

# Industrierestholz – Terminologie und Methoden zur Berechnung des Aufkommens auf europäischer Ebene

Kumulative Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades

Doktorin der Naturwissenschaften

an der Fakultät für Mathematik, Informatik und Naturwissenschaften

Fachbereich Biologie, Arbeitsbereich der Ökonomie der Holz- und Forstwirtschaft

Universität Hamburg

vorgelegt von

Ulrike Saal

aus Berlin

Hamburg, 2023

1. Gutachter: Professor Dr. Udo Mantau

2. Gutachter: Professor Dr. Matthias Dieter

Disputation am 12. Oktober 2023

Vorsitzender der Prüfungskommission: Professor Dr. Bodo Saake

Mitglied der Prüfungskommission: Professorin Dr. Elisabeth Magel

Mitglied der Prüfungskommission: Professor Dr. Andreas Krause

*Für Paula, Lene und Jonne*

## Grundlegende Veröffentlichungen für die kumulative Dissertation

1. Saal U, Iost S, Weimar H (2022) Supply of wood processing residues – a basic calculation approach and its application on the example of wood packaging, In: *Trees, Forests and People* 7(8):100199, DOI: 10.1016/j.tfp.2022.100199
2. Saal U (2019) Terminology of wood processing residues (poster presentation), 3rd International Scientific Conference Wood-Science-Economy, Poznan, DOI: 10.13140/RG.2.2.23011.68645
3. Saal U, Weimar H, Mantau U (2017) Wood processing residues, In: *Advances in biochemical engineering/biotechnology* 166, S. 27–41, DOI: 10.1007/10\_2016\_69

## Zusammenfassung

Die effiziente Nutzung natürlicher Ressourcen gehört zu den wichtigen, aktuellen Zielen nationaler und internationaler Strategiepapieren zur nachhaltigen Entwicklung (United Nations 2015; Europäische Kommission 2018; BMBF und BMEL 2020). Der Holzrohstoff Industrierestholz (IRH) gewinnt innerhalb dieser Ziele an Bedeutung (Kunttu et al. 2020). Innerhalb der Kreislaufwirtschaft und Kaskadennutzung leistet der Sekundärrohstoff aus der Holzbe- und -verarbeitung einen qualitativen und quantitativen Beitrag zur Umsetzung (BMEL 2020). Die Herausforderungen, die sich aus einer erhöhten Nachfrage nach Holzrohstoffen, der Nutzungskonkurrenz und neuen Verwendern regional und überregional ergeben, lassen sich langfristig nur wissens- und datenbasiert lösen (Mantau 2014; Camia et al. 2021).

IRH als Holzrohstoff zur stofflichen und energetischen Nutzung ist vielfach erwähnt, bisher jedoch nur wenig untersucht. Die statistische Erfassung des Aufkommens an IRH beschränkt sich auf einzelne Sortimente und einen Teil der berichtenden Länder (FAOSTAT 2021). Das IRH der Holzfertigwaren wird statistisch nicht erfasst. In der wissenschaftlichen Literatur wird IRH unterschiedlich eingeordnet und abgeschätzt. Die verfügbaren Daten und Ergebnisse zu Aufkommenspotenzialen der Holzindustriesektoren sind kaum vergleichbar. Das liegt vorrangig an unterschiedlichen Methoden der Erhebung und einer inkongruenten Terminologie. So basieren Berechnungen des europäischen und globalen IRH-Aufkommens vorrangig auf groben Schätzwerten und einzelnen, methodisch abweichenden empirischen Erhebungen. Gleichzeitig wird der Holzrohstoff IRH im englischen wissenschaftlichen Sprachgebrauch vielfältig benannt, so dass Ergebnisse und Daten nicht verlässlich vergleichbar sind. Für eine vergleichbare und reproduzierbare Berechnung des IRH-Aufkommens auf der Grundlage verfügbarer Daten fehlt bisher ein Berechnungsansatz. In der vorliegenden Dissertation werden diese entscheidenden Wissens- und Datenlücken aufgegriffen. Das übergeordnete Forschungsziel dieser Dissertation ist es, IRH innerhalb der Holzrohstoffe zu systematisieren, einheitlich zu definieren und das Aufkommen rechnerisch zu erfassen.

Die kumulative Dissertation besteht aus drei wissenschaftlichen Beiträgen. Die Einleitung (1), die fachliche Einordnung (2.1), der Forschungsstand (2.2) sowie die abschließende Diskussion und Schlussfolgerung aller wissenschaftlichen Beiträge (4) bilden den Rahmen der kumulativen Dissertation. Unter dem übergeordneten Forschungsziel, der Systematisierung und Berechnung des IRH auf europäischer Ebene, werden in den aufeinanderfolgenden wissenschaftlichen Beiträgen verschiedene Fragestellungen untersucht. Jeder Beitrag dient der sukzessiven Argumentation und dem wissenschaftlichen Beleg zur Wertschätzung des IRH durch Einordnung, Terminologieanalyse und einheitliche Berechnung. Die aufeinanderfolgenden Beiträge greifen die Forschungsfragen auf, die sich aus der ersten umfassenden Berechnung des IRH-Aufkommens auf europäischer Ebene im Rahmen

der EUwood-Studie (Mantau, 2010) sowie aus dem ersten wissenschaftlichen Beitrag (Saal et al. 2017) ergeben. Alle Beiträge verfolgen die überregionale Betrachtung auf europäischer Ebene sowie die Analyse innerhalb des englischsprachigen wissenschaftlichen Sprachgebrauchs.

Der erste wissenschaftliche Beitrag (Saal et al. 2017) untersucht im Rahmen einer Literaturstudie die Fragestellung, wie IRH innerhalb der verfügbaren Literatur systematisiert und berechnet wird und welche Daten zum Aufkommen auf verschiedenen regionalen Ebenen verfügbar sind. In der Studie wird das IRH innerhalb der Sektoren der Holzindustrie eingeordnet und in Abgrenzung zu anderen Sekundärrohstoffen definiert. Anhand einer vergleichenden Berechnung auf der Grundlage der verfügbaren Daten für die Jahre 2014, 2016 und 2018 wird das IRH für Deutschland sowie auf europäischer und globaler Ebene berechnet. Die Ergebnisse der vergleichenden Berechnungen weisen auf eine Untererfassung der offiziellen Daten und abschätzenden Methoden hin. Zudem leiten sich aus den Ergebnissen der Literaturstudie der Bedarf an einer terminologischen Untersuchung des Begriffs und einem Berechnungsansatz des IRH-Aufkommens anhand verfügbarer Daten ab.

Der zweite wissenschaftliche Beitrag (Saal 2019) wurde in der Form eines wissenschaftlichen Posters veröffentlicht. Er umfasst die Ergebnisse der terminologischen Analyse des Begriffs IRH im englischen wissenschaftlichen Sprachgebrauch. Unter der differenzierten Fragestellung, welche englischsprachigen Benennungen für den Begriff verwendet werden, welche Kriterien eine äquivalente Benennung erfüllen muss und welche der Benennungen im wissenschaftlichen Gebrauch äquivalent verwendet werden, wurde der Begriff IRH terminologisch untersucht. Aufgrund des eingeschränkten Umfangs des wissenschaftlichen Posters werden der theoretische Hintergrund sowie die methodische Herangehensweise innerhalb des Rahmens der Dissertation (3.2.3) ausführlich beschrieben. Anhand der theoretischen, sachgebietsbezogenen Abgrenzung des Begriffs gelingt es mit den Untersuchungen im zweiten wissenschaftlichen Beitrag IRH rohstoffseitig zu klassifizieren und zu definieren. In der Terminologieanalyse werden 25 englischsprachige Benennungen für den Begriff IRH extrahiert. Aus dem theoretischen Hintergrund der Terminologielehre werden verschiedene Kriterien zur Bewertung der spezifischen, äquivalenten Benennung abgeleitet. Anhand der Kriterien zur Terminologieanalyse werden die 25 Benennungen analysiert und quantitativ bewertet. Anhand einer qualitativen und quantitativen Inhaltsanalyse wird die äquivalente Benennung in der englischsprachigen wissenschaftlichen Literatur untersucht und quantitativ bewertet.

Aus der quantitativen Bewertung der Kriterien ergibt sich die Empfehlung der Benennung von IRH als „wood processing residues“ (WPR). Ein weiteres Ergebnis der quantitativen Inhaltsanalyse ergibt eine wertschätzende Veränderung in der Verwendung der Benennung als „waste“ hin zu „residues“.

Der dritte wissenschaftliche Beitrag (Saal et al. 2022) greift das Ziel einer einheitlichen Berechnung des IRH auf. Unter der Fragestellung, wie das IRH-Aufkommen auf europäischer Ebene anhand verfügbarer

Daten einheitlich berechnet werden kann, wird ein detaillierter Berechnungsansatz am Beispiel der Holzpackmittelindustrie erarbeitet. Der Berechnungsansatz basiert auf der Methode der Materialflussanalyse (MFA). Der Materialfluss der untersuchten, standardisierten Holzpackmittel wird anhand differenzierter Materialeffizienzkoeffizienten und Umrechnungsfaktoren quantifiziert. Als Datengrundlage dienen regelmäßig erhobene Daten der Produktionsstatistik „Procom.“. Das IRH-Aufkommen sowie der Materialeingang und Materialausgang werden für jeden differenzierten Prozessschritt der Halb- und Fertigwarenproduktion für die Jahre 2014, 2016 und 2018 berechnet. Der Berechnungsansatz wird innerhalb der Studie hergeleitet und zur vergleichbaren Anwendung dokumentiert. Für die europäische Holzpackmittelindustrie ergibt sich im Jahr 2018 ein IRH-Aufkommen von 29,7 Millionen m<sup>3f</sup> bei einem Holzrohstoffeinsatz von rund 70,5 Millionen m<sup>3f</sup>. Die Ergebnisse werden produkt- und länderspezifisch ausgewiesen. Mit dem entwickelten Berechnungsansatz gelingt es, das IRH-Aufkommen vergleichbar und anhand verfügbarer Daten auf europäischer Ebene zu berechnen. Gleichzeitig können die der Rohstoffeinsatz und das IRH-Aufkommens der Fertigwarenindustrie abgeleitet werden.

Mit der systematischen Literatur- und Terminologieanalyse des IRH und der Entwicklung eines Ansatzes zur vergleichbaren Berechnung des Aufkommens gelingt mit der vorliegenden Dissertation eine Synthese verschiedener Forschungsfragen zur Schließung wichtiger Wissens- und Datenlücken. Die Analyse und Berechnung des IRH über einen regionalen Fokus hinaus trägt dazu bei, aktuelle Anforderungen der nachhaltigen Holzrohstoffnutzung und weitere Entwicklungen in der Nachfrage nach Holzroh- und Faserstoffen mit Datenwissen zu unterstützen. Gleichzeitig wird mit der umfassenden Untersuchung und dem damit einhergehenden wissenschaftlichen Diskurs (Saal et al. 2017; Saal 2019; Saal et al. 2022) die Bedeutung des IRH in der Entwicklung hin zu einer kreislauforientierten Bioökonomie und Kaskadennutzung gestärkt.

## Abstract

Efficient use of natural resources is one of the prevailing objectives of national and international strategies for sustainable development (United Nations 2015; Europäische Kommission 2018; BMBF und BMEL 2020). The wood resource “wood processing residues” (WPR) gains importance within these objectives (Kunttu et al. 2020). As the secondary raw material from wood processing industry the resource contributes qualitatively and quantitatively to circular economy and cascading and thus, to the transformation process towards circular bioeconomy and sustainable development (BMEL 2020). The challenge of an increasing demand for wood resources and the competition of new and traditional users can only be responded by knowledge and data (Mantau 2014; Camia et al. 2021).

WPR as a wood resource for material and energy use has been mentioned many times, but has been studied little, so far. The statistical recording of the volume of WPR is limited to particular assortments and single countries (FAOSTAT 2021). The WPR of finished wood products is not statistically recorded. In scientific literature, WPR is classified and estimated in different ways. The available data and results on supply potentials of wood industry sectors are hardly comparable. This is mainly due to different methods of data collection and a lack of a harmonised terminology. Thus, calculations of the European and global WPR supply are primarily based on rough estimates and individual, methodologically divergent empirical surveys. At the same time, the wood resource WPR is named variously in English scientific usage, so that results and data are not reliably comparable. For a comparable and reproducible calculation of the WPR volume on the basis of available data, a calculation approach is missing so far. This dissertation addresses these critical knowledge and data gaps. The overall research goal of the dissertation is to systematise and uniformly define WPR within wood raw materials and close existing data gaps on its occurrence based on a calculation approach.

The cumulative dissertation consists of three scientific contributions. Moreover, the introduction (1), the technical classification (2.1), the state of research (2.2) on WPR, and the final discussion and conclusion of all scientific contributions (4) form the framework of the cumulative dissertation. Under the overall research objective of systematising and calculating the WPR supply at the European level, various issues are analysed in the successive scientific contributions. Each contribution serves the consecutive argumentation and scientific evidence for the appreciation of the WPR through classification, terminology and unified calculation. The successive contributions address knowledge and data gaps resulting from the first comprehensive calculation of WPR occurrence at the European level in the EUwood study (Mantau et al. 2010) and from the first scientific contribution (Saal et al. 2017). All contributions follow the interregional consideration on European level as well as the analysis within the English scientific language.

The first scientific contribution (Saal et al. 2017) uses a literature review to examine how the wood resource WPR is systematised and calculated within the available literature and what data are available on its supply at different regional levels. The study classifies WPR within the sectors of the wood industry and defines it in distinction to other secondary raw materials. Using a comparative calculation based on available data for the years 2014, 2016 and 2018, the WPR volume is calculated for Germany as well as on a European and global level. The results of the comparative calculations indicate an undercoverage of the official data and methods which are based on estimation. In addition, the need for a terminological study of the term and a calculation approach of WPR supply based on available data are derived from the results of the literature review.

The second scientific contribution (Saal 2019) was published in the form of a scientific poster. It includes the results of terminological analysis of the term WPR in English scientific usage. The term WPR was analysed terminologically under differentiated questions: Which English-language designations are used for the term, which criteria must be fulfilled by an equivalent designation, and which of the designations are used equivalently in scientific usage. Due to the limited scope of the scientific poster, the theoretical background as well as the methodological approach are described in detail within the framework of the present dissertation (3.2.3). On the basis of the theoretical, subject-related delimitation of the term, the analyses in the second scientific contribution succeed in classifying and defining WPR resource-related. In the terminology analysis, 25 English-language designations for the term WPR are extracted. Various criteria are derived from the theoretical background of terminology theory to evaluate the specific, equivalent designation. Using the terminology analysis criteria, the 25 designations are analysed and quantitatively evaluated. Further, using a qualitative and quantitative content analysis, the equivalent designation in the scientific literature in English language is examined and quantitatively evaluated. As a result of the quantitative evaluation of the criteria, the recommended designation for the term WPR "wood processing residues" emerges. Another result of the quantitative content analysis shows an appreciative change in the use of the term of "waste" towards "residues".

The third scientific contribution (Saal et al. 2022) addresses the crucial knowledge and data gap of the uniform calculation of WPR. Based on the question of how the WPR supply can be calculated uniformly on a European level using available data, a detailed calculation approach is developed. The European wood packaging industry is applied as an example. The calculation approach is based on the method of material flow analysis (MFA). The material flow of the investigated, standardised wood packaging materials is quantified using differentiated material efficiency coefficients and conversion factors. The data basis is regularly collected data of the production statistics "Prodcom". The WPR volume as well as material input and output are calculated for each differentiated processing step of semi-finished

and finished goods production for the years 2014, 2016 and 2018. The calculation approach is derived within the study and documented for comparable application. For the European wood packaging industry in 2018, the IRH volume is 29.7 million m<sup>3</sup>(f) with a wood raw material input of about 70.5 million m<sup>3</sup>(f). The results are shown on a product- and country-specific basis. With the developed calculation approach, it is possible to calculate the WPR supply comparably and on the basis of available data on a European level. At the same time, the data gaps of raw material consumption and WPR supply of the further-processing industry can be derived.

The present dissertation succeeds in synthesizing different research questions to close important knowledge and data gaps based on systematic literature and terminology analysis of WPR and the development of an approach for the comparable calculation of WPR supply. The analysis and calculation of WPR beyond a regional focus contributes to support current requirements of sustainable wood resource use and further developments in the demand for wood raw and fibre materials with data knowledge. At the same time, the comprehensive investigation and the accompanying scientific discourse (Saal et al. 2017; Saal 2019; Saal et al. 2022) reinforce the importance of WPR in the development towards a circular bioeconomy and cascade utilisation.

## Verzeichnisse

Abbildung 1: Sachgebietsbezogene Abgrenzung der Restholzsortimente nach Aufkommensort .....	10
Abbildung 2 Ergebnisse der Terminologieextraktion und Terminologieanalyse .....	32
Abbildung 3 Differenzierung des IRH innerhalb der Holzindustriesektoren .....	34
Abbildung 4 Häufigkeit der verwendeten Benennungen innerhalb der AE.....	37
Tabelle 1 Das „Kopf-rechts-Prinzip“ .....	29
Tabelle 2 Zusammenstellung der Analysekriterien zur Terminologieanalyse.....	31
Tabelle 3 Beispiel einer Nominalskala zur quantitativen Bewertung einer Variable .....	33
Tabelle 4 Bewertung der Äquivalenz am Beispiel von „ <i>mill residues</i> “ .....	36
Box 1 Definition des IRH deutsch/englisch.....	11
Box 2 Exkurs zur Morphologie zusammengesetzter Substantive .....	29

## Abkürzungen

AE	Analyseeinheiten
IRH	Industrierestholz
m <sup>3</sup> (f)	Kubikmeter Festmeteräquivalent
MFA	Materialflussanalyse
RMH	Rohstoffmonitoring Holz
SNP	Sägenebenprodukte
WPR	Wood processing residues

## Danksagung

Frei nach Strömquist (2017): Auch wenn Objekte gar nicht, nicht eindeutig, vielfältig oder gerade nicht richtig benannt werden, so existieren sie doch.

Im Jahr 2009 habe ich im Rahmen des EUwood-Projektes die Analyse und Berechnung des Industrierestholzaufkommens im Sektor „Sonstige Holzrohstoffe“ für die erste europäische Holzrohstoffbilanz übernommen – ganz ohne Promotionsabsicht. Jetzt, nach vielen Jahren Hartnäckigkeit und Nervenkitzel, habe ich eine Promotionsschrift fertiggestellt, die mein wissenschaftliches Kernthema und meine fachspezifische Leidenschaft zusammenfasst. Die Lösung eines reizenden Datenpuzzles und der Wunsch danach, Dinge richtig zu benennen, haben mich lange festgehalten. Freude daran hatte ich bis zum Schluss. Jetzt kann ich es loslassen.

Ich danke an erster Stelle Prof. Dr. Udo Mantau, damals in der Funktion als Leiter des Arbeitsbereichs der Ökonomie der Holz- und Forstwirtschaft am Zentrum Holzwirtschaft der Universität Hamburg, für die nachdrückliche Heranführung an das Thema, das Zutrauen und die langjährige, respektvolle Zusammenarbeit.

Hr. Dr. Matthias Dieter danke ich in seiner Funktion als Leiter des Thünen-Institutes für Waldwirtschaft für die Übernahme des Zweitgutachtens sowie sein Interesse, sich in jede fachliche Fragestellung hineinzudenken und hilfreiche Fragen zu stellen.

Dr. Holger Weimar danke ich für die offene Zusammenarbeit, das Interesse und seine Teilhabe am Forschungsthema, gemeinsame Vorlesungen und die stete Motivation während der langen Promotionszeit.

Ich danke meinen Kollegen an der Universität Hamburg, Florian Steierer, Przemko Döring, Sebastian Glasenapp, Christian Blanke, Marian Mayr und den Kolleg:innen an den Thünen-Instituten am Standort Bergedorf für die wissenschaftliche Auseinandersetzung und fachliche Bereicherung, für gemeinsame Vorlesungen, gute Impulse, Kaffee und persönliche Unterstützung.

Für die technisch-fachliche Unterstützung danke ich Vic Mader, Johanna Schliemann, Hermann Englert, und Astrid Stilke.

Besonderer Dank gilt meinen Eltern und meiner Schwester „Your love will be safe with me“ (Bon Iver, 2007) – und Susi, Anna<sup>2</sup>, Susan, Lisbeth, Sonja, Susann, Janine, Doina, Britta, Margret, Anja, Annette, Tuan, David, Nayla, und Bon Iver für deren Musik - „I’d be happy if you stayed for tea“ (Bon Iver, 2016)

## Inhaltsverzeichnis

<b>Grundlegende Veröffentlichungen für die kumulative Dissertation</b>	<b>I</b>
<b>Zusammenfassung</b>	<b>II</b>
<b>Abstract</b>	<b>V</b>
<b>Verzeichnisse</b>	<b>VIII</b>
<b>Abkürzungen</b>	<b>IX</b>
<b>Danksagung</b>	<b>X</b>
<b>1 Einleitung</b>	<b>3</b>
1.1 Bedeutung des Industrierestholzes im aktuellen Kontext	3
1.2 Zielstellung und Forschungsfragen	5
<b>2 Industrierestholz</b>	<b>8</b>
2.1 Einordnung und Definition des Holzrohstoffs	8
2.2 Wissens- und Forschungsstand zum Holzrohstoff Industrierestholz	11
<b>3 Wissenschaftliche Beiträge</b>	<b>20</b>
3.1 Wissenschaftlicher Beitrag I: „Wood processing residues“	20
3.1.1 Einordnung	20
3.1.2 Zusammenfassung	20
3.2 Wissenschaftlicher Beitrag II: Saal, 2019 - Terminology of wood processing residues	23
3.2.1 Einordnung	23
3.2.2 Zusammenfassung	23
3.2.3 Terminologische Untersuchung des Begriffs „Industrierestholz“	24
3.3 Wissenschaftlicher Beitrag III: „Supply of wood processing residues – a basic calculation approach on the example of wood packaging“ (2022)	39
3.3.1 Einordnung	39
3.3.2 Zusammenfassung	39
<b>4 Zusammenfassende Diskussion und Schlussfolgerung</b>	<b>42</b>
4.1 Bedeutung der Analyse und Methode zur Berechnung des IRH-Aufkommens auf europäischer Ebene	42

4.2	Beitrag zur Systematisierung und Einordnung des IRH als Holzrohstoff	43
4.3	Methoden zur Berechnung des IRH auf europäischer Ebene	46
4.4	Diskussion der verwendeten Methoden/kritische Betrachtung	49
4.5	Schlussfolgerung	55
<b>5</b>	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>57</b>
	<b>Anhang - Wissenschaftliche Beiträge zur kumulativen Dissertation</b>	<b>68</b>
	Saal U, Weimar H, Mantau U (2017) Wood processing residues, In: Advances in biochemical engineering/biotechnology 166, S. 27–41, DOI: 10.1007/10_2016_69	69
	Saal U (2019) Terminology of wood processing residues (poster presentation), 3rd International Scientific Conference Wood-Science-Economy, Poznan, DOI: 10.13140/RG.2.2.23011.6864570	
	Saal U, Iost S, Weimar H (2022) Supply of wood processing residues – a basic calculation approach and its application on the example of wood packaging, In: Trees, Forests and People 7(8):100199, DOI: 10.1016/j.tfp.2022.100199	71
	<b>Weitere Veröffentlichungen und wissenschaftliche Beiträge</b>	<b>72</b>
	<b>Erklärungen zum Eigenanteil</b>	<b>73</b>
	<b>Eidesstattliche Erklärung</b>	<b>74</b>

# **1 Einleitung**

Die Begriffsanalyse des Rohstoffs Industrierestholz (IRH) sowie die Methoden zur Berechnung des IRH-Aufkommens auf europäischer Ebene sind in der vorliegenden Dissertation kumulativ zusammengestellt. Die Dissertation ist in zwei Abschnitte unterteilt. Der erste Abschnitt dient der Einführung in den aktuellen thematischen Kontext, der Einordnung der gemeinsamen Fragestellung sowie dem Ziel der Dissertation. Darauf folgt die Darstellung des aktuellen Wissensstands zur Analyse und Berechnung des IRH-Aufkommens. Im zweiten Teil werden die aufeinander aufbauenden, Beiträge der kumulativen Dissertation vorgestellt, inhaltlich eingeordnet und zusammengefasst. Die dieser Dissertation zugrundeliegenden wissenschaftlichen Beiträge sind – der Reihenfolge der Erscheinung nach geordnet – Saal et al. (2017), Saal (2019) sowie Saal et al. (2022). Die Dissertation endet mit einer Diskussion und Schlussfolgerung.

## **1.1 Bedeutung des Industrierestholzes im aktuellen Kontext**

Der Bedarf an Holzrohstoff in seiner vielfältigen Form und Verwendung ist eng mit gesellschaftlicher Entwicklung verbunden. So sind Bevölkerungswachstum (Kardung et al. 2021), Wohlstandsentwicklung gemessen an der Entwicklung des Bruttoinlandsprodukts (Kayo et al. 2015; Kallio 2020) sowie Bauen und Energieversorgung seit jeher Treiber für die Nutzung von Holzrohstoffen (u. a. Wegener 1982). Verbunden mit einer umweltbewussten Veränderung im Konsumverhalten (Braun 2018; Kardung et al. 2021), wächst das gesellschaftliche Bewusstsein für einen nachhaltigen Umgang mit natürlichen Ressourcen (Morland und Schier 2020). Die Untersuchungen zum IRH in der vorliegenden Dissertation reihen sich in diese aktuelle Entwicklung ein, die sich gleichermaßen auf den Holzrohstoffmarkt übertragen lässt: Die nachhaltige und effiziente Nutzung von Holzrohstoffen, die langfristige Substitution fossiler Rohstoffe mit holzbasierten Produkten, Wertstoffrückgewinnung (Recycling), Kaskadennutzung und die Entwicklung hin zu einer holzbasierten Kreislaufwirtschaft und Bioökonomie (Hetemäki et al. 2017; Jonsson et al. 2021) beschreiben vordergründige Themen der stofflichen und energetischen Holznutzung. Diese so auch gesellschaftlich relevanten Ziele sind in nationalen und internationalen Strategien zur Bioökonomieentwicklung (Europäische Kommission 2012, 2018), zur Umsetzung der Ziele der Nachhaltigen Entwicklung (United Nations 2015) und der Stärkung einer zirkulären Wirtschaft zusammengefasst (Europäische Kommission 2018; BMBF und BMEL 2020). Die Umsetzung der genannten Ziele und die damit verbundene Entwicklung beschreiben einen Transformationsprozess von einer linear geprägten Rohstoffwirtschaft hin zu einer nachhaltigen, zirkulären Bioökonomie (D'Amato et al. 2017) (Ellen MacArthur Foundation 2021) (Ronzon et al. 2022). Das Konzept der Bioökonomie mit politischer Unterstützung wird als Garant zur Erreichung genannter Ziele betrachtet (Hagemann et al. 2016; Egenolf et al. 2021). Der Forst- und Holzwirtschaft wird in diesem (wirtschaftlichen) Transformationsprozess eine bedeutende Rolle zugeschrieben (Kallio und

Schier 2021; Ronzon et al. 2022). Effekte wie Speicher- und Senkenfunktion des Waldes sowie die mögliche Substitution fossiler Brennstoffe und Rohstoffe durch Holz (Lindner und Karjalainen 2007) stärken die Bedeutung innerhalb dieser Entwicklung (Hagemann et al. 2016; Schmitz et al. 2022). Mit dem Transitionsprozess innerhalb der Holzwirtschaft lassen sich jedoch vor allem bekannte Merkmale der Holznutzung in Bezug auf nachhaltiges Ressourcenmanagement, verringerte Abhängigkeit von fossilen Rohstoffen, v. a. aber zirkuläre Effekte durch Kreislaufwirtschaft und Kaskadennutzung beschreiben (Vis et al. 2016; D'Amato et al. 2020; Ronzon et al. 2022; Schmitz et al. 2022).

Der Holzrohstoff IRH kann zur Erreichung der genannten Ziele beitragen. Neben der politisch unterstützten energetischen Holznutzung u. a. durch das Erneuerbare-Energien-Gesetz bzw. die Erneuerbare-Energien-Richtlinie der Europäischen Union (Camia et al. 2021) erscheint IRH in den Prozessen der Holzindustrie nach dem Prinzip der Kaskadennutzung per se als Sekundärrohstoff (Vis et al. 2016; Szichta et al. 2022). Bisherige Anwendung findet vor allem IRH der Halbwarenindustrie zur energetischen Nutzung in Energieprodukten sowie stofflichen Nutzung in Holzwerkstoffen und sonstiger Anwendung (Mantau 2012b, 2014). IRH sowie Nebenprodukten und Altholz werden in den motivierenden Studien zur Umsetzung der Bioökonomiestrategien sowie zur Erreichung der Nachhaltigkeitsziele und Stärkung der Kreislaufwirtschaft eine wichtige Rolle zugeschrieben (Jonsson 2013; Kunttu et al. 2020; Jonsson et al. 2021; Kallio und Schier 2021; Szichta et al. 2022). Das betrifft u. a. die Rohstoffversorgung, die Kaskadennutzung und nachrangige energetische Verwendung von Holz sowie Innovationen im Rahmen zukunftsfähiger, rohstoffeffizienter Holzprodukte (Hurmekoski et al. 2018). Die Entwicklung neuer Produkte im Rahmen der holzbasierten Bioökonomie erzielt zudem Wertschöpfung aus den verschiedenen Sortimenten des IRH (Hurmekoski et al. 2018; BMEL 2020; Schmitz et al. 2022).

