann unmittelbar aus der Sachbilanz ausgelesen werden. Die beschichtete bzw. lackierte Fläche und die Anzahl der bearbeiteten Teile wurden im Rahmen der Ermittlung der Verteilungsschlüssel in dem entwickelten Excel-Tool mit erfasst und ebenso hochgerechnet wie die Materialinhalte. Dadurch wurden auch für den Energieverbrauch in der Flächenbeschichtung, der spanenden Bearbeitung sowie der Oberflächenbehandlung Verteilungsschlüssel für die bereits den Prozessgruppen zugewiesene Energie generiert.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die Zuordnung der benötigten elektrischen und thermischen Energie von der Werksebene auf die Produktgruppen in einem zweistufigen Verfahren erfolgt (Werksebene → Prozessgruppen → Produktgruppen). Dabei muss beachtet werden, dass für die Produktion von Möbeln einer spezifischen Produktgruppe mehr oder weniger Späne zur Erzeugung thermischer Energie benötigt werden können, als die Herstellung verursacht hat. Da die Herstellung des Anteils der Holzwerkstoffe, der später zur Energieerzeugung eingesetzt wird, als Energieverbrauch in Modul A3 zu bilanzieren ist, wurde bei der Verteilung der Holzreste und -späne für die Massenbilanz in den Produktgruppen nach physischer Entstehung und für die Umweltlasten nach Wärmeverbrauch verteilt.

4.4 Modellierung des Produktsystems

Nachdem die Daten erhoben und in Sachbilanzen überführt worden sind, wurden die Strukturen entlang des betrachteten Lebenswegabschnitts in ein Modell überführt, das die komplexe Wirklichkeit in einfacherer Weise abbildet. Dabei sollte der Grad der Komplexitätsreduktion, wie bereits beschrieben, so gering wie möglich und nur so groß wie nötig sein. Bausteine der Modellierung sind die entwickelten Standardmaterialien und Prozessgruppen.

4.4.1 Erstellung eines parametrisierten Basismodells

Für die Berechnung der Ökobilanzergebnisse, insbesondere der Wirkungsabschätzung, wurde ein parametrisiertes Basismodell in der Ökobilanz-Software GaBi 6 (PE International, 2014) erstellt. Die Parametrisierung erlaubt die variable Gestaltung von Flussmengen, so dass mit ein und demselben Modell die Produktion von Möbeln verschiedener funktioneller Gruppen und aus verschiedenen Werken bilanziert werden kann. GaBi unterscheidet in sogenannte freie und fixe Parameter.²³ Über die freien Parameter können die Ergebnisse der Sachbilanzen aus dem Excel-Tool direkt in GaBi überführt werden. Das Basismodell wurde für jede zu bilanzierende deklarierte Einheit als Kopie in einem eigenen Plan abgespeichert und mit den spezifischen freien Parametern für die zu bilanzierende deklarierte Einheit ausgestattet. Der Vorteil dieser Vorgehensweise liegt darin, dass möglicherweise notwendige Veränderungen oder Anpassungen in der Modellierung lediglich einmal im Basismodell vorgenommen werden müssen. Diese wirken sich dann

²³ In GaBi können für sogenannte freie Parameter Zahlenwerte eingegeben werden. Im Gegensatz dazu werden sogenannte fixe Parameter von GaBi über während der Modellierung hinterlegte Formeln aus den freien Parametern berechnet.

automatisch auf alle werks- und produktgruppenspezifischen Kopien des Basismodells zur Bilanzierung der deklarierten Einheiten aus.

Der untersuchte Lebenswegabschnitt und damit auch das erstellte Modell besteht aus den Modulen A1 bis A3, C2 und C3 sowie, als ergänzende Information außerhalb der Systemgrenzen, Modul D. Die Umsetzung der Module im Ökobilanz-Modell ist nachfolgend im Detail beschrieben:

- **Bereitstellung der Rohstoffe und Halbwaren (Modul A1)**
Das Modul A1 umfasst die Bereitstellung aller Halbwaren, die sich als Material in der deklarierten Einheit wiederfinden. Dabei ist jeweils die gesamte Bereitstellungskette von der Wiege (Rohstoffgewinnung) bis zum Werkstor der Halbwarenherstellung (z. B. Spanplattenwerk) für die durch die betrachteten Möbelfabriken genutzten Halbwaren enthalten.
- **Transport der Halbwaren zur Möbelfabrik (Modul A2)**
Das Modul A2 umfasst den Transport der in Modul A1 hergestellten Halbwaren zur Möbelfabrik. Dabei werden, mit Ausnahme der Holzbestandteile der deklarierten Einheit, nur solche Transportaufwendungen erfasst und einbezogen, die mit dem direkten Transport zwischen Halbwarenlieferant und Möbelhersteller verbunden sind. Die Holzbestandteile können aufgrund der geringen Anzahl an Herstellern und Lieferanten bis zum Hersteller zurückverfolgt werden. Die Auslastung der Fahrzeuge wird für alle Transporte mit 85 % angenommen, was der Standardannahme aus dem GaBi-Datensatz für den LKW-Transport entspricht.
- **Herstellung der Möbel, Möbelfabrik (Modul A3)**
Das Modul A3, in dem die Primärdatenerhebung stattfindet, stellt die Möbelfabrik als solche dar. Allgemeine Informationen zu Produktionsprozessen in der Möbelindustrie können beispielsweise Soiné (1995) entnommen werden. Dieses Modul umfasst alle Aufwendungen der Herstellung des Produkts von der Wiege bis zum Werkstor außer den bereits in den Modulen A1 und A2 betrachteten Aspekten.²⁴ Das bedeutet, dass auch die Erzeugung von elektrischer und thermischer Energie, die in der Möbelfabrik benötigt wird, sowie die Herstellung der Produktverpackung in Modul A3 bilanziert werden. Zur Energiegewinnung in der Möbelfabrik kommt, neben den fossilen Energieträgern Gas und Öl auch vor Ort anfallendes Industrierestholz zum Einsatz. Die Herstellung der Menge Holzwerkstoffe, die in der Möbelfabrik als Industrierestholz anfällt und in der Fabrik zur Erzeugung thermischer Energie direkt verbrannt wird, wird daher ebenfalls in Modul A3 bilanziert. Die wirtschaftlichen Aktivitäten in der Möbelfabrik verursachen Produktionsabfälle, die aus Papier, PE-Folie, gemischtem Gewerbeabfall und

²⁴ Da die Herstellung von zugekauften Korpusteilen und Fronten weder in Modul A1 (Holzwerkstoff- und übrige Halbwarenherstellung) noch in Modul A3 (Möbelherstellung) erfasst ist, wird eine Datenerhebung bei einem großen Hersteller von Korpusteilen durchgeführt. Somit kann für die Herstellung von Korpusteilen aus melaminbeschichteter Spanplatte eine Werks-Sachbilanz erstellt werden und auf deren Basis wird die Herstellung von 1 kg Korpusteil als zugekauftes Möbelteil modelliert. Dadurch ist sichergestellt, dass die Umweltwirkungen, die zwischen der Vorkette der Spanplattenherstellung aus ÖkoHolzBauDat (Rüter und Diederichs, 2012) und der Verwendung der fertigen Korpusteile in der Möbelfabrik (Modul A3 in dieser Studie) nicht unberücksichtigt bleiben. Um die Herstellung der Fronten entsprechend zu berücksichtigen, wird der Materialmix und der Energieverbrauch ausgehend von diesen Daten gutachterlich in konservativer Weise angepasst.

Metallschrott bestehen. Mit Ausnahme des Metallschrotts wird für diese Abfälle eine thermische Verwertung als hausmüllähnlicher Gewerbeabfall angenommen.

- **Redistributionstransport (Modul C2 [Szenario])**
Das Modul C2 beschreibt den Transport vom Ort des Aufkommens des Altmöbels bis zur Verwertungsstelle. Dabei wird eine Entfernung von 20 km zum Ort der Verwertung angenommen und auch hier wird mit einer Fahrzeugauslastung von 85 % kalkuliert.
- **Abfallbewirtschaftung (Modul C3 [Szenario])**
Das Modul C3 beinhaltet die Aufwendungen zur Entsorgung bzw. Aufbereitung des ausgedienten Produkts bis das Ende der Abfalleigenschaft erreicht ist. In der Regel ist entsprechend DIN EN 16485:2014 nach Sortieren und Hacken des Altholzes das Ende der Abfalleigenschaft erreicht.²⁵ Dann ist es möglich, dass die Produktbestandteile ihrer bestimmungsgemäßen stofflichen oder thermischen Verwertung zugeführt werden. Bei allen zur Entsorgung anstehenden Materialien wird von einer 100 %-igen Verwertung ausgegangen.
- **Verwertungs- und Recyclingpotentiale (Modul D, außerhalb des Systems [Szenario])**
In Modul D werden jegliche Lasten und Gutschriften beschrieben, die sich nach dem Erreichen des Endes der Abfalleigenschaft aus der Verwertung des Produkts und der Verpackungsmaterialien ergeben. In dem berücksichtigten Szenario wird von einer energetischen Verwertung der Holzbestandteile ausgegangen. Modul D beinhaltet demnach die Aufwendungen durch die Verbrennung des Altholzes sowie potentielle Gutschriften durch die hier stattfindende Produktion von thermischer Energie und Strom. Dabei wird unterstellt, dass die erzeugte Energie thermische Energie aus Erdgas und Strom aus dem deutschen Strommix des Jahres 2011 substituiert. Bei der energetischen Verwertung der übrigen - nicht stofflich recycelten - Bestandteile wird von einer Verwertung als hausmüllähnlicher Gewerbeabfall in einer Müllverbrennungsanlage ausgegangen. Für das Recycling der Beschläge wird angenommen, dass die gewonnenen Sekundärstoffe verzinktes Stahlblech substituieren.

Das erstellte Modell verfügt über 220 freie Parameter, die aus der Sachbilanz in das Modell eingefügt werden. Dabei repräsentieren 50 Parameter Werkstoffe bzw. Halbwaren sowie Verpackungsmaterialien und Betriebsmittel, 4 Parameter Produktionsabfälle, je Prozessgruppe 18 Parameter den Verbrauch von elektrischer sowie thermischer Energie, 45 Parameter die Entfernung von angeliefertem Material sowie 31 Dummies Platzhalter für eventuell später einzufügende Materialien. Die hohe Anzahl an Parametern je Prozessgruppe rührt von der differenzierten Betrachtung der elektrischen Energie für Fertigung, Absaugung, Druckluft, Beleuchtung und Sonstiges sowie der detaillierten Zusammensetzung des verbrannten eigenen Industrierestholzes aus verschiedenen eingesetzten Holzwerkstofftypen her.

²⁵ Ausnahmen sind Hölzer, die mit Holzschutzmitteln behandelt worden sind und gesetzliche Grenzwerte für die Belastung mit Schadstoffen überschreiten. Diese erreichen erst nach thermischer Behandlung das Ende der Abfalleigenschaft.

4.4.2 Verwendete Hintergrunddaten

Für die Berechnung der potentiellen Umweltwirkungen aus der Bereitstellung der Rohstoffe und Halbwaren, den Transportprozessen, der Bereitstellung elektrischer und thermischer Energie sowie den Prozessen zur Verwertung von Verpackung und Produkt wurden generische Hintergrunddaten verwendet. Als Datenbanken kamen GaBi Professional, Version 6.108 (PE International, 2014) sowie die Ergebnisse aus dem Thünen-Projekt ÖkoHolzBauDat (Rüter und Diederichs, 2012; Diederichs, 2014a,b) zum Einsatz. Im Vorfeld des Projekts wurde als Anforderung für die Aktualität der Hintergrunddaten festgelegt, dass keiner der verwendeten Hintergrunddatensätze älter als 10 Jahre sein sollte.

5 Ergebnisse der durchgeführten Studie

Im nachfolgenden Kapitel werden die Ergebnisse der durchgeführten Studie dargestellt. Zunächst wird der Durchschnitt aller am Projekt teilnehmenden Unternehmen, ganz gleich welche Art von Möbeln sie herstellen, dargestellt (Gesamtdurchschnitt Projekt). Deklarierte Einheit ist dabei 1 kg Möbel zzgl. Verpackung als Projektdurchschnitt (Kapitel 5.2, S. 51). Sodann werden die Ergebnisse der in der Studie vertretenen funktionellen Gruppen Aufbewahrungsmöbel und Ablagemöbel in Kapitel 5.3 (S. 63) sowie der Gruppe Küchenmöbel in Kapitel 5.4 (S. 87) veranschaulicht.

5.1 Struktur der Ergebnisdarstellung

Da die Struktur der Ergebnisse für alle Auswertungen, d. h. für alle deklarierten Einheiten, gleich ist, wird diese hier exemplarisch erläutert. Bei der jeweiligen Ergebnisdarstellung der deklarierten Einheiten in den folgenden Unterkapiteln ändern sich lediglich die Zahlenwerte.

Die Benennung der Tabellen und Abbildungen folgt dabei einem festgelegten Schema. Die Kapitelnummer ist charakteristisch für die deklarierte Einheit und der Buchstabe kennzeichnet den Inhalt der Tabelle. Eine Übersicht über die Inhalte der Tabellen und Abbildungen mit definierten Buchstaben ist nachfolgend gegeben:

Tabelle 5.1: Übersicht über die Tabellen und Abbildungen zur Ergebnisdarstellung

Tabelle	Inhalt
A	Sachbilanz
B	Potentielle Umweltwirkungen
C	Ressourceneinsatz
D	Outputflüsse und Abfallkategorien
E	Beiträge zum Parameter GWP innerhalb der Module A1 bis A3
F	Beiträge zum Parameter GWP innerhalb der Module A1 bis A3, Detailuntersuchung
G	Beiträge zum Parameter GWP innerhalb des Moduls A3 nach Energieverbrauchern
H ²⁶	Beiträge zum Parameter GWP innerhalb des Moduls A3 nach Prozessgruppen
Abbildung	Inhalt
A	Relative Beiträge der betrachteten Module zu den Umweltwirkungen
B	Relative Beiträge der betrachteten Module zum Primärenergieeinsatz
C	Absolute Beiträge zum Parameter GWP
D	Relative Beiträge zum Parameter GWP innerhalb der Module A1 bis A3
E	Relative Beiträge zum Parameter GWP innerhalb des Moduls A3 nach Energieverbrauchern
F	Relative Beiträge zum Parameter GWP innerhalb des Moduls A3 nach Prozessgruppen
G	Holzinhärente Kohlenstoffbilanz ausgedrückt als CO ₂

Beispielsweise stellt Tabelle 5.2.E die Beiträge zum Parameter GWP (ohne holzinhärenten Kohlenstoff) innerhalb der Module A1 bis A3 für die deklarierte Einheit 1 kg Möbel zzgl. Verpackung auf Projektebene (Durchschnitt Projekt) dar. Tabelle 5.3.1.E stellt diese Information für 1 kg Aufbewahrungsmöbel zzgl. Verpackung (Durchschnitt Aufbewahrungsmöbel) bereit.

Sachbilanz

In Tabelle A ist grundsätzlich die Sachbilanz der deklarierten Einheit dargestellt. Der Output aller deklarierten Einheiten ist jeweils 1 kg Möbel zzgl. Verpackung. Somit sind die Sachbilanzen der deklarierten Einheiten untereinander einfach zu vergleichen, da sich die Outputmenge als Referenz für die Sachbilanzdarstellung nicht ändert.

²⁶ Die Beiträge zum Parameter GWP innerhalb des Moduls A3 gegliedert nach Prozessgruppen (Tabelle H) sind nur werkspezifisch auszuwerten, da die Beanspruchung der einzelnen Prozessgruppen stark abhängig ist von im spezifischen Fall hergestellten Möbeln und den eingesetzten Materialien, d. h. auf Ebene der Produktgruppen, und somit für Durchschnittsmöbel in funktionellen Gruppen über mehrere Werke nicht sinnvoll darstellbar sind. So sind die Beiträge einzelner Prozessgruppen im Durchschnitt über mehrere Werke möglicherweise sehr niedrig, da beispielsweise im Durchschnitt über alle Werke sehr wenig Furnier eingesetzt wird. Die Prozessgruppe Flächenbeschichtung hat allerdings auf ein furniertes Möbel bezogen höhere Beiträge, sodass die Betrachtung von Beiträgen der einzelnen Prozessgruppen für Durchschnitte über mehrere Werke keinen Sinn ergeben. Die detaillierte Analyse der Beiträge der Prozessgruppen zum Parameter GWP bleibt daher den unternehmensspezifischen Ergebnissen vorbehalten. Das gesagte gilt ebenso für Abbildung F.

Die Holz- und Holzwerkstoffmengen, die mit *im Produkt* gekennzeichnet sind, verbleiben auch tatsächlich im fertigen Möbel. Verschnitte sind als *Nebenprodukt* für die Späne und Holzreste zum Verkauf sowie als *Eigenes Industrierestholz aus der Produktion zur Wärmeerzeugung* für im Werk verbrannte Späne gekennzeichnet. Die getrennte Ausweisung ist dadurch begründet, dass die Herstellung von im Produkt verbleibenden Holzmengen in Modul A1 (Rohstoff- und Halbwarenbereitstellung), die Herstellung von Holzmengen, die im Werk zur thermischen Energieerzeugung eingesetzt werden, jedoch als Energiebereitstellung in Modul A3 (Möbelfabrik) zu bilanzieren sind. Das Nebenprodukt wird nicht bilanziert, da es weder als Produktbestandteil noch als Energiequelle zur Möbelherstellung dient.

Der Zahlenwert 0,000 bedeutet nicht zwangsläufig, dass das betreffende Material in keinem Werk zum Einsatz kommt. Durch den Bezug der erhobenen Daten auf die deklarierte Einheit 1 kg Möbelstück zzgl. Verpackung können die Beträge sehr klein werden, so dass sie bei einer Genauigkeit der Darstellung auf 1 g nicht mehr dargestellt werden. Die Angabe von drei Nachkommastellen bedeutet ferner nicht, dass die Daten auf Werksebene mit einer solch hohen Genauigkeit erhoben worden sind. Vielmehr ist diese Darstellungsform dem Datenbezug auf die deklarierte Einheit geschuldet.

Weiterhin ist folgender Hinweis zur Sachbilanz zu geben: Da in der Küchenmöbelindustrie lediglich der Bedarf an elektrischer Energie auf Werksebene ermittelt werden konnte und die Küchenmöbelherstellung ebenfalls in den Durchschnitt auf Studienebene eingeht, kann sowohl auf Studienebene als auch für Küchenmöbel in der Sachbilanz lediglich der Gesamtverbrauch elektrischer Energie für die Herstellung der deklarierten Einheit angegeben werden. Eine Zuordnung zu verschiedenen Energieverbrauchern ist hier nicht möglich.

Ergebnisse aus Sachbilanz und Wirkungsabschätzung

Die nach DIN EN 15804:2014 relevanten Umweltparameter werden in Tabelle B (potentielle Umweltwirkungen), Tabelle C (Ressourceneinsatz) und Tabelle D (Outputflüsse und Abfallkategorien) ausgewiesen. Dabei werden beim Parameter GWP die Zu- und Abflüsse des holzinhärenten Kohlenstoffs in den Modulen A1, A3 und C3 nach der in Kapitel 2.3 (S. 9) beschriebenen Methode berücksichtigt.

Dominanzanalyse

Für die Dominanzanalyse wird der Parameter GWP ohne die holzinhärenten Beiträge untersucht. Die Bilanz des holzinhärenten Kohlenstoffs ist über alle Module ausgeglichen und ergibt daher grundsätzlich den Wert null. Da für die Dominanzanalyse, neben der Betrachtung cradle-to-gate plus Optionen, auch einzelne Lebenszyklusabschnitte bzw. einzelne Module betrachtet werden, sind zur Vermeidung von Unstimmigkeiten die durch Holzeinsatz verursachten biogenen Beiträge zum GWP nicht berücksichtigt.

Abbildung A stellt die relativen Beiträge der untersuchten Module (A1, A2, A3, C2, C3) zu den potentiellen Umweltwirkungen der deklarierten Einheit dar. Der Parameter POCP enthält in dieser Darstellung keine Werte für die Module A2 und C2. In den Transportmodulen sind die POCP-Werte aufgrund von methodischen Modellierungsentscheidungen in den Vorkettendaten aus der aktuellen GaBi-Professional Datenbank (Version 6.108) negativ. Diese Werte sind in der Darstellung daher auf null gesetzt worden. Abbildung B zeigt die relativen Beiträge der untersuchten Module zu den Parametern des Primärenergieeinsatzes.

Zur detaillierten Betrachtung des Parameters GWP zeigt Abbildung C die absoluten Beiträge zum GWP ohne holzinhärenten Kohlenstoff.

Tabelle E stellt die absoluten und relativen Beiträge zum Parameter GWP (ohne holzinhärenten Kohlenstoff) innerhalb der Module A1 bis A3 dar. Die relativen Beiträge werden in Abbildung D graphisch dargestellt.

Tabelle F zeigt eine Detailuntersuchung der Anteile am Parameter GWP (ohne holzinhärenten Kohlenstoff). Alle einzelnen Materialien, Energieverbräuche, Transportprozesse sowie andere Prozesse, die mehr als 1 % Beitrag zum Parameter GWP innerhalb der Module A1 bis A3 beitragen, sind aufgeführt.

Tabelle G zeigt die absoluten und relativen Beiträge zum Parameter GWP (ohne holzinhärenten Kohlenstoff) innerhalb des Moduls A3 getrennt nach den Energieverbrauchern Fertigung, Absaugung, Druckluft, Beleuchtung und Sonstiges. Abbildung E veranschaulicht die relativen Beiträge. Die Beiträge zum Parameter GWP innerhalb des Moduls A3 gegliedert nach Energieverbrauchern (Tabelle G) sind im Rahmen dieser Studie nur für die funktionellen Gruppen Aufbewahrungsmöbel und Ablagemöbel ausweisbar, da in der Küchenmöbelindustrie lediglich der Bedarf an elektrischer Energie auf Werksebene ermittelt werden konnte. Da die Küchenmöbelherstellung ebenfalls in den Durchschnitt auf Projektebene eingeht, können auch dort die detaillierten Beiträge der einzelnen Energieverbraucher zum GWP des Moduls A3 nicht dargestellt werden. Der beschriebene Sachverhalt gilt ebenso für Abbildung E.

Holzinhärente Kohlenstoffbilanz

Abbildung G stellt die holzinhärente Kohlenstoffbilanz innerhalb der Systemgrenze cradle-to-gate mit Optionen (Module A1 bis A3, C2 und C3) für die jeweils deklarierte Einheit dar. Der holzinhärente Kohlenstoff wird dabei als kg CO₂ ausgedrückt.

5.2 Durchschnittsergebnis für alle erfassten Möbel

In diesem Kapitel wird ein Durchschnittsergebnis für die deklarierte Einheit 1 kg Möbel zzgl. Verpackung aus allen betrachteten Werken, d. h. auf Projektebene, dargestellt. Dieser Gesamtdurchschnitt spiegelt damit einen Mittelwert aller in den betrachteten Unternehmen verwendeten Materialien und durchgeführten Fertigungsschritte wider und ist unabhängig von der Funktion der hergestellten Möbelstücke.

5.2.1 Sachbilanz

Tabelle 5.2.A zeigt die Sachbilanz für die Herstellung von 1 kg Möbel zzgl. Verpackung auf Projektebene, d. h. als Mittelwert aller teilnehmenden Unternehmen. Der Strom für die Fertigung ist dabei nicht, wie bei der späteren Darstellung von Aufbewahrungs- und Ablagemöbeln in die Teilbereiche Strom Fertigung, Strom Absaugung, Strom Druckluft, Strom Beleuchtung und Strom Sonstiges aufgeteilt, da in den Gesamtdurchschnitt auch die Küchenmöbelproduzenten eingehen.

Für alle eingesetzten Materialien zur Möbelherstellung auf Projektebene beträgt die massengewichtete Durchschnitts-Transportdistanz 230 km. Die insgesamt für die Herstellung der deklarierten Einheit 1 kg Möbel zzgl. Verpackung als Input in die Möbelfabrik eingehende Holz- und Holzwerkstoffmenge beträgt im Gesamtdurchschnitt Projekt 1,033 kg. Davon verbleiben 0,895 kg im Produkt, 0,044 kg werden zur thermischen Energieerzeugung im Werk eingesetzt und 0,095 kg werden als Späne (Nebenprodukt) verkauft.

Tabelle 5.2.A: Sachbilanz des Moduls A3 (Möbelfabrik) für 1 kg Möbel zzgl. Verpackung auf Projektebene (Gesamtdurchschnitt Projekt)

Input	Menge	Einheit
Holz und Holzwerkstoffe		
im Produkt: Spanplatte (roh, melaminbeschichtet, furniert)	0,643	kg
im Produkt: Faserplatte (roh, melaminbeschichtet, furniert)	0,037	kg
im Produkt: Sperrholz und Furnier	0,000	kg
im Produkt: Schnittholz (Nadel- und Laubholz)	0,002	kg
Nebenprodukt: verschiedene Vorfertigungsgrade von Spanplatte, Faserplatte, Sperrholz, Furnier, Schnittholz	0,095	kg
im Produkt: Zugekaufte Möbelteile	0,212	kg
Beschichtung		
High Pressure Laminate (HPL), melaminharzgetränktes Dekorpapier, Lack, sonstige	0,014	kg
Klebstoffe		
Polyurethan-Klebstoff (PU), Harnstoff-Formaldehyd-Klebstoff (UF), Weißleim (PVAC), Schmelzkleber (EVA)	0,002	kg
Beschläge		
Beschläge, überwiegend metallisch	0,043	kg
Metallgestelle und -schubkästen	0,021	kg
Kunststoffe (ABS, PP, PS, PVC, PE, PA, PU)		
Kunststoff-Beschlagteile, Kantenmaterial, sonstiges	0,008	kg
Sonstiges		
Glas, Spiegel, sonstiges	0,027	kg
Verpackung		
Karton, Folie (PE), Polystyrol (PS), sonstiges	0,021	kg
Betriebsmittel		
Öl, Fett, Reinigungsmittel, sonstiges	0,000	kg
Diesel für Staplerfahrzeuge	0,000	kg
Trinkwasser	0,244	kg
Energiebedarf		
Strom	0,714	MJ
Wärme aus Erdgas	0,004	MJ
Wärme aus Öl	0,086	MJ
Eigenes Industrierestholz aus der Produktion zur Wärmeerzeugung; Späne und Reste von Spanplatte, Faserplatte, Sperrholz, Furnier, Schnittholz	0,044	kg
Zugekauftes Altholz zur Wärmeerzeugung	0,000	kg
Output		
Produkt		
Möbel	1,000	kg
Verpackung	0,021	kg
Nebenprodukt		
Holzreste und Späne zum Verkauf	0,095	kg
Emissionen aus		
Verbrennung von eigenem Industrierestholz/ zugekauftem Altholz	Berechnet über Hintergrunddaten aus ÖkoHolzBauDat	
Verbrennung von Diesel, Öl, Erdgas	Berechnet über Hintergrunddaten aus GaBi Professional und ÖkoHolzBauDat	
Sonstiges		
Asche aus Verbrennung von eigenem Industrierestholz und zugekauftem Altholz	Berechnet über Hintergrunddaten aus ÖkoHolzBauDat	
Abwasser	0,244	kg
Abfälle		
Karton, Folie, Metall, gemischter Gewerbeabfall	0,010	kg

5.2.2 Ergebnisse aus Sachbilanz und Wirkungsabschätzung

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse für 1 kg Möbel zzgl. Verpackung auf Projektebene (Gesamtdurchschnitt Projekt) gegliedert nach den Aspekten potentielle Umweltwirkungen, Ressourceneinsatz sowie Abfallaufkommen tabellarisch dargestellt. Für die nach DIN EN 15804:2014 relevanten Umweltparameter werden in den untersuchten Modulen des Lebenszyklus die entsprechenden Werte ausgewiesen. Die Module C2 und C3 sowie D sind dabei Szenarien, für die keine Primärdaten erhoben worden sind.

Potentielle Umweltwirkungen

Es werden die potentiellen Umweltwirkungen, d. h. die Wirkungsindikatorwerte der einzelnen Wirkungskategorien (in der DIN EN 15804:2014 Parameter genannt) dargestellt (Tabelle 5.2.B). Die auf die holzhärenten Kohlenstoffflüsse zurückzuführenden Beiträge zum GWP sind entsprechend der in Kapitel 2.3 (S. 9) beschriebenen Methode in den Modulen A1 und C3 für im Produkt verbleibendes Holz sowie A3 und C3 für eventuelle Holzanteile an der Verpackung²⁷ berücksichtigt worden.

Tabelle 5.2.B: Potentielle Umweltwirkungen für 1 kg Möbel zzgl. Verpackung auf Projektebene (Gesamtdurchschnitt Projekt)

Parameter	Einheit	A1	A2	A3	Σ A1-A3	C2	C3	Σ A1-C3	max. Abweichung +%/ -% A1-C3	D
GWP	kg CO ₂ -Äq.	-4,55E-01	1,06E-02	1,64E-01	-2,81E-01	9,52E-04	1,40E+00	1,12E+00	+190/-32	-5,65E-01
ODP	kg CFC11-Äq.	4,74E-08	2,02E-14	2,92E-09	5,04E-08	1,81E-15	3,07E-12	5,04E-08	+54/-18	-2,58E-11
AP	kg SO ₂ -Äq.	3,00E-03	4,74E-05	4,26E-04	3,47E-03	4,25E-06	5,03E-05	3,53E-03	+199/-34	-4,88E-04
EP	kg PO ₄ ³⁻ -Äq.	4,58E-04	1,28E-05	7,86E-05	5,49E-04	1,15E-06	6,56E-06	5,57E-04	+131/-26	1,29E-05
POCP	kg Ethen-Äq.	5,40E-04	-1,75E-05	1,49E-04	6,72E-04	-1,57E-06	3,78E-06	6,74E-04	+192/-23	-8,90E-05
ADPE	kg Sb-Äq.	6,73E-05	5,62E-10	5,61E-08	6,74E-05	5,04E-11	7,49E-09	6,74E-05	+243/-56	-6,10E-08
ADPF	MJ	1,31E+01	1,44E-01	2,14E+00	1,54E+01	1,30E-02	3,10E-01	1,57E+01	+167/-28	-8,26E+00

Es bedeuten:

GWP	Treibhauspotential
ODP	Potential des Abbaus der stratosphärischen Ozonschicht
AP	Versauerungspotential von Boden und Wasser
EP	Eutrophierungspotential / Überdüngungspotential
POCP	Troposphärisches Ozonbildungspotential
ADPE	Potential für die Verknappung von abiotischen Ressourcen – nicht fossile Ressourcen / ADP-Stoffe
ADPF	Potential für die Verknappung von abiotischen Ressourcen – fossile Energieträger / ADP-fossile Energieträger

²⁷ Bei keinem Projektteilnehmer wird Holz in Form von Schnittholz oder Holzwerkstoffen zur Verpackung der Möbel bei der Neumöbellogistik eingesetzt. Der Holzanteil an den Verpackungsmaterialien ist folglich in allen Datensätzen dieser Studie null.

Das negative Treibhauspotential in Modul A1 von -0,455 kg CO₂-Äq. ist durch den Systemeingang von -1,37 kg CO₂ in Modul A1 bedingt durch den Holzanteil im Produkt zu erklären. Diese Menge CO₂ verlässt das System in Modul C3 zusammen mit den Lasten der Altholzaufbereitung wieder. Näher erläutert werden die holzinhärente Kohlenstoffbilanz und die darauf zurückzuführenden CO₂-Flüsse in Kapitel 5.2.4 (S. 62).