#### *Wachsender Rohstoffbedarf und Nachfragekonflikt?*

In der Erreichung der Ziele verschiedener Bioökonomiestrategien ergibt sich ein neues Spannungsfeld: Laut Egenolf et al. (2021) steht die Erreichung der Bioökonomieziele in einem Zusammenhang mit einer steigenden Nachfrage nach Holzrohstoffen. Nachfragekonflikte um Holzrohstoffpotenziale wurden bereits zwischen stofflicher und energetischer Nutzung untersucht (Folsland Bolkesjo et al. 2006; Schwarzbauer und Stern 2010; Mantau et al. 2010). Die Untersuchung verfügbarer Rohstoffpotenziale zur Erfüllung energiepolitischer Ziele, vgl. „20% by 2020“ (Europäische Kommission 2010) wurden dabei vorrangig betrachtet. Szenarien zur Entwicklung der holzbasierten Bioökonomie beziehen neben der traditionellen Holznutzung neue Holzverwender in die Abschätzungen des Holzrohstoffbedarfs ein (Mantau et al. 2010; Jonsson 2013; Morland und Schier 2020; Kallio und Schier 2021; Kallio 2021). So spielt u. a. die verstärkte Produktion von Chemiezellstoff für die wachsende Nachfrage der Textilindustrie nach holzbasierten

Faserstoffen (Kallio und Schier 2021; Kallio 2021) eine neue Rolle zwischen den traditionellen Verwendern. Im Rahmen der Entwicklung hin zur zirkulären, holzbasierten Bioökonomie ist es daher notwendig die Untersuchung der Rohstoffverfügbarkeit zu erweitern. In der rein praktischen Umsetzung der politischen Ziele, gleichwohl aber auch in der Argumentation der verschiedenen Interessengruppen (z. B. aus Politik, Holzindustrie, Bioenergie), sind Datenwissen und langfristige Informationen zum Aufkommen des IRH von großer Bedeutung und Grundlage für Lösungsansätze (Mantau 2014; Parobek et al. 2014; Jonsson et al. 2021; Camia et al. 2021). Neben möglichen Nachfragekonflikten und veränderten Verwendungsstrukturen wirken zudem die Rohstoffverfügbarkeit aus Kaskadennutzung und Kreislaufwirtschaft mit. Daraus leitet sich die Notwendigkeit ab, den Fokus auf Entwicklung und Stärkung neuer holzbasierter Produkte und innovativer Lösungen im Rahmen der Kaskadennutzung angemessen datenbasiert zu argumentieren (Kim et al. 2022).

## **1.2 Zielstellung und Forschungsfragen**

IRH spielt als Sekundärrohstoff und sonstiger Holzrohstoff eine bedeutende Rolle in der Erreichung der Ziele in der Entwicklung der Holzindustrie hin zu einer kreislauf- und holzbasierten Bioökonomie. Aktuelle wissenschaftliche Untersuchungen fokussieren vorrangig die Chancen, Szenarien und Umsetzungsmöglichkeiten dieser Entwicklung, weniger jedoch die notwendige Analyse und Berechnung des IRH als mögliche Ressource. Aus diesem Bedarf wird die gemeinsame Fragestellung für die vorliegende Dissertation und die einzelnen wissenschaftlichen Beiträge abgeleitet:

**„Wie lässt sich ‚Industrierestholz‘ als Rohstoff in die Systematik der Holzrohstoffe einordnen und die Datenlücke zum Aufkommen des Industrierestholzes schließen?“**

Das Ziel der vorliegenden Dissertation ist es, IRH als Ressource zu analysieren sowie diese, zur einheitlichen Einordnung in die Systematik der Holzrohstoffe, zu definieren. Zudem ist das Ziel der Dissertation, das (potenzielle) IRH-Aufkommen in Europa auf der Grundlage verfügbarer, statistisch erfasster Daten zu berechnen.

Dazu wird in einem ersten Schritt im Rahmen einer Literaturstudie der Begriff IRH abgegrenzt und definiert. Gleichzeitig dient die Literaturstudie dazu, Methoden zur abschätzenden Berechnung des IRH-Aufkommens zu analysieren und verfügbare Daten und Ergebnisse zu vergleichen (Wissenschaftlicher Beitrag I (Saal et al. 2017)). Die Systematisierung des IRH als Ressource und des potenziellen Rohstoffaufkommens beruht zusätzlich auf einer einheitlichen Terminologie der Ressource. Das Ziel der Systematisierung ist es daher, neben der begrifflichen Abgrenzung die verschiedenen Benennungen des Begriffs „IRH“ in der englischsprachigen wissenschaftlichen Fachsprache mittels Terminologieanalyse zu untersuchen. Zur

Harmonisierung der IRH-Daten und ihrer Erhebung soll eine eindeutige Benennung des IRH zur einheitlichen Verwendung vorgeschlagen werden (Wissenschaftlicher Beitrag II (Saal 2019)). Ein Monitoring, z. B. auf empirischer Grundlage zur überregionalen Erfassung auf europäischer Ebene ist finanziell und forschungslogistisch herausfordernd. Für die Berechnung des IRH-Aufkommens wird daher ein Berechnungsansatz entwickelt, der verfügbare statistische Daten der Material- und Stoffströme innerhalb der europäischen Holzindustrie berücksichtigt. Die Anwendung des Berechnungsansatzes erfolgt am Beispiel der europäischen Holzpackmittelindustrie (Wissenschaftlicher Beitrag III (Saal et al. 2022)).

### *Forschungsfragen*

Die Untersuchung des Aufkommens von IRH als Sekundärrohstoff innerhalb der Holzindustrie und holzbasierten Bioökonomie beschreibt den Rahmen der verschiedenen Studien dieser kumulativen Dissertation. Zur genauen Umsetzung der Zielstellung in den aufeinanderfolgenden Studien werden folgende detaillierte Forschungsfragen berücksichtigt:

#### **a) Wissenschaftlicher Beitrag (I) zur Untersuchung und Systematisierung des IRH, Analyse bestehender Methoden zur Berechnung sowie zum Datenvergleich vorrangig auf europäischer Ebene im Rahmen einer Literaturstudie:**

- Welche Studien zu regionaler und überregionaler IRH-Erhebung und Berechnung gibt es?
- Wie kann IRH bisher als Ressource abgegrenzt und in Bezug auf seine Struktur und Sortimente systematisiert werden?
- Welche Datengrundlage (z. B. Koeffizienten), Klassifikationen und zuzuordnende Statistiken zur Erhebung gibt es und werden angewendet?

#### **b) Wissenschaftlicher Beitrag II zur Terminologieanalyse mit dem Ziel der Definition und Benennung zur weiteren Systematisierung des IRH:**

Aus dem Mangel einer standardisierten englischsprachigen Terminologie des IRH ergibt sich die Untersuchung der verwendeten englischsprachigen Benennungen des Begriffs des IRH in der internationalen Holzrohstoffforschung, besonders in Bezug auf deren eindeutige Zuordnung.

- Welche englischsprachigen Benennungen werden für das Holzrohstoffsortiment IRH verwendet? (Terminologiearbeit)
- Welche Kriterien muss die Benennung erfüllen und welche englischsprachigen Benennungen bilden den definierten Begriff des IRH eindeutig ab? (Terminologieanalyse)

- Welche Benennungen werden in der englischsprachigen wissenschaftlichen Literatur verwendet? Werden diese eindeutig verwendet und kann daraus auf eine eindeutige, zu empfehlende Benennung geschlossen werden? (Quantitative Inhaltsanalyse)

**c) Wissenschaftlicher Beitrag (III) zur Berechnung des IRH anhand verfügbarer Daten:**

IRH wird bisher nicht statistisch erfasst. Um das Aufkommen und die potenzielle Verfügbarkeit des IRH zu erfassen, wird ein Berechnungsansatz erarbeitet.

- Welche verfügbaren Daten können zur systematischen, reproduzierbaren Erhebung des IRH verwendet werden?
- Welche reproduzierbare Methode kann zur Berechnung des IRH angewandt werden?
- Welche zusätzlichen bzw. spezifischen Daten unterstützen die reproduzierbare Berechnung des IRH?
- Wie kann eine Berechnung beispielhaft erfolgen? Wie kann beispielsweise das IRH der europäischen Holzpackmittelindustrie berechnet werden?
- Wie lassen sich Rohstoffmengen für Holzrohstoffbilanzierung, Bedarfsberechnungen und Verbrauch von Holzrohstoffen verlässlich berechnen?

## 2 Industrierestholz

### 2.1 Einordnung und Definition des Holzrohstoffs

In der Betrachtung der Stoffströme der Holzindustrie ist IRH ein stetig anfallender Reststoff<sup>1</sup> (Mantau und Bilitewski 2010; Mantau 2012b, 2014), dessen Aufkommen innerhalb der Prozesse der Be- und Verarbeitung von Holz- und Holzprodukten mit zunehmendem Holzrohstoffeinsatz steigt. Gleichzeitig wird IRH zum Sekundärrohstoff innerhalb der Nutzungskaskaden der stofflichen Verwendung und zum Energieträger für die energetische Holznutzung (Mantau 2014; Vis et al. 2016). Zum IRH zählen Sägenebenprodukte (SNP), IRH aus der Halb- und Fertigwarenindustrie sowie Schwarzlauge der Holz- und Zellstoffproduktion. Die einzelnen Sortimente des IRH sind ausführlich beschrieben (Nock und Stegmann 1979; Kaltschmitt et al. 2009; Sörgel 2006; Saal et al. 2017). IRH wird in der vorliegenden Dissertation grundsätzlich als Holzrohstoff definiert.

#### *Klassifizierung – Holzrohstoff und Produkt?*

In den *rohstoffseitigen* Betrachtungen der Holzrohstoffbilanzierung (z.B. Mantau et al. 2010; Mantau 2012a) und Stoffflüssen (Mantau 2012b, 2014) wird das theoretische Aufkommen des IRH innerhalb der Verwendungsprozesse des Holzrohstoffeinsatzes als Holzrohstoff berechnet. Das bedeutet, dass hier allein das theoretische IRH-Aufkommen innerhalb der Prozesse und Stoffflüsse rechnerisch erfasst wird. Im Vergleich dazu können einzelne Mengen des IRH als Nebenprodukt, insbesondere Sägenebenprodukte und Hackschnitzel, *produktseitig* betrachtet werden. IRH wird begrifflich zu einem Produkt, sobald es tangible (greifbare) Produktmerkmale erhält (z. B. Qualitätskriterien)<sup>2</sup> und z. B. als gehandeltes Produkt statistisch erfasst wird (Außenhandelsstatistik). Nicht alle Sortimente des IRH erscheinen gleichermaßen als „Produkt“ und Menge in klassifizierten Handelsströmen, weshalb deren tangible Erfassung und Einordnung als Nebenprodukt nicht vollständig möglich ist. Einzelne Sortimente des IRH werden innerhalb der Holzindustrie zur internen energetischen Nutzung verbraucht (Mantau 2012b; Glasenapp und McCusker 2018) und nicht vollständig erfasst, tragen jedoch als unweigerlich anfallendes IRH zum rohstoffseitigen Aufkommen bei. Diese Differenz wird aufgrund fehlender Daten z. T. nicht beziffert.

---

<sup>1</sup> Im Rahmen der Definition des Begriffs kann auch von einem „unweigerlich anfallenden Rest oder Überbleibsel“ gesprochen werden Wartluft 1976; OED 2015

<sup>2</sup> Bis dahin unveröffentlichte Erläuterung und Differenzierung der Begriffe ‚residues‘, ‚co-product‘ und ‚by-product‘ nach Saal in Vis et al. 2016.

## *Statistisch erfasstes IRH*

Im Vergleich zum Rohholzaufkommen, Holzhalb- und Fertigwaren wird IRH in offizieller Berichterstattung nicht bzw. unvollständig erfasst. Der Anteil des IRH, der u. a. in der Außenhandelsstatistik (HS/KN 440121/440122) unter der Benennung „wood: in chips or particles“ erfasst ist, bezieht sich auf den gehandelten Anteil von Sägespänen und Hackschnitzeln (Europäische Kommission 2015). In der Forst- und Holzproduktstatistik der UN-Welternährungsorganisation (FAO) (FAO 2022) werden Länderdaten zu IRH unter „wood chips, residues and recoverable wood products“, als „wood residues“ und „by-products“ angegeben. Die Definition des Joint Forest Sector Questionnaire zur Erfassung/Meldung der länderspezifischen Daten unterscheidet nach „wood chips, particles and residues“ wobei verschiedene Benennungen für den Begriff des IRH verwendet und „wood chips“ für Restholz aus dem Wald sowie der Holzindustrie genannt werden (FAO JFSQ 2020). Verschiedene verwendete Definitionen des Sortiments IRH<sup>3</sup> und unterschiedlich fokussierte Klassifikationen von Reststoffen<sup>4</sup> sowie eine bisher fehlende harmonisierte Terminologie schränken die statistische Erfassung auf der Grundlage einer einheitlichen Systematik der Reststoffe ein. Damit gibt auch die Klassifikation der FAO zu Forstprodukten nur einen eingeschränkten Anteil des theoretischen IRH-Aufkommens wieder (Saal et al. 2017). In der Abfallbilanz des statistischen Bundesamtes werden das betrachtete IRH nach dem Kreislaufwirtschaftsgesetz als Holzabfall<sup>5</sup> klassifiziert (BMU 2020b). Erhoben werden Abfälle in Betrieben größer/gleich 50 Beschäftigten (Statistisches Bundesamt (Destatis) 2020). Damit werden die nach dem Kreislaufwirtschaftsgesetz definierten Holzrohstoffmengen vieler kleinerer Betriebe nicht berücksichtigt und Holzabfälle untererfasst. Mit der Novellierung des Kreislaufwirtschaftsgesetzes (2012) wurden unter § 4 die Abfälle als Nebenprodukte kategorisiert, die „einfach“ weiterverwertbar sind (BMU 2020b) und damit von Altholz in der Altholzverordnung abgegrenzt (BMU 2020a). Zur Stärkung der Kreislaufwirtschaft und effizienten Ressourcennutzung stärkt die Europäische Abfallverordnung (2008/98/EG) die Zuordnung von Holzabfällen zu Siedlungsabfällen und fordert Maßnahmen zur Wiederverwendung (Europäisches Parlament und Rat 2018). Trotz verfügbarer Definitionen von Abfällen, fehlt es bisher an einer differenzierten Abgrenzung der Begriffe Abfall und Holzreststoff – z. B. zur Entwicklung von der Abfallwirtschaft hin zur Ressourcenwirtschaft (Vis et al. 2016).

---

<sup>3</sup> U.a. FAOSTAT, Vis et al., 2016

<sup>4</sup> Betrifft den Fokus auf die energetische Nutzung u.a. solid bio-fuels, wood-fuels bzw. die Klassifikation zum internationalen Handel.

<sup>5</sup> Abschnitte, Holz, Spanplatten und Furniere mit Ausnahme derjenigen die unter 03 01 04 fallen

### Terminologische Abgrenzung

Die sachgebietsbezogene Abgrenzung des Begriffs „IRH“ , nach Wüster (1991) als das betrachtete Objekt, dient der Einordnung des Rohstoffs innerhalb der Struktur aller Holzrohstoffsortimente. Gleichzeitig bildet die terminologische Abgrenzung des Begriffs IRH von anderen Holzrohstoffen die Grundlage zur eindeutigen Benennung und einheitlichen Definition (Wüster 1991; Küdes 2002). Diese dienen der standardisierten, überregionalen (d. h. europäischen) Erfassung des IRH-Aufkommens, der Vergleichbarkeit der Ergebnisse und Dokumentation von Daten in mehrsprachigen Quellen, z. B. internationalen Statistiken (Dembner und Perlis 1999). Innerhalb der Holzrohstoffströme und Prozesse der Holz- und Forstindustrie lässt sich IRH anhand des Aufkommensortes von den unterschiedlichen Holzrohstoffsortimenten sowie Restholzsortimenten differenzieren (Alakangas et al. 2006; Saal et al. 2017): Die folgende Abbildung 1 verdeutlicht den Bezug zwischen Aufkommensort und Begriff des Restholzsortiments.

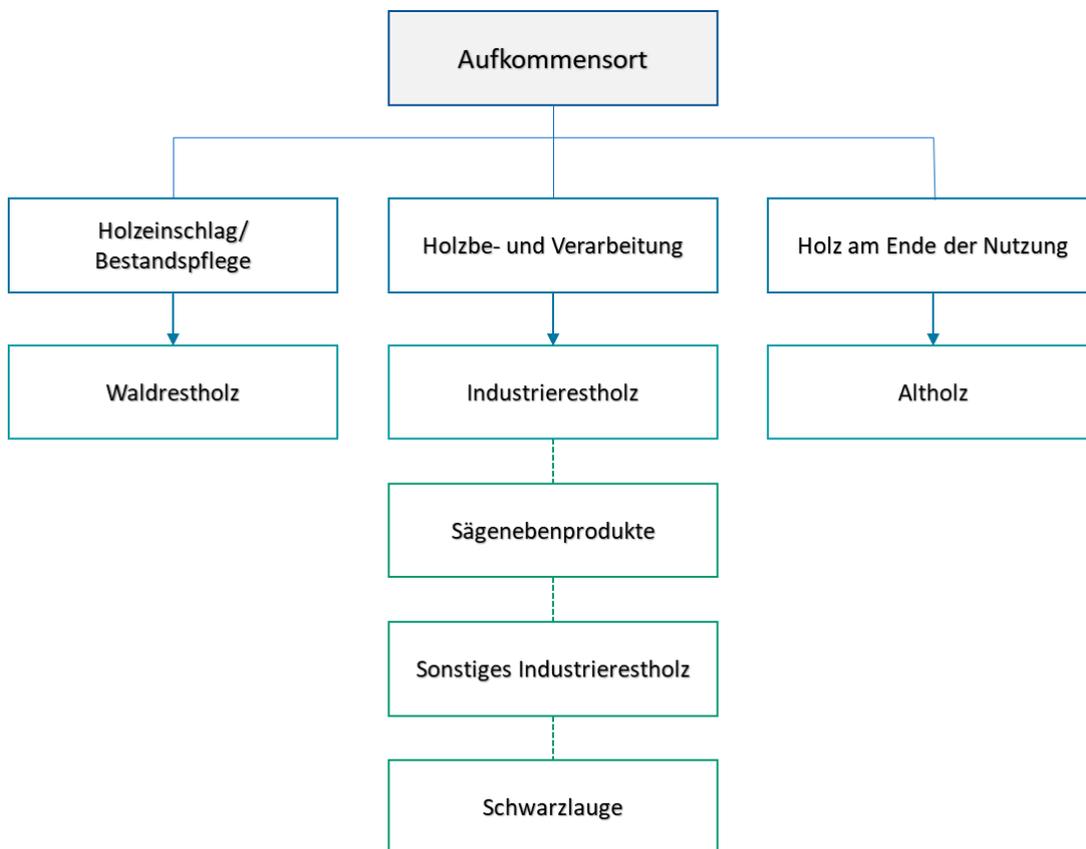


Abbildung 1: Sachgebietsbezogene Abgrenzung der Restholzsortimente nach Aufkommensort

In der Gegenüberstellung zu Waldrestholz und Altholz und innerhalb der Struktur der Holzrohstoffe steigt in der Berechnung der Nutzungskaskaden nur das „unweigerlich anfallende Restholz“ den Kaskadenfaktor und damit die favorisierte Ressourceneffizienz (Mantau und Blanke 2016; Szichta et al. 2022). Die Abgrenzung des Begriffs IRH innerhalb des Sachgebiets der Holzrohstoffe und Reststoffe ermöglicht ein

gemeinsames Verständnis des Begriffs sowie die einvernehmliche Benennung und einheitliche Definition der betrachteten Ressource.

### *Definition*

In der verfügbaren Literatur zum Aufkommen von Biomasse im Allgemeinen und IRH im Speziellen wird der Begriff des IRH unterschiedlich betrachtet. Das Holzrohstoffsortiment erscheint z. T. unterschiedlich definiert ohne weitere Definition und Abgrenzung innerhalb des Sachgebiets, oder vermischt mit anderen Biomasse- oder Restholzsortimenten. Der systematische Ansatz der Untersuchung des IRH-Aufkommens in der vorliegenden Dissertation basiert auf der Begriffs- und Benennungsbeziehung der deutschen Fachsprache. Auf der Grundlage vergleichbarer, inhaltsgleicher Definitionen (Nock und Stegmann 1979; Sörgel 2006; Kaltschmitt et al. 2009; BMU 2020a) in der deutschen Fachsprache sowie begrifflicher und terminologischer Abgrenzung im Englischen (Wartluft 1976; OED 2015) wird IRH innerhalb dieser Dissertation nachfolgend definiert:

#### **Box 1 Definition des IRH deutsch/englisch**

*Dt. Industrierestholz ist ein unweigerlich anfallender Reststoff aller Be- und Verarbeitungsprozesse von Holz und Holzrohstoffen. Dazu gehören Sägenebenprodukte, IRH der Holzwerkstoffproduktion und Ablaugen der Holzschliff- und Zellstoffproduktion sowie IRH der Holzfertigwarenindustrie. Abfälle und Nebenprodukte sind davon ausgeschlossen.*

*Engl. Wood processing residues are an inevitable remainder of all processing steps of wood and wood products. This includes sawmill by-products, wood processing residues from wood-based panel production, black liquor of pulp production as well as wood processing residues from further processing of wood and wood products. Wastes and Co-products are thereof excluded.*

## **2.2 Wissens- und Forschungsstand zum Holzrohstoff Industrierestholz**

Das Aufkommen von IRH als Holzressource für die stoffliche und energetische Nutzung wurde bisher vergleichsweise selten untersucht: Das betrifft die Systematisierung und Definition der Ressource, die Abschätzung potentieller Aufkommensmengen sowie Methoden zur detaillierten Berechnung. Das rohstoffseitige IRH-Aufkommen wird zudem bisher statistisch nicht erfasst. Verglichen mit verfügbaren Daten zum Rohholzaufkommen oder Holzprodukten, ist die Datenverfügbarkeit zum IRH damit beschränkt.

In Anlehnung an die Forschungsfragen der vorliegenden Dissertation beinhaltet der Forschungsstand relevante Studien zur Systematisierung und Definition des IRH im Rahmen aller Holzrohstoffe, der

theoretischen Grundlagen zur terminologischen Analyse sowie zu den Methoden der Abschätzung und Berechnung des IRH.

### *Systematisierung und Definition IRH*

Die Systematisierung des IRH wird aus den abstrahierten Prozessen der Holzbe- und Verarbeitung abgeleitet. So weisen die Studien von Mantau und Bilitewski (2010) und Mantau et al. (2005) unabhängig von regionalen Spezifika IRH innerhalb des Stoffstrommodells Holz aus. Letztere ordnen das IRH dem Rohstoffsektor zu. Sörgel (2006) grenzt in seiner Untersuchung zur Struktur des Altholzmarktes IRH deutlich von den Restholzsortimenten Waldrestholz und Altholz ab. Im Zusammenhang mit der Standardisierung von festen Biobrennstoffen empfehlen auch Alakangas et al. (2006) die Abgrenzung der Sortimente und Begriffe zur Normung nach dem Anfallsort. Im Rahmen der EUwood-Studie zum nutzbaren Holzrohstoffpotenzial ordnet Saal (2010) das IRH innerhalb der sonstigen Holzrohstoffe in die Struktur der Sektoren der Holzindustrie ein (Abbildung 1). Den genannten Studien ist gemein, dass sie IRH sachgebietsbezogen von Waldrestholz, Altholz und Holzabfällen abgrenzen. Sörgel (2006), Mantau und Bilitewski (2010) und Saal (2010) differenzieren das IRH nach folgenden Sortimenten: Sägenebenprodukte, sonstiges IRH und IRH der Holzschliff- und Zellstoffproduktion (Schwarzlauge).

Eine weitere Grundlage zur Systematisierung bilden die Klassifikationen von Holzrohstoffen, Holzprodukten und Biobrennstoffen zur statistischen Erfassung und Standardisierung sowie Terminologiesammlungen. So wird IRH u. a. in der Klassifikation der Forstprodukte der UNECE/FAO (FAO JFSQ 2020; FAOSTAT 2021; FAO 2022), oder auch der Studie zur Standardisierung von Biobrennstoffen von Alakangas et al. (2006) innerhalb der betrachteten Produkte berücksichtigt, klassifiziert und eingeordnet. Wartluft (1976) und die Terminologiesammlung zu Bioenergie (FAO 2004) systematisieren IRH innerhalb eines Glossars von Holzreststoffen bzw. festen Biobrennstoffen und grenzen sie definitorisch voneinander ab. Die genannten Klassifikationen und Glossare/Terminologiesammlungen unterscheiden sich deutlich in der Benennung des Holzrohstoffs IRH sowie in der definitorischen Zuordnung und dem Umfang des betrachteten Begriffs IRH (FAOSTAT 2021 und FAO 2004).

Die umfassende Beschreibung des Holzrohstoffs IRH gelingt Kaltschmitt et al. (2009) im Rahmen der Betrachtung von Holz als Biomasse. Wartluft (1976); Nock und Stegmann (1979); Saal in Vis et al. (2016) und Saal et al. (2017) definieren IRH nutzungsunabhängig als Holzrohstoff (u. a. innerhalb der Kaskadennutzung) und grenzen es begrifflich deutlich von Abfällen ab (*waste*). Diese Herangehensweise wird durch die gesetzliche Abgrenzung im deutschen Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz (KrWAb, BMU 2020b) gestützt.

Unabhängig der fokussierten Fragestellung (Systematisierung, Erfassung, Nutzung) und regionalen Zuordnung geht aus den verfügbaren Studien eine Forschungslücke hervor: Zur übergeordneten Betrachtung der Holzrohstoffe zur effizienten stofflichen und energetischen Nutzung fehlt bisher eine verbindliche Systematik. Diese Lücke bezieht sich vordergründig auf die vollständige Betrachtung des IRH innerhalb der Holzrohstoffe und die eindeutige Benennung und Definition zur einheitlichen Datenerhebung.

### *Terminologie*

Neben der indifferenten Systematisierung des Holzrohstoffs IRH ergibt sich aus den betrachteten Studien eine Benennungsvielfalt des Begriffs IRH im englischen, wissenschaftlichen Sprachgebrauch (vgl. 1.2 Forschungsfragen). Hier zeigt sich eine entscheidende Forschungslücke im Zusammenhang der Systematisierung und Standardisierung zur einheitlichen Erfassung von IRH und Vergleichbarkeit von Daten.

Sauberer (2011) weist in ihrer Studie „There is no Knowledge without Terminology [...]“ auf die grundlegende Verknüpfung von Terminologie und Daten- und Wissensgenerierung hin. Trotz dem deutlichen Managementbezug der Untersuchung stellt Sauberer (2011) die Notwendigkeit der einheitlichen Verwendung von Begriffen und Benennungen zur Standardisierung und Definition heraus. Die Studie knüpft damit an die Grundlagen der Terminologielehre von Wüster (1991) an. In der vorliegenden Dissertation dient Wüsters (1991) „Einführung in die allgemeine Terminologielehre [...]“ als Grundlage zur systematischen Analyse der Terminologie des IRH zur Vereinheitlichung und Angleichung innerhalb des Fachkontexts. Trotz der kritischen Sicht auf die onomasiologische Terminologielehre Wüsters (1991) stärkt die Untersuchung von Temmermann (2000) die Verwendung von Wüsters (1991) Grundlagen für die sachgebietsbezogene Abgrenzung von Begriffen – nämlich der unbedingten Zuordnung eines Begriffs zu einem Begriffssystem (Systematisierung und unzweideutige Benennung). Die Literatur zu Terminologielehre und spezifischer, u. a. forstlicher Fachterminologie, vereint die Herausstellung der Bedeutung von standardisierter Fachsprache und Definition der Fachbegriffe. Diese gilt als Grundlage einer einheitlichen Benennung und auch Übersetzung zur multilingualen Verwendung (Wüster 1991; Helms 2002; Sauberer 2011). Die Notwendigkeit der Untersuchung der forstlichen Fachsprache zum verbesserten bzw. angepassten Wissensmanagement wird in verschiedenen Studien mit unterschiedlichen Fragestellungen aufgegriffen: Dembner und Perlis (1999) sowie Mantau et al. (2007) stellen die Bedeutung einer Taxonomie und einheitlichen Definitionen von Nichtholzwaldprodukten in den Vordergrund ihrer Untersuchung. Die Untersuchung forstlicher Terminologie im Rahmen von gesellschaftlicher Entwicklung und Zugang zu Wissen wird von Helms (2002) und Petrokofsky et al. (2004) untersucht. Bezogen auf die Weiterentwicklung von Sprache und auch Märkten sowie die terminologische Untersuchung zur multilingualen Anwendung folgen die Studien von Blasco und Ouhayoun (1993) sowie Marxt und Hacklin (2005) einem ähnlichen

Forschungsziel. Die sachgebietsbezogenen Studien haben alle zum Ziel, eine terminologische Grundlage zur eindeutigen Benennung von Fachbegriffen zu schaffen. Diese dient im jeweiligen Kontext der einheitlichen Datenerfassung und/oder Definition. Im Vergleich zu den sachgebietsbezogenen terminologischen Untersuchungen stellen Küdes (2002) sowie Schmitz und Kaukonen (2006) die methodische Herangehensweise an Terminologiarbeit in den Vordergrund. Aus den Anleitungen zur Terminologiarbeit geht die Bedeutung der sukzessiven Terminologieextraktion und -analyse hervor. Die Vielfalt an unterschiedlichen Definitionen innerhalb einer Vielzahl an sachgebietsbezogenen Studien thematisiert Meier (2014) in ihrer Dissertation zur Nachhaltigkeitsbewertung und Definition des Nachhaltigkeitsbegriffs. Aus der Untersuchung lassen sich der anwendungsbezogene Ansatz der Kontextanalyse für die vorliegende Terminologieuntersuchung, die Verwendung des Textmaterials und eine Kodierung beispielhaft ableiten.

#### *Methoden zur Berechnung des IRH*

Die Analyse und Berechnung des IRH auf überregionaler Ebene (EU, weltweit) wird in der Mehrzahl der verfügbaren Studien innerhalb des Aufkommens von Biomasse zur energetischen Nutzung nachrangig berücksichtigt. Verschiedene regionale und überregionale Studien zu Biomassepotenzialen weisen neben landwirtschaftlichen und forstlichen Biomassesortimenten IRH-Mengen aus der Holzindustrie aus. Diese Potenzialstudien unterscheiden sich generell in der Methode der Berechnung des IRH-Aufkommens und Systematik der betrachteten IRH-Sortimente. In der Studie zum potenziellen Biomasseaufkommen in Europa von Ericsson und Nilsson (2006) wird IRH auf der Basis eines groben Schätzwertes von 25 % des gefällten Rundholzes berechnet. Im Vergleich dazu wendet Parikka (2004) Durchschnittswerte und Variationsbreiten der Materialeffizienz der Holzhalbwarenproduktion zur Berechnung des IRH-Aufkommens für das weltweite Aufkommen an. Thrän et al. (2011) verwenden in ihrer Studie zur räumlichen Verteilung von Biomasse die Länderdaten der Statistik der FAO (FAOSTAT) (FAOSTAT 2021) zur Berechnung bzw. Angabe des IRH-Aufkommens. Andere Studien weisen das IRH-Aufkommen im Zusammenhang mit Abfällen aus (McKeever 1998; Fehrs 1999; Cote et al. 2015). Die fehlende Differenzierung von Begriffen und Benennungen, u. a. Waldrestholz oder Abfälle, erschwert die vergleichbare Anwendung der verschiedenen Berechnungsansätze.

Eine erste Abschätzung der Berechnung des IRH-Aufkommens aller Sektoren der Holzindustrie auf europäischer Ebene wurde im Rahmen des EUwood-Projektes durchgeführt (Mantau et al. 2010). Saal (2010) berechnet in der EUwood-Studie im Rahmen der sonstigen Holzrohstoffquellen das potenzielle IRH-Aufkommen der Halbwaren- und Fertigwarenindustrie anhand von Ergebnissen verschiedener Studien des Rohstoffmonitorings Holz in Deutschland (z.B. Mantau und Hartig 2003) sowie verfügbarer Umrechnungsfaktoren und Materialeffizienzkoeffizienten. Mantau (2012b) weist innerhalb der

Stoffstromanalyse das IRH für die Länder der 27 EU-Länder (EU27) aus. Im Rahmen der Untersuchungen der vorliegenden Dissertation greifen Saal et al. (2017) die Methode zur Abschätzung aus Saal (2010) erneut auf. Auf der Grundlage drei verschiedener Ansätze wird das IRH-Aufkommen auf europäischer Ebene und weltweit vergleichend berechnet. Damit lassen sich die Berechnungsansätze, die auf empirisch erhobenen Koeffizienten und Schätzwerten sowie auf Länderdaten der FAO/ UNECE (2010) und Variationsbreiten (Parikka 2004) basieren, miteinander vergleichen. Die Ergebnisse der Studie weisen neben fehlender, einheitlicher Terminologie und Definition auch auf die Untererfassung des Holzrohstoffs hin (Saal et al. 2017). Zudem unterscheiden sich die verfügbaren Studien in ihrem regionalen Fokus und der Anzahl der untersuchten europäischen Länder. Die Systematik der einzelnen erfassten Sortimente variiert und ist nach der hier verwendeten Definition des IRH (vgl. 2.1) in den untersuchten Studien teilweise unvollständig.

In der weiteren Betrachtung des Forschungsstands zur Berechnung des IRH-Aufkommens lassen sich die Studien in empirische Erhebungen und Studien zu Materialeffizienz bzw. produktfokussierter Materialausbeute differenzieren.

Im Rahmen des Rohstoffmonitorings der deutschen Holzindustriesektoren wurden einzelne Sektoren zum IRH-Aufkommen empirisch untersucht. So lassen sich aus den Studien von Mantau und Hartig (2003) und Frings et al. (2005) für die Holzfertigwarenindustrie (u. a. Verpackung und Möbel) Koeffizienten zum IRH-Aufkommen der Produktion ableiten. Zudem ergeben sich aus den empirischen Erhebungen der Sägeindustrie differenzierte Koeffizienten zum Aufkommen an Sägenebenprodukten (z.B. Sörgel et al. 2006; Mantau und Hick 2008). Die Ergebnisse der Beispielstudien dienen als Referenzwerte und lassen sich nicht unmittelbar auf überregionale Berechnungen anwenden. Vergleichbare Studien zum IRH-Aufkommen einzelner Sektoren der Holzindustrie auf nationaler Ebene bzw. regionaler Ebene wurden von Alderman et al. (1999) (Virginia, USA), Szostak et al. (2004) (Polen) oder auch Tatàno et al. (2009) (Brasilien) durchgeführt. Die methodischen Grundlagen der genannten Studien beinhalten empirische Erhebungsansätze, unterscheiden sich jedoch in der weiteren Umsetzung. In der Erfassung werden unterschiedliche Einheiten verwendet. Alderman et al. (1999) und Szostak et al. (2004) verknüpfen die empirische Erhebung mit Strukturdaten länderspezifischer, amtlicher Statistik. Eine Reihe von Studien betrachten in empirischen Erhebungen nur das Aufkommen von Sägenebenprodukten (z.B. Yang und Jenkins 2008; Krigstin et al. 2012). Das IRH der Halbwarenproduktion und Fertigwaren<sup>6</sup> wird in den Studien z. T. inhaltlich berücksichtigt (McKeever und Falk 2004; Perlack et al. 2005), bleibt jedoch ohne methodische Erläuterung. Den genannten Studien ist gemein, dass sich Koeffizienten zur Berechnung des untersuchten

---

<sup>6</sup> In den genannten Studien wird IRH terminologisch in „primary“ und „secondary“ mill residues und nach primary and secondary wood processing mills unterteilt. Diese Benennung wird in späteren Studien aufgegriffen.

IRH-Aufkommens grob ableiten lassen, jedoch aufgrund unterschiedlicher Differenzierung der Sektoren nicht miteinander vergleichbar sind.

Die länderübergreifende Studie der FAO/ UNECE (2010) zu Umrechnungsfaktoren enthält Daten zur Materialeffizienz in der Produktion der Holzhalbwarenindustrie von 13 Ländern. Eine Erweiterung der Studie fasst die Daten von bis zu 35 verschiedenen Ländern weltweit zusammen. Zur Anwendung der Daten auf europäischer Ebene (geografisch) stehen Daten von 19 Ländern zur Verfügung (FAO/ UNECE 2020). Aus den Daten werden Mittelwerte für die Materialbilanz der jeweiligen Sektoren abgeleitet. Die Ergebnisse der länderübergreifenden Studie zur Materialeffizienz lassen sich in der Umkehr auf die Berechnung des IRH anwenden.

Eine Vielzahl an Studien mit regionalem Fokus (Nordamerika) untersucht unter einem ähnlichen methodischen Ansatz die Materialeffizienz (*lumber recovery factor LRF*), spezifisch in der Sägeindustrie und allgemein in der Verarbeitung von Rundholz (z.B. Steele 1984; Wade et al. 1992; Steele et al. 1991). Das vergleichbare Ziel der Studien ist vorrangig, die Steigerung der Rohstoffeffizienz und Verringerung des SNP-Aufkommens anhand technischer Einflussfaktoren zu untersuchen. Das Aufkommen von SNP wird in den genannten Studien berücksichtigt, der Holzrohstoff wird jedoch auch in diesen Studien unterschiedlich systematisiert und erfasst. Die Ergebnisse der Studien zur Materialeffizienz lassen sich, vergleichbar mit den Studien der UNECE/FAO (2010, 2020), im Kehrwert auf das Aufkommen von Sägenebenprodukten übertragen und als Vergleichswerte heranziehen.

### *Materialflussanalyse*

In der Untersuchung des IRH-Aufkommens auf überregionaler, europäischer Ebene ergibt sich eine Datenlücke, für die es in der bisherigen Analyse und Berechnung bis auf Feldstudien keinen länder- und produktspezifischen Lösungsansatz gibt. Zur Berechnung des IRH-Aufkommens produktspezifischer Prozesse sind Daten zu Rohstoffeingang und Rohstoffausgang nötig, um z. B. anhand der Methode der Materialflussanalyse die Differenz zu berechnen. Mantau (2012b) bietet mit seiner Studie zu „Wood flows in Europe“ eine detaillierte Berechnung des gesamten Stoffstroms Holz. Mantau (2012b) wendet zur aggregierten Berechnung IRH-Koeffizienten der Studien des Rohstoffmonitorings Holz in Deutschland an und überträgt die Werte auf den Stoffstrom Holz der Europäischen Union.

Anhand der Studien zu Umrechnungsfaktoren und Koeffizienten der Materialeffizienz (FAO/ UNECE 2010, 2020) können die Materialflüsse der Holzhalbwaren differenziert werden und in der Form von Koeffizienten zu Materialeingang und Materialausgang berechnet werden. Unberücksichtigt bleiben bisher die Produkte und Prozesse der Holzfertigwarenindustrie (Bau, Möbel, Verpackung, Sonstige).

Studien von Weimar (2011), Lenglet et al. (2017) oder auch Marques et al. (2020) zu Stoff- und Materialflussanalysen verschieden aggregierter Prozesse der Holzindustrie dienen methodisch der theoretischen Annäherung zur Berechnung des sektor- und produktspezifischen IRH-Aufkommens. Auch im methodischen Ansatz dieser Studien gibt es unterschiedliche Datengrundlagen und Berechnungsansätze. Gleich ist den Untersuchungen zu Material- und Stoffflüssen sowie Input- und Output-Berechnungen die Anwendung des Holzfaseräquivalents ( $m^3f$ ) als uniforme und vergleichbare Einheit zur Berechnung des Holzstroms. Der differenzierten Darstellung der Materialflüsse und Stoffströme dient in den genannten Studien vermehrt die Anwendung von Sankey-Diagrammen. Verglichen mit dem spezifischen Beispiel der Holzpackmittelindustrie, sind die Ansätze der genannten Studien nicht auf einzelne Produktprozessschritte differenziert, sondern betrachten den Holzmarkt (Weimar 2011; Bösch et al. 2015), das gesamte Rohholzaufkommen und die Bilanzierung der Verwendung (Lenglet et al. 2017). Gleichzeitig werden die länderspezifischen Strukturen der Sektoren der Holzindustrie berücksichtigt, was bedeutet, dass der regionale Fokus verfügbarer Studien vorrangig auf nationalen Untersuchungen (Weimar 2011; Bösch et al. 2015; Lenglet et al. 2017; Marques et al. 2020) liegt.

Eine grundlegende methodische Anleitung zur Verwendung und Quantifizierung der MFA bietet ein entsprechender Bericht der OECD (2008). Aus dem Synthesebericht zu Materialflussanalyse und Rohstoffproduktivität lässt sich die Methode für einen Materialfluss auf differenzierterer Meso-Ebene ableiten. Im Vergleich zu den häufiger verwendeten Analysen auf Mikro- und Makro-Ebene verweist der Synthesebericht auf die Anwendung der MFA auf Meso-Ebene zur abgegrenzten Analyse von Industriezweigen, Prozessdetails und z. B. Materialeffizienz und Reststoffen. Gleichzeitig stellt der Synthesebericht die entsprechenden Grundlagen zur Bemessung und Quantifizierung der „gewählten“ Analyseebenen gegenüber. Mit ihrer Studie zum Materialfluss holzbasierter Biomasse bieten Marques et al. (2020) einen vergleichbaren Ansatz zur Analyse des Materialflusses. Bösch et al. (2015) verwenden Input-Output-Tabellen zur Quantifizierung innerhalb des Materialflusses von Holz und Papierprodukten in Deutschland.

Am Beispiel der Holzpackmittelindustrie wird die Berechnung des IRH-Aufkommens in der Holzfertigwarenindustrie hergeleitet. Für die Anwendung der Materialflussanalyse und die definierte Quantifizierung der Materialeffizienz innerhalb der Produktionsprozesse gibt es kaum übertragbare Daten. Notwendige Koeffizienten zu Materialeffizienz, sukzessiver Prozessabfolge sowie zur Rohstoffzusammensetzung können aus spezifischen Studien zu Holzpackmitteln abgeleitet werden. Eine vergleichbar fundierte Datengrundlage kann aus verschiedenen Studien zur Untersuchung von Paletten zu unterschiedlichen Fragestellungen abgeleitet werden. Philip (2010), Mazeika Bilbao et al. (2011), Scholtes und Jansen (2014) sowie Bengtsson und Logie (2015) untersuchen Paletten und Palettensysteme im

Rahmen von Lebenszyklusanalysen (LCA) und bieten vergleichbare Daten zur Rohstoffzusammensetzung, genormten Produktdimensionen und Produktionsprozessen. Im Vergleich zur differenzierten Analyse von Paletten, werden Kabeltrommeln, Fässer und Fassprodukte oder Leichtpackmittel in der aktuellen Forschung nur geringfügig berücksichtigt. Als besonders hilfreich erweisen sich auch hier produktspezifische Lebenszyklusanalysen. Flor et al. (2017) erstellen eine Lebenszyklusanalyse für spezifische Eichenfässer und geben damit Einblick in die durchschnittliche Materialeffizienz und -zusammensetzung von Holzfässern. Auch spezifische Daten zu Leichtpackmitteln lassen sich aus einer LCA-Studie von Albrecht et al. (2013) für die Berechnung des Materialflusses ableiten. Für spezifische Produktinformationen werden online-Quellen zu Produkten und Produktionsprozessen herangezogen, die detaillierte Prozessschritte, Rohstoffzusammensetzung oder auch Standardmaße wiedergeben.

### *Einordnung der eigenen Arbeit*

Innerhalb der wissenschaftlichen und Fachliteratur bilden die Beiträge der vorliegenden Dissertation eine Synthese offener Forschungsfragen zur Erfassung des Aufkommens an IRH und ihrer systemischen Beantwortung anhand einer Analyse, Systematisierung und Berechnung. Der Forschungsstand zur Berechnung des IRH auf europäischer Ebene verdeutlicht den vergleichsweise geringen Umfang der bisherigen Untersuchungen zum Thema. Das betrifft neben der Verfügbarkeit von Literatur und Ergebnissen zur Systematisierung und Erfassung des IRH vor allem die Berechnung und Verknüpfung mit verfügbaren Daten.

Eine erste systemische Erhebung des IRH-Aufkommens auf europäischer Ebene wurde im Rahmen der EUwood-Studie für die EU27 (2010) durchgeführt. Vergleichbar mit der EUwood-Studie wurde das IRH-Aufkommen für die Berechnungen der EFSOS-II-Studie an die regionale Betrachtung angepasst und in die übergeordnete Bilanzierung integriert (UNECE/FAO 2011). Alle Industrierestholzsortimente wurden auf der Grundlage einer differenzierten Modellierung erfasst und rechnerisch abgeschätzt. Dabei wurden strukturelle und regionale Unterschiede des Holzrohstoffmarktes sowie der Holzindustrie in der Modellierung berücksichtigt. Die angewandte Methode zur Erhebung des sonstigen IRH der Fertigwarenspektoren in der EUwood-Studie beschreibt bisher einen groben Untersuchungsansatz, der bereits regionale Strukturdaten in der Abschätzung beinhaltet. In ihrer Studie zum weltweiten Holzrohstoffmarkt wenden Mantau et al. (2017) den Berechnungsansatz aus Saal (2010) zur Berechnung einer weltweiten Holzrohstoffbilanz an und ergänzen die Berechnung zum Aufkommen des IRH der Fertigwarenindustrie mit einem groben Schätzwert.

Mit dem ersten wissenschaftlichen Beitrag (Saal et al., 2017) wird die Literatur ausgehend von der Fragestellung, welche Studien und Ergebnisse es zur Erfassung des IRH-Aufkommens auf europäischer

Ebene gibt, strukturiert. Die Ergebnisse des Berechnungsansatzes der Studie Saal (2010) werden auf der Grundlage anderer Ansätze zur Abschätzung des IRH-Aufkommens vergleichend berechnet. Dieser Beitrag ist eine erste umfangreiche Analyse des IRH, seiner Systematik und Einordnung innerhalb der Holzrohstoffe. Neben einer ersten terminologischen Abgrenzung des IRH wird der rohstoffseitige/ressourcenbasierte Bezug des IRH (im Vergleich zu Nebenprodukten) definiert. Aus der Literaturstudie gehen weitere Forschungsfragen für die überregionale Analyse der IRH hervor.

Aus der Untersuchung der Benennungen des IRH im englischen wissenschaftlichen Sprachgebrauch im zweiten wissenschaftlichen Beitrag (*Saal 2019*) wird die fehlende terminologische Systematisierung und damit der Bedarf an einer sprachlichen Vereinheitlichung unverkennbar. Mit der akribischen Extraktion von 25 verwendeten Benennungen in der Literatur zu IRH und Sekundärrohstoffen wird der Mangel an einer einheitlichen, übertrag- und reproduzierbaren Erfassung des IRH eindrücklich sichtbar. Hieran knüpft die terminologische Untersuchung des Begriffs IRH sowie die Kontextanalyse zur Schaffung einer Grundlage für eine einheitliche, ressourcenbasierte Erhebung mittels harmonisierter Terminologie und Definition an.

Der dritte wissenschaftliche Beitrag (*Saal et al. 2022*) fokussiert die Berechnung des IRH unter Anwendung möglichst differenzierter und überregional verfügbarer Daten. Dabei werden die Ergebnisse der vorhergehenden Studien in der Systematik berücksichtigt. Die methodische Herangehensweise an die Berechnung wird beschrieben und die Methode mit verfügbaren Produktionsdaten und detaillierten Koeffizienten reproduzierbar verknüpft. Dieser Fortschritt innerhalb des Forschungsstandes zur Erfassung des IRH bietet die Grundlage für eine nachhaltige Anwendung der Ergebnisse. Hervorzuheben sind hier zudem die Ergebnisse aus der Anwendung des Berechnungsansatzes auf die bisher wenig untersuchten Fertigwarenbereiche der Holzindustriesektoren.

Aus dem Umfang der bisherigen Forschung zum IRH sowie aus der thematischen und methodischen Vielfalt der Untersuchungsansätze geht die Bedeutung des Holzrohstoffs hervor. Gleichzeitig wird deutlich, dass die differenzierte Erfassung des IRH neben einer vergleichbaren Systematik auch auf der Verknüpfung der vielfältigen Ansätze basiert. Die wissenschaftlichen Beiträge der vorliegenden Dissertation sowie die weiteren wissenschaftlichen Untersuchungen der Autorin können als grundlegende Systematisierung, Benennung und methodischer Ansatz zur einheitlichen Erfassung herangezogen werden.

### **3 Wissenschaftliche Beiträge**

#### **3.1 Wissenschaftlicher Beitrag I: „Wood processing residues“**

##### **3.1.1 Einordnung**

Der erste wissenschaftliche Beitrag dieser kumulativen Dissertation wurde von U. Saal, H. Weimar und U. Mantau geschrieben und im Jahr 2017 als referierter Artikel in der Reihe „Advances in Biochemical Engineering/Biotechnology“ des Springer Verlags online veröffentlicht. Der Artikel ist im Jahr 2019 als Buchkapitel im Sammelband „Biorefineries“ der genannten Reihe erschienen<sup>7</sup>. Das grundlegende Konzept des Artikels wurde gemeinsam von U. Saal, H. Weimar und U. Mantau erarbeitet. Das theoretische Konzept wurde von U. Saal in Zusammenarbeit mit H. Weimar entwickelt. Die Datensammlung sowie Berechnung und Auswertung der Ergebnisse wurden von U. Saal durchgeführt. Kapitel 1 wurde in Zusammenarbeit mit H. Weimar geschrieben, Kapitel 2 und 3 wurden von U. Saal geschrieben, Kapitel 4 wurde in Zusammenarbeit mit U. Mantau geschrieben.

##### **3.1.2 Zusammenfassung**

Die Literaturstudie zu IRH ist eingeordnet in eine Sammlung wissenschaftlicher Artikel zu Rohstoffen und Prozessen der Bioraffinerie. Vor dem Hintergrund einer wachsenden Nachfrage nach Holz und Holzprodukten dient die Studie zur Darstellung des Wissensstands der vorrangig englischsprachigen, wissenschaftlichen Literatur zu Potenzialen und Methoden der Erfassung des Holzrohstoffs IRH. Ziel der Studie ist es, einen grundlegenden Überblick über verfügbare Daten, z. B. aus bestehenden Statistiken oder Koeffizienten zu geben sowie in einem weiteren Schritt das Aufkommen zum europäischen und weltweiten Aufkommen anhand dieser verfügbaren Daten zu modellieren und zu berechnen (vgl. Saal 2010). Innerhalb der Literaturstudie wird der Rohstoff IRH definiert und begrifflich abgegrenzt.

Die Literaturstudie baut auf den Ergebnissen der Untersuchungen zum IRH-Aufkommen im Rahmen der EUwood-Studie (Saal, 2010) auf und greift bestehende methodische Fragestellungen zur Berechnung des IRH auf. Sie kann als grundlegende, zusammenfassende Untersuchung zur Fragestellung der vorliegenden Dissertation zur Systematisierung und Berechnung des Aufkommens von IRH eingeordnet werden. Aus der ersten Aufkommensstudie (Saal 2010) und der Literaturstudie mit den vergleichenden Berechnungen gehen

---

<sup>7</sup> <https://www.springernature.com/gp/policies/book-publishing-policies>

die Fragestellungen zur terminologischen Untersuchung des Begriffs IRH im wissenschaftlichen Beitrag II sowie einem einheitlichen Berechnungsansatz im wissenschaftlichen Beitrag III hervor.

Die Anzahl der spezifischen Studien zu IRH und dessen regionalen, überregionalen und globalen Aufkommenspotenzial ist gering. Die Studie zeigt deutlich die fehlende Abgrenzung des IRH auf: Das IRH-Aufkommen wird zum Teil in das Aufkommen forstlicher Biomasse eingeordnet. Die einzelnen Holz-Biomassesortimente sind in den verfügbaren Studien nur wenig differenziert. Grundsätzlich unterscheiden sich die verfügbaren Studien in der Methode der Erhebung, dem Szenario, der verwendeten Terminologie und Einheiten. Andere Studien fokussieren die Anwendung der Biomasse, gehen jedoch nicht auf die Berechnung bzw. den Ursprung des IRH ein. Empirische Erhebungen des IRH sind selten – und fokussieren das regionale (nationale) Aufkommen. Auch hier unterscheiden sich methodische Ansätze und Einheiten. Verfügbare Datensätzen von Eurostat und FAOSTAT können zur Berechnung verwendet werden, die vergleichende Untersuchung wird jedoch durch eine fehlende einheitliche und eindeutige Verwendung der Benennungen des IRH im Englischen erschwert.

Zur Definition des IRH wird die Ressource nach ihrem Ursprung von anderen Benennungen sowie Sekundärrohstoffen und Abfall abgegrenzt. Die einzelnen Sortimente werden definiert. Zudem wird die abschätzende Berechnung eines jeden Sortiments nach der verwendeten Methode in der Untersuchung von Saal (2010) beschrieben.

Die zugrundeliegenden Koeffizienten der Studie der FAO/ UNECE (2010) und Mantau und Bilitewski (2010) sowie die Methode von Saal (2010) im Rahmen der europaweiten Studie zum Holzaufkommenspotential (Mantau et al. 2010) werden im Ergebniskapitel zur vergleichenden Berechnung des IRH-Aufkommens herangezogen. Die Ergebnisse beinhalten den Vergleich verfügbarer Daten und deren Anwendung auf 1) Deutschland, 2) Europa und 3) das globale Aufkommen von IRH. Für jede regionale und überregionale Anwendung werden die Ergebnisse den verfügbaren Daten der FAOSTAT-Datenbank gegenübergestellt. Deutliche Unterschiede im IRH-Aufkommen sowie in der Differenzierung der zugrundeliegenden Daten werden sichtbar.

Unabhängig von der Datengrundlage weisen die Ergebnisse ein hohes potenzielles Aufkommen des IRH aus. Mengenmäßig wichtigstes Sortiment sind Sägenebenprodukte. Schwarzlauge als Industriestoffprodukt der Holzschliff- und Zellstoffproduktion ist ebenfalls ein wichtiger Anteil des IRH, wird aber kaum ausgewiesen bzw. in Studien als Biomassepotenzial berücksichtigt. Das sonstige IRH der Fertigwarenproduktion ist bisher nur in wenigen nationalen Studien erfasst und berechnet. Datensätze der FAOSTAT können dieses Sortiment nicht differenziert ausweisen. Die Ergebnisse der Literaturstudie sowie die durchgeführten vergleichenden Berechnungen des IRH auf europäischer und globaler Ebene zeigen, dass IRH ein wichtiger Holzrohstoff

innerhalb der Holzverwendung ist. Die Berechnungen anhand der methodischen Ansätze der untersuchten Studien sowie auf der Grundlage der Daten der FAO verdeutlichen, dass das IRH-Volumen untererfasst ist. Neben der einheitlichen Systematik der Holzrohstoffe, insbesondere des IRH ist eine harmonisierte Terminologie und ein einheitlicher Berechnungsansatz zur Erfassung des IRH notwendig.

## **3.2      Wissenschaftlicher Beitrag II: Saal, 2019 - Terminology of wood processing residues**

### **3.2.1      Einordnung**

Der zweite Beitrag zur kumulativen Dissertation ist ein Beitrag, der als referiertes, wissenschaftliches Poster zur Konferenz "Wood-Science-Economy 2019" eingereicht und im Forum präsentiert wurde.

Die alleinige Autorin des Posters mit dem Titel „Terminology of wood processing residues - No data without wording“ ist U. Saal. Die Daten zur systematischen Literaturanalyse wurden mit Unterstützung einer studentischen Hilfskraft im Arbeitsbereich der Ökonomie der Holz- und Forstwirtschaft am Zentrum Holzwirtschaft der Universität Hamburg gewonnen. Die zugrundeliegende Erarbeitung des theoretischen Konzeptes der Terminologiearbeit, die systematische Literaturrecherche, die Datenauswertung und Darstellung der Ergebnisse wurden von U. Saal ausgearbeitet.

Im Anschluss an die Zusammenfassung des wissenschaftlichen Beitrags (3.2.2) werden die zugrundeliegende Methode der Terminologiearbeit und Terminologieanalyse sowie die entsprechenden Daten am Beispiel des Begriffs IRH beschrieben. Die wichtigsten Ergebnisse der Untersuchung sind im Poster zusammengefasst.

### **3.2.2      Zusammenfassung**

Das wissenschaftliche Poster stellt die Ergebnisse der Terminologiearbeit und -analyse zum Begriff des IRH sowie einer einheitlichen Benennung in der englischsprachigen wissenschaftlichen Verwendung dar. Aus den Ergebnissen und den untersuchten Studien der Literaturstudie zum IRH (Saal et al. 2017) lässt sich die Notwendigkeit einer harmonisierten Terminologie und der Bedarf an einer eindeutigen Benennung des IRH im englischen wissenschaftlichen Sprachgebrauchs ableiten. Neben der fehlenden statistischen Erfassung auf europäischer Ebene, einer einheitlichen Datenbasis und Methode zur Erhebung des IRH-Aufkommens gibt es keine harmonisierte Terminologie zum Rohstoff IRH. Diese ist jedoch die Grundlage zur Klassifikation und systematischen Einordnung des IRH. Auch die vergleichbare Erfassung und Berechnung des IRH-Aufkommens sowie die Systematisierung des Rohstoffs, z. B. auf europäischer Ebene, erfordern einen mehrsprachigen, und überregionalen Untersuchungsansatz, der einer standardisierten Fachsprache bedarf. Das Poster gibt einen Überblick über den theoretischen Hintergrund zum vorab definierten Holzrohstoffsortiment IRH (Saal et al. 2017), zu den Methoden der Terminologiearbeit, der Terminologieanalyse sowie der Kontextanalyse. Das übergeordnete Ziel der zugrundeliegenden

Untersuchung ist die Empfehlung einer eindeutigen, englischsprachigen Benennung des Begriffs IRH. Dazu wurden im Rahmen der Terminologiarbeit vielfältige Quellen auf Benennungen untersucht. Aus den Kriterien für Terminologie wurden Bedingungen zur qualitativen Terminologeanalyse des Begriffs IRH abgeleitet und auf 25 Benennungen angewendet. Die wichtigsten Kriterien einer harmonisierten Fachsprache sind die Übereinstimmung von Begriff und Benennung und die Eindeutigkeit einer Benennung (Wüster 1991). In einem weiteren Schritt wurden die Benennungen mittels Kontextanalyse anhand begutachteter, wissenschaftlicher Veröffentlichungen untersucht. Die Ergebnisse der schrittweisen Untersuchung zeigen eine Vielzahl an Benennungen im englischen wissenschaftlichen Sprachgebrauch. Die Benennungen lassen sich nicht eindeutig auf den Begriff IRH anwenden lassen, da sie die Kriterien der Äquivalenz nicht erfüllen. Gleichwohl ergibt sich aus der Terminologie- und Kontextanalyse die Empfehlung für die Benennung „wood processing residues“ für den Begriff IRH.

Der wissenschaftliche Beitrag II dient der Systematisierung des Holzrohstoffs IRH auf der Basis der Terminologeanalyse sowie der Empfehlung einer einheitlichen Benennung im wissenschaftlichen Kontext. Diese kann als Grundlage für eine zukünftige einheitliche Erfassung und Betrachtung des IRH-aufkommens berücksichtigt werden.

### **3.2.3 Terminologische Untersuchung des Begriffs „Industrierestholz“**

Der wissenschaftliche Beitrag II fasst die terminologische Untersuchung zum Begriff IRH zusammen. Zur Vergleichbarkeit von Daten, Methoden der Erfassung und Definitionen soll dem Begriff IRH und der Benennung im deutschen (Initialsprache) ein Benennungsäquivalent im englischen wissenschaftlichen Sprachgebrauch zugeordnet werden. Diese Benennung soll die Kriterien der Terminologielehre erfüllen und inhaltlich das Objekt und den Begriff des IRH äquivalent abbilden (Küdes 2002; Brändle und Kirchmayer 2012).

Ergänzend zu den aggregierten Informationen des wissenschaftlichen Posters werden nachfolgend der theoretische Hintergrund der Terminologielehre, Terminologiarbeit und -analyse sowie der Untersuchungsrahmen der Kontextanalyse auf den Begriff IRH näher beschrieben und angewendet. Die terminologische Untersuchung des Begriffs IRH in einer englischsprachigen wissenschaftlichen Verwendung basiert auf der vorherigen Abgrenzung und Definition des Holzrohstoffs (vgl. 2.1) (Nock und Stegmann 1979; Saal et al. 2017). Das betrachtete Objekt „IRH“ ist auf der Grundlage der Terminologielehre abgegrenzt und standardisiert, um darauffolgend eine standardisierende Benennung abzuleiten und zu empfehlen (Temmermann 2000). Anhand der Merkmale des standardisierten Begriffs kann seine Position innerhalb

eines Begriffssystems der Holzrohstoffe bestimmt werden und ist damit z. B. von anderen, ähnlichen Begriffen/Objekten (Restholzsortimente) abgrenzbar (Schmitz und Kaukonen 2006).

### 3.2.3.1 Terminologielehre

In der Lehre von Begriffen und Benennungen eines Fachwortschatzes ist Terminologie „das Begriffs- und Benennungssystem eines Fachgebiets, das alle Fachausdrücke umfasst, die allgemein üblich sind“ (Baum 1991 S V-VI). So ist Terminologie die Standardisierung spezieller Sprache in allen wissenschaftlichen oder technischen Fachdisziplinen (Wüster 1991). Dadurch wird Fachsprache zum Präzisionsinstrument, vor allem zur internationalen Anwendung und Übertragbarkeit (Baum 1991). Gleichzeitig ermöglicht sie den systematischen Ansatz für Reproduzierbarkeit und Nachvollziehbarkeit von Wissenschaft und Forschung (Wüster 1991). Die Notwendigkeit von Fachsprachen ergibt sich u. a. aus gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Entwicklungen. Das gesellschaftliche Interesse an bestimmten fachlichen Disziplinen, z. B. Wald und Holz, Umwelt, Ressourcen und Ressourcenverknappung, wächst und rückt diese Wissensbereiche stärker in den öffentlichen Diskurs (Helms 2002; Mantau et al. 2007). Sprache, in Wissenschaft und Wirtschaft, verändert sich (Blasco und Ouhayoun 1993; Brändle und Kirchmayer 2012). Laut Stephany (1982) soll Sprachwortschatz in Sprachen und entsprechender Terminologie an neue Entwicklungen angepasst werden. Damit werden Veränderungen hin zu neuen begrifflichen Konzepten und Kategorien sowie z. B. technologische Entwicklung (Brändle und Kirchmayer 2012; Synek 2017) ausgedrückt und kommuniziert. Das erfordert zudem die Standardisierung auf nationaler und internationaler Ebene, die mehrsprachige Anwendung sowie eine funktionale, sachbezogene Kommunikation im mehrsprachigen und multidisziplinären Zusammenhang (Marxt und Hacklin 2005).