Ressourceneinsatz

Die nachfolgende Tabelle 5.2.C zeigt den Ressourceneinsatz für die deklarierte Einheit aufgeteilt nach den betrachteten Modulen.

Tabelle 5.2.C: Ressourceneinsatz für 1 kg Möbel zzgl. Verpackung auf Projektebene (Durchschnitt Projekt)

Parameter	Einheit	A1	A2	A3	Σ A1-A3	C2	C3	Σ A1-C3	D
PERE	MJ	3,93E+00	1,11E-02	1,67E+00	5,61E+00	9,97E-04	1,15E-01	5,73E+00	1,37E+01
PERM	MJ	1,44E+01	0,00E+00	2,78E-01	1,46E+01	0,00E+00	-1,46E+01	0,00E+00	0,00E+00
PERT	MJ	1,83E+01	1,11E-02	1,95E+00	2,03E+01	9,97E-04	-1,45E+01	5,73E+00	1,37E+01
PENRE	MJ	1,52E+01	1,45E-01	2,54E+00	1,79E+01	1,30E-02	4,19E-01	1,83E+01	-8,17E+00
PENRM	MJ	8,04E-01	0,00E+00	1,76E-01	9,81E-01	0,00E+00	-9,81E-01	0,00E+00	0,00E+00
PENRT	MJ	1,60E+01	1,45E-01	2,71E+00	1,89E+01	1,30E-02	-5,62E-01	1,83E+01	-8,17E+00
SM	kg	-	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	6,41E-02
RSF	MJ	²⁸ -	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	-
NRSF	MJ	-	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	-
FW	m ³	1,47E+00	7,77E-04	2,86E-01	1,76E+00	6,97E-05	7,10E-02	1,83E+00	-5,89E-01

Es bedeuten:

- PERE: Einsatz erneuerbarer Primärenergie, ohne die erneuerbaren Primärenergieträger, die als Rohstoff verwendet werden (energetische Nutzung)
- PERM: Einsatz der als Rohstoff verwendeten erneuerbaren Primärenergieträger (stoffliche Nutzung)
- PERT: Gesamteinsatz erneuerbarer Primärenergie (energetische und stoffliche Nutzung)
- PENRE: Einsatz nicht erneuerbarer Primärenergie, ohne die als Rohstoff verwendeten nicht erneuerbaren Primärenergieträger (energetische Nutzung)
- PENRM: Einsatz der als Rohstoff verwendeten nicht erneuerbaren Primärenergieträger (stoffliche Nutzung)
- PENRT: Gesamteinsatz nicht erneuerbarer Primärenergie (energetische und stoffliche Nutzung)
- SM: Einsatz von Sekundärstoffen
- RSF: Einsatz von erneuerbaren Sekundärbrennstoffen
- NRSF: Einsatz von nicht erneuerbaren Sekundärbrennstoffen
- FW: Nettoeinsatz von Süßwasserressourcen

²⁸ Die Werte für die Parameter des Sekundär(brenn)stoffeinsatzes in Modul A1 (Parameter SM, RSF, NRSF) und Modul D als energetischem Verwertungsszenario (Parameter RSF und NRSF) können aus den Vorkettendatensätzen der verwendeten Datenbanken nicht ausgelesen werden. Da also auf Basis der vorhandenen Modelle keine konsistente Auswertung des eingesetzten Sekundärmaterials in der vollständigen Vorkette erfolgen kann, werden die entsprechenden Parameter in diesen Modulen mit einem Strich versehen.

Nachdem die stofflich genutzte Primärenergie (erneuerbar und nicht erneuerbar) als materialinhärente Eigenschaft in den Modulen A1 (Halbwaren für das Produkt) und A3 (Verpackung) Eingang in das Produktsystem fand, wird diese aus Modul C3 exportiert (siehe Kapitel 2.3, S. 9), da sie im ausgedienten Produkt und seiner Verpackung am Ende der Abfalleigenschaft noch immer vorliegt und somit in anderen Produktsystemen nutzbar ist. Daher ist die Summe in den betrachteten Parametern PERM und PENRM über den gesamten Lebenszyklus (Module A1 bis C3) jeweils null. Da in der vorliegenden Studie von einer energetischen Verwertung des ausgedienten Möbels (abzüglich der Metallbestandteile) ausgegangen wird, findet sich der aus C3 als materialinhärente Eigenschaft exportierte stoffliche Primärenergieeinsatz (PERM und PENRM) in Modul D als Eingang in den Parametern des energetischen Primärenergieeinsatzes (PERE und PENRE) wieder.

Outputflüsse und Abfallkategorien

Tabelle 5.2.D stellt die Outputflüsse und Abfallkategorien für die deklarierte Einheit dar.

Tabelle 5.2.D: Outputflüsse und Abfallkategorien für 1 kg Möbel zzgl. Verpackung auf Projektebene (Durchschnitt Projekt)

Parameter	Einheit	A1	A2	A3	Σ A1-A3	C2	C3	Σ A1-C3	D
HWD	kg	2,87E-06	1,16E-07	1,21E-04	1,24E-04	1,04E-08	3,94E-07	1,24E-04	4,99E-05
NHWD	kg	2,68E+00	1,20E-03	7,74E-01	3,46E+00	1,08E-04	1,77E-01	3,64E+00	-2,10E+00
RWD	kg	9,26E-04	2,55E-07	2,08E-04	1,13E-03	2,29E-08	4,33E-05	1,18E-03	-3,54E-04
CRU	kg	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
MFR	kg	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	6,41E-02	6,41E-02	0,00E+00
MER	kg	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	9,22E-01	9,22E-01	0,00E+00
EE Strom	MJ	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
EE Wärme	MJ	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00

Es bedeuten:

HWD	Gefährlicher Abfall zur Deponierung
NHWD	Entsorgter nicht gefährlicher Abfall
RWD	Entsorgter radioaktiver Abfall
CRU	Komponenten für die Weiterverwendung
MFR	Stoffe zum Recycling
MER	Stoffe für die Energierückgewinnung
EE Strom	Exportierte Energie (Strom)
EE Wärme	Exportierte Energie (Wärme)

Die Parameter MFR und MER weisen in Modul C3 die Komponenten für Recycling und Energierückgewinnung aus. MFR beinhaltet alle Metallbestandteile zum stofflichen Recycling und MER die Holz- und Kunststoffbestandteile zur energetischen Verwertung.

5.2.3 Dominanzanalyse

Die Dominanzanalyse zur detaillierten Beurteilung des Durchschnitts aller Möbel auf Projektebene (1 kg Möbel auf Projektebene) wird auf Basis der Parameter der potentiellen Umweltwirkungen und der Primärenergieeinsätze sowie einer gesonderten Betrachtung des Parameters GWP (ohne holzinhärente Beiträge) durchgeführt. Dabei werden, je nach Erkenntnisinteresse, unterschiedliche Lebenszyklusabschnitte bzw. Module betrachtet.

Beiträge der Module zu den Parametern der Umweltwirkung und des Primärenergieeinsatzes

Nachfolgend sind die Beiträge der untersuchten Module zu den potentiellen Umweltwirkungen dargestellt (Abbildung 5.2.A). Die Darstellung zum Parameter GWP umfasst alle während des Produktlebenszyklus auftretenden CO₂-Äquivalente, abzüglich derer, die unmittelbar durch den im Holz des Produkts und in eventuellen Holzanteilen der Produktverpackung befindlichen Kohlenstoff auftreten, d. h. die holzinhärenten Kohlenstoffflüsse sind hier nicht berücksichtigt.

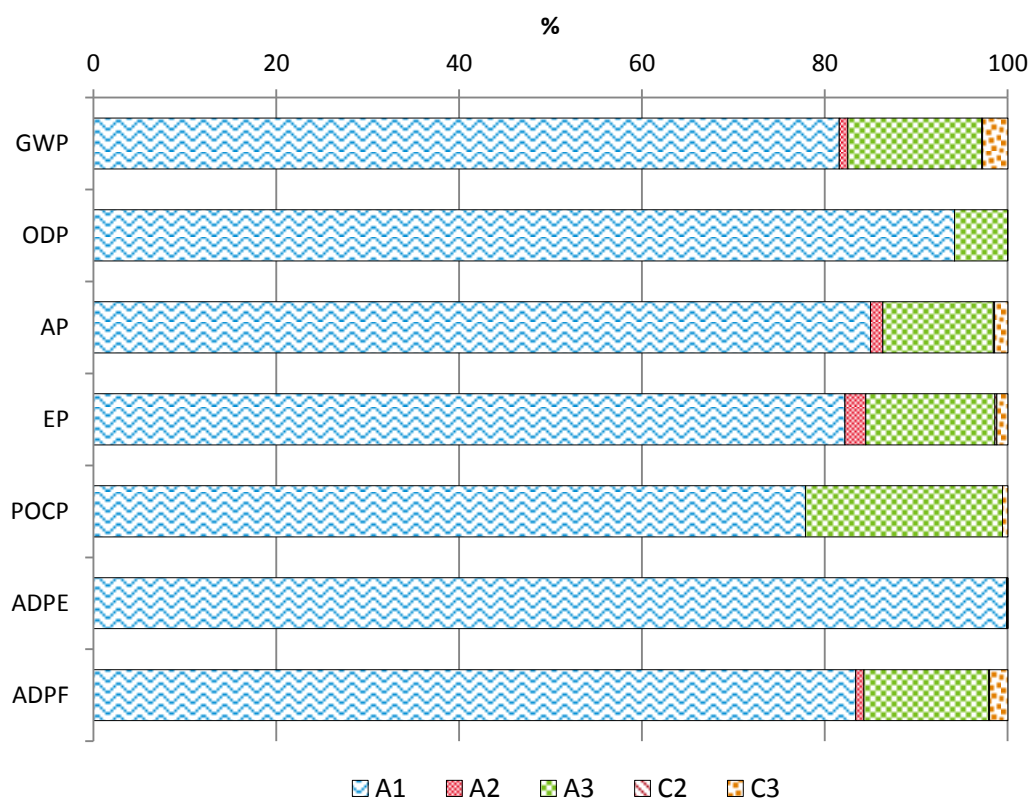


Abbildung 5.2.A: Relative Beiträge der Module zu den potentiellen Umweltwirkungen. Deklarierte Einheit ist 1 kg Möbel zzgl. Verpackung auf Projektebene (Durchschnitt Projekt)

Das Modul A1 trägt 81,6 % zum GWP bei. Hier sind als Treiber insbesondere Beschläge und andere Metallkomponenten sowie die Herstellung von Holzwerkstoffen und zugekauften Möbelteilen hervorzuheben. Das Modul A3 verursacht 14,6 % des GWP.

Das Potential für die Verknappung abiotischer nicht fossiler Ressourcen (ADPE, Stoffe) wird komplett von Modul A1 verursacht, hier von der Herstellung von Beschlägen (insbesondere beeinflusst vom im Rahmen der Modellierung angenommenen Zinkgussanteil von 35 %).

In Abbildung 5.2.B sind die Beiträge der untersuchten Module zum energetisch genutzten Primärenergieeinsatz dargestellt:

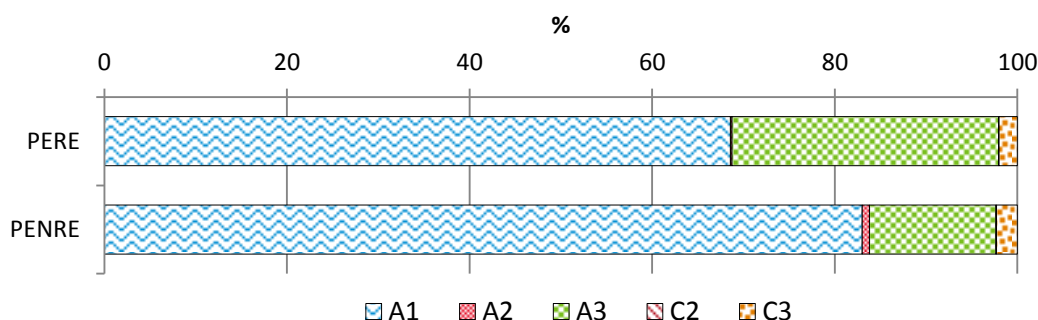


Abbildung 5.2.B: Relative Beiträge der Module zum Primärenergieeinsatz. Deklarierte Einheit ist 1 kg Möbel zzgl. Verpackung auf Projektebene (Durchschnitt Projekt)

Der Parameter PERE, Primärenergie erneuerbar energetisch, wird hauptsächlich beeinflusst von den Modulen A1 und A3. In beiden Modulen wird in nennenswertem Umfang Biomasse in Form von Holz zur Erzeugung thermischer Energie verbrannt, in A1 zur Herstellung von Holzwerkstoffen und Schnittholz, in A3 direkt innerhalb der Möbelfabrik. PENRE, Primärenergie nicht erneuerbar energetisch, wird ebenso wie PERE hauptsächlich von den Modulen A1 und A3 beansprucht, einen geringeren Anteil stellt noch das Transportmodul A2 dar.

Die stofflich genutzte Primärenergie wird in obiger Darstellung nicht abgebildet, da sie, wie bereits erwähnt, nicht verbraucht wird, sondern am Ende des Produktlebenszyklus noch vorhanden ist und somit über alle Module ein Nullsummenspiel darstellt. Wie Tabelle 5.2.C zeigt, findet die stofflich genutzte erneuerbare Primärenergie (PERM) nahezu komplett in Modul A1 Eingang in das Produktsystem, da hier die hölzernen Halbwaren hergestellt werden. Die stofflich genutzte nicht erneuerbare Primärenergie (PENRM) geht im Wesentlichen in den Modulen A1 (Nichtholz-Halbwaren) und A3 (Verpackungsmaterial) in das Produktsystem ein. Beide stofflich genutzten Primärenergieformen verlassen das Produktsystem in Modul C3 wieder.

Detaillierte Zusammensetzung des Parameters GWP

Für weitere Analysen wird auf den Parameter GWP fokussiert, da insbesondere hier neben dem Modul A1 auch das Modul A3, d. h. die Möbelfertigung, einen nennenswerten Anteil hat. Details zum GWP der hölzernen Vorprodukte (A1 Holz) können dem Bericht zum Projekt ÖkoHolzBauDat (Rüter und Diederichs, 2012) entnommen werden.

Nachfolgend sind die absoluten Beiträge zum Parameter GWP (ohne holzinhärenten Kohlenstoff) veranschaulicht (Abbildung 5.2.C).

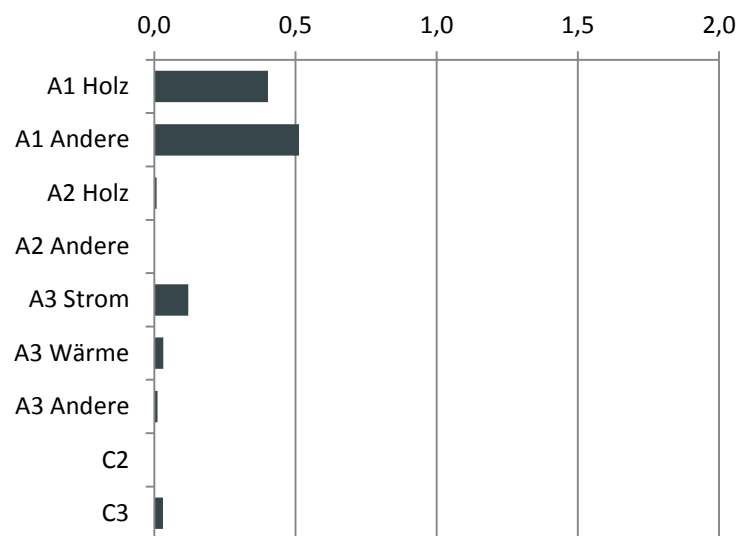


Abbildung 5.2.C: Absolute Beiträge zum Parameter GWP (ohne holzinhärenten Kohlenstoff) in kg CO₂-Äquivalent. Deklarierte Einheit ist 1 kg Möbel zzgl. Verpackung auf Projektebene (Durchschnitt Projekt)

Es wird deutlich, dass die Bereitstellung von Nichtholz-Halbwaren in Modul A1 den größten Beitrag zum GWP von insgesamt 1,12 kg CO₂-Äquivalent innerhalb der Module A1 bis C3 liefert. Darauf folgend sind die Herstellung der Holzhalbwaren sowie der Strombedarf in der Möbelfabrik zu nennen.

Durch Tabelle 5.2.E, Abbildung 5.2.D und Tabelle 5.2.F werden die Beiträge zum GWP in den Modulen A1 bis A3, also innerhalb der Herstellungsphase der betrachteten durchschnittlichen deklarierten Einheit, detailliert dargestellt. Die Szenarien für die Module C2 und C3 sind hier nicht Gegenstand der Betrachtung.

Tabelle 5.2.E: Absolute und relative Beiträge zum Parameter GWP (ohne holzinhärenten Kohlenstoff) innerhalb der Module A1 bis A3. Deklarierte Einheit ist 1 kg Möbel zzgl. Verpackung auf Projektebene (Durchschnitt Projekt)

Parameter	Einheit	A1 Holz	A1 Andere	A2 Holz	A2 Andere	A3 Strom	A3 Wärme	A3 Andere	Σ A1-A3
GWP	kg CO ₂ -Äq.	4,02E-01	5,13E-01	7,99E-03	2,62E-03	1,21E-01	3,14E-02	1,20E-02	1,09E+00
Anteile	%	36,9	47,0	0,7	0,2	11,1	2,9	1,1	100,0

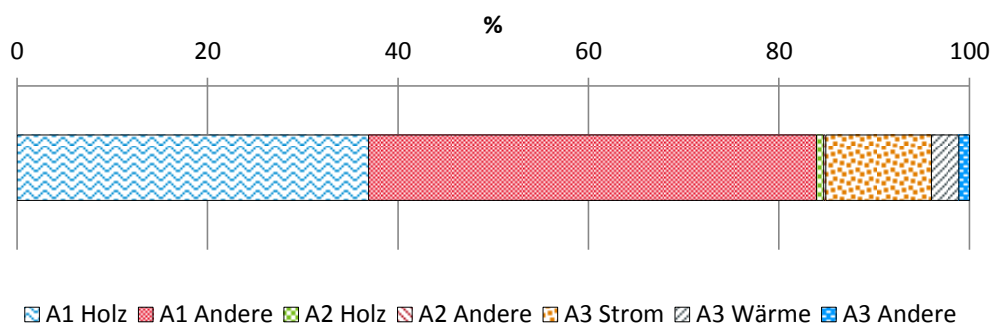


Abbildung 5.2.D: Relative Beiträge zum Parameter GWP (ohne holzinhärenten Kohlenstoff) für die Module A1 bis A3. Deklarierte Einheit ist 1 kg Möbel zzgl. Verpackung auf Projektebene (Durchschnitt Projekt)

Deutlich ersichtlich ist, dass die Bereitstellung der Nichtholzbestandteile des Möbels den größten Einfluss auf das Treibhauspotential ohne holzinhärente Kohlenstoffflüsse hat. Insbesondere sind hier Metallbestandteile zu nennen.

Detailliert stellt nachfolgende Tabelle 5.2.F die relativen Beiträge zum Parameter GWP in den Modulen A1 bis A3 dar, die über 1 % liegen. Insbesondere die relevanten Einzelbeiträge des Moduls A1 sind ersichtlich.

Tabelle 5.2.F: Absolute und relative Beiträge zum Parameter GWP (ohne holzinhärenten Kohlenstoff) innerhalb der Module A1 bis A3, Detailuntersuchung mit allen Einzelbeiträgen > 1 %. Deklarierte Einheit ist 1 kg Möbel zzgl. Verpackung auf Projektebene (Durchschnitt Projekt)

	GWP	Anteile
	kg CO ₂ -Äq.	%
A1; Bereitstellung Beschläge (überwiegend metallisch)	3,44E-01	31,6
A1; Bereitstellung Spanplatte roh (stofflich genutzt im Produkt)	1,84E-01	16,9
A3; Strom	1,21E-01	11,1
A1; Bereitstellung Korpusteile Zukauf (stofflich genutzt im Produkt)	9,65E-02	8,9
A1; Bereitstellung Metallgestelle und -schubkästen	7,23E-02	6,6
A1; Bereitstellung Spanplatte melaminbeschichtet (stofflich genutzt im Produkt)	4,44E-02	4,1
A1; Bereitstellung Fronten Zukauf, Materialmix (stofflich genutzt im Produkt)	4,27E-02	3,9
A1; Bereitstellung MDF melaminbeschichtet (stofflich genutzt im Produkt)	3,33E-02	3,1
A3; Wärme	3,14E-02	2,9
A1; Bereitstellung Spiegel	2,59E-02	2,4
A1; Bereitstellung Kunststoff-Mix; PP, PS, PVC, PE, PA, PU	2,15E-02	2,0
A1; Bereitstellung Klarlack wasserbasiert	1,84E-02	1,7

Deutlich ersichtlich ist, dass Metallbestandteile einen erheblichen Einfluss auf das GWP der deklarierten Einheit haben. Auch die Herstellung von Holzwerkstoffen und Korpusteilen bzw. Fronten sowie der Bedarf an elektrischer Energie in der Möbelfabrik spielen eine große Rolle beim Parameter GWP. Die in der Tabelle gelisteten Einflussfaktoren ergeben zusammen 95,2 % des GWP innerhalb der Module A1 bis A3 von absolut 1,09 kg CO₂-Äq. ohne holzinhärente Kohlenstoffflüsse.

5.2.4 Holzhäufige Kohlenstoffbilanz

Die holzhäufige Kohlenstoffbilanz der deklarierten Einheit 1 kg Möbel zzgl. Verpackung auf Projektebene, ausgedrückt als CO₂, wird von nachfolgender Abbildung 5.2.G dargestellt.

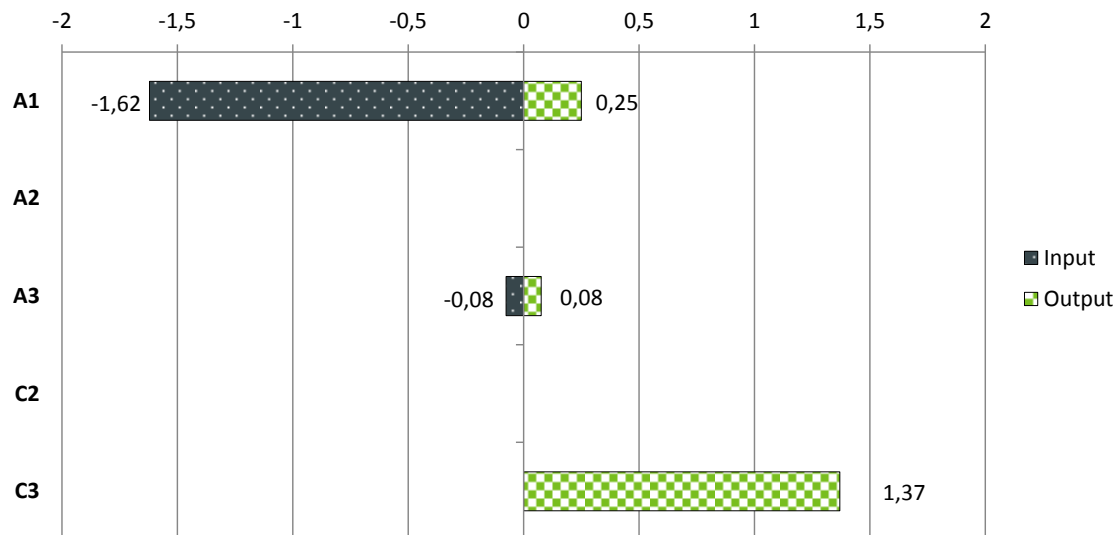


Abbildung 5.2.G: Holzhäufige Kohlenstoffbilanz ausgedrückt als kg CO₂. Deklarierte Einheit ist 1 kg Möbel zzgl. Verpackung auf Projektebene (Durchschnitt Projekt)

Durch die Bereitstellung des für die Holz- und Holzwerkstoffproduktion benötigten Rohholzes werden 1,62 kg CO₂ in Modul A1 auf das Produktsystem übertragen. Hiervon werden bereits während der Halbwarenherstellung 0,25 kg CO₂ emittiert. In Modul A3 werden durch die Bereitstellung des später in der Möbelfabrik anfallenden Industrierestholzes 0,08 kg CO₂ auf das Produktsystem übertragen.²⁹ Diese 0,08 kg CO₂ werden während der Herstellung des Industrierestholzes (Herstellung des Anteils der eingekauften Holz- und Holzwerkstoffmenge, der in der Möbelfabrik zur Energieerzeugung verbrannt wird) sowie durch die Verbrennung des Industrierestholzes zur Energiegewinnung in der Möbelfabrik ebenfalls in Modul A3 wieder emittiert. Schließlich verlassen 1,37 kg CO₂ das Produktsystem als verwertbares Altholz im ausgedienten Produkt in Modul C3.

²⁹ Auch die Bereitstellung des für die Energiegewinnung in der Möbelfabrik zugekauften Altholzes sowie die Bereitstellung des für die Verpackung der Möbel eingesetzten Holzes sind in Modul A3 zu berücksichtigen. Da allerdings keines der untersuchten Werke Altholz zur Energiegewinnung zukaufte oder Holz für die Verpackung der Produkte einsetzt, sind die Beiträge dementsprechend null.

5.3 Ergebnisse nach funktionellen Gruppen

Dargestellt werden hier nur funktionelle Gruppen, die mehr als eines der untersuchten Werke herstellt, so dass an dieser Stelle ausschließlich produktionsmengengewichtete Mittelwerte aufgeführt werden. Unternehmensspezifische Ökobilanzergebnisse sind nicht Gegenstand dieses Berichts.

5.3.1 Ergebnis für Aufbewahrungsmöbel

In diesem Kapitel sind die Ergebnisse für die funktionelle Gruppe Aufbewahrungsmöbel (Durchschnitt Aufbewahrungsmöbel) dargelegt. Für die funktionelle Gruppe Aufbewahrungsmöbel sind folgende Produktgruppen, die teilweise in mehreren Werken gefertigt werden, aggregiert worden:

- Drehtürenschränke
- Schiebetürenschränke
- Schwebetürenschränke
- Spiegelschränke
- Nachtkästchen
- Kommoden

5.3.1.1 Sachbilanz

Tabelle 5.3.1.A zeigt die Sachbilanz für die Herstellung von 1 kg Aufbewahrungsmöbel zzgl. Verpackung als Durchschnitt aller Aufbewahrungsmöbel herstellenden Projektteilnehmer.

Für alle eingesetzten Materialien zur Aufbewahrungsmöbelherstellung beträgt die massengewichtete Durchschnitts-Transportdistanz 188 km. Die insgesamt für die Herstellung der deklarierten Einheit 1 kg Aufbewahrungsmöbel zzgl. Verpackung als Input in die Möbelfabrik eingehende Holz- und Holzwerkstoffmenge beträgt 1,036 kg. Davon verbleiben 0,908 kg im Produkt, 0,022 kg werden zur thermischen Energieerzeugung im Werk eingesetzt und 0,105 kg werden als Späne (Nebenprodukt) verkauft.

Tabelle 5.3.1.A: Sachbilanz des Moduls A3 (Möbelfabrik) für 1 kg Aufbewahrungsmöbel zzgl. Verpackung (Durchschnitt Aufbewahrungsmöbel)

Input	Menge	Einheit
Holz und Holzwerkstoffe		
im Produkt: Spanplatte (roh, melaminbeschichtet, furniert)	0,840	kg
im Produkt: Faserplatte (roh, melaminbeschichtet, furniert)	0,046	kg
im Produkt: Sperrholz und Furnier	0,000	kg
im Produkt: Schnittholz (Nadel- und Laubholz)	0,000	kg
Nebenprodukt: verschiedene Vorfertigungsgrade von Spanplatte, Faserplatte, Sperrholz, Furnier, Schnittholz	0,105	kg
im Produkt: Zugekaufte Möbelteile	0,022	kg
Beschichtung		
High Pressure Laminate (HPL), melaminharzgetränktes Dekorpapier, Lack, sonstige	0,019	kg
Klebstoffe		
Polyurethan-Klebstoff (PU), Harnstoff-Formaldehyd-Klebstoff (UF), Weißleim (PVAC), Schmelzkleber (EVA)	0,002	kg
Beschläge		
Beschläge, überwiegend metallisch	0,027	kg
Metallgestelle und -schubkästen	0,004	kg
Kunststoffe (ABS, PP, PS, PVC, PE, PA, PU)		
Kunststoff-Beschlagteile, Kantenmaterial, sonstiges	0,007	kg
Sonstiges		
Glas, Spiegel, sonstiges	0,040	kg
Verpackung		
Karton, Folie (PE), Polystyrol (PS), sonstiges	0,014	kg
Betriebsmittel		
Öl, Fett, Reinigungsmittel, sonstiges	0,000	kg
Diesel für Staplerfahrzeuge	0,000	kg
Trinkwasser	0,240	kg
Energiebedarf		
Strom für Fertigung	0,308	MJ
Strom für Absaugung	0,176	MJ
Strom für Druckluft	0,073	MJ
Strom für Beleuchtung	0,047	MJ
Strom für Sonstiges	0,032	MJ
Wärme aus Erdgas	0,000	MJ
Wärme aus Öl	0,084	MJ
Eigenes Industrierestholz aus der Produktion zur Wärmeerzeugung; Späne und Reste von Spanplatte, Faserplatte, Sperrholz, Furnier, Schnittholz	0,022	kg
Zugekauftes Altholz zur Wärmeerzeugung	0,000	kg
Output		
Produkt		
Möbel	1,000	kg
Verpackung	0,014	kg
Nebenprodukt		
Holzreste und Späne zum Verkauf	0,105	kg
Emissionen aus		
Verbrennung von eigenem Industrierestholz/ zugekauftem Altholz	Berechnet über Hintergrunddaten aus ÖkoHolzBauDat	
Verbrennung von Diesel, Öl, Erdgas	Berechnet über Hintergrunddaten aus GaBi Professional und ÖkoHolzBauDat	
Sonstiges		
Asche aus Verbrennung von eigenem Industrierestholz und zugekauftem Altholz	Berechnet über Hintergrunddaten aus ÖkoHolzBauDat	
Abwasser	0,240	kg
Abfälle		
Karton, Folie, Metall, gemischter Gewerbeabfall	0,007	kg

5.3.1.2 Ergebnisse aus Sachbilanz und Wirkungsabschätzung

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse für 1 kg Aufbewahrungsmöbel zzgl. Verpackung (Durchschnitt Aufbewahrungsmöbel) gegliedert nach den Aspekten potentielle Umweltwirkungen, Ressourceneinsatz sowie Abfallaufkommen tabellarisch dargestellt. Für die nach DIN EN 15804:2014 relevanten Umweltparameter werden in den untersuchten Modulen des Lebenszyklus die entsprechenden Werte ausgewiesen. Die Module C2 und C3 sowie D sind dabei Szenarien, für die keine Primärdaten erhoben worden sind.

Potentielle Umweltwirkungen

Es werden die potentiellen Umweltwirkungen, d. h. die Wirkungsindikatorwerte der einzelnen Wirkungskategorien (in der DIN EN 15804:2014 Parameter genannt) dargestellt (Tabelle 5.3.1.B). Die auf die holzinhärenten Kohlenstoffflüsse zurückzuführenden Beiträge zum GWP sind entsprechend der in Kapitel 2.3 (S. 9) beschriebenen Methode in den Modulen A1 und C3 für im Produkt verbleibendes Holz sowie A3 und C3 für eventuelle Holzanteile an der Verpackung berücksichtigt worden.