#### *Objekt, Begriff, Benennung*

In der terminologischen Betrachtung entspricht das Objekt einem beliebigen Ausschnitt aus der wahrnehmbaren Welt (Brändle und Kirchmayer 2012). Der Begriff ist laut Wüster S. 8 (1991) das Gemeinsame, das Menschen an einer Mehrheit des betrachteten Objekts (hier IRH) feststellen, was sie darunter „begreifen“ und zur Kommunikation darüber verwenden. In der englischsprachigen Literatur wird auch von *concept* und *conception* gesprochen (Temmermann 2000; Cabré Castellví 2003). Die Merkmale eines Begriffs werden in ihrer Gesamtheit „Begriffsinhalt“ genannt (Wüster 1991 S. 8). Begriffe sind nicht an einzelne Sprachen gebunden, sie sind jedoch von dem jeweiligen gesellschaftlichen und kulturellen Hintergrund einer Sprachgemeinschaft beeinflusst und können unterschiedlich ausgeprägt begriffen werden (Brändle und Kirchmayer 2012). Das bedeutet, dass beispielsweise die Vorstellung, die unsere

Kommunikationspartner von einem Brot<sup>8</sup> haben, Begriff genannt wird. Zur Identifizierung und Fixierung eines Begriffs ist eine Benennung oder auch Bezeichnung, die sprachliche Bezeichnung eines Allgemeinbegriffs, unentbehrlich (Brändle und Kirchmayer 2012). Laut Wüster (1991) bezieht sich die Benennung auf die Sachbedeutung (Onomasiologie) und lässt die Mitbedeutungen unberücksichtigt. Durch die Zuordnung eindeutiger Merkmale zum Begriff, kann der Begriff inhaltlich definiert und von ähnlichen Begriffen und „Mitbedeutungen“ inhaltlich und sprachlich abgegrenzt sowie in eine Begriffsstruktur eingeordnet werden (Temmermann 2000). Nach Wüsters (1991) Theorie der Terminologielehre gelten die Begriffsorientierung und die Benennungsautonomie. Das bedeutet, dass sich Terminologie an Begriffen orientiert und Benennungen voneinander unabhängig sein sollen, um Eindeutigkeit und sogar Eineindeutigkeit zu schaffen (Cabré Castellví 2003). Eineindeutigkeit einer Benennung wird erreicht, wenn sie umkehrbar eindeutig nur einem Begriff zugeordnet werden kann.

#### *Prinzipien der klassischen Terminologielehre*

Übergeordnetes Ziel der Terminologielehre ist die effektive und vereinheitlichte fachliche Kommunikation und Sprachgestaltung (Wüster 1991) bei der die Standardisierung von Sprache auf der Basis standardisierter Objekte in den Vordergrund gestellt werden (Temmermann 2000). Folgende Prinzipien beschreiben diese fokussierte Herangehensweise an die Standardisierung von Sprache (Wüster 1991; Temmermann 2000; Cabré Castellví 2003).

- Die strikte Betrachtung des Objekts, dem „erkannten“ Objekt IRH vor der Benennung, stellt die onomasiologische Perspektive (Wortinhalt) in den Vordergrund und lässt die semantische Betrachtung (Wortbedeutung) außen vor.
- Objekte und Begriffe sind eindeutig und klar abgegrenzt. Ihnen kann eine Position in einer Struktur zugewiesen werden, bevor ihnen eine eindeutige Benennung zugeordnet wird.
- Objekte und Begriffe sollen eindeutig (und dauerhaft) benannt werden.
- Jedem Begriff wird nur eine Benennung und jeder Benennung nur ein Objekt zugewiesen, woraus sich eine eineindeutige Beziehung ergibt
- Begriffe (und Objekte) sollen traditionell definiert sein.

---

<sup>8</sup> Brot kann aus unterschiedlichen Getreiden und Grundzutaten bestehen, süß oder herzhaft sein, sich in der Form unterscheiden (kulturelle und historische Entwicklung). Definiert ist Brot als: Grundnahrungsmittel, dass aus Getreide oder Getreideerzeugnissen unter Zugabe von Flüssigkeit und einem Backtriebmittel durch Backen hergestellt wird. Brot darf max. 10% Fett und/oder Zucker enthalten (Lebensmittellexikon.de)

Durch diese Präzisierung der Sprachgestaltung können folgende Ziele der klassischen Terminologielehre erreicht werden:

- Ausschluss von Mehr- und Doppeldeutigkeit von Fachbegriffen in Fachsprachen
- Wahrung der Eindeutigkeit von Begriffen, Benennungen und Terminologiesätzen
- Vereinheitlichung von Begriffen und Begriffssystemen und deren Definition

Die Prinzipien und Zieldefinition der Terminologielehre bilden die Grundlage der Studie zu Saal (2019) für die weitere Terminologiearbeit und -analyse des Begriffs IRH und seiner eindeutigen Benennung im wissenschaftlichen Sprachgebrauch.

#### *Systematische Standardisierung von Sprache*

Der systematische Ansatz von Terminologie schließt die Verwendung von mehrdeutigen Benennungen (Homonym, z. B. wood residues) sowie Mehrfachbenennungen (Synonyme, z. B. forest products/wood products) für einen Begriff aus (Wüster 1991; Küdes 2002). Die Anwendung der Fachterminologie auf Elemente und Daten einer Gruppe, z. B. die Produktgruppe der Holzrohstoffe, ermöglicht die Klassifikation und Einordnung dieser Elemente in eine statistische Nomenklatur: ein Element entspricht einer Nummer. Diese Klassifikation und Nomenklatur auf der Basis einer standardisierten Terminologie ist multilingual übertragbar und ermöglicht die Vergleichbarkeit von Daten. Beispiele dafür sind die Produktklassifikationen der Prodcod und FAOSTAT.

### **3.2.3.2 Terminologiearbeit**

Die systematische, terminologische Auseinandersetzung mit dem Begriff des Holzrohstoffsortiments IRH und seiner englischsprachigen Benennung basiert auf der Form der mehrsprachigen, sachgebietsbezogenen, beschreibenden Terminologiearbeit (Küdes 2002; Schmitz und Kaukonen 2006). Nach DIN 2342 umfasst Terminologiearbeit alle Aufgaben der Erarbeitung, Bearbeitung und Verarbeitung von Terminologie auf der Grundlage der Terminologielehre (DIN 2342). Dazu gehören die Terminologieextraktion und die terminologische Analyse aller extrahierten Benennungen des betrachteten Objekts.

#### *Terminologieextraktion*

In der Terminologieextraktion werden objektbezogene Benennungen aus Texten in einer oder mehreren Sprachen eines Fachgebietes gesammelt und in einer Fachwortliste dokumentiert (Pulitano 2010). Damit

kann der gegenwärtige bzw. fachgebietsbezogene Gebrauch von Benennungen und Definitionen eines Begriffes fokussiert werden (Schmitz und Kaukonen 2006).

Die extrahierten Benennungen zum Begriff IRH basieren auf einer umfangreichen Literaturrecherche unterteilt nach „grauer Literatur“, Fachartikeln, Systematiken und Klassifikationen. „Graue Literatur“ wird in der Extraktion in Form von nicht referierten wissenschaftlichen Projektberichten, Fachdokumentationen zu Produkten, Präsentationen von Forschungsprojekten, Länderstudien (z. B. BEE, IEA, EUwood) berücksichtigt. Zudem werden Übersetzungen aus Fachwörterbüchern, Glossaren/Terminologien und Online-Wörterbüchern in der Fachwortliste zum Begriff IRH dokumentiert. Fachfremde Literatur, die sich mit „Reststoffen“ oder „Nebenprodukten“, z. B. in der Chemie oder Medizin beschäftigt, bleiben in der Fachwortliste unberücksichtigt.

### *Terminologieanalyse*

Das Ziel der terminologischen Analyse aller extrahierten englischsprachigen Benennungen des betrachteten Begriffs (IRH) ist die einheitliche Verwendung von Terminologie (Mayer und Seewald-Heeg 2009). Gleichzeitig dient die Untersuchung der Empfehlung einer eindeutigen bzw. eineindeutigen fachgebietsbezogenen Benennung (Mayer und Seewald-Heeg 2009).

Im Rahmen der Terminologieanalyse des Begriffs IRH sind die Kriterien festgelegt, die die eindeutige Benennung des Begriffs erfüllen soll. Anhand der Kriterien wird analysiert, welche der vorab extrahierten Benennungen (Fachwortliste) den Begriff IRH eindeutig abbilden. Die Analysekriterien werden aus den Prinzipien der Terminologielehre, Morphologie, den Anforderungen an multilinguale Terminologiearbeit sowie an Quellen der extrahierten Benennungen abgeleitet (Küdes 2002). Zudem lassen sich spezifische Anforderungen an die Benennung des Begriffs IRH aus der sachgebietsbezogenen Abgrenzung und Definition des IRH ableiten.

In der Untersuchung zur eindeutigen, englischsprachigen Benennung des Begriffs IRH wurden die Grundlagen der Struktur zusammengesetzter Substantive näher betrachtet. Die englischsprachigen Benennungen weisen eine Vielfalt an zusammengesetzten Substantiven mit verschiedenen Kopfwörtern (*head*) auf.

Wüster (1991) schließt in seiner Herangehensweise an die standardisierte Benennung von Begriffen die Betrachtung der Flexionslehre und Syntax aus bzw. lassen sich die „Regeln“ der Grammatik und Linguistik aus der Gemeinsprache ableiten. Das betont erneut die Betrachtung des Wortinhaltes im Vergleich zur semantischen Betrachtung, der Wortbedeutung nach (Wüster) (ebd.). Für die systematische Ermittlung einer Benennung für das Sortiment des IRH in der englischen Fachsprache werden in der vorliegenden

Untersuchung jedoch die Morphologie sowie die Semantik (Wortbedeutung) infrage kommender Benennungen zusätzlich betrachtet. Die deutsche Benennung IRH ist ein zusammengesetztes Substantiv (Kompositum). Der Wortinhalt und die Wortbedeutung der Konstituenten (Industrie, Restholz) lassen sich fachlich und semantisch eindeutig abgrenzen (DWDS 2023; UBA 2023).

Box 2 Exkurs zur Morphologie zusammengesetzter Substantive

**Exkurs „Morphologie“**

Das System der Morphologie zusammengesetzter Substantive (Nomenkomposita) lässt sich ausgehend vom deutschen Begriff für den Holzrohstoff beispielhaft ableiten. Hintergrund ist, dass sich die Bedeutung des Kompositums nicht mehr zwingend aus der Bedeutung der einzelnen Konstituenten ableiten (Ungerer und Schmid 1998) bzw. die Merkmale fachlich festlegen lassen.

In der traditionellen Wortbildungsanalyse wird für zusammengesetzte Substantive das „Kopf-rechts-Prinzip“ von Determinativkomposita (Determinans – Determinatum Muster) als Standard betrachtet (Jäger 2006). Der „Kopf“ des zusammengesetzten Substantives bestimmt alle grammatischen Eigenschaften des Wortes und wird durch das linksstehende Determinans näher bestimmt (auch im Begriffsinhalt). Die gleiche Annahme gilt für die Semantik des Kompositums. Die Semantik der ersten Konstituente bestimmt die Semantik des Kopf-Wortes (rechtsstehend) noch näher. Dadurch entsteht eine „Art-von“-Beziehung (Ungerer und Schmid 1998). Alle Konstituenten des Kompositums verfügen über bestimmte Merkmale und den Begriffsinhalt. Das „Kopf-rechts-Prinzip“, auch „modifier/head-paradigm“ wird am Beispiel des Kompositums IRH in Tabelle 1 dargestellt.

**Tabelle 1 Das „Kopf-rechts-Prinzip“**

<b>1</b>	<b>Industrierestholz</b>	<b>Nomenkompositum</b>
<b>2</b>	<sup>A</sup> <b>Industrie</b> <b>Restholz</b> <sup>B</sup>	Nomen + Nomen
<b>3</b>	<sup>AA</sup> <b>Rest</b> <b>Holz</b> <sup>BB</sup>	Nomen + Nomen

**1** – Industrierestholz ist ein Nomenkompositum aus Determinans und Determinatum (binär) zusammengesetzt.

**2** – Der Kopf des zusammengesetzten Substantives (Nomenkompositum) steht rechts: **Restholz** (Determinatum). **Industrie** ist das Bestimmungswort (Determinans) zum Restholz. Wichtig ist, dass „Restholz“ in diesem Zusammenhang als Fachwort betrachtet wird (Lohmann U 2003; UBA 2023). Die Betrachtung des Wortinhalts und der Wortbedeutung folgt der vorherigen, näheren Bestimmung des

Kontextes, in dem das Kompositum IRH steht – Holzreststoffe aus der Holz verarbeitenden Industrie. Die „Art von“ Restholz (B) wird durch die Konstituente Industrie (A) näher bestimmt. Damit wird der Inhalt und die Bedeutung des Wortes IRH definiert. Die englischsprachige Entsprechung soll den gleichen Wortinhalt ausweisen. Sie soll das Kriterium der Eindeutigkeit erfüllen. Für die systematische Festlegung (Etablierung) einer Entsprechung in englischer Sprache ist die Analyse der extrahierten Benennungen (Fachwortliste) nach Determinatum und Determinans eine Möglichkeit, eine eindeutige Entsprechung „abzuleiten“.

**3** – Die Trennung des Fachwortes „Restholz“ nach Determinatum und Determinans zeigt die weitere Differenzierung bzw. Bestimmung, um welche Art von Holz es sich handelt. Durch die nähere Bestimmung „Rest“ (AA) wird deutlich, dass es sich bei dem Sortiment des IRH nicht um Altholz oder Waldholz handelt bzw. ausschließt.

Nach Ungerer und Schmid (1998) lässt sich dieses Wortbildungsmuster auch auf zusammengesetzte Substantive im Englischen übertragen (*modifier/head paradigm*). Die Merkmale des *modifiers* (linksstehende Konstituente) spezifiziert die Merkmale des *heads* (rechtsstehende Kopf-Konstituente) (Jäger 2006).

Aus den Untersuchungskriterien sowie den Grundlagen der Morphologie ergeben sich folgende Bedingungen für eine englischsprachige Entsprechung des Begriffs des IRH zur eindeutigen bzw. eineindeutigen Benennung:

- Eindeutige Bestimmung der Herkunft/Aufkommensort des Holzrohstoffs
- Eindeutige Berücksichtigung des Materials in der Benennung
- Bestimmte, eingegrenzte Benennung des Holzrohstoffs als neutraler Rohstoff

Zudem weisen die extrahierten Benennungen der Fachwortliste (vgl. Terminologieextraktion) verschiedene wiederkehrende „Kopfwörter“ auf. Die englischen Benennungen „residue“, „by-product“ bzw. „co-product“, „fuel“, „biomass“ und „waste“ sind in der Liste der extrahierten Benennungen mehrfach vertreten. Innerhalb der Terminologieanalyse (Variable B) werden die „Kopfwörter“ und deren Begriffsinhalt in Bezug auf Fachbezug und Äquivalenz zum Begriff „Restholz“ betrachtet. Anhand der Definitionen der spezifischen Kopfwörter wird untersucht, inwieweit sich das Kopfwort zur eindeutigen englischsprachigen Benennung sachgebietsbezogen abgrenzen lässt.

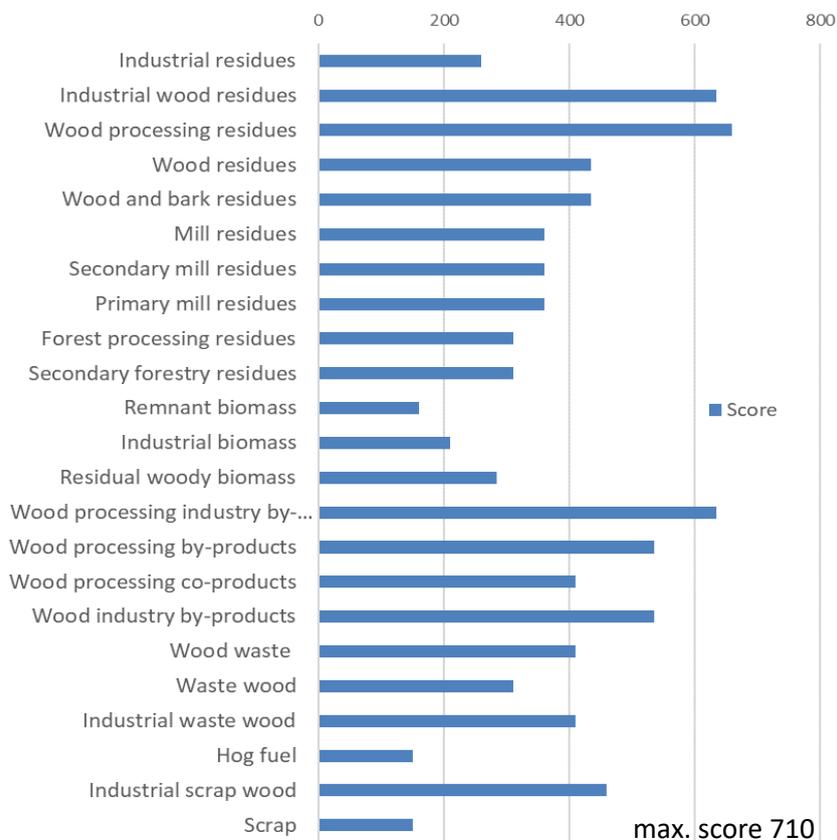
Nachfolgend werden die Analyse Kriterien in Tabelle 2 dargestellt, die der quantitativen Terminologieanalyse dienen. Jedes Kriterium wird durch eine Fragestellung eingeordnet und damit weitgehend objektiviert.

**Tabelle 2 Zusammenstellung der Analyse Kriterien zur Terminologieanalyse**

<b>VAR</b>	<b>KIRTERIUM</b>	<b>QUELLE</b>
<b>A</b>	Grad der <b>Äquivalenz</b> - Begriffsinhalt	Küdes 2002; Schmitz und Kaukonen 2006
	Die Äquivalenz der englischsprachigen Benennung wird auf der Grundlage der Übereinstimmung des Begriffsinhaltes in Bezug zum dt. IRH gesetzt, d. h. der Begriffsinhalt gibt die Merkmale des betrachteten Objektes wieder (Vgl. 3.2.3.1).	
<b>FRAGE</b>	In wie weit ist der Begriffsinhalt (IRH) äquivalent zur extrahierten Benennung? Gibt die englischsprachige Benennung den Begriffsinhalt des definierten IRH wieder?	Temmermann 2000
<b>B</b>	<b>Äquivalenz des „Kopf-Wortes“ (rechtsstehend)</b>	
<b>FRAGE</b>	Inwieweit ist das englischsprachige Kopf-Wort ( <i>head</i> ) (vgl. Exkurs-Morphologie) äquivalent zum dt. Term „Restholz“ bzw. deckt es den Begriffsinhalt des dt. Kopfwortes ab?	
<b>C</b>	<b>Ein- und Mehrdeutigkeit der Benennung (Synonyme)</b>	Wüster 1991
<b>FRAGE</b>	Ist die Benennung eindeutig oder mehrdeutig?	
<b>D</b>	<b>Übersetzung/Originalsprache der Quelle</b>	
<b>FRAGE</b>	Taucht diese Benennung in der ursprünglichen Quelle (Terminologiarbeit) als Übersetzung auf, oder handelt es sich um eine originalsprachliche (hier englischsprachige) Quelle?	Schmitz und Kaukonen 2006; Mayer und Seewald-Heeg 2009
<b>E</b>	<b>Wortbildung – Äquivalenz durch Determinans</b>	Ungerer und Schmid 1998
<b>FRAGE</b>	Spezialisiert das Determinans das Kopf-Wort?	Jäger 2006
<b>F</b>	Wortbildung – Spezialisierung des Kopf-Wortes durch Ursprungsbezug	

<b>FRAGE</b>	Beinhaltet der Begriff des Determinans eine Spezifizierung des Ursprungs der Ressource („eine Art-von-Beziehung“)?	(Ungerer und Schmid 1998S. 79; Alakangas et al. 2006)
<b>G</b>	Wortbildung – Spezialisierung des Kompositums durch Materialbezug	
<b>FRAGE</b>	Beinhaltet das Kompositum eine Spezifizierung des Materials der Ressource („eine Art-von-Beziehung“)?	
<b>H</b>	Benennung enthält Fachbezug zur Holzindustrie	
<b>FRAGE</b>	Ist der Fachbezug zur Holzindustrie aus der Benennung ersichtlich?	

Die folgende Abbildung 2 fasst die Ergebnisse der Terminologieextraktion der 25 Benennungen und der darauffolgenden Terminologieanalyse nach den Kriterien aus Tabelle 2 zusammen.



**Abbildung 2 Ergebnisse der Terminologieextraktion und Terminologieanalyse**

### Quantitative Bewertung der Analysekriterien

Die Bewertung der Ausprägung der Analysekriterien basiert auf einem differenzierten Bezugssystem, d. h., dass zur Bemessung unterschiedliche, vorrangig Nominalskalen, Skalen auf der Basis eines Punktesystems angewendet werden (Küdes 2002). Die Bemessung des Äquivalenzgrades der Variable A wird als Beispiel dargestellt. Aus der Summe der Punkte aller Variablen ergibt sich ein Wert zum „Ranking“ der Benennungen nach Eindeutigkeit/zutreffender Benennung. Die folgende Tabelle 3 dient als Beispiel zur Herleitung der quantitativen Bewertung nach Punkten.

**Tabelle 3 Beispiel einer Nominalskala zur quantitativen Bewertung einer Variable**

SYMBOL	BEWERTUNG	BEMESSUNGSKALA
=	Gleicher Begriffsinhalt zur Benennung in der Ausgangssprache	100
~	ungefährer Begriffsinhalt zur Benennung in der Ausgangssprache	75
>	kleinerer Begriffsinhalt zur Benennung in der Ausgangssprache	50
<	größerer Begriffsinhalt zur Benennung in der Ausgangssprache <sup>9</sup>	25
-	<i>Eigene Ergänzung:</i> - nicht äquivalent, da anderes Sortiment	0

Die quantitative Bewertung bezog sich in der vorliegenden Studie auf acht Analysekriterien bzw. Variablen. Bewertet wurde auf der Grundlage von vorher definierten Punktwertungen. Die Ergebnisse der Quantifizierung sind in Abbildung 2 (Auszug aus Saal (2019)) dargestellt. Die maximal erreichbare Wertung, die Summe aller zu vergebenden Punkte, betrug 710 Punkte .

### Messung der Verwendung von Benennung im definierten Kontext

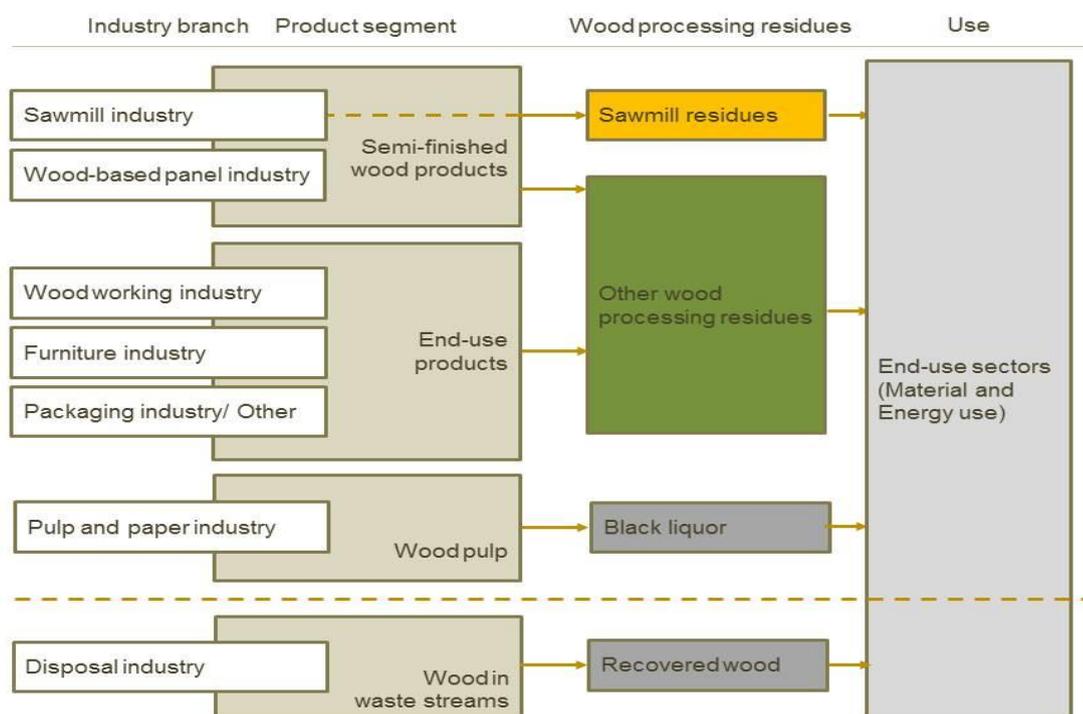
In einem weiteren Analyseschritt wird die Verwendung der extrahierten Benennungen des Begriffs IRH in der wissenschaftlichen Fachliteratur empirisch untersucht und gemessen. Hierfür werden methodische Elemente der qualitativen und quantitativen Inhaltsanalyse kombiniert (Matthes 1992; Boelmann 2018). Die empirische Messung basiert auf der Grundlage der quantitativen Inhaltsanalyse. Diese folgt einem systematischen (intersubjektiven) Ansatz ohne Interpretation oder Erläuterung des Untersuchungsgegenstandes innerhalb des Textmaterials (Matthes 1992; Mayring 2010). Vorrangiges Ziel

---

<sup>9</sup> Ist der Begriffsinhalt der Benennung größer als der des untersuchten Begriffs, so ist der Grad der Äquivalenz geringer Küdes 2002.

der empirischen Erhebung im Rahmen der Terminologieanalyse dieser Dissertation ist die Messung der übereinstimmenden, eindeutigen Verwendung einer Benennung (Kategorie: Anzahl der Analyseeinheit zu Anzahl der eindeutigen Zuordnung zum definierten Begriff) auf der Grundlage von der Auszählung von Häufigkeiten (Boelmann 2018). Die Zuordnung der Benennungen wird unter Verwendung methodischer Elemente der qualitativen Inhaltsanalyse kontextbezogen analysiert. Die methodische Vorgehensweise folgt der deduktiven Kategorienbildung (nach Mayring 2010, 2011). Die Kategorien leiten sich aus der Forschungsfrage sowie der vorangegangenen Terminologiearbeit ab.

Aus der sachgebietsbezogenen Abgrenzung von anderen Holzrohstoffen (Abbildung 1) und der Differenzierung des Holzrohstoffs innerhalb der Holzindustriesektoren, ergibt sich ein definierter Begriff des IRH. Die extrahierten Benennungen des Begriffs IRH werden hier als formale Kategorien festgelegt (Mayring 2011). Abbildung 3 (Auszug aus Saal (2019)), vgl. auch Saal et al. (2017), verdeutlicht den Definitionsprozess des Begriffs IRH als Grundlage zur Anwendung in der differenzierten Terminologiearbeit.



**Abbildung 3 Differenzierung des IRH innerhalb der Holzindustriesektoren**

Für die systematische Erhebung und Quantifizierung der Kategorien wird ein Kodierleitfaden erstellt. Dieser beinhaltet neben der Anleitung zur schrittweisen Recherche des definierten Untersuchungsmaterials auch die Variablen zur Kodierung und eindeutigen Zuordnung (Mayring 2010).

Nachfolgend werden der Untersuchungsgegenstand und die Analyseeinheit definiert: Wie bereits bei der Terminologieextraktion in der vorher beschriebenen Terminologiarbeit (Vgl.3.2.3.2) liegen auch für die quantitative Inhaltsanalyse große Mengen an spezifischem Textmaterial vor. In der Untersuchung von Terminologie wird angenommen, dass sich standardisierte Fachsprache am ehesten aus genormter, bewerteter wissenschaftlicher Literatur<sup>10</sup> herauslesen lässt. Hier gelten einsprachige, spezifische Fachdokumente als zuverlässiger (Küdes 2002; Schmitz und Kaukonen 2006) und wenig interpretationsbedürftig (Mathes, 1992). Die Analyseeinheit des umfangreichen Textmaterials wird auf das Kurzreferat, den „abstract“<sup>11</sup> der englischsprachigen wissenschaftlichen Artikel begrenzt.

Das Untersuchungsmaterial stammt aus der wissenschaftlichen Publikationsdatenbank/Literaturdatenbank „Web of Science“ (clarivate.com 2022) im Jahr 2015. Diese sammelt und verknüpft multidisziplinäre wissenschaftliche Publikationen, die vorher im „peer-review“-Prozess objektiv und unabhängig bewertet wurden. Die Literaturdatenbank bietet als Ergebnis der Schlagwortsuche neben Fachartikeln (*articles*) auch weitere Quellen an, die jedoch aus dem Untersuchungsmaterial ausgeschlossen werden. Mittels Schlagwortsuche nach dem Muster „N+N“ bei Nominativkomposita (vgl. Tabelle 1) wird nach Schlagworten nur in dieser Zusammensetzung gesucht. Das Ergebnis, hier die Ausgabe aller Analyseeinheiten je Kategorie, wird zudem durch die Auswahl definierter Forschungsbereiche reduziert. Die Spezifizierung (refinery) der Schlagwortsuche dient dazu, fachfremde Artikel, in denen die Benennungen der Fachwortliste auch erscheinen (u. a. Medizin, Ernährung, Biologie), aus der Bewertung vorweg auszuschließen und so den Untersuchungsrahmen deutlich abzugrenzen.

Die eingrenzenden Forschungsbereiche der Wissensdatenbank lauten: *Forestry, environmental sciences, ecology, materials sciences, energy fuels, chemistry, business economics*.

Eine weitere Differenzierung der Anzahl der ausgegebenen Analyseeinheiten wird durch die Ergänzung der Schlagwortsuche innerhalb des ersten Ergebnisses der ausgegebenen Analyseeinheiten durchgeführt. Beträgt die Anzahl der ausgegebenen (gefundenen Titel) Analyseeinheiten > 250 AE, wird die Schlagwortsuche mit festgelegten Begriffen, z. B. „wood processing“ oder „saw mill“ eingegrenzt. Alle ausgegebenen Titel werden einschließlich des Kurzreferats) dokumentiert.