Tabelle 5.3.1.B: Potentielle Umweltwirkungen für 1 kg Aufbewahrungsmöbel zzgl. Verpackung (Durchschnitt Aufbewahrungsmöbel)

Parameter	Einheit	A1	A2	A3	Σ A1-A3	C2	C3	Σ A1-C3	max. Abweichung +%/ -% A1-C3	D
GWP	kg CO ₂ -Äq.	-7,12E-01	8,67E-03	1,41E-01	-5,62E-01	9,46E-04	1,43E+00	8,67E-01	+152/-13	-5,17E-01
ODP	kg CFC11-Äq.	4,24E-08	1,65E-14	1,17E-09	4,36E-08	1,80E-15	3,12E-12	4,36E-08	+79/-5	-2,69E-11
AP	kg SO ₂ -Äq.	2,26E-03	3,87E-05	3,24E-04	2,62E-03	4,22E-06	5,11E-05	2,68E-03	+186/-14	-3,02E-04
EP	kg PO ₄ ³⁻ -Äq.	3,80E-04	1,05E-05	5,32E-05	4,44E-04	1,14E-06	6,66E-06	4,52E-04	+142/-9	2,96E-05
POCP	kg Ethen-Äq.	4,33E-04	-1,43E-05	1,28E-04	5,47E-04	-1,56E-06	3,83E-06	5,50E-04	+36/-7	-6,18E-05
ADPE	kg Sb-Äq.	4,20E-05	4,59E-10	4,50E-08	4,20E-05	5,01E-11	7,60E-09	4,20E-05	+281/-30	-6,14E-08
ADPF	MJ	1,02E+01	1,18E-01	1,80E+00	1,22E+01	1,29E-02	3,15E-01	1,25E+01	+139/-11	-7,96E+00

Es bedeuten:

GWP	Treibhauspotential
ODP	Potential des Abbaus der stratosphärischen Ozonschicht
AP	Versauerungspotential von Boden und Wasser
EP	Eutrophierungspotential / Überdüngungspotential
POCP	Troposphärisches Ozonbildungspotential
ADPE	Potential für die Verknappung von abiotischen Ressourcen – nicht fossile Ressourcen / ADP-Stoffe
ADPF	Potential für die Verknappung von abiotischen Ressourcen – fossile Energieträger / ADP-fossile Energieträger

Das negative Treibhauspotential in Modul A1 von -0,712 kg CO₂-Äq. ist durch den Systemeingang von -1,40 kg CO₂ in Modul A1 bedingt durch den Holzanteil im Produkt zu erklären. Diese Menge CO₂ verlässt das System in Modul C3 zusammen mit den Lasten der Altholzaufbereitung wieder.

Näher erläutert werden die holzinhärente Kohlenstoffbilanz und die darauf zurückzuführenden CO₂-Flüsse in Kapitel 5.3.1.4 (S. 74).

Ressourceneinsatz

Die nachfolgende Tabelle 5.3.1.C zeigt den Ressourceneinsatz für die deklarierte Einheit aufgeteilt nach den betrachteten Modulen.

Tabelle 5.3.1.C: Ressourceneinsatz für 1 kg Aufbewahrungsmöbel zzgl. Verpackung (Durchschnitt Aufbewahrungsmöbel)

Parameter	Einheit	A1	A2	A3	Σ A1-A3	C2	C3	Σ A1-C3	D
PERE	MJ	3,35E+00	9,08E-03	1,07E+00	4,42E+00	9,90E-04	1,17E-01	4,54E+00	1,38E+01
PERM	MJ	1,46E+01	0,00E+00	1,52E-01	1,48E+01	0,00E+00	-1,48E+01	0,00E+00	0,00E+00
PERT	MJ	1,80E+01	9,08E-03	1,22E+00	1,92E+01	9,90E-04	-1,47E+01	4,54E+00	1,38E+01
PENRE	MJ	1,17E+01	1,19E-01	2,07E+00	1,39E+01	1,29E-02	4,25E-01	1,43E+01	-7,79E+00
PENRM	MJ	9,20E-01	0,00E+00	1,87E-01	1,11E+00	0,00E+00	-1,11E+00	0,00E+00	0,00E+00
PENRT	MJ	1,26E+01	1,19E-01	2,26E+00	1,50E+01	1,29E-02	-6,82E-01	1,43E+01	-7,79E+00
SM	kg	-	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	3,05E-02
RSF	MJ	- ³⁰	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	-
NRSF	MJ	-	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	-
FW	m ³	8,28E-01	6,35E-04	2,54E-01	1,08E+00	6,92E-05	7,21E-02	1,15E+00	-6,11E-01

Es bedeuten:

- PERE: Einsatz erneuerbarer Primärenergie, ohne die erneuerbaren Primärenergieträger, die als Rohstoff verwendet werden (energetische Nutzung)
- PERM: Einsatz der als Rohstoff verwendeten erneuerbaren Primärenergieträger (stoffliche Nutzung)
- PERT: Gesamteinsatz erneuerbarer Primärenergie (energetische und stoffliche Nutzung)
- PENRE: Einsatz nicht erneuerbarer Primärenergie, ohne die als Rohstoff verwendeten nicht erneuerbaren Primärenergieträger (energetische Nutzung)
- PENRM: Einsatz der als Rohstoff verwendeten nicht erneuerbaren Primärenergieträger (stoffliche Nutzung)
- PENRT: Gesamteinsatz nicht erneuerbarer Primärenergie (energetische und stoffliche Nutzung)
- SM: Einsatz von Sekundärstoffen
- RSF: Einsatz von erneuerbaren Sekundärbrennstoffen
- NRSF: Einsatz von nicht erneuerbaren Sekundärbrennstoffen
- FW: Nettoeinsatz von Süßwasserressourcen

Eine allgemeine Erläuterung zur obigen Darstellung des Ressourceneinsatzes findet sich bei der ersten Darstellung (Gesamtdurchschnitt Projekt) in Kapitel 5.2.2. ab S. 53.

³⁰ Die Werte für die Parameter des Sekundär(brenn)stoffeinsatzes in Modul A1 (Parameter SM, RSF, NRSF) und Modul D als energetischem Verwertungsszenario (Parameter RSF und NRSF) können aus den Vorkettendatensätzen der verwendeten Datenbanken nicht ausgelesen werden. Da also auf Basis der vorhandenen Modelle keine konsistente Auswertung des eingesetzten Sekundärmaterials in der vollständigen Vorkette erfolgen kann, werden die entsprechenden Parameter in diesen Modulen mit einem Strich versehen.

Outputflüsse und Abfallkategorien

In Tabelle 5.3.1.D sind die für die deklarierte Einheit relevanten Outputflüsse und Abfallkategorien zu finden.

Tabelle 5.3.1.D: Outputflüsse und Abfallkategorien für 1 kg Aufbewahrungsmöbel zzgl. Verpackung (Durchschnitt Aufbewahrungsmöbel)

Parameter	Einheit	A1	A2	A3	Σ A1-A3	C2	C3	Σ A1-C3	D
HWD	kg	1,32E-06	9,51E-08	1,19E-04	1,20E-04	1,04E-08	4,00E-07	1,21E-04	5,06E-05
NHWD	kg	1,85E+00	9,81E-04	6,59E-01	2,51E+00	1,07E-04	1,80E-01	2,69E+00	-1,84E+00
RWD	kg	7,18E-04	2,09E-07	1,69E-04	8,87E-04	2,28E-08	4,40E-05	9,31E-04	-3,71E-04
CRU	kg	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
MFR	kg	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	3,05E-02	3,05E-02	0,00E+00
MER	kg	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	9,39E-01	9,39E-01	0,00E+00
EE Strom	MJ	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
EE Wärme	MJ	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00

Es bedeuten:

HWD	Gefährlicher Abfall zur Deponierung
NHWD	Entsorgter nicht gefährlicher Abfall
RWD	Entsorgter radioaktiver Abfall
CRU	Komponenten für die Weiterverwendung
MFR	Stoffe zum Recycling
MER	Stoffe für die Energierückgewinnung
EE Strom	Exportierte Energie (Strom)
EE Wärme	Exportierte Energie (Wärme)

Eine allgemeine Erläuterung zur obigen Darstellung der Outputflüsse und Abfallkategorien findet sich bei der ersten Darstellung (Gesamtdurchschnitt Projekt) in Kapitel 5.2.2 ab S. 53.

5.3.1.3 Dominanzanalyse

Die Dominanzanalyse zur detaillierten Beurteilung des Durchschnitts für Aufbewahrungsmöbel (1 kg Aufbewahrungsmöbel auf Projektebene) wird auf Basis der Parameter der potentiellen Umweltwirkungen und der Primärenergieeinsätze sowie einer gesonderten Betrachtung des Parameters GWP (ohne holzinhärente Beiträge) durchgeführt. Dabei werden, je nach Erkenntnisinteresse, unterschiedliche Lebenszyklusabschnitte bzw. Module betrachtet.

Beiträge der Module zu den Parametern der Umweltwirkung und des Primärenergieeinsatzes

Nachfolgend sind die Beiträge der untersuchten Module zu den potentiellen Umweltwirkungen dargestellt (Abbildung 5.3.1.A). Die Darstellung zum Parameter GWP umfasst alle während des Produktlebenszyklus auftretenden CO₂-Äquivalente, abzüglich derer, die unmittelbar durch den im Holz des Produkts und in eventuellen Holzanteilen der Produktverpackung befindlichen Kohlenstoff auftreten, d. h. die holzinhärenten Kohlenstoffflüsse sind hier nicht berücksichtigt.

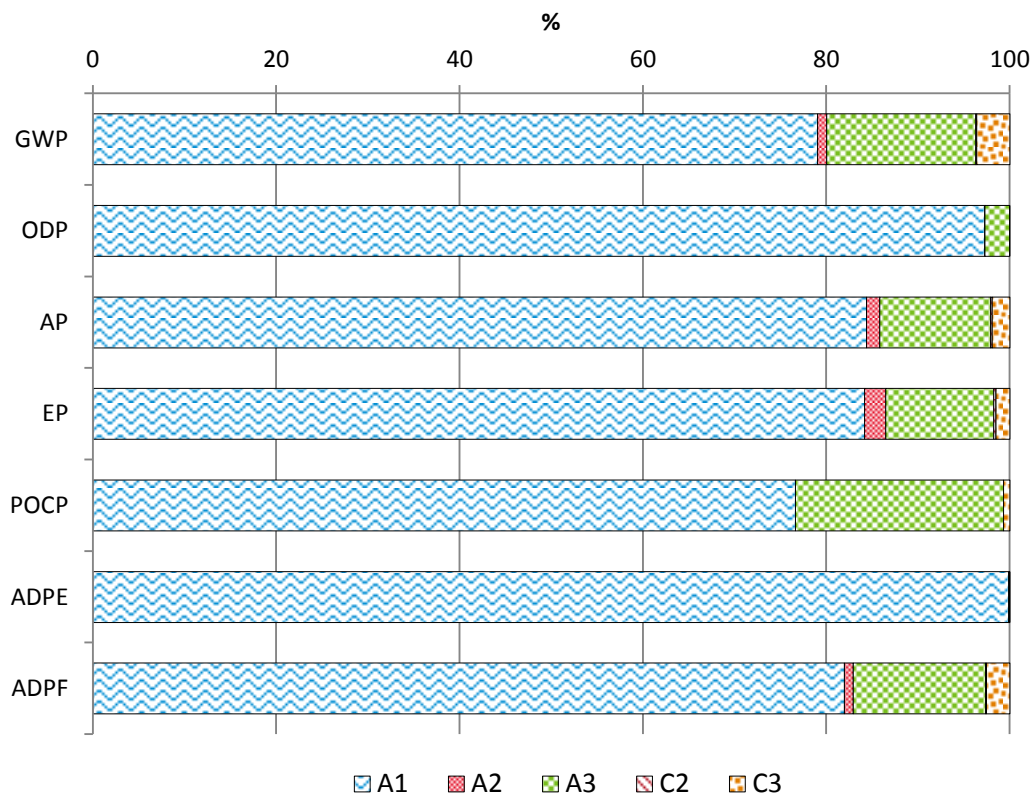


Abbildung 5.3.1.A: Relative Beiträge der Module zu den potentiellen Umweltwirkungen. Deklarierte Einheit ist 1 kg Aufbewahrungsmöbel zzgl. Verpackung (Durchschnitt Aufbewahrungsmöbel)

Das Modul A1 trägt 79,0 % zum GWP bei. Hier sind als Treiber insbesondere die Herstellung von Holzwerkstoffen sowie Beschlägen hervorzuheben. Das Modul A3 verursacht 16,3 % des GWP.

Der im Vergleich zum Durchschnitt aller hergestellten Möbel auf Projektebene etwas geringere Anteil des Moduls A1 ist hauptsächlich in der im Vergleich geringeren Menge an Metallbestandteilen in der Gruppe der Aufbewahrungsmöbel begründet.

In Abbildung 5.3.1.B sind die Beiträge der untersuchten Module zum Primärenergieeinsatz dargestellt:

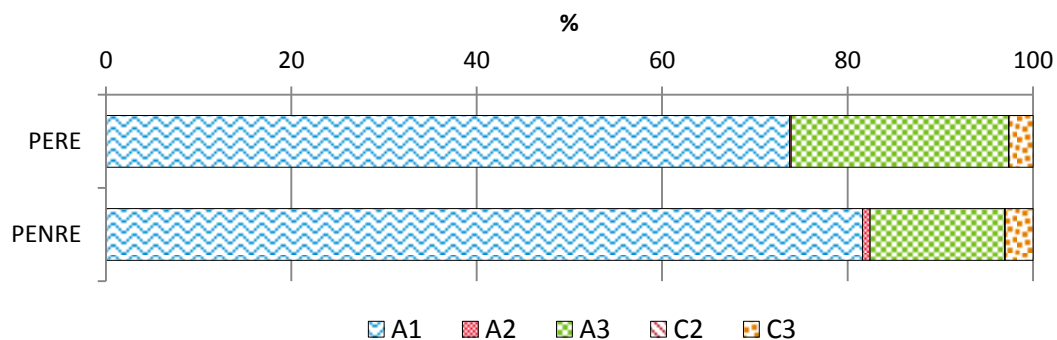


Abbildung 5.3.1.B: Relative Beiträge der Module zum Primärenergieeinsatz. Deklarierte Einheit ist 1 kg Aufbewahrungsmöbel zzgl. Verpackung (Durchschnitt Aufbewahrungsmöbel)

Der Parameter PERE, Primärenergie erneuerbar energetisch, wird hauptsächlich beeinflusst von den Modulen A1 und A3. In beiden Modulen wird in nennenswertem Umfang Biomasse in Form von Holz zur Erzeugung thermischer Energie verbrannt, in A1 zur Herstellung von Holzwerkstoffen und Schnittholz, in A3 direkt innerhalb der Möbelfabrik. PENRE, Primärenergie nicht erneuerbar energetisch, wird ebenso wie PERE hauptsächlich von den Modulen A1 und A3 beansprucht, einen geringeren Anteil stellt noch das Transportmodul A2 dar.

Die stofflich genutzte Primärenergie wird in obiger Darstellung nicht abgebildet, da sie, wie bereits erwähnt, nicht verbraucht wird, sondern am Ende des Produktlebenszyklus noch vorhanden ist und somit über alle Module ein Nullsummenspiel darstellt.

Detaillierte Zusammensetzung des Parameters GWP

Für weitere Analysen wird auf den Parameter GWP fokussiert, da insbesondere hier neben dem Modul A1 auch das Modul A3, d. h. die Möbelfertigung, einen nennenswerten Anteil hat. Details zum GWP der hölzernen Vorprodukte (A1 Holz) können dem Bericht zum Projekt ÖkoHolzBauDat (Rüter und Diederichs, 2012) entnommen werden.

Nachfolgend sind die absoluten Beiträge zum Parameter GWP (ohne holzinhärenten Kohlenstoff) veranschaulicht (Abbildung 5.3.1.C).

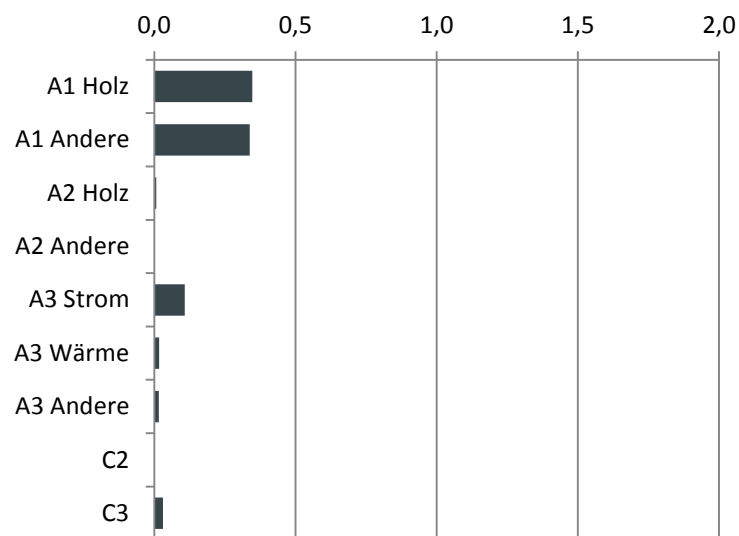


Abbildung 5.3.1.C: Absolute Beiträge zum Parameter GWP (ohne holzinhärenten Kohlenstoff) in kg CO₂-Äquivalent. Deklarierte Einheit ist 1 kg Aufbewahrungsmöbel zzgl. Verpackung (Durchschnitt Aufbewahrungsmöbel)

Es wird deutlich, dass die Bereitstellung von hölzernen Halbwaren in Modul A1 den größten Beitrag zum GWP von insgesamt 0,867 kg CO₂-Äquivalenten innerhalb der Module A1 bis C3 liefert. Darauf folgend sind die Herstellung der Nichtholzbestandteile sowie der Strombedarf in der Möbelfabrik zu nennen.

Durch Tabelle 5.3.1.E, Abbildung 5.3.1.D und Tabelle 5.3.1.F werden die Beiträge zum GWP in den Modulen A1 bis A3, also innerhalb der Herstellungsphase der betrachteten durchschnittlichen deklarierten Einheit, detailliert dargestellt. Die Szenarien für die Module C2 und C3 sind hier nicht Gegenstand der Betrachtung.

Tabelle 5.3.1.E: Absolute und relative Beiträge zum Parameter GWP (ohne holzinhärenten Kohlenstoff) innerhalb der Module A1 bis A3. Deklarierte Einheit ist 1 kg Aufbewahrungsmöbel zzgl. Verpackung (Durchschnitt Aufbewahrungsmöbel)

Parameter	Einheit	A1 Holz	A1 Andere	A2 Holz	A2 Andere	A3 Strom	A3 Wärme	A3 Andere	Σ A1-A3
GWP	kg CO ₂ -Äq.	3,47E-01	3,38E-01	6,79E-03	1,89E-03	1,08E-01	1,73E-02	1,58E-02	8,35E-01
Anteile	%	41,6	40,5	0,8	0,2	12,9	2,1	1,9	100,0

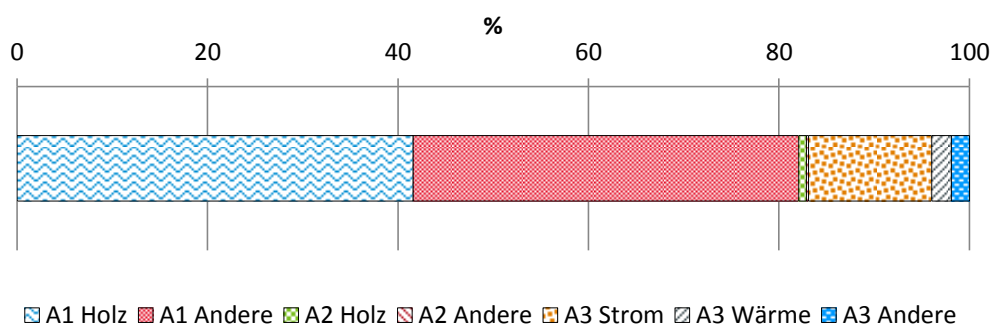


Abbildung 5.3.1.D: Relative Beiträge zum Parameter GWP (ohne holzinhärenten Kohlenstoff) für die Module A1 bis A3. Deklarierte Einheit ist 1 kg Aufbewahrungsmöbel zzgl. Verpackung (Durchschnitt Aufbewahrungsmöbel)

Detailliert stellt nachfolgende Tabelle 5.3.1.F die relativen Beiträge zum Parameter GWP in den Modulen A1 bis A3 dar, die über 1 % liegen. Insbesondere die relevanten Einzelbeiträge des Moduls A1 sind ersichtlich.

Tabelle 5.3.1.F: Absolute und relative Beiträge zum Parameter GWP (ohne holzinhärenten Kohlenstoff) innerhalb der Module A1 bis A3, Detailuntersuchung. Deklarierte Einheit ist 1 kg Aufbewahrungsmöbel zzgl. Verpackung (Durchschnitt Aufbewahrungsmöbel)

	GWP	Anteile
	kg CO ₂ -Äq.	%
A1; Bereitstellung Spanplatte roh (stofflich genutzt im Produkt)	2,54E-01	30,4
A1; Bereitstellung Beschläge (überwiegend metallisch)	2,16E-01	25,8
A3; Strom	1,08E-01	12,9
A1; Bereitstellung MDF melaminbeschichtet (stofflich genutzt im Produkt)	4,02E-02	4,8
A1; Bereitstellung Spiegel	3,90E-02	4,7
A1; Bereitstellung Spanplatte melaminbeschichtet (stofflich genutzt im Produkt)	3,80E-02	4,5
A1; Bereitstellung Klarlack wasserbasiert	2,45E-02	2,9
A1; Bereitstellung Kunststoff-Mix; PP, PS, PVC, PE, PA, PU	1,92E-02	2,3
A1; Bereitstellung Korpusteile Zukauf (stofflich genutzt im Produkt)	1,37E-02	1,6
A3; Wärme	1,73E-02	2,1
A1; Bereitstellung Metallgestelle und -schubkästen	1,26E-02	1,5
A1; Bereitstellung Glas	9,41E-03	1,1
A3; Hausmüllähnlicher Gewerbeabfall in MVA Produktionsabfall	8,76E-03	1,0

Deutlich ersichtlich ist, dass die verarbeiteten Holzwerkstoffe sowie die Metallbeschläge einen erheblichen Einfluss auf das GWP der deklarierten Einheit haben. Auch der Bedarf an elektrischer Energie in der Möbelfabrik spielt eine große Rolle beim Parameter GWP. Die in der Tabelle gelisteten Einflussfaktoren ergeben zusammen 95,6 % des GWP innerhalb der Module A1 bis A3 von absolut 0,835 kg CO₂-Äq. ohne holzinhärente Kohlenstoffflüsse.

Möbelfabrik: Detaillierte Beiträge zum Parameter GWP innerhalb des Moduls A3

Modul A3 wird nachfolgend näher betrachtet, da dies die Möbelfabrik, in der Primärdaten erhoben wurden, repräsentiert. Die Beiträge der verschiedenen Energieverbräuche zum GWP ohne holzinhärente Kohlenstoffflüsse innerhalb des Moduls A3 sind nachfolgend illustriert (Tabelle 5.3.1.G, Abbildung 5.3.1.E).

Tabelle 5.3.1.G: Absolute und relative Beiträge zum Parameter GWP (ohne holzinhärenten Kohlenstoff) innerhalb des Moduls A3 nach Energieverbrauchern. Deklarierte Einheit ist 1 kg Aufbewahrungsmöbel zzgl. Verpackung (Durchschnitt Aufbewahrungsmöbel)

Parameter	Einheit	A3 Strom Fertigung	A3 Strom Absaugung	A3 Strom Druckluft	A3 Strom Beleuchtung	A3 Strom Sonstiges	A3 Wärme Gas	A3 Wärme Öl	A3 Wärme Holz	A3 Andere	Σ A3
GWP	kg CO ₂ -Äq.	5,22E-02	2,98E-02	1,24E-02	7,94E-03	5,42E-03	0,00E+00	7,17E-03	1,02E-02	1,58E-02	1,41E-01
Anteile	%	37,1	21,2	8,8	5,6	3,8	0,0	5,1	7,2	11,2	100,0

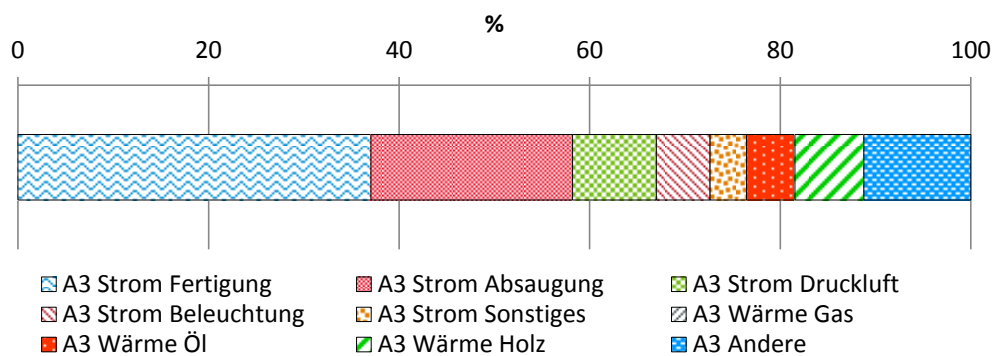


Abbildung 5.3.1.E: Relative Beiträge zum Parameter GWP (ohne holzinhärenten Kohlenstoff) innerhalb des Moduls A3 nach Energieverbrauchern. Deklarierte Einheit ist 1 kg Aufbewahrungsmöbel zzgl. Verpackung (Durchschnitt Aufbewahrungsmöbel)

Der Strom für die Fertigungsmaschinen trägt mit 37,1 %, der Strom für die Absaugung mit 21,2 %, der Strom für die Druckluftherzeugung mit 8,8 % und die Bereitstellung von Wärme aus Holz mit 7,2 % zum GWP ohne holzinhärente Kohlenstoffflüsse bei. Dieses beträgt im Modul A3 0,141 kg CO₂-Äq. für die deklarierte Einheit 1 kg Aufbewahrungsmöbel zzgl. Verpackung. Die Bereitstellung von Wärme aus Holz trägt ebenfalls zum GWP ohne holzinhärente Kohlenstoffflüsse bei, da die Herstellung des Anteils der Holzhalbwaren, der in der Möbelfabrik zur Energieerzeugung eingesetzt wird, nicht in Modul A1 sondern in Modul A3 bilanziert werden muss. Daher sind fossile Emissionen, die in der Herstellung von Spanplatten und andern Halbwaren, die schließlich in der Möbelfabrik verbrannt werden, in Modul A3 enthalten. In der Kategorie A3 Andere sind z. B. die Herstellung der Verpackung und die Herstellung und Entsorgung von Betriebsmitteln sowie die Entsorgung von Produktionsabfällen enthalten.

5.3.1.4 Holzhäufige Kohlenstoffbilanz

Die holzhäufige Kohlenstoffbilanz für die deklarierte Einheit 1 kg Aufbewahrungsmöbel zzgl. Verpackung, ausgedrückt als CO₂, wird von nachfolgender Abbildung 5.3.1.G dargestellt.

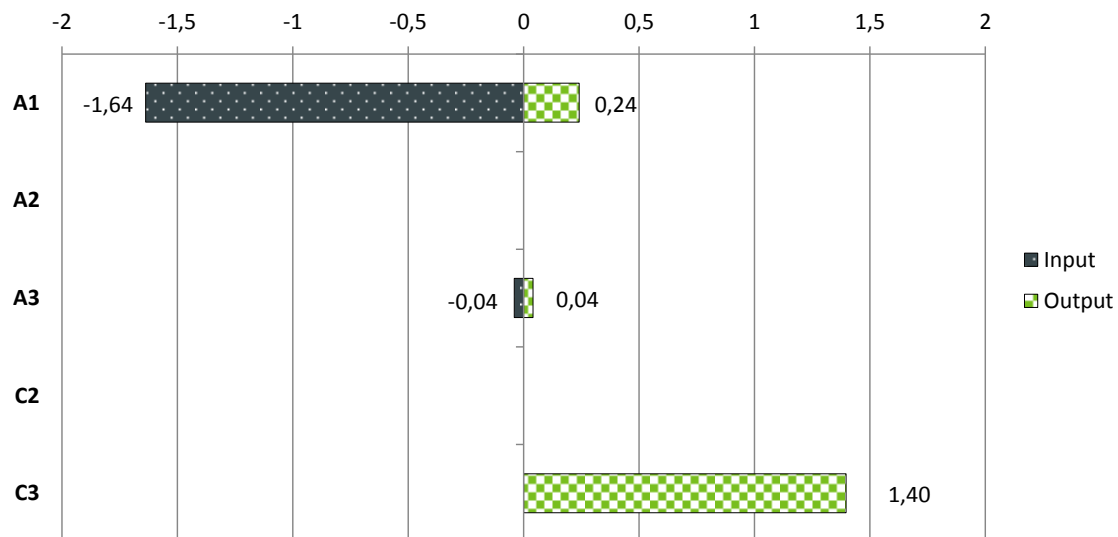


Abbildung 5.3.1.G: Holzhäufige Kohlenstoffbilanz ausgedrückt als kg CO₂. Deklarierte Einheit ist 1 kg Aufbewahrungsmöbel zzgl. Verpackung (Durchschnitt Aufbewahrungsmöbel)

Durch die Bereitstellung des für die Holz- und Holzwerkstoffproduktion benötigten Rohholzes werden 1,64 kg CO₂ in Modul A1 auf das Produktsystem übertragen. Hiervon werden bereits während der Halbwarenherstellung 0,24 kg CO₂ emittiert. In Modul A3 werden durch die Bereitstellung des später in der Möbelfabrik anfallenden Industrierestholzes 0,04 kg CO₂ auf das Produktsystem übertragen. Diese 0,04 kg CO₂ werden während der Herstellung des Industrierestholzes (Herstellung des Anteils der eingekauften Holz- und Holzwerkstoffmenge, der in der Möbelfabrik zur Energieerzeugung verbrannt wird) sowie durch die Verbrennung des Industrierestholzes zur Energiegewinnung in der Möbelfabrik ebenfalls in Modul A3 wieder emittiert. Schließlich verlassen 1,40 kg CO₂ das Produktsystem als verwertbares Altholz im ausgedienten Produkt in Modul C3.

5.3.2 Ergebnis für Ablagemöbel

In diesem Kapitel sind die Ergebnisse für die funktionelle Gruppe Ablagemöbel (Durchschnitt Ablagemöbel) dargelegt. Für die funktionelle Gruppe Ablagemöbel ist folgende Produktgruppe, die in mehreren Werken gefertigt wird, berücksichtigt worden:

- Schreibtische

5.3.2.1 Sachbilanz

Tabelle 5.3.2.A zeigt die Sachbilanz für die Herstellung von 1 kg Ablagemöbel zzgl. Verpackung als Durchschnitt aller Ablagemöbel herstellenden Projektteilnehmer.

Für alle eingesetzten Materialien zur Ablagemöbelherstellung beträgt die massengewichtete Durchschnitts-Transportdistanz 345 km. Die insgesamt für die Herstellung der deklarierten Einheit 1 kg Ablagemöbel zzgl. Verpackung als Input in die Möbelfabrik eingehende Holz- und Holzwerkstoffmenge beträgt 0,797 kg. Davon verbleiben 0,616 kg im Produkt, 0,022 kg werden zur thermischen Energieerzeugung im Werk eingesetzt und 0,159 kg werden als Späne (Nebenprodukt) verkauft.