Die Kurzreferate der ausgegebenen Artikel (endgültige Anzahl der Ergebnisse) bilden die Menge des Untersuchungsgegenstandes und der Analyseeinheiten anhand derer die Äquivalenz der Benennungen zum

---

<sup>10</sup> Diese Anwendung bezieht sich auf das „peer review“-Verfahren zur Qualitätsprüfung wissenschaftlicher Veröffentlichungen in Journalen (Quelle)

<sup>11</sup> Abstract – Bezug auf die eindeutige Wiedergabe des relevanten Forschungsinhaltes des referierten Artikels

Begriff IRH (Äquivalenz) qualitativ ausgewertet werden kann. Anhand des Kurzreferates werden die Verwendung und Übereinstimmung des Begriffes im Zusammenhang mit dem betrachteten Sortiment deutlich. Maßgebend für die Messung (quantitativ) ist der Kontext (qualitativ), in dem die Benennung verwendet wird (systematisch und objektiv).

Jede AE zu einer Kategorie (Benennung) wird auf den Kontext geprüft, in dem die Benennung verwendet wird. Die Kodierregeln zur Messung und Bewertung der Übereinstimmung beinhalten Maßgaben zum Ursprung der betrachteten Ressource, der Abgrenzung von anderen Rohstoffen sowie dem Voll- oder Teilbezug im Kontext. Bemessen wird die Anzahl der AE einer Kategorie, die eindeutige Verwendung der Kategorie im untersuchten Kontext. Die eindeutige Verwendung der Kategorie orientiert sich an der vorher definierten, sachgebietsbezogenen Abgrenzung. Daraus abgeleitet wird das Äquivalenzverhältnis.

Wenn eine Benennung sich nur auf einen Unterbegriff des IRH, also auf ein IRH-Sortiment (z. B. Sägenebenprodukte) bezieht, ist die Übereinstimmung nur teilerfüllt. Wenn aus dem Text ersichtlich wird, dass es sich um Restholz aus der Holzverarbeitenden Industrie bzw. dem Handwerk handelt (Bau, Verpackung, Möbel), ist die Übereinstimmung voll erfüllt. Aufgrund der Thematik des Fachartikels müssen nicht alle Indikatoren zutreffen – Beispiel: Restholz aus der Möbelindustrie. Die einfache Erwähnung der Benennung in der AE reicht zur Messung und Bewertung nicht aus. Erscheint eine Maßgabe in der AE ohne Benennung im Kontext, wird die AE berücksichtigt. Am Beispiel der Kategorie „mill residues“ wird die Messung und Bewertung im Kontext deutlich.

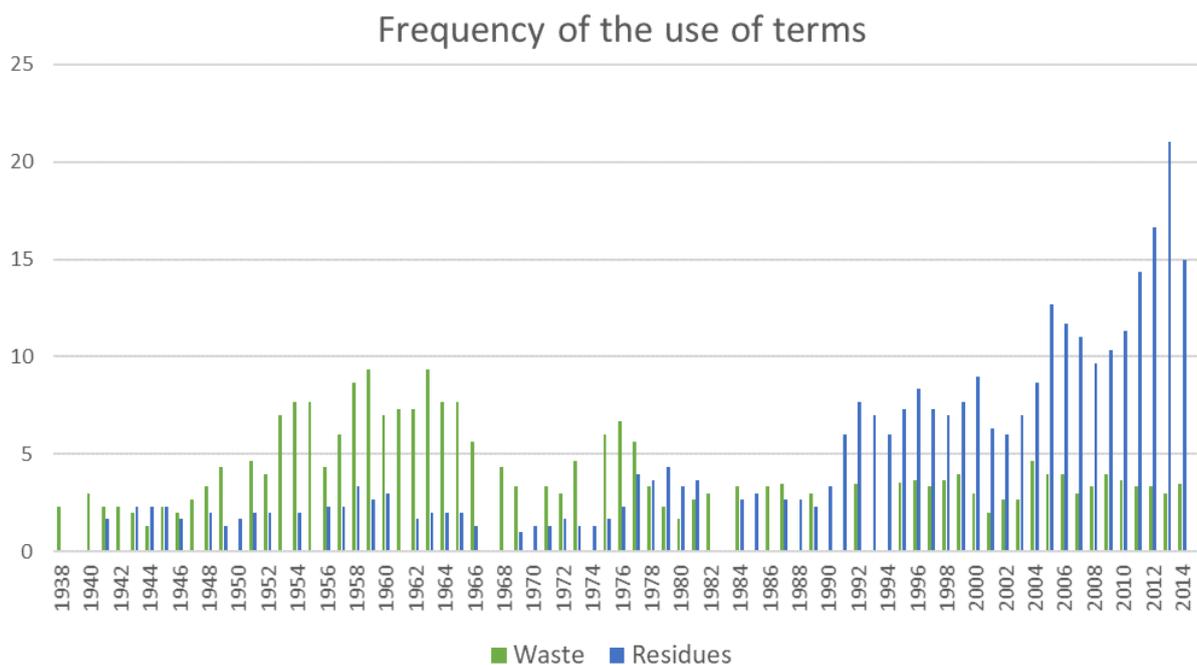
**Tabelle 4 Bewertung der Äquivalenz am Beispiel von „mill residues“**

BENENNUNG	AE QUELLE	KONTEXT	ÜBEREINSTIMMUNG
MILL RESIDUES	Reina et al. 2014	Olive mills	Nein
MILL RESIDUES	Asensio et al. 2013	Pulp and Paper mills	teilweise Äquivalenz
MILL RESIDUES	Joshi et al. 2014	Wood mills	Ja

*Veränderung von Fachsprache – von „waste“ zu „residues“*

Auf der Datengrundlage der systematisch gesammelten AE wird eine weitere quantitative Analyse durchgeführt. In Bezug auf die Entwicklung der Fachsprache und deren Anpassung an gesellschaftliche oder technische Einflüsse (Stephany, 1982 und Synek, 2017) können die AE auf folgende Fragestellung hin untersucht werden: *Vom Abfall zur Ressource: Kann aus der Verwendung der Benennungen eine Veränderung des Rohstoffbegriffs abgelesen werden?*

Die folgende Abbildung 4 bildet den Untersuchungsrahmen und Ergebnisse zur Entwicklung innerhalb dieser spezifischen Fachsprache ab (Auszug aus Saal (2019)).



**Abbildung 4 Häufigkeit der verwendeten Benennungen innerhalb der AE**

IRH hat sich im Verlauf der Holzrohstoffnutzung der letzten 30 Jahre von einem Abfallprodukt zu einem Holzrohstoff entwickelt (Mantau 2014). Untersucht wird, ob sich diese Entwicklung in der wissenschaftlichen Fachsprache abbilden lässt. Die AE decken einen Forschungszeitraum von 1938 bis 2014 ab. Die Analyse der spezifischen Fragestellung beinhaltet die Auszählung der AE mit der kontextbezogenen Verwendung des Kopfwortes „waste“ und der kontextbezogenen Verwendung des Kopfwortes „residue(s)“. Die Häufigkeit der Verwendung der jeweiligen Benennungen wird mit dem Erscheinungsjahr der wissenschaftlichen Veröffentlichung verknüpft.

Weitere Ergebnisse der Terminologiarbeit sowie der Inhaltsanalyse sind nachfolgend in der Abbildung des zweiten wissenschaftlichen Beitrags der vorliegenden kumulativen Dissertation abgebildet.

# Terminology of wood processing residues - No data without wording

Ulrike Saal<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>University of Hamburg, Institute of Wood Science

<sup>2</sup>Thünen Institute of International Forestry and Forest Economics - Forest Products Markets

### No data without wording!

Harmonised terminology is the basis for standardised collection and comparison of data especially for efficient multilingual documentation and reporting in international context.

So far, there is no common terminology for the resource of residues from the wood processing industry. Available data are reported variously under different terms and conceptions. Terms are often used ambiguous and as synonyms.

**Objective**

This study aims at recommending an unambiguous term and definition of the considered wood resource in English language for mutual recognition based on the systematic approach of terminology analysis.

### Background

- Differentiation of the wood resource by the structure of the wood processing industry**
- Classification of residual wood resources by origin and assortment**

**Definition of the "object"**

Wood processing residues accumulate inevitably in all areas of the manufacture of wood and wood products. The resource comprises sawmill by-products, other wood processing residues and black liquor.

### Main findings

- Terminology extraction – variety of 25 terms primarily used for the studied object**
- Terminology analysis – quantitative evaluation of terminology criteria**
- Content analysis – Quantitative analysis of scientific use of terms describing the studied object**
- Use of terms over time – from 'waste' to 'residues'**

**Unambiguity matters!**

### Terminology extraction

- Differentiation and allocation of the subject area
- Collection and analysis of available multilingual terminology and documentation of terminology
- Extraction and listing of all available terms
- Complementation by definitions, classification and taxonomy

### Terminology analysis

Analysis of extracted terms based on a set of criteria

- Equivalence of term and object
- Unambiguity and ambiguity
- Translation
- Specialisation of the "modifier" on origin, material and context of wood processing

Quantitative evaluation of terms based on numeric measures and scales

### Content analysis

Empirical analysis of terms used in scientific context

- Database:** "Web of Science" (ISI Web of Knowledge)
- Keyword search** – refined to relevant research areas
- Analysis unit:** abstracts of peer reviewed articles
- Coding unit:** Definition of the wood resource
- Examination of manifest content** – based on written term (keyword) + defined object
- Measure of:** frequency, monosemy/polysemy, matching
- Special focus:** From WASTE to RESIDUE
- 1,248 abstracts on 25 terms (keywords)**

### **3.3 Wissenschaftlicher Beitrag III: „Supply of wood processing residues – a basic calculation approach on the example of wood packaging“ (2022)**

#### **3.3.1 Einordnung**

Der dritte wissenschaftliche Beitrag zur vorliegenden kumulativen Dissertation wurde von U. Saal, S. Iost und H. Weimar verfasst. Der Artikel ist im Januar 2022 im Journal „Trees, Forests and People“ im Sonderband „Wood-based solutions“ erschienen. Hauptautorin des Artikels ist U. Saal. Die Ko-Autoren S. Iost und H. Weimar haben die Studie mit ihrer fachlichen Expertise unterstützt. Das grundlegende Konzept des Artikels wurde von den Autor:innen gemeinsam erarbeitet. Das theoretische Konzept zur Anwendung der Methode der Materialflussanalyse wurden von U. Saal erarbeitet. Die Datensammlung sowie der Berechnungsansatz, die Auswertung und Darstellung der Ergebnisse wurden von U. Saal durchgeführt. Der Artikel wurde überwiegend von U. Saal geschrieben und durch Hinweise und Änderungsvorschläge der Ko-Autoren ergänzt.

#### **3.3.2 Zusammenfassung**

Die vorliegende Studie untersucht das Aufkommen von IRH am Beispiel der europäischen Holzpackmittelindustrie. Das übergeordnete Ziel der Untersuchung ist es, einen Berechnungsansatz zu entwickeln, mit dem das IRH-Aufkommen auf der Grundlage verfügbarer Daten reproduzierbar berechnet werden kann. Aus dem Forschungsstand zur Erfassung des IRH-Aufkommens auf europäischer Ebene ergeben sich Datenlücken, die mit dem Berechnungsansatz geschlossen werden sollen. Das IRH der Holzfertigwaren wurde bisher rechnerisch und statistisch kaum erfasst. Der Berechnungsansatz wird am Beispiel der europäischen Holzpackmittelindustrie hergeleitet und detailliert beschrieben.

Im Zusammenhang mit einer wachsenden Bioökonomie und dem Transitionsprozess von linearem Wirtschaften hin zur Kreislaufwirtschaft, ist die vollständige Erfassung der verfügbaren Ressourcen für die stoffliche und energetische Holzverwendung notwendig. Bisherige Abschätzungen weisen ein hohes Rohstoffpotenzial von IRH aus (Saal 2010; Mantau 2012b; Saal et al. 2017) . Der Berechnungsansatz der Studie basiert auf der Untersuchung der Materialeffizienz innerhalb eines Materialflusses und den Verarbeitungsprozessen der Holzindustrie. Mithilfe der Methode der Materialflussanalyse wird das IRH-Aufkommen einzelner Produkte, Prozesse sowie ganzer Sektoren berechnet. Die Materialflussanalyse der einzelnen Produkte bezieht den Materialeingang und -ausgang sowie spezifische Koeffizienten der Materialeffizienz zur Quantifizierung ein. Die Quantifizierung der Materialflussanalyse wird in der Studie

anhand der detaillierten Abfolge von Berechnungsschritten (Formeln) und der Abbildung eines Sankey-Diagramms zu aggregierten Daten erläutert und visualisiert. Der Berechnungsansatz wird am Beispiel der Holzpackmittelindustrie auf Paletten, Boxpaletten, Leichtpackmittel, Kabeltrommeln und Fassprodukte angewendet. Die Prozessschritte der standardisierten Beispielprodukte werden differenziert abgebildet. Den einzelnen Prozessschritten werden spezifische Koeffizienten der Materialeffizienz und produktspezifische Umrechnungsfaktoren zugeordnet, die aus der verfügbaren Literatur abgeleitet werden konnten. Auf der Grundlage verfügbarer Daten der statistischen Klassifikation der Produktion von Waren (Prodcom) wird das IRH-Aufkommen für die Kernprodukte der Holzpackmittelindustrie differenziert berechnet. Die Produktionsdaten der Jahre 2014, 2016 und 2018 (Eurostat 2021) werden zur Berechnung für die 28 Länder der europäischen Union angewendet. Die Ergebnisse können länderspezifisch differenziert werden.

Für das Jahr 2018 ergibt sich ein IRH-Potenzial der europäischen Holzpackmittelindustrie von rund 29,7 Millionen  $m^3(f)$  bei einem Gesamtholzrohstoffeinsatz von rund 70,5 Millionen  $m^3(f)$  und einem Produktionsvolumen von rund 40,8 Millionen  $m^3(f)$ . Mit Hilfe des Ansatzes können weitere Ergebnisse differenziert ausgewiesen werden – z. B. der Anteil an Sägenebenprodukten oder dem Schnittholzeinsatz. Gleichzeitig werden die Holzrohstoffflüsse innerhalb der Holzindustrie detailliert abgebildet. Die bisher vereinzelt empirisch erfassten Mengen des IRH-Potenzials werden nun mit dem Berechnungsansatz vergleichbar anhand einheitlicher Koeffizienten des Materialflusses rechnerisch erfasst. Verglichen mit der Anwendung von einigen wenigen länderspezifischen Koeffizienten (Mantau et al. 2010), basieren die länderspezifischen Ergebnisse auf der Anwendung produktspezifischer Materialeffizienzkoeffizienten auf offiziell berichtete Produktionsdaten. Damit werden vor allem länderspezifische Unterschiede der Sektoren datenbasiert berücksichtigt.

IRH wird innerhalb dieser Studie deutlich von Primär- und Sekundärrohstoffen innerhalb der Struktur der Holzindustrie abgrenzt. Die differenzierte Berechnung des IRH-Aufkommens innerhalb der Materialflüsse der Holzpackmittelindustrie lässt sich auf die unterschiedlichen Prozesse und individuellen Produkte der Holzindustrie übertragen. Mit der Anwendung des Berechnungsansatzes und der Analyse der Materialeffizienz lässt sich das Aufkommen des IRH, vor allem der Holzfertigwaren berechnen. Zudem ermöglicht der Berechnungsansatz auf der Grundlage der MFA nach Prozessschritten differenzierte Koeffizienten für den bisher unbekanntem Holzrohstoffeingang abzuleiten und die Materialzusammensetzung (Rohstoffmix) einzelner Produkte im Materialfluss rechnerisch zu berücksichtigen.

Die Studie rundet die umfangreiche Untersuchung zu Methoden und verfügbaren Daten zur Erfassung des Aufkommens des Holzrohstoffs IRH sowie die Terminologieanalyse zur Etablierung einer harmonisierten Terminologie ab.

## **4 Zusammenfassende Diskussion und Schlussfolgerung**

### **4.1 Bedeutung der Analyse und Methode zur Berechnung des IRH-Aufkommens auf europäischer Ebene**

In der Erreichung der strategischen Ziele einer kreislaufwirtschaftsorientierten europäischen Bioökonomie (Europäische Kommission 2018) spielt Biomasse im Allgemeinen (Stegmann et al. 2020; Kardung et al. 2021) und der Rohstoff Holz im Besonderen eine entscheidende Rolle (Hagemann et al. 2016; Jarre et al. 2020; D'Amato et al. 2020). Die Rohstoffverfügbarkeit für veränderte Ansprüche und das Potenzial von IRH in dieser Entwicklung und der erweiterte Handlungsspielraum werden in der politischen Voraussicht/Strategien bisher jedoch weniger betrachtet (Kunttu et al. 2020). Verglichen mit den Zielen und Vorgaben zur energetischen Nutzung von Biomasse (Europäische Kommission 2010; BMWK 2012), gibt es soweit keine politischen Ziele und Maßgaben zur stofflich bevorzugten Nutzung von Holz, insbesondere IRH (Kunttu et al. 2020). Ausgehend von der wachsenden Bedeutung des Rohstoffs IRH, ist es das Ziel der vorliegenden Dissertation, IRH innerhalb der Holzrohstoffe zu analysieren und systematisch einzuordnen. Zudem wurde ein Berechnungsansatz zur einheitlichen und reproduzierbaren Erfassung des potenziellen IRH-Aufkommens auf überregionaler, europäischer Ebene erarbeitet. Mit den Ergebnissen der intensiven Analyse innerhalb der kumulativen Studien gelingt es, IRH als Holzrohstoff zu systematisieren und in die Struktur der Holzrohstoffe einzuordnen sowie vergleichbar, anhand verfügbarer Daten zu berechnen. Zudem kann aus den Ergebnissen der Terminologieanalyse eine eindeutige und äquivalente englischsprachige Benennung für den Begriff IRH abgeleitet werden, um die zukünftige einheitliche Erfassung auch überregional zu unterstützen. Damit dienen die Ergebnisse dieser Dissertation der einheitlichen, reproduzierbaren Erfassung des IRH. Die Systematisierung stärkt die Bedeutung des IRH innerhalb der Holzrohstoffe und ermöglicht zudem die Abgrenzung anderer wichtiger Sekundärrohstoffe, wie z. B. Altholz. Die Benennung des IRH im englischen wissenschaftlichen Sprachgebrauch dient als Empfehlung für die Vergleichbarkeit erhobener und berechneter IRH-Volumina.

Die Ergebnisse der kumulativen Dissertation können zur zukünftigen, differenzierten Berechnung des IRH-Aufkommens auf europäischer Ebene verwendet werden. Zudem dienen die Ergebnisse der Terminologieanalyse der Zuordnung innerhalb verschiedener statistischer Klassifikationen oder auch Terminologiesammlungen (vgl. z.B. FAO 2004). Die spezifischen Ergebnisse der MFA dienen als Datengrundlage für weitere Berechnungen, wie z. B. nationaler Holzrohstoffbilanzierung, differenzierten Stoffstromanalysen sowie den „Input-Output“-Tabellen (z.B. Bösch et al. 2015), der Quantifizierung von Nutzungskaskaden und der Rohstoffzusammensetzung verschiedener Holzwerkstoffe und Produkte.

## 4.2 Beitrag zur Systematisierung und Einordnung des IRH als Holzrohstoff

Die Literaturstudie zur Analyse und Methodik zur Berechnung des IRH (Saal et al. 2017) stellt eine grundlegende Untersuchung zur Systematisierung und Erfassung des IRH dar. In Bezug auf die Systematisierung des Holzrohstoffs gelingt es, die strukturelle Grundlage für eine überregionalen Betrachtung und Untersuchung zu schaffen und den Fokus auf IRH als Holzrohstoff und Sekundärrohstoff terminologisch zu stärken. IRH wird inhaltlich und begrifflich abgegrenzt und das IRH damit innerhalb der Holzrohstoffe und Sektoren der Holzindustrie definiert. Mit der Definition wird die rohstoffseitige und produktseitige Betrachtung und Zuordnung des IRH-Volumens differenziert. Mit der Systematisierung und Einordnung des IRH gewinnt der Holzrohstoff an Bedeutung. Gleichzeitig wird dessen Bedeutung mit der Erfassung aller Holzrohstoffsortimente in der Holzrohstoffbilanzierung gestärkt.

Die Ergebnisse der Untersuchung zeigen, dass es unter den wenigen verfügbaren Studien zum IRH-Aufkommen und zur Analyse des IRH kaum vergleichbare und quantifizierte Ergebnisse gibt. Insgesamt bilden nur wenige Studien die Erfassung des IRH-Aufkommens auf überregionaler Ebene ab. Einige differenzierte Studien erfassen das regional abgegrenzte oder sektorspezifische Aufkommen (Alderman et al. 1999; Mantau und Hartig 2003; Szostak et al. 2004). Die Studien, die sich mit Holzrohstoffen/Biomasseverfügbarkeit befassen, unterscheiden sich grundlegend in der Systematik, in den Methoden, verwendeten Daten und erfassten Einheiten. Verfügbare Daten der FAOSTAT (FAOSTAT 2021) lassen sich zudem der Aufkommensstruktur (Abb. 1 in Saal et al. 2017) nicht eindeutig zuordnen. Das erschwert die genaue und vergleichbare Erhebung des IRH in seinem gesamten Umfang.

Für die Systematisierung und Einordnung des IRH in überregionaler Betrachtung, d. h. zur Erfassung auf europäischer Ebene, stellen die Studien von (Mantau und Hartig 2003; Sörgel 2006; Sörgel et al. 2006; Mantau und Hick 2008) im Rahmen des Rohstoffmonitorings Holz (RMH)<sup>12</sup> sowie die Einordnung des IRH innerhalb der Sektoren der Holzwirtschaft in eine theoretische Grundlage zur sachgebietsbezogenen Einordnung dar (Vgl. 3.2.3). Im Vergleich zu regionalfokussierten Koeffizienten des RMH lässt sich die differenzierte Systematik überregional auf die europäische Ebene übertragen. Dazu gehört auch die umfassende Erfassung des IRH aller Sektoren der Holzhalbwaren- und Fertigwarenindustrie im Vergleich zur Erhebung nur einzelner Sortimente des IRH, z. B. Sägenebenprodukte und einzelner Holzverarbeitungsprozesse (Steele 1984; Yang und Jenkins 2008).

---

<sup>12</sup> Im Rahmen des Rohstoffmonitorings Holz wurden ab dem Jahr 1999 (fortlaufend) die Sektoren der deutschen Holzindustrie empirisch zur Holzverwendung befragt.

Die Systematisierung der Holzrohstoffe und begriffliche Abgrenzung des IRH wird sowohl in der vorliegenden Dissertation als auch in Mantau et al. (2007) und Sauberer (2011) als Grundlage für die differenzierte Datenerhebung und Vergleichbarkeit der Ergebnisse betrachtet. In der bisherigen Literatur zur Analyse und dem Aufkommen von IRH fehlt dazu eine einheitliche Terminologie. Aus der Untersuchung der verschiedenen wissenschaftlichen Beiträge zur Analyse und Erfassung des IRH wird deutlich, dass es keine einheitliche Benennung für den Begriff des IRH im englischsprachigen wissenschaftlichen Sprachgebrauch gibt. Der Begriff des IRH (Objekt) wird durch eine Vielzahl von Benennungen von unterschiedlicher Äquivalenz beschrieben. Für eine erste Definition wird in der vorliegenden Dissertation das IRH als Rückstand bzw. Reststoff anhand einer Kategorisierung und Zuordnung des IRH zu den Sektoren der Holzindustrie von anderen Holzrohstoffsportimenten abgegrenzt.

Zur eindeutigen und äquivalenten Anwendung einer Benennung des Begriffs IRH im englischsprachigen wissenschaftlichen Sprachgebrauch reicht die Definition allein in dem ersten wissenschaftlichen Beitrag dieser Dissertation nicht aus. Mit der Abgrenzung des IRH von Waldrestholz bzw. Altholz und Holzabfällen wird deutlich, dass eine terminologische Untersuchung notwendig ist, um eine äquivalente Benennung zu empfehlen und fortan zu etablieren. Unter einer vergleichbaren Fragestellung untersuchen Mantau et al. (2007) den Begriff und mögliche Benennungen von „Nichtholzwaldprodukten“, auch mit dem Ziel eine Grundlage zur vergleichbaren Datenerhebung schaffen sowie eine einheitliche Benennung zu etablieren.

Die terminologische Untersuchung zum Begriff des IRH und einer äquivalenten Benennung im englischsprachigen wissenschaftlichen Sprachgebrauch im zweiten wissenschaftlichen Beitrag dieser Dissertation trägt einen weiteren Schritt zur Systematisierung des IRH bei. Im Vergleich zur Einordnung des IRH in das System der Holzrohstoffe und Sekundärrohstoffe (Saal et al. 2017), wird IRH in der terminologischen Untersuchung von anderen Benennungen und Begriffen (z. B. „waste“ oder „fuel“) abgegrenzt. Zusätzlich gelingt durch die terminologische Analyse und Festlegung der Analyse Kriterien auch eine differenzierte Betrachtung des IRH als Holzrohstoff.

Aus der extrahierenden Terminologearbeit (3.2.3.2) ergibt sich eine Anzahl von 25 Benennungen, die in der englischsprachigen Fachliteratur für den Begriff IRH verwendet werden. In der darauffolgenden Terminologeanalyse wird deutlich, dass die Mehrheit der Benennungen den Begriff IRH nicht äquivalent abbilden bzw. die Kriterien zur äquivalenten Benennung entsprechend der Grundlagen einer eindeutigen Terminologie nicht erfüllt sind. Die Vielzahl der verwendeten Benennungen lässt sich durch die genaue Betrachtung wiederkehrender Komposita eingrenzen. Zur Abgrenzung von anderen Holzrohstoffsportimenten/Sekundärrohstoffen wird neben weiteren Kriterien der Begriffsinhalt bestimmter, wiederkehrender Kopfwörter näher betrachtet: Wartluft (1976) benennt „residues (wood)“ in

verschiedener Form als Reststoffe oder Überbleibsel aus Verarbeitung, die nicht als Produkt genutzt werden. Die Benennung beinhaltet einen neutralen Fachbezug mit einem größeren Begriffsinhalt. Weiter wird „residue“ als unvermeidbares Überbleibsel eines Produktionsprozesses übersetzt (OED 2015). Das Kopfwort „fuel“ wird u. a. als „Brennstoff“ und „Kraftstoff“ übersetzt (linguee.de 2023). Das Kopfwort „biomass“ wird als „Biomasse“ und auch „Bioenergie“ (Leo.org 2023) übersetzt. Zum Begriff des IRH besteht damit jeweils ein eingeschränkter Fachbezug und eine geringe Äquivalenz zum Begriffsinhalt des „Restholzes“. „Co-product“ und „by-product“ werden als kooperatives bzw. Nebenprodukt sowie als „Abfallprodukt“ übersetzt (Leo.org 2023). Während „co-product“ als gezieltes Produkt innerhalb eines Produktionsprozesses definiert ist (OED 2015), wird „by-product“ unterschiedlich definiert (OED 2015; linguee.de 2023) und kann als Reststoff mit Produkteigenschaften produktseitig betrachtet werden. Der Begriffsinhalt beider Benennungen hat einen eingeschränkten Fachbezug. Die Kopfwörter unterscheiden sich in der Äquivalenz zum Begriffsinhalt des IRH und werden im Englischen durch einen „Modifier“ weiter bestimmt.

Diese deutliche Differenzierung des Sekundärrohstoffs IRH dient gleichermaßen der Differenzierung weiterer Sekundärrohstoffe wie Altholz und Siedlungsabfällen sowie anderen festen Biomassesortimenten. Die Problematik einer fehlenden Terminologie lässt sich auf den Sekundärrohstoff Altholz übertragen. Auch hier werden auf europäischer Ebene verschiedene Benennungen verwendet. Zudem fehlt es an einer eindeutigen, übertragbaren Systematik, gleichwohl die gesetzlichen Vorgaben zur Verwertung und Entsorgung von Alt- und Gebrauchtholz deutlich fortgeschrittener differenziert sind (BMU 2020a). Die aus den Ergebnissen der quantitativen Analyse ablesbare Entwicklung der Benennungen von „waste“ zu „residue“ kann als Wertschätzung des Rohstoffs innerhalb der Stoffkreisläufe sowie der Kaskadennutzung verstanden werden. Eine wachsende Nachfrage lässt sich aus dieser sprachlichen Entwicklung nicht ablesen.

Als weiterer Ansatz zur Systematisierung des IRH innerhalb der Primär- und Sekundärrohstoffe dient die Anwendung der Materialflussanalyse im dritten wissenschaftlichen Beitrag (Saal et al. 2022). Innerhalb der detaillierten Prozessschritte kann die Materialzusammensetzung einzelner Produkte sowie der Materialfluss nach einem Prozessschritt in mögliche Hauptprodukte und IRH differenziert werden. Laut Mantau (2014) und Vis et al. (2016) stärkt diese Betrachtung zudem die Analyse der Kaskadennutzung innerhalb der Holzindustriesektoren. Mit der Untersuchung der Prozessschritte und dem Materialfluss in der Herstellung einzelner Holzpackmittel wurde deutlich gezeigt, dass das IRH-Volumen – hier eines spezifischen Fertigwarenssektors – zum Aufkommen beiträgt. Das IRH der Fertigwarenssektoren wird in der Systematik der Holzrohstoffe gleichwertig und z. T. differenziert nach Aufkommensbereich berücksichtigt.

### 4.3 Methoden zur Berechnung des IRH auf europäischer Ebene

Als weiteres wichtiges Ergebnis der Literaturstudie (Saal et al. 2017) wird deutlich, dass es in der zurückliegenden Analyse und Erfassung des IRH-Aufkommens auf europäischer/überregionaler Ebene keinen reproduzierbaren Berechnungsansatz gibt. Zu diesem Ergebnis kommen weitere Studien – in Bezug auf die Erfassung von Biomassepotenzialen im Allgemeinen (Batidzirai et al. 2012; Thivolle-Cazat et al. 2013) und bezogen auf IRH im Besonderen (Parobek et al. 2014; Kunttu et al. 2020; Marques et al. 2020).

Die methodische Herangehensweise variiert in den untersuchten Studien. Unterschiedliche Einheiten und Umrechnungsfaktoren erschweren den Vergleich der Ergebnisse. Als besonders anwendungsorientiert und übertragbar auf die Untersuchungen der vorliegenden Dissertation erweisen sich Studien mit Angaben zu Materialeffizienz und Rohstoffkoeffizienten. Dazu zählen vor allem die Studien zu Umrechnungsfaktoren (FAO/ UNECE 2010, 2020) sowie einzelne empirische Studien des Rohstoffmonitorings Holz (Mantau und Hartig 2003; Sörgel et al. 2006). Im Vergleich dazu weisen verfügbare Studien mit dem Fokus der Erfassung von Biomassepotenzialen eher allgemeine, grobe Schätzwerte zur Berechnung des IRH der Holzindustrie auf. Der Konsens der untersuchten Studien besteht in der Bedeutung hölzerner Biomasse, vorrangig zur energetischen Nutzung (Parikka 2004; Ericsson und Nilsson 2006), jedoch auch in Bezug auf eine steigende Nachfrage zur stofflichen Verwertung, u. a. durch neue Marktteilnehmer und Verwender (Jonsson 2013; Mantau 2014; Kunttu et al. 2020).

Der Anteil des IRH-Aufkommens kann anhand der Studien zu Umrechnungsfaktoren der (FAO/ UNECE 2010, 2020) vergleichbar für verschiedene Länder und annahmenbasiert auch überregional berechnet werden (Saal 2010). Die ablesbaren Daten der FAOSTAT zu einzelnen Ländern lassen sich zur Berechnung des gesamten, in dieser Studie definierten IRH-Volumens, nicht eindeutig zuordnen. Entsprechend der Annahme von Mantau et al. (2017) zur Datengrundlage einer weltweiten Holzrohstoffbilanz, sind statistische Daten jeweils nur so gut, wie die berichteten Daten der einzelnen Länder. Innerhalb der Systematik und Definition der Holzprodukte und dem Sortiment „wood chips, particles and residues“ werden Daten mit einem hohen Detailgrad in den Unterkategorien aggregiert. Trotz der kritischen Betrachtung verfügbarer Daten der FAOSTAT (FAOSTAT 2021) bleibt es hier nicht unerwähnt, dass die Datenverfügbarkeit zur Berechnung des IRH-Aufkommens grundsätzlich gering ist. Die Daten der FAOSTAT (FAOSTAT 2021) bieten einen ersten Ansatz zur Abschätzung einzelner IRH-Sortimente (z. B. SNP als wood chips).

Anhand der Ergebnisse der vergleichenden Berechnung des IRH-Aufkommens in Deutschland, Europa und weltweit für das Jahr 2010 im ersten wissenschaftlichen Beitrag 3.1, werden die Unterschiede der verwendeten Koeffizienten untereinander und zu den Daten der FAOSTAT deutlich. In der Berechnung auf

der Grundlage von Koeffizienten, die von Parikka (2004) zur Abschätzung des weltweiten Biomasseaufkommens verwendet wurden, fehlt der Anteil des IRH der Fertigwarenindustrie. Auch in den zugeordneten Daten der IRH-Segmente der FAOSTAT-Systematik fehlen Daten zum IRH-Aufkommen der Produktion von Holzfertigwaren. Daraus ergibt sich eine deutliche Untererfassung des IRH-Volumens – unabhängig vom regionalen Fokus der Berechnung. In der Bilanzierung der Holzrohstoffe ist die untererfasste Menge relevant, um bereits verwendete oder verfügbare Mengen zu berücksichtigen.

Aus den Ergebnissen der Literaturstudie ergibt sich eine weitere Forschungsfrage im Rahmen der Betrachtung eines Berechnungsansatzes für das IRH-Aufkommen auf europäischer Ebene. Die Definition des IRH der vorliegenden Dissertation und des abgegrenzten Begriffs des IRH berücksichtigt das gesamte IRH-Aufkommen. Neben dem IRH der Halbwarenindustrie, zu der es Koeffizienten zur vergleichbaren Berechnung gibt, wird das IRH der Fertigwarenindustrie entsprechend definiert. Das IRH-Aufkommen der Fertigwarenindustrie, teilweise als *“secondary mill residues“* (siehe Abbildung 2) benanntes Aufkommen, ist bisher nur geringfügig untersucht und gleichwertig erwähnt. In einigen nationalen Studien wird IRH in einzelnen Sektoren z. T. empirisch erhoben oder methodisch unterschiedlich berechnet (u. a. Alderman et al. 1999; Szostak et al. 2004; Tatàno et al. 2009). Nicht alle Methoden der Berechnung und Abschätzung sind nachvollziehbar und dadurch für weitere regionale und überregionale Studien kaum reproduzierbar. Der Versuch der Ableitung von Koeffizienten aus den Ergebnissen zur Berechnung des IRH-Aufkommens ist aufgrund fehlender Angaben zu Umrechnungsfaktoren und Verwendung z. T. nicht-metrischer Einheiten nicht fehlerfrei möglich.

Die Ergebnisse der hier vorliegenden Studie verdeutlichen die erfolgreiche Anwendung der Materialflussanalyse als methodischen Ansatz zur Berechnung des IRH-Aufkommens eines Produktionsprozesses. Es handelt sich hierbei um einen grundlegenden, neuen Berechnungsansatz zur Anwendung auf verschiedene Produkte, Produktgruppen und Sektoren auf regionaler und überregionaler Ebene. Unabhängig vom Umfang des Materialflusses kann das gesamte Aufkommen an IRH berechnet werden. So ist es u. a. möglich, den Prozess der Holzfertigwarenproduktion und das daraus anfallende IRH-Volumen zu berechnen. Bisher fehlten zur Berechnung des IRH der Fertigungssektoren Daten zum spezifischen Rohstoffeinsatz, z. B. der Holzpackmittelindustrie.

Die Berechnung des IRH der Fertigwarenindustrie in überregionalen Studien von Saal (2010), Mantau (2012b), Mantau et al. (2017), basiert z. T. auf Koeffizienten aus empirischen Erhebungen und differenzierten Schätzwerten des Stoffstrommodells Holz (Mantau und Bilitewski 2010) für Deutschland. Die Anwendung und Übertragung dieser spezifischen Koeffizienten für das IRH-Aufkommen mit einem anderen regionalen Bezug kann nur als Näherungswert verwendet werden. Für die erste Berechnung des

IRH-Aufkommens auf europäischer Ebene wurden die Koeffizienten mit Faktoren der länderspezifischen Struktur der Holzindustrie erweitert (vgl. Expansionskoeffizienten Saal 2010). Damit konnten strukturelle und regionale Unterschiede im Rohstoffeinsatz und Produktionsvolumen berücksichtigt werden. In dem in dieser Dissertation erarbeiteten Berechnungsansatz werden einheitliche, prozessbezogene Effizienzkoeffizienten auf länderspezifische Produktionsdaten angewendet. Damit lässt sich im Vergleich zu Koeffizienten mit einem regionalen Ursprung die spezifische Produktstruktur des Untersuchungsraumes differenziert abbilden. Saal (2010) und Mantau (2012b) u. a., berechnen das IRH-Aufkommen der Holzpackmittelindustrie mit einem Anteil von 9,7 % des Rohstoffeinsatzes. Diese Daten sind jedoch nur für Deutschland (2002) empirisch erhoben und anderweitig nicht statistisch erfasst. In dieser Dissertation wurde ein Koeffizient von 10,6 % für das Aufkommen an IRH in der Holzpackmittelindustrie berechnet – bemessen für die standardisierten Produkte Paletten, Boxpaletten, Leichtpackmittel, Kabeltrommeln und Fassprodukte.

Die spezifische Berechnung des Rohstoffeinsatzes in der Fertigwarenindustrie (Rundholz und Holzhalbwaren wie Schnittholz und Holzwerkstoffe) gelingt mit diesem Berechnungsansatz produkt- und länderspezifisch. Anhand der Differenzierung der Prozessschritte und der inversen Berechnung kann der Rohstoffeinsatz („input“) eines jeden Prozessschritts berechnet werden. Je detaillierter ein Materialfluss eines Prozesses analysiert wird, umso höher ist die Genauigkeit der Berechnung und die mögliche Zuordnung eines Materialeffizienzkoeffizienten.

Die Ergebnisse der in der vorliegenden Dissertation verwendeten Berechnungsansätze (Saal et al. 2017; Saal et al. 2022) tragen bedeutend zur Schließung der betrachteten methodischen Wissens- und Datenlücken bei. Die grundlegende Anwendung regelmäßig statistisch erfasster Produktionsdaten ermöglicht die regelmäßige Berechnung des IRH-Aufkommens. Gleichzeitig ist ein großer Teil der Produktionsdaten überregional verfügbar. Mit den im Berechnungsansatz vorgegebenen Umrechnungsfaktoren, können die Einheiten der erhobenen Daten (Produktionsdaten in t, Stück, m<sup>3</sup>) vergleichbar umgerechnet werden. Daraus lassen sich wiederholt nachvollziehbare Koeffizienten ableiten.

Mit der Anwendung der Materialflussanalyse lässt sich das IRH eines gesamten Prozesses sowie ganzer Sektoren erfassen. Die beispielhafte Anwendung auf das IRH-Aufkommen standardisierter Holzpackmittel dient als methodische Beschreibung zur Anwendung auf weitere Produkte und Prozesse der Holzindustriesektoren, vor allem die der bisher wenig berücksichtigten Fertigwarenindustrie. Weiterhin nicht erfasst ist der Produktionsanteil individueller Holzpackmittel und der entsprechende Rohstoffeinsatz von Schnittholz und Holzwerkstoffen. Bisher kann der anfallende Verschnitt (IRH) nur durch Abschätzung erfasst werden.

#### **4.4 Diskussion der verwendeten Methoden/kritische Betrachtung**

Die kumulativen Beiträge der vorliegenden Dissertation verbinden verschiedene Methoden zur Analyse und Systematisierung sowie zur Berechnung des IRH-Aufkommens auf europäischer Ebene.

Die Literaturstudie verknüpft die Analyse der IRH innerhalb der verfügbaren Literatur sowie eine vergleichende Berechnung des IRH anhand verschiedener Ansätze. Die Literaturstudie stellt einen grundlegenden Überblick über die vielseitige Einordnung und Zuordnung des IRH dar. Der Umfang der untersuchten Literatur wurde auf Studien zum Aufkommen und Methoden zur überregionalen Abschätzung und Grundlagen zur Erfassung eingegrenzt. Neben einigen wenigen Daten zur Abschätzung des IRH wurden innerhalb der verfügbaren Literatur die bestehenden Datenlücken identifiziert.

In der vergleichenden Berechnung werden die Sortimente des IRH differenziert und anhand verfügbarer Koeffizienten der Studien von Parikka (2004), FAO/ UNECE (2010) und dem verwendeten Ansatz nach Saal (2010) berechnet und mit den verfügbaren Daten der FAOSTAT verglichen. Die Berechnung wird jeweils für das IRH-Aufkommen in Deutschland (1), Europa (2) und weltweit (3) zum Jahr 2010 durchgeführt.

Für Deutschland (1) werden Daten anhand der Studien zum Rohstoffmonitoring Holz (Mantau 2012a; Döring und Mantau 2012) mit den Ergebnissen nach Saal (2010) sowie mit Daten der FAOSTAT zu Deutschland verglichen.

Im zweiten vergleichenden Ansatz werden die Ergebnisse aus der Studie von Saal (2010) zum IRH-Aufkommen in Europa (2) mit den verfügbaren Daten der FAOSTAT für die ehemals 27 Länder der Europäischen Union verglichen.

In der vergleichenden Berechnung des weltweiten (3) IRH-Volumens werden Angaben zur globalen Abschätzung von Parikka (2004) mit den Ergebnissen auf der Grundlage einer Studie zu Umrechnungsfaktoren und Materialeffizienz mit Berechnungen nach Saal (2010) und Daten der FAOSTAT aller verfügbaren Länder (world) verglichen. Ausgehend von einer Spanne der Koeffizienten in der Studie von Parikka (2004) werden bis auf die Angaben der FAOSTAT alle Mengen in einer Spanne „von-bis“ berechnet.

Die umfangreiche Abschätzung des IRH-Aufkommens in der Studie Saal (2010) enthält regionalspezifische Koeffizienten aus empirischen Erhebungen zum IRH-Aufkommen in Deutschland. Diese Koeffizienten werden auf Europa und die Berechnung des weltweiten Aufkommens übertragen. Aufgrund der regionalen Spezifik und der fehlenden Differenzierung weltweiter Unterschiede sind die Daten für die vergleichende Berechnung nur als Näherungsrechnung und Abschätzung des IRH-Aufkommens zu bewerten. Für die Anwendung und Übertragung auf überregionaler Erfassungsebene können die hier hochaggregierten Daten

und die Koeffizienten nur auf der Grundlage weiterer Annahmen zu Strukturen der spezifischen Holzindustrie angewendet werden. Für eine mögliche Differenzierung werden Spannweiten der Koeffizienten verwendet (Parikka 2004). Die rechnerische Abschätzung des weltweiten Aufkommens an IRH wird von Mantau et al. (2017) im Rahmen einer weltweiten Holzrohstoffbilanz aufgegriffen. In der Anwendung der FAOSTAT-Produktionsdaten für das Jahr 2015 unterscheiden sich die Ergebnisse nur geringfügig. Mantau et al. (2017) erweitern die Berechnung des IRH-Aufkommens um Abschätzungen zum Aufkommen der Fertigwarenindustrie mit einem Koeffizienten, angewendet auf das weltweite Produktionsvolumen von Schnittholz und Holzwerkstoffen. Daraus ergibt sich eine Differenz in der Abschätzung von Saal et al. (2017) zu Mantau et al. (2017) von rund 21,5 Millionen m<sup>3</sup>.

Unabhängig von der kritisch betrachteten Datengrundlage wird deutlich, dass das IRH-Aufkommen allein durch die Angaben der FAOSTAT unterschätzt werden. Für einen großen Teil der Länder liegen zu den Sortimenten des IRH keine Daten vor. In ihrer Studie zur Verteilung von Biomassepotenzialen verwenden Thrän et al. (2011) die verfügbaren Daten von nur 64 Ländern (von 134 untersuchten Ländern) zur weltweiten Berechnung des IRH-Potenzials. Im Vergleich der Ergebnisse von Saal et al. (2017) zeigt sich, dass die Berechnung anhand der Umrechnungsfaktoren und Materialeffizienzkoeffizienten der Studie FAO/UNECE (2010) ähnliche Werte zum IRH-Aufkommen ergibt wie die Ergebnisse der Berechnung nach Saal (2010).

Aus dem Vergleich der Berechnungsgrundlagen wird deutlich, dass ein einheitlicher Berechnungsansatz nötig ist, der u. a. auf der Grundlage regional-unspezifischer Koeffizienten angewendet werden kann. Zudem wird aufgrund der geringfügigen empirischen Forschung ein Berechnungsansatz benötigt, der verfügbare, statistisch erfasste und klassifizierte Daten berücksichtigt. Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung stellt die vergleichende Berechnung einen Entwicklungsschritt hin zum differenzierten Berechnungsansatz dar und bietet einen Ansatz zur weiteren Untersuchung.

Die methodische Grundlage zur Systematisierung und einer einheitlichen Terminologie gliedert sich in verschiedene methodische Abschnitte: Terminologieanalyse, quantitative Analyse und Elemente der qualitativen und quantitativen Inhaltsanalyse. Mit dem Ziel, aus der Vielzahl an englischsprachigen Benennungen, eine äquivalente Benennung vorzuschlagen, wurden die Analyseschritte höchstmöglich objektiviert. Zur objektiven Bemessung und Bewertung der Analysekriterien der extrahierten Fachwörter wurden Skalen mit einem hohen Differenzierungsgrad angewendet. Die Analysekriterien werden durch ergänzende Fragen weiter objektiviert – um im Zusammenhang der terminologischen Untersuchung einer Benennung Monosemie zu fokussieren (vgl. 3.2.3.1). Durch die unterschiedliche Betrachtung des Holzrohstoffs IRH und mögliche unterschiedliche Zusammensetzung (Merkmalsbündel), ist die holistische

Zuordnung der Benennung zu einem Begriff (eindeutig) nicht so deutlich abgrenzbar, wie z. B. bei den Begriffen und Benennungen: Tisch, Stuhl, Palette, Spanplatte. Durch die sachgebietsbezogene Abgrenzung und rohstoffseitige Betrachtung des IRH innerhalb der vorliegenden Dissertation lässt sich das „Merkmalsbündel“ des IRH weitestgehend objektiv eingrenzen.

In der Bemessung der 25 extrahierten Benennungen wird durch die Anzahl von acht Kriterien und differenzierten Skalen zur Bewertung mit einem Punktesystem eine hohe Objektivität und Reproduzierbarkeit der Analyse angestrebt. Gleichwohl kann das Ergebnis nur als Empfehlung verwendet werden, die durch die sachgebietsbezogene Abgrenzung und die qualitative Untersuchung der Morphologie gestärkt wird.

Für die weitere Untersuchung der Begriffe wurde ein „Mixed-Methods-Design“ aus quantitativer und qualitativer Inhaltsanalyse gewählt. Anhand der Kombination aus qualitativer und quantitativer Methodik kann die Verwendung der Benennungen im englischsprachigen wissenschaftlichen Sprachgebrauch quantifiziert und im Kontext ausgewertet werden. Die Inhaltsanalyse folgt einem strengen vorgegebenen Ablauf. Die Verwendung der verschiedenen extrahierten Benennungen wird auf der Grundlage definierten Datenmaterials (AE) konkret messbar ausgezählt (Matthes 1992; Boelmann 2018). Die Bewertung, wann eine Benennung in der untersuchten AE äquivalent verwendet wird, unterliegt möglichst objektiven qualitativen Kategorien. Die Zuordnung einer Benennung zu einer Kategorie und deren Bewertung erfolgt anhand eines Kodierleitfadens. Die Merkmale basieren auf der vorherigen fachlichen Untersuchung des Begriffs IRH und der sachgebietsbezogenen Abgrenzung. Dadurch wird laut (Boelmann 2018) einerseits die Validität der Daten erreicht. Andererseits ergibt sich aus der genauen Beschreibung der Zuordnung (Kodierung) eine hohe Datenreliabilität (Boelmann 2018).

Im Vergleich zu einer möglichen systematischen Literaturanalyse (vgl. z.B. Köthke et al. 2022; Tandetzki et al. 2022) besteht in der hier beschriebenen Anwendung der Methode der Inhaltsanalyse nach Mayring (2010) und Boelmann (2018) die Möglichkeit der Verzerrung („bias“). Durch die normative Festlegung der Stichprobenauswahl der Analyseeinheiten werden weitere mögliche Stichproben (AE) ausgeschlossen. Konkret bedeutet das, dass durch die Eingrenzung der Wissenschaftsbereiche, aus denen die AE gezogen werden sollen, die Anwendung der Benennungen vorgefiltert wird. Auch die weitere Eingrenzung der resultierenden Anzahl an Analyseeinheiten zu einer Benennung (> 250 AE) kann zu einem systematischen Fehler der Stichprobenauswahl führen. Hierbei kann es zu einer Verschiebung des gemessenen Äquivalenzgrades kommen, da der Bezug zum IRH durch eine weitere eingrenzende Auswahl an AE bereits hergestellt wird (Verfeinerung der Suchresultate durch „wood processing“, „saw mill“ und andere). Der Äquivalenzgrad einer untersuchten Benennung, z. B. „wood residues“ ist dadurch höher.

Die Ergebnisse zur äquivalenten Anwendung innerhalb des wissenschaftlichen Sprachgebrauchs wird daher vorrangig als Empfehlung und Stärkung der Benennung „wood processing residues“ bewertet, da sich keine Benennung rein objektiv bewerten lässt. Dem übergeordneten Ziel, damit eine eindeutige, äquivalente Benennung zu etablieren, kommen die Ergebnisse der Terminologieanalyse und der Kombination der qualitativen und quantitativen Inhaltsanalyse nahe.

Die Häufigkeitsmessung der Benennungen „residues“ und „waste“ im Rahmen der quantitativen Analyse hat eine hohe Bedeutung: Stärkung und inhaltliche Wertschätzung des Sekundärrohstoffs, Abgrenzung von anderen Rohstoffen, Einordnung in das System der Holzrohstoffe, Abbildung der sprachlichen und technischen Entwicklung der Verwendung und Bedeutung des IRH. Durch den definierten Untersuchungsrahmen mit zwei Kategorien ohne weiteren Kontextbezug werden verlässliche Ergebnisse erzielt.

Als Beitrag zur Beantwortung der initialen Forschungsfrage sowie der weiteren, untergeordneten Forschungsziele innerhalb der vorliegenden Dissertation, dient die MFA als zielführende Methode und grundlegende theoretische Anwendung. Eine empirische Erhebung im vergleichbaren Umfang der Erhebung des IRH-Aufkommens auf europäischer Ebene wäre in diesem Rahmen wünschenswert, aus ökonomischen Gründen jedoch kaum machbar.

Die Methode zur Berechnung des IRH-Aufkommens nach Saal et al. (2022) ermöglicht es, die die empirische Erhebung am Beispiel der europäischen Holzpackmittelindustrie zu „ersetzen“. Auf der Grundlage verfügbarer, valider Daten dient die MFA als verlässlicher und reproduzierbarer Ansatz zur Berechnung des IRH-Aufkommens auf europäischer Ebene. Im Rahmen der vorliegenden kumulativen Studien dieser Dissertation ist der Berechnungsansatz auf der Grundlage der MFA eine methodische Entwicklung im Vergleich zu den wegweisenden empirischen Studien des Rohstoffmonitorings Holz (FNR 2018) und der Erfassung der Fertigungssektoren (z. B. Mantau und Hartig 2003). Die bereits diskutierten regionalspezifischen Koeffizienten werden in der Anwendung der MFA durch sektor- und produktspezifische Materialeffizienzkoeffizienten ersetzt. Daraus resultiert eine prozess- und produktspezifische Abhängigkeit im Vergleich zur regionalen Abhängigkeit eines Koeffizienten. Gleichzeitig können in der Berechnung anhand der MFA regionale/länderspezifische Unterschiede berücksichtigt werden (vgl. Fassprodukte).

Die Berechnung des IRH-Aufkommens ist für verschiedene Aggregationslevel möglich. Bisher wurden vorrangig Sektoren oder nur einzelne Sektoren (z. B. Sägeindustrie) untersucht. Der Berechnungsansatz mittels MFA kann gesamte Prozesse und Sektoren und ist gleichermaßen differenzierbar in Teilbereiche und einzelne Produkte: So kann das IRH des Produktes (z. B. Kabeltrommeln) oder des gesamten Sektors (z. B.

Holzpackmittel) erfasst werden. Diese Anwendung stellt besonders für die fehlenden Daten des IRH der Fertigwarenindustrie einen bedeutenden Lösungsansatz dar.

Die verfügbaren Materialeffizienzkoeffizienten beeinflussen den Differenzierungsgrad der Prozessschritte sowie die Übertragbarkeit der Methode auf andere Anwendungen. Die prozessspezifischen Materialeffizienzkoeffizienten sind aus wissenschaftlicher und fachspezifischer Literatur ableitbar und z. T. als theoretische Näherungswerte mathematisch-logisch herzuleiten (z. B. Prozessschritt „kreisrund schneiden“). Zu berücksichtigen ist auch in diesem Zusammenhang die sachgebietsbezogene Abgrenzung – von Holzrohstoffen und IRH sowie die der untersuchten Prozesse. Die Analyse der Prozessschritte dient als Grundlage zur Berechnung und der Zuordnung der Materialeffizienzkoeffizienten.

Der Berechnungsansatz erreicht eines der beschriebenen Forschungsziele: Die Berechnung des IRH-Aufkommens auf europäischer Ebene gelingt weitgehend auf der Grundlage regelmäßig erhobener, verfügbarer Daten. Dazu eignen sich im Rahmen der Untersuchung des IRH der Prozesse der Holzindustrie und Fertigwaren nationale und internationale Produktionsstatistiken mit einheitlicher und übersetzbarer Klassifikation der Produkte (z. B. Prodcom). Damit wird mit dem Berechnungsansatz mittels MFA eine hohe Generalisierbarkeit der Methode erreicht. Gleichzeitig werden die Daten als externe valide Daten geschätzt, die innerhalb einer institutionellen Erfassung geprüft werden (Eurostat 2022). Im Vergleich zur Zuordnung von Länderdaten zum IRH-Aufkommen zur FAOSTAT, ist die Zuordnung von Produktionsdaten aufgrund verschiedener übertragbarer Klassifikationen weniger fehleranfällig und möglicherweise niedrigschwelliger zu melden. Am Beispiel der verwendeten Daten der europäischen Produktionsstatistik (Prodcom) wurde der Anteil der Datenverfügbarkeit mit bis zu 86 % (Paletten) berechnet (Saal et al. 2022).

An dieser Stelle stößt jedoch auch der verwendete Berechnungsansatz an Grenzen: Der verwendete Datensatz ist z. T. durch strukturelle Mechanismen wie Unternehmensgröße (wirtschaftlich) und die Anzahl der Mitarbeitenden eingeschränkt. Verglichen mit Erhebungen in der Sägeindustrie von Döring und Mantau (2012) wird auch hier ein Teil der Daten untererfasst.

Zusätzlich wurden einige wenige methodische Annahmen zum Berechnungsansatz im IRH-Volumen der Holzpackmittelindustrie bisher nicht berücksichtigt. Produkte wie z. B. Fässer und Fassprodukte haben eine geringe Datenverfügbarkeit (Prodcom, 36 %), begründet durch wettbewerbsspezifische Meldegrundlagen oder auch die Unternehmensgröße (Eurostat 2022). Fässer und Fassprodukte haben eine vergleichbar geringe Materialeffizienz mit einem resultierenden hohen IRH-Aufkommen (Saal et al. 2022). Steigt das angegebene Produktionsvolumen, erhöht sich auch das berechenbare IRH-Volumen. Morland und Schier (2020) verweisen innerhalb ihrer modellbasierten Szenarien der Bioökonomieentwicklung auf die Steigerung des IRH-Aufkommens durch den Anstieg der Schnittholzproduktion.

Eine weitere, bisher ungelöste methodische Annahme betrifft den Produktionsanteil der individuellen Holzpackmittel. Die nicht standardisierten Holzpackmittel sind innerhalb der klassifizierten Produktionsstatistik schwer abzubilden. Die Berechnung des IRH-Volumens wäre daher nur annahmenbasiert möglich.

Für den Berechnungsansatz mittels MFA und einem hohem Differenzierungsgrad zur möglichst detaillierten Berechnung des IRH-Aufkommens, sind viele Daten notwendig. Ein Teil der fehlenden Daten, z. B. zu Unterschieden innerhalb der Technologieentwicklung gleicher Produktionsprozesse in verschiedenen Regionen, werden durch aggregierende Annahmen ersetzt. So wird z. B. die Prozesseffizienz der Fertigwarenindustrie auf europäischer Ebene vereinheitlicht (als gleich angenommen) und anhand eines übergeordneten Materialeffizienzkoeffizienten berechnet. Annahmen dazu können valide abgeleitet werden. Bisher deckt der Berechnungsansatz nur regionale Unterschiede innerhalb der Holzhalbwarenproduktion ab, wie z. B. mit den regional unterschiedlichen Ausbeutegrade der europäischen Sägeindustrie (Schnittholzproduktion) (Saal et al. 2022).

Die Berechnung des IRH-Aufkommens der europäischen Holzpackmittelindustrie wird an einem Sektor mit einer annähernd homogenen Produktzusammensetzung beispielhaft hergeleitet. Das bedeutet neben Produkten mit einfacher(er) Rohstoffzusammensetzung und standardisierten Produkten auch eine geringe Produktvielfalt. Die differenzierten Produkte der Leichtpackmittel können anhand von Annahmen aggregiert werden. Am Beispiel des Sektors der Holzmöbel wird deutlich, dass die Produktzusammensetzung innerhalb des Sektors sowie innerhalb der Produktgruppen deutlich heterogener sind. Dazu ist vor der eigentlichen Berechnung des IRH-Aufkommens anhand des Berechnungsansatzes nach Saal et al. (2022) eine Analyse der Produktgruppen und standardisierten, häufig produzierten Holzmöbel und holzbasierten Möbel notwendig. Gleichzeitig haben Holzmöbel im Vergleich zu Holzpackmitteln eine differenziertere Rohstoffzusammensetzung aus Holz, Holzwerkstoffen, Textilien, Beschlägen und anderen Materialien. Neben der Analyse der Produktgruppen bedarf es einer Systematisierung zur Zuordnung von möglichen Materialeffizienzkoeffizienten.

## 4.5 Schlussfolgerung

Als „unweigerlich anfallender Rest“ in der Holzverarbeitung wächst das IRH-Aufkommen mit wachsender stofflicher Nutzung des Rohstoffs Holz. Die Analyse und Berechnung des IRH reiht sich in die aktuellen Themen der effizienten Nutzung von Holzrohstoffen, Wertstoffrückgewinnung, Kaskadennutzung sowie der biobasierten Kreislaufwirtschaft ein.

Drei wissenschaftliche Beiträge der vorliegenden Dissertation bilden die Synthese zur Bearbeitung des grundlegenden Forschungsziels: Die Systematisierung des Holzrohstoffs IRH sowie die Berechnung des Aufkommens anhand verfügbarer Daten auf europäischer Ebene. Mit den Ergebnissen der unterschiedlichen Studien können wichtige Wissens- und Datenlücken zum Holzrohstoff IRH, dessen Definition, eindeutiger Benennung und vergleichbarer Berechnung geschlossen werden.

Die sachgebietsbezogene Abgrenzung steht im Fokus der Systematisierung zur Einordnung des IRH innerhalb der Holzrohstoffe. Diese gelingt im ersten wissenschaftlichen Beitrag anhand der Analyse des IRH innerhalb verfügbarer Literatur und einer ersten begrifflichen Abgrenzung des Holzrohstoffs von Waldrestholz und Altholz. Neben der systematischen Einordnung des IRH weisen die Ergebnisse einer vergleichenden Berechnung zum regionalen und überregionalen IRH-Potenzial die Abweichung von offiziellen Berichtsdaten zu modellbasierten Berechnungen aus.

Die umfangreiche terminologische Analyse des Begriffs IRH und seiner Vielzahl an Benennungen im englischen, wissenschaftlichen Sprachgebrauch verdeutlicht die Bedeutung einer harmonisierten Terminologie zur einheitlichen und vergleichbaren Datenerhebung. Anhand der Ergebnisse der Terminologieanalyse wird der Begriff IRH noch detaillierter innerhalb seines Sachgebiets abgegrenzt und eindeutig definiert. Auf der Grundlage differenzierter Kategorien für eine eindeutige Benennung des Begriffs im Englischen werden 25 Benennungen bewertet und bemessen. Für eine zukünftige neutrale Einordnung und einheitliche, überregionale Erfassung des IRH, wird „wood processing residues“ als Benennung empfohlen.