Tabelle 5.3.2.A: Sachbilanz des Moduls A3 (Möbelfabrik) für 1 kg Ablagemöbel zzgl. Verpackung (Durchschnitt Ablagemöbel)

Input	Menge	Einheit
Holz und Holzwerkstoffe		
im Produkt: Spanplatte (roh, melaminbeschichtet, furniert)	0,611	kg
im Produkt: Faserplatte (roh, melaminbeschichtet, furniert)	0,005	kg
im Produkt: Sperrholz und Furnier	0,000	kg
im Produkt: Schnittholz (Nadel- und Laubholz)	0,000	kg
Nebenprodukt: verschiedene Vorfertigungsgrade von Spanplatte, Faserplatte, Sperrholz, Furnier, Schnittholz	0,159	kg
im Produkt: Zugekaufte Möbelteile	0,000	kg
Beschichtung		
High Pressure Laminate (HPL), melaminharzgetränktes Dekorpapier, Lack, sonstige	0,004	kg
Klebstoffe		
Polyurethan-Klebstoff (PU), Harnstoff-Formaldehyd-Klebstoff (UF), Weißleim (PVAC), Schmelzkleber (EVA)	0,001	kg
Beschläge		
Beschläge, überwiegend metallisch	0,009	kg
Metallgestelle und -schubkästen	0,348	kg
Kunststoffe (ABS, PP, PS, PVC, PE, PA, PU)		
Kunststoff-Beschlagteile, Kantenmaterial, sonstiges	0,031	kg
Sonstiges		
Glas, Spiegel, sonstiges	0,000	kg
Verpackung		
Karton, Folie (PE), Polystyrol (PS), sonstiges	0,003	kg
Betriebsmittel		
Öl, Fett, Reinigungsmittel, sonstiges	0,000	kg
Diesel für Staplerfahrzeuge	0,000	kg
Trinkwasser	0,146	kg
Energiebedarf		
Strom für Fertigung	0,153	MJ
Strom für Absaugung	0,078	MJ
Strom für Druckluft	0,028	MJ
Strom für Beleuchtung	0,042	MJ
Strom für Sonstiges	0,005	MJ
Wärme aus Erdgas	0,000	MJ
Wärme aus Öl	0,020	MJ
Eigenes Industrierestholz aus der Produktion zur Wärmeerzeugung; Späne und Reste von Spanplatte, Faserplatte, Sperrholz, Furnier, Schnittholz	0,022	kg
Zugekauftes Altholz zur Wärmeerzeugung	0,000	kg
Output		
Produkt		
Möbel	1,000	kg
Verpackung	0,003	kg
Nebenprodukt		
Holzreste und Späne zum Verkauf	0,159	kg
Emissionen aus		
Verbrennung von eigenem Industrierestholz/ zugekauftem Altholz	Berechnet über Hintergrunddaten aus ÖkoHolzBauDat	
Verbrennung von Diesel, Öl, Erdgas	Berechnet über Hintergrunddaten aus GaBi Professional und ÖkoHolzBauDat	
Sonstiges		
Asche aus Verbrennung von eigenem Industrierestholz und zugekauftem Altholz	Berechnet über Hintergrunddaten aus ÖkoHolzBauDat	
Abwasser	0,146	kg
Abfälle		
Karton, Folie, Metall, gemischter Gewerbeabfall	0,010	kg

5.3.2.2 Ergebnisse aus Sachbilanz und Wirkungsabschätzung

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse für 1 kg Ablagemöbel zzgl. Verpackung (Durchschnitt Ablagemöbel) gegliedert nach den Aspekten potentielle Umweltwirkungen, Ressourceneinsatz sowie Abfallaufkommen tabellarisch dargestellt. Für die nach DIN EN 15804:2014 relevanten Umweltparameter werden in den untersuchten Modulen des Lebenszyklus die entsprechenden Werte ausgewiesen. Die Module C2 und C3 sowie D sind dabei Szenarien, für die keine Primärdaten erhoben worden sind.

Potentielle Umweltwirkungen

Es werden die potentiellen Umweltwirkungen, d. h. die Wirkungsindikatorwerte der einzelnen Wirkungskategorien (in der DIN EN 15804:2014 Parameter genannt) dargestellt (Tabelle 5.3.2.B). Die auf die holzinhärenten Kohlenstoffflüsse zurückzuführenden Beiträge zum GWP sind entsprechend der in Kapitel 2.3 (S. 9) beschriebenen Methode in den Modulen A1 und C3 für im Produkt verbleibendes Holz sowie A3 und C3 für eventuelle Holzanteile an der Verpackung berücksichtigt worden.

Tabelle 5.3.2.B: Potentielle Umweltwirkungen für 1 kg Ablagemöbel zzgl. Verpackung (Durchschnitt Ablagemöbel)

Parameter	Einheit	A1	A2	A3	Σ A1-A3	C2	C3	Σ A1-C3	max. Abweichung +%/ -% A1-C3	D
GWP	kg CO ₂ -Äq.	7,44E-01	1,61E-02	7,62E-02	8,36E-01	9,35E-04	9,70E-01	1,81E+00	n. a. ³¹	-8,93E-01
ODP	kg CFC11-Äq.	3,75E-08	3,05E-14	1,45E-09	3,90E-08	1,78E-15	2,11E-12	3,90E-08	n. a.	-1,21E-11
AP	kg SO ₂ -Äq.	5,79E-03	7,16E-05	1,69E-04	6,03E-03	4,17E-06	3,46E-05	6,07E-03	n. a.	-2,27E-03
EP	kg PO ₄ ³⁻ -Äq.	6,18E-04	1,94E-05	3,18E-05	6,70E-04	1,13E-06	4,52E-06	6,75E-04	n. a.	-1,53E-04
POCP	kg Ethen-Äq.	8,01E-04	-2,65E-05	3,87E-05	8,13E-04	-1,55E-06	2,60E-06	8,14E-04	n. a.	-3,48E-04
ADPE	kg Sb-Äq.	2,33E-05	8,50E-10	1,89E-08	2,34E-05	4,95E-11	5,15E-09	2,34E-05	n. a.	-4,71E-08
ADPF	MJ	2,18E+01	2,19E-01	7,89E-01	2,28E+01	1,27E-02	2,13E-01	2,30E+01	n. a.	-1,03E+01

Es bedeuten:

GWP	Treibhauspotential
ODP	Potential des Abbaus der stratosphärischen Ozonschicht
AP	Versauerungspotential von Boden und Wasser
EP	Eutrophierungspotential / Überdüngungspotential
POCP	Troposphärisches Ozonbildungspotential
ADPE	Potential für die Verknappung von abiotischen Ressourcen – nicht fossile Ressourcen / ADP-Stoffe
ADPF	Potential für die Verknappung von abiotischen Ressourcen – fossile Energieträger / ADP-fossile Energieträger

³¹ Abweichungen können für die funktionelle Gruppe der Ablagemöbel nicht angegeben werden, da der Durchschnitt aus weniger als 3 Unternehmen gebildet wurde.

Das relativ geringe Treibhauspotential in Modul A1 von 0,744 kg CO₂-Äq. ist durch den Systemeingang von -0,95 kg CO₂ in Modul A1 bedingt durch den Holzanteil im Produkt zu erklären. Diese Menge CO₂ verlässt das System in Modul C3 zusammen mit den Lasten der Altholzaufbereitung wieder. Näher erläutert werden die holzhäufige Kohlenstoffbilanz und die darauf zurückzuführenden CO₂-Flüsse in Kapitel 5.3.2.4 (S. 86).

Ressourceneinsatz

Die nachfolgende Tabelle 5.3.2.C zeigt den Ressourceneinsatz für die deklarierte Einheit aufgeteilt nach den betrachteten Modulen.

Tabelle 5.3.2.C: Ressourceneinsatz für 1 kg Ablagemöbel zzgl. Verpackung (Durchschnitt Ablagemöbel)

Parameter	Einheit	A1	A2	A3	Σ A1-A3	C2	C3	Σ A1-C3	D
PERE	MJ	4,09E+00	1,68E-02	6,60E-01	4,77E+00	9,80E-04	7,95E-02	4,85E+00	9,46E+00
PERM	MJ	9,95E+00	0,00E+00	3,54E-02	9,99E+00	0,00E+00	-9,99E+00	0,00E+00	0,00E+00
PERT	MJ	1,40E+01	1,68E-02	6,96E-01	1,48E+01	9,80E-04	-9,91E+00	4,85E+00	9,46E+00
PENRE	MJ	2,41E+01	2,19E-01	9,91E-01	2,53E+01	1,28E-02	2,88E-01	2,56E+01	-9,35E+00
PENRM	MJ	1,25E+00	0,00E+00	4,20E-02	1,29E+00	0,00E+00	-1,29E+00	0,00E+00	0,00E+00
PENRT	MJ	2,54E+01	2,19E-01	1,03E+00	2,66E+01	1,28E-02	-1,00E+00	2,56E+01	-9,35E+00
SM	kg	-	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	3,57E-01
RSF	MJ	- ³²	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	-
NRSF	MJ	-	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	-
FW	m ³	3,94E+00	1,18E-03	1,18E-01	4,06E+00	6,85E-05	4,89E-02	4,11E+00	-3,00E-01

Es bedeuten:

- PERE: Einsatz erneuerbarer Primärenergie, ohne die erneuerbaren Primärenergieträger, die als Rohstoff verwendet werden (energetische Nutzung)
- PERM: Einsatz der als Rohstoff verwendeten erneuerbaren Primärenergieträger (stoffliche Nutzung)
- PERT: Gesamteinsatz erneuerbarer Primärenergie (energetische und stoffliche Nutzung)
- PENRE: Einsatz nicht erneuerbarer Primärenergie, ohne die als Rohstoff verwendeten nicht erneuerbaren Primärenergieträger (energetische Nutzung)
- PENRM: Einsatz der als Rohstoff verwendeten nicht erneuerbaren Primärenergieträger (stoffliche Nutzung)
- PENRT: Gesamteinsatz nicht erneuerbarer Primärenergie (energetische und stoffliche Nutzung)
- SM: Einsatz von Sekundärstoffen
- RSF: Einsatz von erneuerbaren Sekundärbrennstoffen
- NRSF: Einsatz von nicht erneuerbaren Sekundärbrennstoffen
- FW: Nettoeinsatz von Süßwasserressourcen

³² Die Werte für die Parameter des Sekundär(brenn)stoffeinsatzes in Modul A1 (Parameter SM, RSF, NRSF) und Modul D als energetischem Verwertungsszenario (Parameter RSF und NRSF) können aus den Vorkettendatensätzen der verwendeten Datenbanken nicht ausgelesen werden. Da also auf Basis der vorhandenen Modelle keine konsistente Auswertung des eingesetzten Sekundärmaterials in der vollständigen Vorkette erfolgen kann, werden die entsprechenden Parameter in diesen Modulen mit einem Strich versehen.

Eine allgemeine Erläuterung zur obigen Darstellung des Ressourceneinsatzes findet sich bei der ersten Darstellung (Gesamtdurchschnitt Projekt) in Kapitel 5.2.2 ab S. 53.

Outputflüsse und Abfallkategorien

In Tabelle 5.3.2.D sind die für die deklarierte Einheit relevanten Outputflüsse und Abfallkategorien zu finden.

Tabelle 5.3.2.D: Outputflüsse und Abfallkategorien für 1 kg Ablagemöbel zzgl. Verpackung (Durchschnitt Ablagemöbel)

Parameter	Einheit	A1	A2	A3	Σ A1-A3	C2	C3	Σ A1-C3	D
HWD	kg	4,61E-06	1,76E-07	7,20E-05	7,68E-05	1,03E-08	2,71E-07	7,71E-05	3,51E-05
NHWD	kg	6,11E+00	1,82E-03	3,25E-01	6,44E+00	1,06E-04	1,22E-01	6,56E+00	-4,43E+00
RWD	kg	1,17E-03	3,86E-07	8,87E-05	1,26E-03	2,25E-08	2,98E-05	1,29E-03	-1,44E-04
CRU	kg	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
MFR	kg	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	3,57E-01	3,57E-01	0,00E+00
MER	kg	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	6,52E-01	6,52E-01	0,00E+00
EE Strom	MJ	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
EE Wärme	MJ	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00

Es bedeuten:

HWD	Gefährlicher Abfall zur Deponierung
NHWD	Entsorgter nicht gefährlicher Abfall
RWD	Entsorgter radioaktiver Abfall
CRU	Komponenten für die Weiterverwendung
MFR	Stoffe zum Recycling
MER	Stoffe für die Energierückgewinnung
EE Strom	Exportierte Energie (Strom)
EE Wärme	Exportierte Energie (Wärme)

Eine allgemeine Erläuterung zur obigen Darstellung der Outputflüsse und Abfallkategorien findet sich bei der ersten Darstellung (Gesamtdurchschnitt Projekt) in Kapitel 5.2.2 ab S. 53.

5.3.2.3 Dominanzanalyse

Die Dominanzanalyse zur detaillierten Beurteilung des Durchschnitts für Ablagemöbel (1 kg Ablagemöbel auf Projektebene) wird auf Basis der Parameter der potentiellen Umweltwirkungen und der Primärenergieeinsätze sowie einer gesonderten Betrachtung des Parameters GWP (ohne holzinhärente Beiträge) durchgeführt. Dabei werden, je nach Erkenntnisinteresse, unterschiedliche Lebenszyklusabschnitte bzw. Module betrachtet.

Beiträge der Module zu den Parametern der Umweltwirkung und des Primärenergieeinsatzes

Nachfolgend sind die Beiträge der untersuchten Module zu den potentiellen Umweltwirkungen dargestellt (Abbildung 5.3.2.A). Die Darstellung zum Parameter GWP umfasst alle während des Produktlebenszyklus auftretenden CO₂-Äquivalente, abzüglich derer, die unmittelbar durch den im Holz des Produkts und in eventuellen Holzanteilen der Produktverpackung befindlichen Kohlenstoff auftreten, d. h. die holzinhärenten Kohlenstoffflüsse sind hier nicht berücksichtigt.

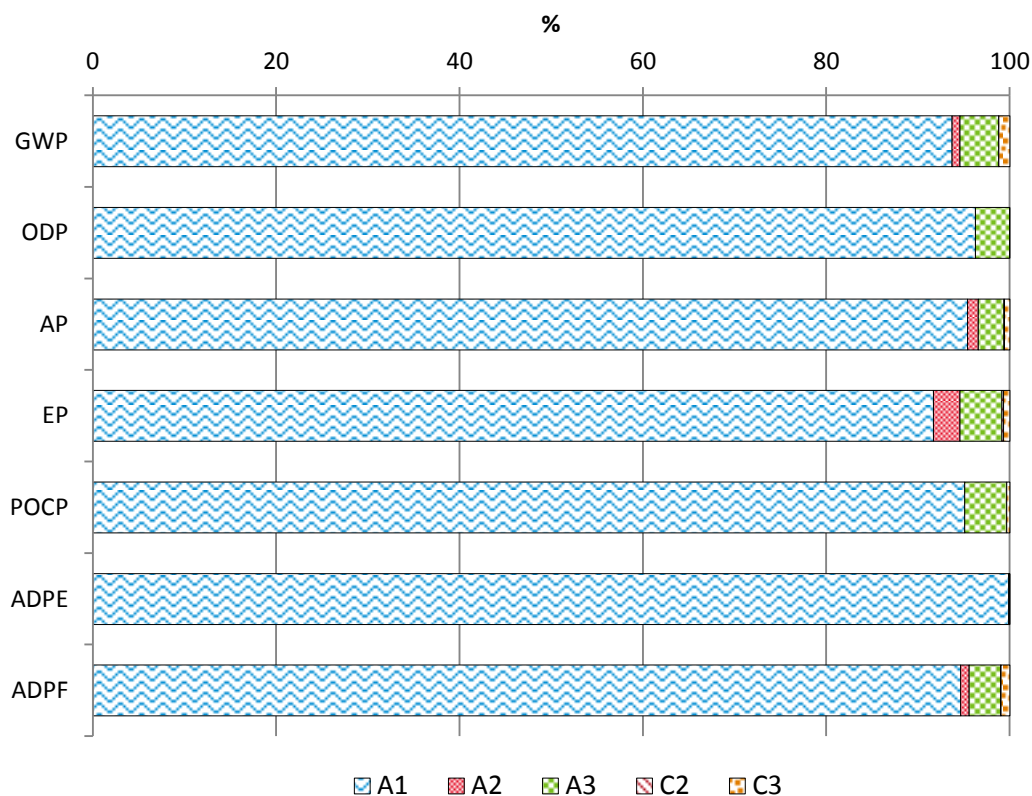


Abbildung 5.3.2.A: Relative Beiträge der Module zu den potentiellen Umweltwirkungen. Deklarierte Einheit ist 1 kg Ablagemöbel zzgl. Verpackung (Durchschnitt Ablagemöbel)

Das Modul A1 trägt 93,7 % zum GWP bei. Hier sind als Treiber insbesondere Beschläge und andere Metallkomponenten hervorzuheben. Das Modul A3 verursacht 4,2 % des GWP.

Der im Vergleich zum Durchschnitt aller hergestellten Möbel auf Projektebene relativ hohe Anteil des Moduls A1 ist hauptsächlich in der im Vergleich hohen Menge an Metallbestandteilen in der Gruppe der Ablagemöbel begründet. Der geringe Anteil des Moduls A3 ist dadurch zu erklären, dass bei Schreibtischen mit Metallgestell lediglich die Tischplatte in der Möbelfabrik hergestellt wird und die Metallkomponenten zugekauft werden.

In Abbildung 5.3.2.B sind die Beiträge der untersuchten Module zum Primärenergieeinsatz dargestellt:

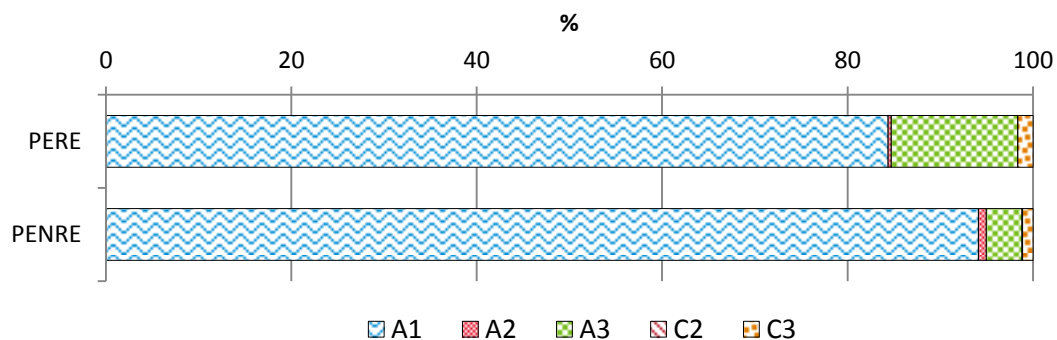


Abbildung 5.3.2.B: Relative Beiträge der Module zum Primärenergieeinsatz. Deklarierte Einheit ist 1 kg Ablagemöbel zzgl. Verpackung (Durchschnitt Ablagemöbel)

Der Parameter PERE, Primärenergie erneuerbar energetisch, wird hauptsächlich beeinflusst von den Modulen A1 und A3. In beiden Modulen wird in nennenswertem Umfang Biomasse in Form von Holz zur Erzeugung thermischer Energie verbrannt, in A1 zur Herstellung von Holzwerkstoffen und Schnittholz, in A3 direkt innerhalb der Möbelfabrik. PENRE, Primärenergie nicht erneuerbar energetisch, wird ebenso wie PERE hauptsächlich von den Modulen A1 und A3 beansprucht, einen geringeren Anteil stellt noch das Transportmodul A2 dar.

Die stofflich genutzte Primärenergie wird in obiger Darstellung nicht abgebildet, da sie, wie bereits erwähnt, nicht verbraucht wird, sondern am Ende des Produktlebenszyklus noch vorhanden ist und somit über alle Module ein Nullsummenspiel darstellt.

Detaillierte Zusammensetzung des Parameters GWP

Für weitere Analysen wird auf den Parameter GWP fokussiert. Details zum GWP der hölzernen Vorprodukte (A1 Holz) können dem Bericht zum Projekt ÖkoHolzBauDat (Rüter und Diederichs, 2012) entnommen werden.

Nachfolgend sind die absoluten Beiträge zum Parameter GWP (ohne holzinhärenten Kohlenstoff) veranschaulicht (Abbildung 5.3.2.C).

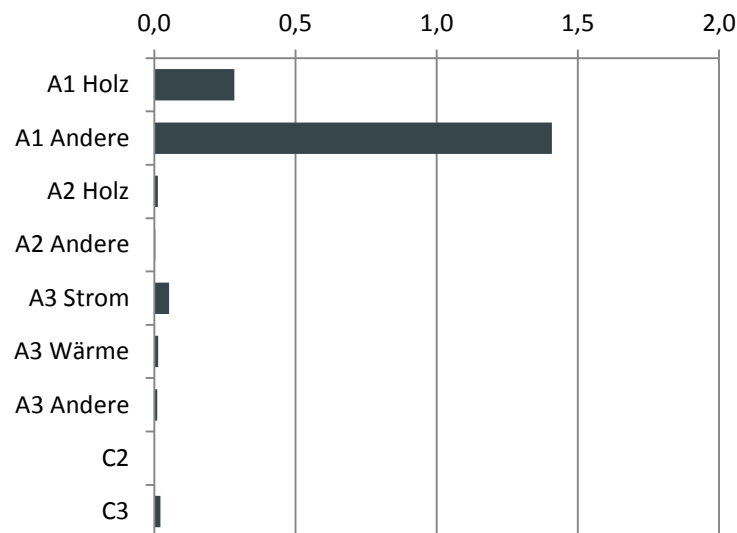


Abbildung 5.3.2.C: Absolute Beiträge zum Parameter GWP (ohne holzinhärenten Kohlenstoff) in kg CO₂-Äquivalent. Deklarierte Einheit ist 1 kg Ablagemöbel zzgl. Verpackung (Durchschnitt Ablagemöbel)

Es wird deutlich, dass die Bereitstellung von Nichtholzbestandteilen in Modul A1 den größten Betrag zum GWP von insgesamt 1,81 kg CO₂-Äquivalenten innerhalb der Module A1 bis C3 liefert. Darauf folgend ist die Herstellung der Holzbestandteile zu nennen. Aus der Sachbilanz ist ersichtlich, dass die Gruppe der Ablagemöbel einen sehr viel höheren Metallanteil enthält als der Projektdurchschnitt oder die Aufbewahrungsmöbel. Dieser dominiert die Ergebnisse für den Parameter GWP.

Durch Tabelle 5.3.2.E, Abbildung 5.3.2.D und Tabelle 5.3.2.F werden die Beiträge zum GWP in den Modulen A1 bis A3, also innerhalb der Herstellungsphase der betrachteten durchschnittlichen deklarierten Einheit, detailliert dargestellt. Die Szenarien für die Module C2 und C3 sind hier nicht Gegenstand der Betrachtung.

Tabelle 5.3.2.E: Absolute und relative Beiträge zum Parameter GWP (ohne holzinhärenten Kohlenstoff) innerhalb der Module A1 bis A3. Deklarierte Einheit ist 1 kg Ablagemöbel zzgl. Verpackung (Durchschnitt Ablagemöbel)

Parameter	Einheit	A1 Holz	A1 Andere	A2 Holz	A2 Andere	A3 Strom	A3 Wärme	A3 Andere	Σ A1-A3
GWP	kg CO ₂ -Äq.	2,84E-01	1,41E+00	1,22E-02	3,86E-03	5,19E-02	1,36E-02	1,06E-02	1,79E+00
Anteile	%	15,9	78,9	0,7	0,2	2,9	0,8	0,6	100,0

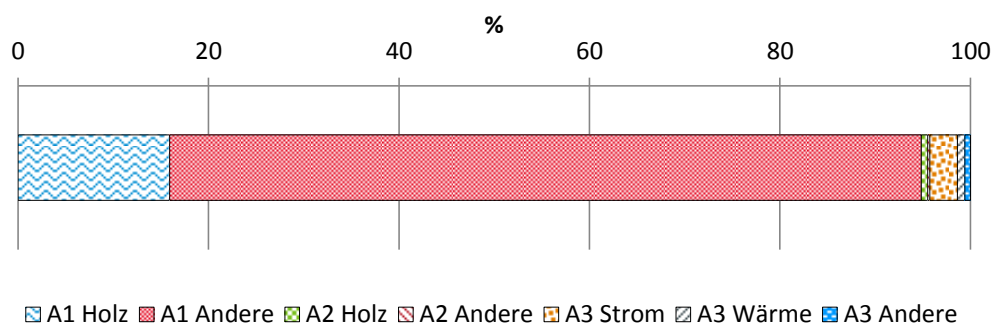


Abbildung 5.3.2.D: Relative Beiträge zum Parameter GWP (ohne holzinhärenten Kohlenstoff) für die Module A1 bis A3. Deklarierte Einheit ist 1 kg Ablagemöbel zzgl. Verpackung (Durchschnitt Ablagemöbel)

Detailliert stellt nachfolgende Tabelle 5.3.2.F die relativen Beiträge zum Parameter GWP in den Modulen A1 bis A3 dar, die über 1 % liegen. Insbesondere die relevanten Einzelbeiträge des Moduls A1 sind ersichtlich.

Tabelle 5.3.2.F: Absolute und relative Beiträge zum Parameter GWP (ohne holzinhärenten Kohlenstoff) innerhalb der Module A1 bis A3, Detailuntersuchung. Deklarierte Einheit ist 1 kg Ablagemöbel zzgl. Verpackung (Durchschnitt Ablagemöbel)

	GWP	Anteile
	kg CO ₂ -Äq.	%
A1; Bereitstellung Metallgestelle und -schubkästen	1,21E+00	67,6
A1; Bereitstellung Spanplatte melaminbeschichtet (stofflich genutzt im Produkt)	2,29E-01	12,9
A1; Bereitstellung Kunststoff-Mix; PP, PS, PVC, PE, PA, PU	1,16E-01	6,5
A1; Bereitstellung Beschläge (überwiegend metallisch)	7,35E-02	4,1
A1; Bereitstellung Spanplatte roh (stofflich genutzt im Produkt)	5,23E-02	2,9
A3; Strom	5,19E-02	2,9

Die Bereitstellung der Metallgestelle für die Schreibtische hat den höchsten Einfluss auf das GWP der deklarierten Einheit. Auch die Herstellung von Holzwerkstoffen spielt eine relativ große Rolle beim Parameter GWP. Die in der Tabelle gelisteten Einflussfaktoren ergeben zusammen 96,9 % des GWP innerhalb der Module A1 bis A3 von absolut 1,79 kg CO₂-Äq. ohne holzinhärente Kohlenstoffflüsse.

Möbelfabrik: Detaillierte Beiträge zum Parameter GWP innerhalb des Moduls A3

Modul A3 wird nachfolgend näher betrachtet, da dies die Möbelfabrik, in der Primärdaten erhoben wurden, repräsentiert. Die Beiträge der verschiedenen Energieverbräuche zum GWP ohne holzinhärente Kohlenstoffflüsse innerhalb des Moduls A3 sind nachfolgend illustriert (Tabelle 5.3.2.G, Abbildung 5.3.2.E).

Tabelle 5.3.2.G: Absolute und relative Beiträge zum Parameter GWP (ohne holzinhärenten Kohlenstoff) innerhalb des Moduls A3 nach Energieverbrauchern. Deklarierte Einheit ist 1 kg Ablagemöbel zzgl. Verpackung (Durchschnitt Ablagemöbel)

Parameter	Einheit	A3 Strom Fertigung	A3 Strom Absaugung	A3 Strom Druckluft	A3 Strom Beleuchtung	A3 Strom Sonstiges	A3 Wärme Gas	A3 Wärme Öl	A3 Wärme Holz	A3 Andere	Σ A3
GWP	kg CO ₂ -Äq.	2,58E-02	1,33E-02	4,82E-03	7,13E-03	9,00E-04	0,00E+00	1,69E-03	1,20E-02	1,06E-02	7,62E-02
Anteile	%	33,9	17,4	6,3	9,4	1,2	0,0	2,2	15,7	13,9	100,0

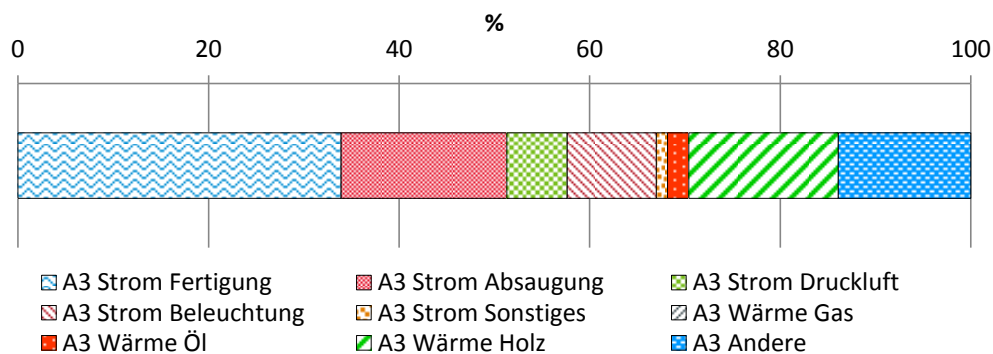


Abbildung 5.3.2.E: Relative Beiträge zum Parameter GWP (ohne holzinhärenten Kohlenstoff) innerhalb des Moduls A3 nach Energieverbrauchern. Deklarierte Einheit ist 1 kg Ablagemöbel zzgl. Verpackung (Durchschnitt Ablagemöbel)

Der Strom für die Fertigungsmaschinen trägt mit 33,9 %, der Strom für die Absaugung mit 17,4 % und die Bereitstellung von Wärme aus Holz mit 15,7 % zum GWP ohne holzinhärente Kohlenstoffflüsse bei. Dieses beträgt im Modul A3 0,0762 kg CO₂-Äq. für die deklarierte Einheit 1 kg Ablagemöbel zzgl. Verpackung. Die Bereitstellung von Wärme aus Holz trägt ebenfalls zum GWP ohne holzinhärente Kohlenstoffflüsse bei, da die Herstellung des Anteils der Holzhalbwaren, der in der Möbelfabrik zur Energieerzeugung eingesetzt wird, nicht in Modul A1 sondern in Modul A3 bilanziert werden muss. Daher sind fossile Emissionen, die in der Herstellung von Spanplatten und andern Halbwaren, die schließlich in der Möbelfabrik verbrannt werden, in Modul A3 enthalten. In der Kategorie A3 Andere sind z. B. die Herstellung der Verpackung und die Herstellung und Entsorgung von Betriebsmitteln sowie die Entsorgung von Produktionsabfällen enthalten.

5.3.2.4 Holzhäufige Kohlenstoffbilanz

Die holzhäufige Kohlenstoffbilanz für die deklarierte Einheit 1 kg Ablagemöbel zzgl. Verpackung, ausgedrückt als CO₂, wird von nachfolgender Abbildung 5.3.2.G dargestellt.