Vergleichbare Ergebnisse und statistische Daten zum IRH-Aufkommen sind weiterhin rar. Die Ergebnisse des dritten wissenschaftlichen Beitrags dieser Dissertation bieten hierfür einen grundlegenden Ansatz zur Berechnung des IRH-Aufkommens. Der Berechnungsansatz auf der Grundlage der Materialflussanalyse und Effizienzkoeffizienten kann für einzelne Produkte, Produktgruppen, übergeordnete Prozessketten und Sektoren auf regionaler und überregionaler Ebene angewendet werden. Am Beispiel der europäischen Holzpackmittelindustrie wird das IRH-Aufkommen der bisher wenig untersuchten Sektoren der Fertigwarenindustrie berechnet und ein entscheidender Datensatz an Koeffizienten erarbeitet. Zudem ermöglicht der Untersuchungsansatz die Berechnung des Holzrohstoffeinsatzes eines jeden

Prozessschrittes. Damit gelingt es, mehrere entscheidende Daten für die Holzrohstoffbilanzierung zu berechnen und datenbasiert auf die Bedeutung des IRH hinzuweisen. Das Potenzial verfügbaren IRH-Aufkommens wird durch die Berechnungen nicht größer, entscheidend ist die Sichtbarmachung des Volumens für die Holzrohstoffbilanzierung, Kaskadennutzung und Stärkung der Kreislaufwirtschaft Holz.

*„There is no data without terminology“* (Sauberer 2011) – diese Erkenntnis ist ebenso relevant für die Untersuchung weiterer Holzrohstoffpotenziale, wie z. B. Altholz und Altholzsortimente. Für die überregionale Untersuchung von Holzrohstoffpotenzialen, wie dem des IRH wird deutlich, dass die einheitliche, reproduzierbare Erfassung von Daten und die Vergleichbarkeit von Ergebnissen nur auf der Grundlage einer harmonisierten Terminologie gelingt.

Auch die Systematisierung eines bisher wenig untersuchten Rohstoffs dient dazu, Zusammenhänge zu erkennen und verfügbare Daten abzuleiten, wenn empirische Erhebungen nicht berücksichtigt werden können. Daraus leitet sich die Relevanz des Berechnungsansatzes für die Berechnung weiterer IRH-Potenziale ab. Mit Hilfe des Ansatzes können weitere Ergebnisse differenziert ausgewiesen werden – z. B. der Anteil an Sägenebenprodukten oder dem Schnittholzeinsatz. Mit der Ableitung weiterer Materialeffizienzkoeffizienten ermöglicht es die detaillierte Berechnung des IRH der Fertigwarenindustrie sowie neuer Produktionsprozesse.

Für zukünftige Untersuchungen und Potenzialberechnungen bedarf es der detaillierten Analyse von Stoff- und Materialflüssen und konkurrierender Holzrohstoffnutzung. Der differenzierten Berechnung folgt dann die differenzierte Betrachtung der Anwendung der Holzrohstoff (IRH)Potenziale – für eine effiziente Verwendung, Substitution oder mehrstufige Kaskadennutzung. Am Ende der hier analysierten Materialflüsse und Prozessschritte ergibt sich eine nachfolgende Forschungsfrage. Unabhängig von stofflicher oder energetischer Nutzung von IRH fehlen Daten zur weiteren Verwendung. Hier setzt die weitere Untersuchung zu wenig untersuchten Holzrohstoffpotenzialen, nachgelagerten Stoffströmen, Sortimenten und der Nutzungskonkurrenz neuer und alter Marktteilnehmer an.

*„There is always room for improvement“* (Mantra Juslin 2007)– woraus sich der stete Bedarf an empirischer Forschung ableitet lässt: der Verifizierung der in dieser Dissertation verwendeten Annahmen und Ergebnisse dienen vor allem strukturelle, empirische Erhebungen in der europäischen Holzfertigwarenindustrie. Damit können Angaben zur Materialeffizienz, verwendete Koeffizienten und die Zusammenhänge mit statistisch erhobenen Strukturdaten nachhaltig bestätigt und weiterentwickelt werden.

## 5 Literaturverzeichnis

- Alakangas, E.; Valtanen, J.; Levlin, J.-E. (2006): CEN technical specification of solid biofuels - Fuel specification and classes. In: *Biomass & Bioenergy* (30), S. 908–914.
- Albrecht, Stefan; Brandstetter, Peter; Beck, Tabea; Fullana-i-Palmer, Pere; Grönman, Kaisa; Baitz, Martin et al. (2013): An extended life cycle analysis of packaging systems for fruit and vegetable transport in Europe. In: *Int J Life Cycle Assess* 18 (8), S. 1549–1567. DOI: 10.1007/s11367-013-0590-4.
- Alderman, D. R.; Smith, R. L.; Reddy, V. S. (1999): Assessing the Availability of Wood Residues and Wood Residue Markets in Virginia. In: *Forest Products Journal* (Vol. 49 (4)).
- Asensio, Verónica; Guala, S. D.; Vega, Flora A.; Covelo, Emma F. (2013): A soil quality index for reclaimed mine soils. In: *Environmental toxicology and chemistry* 32 (10), S. 2240–2248. DOI: 10.1002/etc.2315.
- Batidzirai, B.; Smeets, E.M.W.; Faaij, A.P.C. (2012): Harmonising bioenergy resource potentials—Methodological lessons from review of state of the art bioenergy potential assessments. In: *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 16 (9), S. 6598–6630. DOI: 10.1016/j.rser.2012.09.002.
- Baum, Richard (1991): Vorwort - Sprache im Technischen Zeitalter. In: Wüster, Eugen 1991. Unter Mitarbeit von Richard Baum.
- DIN 2342, 2011: Begriffe der Terminologielehre.
- Bengtsson, J.; Logie, J. (2015): Life Cycle Assessment of one-way and pooled pallet alternatives. In: *Procedia CIRP* (29), S. 414–419. Online verfügbar unter <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212827115000852>, checked on 5/16/2019.
- Blasco, A.; Ouhayoun, J. (1993): Harmonization of Criteria and Terminology in Rabbit Meat Research. Revised Proposal. In: *World Rabbit Science* 4 (2), S. 93–99.
- BMBF; BMEL (2020): Nationale Bioökonomiestrategie. Online verfügbar unter [https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/Broschueren/nationale-biooekonomiestrategie-langfassung.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=5](https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/Broschueren/nationale-biooekonomiestrategie-langfassung.pdf?__blob=publicationFile&v=5), zuletzt geprüft am 03.03.2023.
- BMEL (2020): Klima schützen. Werte schaffen. Ressourcen effizient nutzen. Charta für Holz 2.0. Hg. v. BMEL. Referat 535 Nachhaltige Waldbewirtschaftung; Holzmarkt. Online verfügbar unter [https://www.charta-fuer-holz.de/fileadmin/charta-fuer-holz/dateien/service/mediathek/Web\\_Broschuere\\_Charta-fuer-Holz\\_3.\\_Aufl\\_2018.pdf](https://www.charta-fuer-holz.de/fileadmin/charta-fuer-holz/dateien/service/mediathek/Web_Broschuere_Charta-fuer-Holz_3._Aufl_2018.pdf), zuletzt geprüft am 18.01.2022.
- BMU (2020a): AltholzV. Verordnung über Anforderungen an die Verwertung und Beseitigung von Altholz. Online verfügbar unter <https://www.gesetze-im-internet.de/altholzv/AltholzV.pdf>, zuletzt geprüft am 05.02.2023.
- BMU (2020b): Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Bewirtschaftung von Abfällen (Kreislaufwirtschaftsgesetz – KrWG). Online verfügbar unter

[https://www.bmuv.de/fileadmin/Daten\\_BMU/Download\\_PDF/Gesetze/novelle\\_krwg\\_bf.pdf](https://www.bmuv.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Gesetze/novelle_krwg_bf.pdf), zuletzt geprüft am 02.02.2023.

BMWK (2012): Gesetz zur Neuregelung des Rechtsrahmens für die Förderung der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien. EEG. Online verfügbar unter [http://www.bgbl.de/xaver/bgbl/start.xav?startbk=Bundesanzeiger\\_BGBl&jumpTo=bgbl111s1634.pdf](http://www.bgbl.de/xaver/bgbl/start.xav?startbk=Bundesanzeiger_BGBl&jumpTo=bgbl111s1634.pdf).

Boelmann, J. M. (Hg.) (2018): Empirische Forschung in der Deutschdidaktik. Quantitative Inhaltsanalyse Quantifizieren um jeden Preis?! Unter Mitarbeit von B. Uhl: Schneider Verlag Hohengehren (Erhebungs- und Auswertungsverfahren, 2).

Bösch, Matthias; Jochem, Dominik; Weimar, Holger; Dieter, Matthias (2015): Physical input-output accounting of the wood and paper flow in Germany. In: *Resources, Conservation and Recycling* 94, S. 99–109. DOI: 10.1016/j.resconrec.2014.11.014.

Brändle, D.; Kirchmayer, S. (2012): Terminologiearbeit: Neue Modelle gefragt. Zwischenruf. In: *Fachzeitschrift MDÜ* (4). Online verfügbar unter [file:///C:/Users/ulrik/Downloads/MDUE\\_1\\_2012\\_Forum\\_\\_Sprache-2.pdf](file:///C:/Users/ulrik/Downloads/MDUE_1_2012_Forum__Sprache-2.pdf), zuletzt geprüft am 06.02.2023.

Braun, Joachim von (2018): Bioeconomy – The global trend and its implications for sustainability and food security. In: *Global Food Security* (19), S. 81–83. Online verfügbar unter <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2018.10.003>.

Cabré Castellví, M. Teresa (2003): Theories of terminology. In: *TERM* 9 (2), S. 163–199. DOI: 10.1075/term.9.2.03cab.

Camia, A.; Giuntoli, J.; Jonsson, R.; Robert, N.; Cazzaniga, N.; Jasinevičius, G. et al. (2021): The use of woody biomass for energy production in the EU. Hg. v. JRC.

clarivate.com (Hg.) (2022): Web of Science Core Collection. Explanation of peer reviewed journals. Online verfügbar unter [https://support.clarivate.com/ScientificandAcademicResearch/s/article/Web-of-Science-Core-Collection-Explanation-of-peer-reviewed-journals?language=en\\_US](https://support.clarivate.com/ScientificandAcademicResearch/s/article/Web-of-Science-Core-Collection-Explanation-of-peer-reviewed-journals?language=en_US).

Cote, M.; Poganietz, W.-R.; Schebek, L. (2015): Quantitative and qualitative dynamic modelling of secondary raw materials from wood products in Germany. In: *Materiaux et Techniques* (103). DOI: 10.1051/mattech/2015001.

D'Amato, D.; Droste, N.; Allen, B.; Kettunen, M.; Lähtinen, K.; Korhonen, J. et al. (2017): Green, circular, bio economy: A comparative analysis of sustainability avenues. In: *Journal of Cleaner Production* 168, S. 716–734. DOI: 10.1016/j.jclepro.2017.09.053.

D'Amato, Dalia; Veijonaho, Simo; Toppinen, Anne (2020): Towards sustainability? Forest-based circular bioeconomy business models in Finnish SMEs. In: *Forest Policy and Economics* 110, S. 101848. DOI: 10.1016/j.forpol.2018.12.004.

Dembner, X.; Perlis, X. (1999): Towards a harmonized definition of non-wood forest products. Unasylva No. 198. IN: non-wood forest products and income generation. Hg. v. X. Dembner und X. Perlis. FAO Forestry.

Döring, P.; Mantau, U. (2012): Sägeindustrie: Einschnitt und Sägenebenprodukte 2010. Standorte der Holzwirtschaft - Holzrohstoffmonitoring. Hamburg.

DWDS (2023): Industrie – Schreibung, Definition, Bedeutung, Etymologie, Synonyme, Beispiele | DWDS. Online verfügbar unter <https://www.dwds.de/wb/Industrie>, zuletzt aktualisiert am 21.03.2023, zuletzt geprüft am 22.03.2023.

Egenolf, Vincent; Vita, Gibran; Distelkamp, Martin; Schier, Franziska; Hüfner, Rebekka; Bringezu, Stefan (2021): The Timber Footprint of the German Bioeconomy—State of the Art and Past Development. In: *Sustainability* 13 (7), S. 3878. DOI: 10.3390/su13073878.

Ellen MacArthur Foundation (2021): Universal circular economy policy goals. Enabling the transition to scale. Online verfügbar unter <https://emf.thirdlight.com/file/24/GgC25OAGLztng9GgtcoGqo7OJA/%5BEN%5D%20Universal%20Circular%20economy%20policy%20goals.pdf>.

Ericsson, K.; Nilsson, L. J. (2006): Assessment of the potential biomass supply in Europe using a resource-focused approach. In: *Biomass and Bioenergy* 30 (1), S. 1–15. DOI: 10.1016/j.biombioe.2005.09.001.

Europäische Kommission (2010): Energy 2020 A strategy for competitive, sustainable and secure energy. ENER-2010-00422-00-00-EN-REV-00. Online verfügbar unter <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52010DC0639&from=EN>, zuletzt geprüft am 21.03.2023.

Europäische Kommission (2012): Innovating for sustainable growth : a bioeconomy for Europe. Unter Mitarbeit von Directorate-General for Research and Innovation. Hg. v. Publications Office. Online verfügbar unter <https://data.europa.eu/doi/10.2777/6462>.

Europäische Kommission (2015): Erläuterungen zur Kombinierten Nomenklatur der Europäischen Union. MITTEILUNGEN DER ORGANE, EINRICHTUNGEN UND SONSTIGEN STELLEN ((2015/C 076/01)). Online verfügbar unter [https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:52015XC0304\(03\)&from=DA](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:52015XC0304(03)&from=DA), zuletzt geprüft am 01.03.2023.

Europäische Kommission (2018): A sustainable bioeconomy for Europe. Strengthening the connection between economy, society and the environment : updated bioeconomy strategy. Luxembourg: Publications Office of the European Union.

Europäisches Parlament und Rat (2018): Richtlinie (EU) 2018/ zur Änderung der Richtlinie 2008/98/EG über Abfälle. 2008/98/EG. In: *Official Journal of the European Union*. Online verfügbar unter <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018L0851&from=EN>, zuletzt geprüft am 05.02.2023.

Eurostat (2021): Statistics on the production of manufactured goods Value ANNUAL 2018. Manufactured goods (Prodcom). Data Excel files (NACE Rev.2). Online verfügbar unter <https://ec.europa.eu/eurostat/de/web/prodcom/data/excel-files-nace-rev.2>, zuletzt aktualisiert am 01.03.2021.

Eurostat (2022): Methodology - Prodcom - statistics by product - Eurostat. Statistics on the production of manufactured goods (prom). Reference Metadata in Euro SDMX Metadata Structure (ESMS). DG Eurostat EU statistical office. Online verfügbar unter [https://ec.europa.eu/eurostat/cache/metadata/en/prom\\_esms.htm#meta\\_update1677061081721](https://ec.europa.eu/eurostat/cache/metadata/en/prom_esms.htm#meta_update1677061081721), zuletzt geprüft am 22.02.23.

FAO (2004): Unified Bioenergy Terminology. UBET. Online verfügbar unter <https://www.fao.org/3/j4504e/j4504e00.pdf>, zuletzt geprüft am 02.02.2023.

FAO (2022): CLASSIFICATION OF FOREST PRODUCTS 2022. [S.I.]: FAO. Online verfügbar unter <https://www.fao.org/3/cb8216en/cb8216en.pdf>, zuletzt geprüft am 04.02.2023.

FAO JFSQ (2020): JOINT FAO/ECE/EUROSTAT/ITTO QUESTIONNAIRE. Online verfügbar unter <https://www.fao.org/forestry/34572-0902b3c041384fd87f2451da2bb9237.pdf>, zuletzt geprüft am 04.02.2023.

FAO/ UNECE (2010): Forest Products Conversion Factors for the UNECE Region. Geneva Timber and Forest Discussion Paper 49.

FAO/ UNECE (2020): FOREST PRODUCT CONVERSION FACTORS. [S.I.]: FOOD & AGRICULTURE ORG.

FAOSTAT (2021): Forestry Production and Trade Statistics. Hg. v. FAO. Online verfügbar unter <http://www.fao.org/faostat/en/#data/FO>, zuletzt aktualisiert am 16.08.2021, zuletzt geprüft am 17.08.2021.

Fehrs, J. E. (1999): Secondary Mill Residues and Urban Wood Waste Quantities in the United States. Final Report. Northeast Regional Biomass Program. Washington D.C.

Flor, F. J.; Leiva, F. J.; García, J.; Martínez, E.; Jiménez, E.; Blanco, J. (2017): Environmental impact of oak barrels production in Qualified Designation of Origin of Rioja. In: *Journal of Cleaner Production* 167, S. 208–217. DOI: 10.1016/j.jclepro.2017.08.190.

FNR (2018): Rohstoffmonitoring Holz: Daten und Botschaften. Online verfügbar unter [https://www.fnr.de/fileadmin/allgemein/pdf/broschueren/Handout\\_Rohstoffmonitoring\\_Holz\\_Web\\_neu.pdf](https://www.fnr.de/fileadmin/allgemein/pdf/broschueren/Handout_Rohstoffmonitoring_Holz_Web_neu.pdf), zuletzt geprüft am 24.03.2023.

Folsland Bolkesjo, Torjus; Tromborg, Erik; Solberg, Birger (2006): Bioenergy from the forest sector: Economic potential and interactions with timber and forest products markets in Norway. In: *Scandinavian Journal of Forest Research* 21 (2), S. 175–185. DOI: 10.1080/02827580600591216.

Frings, G.; Mantau, Udo; Sörgel, C. (2005): Industrierestholzaufkommen in der Möbelindustrie. Universität Hamburg (Standorte der Holzwirtschaft).

Glaserapp, S.; McCusker, A. (2018): Wood energy data: the joint wood energy enquiry. In: Wood energy in the ECE region, Data, trends and outlook in Europe, the Commonwealth of Independent States and North America. Hg. v. F. X. Aguilar. UNECE. Geneva.

Hagemann, Nina; Gawel, Erik; Purkus, Alexandra; Pannicke, Nadine; Hauck, Jennifer (2016): Possible Futures towards a Wood-Based Bioeconomy: A Scenario Analysis for Germany. In: *Sustainability* 8 (1), S. 98. DOI: 10.3390/su8010098.

Helms, J. A. (2002): Forest Terminology in Relation to Societal Change and Decision Making. Proceedings of the 6.03.02/SilvaVoc Group. Hg. v. M. K. Dobbertin und R. Prüller. IUFRO Secretariat, Vienna (No. 14).

Hetemäki, Lauri; Hanewinkel, Marc; Muys, Bart; Aho, Esko (2017): Leading the way to a european circular bioeconomy strategy. European Forest Institute. Joensuu (From Science to Policy).

Hurmekoski, Elias; Jonsson, Ragnar; Korhonen, Jaana; Jänis, Janne; Mäkinen, Marko; Leskinen, Pekka; Hetemäki, Lauri (2018): Diversification of the forest industries: role of new wood-based products. In: *Can. J. For. Res.* 48 (12), S. 1417–1432. DOI: 10.1139/cjfr-2018-0116.

Jäger, Gerhard (2006): Morphologie und Syntax. Seminar zur Sprachwissenschaft. Tübingen.

Jarre, M.; Petit-Boix, A.; Priefer, C.; Meyer, R.; Leipold, S. (2020): Transforming the bio-based sector towards a circular economy - What can we learn from wood cascading? In: *Forest Policy and Economics* 110, S. 101872. DOI: 10.1016/j.forpol.2019.01.017.

Jonsson, Ragnar (2013): How to cope with changing demand conditions — The Swedish forest sector as a case study: an analysis of major drivers of change in the use of wood resources. In: *Can. J. For. Res.* 43 (4), S. 405–418. DOI: 10.1139/cjfr-2012-0139.

Jonsson, Ragnar; Rinaldi, Francesca; Pilli, Roberto; Fiorese, Giulia; Hurmekoski, Elias; Cazzaniga, Noemi et al. (2021): Boosting the EU forest-based bioeconomy: Market, climate, and employment impacts. In: *Technological Forecasting and Social Change* 163, S. 120478. DOI: 10.1016/j.techfore.2020.120478.

Joshi, Omkar; Grebner, Donald L.; Munn, Ian A.; Grado, Stephen C.; Grala, Robert K.; Hussain, Anwar (2014): Factors Influencing Utilization of Woody Biomass from Wood Processing Facilities in Mississippi. In: *Forest Products Journal* 64 (1-2), S. 64–71. DOI: 10.13073/FPJ-D-13-00066.

Juslin, H. (2007): Weitblick und Zuversicht in der Forschung. Helsinki, 2007. mündlich an U. Saal.

Kallio (Hg.) (2020): China-Europe Forest Bioeconomy: Assessment and Outlook. European Forest Institute (From Science to Policy, 11).

Kallio, A. Maarit I. (2021): Wood-based textile fibre market as part of the global forest-based bioeconomy. In: *Forest Policy and Economics* 123, S. 102364. DOI: 10.1016/j.forpol.2020.102364.

Kallio, A. Maarit I.; Schier, Franziska (2021): Editorial for the special issue “Towards the bioeconomy: The role of traditional and emerging products and supporting actions”. In: *Forest Policy and Economics* 131, S. 102573. DOI: 10.1016/j.forpol.2021.102573.

Kaltschmitt, M.; Hartmann, H.; Hofbauer, H. (2009): Energie aus Biomasse.

Kardung, Maximilian; Cingiz, Kutay; Costenoble, Ortwin; Delahaye, Roel; Heijman, Wim; Lovrić, Marko et al. (2021): Development of the Circular Bioeconomy: Drivers and Indicators. In: *Sustainability* 13 (1), S. 413. DOI: 10.3390/su13010413.

Kayo, Chihiro; Oka, Hiroyasu; Hashimoto, Seiji; Mizukami, Midori; Takagi, Shigesada (2015): Socioeconomic development and wood consumption. Springer. Online verfügbar unter <https://link.springer.com/article/10.1007/s10310-015-0481-6#citeas>, zuletzt aktualisiert am 06.04.2022, zuletzt geprüft am 06.04.2022.

Kim, Yeon-Su; Baral, Himlal; Rhee, Hakjun; Pagdee, Adcharaporn; Gautam, Ambika; Saxena, Alark (2022): Wood-based solutions for forests and people: An editorial to this Special Issue. In: *Trees, Forests and People* 8, S. 100256. DOI: 10.1016/j.tfp.2022.100256.

Köthke, Margret; Ahimbisibwe, Vianny; Lippe, Melvin (2022): The evidence base on the environmental, economic and social outcomes of agroforestry is patchy—An evidence review map. In: *Front. Environ. Sci.* 10, Artikel 925477. DOI: 10.3389/fenvs.2022.925477.

Krigstin, S.; Hayashi, K.; Tchórzewski, J.; Wetzal, S. (2012): Current inventory and modelling of sawmill residues in Eastern Canada. In: *The Forestry Chronicle* 88 (05), S. 626–635. DOI: 10.5558/tfc2012-116.

- Küdes (2002): Empfehlungen für die Terminologearbeit. Hg. v. Konferenz der Übersetzungsdienste europäischer Staaten, AG Terminologie und Dokumentation. Bern.
- Kunttu, Janni; Hurmekoski, Elias; Heräjärvi, Henrik; Hujala, Teppo; Leskinen, Pekka (2020): Preferable utilisation patterns of wood product industries' by-products in Finland. In: *Forest Policy and Economics* 110, S. 101946. DOI: 10.1016/j.forpol.2019.101946.
- Lenglet, Jonathan; Courtonne, Jean-Yves; Caurla, Sylvain (2017): Material flow analysis of the forest-wood supply chain: A consequential approach for log export policies in France. In: *Journal of Cleaner Production* 165, S. 1296–1305. DOI: 10.1016/j.jclepro.2017.07.177.
- Leo.org (2023): Online-Wörterbuch. Englisch-Deutsch. Online verfügbar unter [www.leo.org](http://www.leo.org), zuletzt aktualisiert am 21.02.2023.
- Lindner, Marcus; Karjalainen, Timo (2007): Carbon inventory methods and carbon mitigation potentials of forests in Europe: a short review of recent progress. In: *Eur J Forest Res* 126 (2), S. 149–156. DOI: 10.1007/s10342-006-0161-3.
- linguee.de (2023): Onlinewörterbuch. Englisch - Deutsch. Online verfügbar unter <https://www.linguee.de/>, zuletzt aktualisiert am 21.02.2023.
- Lohmann U, Blosen M. (Hg.) (2003): Holz-Lexikon. 4th edn. Leinfelden-Echterdingen: DRW-Verlag.
- Mantau, U. (2012a): Holzrohstoffbilanz Deutschland. Entwicklungen und Szenarien des Holzaufkommens und der Holzverwendung von 1987 bis 2015. Hamburg.
- Mantau, U. (2012b): Wood Flows in Europe (EU27). Project Report. Unter Mitarbeit von CEPI. Celle.
- Mantau, U. (2014): Wood flow analysis: Quantification of resource potentials, cascades and carbon effects. In: *Biomass and Bioenergy*. Online verfügbar unter <http://dx.doi.org/10.1016/j.biombioe.2014.08.013>.
- Mantau, U.; Bilitewski, B. (2010): Stoffstrom-Modell- Holz 2007. Rohstoffströme und CO<sub>2</sub>-Speicherung in der Holzverwendung. Forschungsbericht für das Kuratorium für Forschung und Technik des Verbandes der Deutschen Papierfabriken e.V. (VDP). Celle.
- Mantau, U.; Blanke, C. (2016): Status of cascading use in the EU. Study on the optimised cascading use of wood. Hg. v. Vis M., U. Mantau, B. Allen. Brussels (No 394/PP/ENT/RCH/14/7689).
- Mantau, U.; Hartig, A. (2003): STANDORTE der Holzwirtschaft. Aufkommen und Verwendung von Industrierestholz - ohne Sägenebenprodukte. Hg. v. Ordinariat für Weltforstwirtschaft Arbeitsbereich der Ökonomie der Holz- und Forstwirtschaft. Universität Hamburg.
- Mantau, U.; Hick, A. (2008): Standorte der Holzwirtschaft. Sägeindustrie - Einschnitt und Sägenebenprodukte. Universität Hamburg, Zentrum Holzwirtschaft Arbeitsbereich Ökonomie der Holz und Forstwirtschaft.
- Mantau, U.; Saal, U.; Prins, C.; Steierer, F.; Lindner, M.; Verkerk, P. J. et al. (2010): EUwood - Real potential for changes in growth and use of EU forests. Methodology report. Hamburg. Online verfügbar unter [http://ec.europa.eu/energy/renewables/studies/doc/bioenergy/euwood\\_final\\_report.pdf](http://ec.europa.eu/energy/renewables/studies/doc/bioenergy/euwood_final_report.pdf).

Mantau, U.; Wagner, J.; Baumann, J. (2005): Stoffstrommodell HOLZ. Bestimmung des Aufkommens, der Verwendung und des Verbleibs von Holzprodukten. In: *Müll und Abfall* (6), S. 309–315. Online verfügbar unter <https://doi.org/10.37307/j.1863-9763.2005.06.04>.

Mantau, Udo; Mayr, Marian; Döring, Przemko; Saal, Ulrike; Glasenapp, Sebastian; Blanke, Christian (2017): World Markets for Wood: Status and Prospects. In: Robert A. Meyers (Hg.): *Encyclopedia of Sustainability Science and Technology*. New York, NY: Springer New York, S. 1–27.

Mantau, Udo; Wong, Jennifer L.G.; Curl, Sherry (2007): Towards a Taxonomy of Forest Goods and Services. In: *Small-scale Forestry* (6), S. 391–409. Online verfügbar unter DOI 10.1007/s11842-007-9033-z.

Marques, Alexandra; Cunha, Jorge; De Meyer Annelies; Navare, Kranti (2020): Contribution Towards a Comprehensive Methodology for Wood-Based Biomass Material Flow Analysis in a Circular Economy Setting. In: *forests* 11 (1). Online verfügbar unter <https://doi.org/10.3390/f11010106>.

Marxt, Christian; Hacklin, Frederik (2005): Design, product development, innovation; all the same in the end? A short discussion on terminology. In: *Journal of Engineering Design* 16 (4), S. 413–421, zuletzt geprüft am 14.01.2013.

Matthes, R. (1992): Hermeneutisch-klassifikatorische Inhaltsanalyse von Leitfadengesprächen: über das Verhältnis von quantitativen und qualitativen Verfahren der Textanalyse und die Möglichkeit ihrer Kombination. In: *Analyse verbaler Daten : über den Umgang mit qualitativen Daten*. Hg. v. J.H.P. Hoffmeyer-Zlotnik. Opladen: Westdt. Verl. Online verfügbar unter <https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:0168-ss0ar-25824>.

Mayer, F.; Seewald-Heeg, U. (Hg.) (2009): Terminologie- management. Von der Theorie zur Praxis. Terminologielehre und Terminologiemanagement. Unter Mitarbeit von F. Mayer: Bundesverband der Dolmetscher und Übersetzer e.V. (BDÜ).

Mayring, P. (2010): *Qualitative Inhaltsanalyse. Grundlagen und Techniken*. 11., aktualisierte und überarb. Aufl. Weinheim: Beltz.

Mayring, P. (2011): Workshop Qualitative und quantitative Textanalyse in den Sozialwissenschaften. Vortrag und Workshop auf der 10. Tagung der Fachgruppe Methoden und Evaluation der DGPs. Universität Bamberg, 20.09.2011. Online verfügbar unter [https://www.uni-bamberg.de/fileadmin/psymethodenbf/Mayring\\_Workshop.pdf](https://www.uni-bamberg.de/fileadmin/psymethodenbf/Mayring_Workshop.pdf).

Mazeika Bilbao, A.; Carrano, A. L.; Hewitt, M.; Thorn, B. K. (2011): On the environmental impacts of pallet management operations. In: *Management Research Review* 34 (11), S. 1222–1236. DOI: 10.1108/01409171111178765.

McKeever, D. B.; Falk, R. H. (2004): WOODY RESIDUES AND SOLID WASTE WOOD AVAILABLE FOR RECOVERY IN THE UNITED STATES, 2002. Proceedings: MANAGEMENT OF RECOVERED WOOD RECYCLING, BIOENERGY AND. Hg. v. C. Gallis.

McKeever, Falk (1998): WOOD RESIDUAL QUANTITIES IN THE UNITED STATES. Taking Inventory. In: *BioCycle* 39 (1), S. 65–68.

Meier, Eva (2014): Nachhaltigkeitsbewertung. - Logical Framework Ansatz zur kontextbezogenen Operationalisierung von Nachhaltigkeit auf Basis gesellschaftlicher Nachhaltigkeitskonzepte.

Dissertation. Universität Hamburg, Hamburg. Zentrum Holzwirtschaft Arbeitsbereich Ökonomie der Holz und Forstwirtschaft.

Morland, Christian; Schier, Franziska (2020): Modelling Bioeconomy Scenario Pathways for the Forest Products Markets with Emerging Lignocellulosic Products. In: *Sustainability* 12 (24), S. 10540. DOI: 10.3390/su122410540.