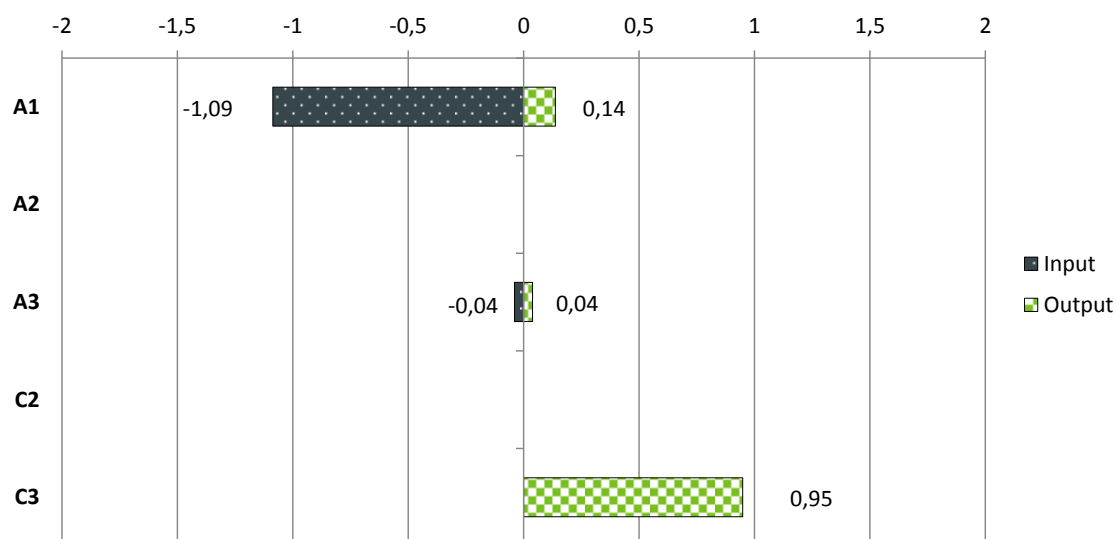


Abbildung 5.3.2.G: Holzhäufige Kohlenstoffbilanz ausgedrückt als kg CO₂. Deklarierte Einheit ist 1 kg Ablagemöbel zzgl. Verpackung (Durchschnitt Ablagemöbel)

Durch die Bereitstellung des für die Holz- und Holzwerkstoffproduktion benötigten Rohholzes werden 1,09 kg CO₂ in Modul A1 auf das Produktsystem übertragen. Hiervon werden bereits während der Halbwarenherstellung 0,14 kg CO₂ emittiert. In Modul A3 werden durch die Bereitstellung des später in der Möbelfabrik anfallenden Industrierestholzes 0,04 kg CO₂ auf das Produktsystem übertragen. Diese 0,04 kg CO₂ werden während der Herstellung des Industrierestholzes (Herstellung des Anteils der eingekauften Holz- und Holzwerkstoffmenge, der in der Möbelfabrik zur Energieerzeugung verbrannt wird) sowie durch die Verbrennung des Industrierestholzes zur Energiegewinnung in der Möbelfabrik ebenfalls in Modul A3 wieder emittiert. Schließlich verlassen 0,95 kg CO₂ das Produktsystem als verwertbares Altholz im ausgedienten Produkt in Modul C3.

5.4 Ergebnis für Küchenmöbel

In diesem Kapitel sind die Ergebnisse für die Gruppe Küchenmöbel (Durchschnitt Küchenmöbel) dargelegt. Die Gruppe Küchenmöbel enthält folgende Produktgruppen, die in ihrem Zusammenspiel das Produkt Einbauküche ergeben und im Zuge der Datenerhebung in der Küchenmöbelindustrie nicht getrennt erfasst werden konnten:

- Hochschränke
- Unterschränke
- Hängeschränke
- Arbeitsplatten
- Wangen und Borde

Das bedeutet, dass für die Ökobilanzierung in der Küchenmöbelindustrie lediglich Daten auf Werksebene vorliegen, die keine Unterscheidung in verschiedene Produktgruppen zulassen. Auch der Energieeinsatz wurde demzufolge lediglich auf der Werksebene erhoben, so dass keine Unterteilung in verschiedene Verursacher des Gesamt-Energieverbrauchs möglich ist.

Ferner sei angemerkt, dass Elektrogeräte, Spülen, Armaturen und Beleuchtungselemente nicht Gegenstand der Untersuchung von Küchenmöbeln innerhalb des durchgeführten Projekts sind. Demzufolge sind die reinen Korpusmöbel Gegenstand der Analysen.

5.4.1 Sachbilanz

Tabelle 5.4.1.A zeigt die Sachbilanz für die Herstellung von 1 kg Küchenmöbel zzgl. Verpackung als Durchschnitt aller Küchenmöbel herstellenden Projektteilnehmer.

Für alle eingesetzten Materialien zur Küchenmöbelherstellung beträgt die massengewichtete Durchschnitts-Transportdistanz 343 km. Die insgesamt für die Herstellung der deklarierten Einheit 1 kg Küchenmöbel zzgl. Verpackung als Input in die Möbelfabrik eingehende Holz- und Holzwerkstoffmenge beträgt 1,038 kg. Davon verbleiben 0,873 kg im Produkt, 0,102 kg werden zur thermischen Energieerzeugung im Werk eingesetzt und 0,063 kg werden als Späne (Nebenprodukt) verkauft.

Tabelle 5.4.A: Sachbilanz des Moduls A3 (Möbelfabrik) für 1 kg Küchenmöbel zzgl. Verpackung (Durchschnitt Küchenmöbel)

Input	Menge	Einheit
Holz und Holzwerkstoffe		
im Produkt: Spanplatte (roh, melaminbeschichtet, furniert)	0,110	kg
im Produkt: Faserplatte (roh, melaminbeschichtet, furniert)	0,020	kg
im Produkt: Sperrholz und Furnier	0,000	kg
im Produkt: Schnittholz (Nadel- und Laubholz)	0,005	kg
Nebenprodukt: verschiedene Vorfertigungsgrade von Spanplatte, Faserplatte, Sperrholz, Furnier, Schnittholz	0,063	kg
im Produkt: Zugekaufte Möbelteile	0,738	kg
Beschichtung		
High Pressure Laminate (HPL), melaminharzgetränktes Dekorpapier, Lack, sonstige	0,004	kg
Klebstoffe		
Polyurethan-Klebstoff (PU), Harnstoff-Formaldehyd-Klebstoff (UF), Weißleim (PVAC), Schmelzkleber (EVA)	0,001	kg
Beschläge		
Beschläge, überwiegend metallisch	0,091	kg
Metallgestelle und -schubkästen	0,045	kg
Kunststoffe (ABS, PP, PS, PVC, PE, PA, PU)		
Kunststoff-Beschlagteile, Kantenmaterial, sonstiges	0,005	kg
Sonstiges		
Glas, Spiegel, sonstiges	0,002	kg
Verpackung		
Karton, Folie (PE), Polystyrol (PS), sonstiges	0,042	kg
Betriebsmittel		
Öl, Fett, Reinigungsmittel, sonstiges	0,000	kg
Diesel für Staplerfahrzeuge	0,000	kg
Trinkwasser	0,258	kg
Energiebedarf		
Strom	0,977	MJ
Wärme aus Erdgas	0,016	MJ
Wärme aus Öl	0,096	MJ
Eigenes Industrierestholz aus der Produktion zur Wärmeerzeugung; Späne und Reste von Spanplatte, Faserplatte, Sperrholz, Furnier, Schnittholz	0,102	kg
Zugekauftes Altholz zur Wärmeerzeugung	0,000	kg
Output		
Produkt		
Möbel	1,000	kg
Verpackung	0,042	kg
Nebenprodukt		
Holzreste und Späne zum Verkauf	0,063	kg
Emissionen aus		
Verbrennung von eigenem Industrierestholz/ zugekauftem Altholz	Berechnet über Hintergrunddaten aus ÖkoHolzBauDat	
Verbrennung von Diesel, Öl, Erdgas	Berechnet über Hintergrunddaten aus GaBi Professional und ÖkoHolzBauDat	
Sonstiges		
Asche aus Verbrennung von eigenem Industrierestholz und zugekauftem Altholz	Berechnet über Hintergrunddaten aus ÖkoHolzBauDat	
Abwasser	0,258	kg
Abfälle		
Karton, Folie, Metall, gemischter Gewerbeabfall	0,020	kg

5.4.2 Ergebnisse aus Sachbilanz und Wirkungsabschätzung

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse für 1 kg Küchenmöbel zzgl. Verpackung (Durchschnitt Küchenmöbel) gegliedert nach den Aspekten potentielle Umweltwirkungen, Ressourceneinsatz sowie Abfallaufkommen tabellarisch dargestellt. Für die nach DIN EN 15804:2014 relevanten Umweltparameter werden in den untersuchten Modulen des Lebenszyklus die entsprechenden Werte ausgewiesen. Die Module C2 und C3 sowie D sind dabei Szenarien, für die keine Primärdaten erhoben worden sind.

Potentielle Umweltwirkungen

Es werden die potentiellen Umweltwirkungen, d. h. die Wirkungsindikatorwerte der einzelnen Wirkungskategorien (in der DIN EN 15804:2014 Parameter genannt) dargestellt (Tabelle 5.4.B). Die auf die holzinhärenten Kohlenstoffflüsse zurückzuführenden Beiträge zum GWP sind entsprechend der in Kapitel 2.3 (S. 9) beschriebenen Methode in den Modulen A1 und C3 für im Produkt verbleibendes Holz sowie A3 und C3 für eventuelle Holzanteile an der Verpackung berücksichtigt worden.

Tabelle 5.4.B: Potentielle Umweltwirkungen für für 1 kg Küchenmöbel zzgl. Verpackung (Durchschnitt Küchenmöbel)

Parameter	Einheit	A1	A2	A3	Σ A1-A3	C2	C3	Σ A1-C3	max. Abweichung +%/ -% A1-C3	D
GWP	kg CO ₂ -Äq.	1,60E-01	1,58E-02	2,38E-01	4,14E-01	9,71E-04	1,35E+00	1,77E+00	n. a. ³³	-6,61E-01
ODP	kg CFC11-Äq.	6,21E-08	3,00E-14	7,73E-09	6,99E-08	1,84E-15	3,00E-12	6,99E-08	n. a.	-2,38E-11
AP	kg SO ₂ -Äq.	4,83E-03	7,05E-05	7,29E-04	5,63E-03	4,33E-06	4,91E-05	5,68E-03	n. a.	-8,55E-04
EP	kg PO ₄ ³⁻ -Äq.	6,59E-04	1,91E-05	1,51E-04	8,29E-04	1,17E-06	6,40E-06	8,36E-04	n. a.	-1,94E-05
POCP	kg Ethen-Äq.	7,96E-04	-2,61E-05	2,16E-04	9,86E-04	-1,61E-06	3,68E-06	9,88E-04	n. a.	-1,43E-04
ADPE	kg Sb-Äq.	1,40E-04	8,36E-10	8,96E-08	1,40E-04	5,14E-11	7,30E-09	1,40E-04	n. a.	-6,07E-08
ADPF	MJ	2,00E+01	2,15E-01	3,18E+00	2,34E+01	1,32E-02	3,02E-01	2,37E+01	n. a.	-8,88E+00

Es bedeuten:

GWP	Treibhauspotential
ODP	Potential des Abbaus der stratosphärischen Ozonschicht
AP	Versauerungspotential von Boden und Wasser
EP	Eutrophierungspotential / Überdüngungspotential
POCP	Troposphärisches Ozonbildungspotential
ADPE	Potential für die Verknappung von abiotischen Ressourcen – nicht fossile Ressourcen / ADP-Stoffe
ADPF	Potential für die Verknappung von abiotischen Ressourcen – fossile Energieträger / ADP-fossile Energieträger

³³ Abweichungen können für die Gruppe der Küchenmöbel nicht angegeben werden, da der Durchschnitt aus weniger als 3 Unternehmen gebildet wurde.

Das Treibhauspotential in Modul A1 von 0,160 kg CO₂-Äq. ist durch den Systemeingang von -1,32 kg CO₂ in Modul A1 bedingt durch den Holzanteil im Produkt zu erklären. Diese Menge CO₂ verlässt das System in Modul C3 zusammen mit den Lasten der Altholzaufbereitung wieder. Näher erläutert werden die holzinhärente Kohlenstoffbilanz und die darauf zurückzuführenden CO₂-Flüsse in Kapitel 5.4.4 (S. 97).

Ressourceneinsatz

Die nachfolgende Tabelle 5.4.C zeigt den Ressourceneinsatz für die deklarierte Einheit aufgeteilt nach den betrachteten Modulen.

Tabelle 5.4.C: Ressourceneinsatz für 1 kg Küchenmöbel zzgl. Verpackung (Durchschnitt Küchenmöbel)

Parameter	Einheit	A1	A2	A3	Σ A1-A3	C2	C3	Σ A1-C3	D
PERE	MJ	5,46E+00	1,65E-02	3,41E+00	8,89E+00	1,02E-03	1,13E-01	9,00E+00	1,36E+01
PERM	MJ	1,38E+01	0,00E+00	6,35E-01	1,45E+01	0,00E+00	-1,45E+01	0,00E+00	0,00E+00
PERT	MJ	1,93E+01	1,65E-02	4,05E+00	2,34E+01	1,02E-03	-1,44E+01	9,00E+00	1,36E+01
PENRE	MJ	2,41E+01	2,16E-01	3,96E+00	2,82E+01	1,33E-02	4,09E-01	2,87E+01	-9,23E+00
PENRM	MJ	3,12E-01	0,00E+00	1,56E-01	4,68E-01	0,00E+00	-4,68E-01	0,00E+00	0,00E+00
PENRT	MJ	2,44E+01	2,16E-01	4,11E+00	2,87E+01	1,33E-02	-5,91E-02	2,87E+01	-9,23E+00
SM	kg	-	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,35E-01
RSF	MJ	- ³⁴	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	-
NRSF	MJ	-	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	-
FW	m ³	3,07E+00	1,16E-03	3,96E-01	3,47E+00	7,11E-05	6,93E-02	3,54E+00	-5,48E-01

Es bedeuten:

- PERE: Einsatz erneuerbarer Primärenergie, ohne die erneuerbaren Primärenergieträger, die als Rohstoff verwendet werden (energetische Nutzung)
- PERM: Einsatz der als Rohstoff verwendeten erneuerbaren Primärenergieträger (stoffliche Nutzung)
- PERT: Gesamteinsatz erneuerbarer Primärenergie (energetische und stoffliche Nutzung)
- PENRE: Einsatz nicht erneuerbarer Primärenergie, ohne die als Rohstoff verwendeten nicht erneuerbaren Primärenergieträger (energetische Nutzung)
- PENRM: Einsatz der als Rohstoff verwendeten nicht erneuerbaren Primärenergieträger (stoffliche Nutzung)
- PENRT: Gesamteinsatz nicht erneuerbarer Primärenergie (energetische und stoffliche Nutzung)
- SM: Einsatz von Sekundärstoffen
- RSF: Einsatz von erneuerbaren Sekundärbrennstoffen
- NRSF: Einsatz von nicht erneuerbaren Sekundärbrennstoffen
- FW: Nettoeinsatz von Süßwasserressourcen

³⁴ Die Werte für die Parameter des Sekundär(brenn)stoffeinsatzes in Modul A1 (Parameter SM, RSF, NRSF) und Modul D als energetischem Verwertungsszenario (Parameter RSF und NRSF) können aus den Vorkettendatensätzen der verwendeten Datenbanken nicht ausgelesen werden. Da also auf Basis der vorhandenen Modelle keine konsistente Auswertung des eingesetzten Sekundärmaterials in der vollständigen Vorkette erfolgen kann, werden die entsprechenden Parameter in diesen Modulen mit einem Strich versehen.

Eine allgemeine Erläuterung zur obigen Darstellung des Ressourceneinsatzes findet sich bei der ersten Darstellung (Gesamtdurchschnitt Projekt) in Kapitel 5.2.2 ab S. 53.

Outputflüsse und Abfallkategorien

In Tabelle 5.4.D sind die für die deklarierte Einheit relevanten Outputflüsse und Abfallkategorien zu finden.

Tabelle 5.4.D: Outputflüsse und Abfallkategorien für 1 kg Küchenmöbel zzgl. Verpackung (Durchschnitt Küchenmöbel)

Parameter	Einheit	A1	A2	A3	Σ A1-A3	C2	C3	Σ A1-C3	D
HWD	kg	6,98E-06	1,73E-07	1,28E-04	1,35E-04	1,06E-08	3,84E-07	1,36E-04	4,89E-05
NHWD	kg	4,72E+00	1,79E-03	1,14E+00	5,87E+00	1,10E-04	1,73E-01	6,04E+00	-2,62E+00
RWD	kg	1,48E-03	3,80E-07	3,30E-04	1,81E-03	2,34E-08	4,23E-05	1,85E-03	-3,22E-04
CRU	kg	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
MFR	kg	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,35E-01	1,35E-01	0,00E+00
MER	kg	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	8,86E-01	8,86E-01	0,00E+00
EE Strom	MJ	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
EE Wärme	MJ	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00

Es bedeuten:

HWD	Gefährlicher Abfall zur Deponierung
NHWD	Entsorgter nicht gefährlicher Abfall
RWD	Entsorgter radioaktiver Abfall
CRU	Komponenten für die Weiterverwendung
MFR	Stoffe zum Recycling
MER	Stoffe für die Energierückgewinnung
EE Strom	Exportierte Energie (Strom)
EE Wärme	Exportierte Energie (Wärme)

Eine allgemeine Erläuterung zur obigen Darstellung der Outputflüsse und Abfallkategorien findet sich bei der ersten Darstellung (Gesamtdurchschnitt Projekt) in Kapitel 5.2.2 ab S. 53.

5.4.3 Dominanzanalyse

Die Dominanzanalyse zur detaillierten Beurteilung des Durchschnitts für Küchenmöbel (1 kg Küchenmöbel auf Projektebene) wird auf Basis der Parameter der potentiellen Umweltwirkungen und der Primärenergieeinsätze sowie einer gesonderten Betrachtung des Parameters GWP (ohne holzinhärente Beiträge) durchgeführt. Dabei werden, je nach Erkenntnisinteresse, unterschiedliche Lebenszyklusabschnitte bzw. Module betrachtet.

Beiträge der Module zu den Parametern der Umweltwirkung und des Primärenergieeinsatzes

Nachfolgend sind die Beiträge der untersuchten Module zu den potentiellen Umweltwirkungen dargestellt (Abbildung 5.4.A). Die Darstellung zum Parameter GWP umfasst alle während des Produktlebenszyklus auftretenden CO₂-Äquivalente, abzüglich derer, die unmittelbar durch den im Holz des Produkts und in eventuellen Holzanteilen der Produktverpackung befindlichen Kohlenstoff auftreten, d. h. die holzinhärenten Kohlenstoffflüsse sind hier nicht berücksichtigt.

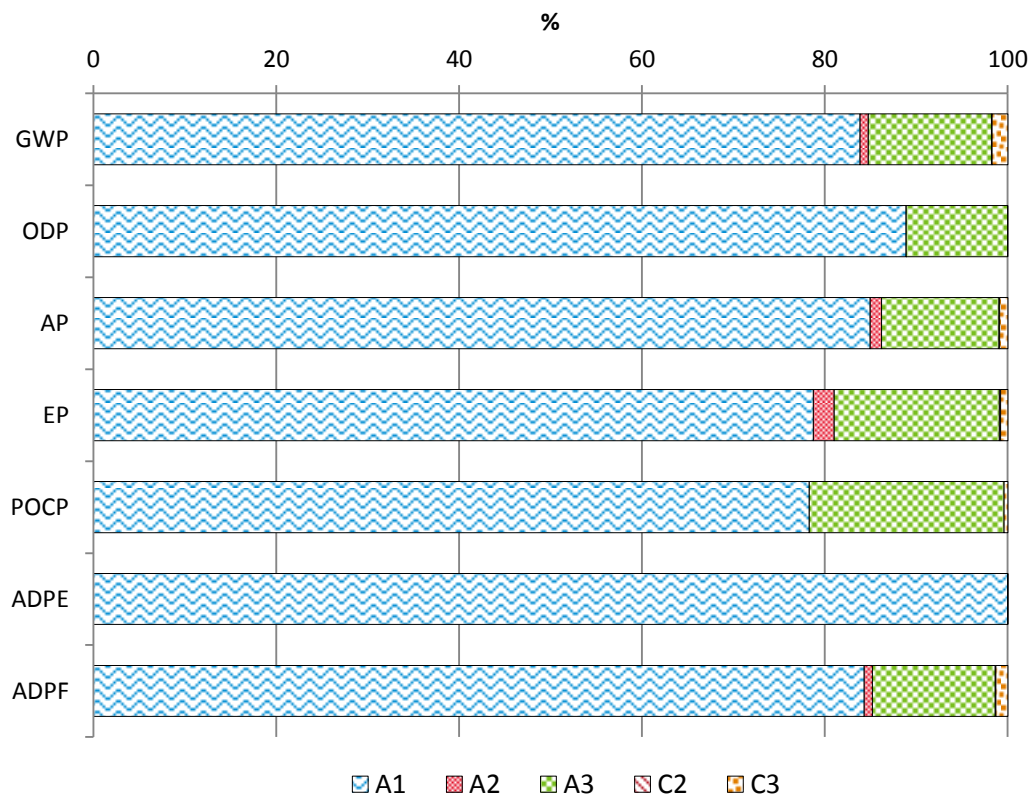


Abbildung 5.4.A: Relative Beiträge der Module zu den potentiellen Umweltwirkungen. Deklarierte Einheit ist 1 kg Küchenmöbel zzgl. Verpackung (Durchschnitt Küchenmöbel)

Das Modul A1 trägt 83,9 % zum GWP bei. Hier sind als Treiber insbesondere Beschläge und andere Metallkomponenten sowie die Herstellung der zugekauften Möbelteile hervorzuheben. Das Modul A3 verursacht 13,5 % des GWP.

Das Potential für die Verknappung abiotischer nicht fossiler Ressourcen (ADPE, Stoffe) wird komplett von Modul A1 verursacht, hier von der Herstellung von Beschlägen (insbesondere beeinflusst vom im Rahmen der Modellierung angenommenen Zinkgussanteil von 35 %).

In Abbildung 5.4.B sind die Beiträge der untersuchten Module zum Primärenergieeinsatz dargestellt:

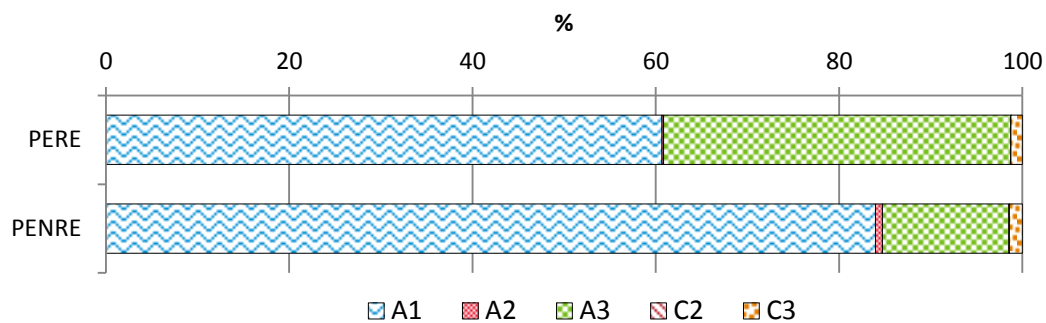


Abbildung 5.4.B: Relative Beiträge der Module zum Primärenergieeinsatz. Deklarierte Einheit ist 1 kg Küchenmöbel zzgl. Verpackung (Durchschnitt Küchenmöbel)

Der Parameter PERE, Primärenergie erneuerbar energetisch, wird hauptsächlich beeinflusst von den Modulen A1 und A3. In beiden Modulen wird in nennenswertem Umfang Biomasse in Form von Holz zur Erzeugung thermischer Energie verbrannt, in A1 zur Herstellung von Holzwerkstoffen und Schnittholz, in A3 direkt innerhalb der Möbelfabrik. PENRE, Primärenergie nicht erneuerbar energetisch, wird ebenso wie PERE hauptsächlich von den Modulen A1 und A3 beansprucht, einen geringeren Anteil stellt noch das Transportmodul A2 dar.

Die stofflich genutzte Primärenergie wird in obiger Darstellung nicht abgebildet, da sie, wie bereits erwähnt, nicht verbraucht wird, sondern am Ende des Produktlebenszyklus noch vorhanden ist und somit über alle Module ein Nullsummenspiel darstellt.

Detaillierte Zusammensetzung des Parameters GWP

Für weitere Analysen wird auf den Parameter GWP fokussiert, da insbesondere hier neben dem Modul A1 auch das Modul A3, d. h. die Küchenmöbelfertigung, einen nennenswerten Anteil hat. Details zum GWP der hölzernen Vorprodukte (A1 Holz) können dem Bericht zum Projekt Öko-HolzBauDat (Rüter und Diederichs, 2012) entnommen werden.

Nachfolgend sind die absoluten Beiträge zum Parameter GWP (ohne holzinhärenten Kohlenstoff) veranschaulicht (Abbildung 5.4.C).

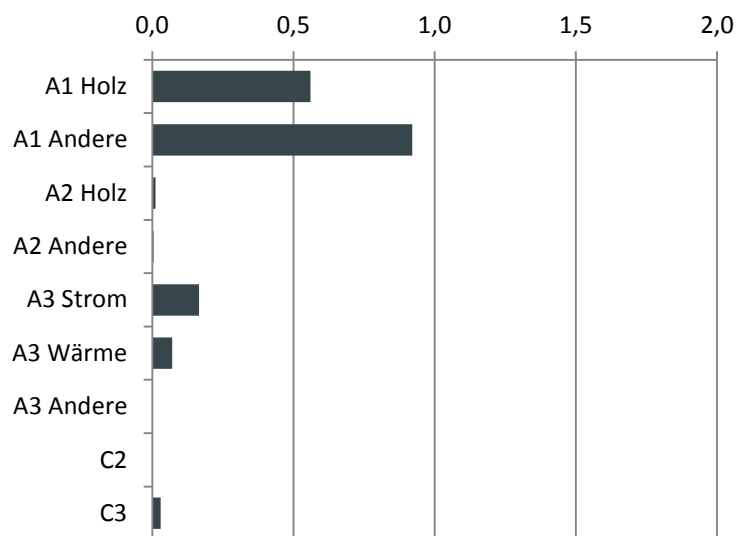


Abbildung 5.4.C: Absolute Beiträge zum Parameter GWP (ohne holzinhärenten Kohlenstoff) in kg CO₂-Äquivalent. Deklarierte Einheit ist 1 kg Küchenmöbel zzgl. Verpackung (Durchschnitt Küchenmöbel)

Es wird deutlich, dass die Bereitstellung von Nichtholz-Halbwaren in Modul A1 den größten Beitrag zum GWP von insgesamt 1,77 kg CO₂-Äquivalent innerhalb der Module A1 bis C3 liefert. Darauf folgend sind die Herstellung der Holzhalbwaren sowie der Strombedarf in der Küchenmöbelfabrik zu nennen.

Durch Tabelle 5.4.E, Abbildung 5.4.D und Tabelle 5.4.F werden die Beiträge zum GWP in den Modulen A1 bis A3, also innerhalb der Herstellungsphase der betrachteten durchschnittlichen deklarierten Einheit, detailliert dargestellt. Die Szenarien für die Module C2 und C3 sind hier nicht Gegenstand der Betrachtung.

Tabelle 5.4.E: Absolute und relative Beiträge zum Parameter GWP (ohne holzinhärenten Kohlenstoff) innerhalb der Module A1 bis A3. Deklarierte Einheit ist 1 kg Küchenmöbel zzgl. Verpackung (Durchschnitt Küchenmöbel)

Parameter	Einheit	A1 Holz	A1 Andere	A2 Holz	A2 Andere	A3 Strom	A3 Wärme	A3 Andere	Σ A1-A3
GWP	kg CO ₂ -Äq.	5,60E-01	9,21E-01	1,12E-02	4,60E-03	1,65E-01	7,05E-02	2,10E-03	1,73E+00
Anteile	%	32,3	53,1	0,6	0,3	9,5	4,1	0,1	100,0

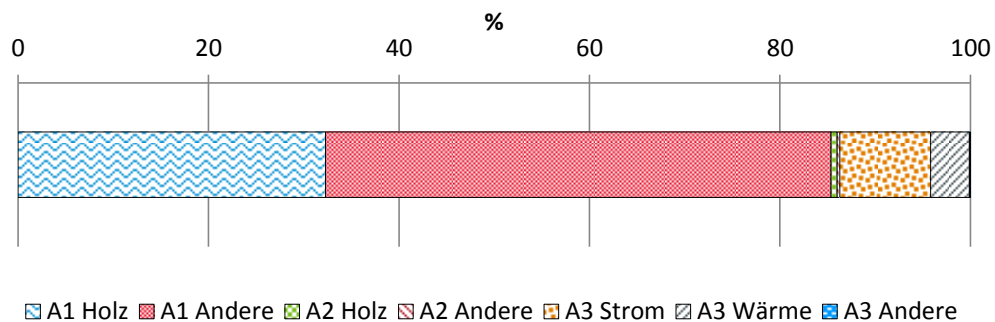


Abbildung 5.4.D: Relative Beiträge zum Parameter GWP (ohne holzinhärenten Kohlenstoff) für die Module A1 bis A3. Deklarierte Einheit ist 1 kg Küchenmöbel zzgl. Verpackung (Durchschnitt Küchenmöbel)

Deutlich ersichtlich ist, dass die Bereitstellung der Nichtholzbestandteile der Küchenmöbel den größten Einfluss auf das Treibhauspotential ohne holzinhärente Kohlenstoffflüsse hat. Insbesondere sind hier Metallbestandteile zu nennen.

Detailliert stellt nachfolgende Tabelle 5.4.F die relativen Beiträge zum Parameter GWP in den Modulen A1 bis A3 dar, die über 1 % liegen. Insbesondere die relevanten Einzelbeiträge des Moduls A1 sind ersichtlich.

Tabelle 5.4.F: Absolute und relative Beiträge zum Parameter GWP (ohne holzinhärenten Kohlenstoff) innerhalb der Module A1 bis A3, Detailuntersuchung mit allen Einzelbeiträgen > 1 %. Deklarierte Einheit ist 1 kg Küchenmöbel zzgl. Verpackung (Durchschnitt Küchenmöbel)

	GWP	Anteile
	kg CO ₂ -Äq.	%
A1; Bereitstellung Beschläge (überwiegend metallisch)	7,17E-01	41,3
A1; Bereitstellung Korpusteile Zukauf (stofflich genutzt im Produkt)	3,26E-01	18,8
A3; Strom	1,65E-01	9,5
A1; Bereitstellung Fronten Zukauf, Materialmix (stofflich genutzt im Produkt)	1,59E-01	9,2
A1; Bereitstellung Metallgestelle und -schubkästen	1,55E-01	8,9
A3; Wärme	7,05E-02	4,1
A1; Bereitstellung Spanplatte melaminbeschichtet (stofflich genutzt im Produkt)	5,57E-02	3,2
A1; Bereitstellung MDF melaminbeschichtet (stofflich genutzt im Produkt)	1,89E-02	1,1
A1; Bereitstellung Polypropylen (PP)	1,71E-02	1,0

Auch bei den Küchenmöbeln haben Metallbestandteile einen erheblichen Einfluss auf das GWP der deklarierten Einheit. Ferner spielen beim Parameter GWP die Herstellung von Korpusteilen bzw. Fronten, die in der Küchenmöbelindustrie oftmals zugekauft werden, sowie der die Nutzung elektrischer Energie in der Küchenmöbelfabrik eine große Rolle. Die in der Tabelle gelisteten Einflussfaktoren ergeben zusammen 97,1 % des GWP innerhalb der Module A1 bis A3 von absolut 1,73 kg CO₂-Äq. ohne holzinhärente Kohlenstoffflüsse.

5.4.4 Holzhärente Kohlenstoffbilanz

Die holzhärente Kohlenstoffbilanz der deklarierten Einheit 1 kg Küchenmöbel zzgl. Verpackung, ausgedrückt als CO₂ wird von nachfolgender Abbildung 5.4.G dargestellt.

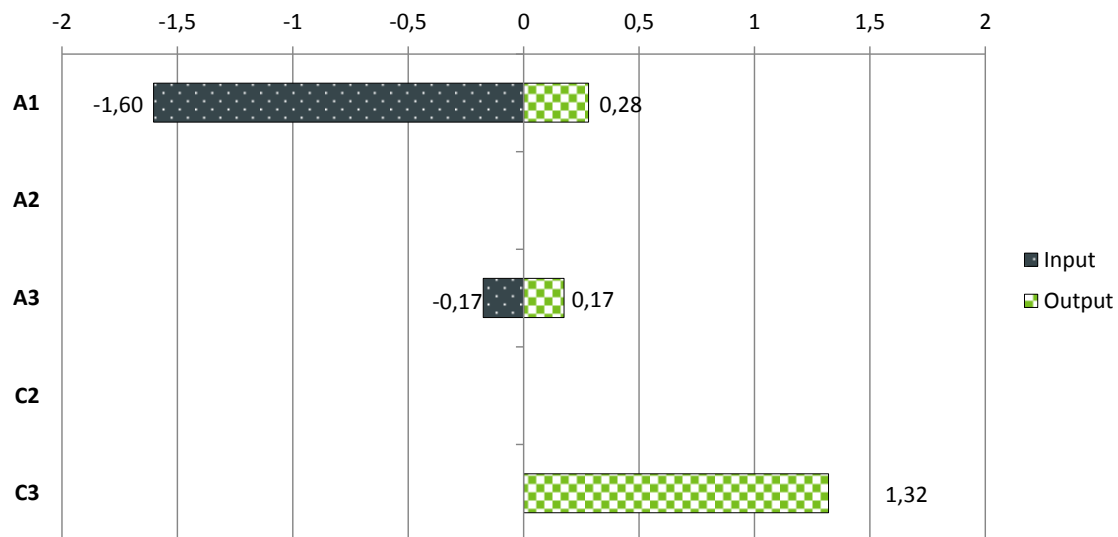


Abbildung 5.4.G: Holzhärente Kohlenstoffbilanz ausgedrückt als kg CO₂. Deklarierte Einheit ist 1 kg Küchenmöbel zzgl. Verpackung (Durchschnitt Küchenmöbel)

Durch die Bereitstellung des für die Holz- und Holzwerkstoffproduktion benötigten Rohholzes werden 1,60 kg CO₂ in Modul A1 auf das Produktsystem übertragen. Hiervon werden bereits während der Halbwarenherstellung 0,28 kg CO₂ emittiert. In Modul A3 werden durch die Bereitstellung des später in der Küchenmöbelfabrik anfallenden Industrierestholzes 0,17 kg CO₂ auf das Produktsystem übertragen. Diese 0,17 kg CO₂ werden während der Herstellung des Industrierestholzes (Herstellung des Anteils der eingekauften Holz- und Holzwerkstoffmenge, der in der Küchenmöbelfabrik zur Energieerzeugung verbrannt wird) sowie durch die Verbrennung des Industrierestholzes zur Energiegewinnung in der Küchenmöbelfabrik ebenfalls in Modul A3 wieder emittiert. Schließlich verlassen 1,32 kg CO₂ das Produktsystem als verwertbares Altholz im ausgedienten Produkt in Modul C3.

6 Diskussion der erzielten Ergebnisse und der entwickelten Methode

In diesem Kapitel werden die erhaltenen Ökobilanzergebnisse als ein Ergebnis der durchgeführten Studie diskutiert. Darauf folgt eine kritische Würdigung der entwickelten Methode zur systematischen Ökobilanzierung industriell hergestellter Möbel, welche ein weiteres Ergebnis der vorliegenden Studie darstellt.

6.1 Ergebnisdiskussion

In diesem Unterkapitel erfolgt eine Einschätzung der Repräsentativität und Qualität der erhobenen Daten und der berechneten Ökobilanzergebnisse sowie das Ableiten von Erkenntnissen und Schlussfolgerungen.

6.1.1 Repräsentativität und Qualität der Daten

Im Rahmen der Primärdatenerhebung wurden fünf Standorte, die zu fünf Unternehmen gehören, detailliert untersucht, so dass eine vollständige Sachbilanz der Produktion dieser Standorte aufgestellt werden konnte. Die Gesamtproduktion dieser untersuchten Standorte belief sich im Bezugszeitraum von einem Kalenderjahr bzw. Wirtschaftsjahr auf ca. 4,4 Mio. Möbelstücke, die zusammen ca. 260 Mio. kg wiegen. Im Jahr 2013 wurden in Deutschland ca. 103,3 Mio. Möbelstücke hergestellt (Statistisches Bundesamt, 2014; VDM, 2014). Damit entspricht die in der vorliegenden Studie untersuchte Möbelmenge bezogen auf die Stückzahl 4,4 % der deutschen Jahresmöbelproduktion. Die Datenerhebung fand in den Jahren 2011 bis 2014 statt. Für jeden Standort wurden Daten über die gesamte Produktion eines Kalenderjahres oder Wirtschaftsjahres erhoben, damit in jedem Fall Produktionsdaten für den Bezugszeitraum von 12 Monaten vorliegen. Die ältesten Daten stammen dabei aus dem Jahr 2010 und die neuesten aus dem Jahr 2013. Der lange Zeitraum der Datenerhebung ist der parallel stattfindenden Methodenentwicklung geschuldet.

Alle unternehmensspezifischen Daten wurden direkt von den Werken übermittelt und auf Plausibilität überprüft. Die Datenqualität ist dabei als gut einzuschätzen. Die Qualität der dem Projekt ÖkoHolzbauDat entnommenen Daten ist im zugehörigen Bericht dokumentiert (Rüter und Diederichs, 2012). Die verwendeten Datensätze aus der GaBi Professional Datenbank können hinsichtlich ihrer Qualität nicht umfassend bewertet werden, es kann lediglich im Einzelfall die datensatzspezifische Dokumentation in der GaBi-Datenbank (PE International / thinkstep, o. J.) herangezogen werden, die von unterschiedlicher Vollständigkeit und Qualität ist. Festgehalten werden kann allerdings, dass keiner der verwendeten Hintergrunddatensätze älter als 10 Jahre ist. Somit ist die Aktualität sowohl der erhobenen Primärdaten als auch der verwendeten Hintergrunddaten gegeben.

Zur Beurteilung der Datenqualität der erhaltenen Ökobilanzergebnisse (Kapitel 5, S. 47) wurden Angaben zur Variabilität der Daten ermittelt. Für die in diesem Projekt berechneten Datensätze auf Projektebene und für Aufbewahrungsmöbel wurde daher in der jeweiligen Ergebnisdarstellung die maximale positive und negative Abweichung der Ergebnisse einzelner Unternehmen vom produktionsmengengewichteten Durchschnittsergebnis separat nach Wirkungsindikatoren abgebildet. Die teilweise beträchtlichen Abweichungen (siehe Kapitel 5.2.2, S. 53 und 5.3.1.2, S. 65) erklären sich dadurch, dass sich sowohl die Materialzusammensetzung der Produkte, und damit die Vorketten, als auch die Verbräuche thermischer und insbesondere elektrischer Energie in den untersuchten Werken stark unterscheiden. So sind insbesondere die Büromöbelindustrie und die Küchenmöbelindustrie durch einen relativ hohen Einsatz von Metallkomponenten geprägt. Als zweiter wichtiger Aspekt für die Erklärung der teils beträchtlichen Unterschiede in den Ökobilanzergebnissen hat die spezifische Fertigungsstruktur und der damit verbundene unterschiedliche Bedarf an elektrischer Energie einen nicht unerheblichen Einfluss auf das Ökobilanzergebnis. Insbesondere bei Möbeln die in hoher Variantenvielfalt und in aufwändiger Fertigung mit überdurchschnittlich vielen einzelnen Prozessschritten in Losgröße 1 gefertigt werden, ist der elektrische Energiebedarf in der Möbelfabrik tendenziell höher.

Die Ergebnisse sind aufgrund der Neuartigkeit der entwickelten Vorgehensweise vom Werk zum Produkt nicht mit den bisherigen Studien, welche in Kapitel 2.4 (S. 11) dargestellt wurden, zu vergleichen. Vor dem Hintergrund der berücksichtigten Werksaufwendungen sind die Ergebnisse in hohem Maße repräsentativ für die in den betrachteten Unternehmen stattfindenden Prozesse.

6.1.2 Erkenntnisse und Schlussfolgerungen

Ein Vergleich zwischen den verschiedenen in diesem Bericht deklarierten Einheiten wird nicht durchgeführt und ist auch nicht das Ziel der Studie. Dennoch lassen sich einige allgemeine Schlussfolgerungen aus den erhaltenen Ergebnissen ableiten. Insbesondere sind dies:

- Die Produktion der Nichtholzbestandteile in Modul A1 hat einen erheblichen Anteil an den Ökobilanzergebnissen für die gesamte Herstellungsphase von Möbeln (Module A1 bis A3). Vor allem die Metallbestandteile in Modul A1 haben einen erheblichen Anteil am GWP der hergestellten Möbel. Je nach Zusammensetzung der Beschläge und dafür verwendeten Hintergrunddaten ist auch der Parameter ADPE stark von der Beschlagherstellung geprägt, insbesondere wenn vergleichsweise knappe Ressourcen, wie beispielsweise Zink, verwendet werden. In erster Linie bietet der Einsatz von Beschlägen und anderen metallischen Komponenten bzw. dessen Verringerung ein enormes Potential für die ökologische Optimierung von Möbeln. Die Untersuchung der detaillierten Materialzusammensetzung der verwendeten Beschläge stellte jedoch eine große Herausforderung dar. Hier konnte lediglich in Beschläge aus Metall bzw. überwiegend aus Metall bestehende Beschläge (d. h. mit geringen Mengen an Kunststoffen) sowie in reine Kunststoffbeschläge differenziert werden. Vor dem Hintergrund des großen Einflusses der Metallbeschläge, neben dem Parameter ADPE besonders auch auf den Parameter GWP, sollte in folgenden Studien der Versuch einer differenzierteren Erfassung und Modellierung der Beschläge hinsichtlich Art und Menge der enthaltenen Stoffe unternommen werden. Die Datenerhebung in der Möbelindustrie bezüglich Beschlägen und

Kunststoffbauteilen sowie deren Zusammensetzung kann daher ein vielversprechender Ansatz zur Verringerung der Komplexitätsreduktion in zukünftigen Studien sein. Hier liegt ein Potential für die Verbesserung der innerbetrieblichen Datenstruktur in den Unternehmen.

- Holz sowie in erster Linie Holzwerkstoffe und deren Produktion in Modul A1 haben ebenfalls einen erheblichen Einfluss auf die Ökobilanzergebnisse der Herstellungsphase der deklarierten Einheiten (Module A1 bis A3). Obwohl die Produktion von Holzwerkstoffen relativ geringe Umweltwirkungen aufweist, hat die Vorkette der Holzhalbwaren in Modul A1 einen beachtenswerten Anteil, da Holz bzw. Holzwerkstoffe den größten Massenanteil der deklarierten Einheiten darstellen. Es ist also essentiell, die hölzernen Bestandteile von Möbeln, mit Ausnahme reiner Metall- oder Kunststoffmöbel, präzise zu erfassen und zu modellieren. Auch bietet die Beschaffung von Holz und Holzwerkstoffen ein nicht unerhebliches ökologisches Optimierungspotential für die Möbelhersteller.
- Die Transporte der Halbwaren zwischen Hersteller bzw. Lieferant und Möbelfabrik haben nur einen sehr geringen Anteil an den Ökobilanzergebnissen. In der Herstellungsphase beträgt der Anteil der Transporte am GWP nur ca. 1 %. Dies ist darin begründet, dass die massenrelevanten Bestandteile (vor allem Holz und Holzwerkstoffe) aus einem relativ kleinen Umkreis geliefert werden. Die in der Studie angewandte Vorgehensweise, dass bei diesen Werkstoffen die genaue Herkunft ermittelt wurde und der Rest in einem Raster von 200 km erfasst worden ist, ist vor diesem Hintergrund als adäquat zu bezeichnen. Insgesamt bieten die Transporte der Rohstoffe und Halbwaren geringes ökologisches Optimierungspotential.
- Das Modul A3 hat innerhalb der betrachteten Systemgrenzen cradle-to-gate mit Optionen (Module A1 bis A3, C2 und C3) einen vergleichsweise geringen Anteil an den Ökobilanzergebnissen. Dieser reicht beim Parameter GWP (ohne holzinhärente Kohlenstoffflüsse) von 4,2 % bei Ablagemöbeln bis 16,3 % bei Aufbewahrungsmöbeln. Der große Unterschied ist mit der verschiedenen Zusammensetzung dieser Möbeltypen zu begründen. Die betrachteten Aufbewahrungsmöbel bestehen zu einem hohen Anteil aus Holzwerkstoffen, die in der Möbelfabrik bearbeitet werden, wohingegen die in dieser Studie betrachteten Ablagemöbel relativ stark durch Büromöbel geprägt sind und daher einen höheren Metallanteil und damit eine geringere Fertigungstiefe in der Möbelfabrik aufweisen. Bei Büroschreibtischen mit Metallgestell wird lediglich die Tischplatte in der Möbelfabrik bearbeitet, wohingegen bei einem vornehmlich aus Holzwerkstoffen bestehenden Aufbewahrungsmöbel nahezu alle Korpusteile in der Möbelfabrik bearbeitet werden. Für einen Möbelhersteller liegen daher oftmals viel größere Potentiale für die Verringerung der Umweltwirkungen in der Materialauswahl, d. h. in den Vorketten (Modul A1), als in der eigenen Fertigung (Modul A3).
- Innerhalb des Moduls A3 bietet die Nutzung elektrischer Energie die größten Potentiale für die Verringerung der potentiellen Umweltwirkungen, insbesondere der Treibhausgasemissionen. Wie aus der detaillierten Analyse der verschiedenen Verbraucher bei der Herstellung von Aufbewahrungs- und Ablagemöbeln ersichtlich ist, sind vor allem die Fertigungsmaschinen und die Absaugung Hauptverbraucher elektrischer Energie und damit Hauptverursacher der Treibhausgasemissionen in Modul A3. Die Verringerung des Verbrauchs elektrischer

Energie und damit einhergehend der Treibhausgasemissionen ist durch eine Kombination der Aktivitäten auf den Gebieten Energiemanagement und Ökobilanzierung ideal voranzutreiben.

- Sofern auf die in den Tabellen F ermittelten Einflüsse auf den Parameter GWP ein besonderes Augenmerk gerichtet wird, werden ca. 95 % des gesamten GWP erfasst. Die Berücksichtigung lediglich dieser Einflussfaktoren ist demnach für eine relativ genaue Abschätzung des GWP von Möbeln ausreichend, sodass mit ca. 10 Einflussgrößen eine erste Abschätzung erfolgen könnte.

Als Resümee kann festgehalten werden, dass die Holzbestandteile aufgrund ihrer Masse und die Nichtholzbestandteile (hier vor allem Metall) aufgrund ihrer relativ hohen Umweltwirkungen pro Kilogramm die gesamten Umweltauswirkungen der Möbelherstellung wesentlich beeinflussen. Ferner ist der elektrische und thermische Energiebedarf in der Möbelfabrik als relevant einzustufen. Dahingegen sind die Transporte der Rohstoffe und Halbwaren zur Möbelfabrik sowie die Bereitstellung von Betriebsmitteln zur Instandhaltung des Maschinenparks in der Möbelfabrik eher von untergeordneter Bedeutung. Für folgende Ökobilanzen sollte daher bei der Datenerhebung der Fokus auf die als relevant erkannten Einflussgrößen gelegt werden.

6.1.3 Modellierung des Produktsystems

Die Modellierung des untersuchten Produktsystems beeinflusst die Ökobilanzergebnisse in nicht unerheblichem Maß. Ausgehend von der ermittelten Sachbilanz respektive den in die Modellierung eingespeisten Stoff- und Energieflüssen beeinflussen bestimmte Modellierungsentscheidungen das Ergebnis der Wirkungsabschätzung. Insbesondere die Wahl von Hintergrunddaten für spezifische Stoffflüsse in der Sachbilanz bewirken unterschiedliche Ergebnisse. Die Sensitivität der Ökobilanzergebnisse gegenüber der Wahl der Hintergrunddaten soll nachfolgend anhand des Beispiels der metallischen Beschläge sowie der Stahlgestelle verdeutlicht werden.

Für die Modellierung der überwiegend metallischen Beschläge wurde in Ermangelung der Kenntnis ihrer genauen Zusammensetzung der Datensatz *DE: Fenster Beschlagverbund (horizontales Schiebefenster) (EN15804 A1-A3) PE* aus der GaBi-Professional Datenbank (PE International, 2014) herangezogen. Die darin abgebildeten Fensterbeschläge enthalten laut Dokumentation „ein Zinkgussbauteil (ca. 35 %), ein Aluminium Strangpressprofil, eine Stahlkomponente sowie Polymere“ (PE International, 2014). Vor dem Hintergrund der unbekannten durchschnittlichen Zusammensetzung der vielen tausend verschiedenen Möbelbeschläge scheint dieser Datensatz ein realistisches Abbild der Situation in der Möbelindustrie zu geben. Die Anwendung dieses Datensatzes trifft sicher nicht auf pulverbeschichtete Stahlgestelle und Stahlschubkästen zu, wie sie in der Büromöbel- oder Küchenmöbelindustrie verwendet werden. Daher wurde eine Datenerhebung in einer Metallwarenfertigung für die Herstellung von pulverbeschichteten Metallgestellen und -schubkästen durchgeführt. Anschließend wurde die ermittelte Sachbilanz in einer eigenen Modellierung für Metallgestelle und -schubkästen umgesetzt.

Einen Vergleich der Umweltwirkungen der Herstellung von jeweils 1 kg der Beschläge aus dem GaBi-Hintergrunddatensatz und den innerhalb dieses Projekts modellierten Metallgestelle zeigt Tabelle 6.1.

Tabelle 6.1: Wirkungsabschätzung für jeweils 1 kg Material für Beschläge (GaBi-Datensatz) und Metallgestelle (eigene Modellierung auf Basis von GaBi-Datensätzen)

Parameter	Einheit	1 kg Beschläge aus PE-Hintergrunddatensatz DE: Fenster Beschlagverbund (horizontales Schiebefenster) (EN15804 A1-A3) PE	1 kg Metallgestelle und -schubkästen auf Basis von Datenerhebung und Modellierung im Rahmen dieses Projekts ³⁵
GWP	kg CO ₂ -Äq.	8,02E+00	3,47E+00
ODP	kg CFC11-Äq.	1,45E-09	4,86E-10
AP	kg SO ₂ -Äq.	3,03E-02	1,25E-02
EP	kg PO ₄ ³⁻ -Äq.	2,53E-03	9,95E-04
POCP	kg Ethen Äq.	2,45E-03	1,29E-03
ADPE	kg Sb Äq.	1,55E-03	2,57E-05
ADPF	MJ	1,03E+02	3,92E+01

Es ist deutlich ersichtlich, dass das GWP bei dem Hintergrund-Datensatz für Beschläge ungefähr um den Faktor 2 größer ist, als bei dem eigens modellierten Datensatz für Metallgestelle. Beim Parameter ADPE sind die Auswirkungen der Herstellung von 1 kg Beschlägen ca. 60 mal höher als die der Herstellung von 1 kg Metallgestellen, was durch den umfangreichen Einsatz von Zink im Datensatz für die Beschläge verursacht wird. Den beschriebenen GaBi-Datensatz für die Beschläge zu verwenden ist daher ein konservativer Ansatz, da der durchschnittliche Zinkanteil an den Möbelbeschlägen wohl eher unter 35 % liegen dürfte. Das Beispiel verdeutlicht allerdings die möglichen Auswirkungen von Modellierungsentscheidungen und auch Entscheidungen bei der Zuordnung zu den Standardmaterialien auf die Ökobilanzergebnisse. Die Beschlagsmaterialien sind eher konservativ den beiden Standardmaterialien *Beschläge* und *Metallgestelle* zugeordnet worden, was bedeutet, dass im Zweifelsfall metallische Materialien im Sinne des konservativen Ansatzes aufgrund der höheren Umweltwirkungen zu den Beschlägen zugeordnet wurden (worst-case). Der Vergleich der beiden Hintergrunddatensätze verdeutlicht die Notwendigkeit, Beschläge in Zukunft differenzierter zu erfassen und zu modellieren.

³⁵ Dabei kamen die folgenden Datensätze zum Einsatz: DE: Stahlrohr (EN15804 A1-A3) PE; DE: Stahlblech (EN 15804 A1-A3) PE; DE: Stahl-Coil, kaltgewalzt PE; DE: Aluminium Extrusionsprofil Mix PE; DE: Aluminium Gussteile (EN15804 A1-A3) PE; DE: Feinzink Mix PE; DE: Grauguss-Bauteil (EN15804 A1-A3) PE; DE: Pulverlackierung (Industrie, außenbereich, weiß) (EN15804 A1-A3) PE; DE: Argon (flüssig) PE; DE: Kohlendioxid PE; DE: Sauerstoff PE; DE: Ethin (Acetylen) PE; DE: Stickstoff PE; DE: Aceton PE; EU-27: Leitungswasser aus Grundwasser PE; EU-27: Abwasserbehandlung (organisch leicht belastet) PE; DE Strom Mix PE; DE: Thermische Energie aus Erdgas (EN15804 B6) PE; DE: Thermische Energie aus Heizöl el PE; DE: Hausmüllähnlicher Gewerbeabfall in MVA PE; GLO: LKW-Zug/Sattel-Zug PE, Dieselfahrzeug, Euro 0 - 5 Mix, 34 - 40t Gesamtgewicht / 27 t Nutzlast; DE: Diesel Mix ab Tankstelle PE

Anhand dieser beispielhaft diskutierten, für die Ökobilanzberechnung äußerst relevanten Modellierungsentscheidung wird deutlich, dass neben der Sachbilanzerstellung auch der Modellierung eine große Bedeutung zukommt. Daher ist es sinnvoll, den Detaillierungsgrad der Modellierung stärker zu berücksichtigen, wie es in dieser Studie bereits im Ansatz geschehen ist.

6.1.4 Einfluss der Auslastung von Produktionsanlagen auf die Ökobilanzergebnisse

Während der Datenerhebung konnte zusammen mit einem Industriepartner ein bemerkenswerter Sachverhalt beobachtet werden. Ein beträchtlicher Anteil der in der Möbelfabrik eingesetzten Energie ist nahezu unabhängig von der Produktionsauslastung der Möbelfabrik, also von der tatsächlich produzierten Menge an Möbeln im Verhältnis zur maximalen Produktionskapazität. Beispielsweise ist der Verbrauch elektrischer Energie für Beleuchtung, Absaugung und Transportbänder unabhängig von der Produktionsauslastung der Möbelfabrik konstant. Dies trifft uneingeschränkt auch auf die thermische Energie zur Heizung der Werkshallen zu. Diese konstanten Energieverbräuche können als Produktionsbereitstellungsenergie bezeichnet werden.

Hier findet sich wiederum eine Parallele zur Betriebswirtschaft. Die Herstellung der Betriebsbereitschaft verursacht Kosten, die als Fixkosten bezeichnet werden (Wöhe und Döring, 2010: 307). Fixkosten fallen daher unabhängig davon, ob produziert wird oder nicht, in konstanter Höhe an, wohingegen variable Kosten abhängig von der ausgebrachten Menge sind (Czeranowsky, 2003: 407). Ein klassisches Beispiel für Fixkosten sind Mieten für Produktionshallen und für variable Kosten die Werkstoffkosten (Wöhe und Döring, 2010: 307 f.). In dieser Systematik stellen Energiekosten sogenannte Mischkosten dar, die sich aus fixen und variablen Anteilen zusammensetzen (Olfert, 2005: 62). Die Kosten, die die Produktionsbereitstellungsenergie verursacht, spiegeln sich im Fixkostenteil der Energiekosten eines Unternehmens wider.³⁶

Die Produktionsauslastung der Möbelfabrik und der Maschinen spielt also eine erhebliche Rolle beim Energieverbrauch für jede produzierte Einheit. Das bloße Einschalten der Fertigungsmaschinen (Maschinenleerzeiten), der Absaugung, der Druckluftversorgung und der Beleuchtung verursacht bereits unabhängig von der tatsächlichen Bearbeitung von Werkstücken einen beachtlichen Energieverbrauch. Insbesondere die sogenannten Grundlasten wie Beleuchtung und Absaugung sind unabhängig von der Produktionsauslastung der Möbelfabrik und können in der Regel nicht oder nur in sehr geringem Umfang an eine verringerte Produktionsauslastung angepasst werden. Angenommen, es würden ein Jahr lang während der Arbeitszeiten lediglich die Maschinen, Absaugung, Druckluftversorgung und Beleuchtung eingeschaltet und kein Werkstück bearbeitet, so würden bis zu 70 % des elektrischen Jahresenergieverbrauchs, der bei einer Vollausslastung anfällt, alleine durch diese Produktionsbereitstellungsenergie verursacht. Lediglich ca. 30 % des Verbrauchs elektrischer Energie wird durch die Bearbeitung von Werkstücken verursacht und somit direkt durch eine mehr oder weniger hohe Auslastung der Maschinen.

³⁶ Echte Fixkosten, z. B. Mieten für Produktionshallen, fallen auch bei einer Ausbringungsmenge von null an (Wöhe und Döring, 2010: 308). Die Kosten für die Produktionsbereitstellungsenergie fallen allerdings streng genommen erst ab einer Produktionsmenge von einem Stück an, da niemand Beleuchtung, Maschinen, Absaugung etc. einschaltet, wenn gar nichts produziert wird.

Diese Erkenntnis wurde in einem Betrieb der Möbelindustrie im Zuge der Einführung eines Energiemanagementsystems nach DIN EN ISO 50001:2011 gewonnen (Anonymisiert, 2013). Daraus folgt, dass in einer Möbelfabrik mit einem auf eine bestimmte Produktionsmenge ausgelegten Maschinenpark, die während eines bestimmten Betrachtungszeitraums eine sehr hohe (geringe) Produktionsauslastung hat, der Energieverbrauch je produzierter Einheit rapide sinkt (ansteigt). Ebenso verhalten sich die fixen Stückkosten, wo sich die gesamten Fixkosten mit steigender Ausbringungsmenge auf immer mehr Produkte verteilen (Wöhe und Döring, 2010: 310). Somit beeinflusst die Produktionsauslastung bzw. indirekt die Verkaufszahlen eines Möbelherstellers neben den fixen Stückkosten auch den Beitrag der Möbelfabrik an den gesamten Umweltwirkungen eines einzelnen Möbelstücks. Die Beobachtung, dass die Kapazitätsauslastung einer Produktionsstätte die Ökobilanzergebnisse für spezifische Produkte beeinflusst, machte auch Diederichs (2014a,b; 2015: 64) bei der Erstellung von Ökobilanzen für die holzbearbeitende Industrie (Sägewerke, Holzwerkstoffhersteller). Sie ist daher losgelöst von der Möbelindustrie auf andere produzierende Gewerbe übertragbar.

Demzufolge ist die Kapazitätsauslastung bei der Fertigungsplanung im Rahmen der ökologischen und ökonomischen Optimierung der Möbelherstellung als solcher unbedingt zu beachten und daher sind bevorzugt möglichst flexible Anlagen einzusetzen, wo bei niedrigen Stückzahlen Betriebsteile abgeschaltet werden können. Die zeitweise Schichtarbeit in Phasen hoher Nachfrage mit einem auf eine relativ niedrige Produktionskapazität ausgelegten Betrieb kann ökologisch sinnvoll sein, da so die Produktionsbereitstellungsenergie flexibel angepasst werden kann. Werden Produktionszeiträume temporär durch Anfügen einer weiteren Produktionsschicht erweitert, erhöht sich die Produktionsbereitstellungsenergie nur in diesem zusätzlichen Zeitabschnitt. Dagegen ist sie bei einem sehr groß dimensionierten Maschinenpark dauerhaft auf einem hohen Level. Eine möglichst geringe Produktionsbereitstellungsenergie je Produkteinheit ist sowohl unter Umwelt- als auch betriebswirtschaftlichen Gesichtspunkten ein äußerst erstrebenswertes Ziel.

6.2 Methodendiskussion

Nachfolgend werden die Datenerhebung, die entwickelten Verteilungskriterien und Verteilungsschlüssel sowie einige Aspekte der Modellierung diskutiert und kritisch beleuchtet.

6.2.1 Datenerhebung

Die Methode der Datenerhebung ist in Teilbereichen diskussionswürdig. So wurden Daten in einem zweistufigen Verfahren erhoben (siehe Kapitel 4.2, S. 11), wobei bereits in der ersten Stufe der Datenerhebung quantitative Werte für Stoffströme abgefragt wurden. Der Detaillierungsgrad war für eine Ökobilanzierung nicht hoch genug, so dass im zweiten Fragebogen auf einer detaillierteren Ebene nochmals die Zahlen zu den Stoffströmen abgefragt werden mussten. Die doppelte Abfrage auf verschiedenen Aggregationsstufen hat bei einigen Unternehmen, die zur Ermittlung der Stoffströme sehr umfangreiche Datenbankabfragen durchführen müssen, erhebliche Mehrarbeit verursacht. Diese bestand darin, jeweils zusätzliche zeitaufwendige Datenbank-

abfragen auf einem höheren Detaillierungsniveau durchzuführen (Anonymisiert, 2014a). Daher sollte in zukünftigen Ökobilanzstudien der erste Fragebogen rein qualitativ die eingesetzten Materialien, benötigte Energie, die hergestellten Produkte und verursachten Abfälle sowie die Struktur der Fertigung untersuchen. Die Quantifizierung sollte komplett in der zweiten Stufe der Datenerhebung erfolgen. Dennoch hat die erste Stufe zur Einordnung des Unternehmens im Hinblick auf Materialien, Produkte und Fertigungsprozesse für den Ökobilanzierer großen Wert. Erst wenn die Strukturen bekannt sind, können sinnvoll quantitative Daten erhoben werden.

Für die Datenerhebung wurden Bewegungen in den Lagerbeständen der Unternehmen nicht berücksichtigt. Es sind Einkauf, Verkauf und Entsorgung erfasst worden. Eine Einlagerung von fertigen Möbeln findet nicht statt, jedoch ist die Einlagerung von Möbelteilen bzw. Halbwaren bei den betrachteten Unternehmen in unterschiedlichem Umfang vorzufinden. Das Lager verzeichnet allerdings über den Bezugszeitraum von 12 Monaten Zuflüsse und Abflüsse, die sich in der Regel ausgleichen. Nach Rücksprache mit einem Industriepartner können Bewegungen in den Lagerbeständen bei Datenerhebungen über den Zeitraum von einem Jahr bei normal laufendem Betrieb³⁷ vernachlässigt werden, da sich Zufluss und Abfluss ausgleichen (Anonymisiert, 2014b).

6.2.2 Datenberechnung

Die zentralen Stellen, an denen Verteilungen der auf Werksebene erhobenen Daten erfolgten, sind für die *Stoffströme* direkt von der Werksebene auf die Produktgruppen und für die *Energieflüsse* von der Werksebene über den Zwischenschritt der Prozessgruppen auf die Produktgruppen.³⁸ Die Verteilung des Gesamtenergieverbrauchs von Werksebene auf die Prozessgruppen wurde dabei von den Unternehmen und deren Betriebselektrikern übernommen. Im Zuge dessen wurde, wie in Kapitel 4.3.2 (S. 35) beschrieben, die elektrische Energie anhand von Berechnungen oder Belastungsmessungen auf die in der Regel räumlich getrennten Prozessgruppen verteilt und die thermische Energie, abgesehen von besonderen Wärmeverbrauchern wie Trockenkanälen, anhand der beheizten Fläche je Prozessgruppe zugeordnet.

Die Methode zur systematischen Verteilung der Materialinputs von der Werksebene und des Energiebedarfs von der Prozessgruppenebene auf die Produktgruppen wurde in diesem Projekt

³⁷ „Normal laufend“ bedeutet in diesem Zusammenhang, dass sich die Fertigungsstruktur nicht verändert. Verändert sie sich jedoch innerhalb des Betrachtungszeitraums, so sind diese speziellen Umstände die gegebenenfalls dadurch verursachten Lagerbewegungen zu berücksichtigen. Gründe für eine Veränderung der Fertigungsstruktur können z. B. die Installation einer neuen Produktionsanlage und eine damit verbundene Störung der Materialflüsse oder die Umstellung von montierten Möbeln hin zur Auslieferung von Möbelteilen (Mitnahmemöbel zur Montage durch den Kunden) sein (Anonymisiert, 2014b).

³⁸ An dieser Stelle sei nochmals erwähnt, dass die entwickelte Kombination aus top-down und bottom-up Ansatz zur Datenberechnung aus zwei Gründen nicht auf Küchenmöbel angewendet wurde. Erstens ergeben die verschiedenen in einer Küchenmöbelfabrik hergestellten Produktgruppen (siehe Kapitel 5.4, S. 87) erst in ihrer Gesamtheit das funktionsfähige Produkt Einbauküche und zweitens ließ die Datenstruktur in der Küchenmöbelindustrie keine getrennte Erfassung dieser Produktgruppen zu. Es ist demnach nicht sinnvoll und abgesehen davon auch vor dem Hintergrund der Primärdatenerhebung derzeit nicht möglich, die untersuchten Einbauküchenmöbel weiter zu differenzieren. Die entwickelte Vorgehensweise konnte allerdings erfolgreich auf die drei Unternehmen, die Aufbewahrungsmöbel und Ablagemöbel herstellen, angewendet werden.

erarbeitet. Ausgehend von einer exemplarischen Stückliste je Produktgruppe wurden Materialinhalte, bearbeitete Teile sowie lackierte Flächen von Stücklistenebene auf die theoretischen Mengen auf Produktgruppen- und Werksebene hochgerechnet. Die sich ergebenden Verhältnisse zwischen Produktgruppen- und Werksebene stellen die Verteilungsschlüssel dar. Diese Verteilungsschlüssel wurden auf die empirisch erhobenen Werksaufwendungen angewandt (siehe Kapitel 4.3.2, S. 35).

Bei der Zuordnung der auf Werksebene erhobenen Materialmengen auf die virtuellen Durchschnittsmöbel in den einzelnen Produktgruppen konnte in zwei Unternehmen eine gute Übereinstimmung zwischen den Produktmassen der von den Unternehmen ausgewählten repräsentativen Stücklisten und den über die Verteilung ermittelten Produktmassen der virtuellen Durchschnittsmöbel beobachtet werden. Die Abweichung zwischen Masse der exemplarischen Stückliste und der Masse des durch Verteilung der Werksaufwendungen ermittelten virtuellen Durchschnittsmöbels liegt für alle betrachteten Produktgruppen in diesen beiden Unternehmen unter 10 %. Bei einem weiteren Unternehmen liegen alle Abweichungen zwischen -46 % und -52 %. Das bedeutet, dass die Massen der ausgewählten Stücklisten ca. um den Faktor 1,5 größer sind als die der ermittelten virtuellen Durchschnittsmöbel. Dies ist jedoch nur auf den ersten Blick ein Problem, denn die Streuung der Abweichungen ist sehr gering. Dies heißt, dass alle ausgewählten Stücklisten im nahezu selben Verhältnis zu schwer sind. Absolut gesehen ist die Abweichung groß, aber da die Stücklisten allesamt eine zu hohe Masse aufweisen, und zwar im selben Verhältnis, hat dieser Umstand keinerlei Auswirkungen auf die Bildung der Verteilungsschlüssel, weil aus der Hochrechnung lediglich das relative Verhältnis der den einzelnen Produktgruppen zuzuweisenden Materialmengen abgeleitet wird.

Lediglich der Fall, dass eine Produktgruppe eine deutlich andere Abweichung zeigt als alle übrigen Produktgruppen, gibt einen Hinweis auf eine nicht zweckmäßig ausgewählte exemplarische Stückliste. Dieser Umstand fällt bei der Sachbilanzerstellung sehr schnell auf. Beispielhaft sei ein Fall erwähnt, bei dem eine als durchschnittlich ausgewählte Stückliste einen sehr hohen Metallanteil für einen Tisch auswies. Nach der Verteilung der Werksaufwendungen entfiel von dem insgesamt relativ geringen Metalleinsatz auf Werksebene folgerichtig ein deutlich geringerer Metallanteil auf das virtuelle Durchschnittsmöbel in der Produktgruppe Tische als in der exemplarischen Stückliste ausgewiesen war. Somit war der durch Verteilung der Werksaufwendungen ermittelte virtuelle Durchschnittstisch deutlich leichter als der Tisch, den die Stückliste beschrieb. Die Produktgruppe Tische war daher ein Ausreißer in der Abweichung zwischen Stückliste und virtuellem Durchschnittsmöbel. Auf Nachfrage bei dem betreffenden Unternehmen stellte sich heraus, dass die Tische mit Metallgestell, wie in der exemplarischen Stückliste ausgewiesen, deutlich weniger als 10 % der produzierten Tische repräsentieren und die Stückliste daher mitschwer durchschnittlich war. Daraufhin wurde eine andere Stückliste, die dem Durchschnitt näher kommt, übermittelt und auf Basis dieser neuen Stückliste liegt die Abweichung in der Produktgruppe Tische des betreffenden Unternehmens nun auch deutlich unter 10 %. Es ist daher davon auszugehen, dass größere Unstimmigkeiten bei der Verteilung der Werksaufwendungen auf die Produktgruppen in jedem Fall entdeckt werden.

Die Zuordnung der Energieverbräuche in den einzelnen Prozessgruppen anhand der Verteilungskriterien aus Tabelle 4.6 in Kapitel 4.3.2.4 (S. 41) kann ebenfalls hinterfragt werden. Die Anzahl der bearbeiteten Teile als Verteilungskriterium im Bereich der spanenden Bearbeitung ist sicherlich ein wichtiger Anhaltspunkt, wenngleich auch keine exakte Verteilung. Die Pufferzeiten (Zeiten zwischen der Bearbeitung zweier Werkstücke auf derselben Maschine) sind unabhängig von der Größe der Teile, wohingegen der Bedarf elektrischer Energie mit zunehmender Werkstückgröße steigt, da längere Abschnitte gesägt, gefräst oder bekantet werden müssen. Da allerdings wesentliche Energieverbräuche wie Absaugung und Bereitstellung von Druckluft nahezu unabhängig von der Größe eines bearbeiteten Werkstückes sind, ist die Verteilung über die Stückzahl der bearbeiteten Werkstücke je Möbel ein guter Kompromiss zwischen Genauigkeit und Durchführbarkeit. Möglicherweise ergeben sich in Zukunft durch die Verbindung von Energiemanagement und Ökobilanzierung Optionen, den Energiebedarf je Werkstück genauer zu erfassen. Dagegen ist die Verteilung der Energieverbräuche in der Flächenbeschichtung bzw. der Oberflächenbehandlung durch die Anzahl der Quadratmeter ein sehr genaues Verteilungsinstrument. Auch die Möbelmasse zur Verteilung des Energieverbrauchs in Montage und Lager ist eine plausible und naheliegende Größe für diesen Zweck. Daher bietet hauptsächlich die Verteilung der Energieverbräuche bei der spanenden Bearbeitung Optimierungspotential im Hinblick auf die Verteilungskriterien.

Ein wichtiger Gesichtspunkt ist an dieser Stelle nochmals hervorzuheben: Die erhaltenen Ökobilanzergebnisse stellen durch die Anwendung der ermittelten Verteilungsschlüssel auf die tatsächlichen Inputs auf Werksebene kein konkret hergestelltes und an einen Kunden verkauftes Möbelstück mehr dar. Auch entspricht die anteilige Materialzusammensetzung des virtuellen Durchschnittsmöbels einer Produktgruppe nicht mehr exakt der anteiligen Zusammensetzung einer konkreten Stückliste. Vielmehr gibt die Zusammensetzung des virtuellen Durchschnittsmöbels, und damit auch seine Ökobilanzergebnisse, einen werksrepräsentativen Durchschnitt wider, was wiederum genau das die Ziel der vorliegenden Studie war.

Damit kann festgehalten werden, dass die grundsätzliche Vorgehensweise der Verteilung der Werksaufwendungen auf die Produktgruppen anhand exemplarischer Stücklisten ein gut geeignetes Verfahren darstellt, um durch die Verbindung von top-down und bottom-up Ansatz zur Sachbilanzerstellung einerseits die gesamten Werksaufwendungen mit Sicherheit einzubeziehen und andererseits die verschiedenen in einem Werk hergestellten Produkte adäquat zu berücksichtigen.

6.3 Fazit aus Ergebnis- und Methodendiskussion

Es bleibt festzuhalten, dass die vorliegende Studie ausgehend von einer Primärdatenerhebung in fünf Unternehmen belastbare Ökobilanz-Daten für holzbasierte Möbel bereitstellt. Sie deckt auf Basis der Stückzahl hergestellter Möbel 4,4 % der deutschen Jahres-Möbelproduktion ab. Daher sind die erhaltenen Ergebnisse als Anhaltspunkt zur ersten Abschätzung der Umweltwirkungen von in Deutschland produzierten holzbasierten Möbeln geeignet. Gleichwohl sind noch umfangreiche Forschungsarbeiten notwendig, um durch die Ausweitung der Datenerhebung auf weitere Unternehmen die Repräsentativität der Ökobilanz-Daten in Bezug auf die deutsche Möbelproduktion zu erhöhen.

Aufgrund der vorliegenden Studie lässt sich sagen, dass der Einsatz von Beschlägen und anderen Metallkomponenten, neben den allein von der Masse her äußerst relevanten Holzwerkstoffen, das Ökobilanzergebnis maßgeblich beeinflusst. Insgesamt hat die Bereitstellung der Halbwaren, d. h. das Modul A1 nach DIN EN 15804:2014, den größten Einfluss auf das Ökobilanzergebnis. Infolgedessen liegt in der Auswahl der verwendeten Materialien das größte Potential zur Verringerung der Umweltwirkungen. Wird allein die Herstellung der Möbel in der Möbelfabrik betrachtet (Modul A3 nach DIN EN 15804:2014), so bietet der Verbrauch elektrischer Energie das größte Potential zur Verringerung der Umweltwirkungen.

Die entwickelte Vorgehensweise als Kombination von top-down Ansatz (Datenerhebung auf Werksebene) und bottom-up Ansatz (Ermittlung der Verteilungsschlüssel für die Zuordnung der Werksaufwendungen zu den jeweiligen relevanten Produktgruppen) hat sich als äußerst praktikabel erwiesen. Basierend auf der entwickelten Methode und Modellierung kann die Datenbasis in Zukunft durch Einbeziehung weiterer Unternehmen verbreitert werden. Dabei sollte einigen bedeutenden Punkten, wie beispielsweise den verwendeten Materialien im Beschlagbereich, eine erhöhte Aufmerksamkeit zuteilwerden und an diesen Stellen die Datenerhebung und Modellierung auf einem nach Möglichkeit höheren Detailniveau noch weiter präzisiert werden.

7 Literatur

- AHEC (o. J.) - Sustainable Design of Chair design Concepts using GaBi i-report. Squeeze. Nic Wallenberg. Final Report, AHEC - American Hardwood Export Council, Studie durchgeführt durch PE International AG: Leinfelden-Echterdingen <http://www.americanhardwood.org/fileadmin/docs/Chair_Reports/Squeeze%20by%20Nic%20Wallenberg.pdf> Abruf am 10.06.2015
- ANONYMISIERT (2013) - Persönliche Kommunikation 30.09.2013, Werksbesuch bei einem Industriepartner und Gespräch über Sachbilanzdatenerfassung, Energiemanagementsysteme und insbesondere Energiemengenerfassung und -verteilung.
- ANONYMISIERT (2014a) - Persönliche Kommunikation 13.11.2014, Telefonat mit einem Industriepartner über zukünftige Datenerhebungen für die Ökobilanzierung von Möbeln.
- ANONYMISIERT (2014b) - Persönliche Kommunikation 29.08.2014, Werksbesuch bei einem Industriepartner und Gespräch über Sachbilanzdatenerfassung.
- ANONYMUS (2012) - Wiesner-Hager realisiert EPDs direkt aus SAP. *Holz-Zentralblatt*, 138 (19), 11.05.2012, Seite 490
- ARPER (2011) - Environmental Declaration ISO 14025 arper Catfia 46, 4-leg. The Norwegian EPD Foundation, NEPD no.: 102E, Arper s.p.a.: Monastier, 4 Seiten <http://www.epd-norge.no/getfile.php/PDF/EPD/Moebler/NEPD102EarperCatifa46_4leg.pdf> Abruf am 10.06.2015
- BABARENDA GAMAGE, G., BOYLE, C. (2006) - Developing the Use of Environmental Impact Assessment in Commercial Organisations: A Case Study of Formway Furniture. In: Proceedings of the 13th CIRP International Conference on Life Cycle Engineering: Leuven, 31.05.-02.06.2006, Seiten 119-124
- BABARENDA GAMAGE, G., BOYLE, C., MCLAREN, S. J., MCLAREN, J. (2008) - Life cycle assessment of commercial furniture: a case study of Formway LIFE chair. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 13 (5), Seiten 401-411
- BAUMANN, H., TILLMAN, A.-M. (2004) - The hitch hiker's guide to LCA. An orientation in life cycle assessment methodology and application. Studentlitteratur: Lund, 543 Seiten
- BEHRENDT, S., KREIBICH, R., LUNDIE, S., PFITZNER, R., SCHARP, M. (1998) - Ökobilanzierung komplexer Elektronikprodukte. Innovationen und Umweltentlastungspotentiale durch Lebenszyklusanalyse. Springer-Verlag: Berlin, Heidelberg, 301 Seiten
- BOVEA, M. D., VIDAL, R. (2004) - Materials selection for sustainable product design: a case study of wood based furniture eco-design. *Materials & Design*, 25 (2), Seiten 111-116
- CINAR, H. (2005) - Eco-design and furniture: Environmental impacts of wood-based panels, surface and edge finishes. *Forest Products Journal*, 55 (11), Seiten 27-33

- CURRAN, M. A. (Hrsg.) (2012) - Life Cycle Assessment Handbook. A Guide for Environmentally Sustainable Products. Scrivener Publishing; John Wiley & Sons: Salem Massachusetts; Hoboken, New Jersey, 611 Seiten
- CZERANOWSKY, G. (2003) - Leistungserstellung. In: KRABBE, E. (Hrsg.) Leitfaden zum Grundstudium der Betriebswirtschaftslehre. Deutscher Betriebswirte-Verlag: Gernsbach, 561 Seiten
- DIEDERICH, S. (2015) - Empowering Woodworking Industry Stakeholders to Reduce Environmental Impacts. Dissertation. Universität Hamburg, Fachbereich Biologie, 83 Seiten
- DIEDERICH, S. K. (2014a) - 2010 status quo for life-cycle inventory and environmental impact assessment of the core sawmill products in Germany. *Wood and Fiber Science*, 46 (1), Seiten 1-20
- DIEDERICH, S. K. (2014b) - 2010 status quo for life-cycle inventory and environmental impact assessment of wood-based panel products in Germany. *Wood and Fiber Science*, 46 (3), Seiten 1-16
- DIETZ, B. A. (2005) - Life cycle assessment of office furniture products. Master Thesis, zugleich Report No. CSS05-08. Center for Sustainable Systems, University of Michigan: Ann Arbor, 103 Seiten
- EKENER-PETERSEN, E., FINNVEDEN, G. (2013) - Potential hotspots identified by social LCA - part 1: a case study of a laptop computer. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 18 (1), Seiten 127-143
- EUROPEAN COMMISSION (2010) - International Reference Life Cycle Data System (ILCD) Handbook - General Guide for Life Cycle Assessment - Detailed guidance. First edition March 2010. European Commission, Joint Research Centre, Institute for Environment and Sustainability, EUR 24708 EN, Publications Office of the European Union: Luxembourg, 398 Seiten <http://bookshop.europa.eu/is-bin/INTERSHOP.enfinity/WFS/EU-Bookshop-Site/en_GB/-/EUR/ViewPublication-Start?PublicationKey=LBNA24708> Abruf am 10.06.2015
- FET, A. M., SKAAR, C. (2006) - Eco-labeling, product category rules and certification procedures based on ISO 14025 requirements. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 11 (1), Seiten 49-54
- FET, A. M., SKAAR, C., MICHELSEN, O. (2009) - Product category rules and environmental product declarations as tools to promote sustainable products: experiences from a case study of furniture production. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 11 (2), Seiten 201-207
- FIRA (2011) - Benchmarking carbon footprints of furniture products. FIRA International Ltd: Stevenage, 58 Seiten <www.fira.co.uk/document/fira-carbon-footprinting-document-2011.pdf> Abruf am 10.06.2015
- GONZÁLEZ-GARCIA, S., GARCIA LOZANO, R., TERESA MOREIRA, M., GABARRELL, X., RIERADEVALL I PONS, J., FEIJOO, G., MURPHY, R. J. (2012) - Eco-innovation of a wooden childhood furniture set: An example of environmental solutions in the wood sector. *Science of the Total Environment*, 426, Seiten 318-326
- GONZÁLEZ-GARCIA, S., GASOL, C. M., LOZANO, R. G., MOREIRA, M. T., GABARRELL, X., PONS, J. R. I., FEIJOO, G. (2011) - Assessing the global warming potential of wooden products from the furniture sector to improve their ecodesign. *Science of the Total Environment*, 410, Seiten 16-25

- GONZÁLEZ, M., MÉNDEZ, C., SOJO, A., SUPPEN, N., BELMONTE, A., WHITE, P. (2008) - Life Cycle Assessment of Mexican School Furniture. In: ANONYMUS (Hrsg.) Life Cycle Assessment. A product-oriented method for sustainability analysis. Training Manual, The UNEP SETAC Life Cycle Initiative, Seiten 116-135 <<http://www.estis.net/includes/file.asp?site=lcinit&file=2295CC3F-06E6-4FC4-8230-B23AB5A7DB3C>> Abruf am 19.05.2015
- GUINÉE, J. B., GORRÉE, M., HEIJUNGS, R., HUPPES, G., KLEIJN, R., DE KONING, A., VAN OERS, L., WEGENER SLEESWIJK, A., SUH, S., UDO DE HAES, H. A., DE BRUIJN, H., VAN DUIN, R., HUIJBREGTS, M. A. J. (2002) - Handbook on Life Cycle Assessment. Operational Guide to the ISO Standards. 1: LCA in perspective. 2a: Guide. 2b: Operational annex. 3: Scientific background. Kluwer Academic Publishers: Dordrecht, Boston, London, 692 Seiten
- HÅG (2008) - Environmental Declaration ISO 14025 HAG Capisco 8106. The Norwegian EPD Foundation, NEPD no.: 038E, HAG asa: Majorstuen, 4 Seiten <http://www.epd-norge.no/getfile.php/PDF/EPD/Moebler/NEPD038E%20Capisco%208106_English_2013.pdf> Abruf am 10.06.2015
- HEIJUNGS, R., GUINÉE, J. B., HUPPES, G., LANKREIJER, R. M., UDO DE HAES, H. A., WEGENER SLEESWIJK, A., ANSEMS, A. M. M., EGGELS, P. G., VAN DUIN, R., DE GOEDE, H. P. (1992) - Environmental life cycle assessment of products. 1: Guide. 2: Backgrounds. Centrum voor Milieukunde (CML): Leiden, 226 Seiten
- IRITANI, D. R., SILVA, D. A. L., SAAVEDRA, Y. M. B., GRAEL, P. F. F., OMETTO, A. R. (2015) - Sustainable strategies analysis through Life Cycle Assessment: a case study in a furniture industry. *Journal of Cleaner Production*, 96, Seiten 308-318
- JOSTEN, E., REICHE, T., WITTCHEN, B. (2009) - Holzfachkunde: Ein Lehr-, Lern- und Arbeitsbuch für Tischler/Schreiner, Holzmechaniker und Fachkräfte für Möbel-, Küchen- und Umzugsservice. Vieweg+Teubner-Verlag: Wiesbaden, 594 Seiten
- KLÖPPFER, W., GRAHL, B. (2009) - Ökobilanz (LCA). Ein Leitfaden für Ausbildung und Beruf. Wiley VCH-Verlag: Weinheim, 426 Seiten
- KUTNAR, A., TAVZES, C. (2011) - Sustainable development in wood industry. In: Wood is good: EU preaccession challenges of the sector. Proceedings of the 22nd International Scientific Conference: Zagreb, Croatia, 21 October 2011, Faculty of Forestry, University of Zagreb, Seiten 83-88
- LAEMPLAKSAKUL, V., SANGSAI, N. (2013) - A Study of Ecological Products by Life Cycle Assessment in Thai Furniture Industry. *Applied Mechanics and Materials*, 431, Seiten 344-349
- LINDNER, C. (2012) - Produktion, Verarbeitung und Verwertung von Kunststoffen in Deutschland 2011 - Kurzfassung. Consultic Marketing & Industrieberatung GmbH, 18 Seiten <http://www.plasticseurope.org/documents/document/20120906171002-consultic_studie_2011.pdf> Abruf am 10.06.2015
- LIOTI, M. (2014) - Environmental life cycle assessment study about material substitution in office desks in Germany. Masterarbeit. Technische Universität München, Holzforschung München, 85 Seiten

- MANTAU, U., BILITEWSKI, B. (2010) - Stoffstrom-Modell-Holz 2007, Rohstoffströme und CO₂-Speicherung in der Holzverwendung. Forschungsbericht für das Kuratorium für Forschung und Technik des Verbandes der Deutschen Papierfabriken e.V. (VDP): Celle, 75 Seiten
- MIRABELLA, N., CASTELLANI, V., SALA, S. (2014) - LCA for assessing environmental benefit of eco-design strategies and forest wood short supply chain: a furniture case study. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 19 (8), Seiten 1536-1550
- NONNENMACHER, U. (1999) - Besondere Aspekte der ökologischen Bewertung der Oberfläche von Möbeln. Diplomarbeit. Universität Hamburg, Fachbereich Biologie, 115 Seiten
- OLFERT, K. (2005) - Kostenrechnung. Kiehl: Ludwigshafen, 558 Seiten
- PE INTERNATIONAL (2014) - GaBi 6 Software Version 6.4 und GaBi Professional Datenbank Version 6.108 inklusive der Zusatzdatenbanken Baustoffe sowie nachwachsende Rohstoffe. <<http://www.gabi-software.com>>: Leinfelden-Echterdingen
- PE INTERNATIONAL / THINKSTEP (o. J.) - Aktuelle Dokumentation der einzelnen Datensätze in der GaBi Professional Datenbank sowie diversen Zusatzdatenbanken.: Leinfelden-Echterdingen <<http://database-documentation.gabi-software.com/support/gabi/gabi-database-2013-lci-documentation/>> Abruf am 10.06.2015
- RH CHAIRS (2009) - Environmental Product Declaration RH Extend 120. IVL Swedish Environmental Research Institute Ltd., S-EP-00036, RH Form AB: Nässjö, 4 Seiten <http://gryphon.environdec.com/data/files/6/7719/Extend%20EPD_eng.pdf> Abruf am 10.06.2015
- RÜTER, S. (2012) - Umwelt-Produktdeklarationen für Bauprodukte nach EN 15804. *holztechnologie*, 53 (4), Seiten 56-57
- RÜTER, S. (2013) - Der Umweltbeitrag der Holznutzung. In: CHERET, P., SCHWANER, K., SEIDEL, A. (Hrsg.) Urbaner Holzbau. Chancen und Potenziale für die Stadt. DOM publishers: Berlin, 234 Seiten
- RÜTER, S., DIEDERICH, S. (2012) - Ökobilanz-Basisdaten für Bauprodukte aus Holz. Abschlussbericht. Johann Heinrich von Thünen-Institut, Institut für Holztechnologie und Holzbiologie: Hamburg, 304 Seiten <<http://www.fnr-server.de/ftp/pdf/berichte/22028808.pdf>> Abruf am 10.06.2015
- SCANDINAVIAN BUSINESS SEATING (2014) - Environmental Product Declaration in accordance with ISO 14025. HÅG H04 4400. The Norwegian EPD Foundation, NEPD 00035E Rev. 1, Scandinavian Business Seating AS: Majorstuen, 6 Seiten <<http://www.epd-norge.no/getfile.php/PDF/EPD/Moebler/NEPD00035E%20Rev%201%20H%C3%85G%20H04%204400%20GK.pdf>> Abruf am 10.06.2015
- SCANDINAVIAN BUSINESS SEATING (2015) - Environmental Product Declaration in accordance with ISO 14025. RH Mereo 220 with armrests. The Norwegian EPD Foundation, NEPD-319-196-EN, Scandinavian Business Seating AS: Majorstuen, 6 Seiten <<http://www.epd-norge.no/getfile.php/PDF/EPD/Moebler/NEPD-319-196-EN%20RH-Mereo-220-with-armrests%20GK.pdf>> Abruf am 10.06.2015

- SCHMINCKE, E. (2011) - The European standard FprEN 15804 for EPD in the construction sector and the application of the modularity principle. In: Proceedings of the Life Cycle Management Conference LCM 2011: Berlin, 28-31 August 2011
- SCHWILL, U. (2010) - Hessens Tischler starten Projekt mit CO₂-Rechner. *Holz-Zentralblatt*, 136 (29), 23.07.2010, Seite 705
- SKAAR, C., JORGENSEN, R. B. (2013) - Integrating human health impact from indoor emissions into an LCA: a case study evaluating the significance of the use stage. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 18 (3), Seiten 636-646
- SOINÉ, H. (1995) - Holzwerkstoffe. Herstellung und Verarbeitung. Platten, Beschichtungsstoffe, Formteile, Türen, Möbel. DRW-Verlag Weinbrenner: Leinfelden-Echterdingen, 368 Seiten
- SPITZLEY, D. V., DIETZ, B. A., KEOLEIAN, G. A. (2006) - Life-Cycle Assessment of Office Furniture Products. Final report on the study of three Steelcase office furniture. Report No. CSS06-11, Center for Sustainable Systems, University of Michigan: Ann Arbor, 74 Seiten <http://css.snre.umich.edu/css_doc/CSS06-11.pdf> Abruf am 10.06.2015
- STATISTISCHES BUNDESAMT (2014) - Produktion des Verarbeitenden Gewerbes sowie des Bergbaus und der Gewinnung von Steinen und Erden. Jahresergebnisse 2013. Fachserie 4 Reihe 3.1. Statistisches Bundesamt: Wiesbaden, 305 Seiten <https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/IndustrieVerarbeitendesGewerbe/Konjunkturdaten/ProduktionJ2040310137004.pdf;jsessionid=CA613BAD6CA7C4B006CB934E81F5F90A.cae2?__blob=publicationFile> Abruf am 10.06.2015
- STEELCASE (2004) - Environmental Product Declaration. A presentation of quantified environmental life cycle product information for the Think task chair. Steelcase Inc., 5 Seiten <<http://www.ofisme.com/media/591696/environmental%20product%20declaration%20%28epd%29.pdf>> Abruf am 10.06.2015
- SVENHEIM MØBELINDUSTRI (2015) - Environmental Product Declaration in accordance with ISO 14025. Fix table 1800x800x26 mm w/drawer and 2 columns (electrical). The Norwegian EPD Foundation, NEPD313-182-EN, Scandinavian Business Seating AS: Majorstuen, 6 Seiten <<http://www.epd-norge.no/getfile.php/PDF/EPD/Moebler/NEPD313-182-EN%20Fix-table-1800x800x26mm-w-drawer-2-columns-electrical-GK.pdf>> Abruf am 10.06.2015
- TAKANO, A., HAFNER, A., LINKOSALMI, L., OTT, S., HUGHES, M., WINTER, S. (2015) - Life cycle assessment of wood construction according to the normative standards. *European Journal of Wood and Wood Products*, 73 (3), Seiten 299-312
- VDM (2014) - Die wirtschaftliche Lage der Möbelindustrie. Bericht auf der Website des VDM. <<http://www.moebelindustrie.de/vdm/wirtschaftliche-lage-der-moebelindustrie-2013.html>> Abruf am 10.06.2015
- WEITZEL, P. (1999) - Ökologische Evaluierung einer Möbelfertigung. Diplomarbeit. Universität Hamburg, Fachbereich Biologie, 108 Seiten

- WENKER, J. L. (2010) - Ökobilanzierung in der Möbelbranche - Klassifizierung unterschiedlicher Möbel sowie praktische Durchführung einer Ökobilanz. Masterarbeit. Universität Hamburg, Fachbereich Biologie, 69 Seiten
- WERNER, F., RICHTER, K. (2007) - Wooden building products in comparative LCA. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 12 (7), Seiten 470-479
- WIESNER-HAGER (2014) - Umwelt-Produktdeklaration (EPD). update_b Stapelstuhl, Deklarationsnummer TA 22012 1634 6330-200 01555581290, Wiesner-Hager Möbel GmbH: Altheim, 7 Seiten
<http://www.wiesner-hager.com/fileadmin/user_upload/download/EPD_update_bistro_6330-200_01555581290_ger_01.pdf> Abruf am 10.06.2015
- WÖHE, G., DÖRING, U. (2010) - Einführung in die allgemeine Betriebswirtschaftslehre. Franz Vahlen: München, 1083 Seiten

Normen

- DIN EN ISO 14025:2011-10 – Umweltkennzeichnungen und -deklarationen - Typ III Umweltdeklarationen - Grundsätze und Verfahren (ISO 14025:2006); Deutsche und Englische Fassung EN ISO 14025:2011
- DIN EN ISO 14040:2009-11 – Umweltmanagement - Ökobilanz - Grundsätze und Rahmenbedingungen (ISO 14040:2006); Deutsche und Englische Fassung EN ISO 14040:2006
- DIN EN ISO 14044:2006-10 – Umweltmanagement - Ökobilanz - Anforderungen und Anleitungen (ISO 14044:2006); Deutsche und Englische Fassung EN ISO 14044:2006
- DIN EN 15804:2014-07 – Nachhaltigkeit von Bauwerken - Umweltproduktdeklarationen - Grundregeln für die Produktkategorie Bauprodukte; Deutsche Fassung EN 15804:2012+A1:2013
- DIN EN 16485:2014-07 – Rund- und Schnittholz - Umweltproduktdeklarationen - Produktkategorieregeln für Holz und Holzwerkstoffe im Bauwesen; Deutsche Fassung EN 16485:2014

Abkürzungsverzeichnis

ABS	Acrylnitril-Butadien-Styrol
Äq.	Äquivalent
BFH	Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft
BMEL	Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft
BNB	Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen des Bundes
CML	Centrum voor Milieukunde Leiden
CO ₂	Kohlenstoffdioxid
DGNB	Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen
DIN	Deutsches Institut für Normung e. V.
EN	Europäische Norm
EoL	End-of-Life
EPD	Environmental Product Declaration (Umweltproduktdeklaration)
EVA	Ethylenvinylacetat
FIRA	Furniture Industry Research Association
HDH	Hauptverband der Deutschen Holzindustrie und Kunststoffe verarbeitenden Industrie und verwandter Industrie- und Wirtschaftszweige e.V.
HPL	High Pressure Laminate
HWS	Holzwerkstoff
IBU	Institut Bauen und Umwelt e. V.
ISO	International Organization for Standardization

kg	Kilogramm
km	Kilometer
LCA	Life cycle assessment (Ökobilanzierung)
LKW	Lastkraftwagen
m ²	Quadratmeter
m ³	Kubikmeter
MH	Massivholz
Mio.	Millionen
MJ	Megajoule
n. a.	nicht ausgewiesen
NMVOC	Non-Methane Volatile Organic Compounds
PA	Polyamid
PCR	Product Category Rules
PE	Polyethylen
PP	Polypropylen
PS	Polystyrol
PU	Polyurethan
PVAc	Polyvinylacetat / Weißleim
PVC	Polyvinylchlorid
UF	Urea Formaldehyde / Harnstoff-Formaldehyd-Klebstoff
VDM	Verband der Deutschen Möbelindustrie e.V.
VOC	Volatile organic compounds

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2.1:	Einteilung des Lebenswegs in definierte Module, in Anlehnung an DIN EN 15804:2014 sowie Rüter und Diederichs (2012: 35)	8
Abbildung 3.1:	Systemgrenzen für die Ermittlung der Umweltauswirkungen der Möbelherstellung.....	16
Abbildung 4.1:	Klassifizierung nach Trägermaterial und Oberfläche, in Anlehnung an Wenker (2010: 19)	24
Abbildung 4.2:	Fertigungsschritte bzw. Prozesse in der Möbelherstellung (Modul A3), in Anlehnung an Wenker (2010: 22)	29
Abbildung 4.3:	Graphische Darstellung der entwickelten Vorgehensweise	36
Abbildung 4.4:	Rechenschritte zur Zuordnung der Werksaufwendungen zu den virtuellen Durchschnittsmöbeln in den Produktgruppen	37
Abbildung 5.2.A:	Relative Beiträge der Module zu den potentiellen Umweltwirkungen. Deklarierte Einheit ist 1 kg Möbel zzgl. Verpackung auf Projektebene (Durchschnitt Projekt)	57
Abbildung 5.2.B:	Relative Beiträge der Module zum Primärenergieeinsatz. Deklarierte Einheit ist 1 kg Möbel zzgl. Verpackung auf Projektebene (Durchschnitt Projekt)	58
Abbildung 5.2.C:	Absolute Beiträge zum Parameter GWP (ohne holzinhärenten Kohlenstoff) in kg CO ₂ -Äquivalent. Deklarierte Einheit ist 1 kg Möbel zzgl. Verpackung auf Projektebene (Durchschnitt Projekt)	59
Abbildung 5.2.D:	Relative Beiträge zum Parameter GWP (ohne holzinhärenten Kohlenstoff) für die Module A1 bis A3. Deklarierte Einheit ist 1 kg Möbel zzgl. Verpackung auf Projektebene (Durchschnitt Projekt)	60
Abbildung 5.2.G:	Holzinhärente Kohlenstoffbilanz ausgedrückt als kg CO ₂ . Deklarierte Einheit ist 1 kg Möbel zzgl. Verpackung auf Projektebene (Durchschnitt Projekt)	62
Abbildung 5.3.1.A:	Relative Beiträge der Module zu den potentiellen Umweltwirkungen. Deklarierte Einheit ist 1 kg Aufbewahrungsmöbel zzgl. Verpackung (Durchschnitt Aufbewahrungsmöbel).....	68
Abbildung 5.3.1.B:	Relative Beiträge der Module zum Primärenergieeinsatz. Deklarierte Einheit ist 1 kg Aufbewahrungsmöbel zzgl. Verpackung (Durchschnitt Aufbewahrungsmöbel)	69
Abbildung 5.3.1.C:	Absolute Beiträge zum Parameter GWP (ohne holzinhärenten Kohlenstoff) in kg CO ₂ -Äquivalent. Deklarierte Einheit ist 1 kg Aufbewahrungsmöbel zzgl. Verpackung (Durchschnitt Aufbewahrungsmöbel)	70

Abbildung 5.3.1.D:	Relative Beiträge zum Parameter GWP (ohne holzinhärenten Kohlenstoff) für die Module A1 bis A3. Deklarierte Einheit ist 1 kg Aufbewahrungsmöbel zzgl. Verpackung (Durchschnitt Aufbewahrungsmöbel)	71
Abbildung 5.3.1.E:	Relative Beiträge zum Parameter GWP (ohne holzinhärenten Kohlenstoff) innerhalb des Moduls A3 nach Energieverbrauchern. Deklarierte Einheit ist 1 kg Aufbewahrungsmöbel zzgl. Verpackung (Durchschnitt Aufbewahrungsmöbel)	73
Abbildung 5.3.1.G:	Holzinhärente Kohlenstoffbilanz ausgedrückt als kg CO ₂ . Deklarierte Einheit ist 1 kg Aufbewahrungsmöbel zzgl. Verpackung (Durchschnitt Aufbewahrungsmöbel)	74
Abbildung 5.3.2.A:	Relative Beiträge der Module zu den potentiellen Umweltwirkungen. Deklarierte Einheit ist 1 kg Ablagemöbel zzgl. Verpackung (Durchschnitt Ablagemöbel)	80
Abbildung 5.3.2.B:	Relative Beiträge der Module zum Primärenergieeinsatz. Deklarierte Einheit ist 1 kg Ablagemöbel zzgl. Verpackung (Durchschnitt Ablagemöbel)	81
Abbildung 5.3.2.C:	Absolute Beiträge zum Parameter GWP (ohne holzinhärenten Kohlenstoff) in kg CO ₂ -Äquivalent. Deklarierte Einheit ist 1 kg Ablagemöbel zzgl. Verpackung (Durchschnitt Ablagemöbel)	82
Abbildung 5.3.2.D:	Relative Beiträge zum Parameter GWP (ohne holzinhärenten Kohlenstoff) für die Module A1 bis A3. Deklarierte Einheit ist 1 kg Ablagemöbel zzgl. Verpackung (Durchschnitt Ablagemöbel)	83
Abbildung 5.3.2.E:	Relative Beiträge zum Parameter GWP (ohne holzinhärenten Kohlenstoff) innerhalb des Moduls A3 nach Energieverbrauchern. Deklarierte Einheit ist 1 kg Ablagemöbel zzgl. Verpackung (Durchschnitt Ablagemöbel)	85
Abbildung 5.3.2.G:	Holzinhärente Kohlenstoffbilanz ausgedrückt als kg CO ₂ . Deklarierte Einheit ist 1 kg Ablagemöbel zzgl. Verpackung (Durchschnitt Ablagemöbel)	86
Abbildung 5.4.A:	Relative Beiträge der Module zu den potentiellen Umweltwirkungen. Deklarierte Einheit ist 1 kg Küchenmöbel zzgl. Verpackung (Durchschnitt Küchenmöbel)	92
Abbildung 5.4.B:	Relative Beiträge der Module zum Primärenergieeinsatz. Deklarierte Einheit ist 1 kg Küchenmöbel zzgl. Verpackung (Durchschnitt Küchenmöbel)	93
Abbildung 5.4.C:	Absolute Beiträge zum Parameter GWP (ohne holzinhärenten Kohlenstoff) in kg CO ₂ -Äquivalent. Deklarierte Einheit ist 1 kg Küchenmöbel zzgl. Verpackung (Durchschnitt Küchenmöbel)	94
Abbildung 5.4.D:	Relative Beiträge zum Parameter GWP (ohne holzinhärenten Kohlenstoff) für die Module A1 bis A3. Deklarierte Einheit ist 1 kg Küchenmöbel zzgl. Verpackung (Durchschnitt Küchenmöbel)	95

Abbildung 5.4.G:	Holzinhärente Kohlenstoffbilanz ausgedrückt als kg CO ₂ . Deklarierte Einheit ist 1 kg Küchenmöbel zzgl. Verpackung (Durchschnitt Küchenmöbel) 97
------------------	--

Tabellenverzeichnis

Tabelle 4.1:	Funktionen bzw. Anwendungsbereiche von Möbeln und daraus resultierende funktionelle und deklarierte Einheiten 23
Tabelle 4.2:	Beispiel für das Zusammenspiel von Produktgruppe, Materialklasse und funktioneller Gruppe 25
Tabelle 4.3:	Standardmaterialien zur Vereinheitlichung der Bezeichnungen für die Sachbilanzerstellung 27
Tabelle 4.4:	Gruppierung der Fertigungsschritte zu Prozessgruppen, in Anlehnung an Wenker (2010: 31) 30
Tabelle 4.5:	Matrix zur Verteilung des Inputs auf die verschiedenen Produktgruppen, erhalten aus Stücklisten-Hochrechnungen 39
Tabelle 4.6:	Prozessgruppen und deren Kriterien zur Verteilung des Energieverbrauchs 42
Tabelle 5.1:	Übersicht über die Tabellen und Abbildungen zur Ergebnisdarstellung 48
Tabelle 5.2.A:	Sachbilanz des Moduls A3 (Möbelfabrik) für 1 kg Möbel zzgl. Verpackung auf Projektebene (Gesamtdurchschnitt Projekt) 52
Tabelle 5.2.B:	Potentielle Umweltwirkungen für 1 kg Möbel zzgl. Verpackung auf Projektebene (Gesamtdurchschnitt Projekt) 53
Tabelle 5.2.C:	Ressourceneinsatz für 1 kg Möbel zzgl. Verpackung auf Projektebene (Durchschnitt Projekt) 54
Tabelle 5.2.D:	Outputflüsse und Abfallkategorien für 1 kg Möbel zzgl. Verpackung auf Projektebene (Durchschnitt Projekt) 55
Tabelle 5.2.E:	Absolute und relative Beiträge zum Parameter GWP (ohne holzinhärenten Kohlenstoff) innerhalb der Module A1 bis A3. Deklarierte Einheit ist 1 kg Möbel zzgl. Verpackung auf Projektebene (Durchschnitt Projekt) 60
Tabelle 5.2.F:	Absolute und relative Beiträge zum Parameter GWP (ohne holzinhärenten Kohlenstoff) innerhalb der Module A1 bis A3, Detailuntersuchung mit allen Einzelbeiträgen > 1 %. Deklarierte Einheit ist 1 kg Möbel zzgl. Verpackung auf Projektebene (Durchschnitt Projekt) 61
Tabelle 5.3.1.A:	Sachbilanz des Moduls A3 (Möbelfabrik) für 1 kg Aufbewahrungsmöbel zzgl. Verpackung (Durchschnitt Aufbewahrungsmöbel) 64

Tabelle 5.3.1.B:	Potentielle Umweltwirkungen für 1 kg Aufbewahrungsmöbel zzgl. Verpackung (Durchschnitt Aufbewahrungsmöbel)	65
Tabelle 5.3.1.C:	Ressourceneinsatz für 1 kg Aufbewahrungsmöbel zzgl. Verpackung (Durchschnitt Aufbewahrungsmöbel).....	66
Tabelle 5.3.1.D:	Outputflüsse und Abfallkategorien für 1 kg Aufbewahrungsmöbel zzgl. Verpackung (Durchschnitt Aufbewahrungsmöbel)	67
Tabelle 5.3.1.E:	Absolute und relative Beiträge zum Parameter GWP (ohne holzinhärenten Kohlenstoff) innerhalb der Module A1 bis A3. Deklarierte Einheit ist 1 kg Aufbewahrungsmöbel zzgl. Verpackung (Durchschnitt Aufbewahrungsmöbel)	71
Tabelle 5.3.1.F:	Absolute und relative Beiträge zum Parameter GWP (ohne holzinhärenten Kohlenstoff) innerhalb der Module A1 bis A3, Detailuntersuchung. Deklarierte Einheit ist 1 kg Aufbewahrungsmöbel zzgl. Verpackung (Durchschnitt Aufbewahrungsmöbel).....	72
Tabelle 5.3.1.G:	Absolute und relative Beiträge zum Parameter GWP (ohne holzinhärenten Kohlenstoff) innerhalb des Moduls A3 nach Energieverbräuchern. Deklarierte Einheit ist 1 kg Aufbewahrungsmöbel zzgl. Verpackung (Durchschnitt Aufbewahrungsmöbel)	73
Tabelle 5.3.2.A:	Sachbilanz des Moduls A3 (Möbelfabrik) für 1 kg Ablagemöbel zzgl. Verpackung (Durchschnitt Ablagemöbel)	76
Tabelle 5.3.2.B:	Potentielle Umweltwirkungen für 1 kg Ablagemöbel zzgl. Verpackung (Durchschnitt Ablagemöbel)	77
Tabelle 5.3.2.C:	Ressourceneinsatz für 1 kg Ablagemöbel zzgl. Verpackung (Durchschnitt Ablagemöbel)	78
Tabelle 5.3.2.D:	Outputflüsse und Abfallkategorien für 1 kg Ablagemöbel zzgl. Verpackung (Durchschnitt Ablagemöbel)	79
Tabelle 5.3.2.E:	Absolute und relative Beiträge zum Parameter GWP (ohne holzinhärenten Kohlenstoff) innerhalb der Module A1 bis A3. Deklarierte Einheit ist 1 kg Ablagemöbel zzgl. Verpackung (Durchschnitt Ablagemöbel).....	83
Tabelle 5.3.2.F:	Absolute und relative Beiträge zum Parameter GWP (ohne holzinhärenten Kohlenstoff) innerhalb der Module A1 bis A3, Detailuntersuchung. Deklarierte Einheit ist 1 kg Ablagemöbel zzgl. Verpackung (Durchschnitt Ablagemöbel)	84
Tabelle 5.3.2.G:	Absolute und relative Beiträge zum Parameter GWP (ohne holzinhärenten Kohlenstoff) innerhalb des Moduls A3 nach Energieverbräuchern. Deklarierte Einheit ist 1 kg Ablagemöbel zzgl. Verpackung (Durchschnitt Ablagemöbel)	85
Tabelle 5.4.A:	Sachbilanz des Moduls A3 (Möbelfabrik) für 1 kg Küchenmöbel zzgl. Verpackung (Durchschnitt Küchenmöbel)	88

Tabelle 5.4.B:	Potentielle Umweltwirkungen für für 1 kg Küchenmöbel zzgl. Verpackung (Durchschnitt Küchenmöbel)	89
Tabelle 5.4.C:	Ressourceneinsatz für 1 kg Küchenmöbel zzgl. Verpackung (Durchschnitt Küchenmöbel)	90
Tabelle 5.4.D:	Outputflüsse und Abfallkategorien für 1 kg Küchenmöbel zzgl. Verpackung (Durchschnitt Küchenmöbel)	91
Tabelle 5.4.E:	Absolute und relative Beiträge zum Parameter GWP (ohne holzinhärenten Kohlenstoff) innerhalb der Module A1 bis A3. Deklarierte Einheit ist 1 kg Küchenmöbel zzgl. Verpackung (Durchschnitt Küchenmöbel)	95
Tabelle 5.4.F:	Absolute und relative Beiträge zum Parameter GWP (ohne holzinhärenten Kohlenstoff) innerhalb der Module A1 bis A3, Detailuntersuchung mit allen Einzelbeiträgen > 1 %. Deklarierte Einheit ist 1 kg Küchenmöbel zzgl. Verpackung (Durchschnitt Küchenmöbel)	96
Tabelle 6.1:	Wirkungsabschätzung für jeweils 1 kg Material für Beschläge (GaBi-Datensatz) und Metallgestelle (eigene Modellierung auf Basis von GaBi-Datensätzen)	103

Anhang

Anhang 1: Tabellarische Übersicht über methodische Vorgehensweisen

Herausforderung	Methodische Vorgehensweise
Massenbilanz auf Unternehmens-ebene nicht stimmig	Bei Differenzen > 10 % Kontaktieren der Unternehmen und Bitte auf Plausibilitätsprüfung, danach Anpassung des Outputs an den Input $\text{Output} = x * \text{Input}$
Massenbilanz in Produktgruppen nicht stimmig	Differenz von Input je Produktgruppe aus Materialverteilung und Abfall je Produktgruppe aus Abfallverteilung $\text{Produktoutput} = \text{Input} - \text{Abfall}$
Thermische Energie aus Holzres-ten in Modul A3	Fiktive Trennung des Holzwerkstoffstroms im Input in A1 (Anteil der im Produkt verbleibt) und A3 (Anteil der später verbrannt wird) sowie Nebenprodukt (Späne zum Verkauf, nicht modelliert), damit die Vorketten der Holzwerkstoffherstellung den korrekten Modulen zugeordnet werden
Fernwärmeabgabe, Produktion von Vorprodukten für andere Werke	Es wurden die im Detailfragebogen angegebenen Werte auf die zu bilanzierende Produktion bezogen. Im Fall von Fernwärmeabgabe wurde der Brennstoffverbrauch um den Anteil der Fernwärme an der Gesamtwärmeerzeugung korrigiert. Bei der Produktion von Vorprodukten für andere Werke wurden die Anteile an Strom und Wärme in den betreffenden Prozessgruppen herausgerechnet. Bei Wärme wurde dabei konservativ vorgegangen, d. h. die Hallenheizung wurde nicht verringert, da die Hallen ohnehin geheizt werden müssen. Produktionswärme, z. B. Lacktrocknung wurde anteilig berechnet.
Elektrische Energie für den Be-trieb von Kesselanlage, Vorrich-tungsbau, Modellabteilung und anderer Infrastruktur	Zuweisung zu Prozessgruppen anhand der Fläche der Prozessgruppen. Zuweisung zu Möbeln nach prozessgruppenspezifischen Verteilungskriterien.
Physisches Aufkommen von Spä-nen in den Produktgruppen ist nicht gleich Wärmebedarf in den Produktgruppen	Die Produkte produzieren Späne in Abhängigkeit ihres HWS-Inhalts. Die zur Herstellung der Produkte benötigte Wärmemenge ist aber nicht abhängig vom HWS-Inhalt, sondern in hohem Maße von den beanspruchten Prozessgruppen, insbesondere von der Flächenbe-schichtung und Oberflächenbehandlung, z. B. Furnieren und Lackieren. Lösung: Für die Plausibilitätsprüfung zwischen Input und Output auf Werksebene sowie die Produktmassenberechnung, d. h. wie viel HWS verbleibt im Produkt (Vorkette A1) wird physisch nach HWS-Inhalt aufgeteilt, d. h. die im Werk anfallende Spänemenge wird den Produktgruppen nach deren HWS-Inhalt zugewiesen. Für die Wärmemenge und damit die verfeuerte Spänemenge (Vorkette A3) wird nach Wärmebedarf verteilt. Die Möbel speisen also in das Spänesilo nach physischer Späneentstehung ein und ent-nehmen nach Wärmebedarf. Die Summe der verteilten Späne in physischer Entstehung und Verbrennung für spezifische Produkte ist auf Werksebene gleich, lediglich auf Produkt-gruppenebene unterschiedlich, da nach Wärmebedarf zugeteilt.
Zuordnung der Materialien zu Standardmaterialien in zweitem Fragebogen und in konkreten Stücklisten	Die Zuordnung der im zweiten Fragebogen aufgelisteten Materialien zu den vereinheitlich-ten Bezeichnungen bzw. Standardmaterialien erfolgt zuerst. Danach werden die Materia-lien aus den Stücklisten zur Hochrechnung zugeordnet. Dabei dürfen nur Materialien ge-wählt werden, die auf Werksebene (zweiter Fragebogen zur Detailerfassung) auch vor-kommen, d. h. verbraucht werden. Andernfalls werden die Materialien von Werksebene auf Produktgruppen falsch verteilt, da es zu den Hochrechnungen keine Entsprechungen im Werk gibt.
Nachträgliches Berücksichtigen von Materialien im unterneh-mensspezifischen Einzelfall	Um möglicherweise zu einem späteren Zeitpunkt Materialien, die von großer Wichtigkeit sind, und bisher nicht berücksichtigt wurden, zu erfassen, wurden im Sachbilanz-Template drei Holzwerkstoff-Dummies und drei sonstige Werkstoff-Dummies eingefügt. Diese kön-nen bei Bedarf umbenannt und zur Sachbilanzerstellung genutzt werden.

Differenzierung von Kunststoff-Bestandteilen im Möbel	Es kann nur in verschiedene Kunststoff-Arten differenziert werden, wenn diese Information auf Stücklistenebene (d. h. welches Kunststoffteil besteht aus welchem Kunststoff) und auf Werksebene (d. h. welcher Kunststoff wird in welchen Mengen eingesetzt) vorliegt. Da die Differenzierung des Kunststoffs auf Werksebene i. d. R. nicht möglich ist, wird ein Kunststoff-Mix gebildet.												
Kunststoff-Mix im Möbel (nicht Verpackung)	In Anlehnung an LINDNER (2012) wird entsprechend der Kunststoffproduktion in Deutschland verteilt. Diese Verteilung entspricht sicherlich nicht der exakten Verteilung der in der Möbelfertigung zum Einsatz kommenden und damit im Möbelstück befindlichen Kunststoffe (PE wird viel in Verpackung eingesetzt, PVC im Baubereich), wird aber hier als plausible Verteilung angenommen. Die Annahme ist: <table> <tr><td>PE</td><td>0,29</td></tr> <tr><td>PP</td><td>0,23</td></tr> <tr><td>PS</td><td>0,11</td></tr> <tr><td>PVC</td><td>0,24</td></tr> <tr><td>PA</td><td>0,08</td></tr> <tr><td>PUR</td><td>0,05</td></tr> </table>	PE	0,29	PP	0,23	PS	0,11	PVC	0,24	PA	0,08	PUR	0,05
PE	0,29												
PP	0,23												
PS	0,11												
PVC	0,24												
PA	0,08												
PUR	0,05												
Metallgestelle und -schubkästen	Für Metallgestelle und -schubkästen, die insbesondere in der Büromöbelindustrie und Küchenmöbelindustrie eingesetzt werden, wurde eine Datenerhebung in einer Fertigungsstätte, die ebendiese Produkte herstellt, durchgeführt. Auf Basis dieser Datenerhebung wurde die Herstellung von 1 kg Metallgestell bzw. -schubkasten modelliert.												
Modellierung der zugekauften Korpusteile	Für die Herstellung von Korpusteilen aus melaminbeschichteter Spanplatte wurde bei einem großen Hersteller von Korpusteilen eine Werks-Sachbilanz erstellt und auf deren Basis wurde die Herstellung von 1 kg Korpusteil als zugekauftes Möbelteil modelliert. Somit ist sichergestellt, dass die Umweltwirkungen, die zwischen der Vorkette der Spanplattenherstellung aus ÖkoHolzBauDat (Rüter und Diederichs, 2012) und der Verwendung der fertigen Korpusteile in der Möbelfabrik (Modul A3 in dieser Studie) nicht unberücksichtigt bleiben.												
Modellierung des Fronten-Materialmixes	Für Korpusteile aus melaminbeschichteter Spanplatte wurde eine detaillierte Sachbilanz bei einem Hersteller von Möbelteilen erhoben. Ausgehend von diesen Daten wurde der Materialmix und der Energieverbrauch gutachterlich in konservativer Weise zur Modellierung der Fronten angepasst.												
Aufwendungen für Verwaltung und Ausstellung	Diese Aufwendungen wurden abgeschnitten, da Herstellung bilanziert wird. Ferner haben nicht alle betrachteten Standorte eine Verwaltung bzw. einige Standorte haben eine Verwaltung, die Standorte ohne Verwaltung mit bedient.												
Emissionen aus der Lackierung in Modul A3	Durch das Aushärten von Lack entstehen Emissionen im Modul A3 (Möbelherstellung). Es wurden bezogen auf die eingesetzte Lackmenge an Emissionen angenommen: Wasserlack 1,5 % NMVOC Emissionen (unspezifisch), angelehnt an Lösemittelbilanzen einzelner Hersteller Lösemittellack 34 % NMVOC Emissionen (unspezifisch)												

Anhang 2: Annahmen und (angenommene) Faktoren zur Umrechnung

Material / Energie / Sonstiges	Faktor	Einheit
Auslastung der Lastkraftwagen bei Transportvorgängen	85	%
Dieselmotorkraftstoff	0,84	kg/l
Energie aus Holzresten (aus ÖkoHolzBauDat (Rüter und Diederichs 2012))	17,2	MJ/kg
Erdgas: Umrechnung des Gasverbrauchs in Kubikmetern in durch Verbrennung gewonnene Energie in MJ unter Berücksichtigung des Wirkungsgrades (80 %)	29,1	MJ/m ³
Gas flüssig	0,51	kg/l
Heizöl extra leicht (el)	0,84	kg/l
Heizöl: Umrechnung des Ölverbrauchs in Litern in durch Verbrennung gewonnene Energie in MJ unter Berücksichtigung des Wirkungsgrades (80 %)	28,2	MJ/l
Holz und HWS für Verpackung	500	kg/m ³
Holzfeuchte Altholz (Verbrennung) → Spanplatte/Möbel/Paletten	20	%
Holzfeuchte von eigenem Industrierestholz	8	%
Holzspäne	300	kg/m ³
Öl, Fett, Trennmittel	0,85	kg/l
Reinigungsmittel	1	kg/l
Schleifbänder (Breitband)	3	kg/Stück
Schleifschwämme	0,02	kg/Stück
Späne als Nebenprodukt, Verkaufspreis (konservative d. h. hohe Annahme)	84	€/t
Styropor und lose geschüttete Kunststoffbänder	60	kg/m ³
Transport Betriebsmittel zum Werk	50	km
Transport Betriebsmittel zur Entsorgung	20	km
Transport des Produkts zur Verwertung	20	km
Trinkwasser	1000	kg/m ³
Trinkwasser	1	kg/l
Unbekannte Transportdistanz bei mengenmäßig kleinen Positionen	300	km

Thünen Report

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

- | | |
|----|---|
| 11 | Bernhard Osterburg, Sebastian Rüter, Annette Freibauer, Thomas de Witte, Peter Elsasser, Stephanie Kätsch, Bettina Leischner, Hans Marten Paulsen, Joachim Rock, Norbert Röder, Jörn Sanders, Jörg Schweinle, Johanna Steuk, Heinz Stichnothe, Wolfgang Stümer, Johannes Welling, Anne Wolff
Handlungsoptionen für den Klimaschutz in der deutschen Agrar- und Forstwirtschaft |
| 12 | Heinrich Becker und Andrea Moser
Jugend in ländlichen Räumen zwischen Bleiben und Abwandern – Lebenssituation und Zukunftspläne von Jugendlichen in sechs Regionen in Deutschland |
| 13 | Bernhard Osterburg, Stephanie Kätsch und Anne Wolff
Szenarioanalysen zur Minderung von Treibhausgasemissionen der deutschen Landwirtschaft im Jahr 2050 |
| 14 | Philipp Adämmer, Martin T. Bohl und Ernst-Oliver von Ledebur
Die Bedeutung von Agrarterminmärkten als Absicherungsinstrument für die deutsche Landwirtschaft |
| 15 | Simon Walther
Determinants of competitiveness of agriholdings and independent farms in Ukrainian arable production |
| 16 | Nicole Wellbrock, Andreas Bolte et al.
Kohlenstoff- und Nährelementspeicherung von Waldflächen des forstlichen Umweltmonitorings (BZE) in Rheinland-Pfalz |
| 17 | Hans-Dieter Haenel, Claus Rösemann, Ulrich Dämmgen, Eike Poddey, Annette Freibauer, Sebastian Wulf, Brigitte Eurich-Menden, Helmut Döhler, Carsten Schreiner, Beate Bauer und Bernhard Osterburg
Calculations of gaseous and particulate emissions from German agriculture 1990 - 2012
Berechnung von gas- und partikelförmigen Emissionen aus der deutschen Landwirtschaft 1990 – 2012 |
| 18 | Patrick Küpper, Stefan Kundolf und Anne Margarian
Neue Beteiligungs- und Steuerungsprozesse in der ländlichen Entwicklung |
| 19 | Frank Offermann, Claus Deblitz, Burkhard Golla, Horst Gömann, Hans-Dieter Haenel, Werner Kleinhanß, Peter Kreins, Oliver von Ledebur, Bernhard Osterburg, Janine Pelikan, Norbert Röder, Claus Rösemann, Petra Salamon, Jörn Sanders, Thomas de Witte
Thünen-Baseline 2013 – 2023: Agrarökonomische Projektionen für Deutschland |
| 20 | Gerald Rahmann und Uygun Aksoy (Eds.)
Building Organic Bridges – Volume 1: Argentina – France
Building Organic Bridges – Volume 2: Germany – India
Building Organic Bridges – Volume 3: Indonesia – Sri Lanka
Building Organic Bridges – Volume 4: Sweden – Viet Nam |
| 21 | Claudia Heidecke, Ulrike Hirt, Peter Kreins, Petra Kuhr, Ralf Kunkel, Judith Mahnkopf, Michael Schott, Björn Tetzlaff, Markus Venohr, Andrea Wagner und Frank Wendland
Endbericht zum Forschungsprojekt „Entwicklung eines Instrumentes für ein flussgebietsweites Nährstoffmanagement in der Flussgebietseinheit Weser“
AGRUM*-Weser |
| 22 | Walter Dirksmeyer, Ludwig Theuvsen und Maike Kayser (Hrsg.)
Aktuelle Forschung in der Gartenbauökonomie – Tagungsband zum 1. Symposium für Ökonomie im Gartenbau |

- 23** Karsten Mohr, Jerzy Suda, Hans Kros, Christian Brümmer, Werner L. Kutsch, Miriam Hurkuck, Elisabeth Woesner, Wim Wesseling
Atmosphärische Stickstoffeinträge in Hochmoore Nordwestdeutschlands und Möglichkeiten ihrer Reduzierung – eine Fallstudie aus einer landwirtschaftlich intensiv genutzten Region
- 24** Raphael Albrecht
Ein Ansatz zur Abschätzung der interregionalen Wettbewerbsfähigkeit der Zuckerrübenproduktion – am Beispiel ausgewählter europäischer Regionen
- 25** Ute Petersen, Hans-Joachim Weigel
Klimaresilienz durch Agrobiodiversität?
 Literaturstudie zum Zusammenhang zwischen Elementen der Agrobiodiversität und der Empfindlichkeit von landwirtschaftlichen Produktionssystemen gegenüber dem Klimawandel
- 26** Mirko Liesebach (Hrsg.)
FastWOOD II: Züchtung schnellwachsender Baumarten für die Produktion nachwachsender Rohstoffe im Kurzumtrieb – Erkenntnisse aus 6 Jahren FastWOOD
- 27** Claus Rösemann, Hans-Dieter Haenel, Ulrich Dämmgen, Annette Freibauer, Sebastian Wulf, Brigitte Eurich-Menden, Helmut Döhler, Carsten Schreiner, Beate Bauer, Bernhard Osterburg
Calculations of gaseous and particulate emissions from German agriculture 1990 - 2013
Berechnung von gas- und partikelförmigen Emissionen aus der deutschen Landwirtschaft 1990 – 2013
- 28** Martin T. Bohl, Hervé Ott und Ernst-Oliver von Ledebur
Kurzfristige Dynamik von Preisbildungsprozessen deutscher Agrarrohstoffe - Abschlussbericht im Auftrag der Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung für das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft
- 29** Kurt-Jürgen Hülsbergen, Gerold Rahmann (Hrsg.)
Klimawirkungen und Nachhaltigkeit ökologischer und konventioneller Betriebssysteme – Untersuchungen in einem Netzwerk von Pilotbetrieben, Forschungsergebnisse 2013-2014
- 30** Horst Gömann, Andrea Bender, Andreas Bolte, Walter Dirksmeyer, Hermann Englert, Jan-Henning Feil, Cathleen Frühauf, Marlen Hauschild, Sandra Krengel, Holger Lilienthal, Franz-Josef Löpmeier, Jürgen Müller, Oliver Mußhoff, Marco Natkhin, Frank Offermann, Petra Seidel, Matthias Schmidt, Björn Seintsch, Jörg Steidl, Kathrin Strohm, Yelto Zimmer
Agrarrelevante Extremwetterlagen und Möglichkeiten von Risikomanagementsystemen, Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL)
- 31** Jan L. Wenker und Sebastian Rüter
Ökobilanz-Daten für holzbasierte Möbel



THÜNEN

Thünen Report 31

Herausgeber/Redaktionsanschrift

Johann Heinrich von Thünen-Institut
Bundesallee 50
38116 Braunschweig
Germany

www.ti.bund.de

ISBN 978-3-86576-137-8