Nock, H. P.; Stegmann, G. (1979): Potential von Holzabfällen der Holzindustrie in der Bundesrepublik Deutschland. In: *Forstarchiv* 50 (1), S. 1–8.

OECD (2008): MEASURING MATERIAL FLOWS AND RESOURCE PRODUCTIVITY. Synthesis Report. OECD. Online verfügbar unter <https://www.oecd.org/env/indicators-modelling-outlooks/MFA-Synthesis.pdf>, zuletzt geprüft am 28.02.2023.

OED (2015): Oxford English Dictionary. Online verfügbar unter <http://www.oed.com/>, checked on 10/13/2015.

Parikka, M. (2004): Global biomass fuel resources. In: *Biomass and Bioenergy* 27 (6), S. 613–620. DOI: 10.1016/j.biombioe.2003.07.005.

Parobek, Ján; Paluš, Hubert; Kaputa, Vladislav; Šupín, Mikuláš (2014): Analysis of Wood Flows in Slovakia. In: *BioResources* 9 (4). DOI: 10.15376/biores.9.4.6453-6462.

Perlack, R. D.; Wright, L. L.; Turhollow, A. F.; Graham, R. L.; Stokes, B. J.; Erbach, D. C. (2005): Biomass as Feedstock for A Bioenergy and Bioproducts Industry. The Technical Feasibility of a Billion-Ton Annual Supply. Online verfügbar unter [https://www1.eere.energy.gov/bioenergy/pdfs/final\\_billionton\\_vision\\_report2.pdf](https://www1.eere.energy.gov/bioenergy/pdfs/final_billionton_vision_report2.pdf).

Petrokofsky, Gillian; Richards, Barbara; Bruun de Neergaard, Niels (2004): A collaborative Approach to Developing a Multilingual Forestry Thesaurus. Hg. v. Konijnendijk, C.C., Schipperijn, J. und K. C. Johyer. IUFRO. Wien (Forestry Serving Urbanised Societies).

Philip, A. S. K. (2010): Environmental analysis of pallets using life cycle analysis and multi-objective dynamic programming. Master Thesis. Pennsylvania State University. College of Engineering. Online verfügbar unter [https://etda.libraries.psu.edu/files/final\\_submissions/538](https://etda.libraries.psu.edu/files/final_submissions/538), checked on 5/17/2019.

Pulitano, Donatella (2010): Terminologische Grundsätze und Methoden. Wie viel Theorie verträgt die Praxis? DTT Best Practises. DTT-Symposium. Staatskanzlei des Kantons Bern - Universität Genf. Heidelberg, 2010.

Reina, Rocío; Kellner, Harald; Jehmlich, Nico; Ullrich, René; García-Romera, Inmaculada; Aranda, Elisabet; Liers, Christiane (2014): Differences in the secretion pattern of oxidoreductases from *Bjerkandera adusta* induced by a phenolic olive mill extract. In: *Fungal genetics and biology : FG & B* 72, S. 99–105. DOI: 10.1016/j.fgb.2014.07.009.

Ronzon, Tévécia; Iost, Susanne; Philippidis, George (2022): Has the European Union entered a bioeconomy transition? Combining an output-based approach with a shift-share analysis. In: *Environ Dev Sustain*. DOI: 10.1007/s10668-021-01780-8.

Saal, U. (2010): Industrial wood residues. in: EUwood - Real potential for changes in growth and use of EU forests. Methodology report. Hamburg/Germany. Online verfügbar unter [http://ec.europa.eu/energy/renewables/studies/doc/bioenergy/euwood\\_final\\_report.pdf](http://ec.europa.eu/energy/renewables/studies/doc/bioenergy/euwood_final_report.pdf).

- Saal, U. (2019): Terminology of wood processing residues - No data without wording. Scientific Poster Presentation WOOD – SCIENCE – ECONOMY. Thuenen Institute; Universität Hamburg, Zentrum Holzwirtschaft Arbeitsbereich Ökonomie der Holz und Forstwirtschaft. Online verfügbar unter [https://www.researchgate.net/publication/354438602\\_Terminology\\_of\\_wood\\_processing\\_residues\\_-\\_No\\_data\\_without\\_wording](https://www.researchgate.net/publication/354438602_Terminology_of_wood_processing_residues_-_No_data_without_wording).
- Saal, U.; Iost, S.; Weimar, H. (2022): Supply of wood processing residues – a basic calculation approach and its application on the example of wood packaging. In: *Trees, Forests and People* (7). DOI: 10.1016/j.tfp.2022.100199.
- Saal, Ulrike; Weimar, Holger; Mantau, Udo (2017): Wood Processing Residues. In: *Advances in biochemical engineering/biotechnology* 166, S. 27–41. DOI: 10.1007/10\_2016\_69.
- Sauberer, Gabriele (2011): There Is No Knowledge Without Terminology. How Terminological Methods and Tools Can Help to Manage Monolingual and Multilingual Knowledge and Communication.
- Schmitz, K.-D.; Kaukonen, S. (2006): Terminologearbeit und Terminologierecherche. Köln.
- Schmitz, N.; Iost, S.; Jochem, D.; Polley, H.; Rüter, S.; Weimar, H. et al. (2022): Charta für Holz 2.0 – Kennzahlenbericht 2021 Forst & Holz. Hg. v. FNR.
- Scholtes, Rick; Jansen, Kamiel (2014): Vergelijkend LCA onderzoek houten en kunststof pallets. Hg. v. Nederlands Instituut voor Bouwbiologie en Ecologie (NIBE).
- Schwarzbauer, Peter; Stern, Tobias (2010): Energy vs. material: Economic impacts of a “wood-for-energy scenario” on the forest-based sector in Austria — A simulation approach. In: *Forest Policy and Economics* 12 (1), S. 31–38. DOI: 10.1016/j.forpol.2009.09.004.
- Sörgel, C. (2006): Die Struktur des Altholzmarktes unter besonderer Berücksichtigung des Anfalls von Industrierestholz. Diplomarbeit. Universität Hamburg, Hamburg. Zentrum Holzwirtschaft Arbeitsbereich Ökonomie der Holz und Forstwirtschaft.
- Sörgel, C.; Mantau, U.; Weimar, H. (2006): Standorte der Holzwirtschaft. Aufkommen von Sägenebenprodukten und Hobelspänen. Universität Hamburg, Zentrum Holzwirtschaft Arbeitsbereich Ökonomie der Holz und Forstwirtschaft. Hamburg.
- Statistisches Bundesamt (Destatis) (2020): Abfallbilanz (Abfallaufkommen/-verbleib, Abfallintensität, Abfallaufkommen nach Wirtschaftszweigen - 2020. Online verfügbar unter [https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Umwelt/Abfallwirtschaft/Publikationen/Downloads-Abfallwirtschaft/abfallbilanz-pdf-5321001.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Umwelt/Abfallwirtschaft/Publikationen/Downloads-Abfallwirtschaft/abfallbilanz-pdf-5321001.pdf?__blob=publicationFile), zuletzt geprüft am 05.02.2023.
- Steele, P. H. (1984): Factors Determining Lumber Recovery in Sawmilling. General Technical report - 39. USDA Forest Service.
- Steele, P. H.; WAGNER, F. G.; LIN, Y. N.; SKOG, K. E. (1991): Influence of softwood sawmill size on lumber recovery. In: *Forest Products Journal* 41 ((4)).
- Stegmann, Paul; Londo, Marc; Junginger, Martin (2020): The circular bioeconomy: Its elements and role in European bioeconomy clusters. In: *Resources, Conservation & Recycling: X* 6, S. 100029. DOI: 10.1016/j.rcrx.2019.100029.

Stephany, Ursula (1982): Inflectional and Lexical Morphology - a Linguistic Continuum. In: *Glossologia* (1), S. 27–55.

Strömquist, Liv (2017): *Der Ursprung der Welt*. Graphic Novel. Berlin: Avant Verlag, zuletzt geprüft am 03.02.2023.

Synek, Michael (2017): Forest Products Classification and Definitions. New Proposal. Forest Products Statistics. Team of Specialists on FPM. UNECE/FAO, 28.03.2017. Online verfügbar unter <https://unece.org/fileadmin/DAM/timber/meetings/20170328/ToSFPS28-03-2017-synek.pdf>, zuletzt geprüft am 18.01.2023.

Szichta, Pia; Risse, Michael; Weber-Blaschke, Gabriele; Richter, Klaus (2022): Potentials for wood cascading: A model for the prediction of the recovery of timber in Germany. In: *Resources, Conservation and Recycling* 178, S. 106101. DOI: 10.1016/j.resconrec.2021.106101.

Szostak, A.; Ratajczak, E.; Bidzińska, G.; Gałęcka, A. (2004): Rynek przemysłowych odpadów drzewnych w Polsce. (The industrial wood residues market in Poland). In: *Drewno – Wood* (Vol. 47, Nr.172), S. 69–89.

Tandetzki, Julia; Schier, Franziska; Köthke, Margret; Weimar, Holger (2022): An evidence and gap map of the environmental Kuznets curve and the forest transition hypothesis for estimating forest area development. In: *Environ. Res. Lett.* 17 (12), S. 123005. DOI: 10.1088/1748-9326/aca781.

Tatàno, Fabio; Barbadoro, Luca; Mangani, Giovanna; Pretelli, Silvia; Tombari, Lucia; Mangani, Filippo (2009): Furniture wood wastes: experimental property characterisation and burning tests. In: *Waste management (New York, N.Y.)* 29 (10), S. 2656–2665. DOI: 10.1016/j.wasman.2009.06.012.

Temmermann, Rita (2000): *Towards New Ways of Terminology Description. The Sociocognitive-Approach*. Amsterdam/ Philadelphia: John Benjamins Publishing Company.

Thivolle-Cazat, A.; Le Net, E.; Labalette, F.; Marsac, S. (2013): Biomass Assessment: A Question of Method and Expertise. In: *Oil & Gas Science and Technology - Rev. IFP Energies Nouvelles* 68 (4), S. 633–649. DOI: 10.2516/ogst/2013141.

Thrän, D.; Bunzel, K.; Seyfert, U.; Zeller, V.; Buchhorn, M.; Müller, K. et al. (2011): *Global and Regional Spatial Distribution of Biomass Potentials. Status quo and options for specification*. DBFZ Report Nr. 7. Online verfügbar unter [https://www.dbfz.de/fileadmin/user\\_upload/DBFZ\\_Reports/DBFZ\\_Report\\_7.pdf](https://www.dbfz.de/fileadmin/user_upload/DBFZ_Reports/DBFZ_Report_7.pdf).

UBA (2023): *Restholz – SNS UMTHES*. Online verfügbar unter [https://sns.uba.de/umthes/de/concepts/\\_00012853.html](https://sns.uba.de/umthes/de/concepts/_00012853.html), zuletzt aktualisiert am 22.03.2023, zuletzt geprüft am 22.03.2023.

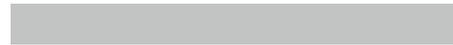
UNECE/FAO (2011): *The European Forest Sector Outlook Study II 2010 - 2030*. Unter Mitarbeit von R. Jonsson, A. Baudin, P. J. Verkerk, M.-J. Scheelhaas, A. Moiseyev, U. Mantau et al. Hg. v. UNECE/FAO Forestry and Timber Section. United Nations Economic Commission for Europe. Geneva, Switzerland. Online verfügbar unter <https://unece.org/DAM/timber/publications/sp-28.pdf>, zuletzt geprüft am 05.02.2023.

Ungerer, Friedrich; Schmid, Hans-Jörg (1998): Englische Komposita und Kategorisierung. In: *Rostocker Beiträge zur Sprachwissenschaft* (5), S. 77–98.

- United Nations (2015): Transforming our World. The 2030 Agenda for Sustainable Development. Online verfügbar unter <https://sdgs.un.org/sites/default/files/publications/21252030%20Agenda%20for%20Sustainable%20Development%20web.pdf>, zuletzt geprüft am 23.02.2022.
- Vis, M.; Mantau, U.; Allen, B. (2016): Study on the optimised cascading of wood. Hg. v. M. Vis, U. Mantau und B. Allen. European Commission Luxembourg. Online verfügbar unter doi: 10.2873/827106.
- Wade, M. W.; Bullard, S. H.; Steele, P. H.; Araman, P. A. (1992): Estimating hardwood sawmill conversion efficiency based on sawing machine and log characteristics. In: *Forest Products Journal* 42, 21-26.
- Wartluft, J. L. (1976): A suggested Glossary of terms and Standards for measuring wood and bark mill residues. In: *USDA Forest Service Research Note* (NE-127).
- Wegener, G. (1982): Die Rolle des holzes als Chemierohstoff und Energieträger. Teil 3: Wirtschaftliche Aspekte und Rohstoffpotenzial. In: *Holz als Roh- und Werkstoff* (40), S. 241–245.
- Weimar, Holger (2011): Der Holzfluss in der Bundesrepublik Deutschland 2009 : Methode und Ergebnis der Modellierung des Stoffflusses von Holz. Online verfügbar unter [https://literatur.thuenen.de/digbib\\_extern/bitv/dn049777.pdf](https://literatur.thuenen.de/digbib_extern/bitv/dn049777.pdf), zuletzt geprüft am 28.02.2023.
- Wüster, Eugen (1991): Einführung in die allgemeine Terminologielehre und Terminologische Lexikographie. Mit einem Vorw. von Richard Baum - 3. Auflage. Abhandlungen zur Sprache und Literatur ; 20. Bonn: Romanistischer Verlag.
- Yang, P.; Jenkins, B. M. (2008): Wood residues from sawmills in California. In: *Biomass and Bioenergy* 32 (2), S. 101–108. DOI: 10.1016/j.biombioe.2007.09.001.

## Anhang - Wissenschaftliche Beiträge zur kumulativen Dissertation

Saal U, Weimar H, Mantau U (2017) Wood processing residues, In: Advances in biochemical engineering/biotechnology 166, S. 27–41, DOI: 10.1007/10\_2016\_69



# Wood Processing Residues

Ulrike Saal, Holger Weimar, and Udo Mantau

**Abstract** Rising demand for and scarcity of wood – together with cost savings and resource efficiency requirements – have led to a constant increase in the use of wood processing residues, where appropriate, in the production of wood-based products. This chapter presents/reviews the available information and existing knowledge of residues at various regional levels. It describes the segment of wood processing residues as an important wood resource and the availability of data on a national and on a global level for the quantification and the projection of the resource. The chapter points out the importance of empirical data (collection). Furthermore, it provides a terminology concept for a harmonised use of the diverse assortments and production stages of wood processing residues.

**Keywords** Assortments of wood-based residues, Data availability, Forest industry branches, Terminology of wood-based residues, Wood resource assessment

## Contents

- 1 Introduction
- 2 Literature Review, Terminology and Definitions
  - 2.1 Literature Review
  - 2.2 Terminology and Definition
- 3 Supply of Wood-Based Residues: On Three Regional Levels
  - 3.1 Germany
  - 3.2 Europe
  - 3.3 Global Data

---

U. Saal (✉) and U. Mantau  
Centre of Wood Science, University of Hamburg, Leuschnerstrasse 91, 21031 Hamburg, Germany  
e-mail: [ulrike.saal@uni-hamburg.de](mailto:ulrike.saal@uni-hamburg.de)

H. Weimar  
Thünen Institute of International Forestry and Forest Economics, Leuschnerstrasse 91, 21031 Hamburg, Germany

## 1 Introduction

Looking at the long-term trend, the demand for wood has constantly increased over the last few decades. On the one hand this is driven by a constantly increasing demand for wood-based products and, on the other, by increased demand for wood for energy purposes. Besides traditional users of wood resources, new competitors also influence the demand for wood. The chemical industry is likely to increase the use of woody biomass for biotechnological purposes and biorefinery of wood. Consequently, the demand for wood as a raw material is also rising in parallel with the demand for (its) related products.

Basically, the demand was largely fulfilled by a rising supply of roundwood, driven by increased fellings in forests. However, given the material structure of wood as a raw material, wood-based residues which accrue during the different steps of wood processing are also suitable for further material and energetic uses.

Rising demand and scarcity of wood – and also cost savings and resource efficiency – have led to a constant increase in the use of wood processing residues, where appropriate, in the production of wood-based products. For example, the development of particle board has its origin in technological investments for a more efficient use of the available quantities of wood processing residues. This resource originates from, for example, sawmills, planing mills or the furniture industry, and would otherwise have been disposed of as waste.

It should be noted that the increase of the material use of wood processing residues moved forwards in parallel with technological developments in the panel board industry and, to a certain extent, in the pulp industry. The material use of waste wood for particle board production is also strongly related to the scarcity of available fresh wood fibres and further possibilities to reduce costs of raw material.

In fact, in many countries the use of wood processing residues for different purposes is a necessity, given the limited availability of the raw material and the cost of fresh fibres/roundwood. In this regard, recent developments should also be noticed in the chemical industry which uses wood for biotechnological and biorefinery purposes.

However, knowledge of the market structure, concerning supply and demand of wood processing residues, is surprisingly low. It seems as if the official national statistical systems of data gathering throughout the world are only focusing on the main resource flow, as long as it can be called a product. However, if there is a supply of (wood) raw material that originally is a residue from the production of a specific (wood-based) product, there is nearly no statistical interest in the recording and surveying of these quantities. Anyhow, in any case, wood processing residues are valuable raw materials which achieve revenue if sold on the market.

So far, knowledge and information concerning available quantities of wood processing residues (i.e. available on the market) and the different kinds of

assortments of wood processing residues (available) in use are not easily at hand. It is therefore the objective of this analysis to unveil these questions: what are wood processing residues, what are the different assortments and sources and which quantities are supplied? It shows the importance of empirical research and field data to answer (the question and) the demand for detailed wood resource information.

Hence, the objective of this chapter is to review available information and existing knowledge regarding the resource of wood processing residues, its origins and available supply within the structure of forest industry. Existing research results and previous literature on biomass potentials on a European and on a global scale are compared. The chapter is intended to differentiate from common biomass potential studies. It is not our objective to show potentials of the resource but to give an overview of existing data and quantities based on modelling. Because modelling is used, based on empirical research results, the German wood resource monitoring project is presented as (so far unique) periodic empirical research on supply and use of wood resources, including wood processing residues.

The chapter is structured as follows. In Sect. 2 we present results of our review of the existing literature in this regard and provide an introduction to the terminology and a definition of wood processing residues. Section 3 focuses on the analysis of existing information and data on the supply of wood processing residues. This is done on three different regional levels: we first give insight to the research which has been conducted in this regard in Germany, we then present the available knowledge gathered on a European level and finally present our results on a global level. Section 4 concludes the chapter with a discussion.

## **2 Literature Review, Terminology and Definitions**

### ***2.1 Literature Review***

Current research on biomass resources cannot be imagined without the assessment of wood processing residues. Various studies were published in the last few years, presenting global, European or regional biomass and bio-energy potentials, either for the current situation or for future scenarios. Agricultural and forest biomass are the specific focussed resources. Resource assessment of forest biomass often includes residues from the wood industry. However, this particular segment is not well-differentiated in the literature and overall energy potentials do not give respective resource information. Moreover, because of missing harmonised terminology and units, data are not comparable between regions and countries.

Volumes of wood processing residues represent a significant share of woody biomass. However, existing literature rather focuses on theoretical forest biomass quantities. Most of the studies on potential biomass supply present scenario-based results, such as, for example, [1, 2]. Available studies on wood biomass potential mostly summarise available volumes of wood biomass other than forest biomass without introducing further assessment approaches. In addition, information and

data on wood processing residue volumes are still rare. The segment of wood processing residues is not covered as comprehensively as required by official statistics and the empirical research is exceptional. So far, the available results from some countries are only based on modelling. A first approach to assessing and modelling volumes of wood processing on a broader level (e.g. EU27) was adopted by applying the wood resource balance for European countries [3–5].

The literature on wood biomass potentials differs considerably on methodological approaches, applied scenarios, references and data units. Particular results on volumes of wood processing residues are either subordinate or mixed with volumes of forest residues. Global estimates of global fuel resources, mainly related to forest resources, are available, for example, from Parikka [6]. Smeets and Faaij [2] provide results based on a literature review and general estimation of wood processing residues by using a share of 50% of the total forest industry production. Another study on a global level is presented by Thrän et al. [7] on spatial distribution of biomass potentials based on FAO data from 64 countries. Estimates of woody biomass potential, in particular shares of wood processing residue (with a 25% share of felled wood) potentials on European level are given by Ericsson and Nilsson [1] based on rough approximation.

A study by Alderman et al. [8] investigated the available volume of wood processing residues in Virginia (USA) on the basis of company surveys and product statistics nomenclature. A study by Szostak et al. [9] on the industrial wood residue market in Poland, based on a survey in the Polish forest industry, provides differentiated results on wood processing residues in combination with country statistics. In Germany, various studies based on mail surveys have been conducted within the wood resource monitoring. Results of the EUwood study [3] on the segment of wood processing residues are based on modelling and data of the above-mentioned empirical studies in the context of the German resource monitoring project (for detailed information see Sect. 3.1). Modelling volumes of wood processing residues (on a resource-based level) is based on data of material balance and specific conversion factors. The material balance of a wood product is described by the input of the initial raw material (roundwood, sawnwood, wood-based panels) and the output of the final product (compare [10]). However, reliable data on material balance and conversion factors can only be provided based on empirical research.

In contrast to this, the segment of sawmill residues is analysed in more detail [11–14]. Studies on material recovery within the sawmill industry were conducted mainly for North America. They provide information on sawmill residues as side information. The focus of most of these studies, however, lies on the increased lumber/sawnwood output and production efficiency.

The low number of available assessment studies compared to studies mainly focusing on biomass potential, which do not further differentiate into possible assortments, shows the importance of empirical research for comprehensive results given by primary data collection. National and international statistical databases are already quite well-set with data: Eurostat and FAO provide international statistics on the main sectors of the forest industry. However, encompassing wood resources supply and demand at a sufficient level of detail is not possible for reasons of imprecise terminology and, hence, definition of the resource.

## 2.2 Terminology and Definition

So far, terminology and definition for wood processing residues is neither definite nor well-harmonised. As results of volumes on wood processing residues differ in the literature [15], so do terms on residual woody biomass [16]. A broad variety of terms is used in the literature as regards the segment of residual woody biomass from industrial processes. Terminology describing the assortment of residues from roundwood production and further processing of wood products is inconsistent. For the most part, the resource of wood processing residues appears in the literature with similar features but it can also be confused with forest residues or waste wood. On the other hand, existing terminology summarises the whole resource of wood processing residues and does not clearly differentiate between its particular assortments such as sawmill residues and other wood processing residues or pulp production residues, which should be done because of the large differences in shares and the quantification of the different volumes.

The estimation of volumes of wood processing residues in particular needs prior common definition of the following relevant terms:

*Residue*: an inevitable remainder of any production process. The term does not imply any valuation or category of desired or undesired. It has to be differentiated from waste.

*Waste*: an unserviceable remainder of any production process. It is considered as useless and unsalable [17].

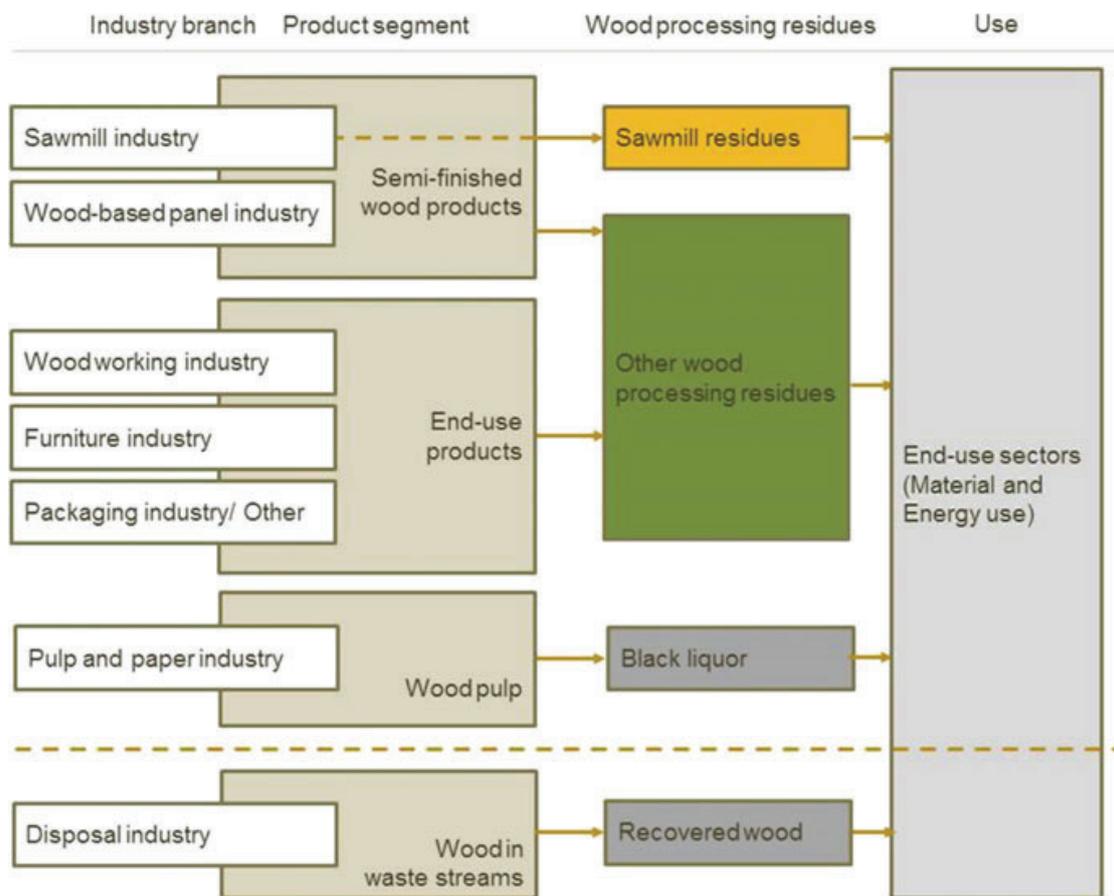
Moreover, the terminology and definition of wood processing residues should be differentiated according to their derivation. Residues are derived from production processes. In comparison to that, by-products receive a market value and product features from the markets' resource demands.

Wood processing residues accumulate during all mechanical and chemical production processes in the forest industry. The resource has to be differentiated from forest residues and waste wood. For a long time, wood processing residues were considered to be waste or remnant biomass without further use. After the demand for woody biomass for energy use started growing as well, wood processing residues, especially sawmill residues, became a by-product with competitive product features [18]. The resource comprises residues from sawmilling, residues from other wood processing activities and black liquor as the residue from the pulping process. In this context, bark is not considered as an assortment wood processing residue. Bark accumulates before the actual wood processing (debarking prior to, e.g. sawing or pulping process). As regards its characteristics, bark is not comparable to wood fibre and the use of residual woody biomass. However, in terms of wood resource supply, bark volume is considered as a forest resource [19] of, for example, 50.9 million m<sup>3</sup> in the EU27 [20].

Forest products definitions of the FAO cover data on the resource of wood processing residues by differentiating in two assortments: (1) wood chips and particles and (2) wood residues [21]. The application of the terms is difficult because of ambiguous meanings and application by third parties. The segments of

wood processing residues consist of different assortments (chips, slabs, dust, edgings, trims, cores). The two terms cannot be easily allocated to a corresponding segment with more than two different assortments. Forest industry production is very highly differentiated, and so are the assortments of residues (see Fig. 1). The volume of wood processing residues in this chapter is provided in cubic metre solid wood equivalent ( $\text{m}^3$  swe). In general, assortments of wood and wood processing residues are dealt with and measured in different units (e.g. bulk volume, solid volume, tonnes). To assess total supply of, for example, wood processing residues and to comprise assortments of different units in the wood resource balance (see, e.g. [3]), all units are converted into cubic meter solid wood equivalents ( $\text{m}^3$  swe) so that data can be compared with, for example, statistics on removals. Conversion factors depend on the wood specific gravity. Thus, the conversion factor for  $1 \text{ m}^3$  solid wood into tonnes dry matter can vary between  $0.48 \text{ tonnes/m}^3$  for and  $0.55 \text{ tonnes/m}^3$  for the different assortments [19]. According to Mantau [19] the average of  $0.5 \text{ tonnes/m}^3$  is a good approximation. The results of our analysis in Sect. 3 are provided in both units, cubic meter solid wood equivalent and in tonnes dry matter.

Figure 1 gives an overview of forest industry branches, forest product segments, the three considered segments of wood processing residues, the end-use sectors and



**Fig. 1** Scheme of the forest industry sector and wood processing residues. Source: based on Saal [5]

the disposal industry as the sector which recovers wood from waste streams. It displays the context of the common forest industry production processes and production output (e.g. sawmill industry producer of semi-finished wood products and sawmill residues).

In the following, the particular segments of wood processing residues and their assortments are explained based on the origin of the resource.

Semi-finished wood products are produced within the sawmill industry and wood-based panel industry. They cover all sawnwood products and wood-based panels.

Sawmill residues inevitably accumulate as a side yield during production of sawnwood within the sawmill industry. The main assortments of sawmill residues are chips, sawdust and slabs. Cross-cut ends, edgings and trimmings are additional residues of sawnwood production. Sawmill residues consist of primary wood fibre. The assortments are a homogenous wood resource of constant dimensions and quality [22]. They are desirable for the production of pulp and wood-based panels and energy products, such as pellets.

Other wood processing residues (other than sawmill residues) accumulate during the production of wood-based panels, such as particle board, different fibreboard products, plywood and veneer. Residue assortments are shavings, veneer rejects and peeler cores, trimmings and edgings, wood dust and chips. Most of the residues are of fresh fibre, although wood processing residues of some fibre board products are an exception. Because of fillers and additives, these other wood processing residues do not consist exclusively of primary wood fibre.

Further amounts of other wood processing residues result from the manufacture of finished products. They cover all wooden products made of semi-finished wood products, such as furniture, packaging and applications in construction (e.g. engineered wood products). Wood processing residues which accumulate during the further processing of semi-finished wood products have to be clearly separated from sawmill residues and wood processing residues of primary fibre. Wood residues from further processing to finished products are residues such as dust and shavings from planning, milling and drilling as well as trims and clippings.

There is a huge variety of output shares of wood processing residues as it largely depends on the type of manufacturing process and the kind of wood product used as input to the respective production process. For example, sawmill residue shares range from 35% to 45% depending on wood species, log dimensions and technical processing parameters [10, 23–25]. Shares of wood processing residues from wood-based panel production also differ. Production of, for example, fibre boards or oriented strand board yields shares of 4–12% of wood processing residues. Production of, for example, plywood and veneer results in higher shares (45%) of wood processing residues because of lower material efficiency [26].

Black liquor is the residue of the pulping process within the pulp and paper industry. The residual mass mainly consists of lignin and hemicelluloses, cooking chemicals and water which are used to extract wood fibre. Approximately 40–50% of the input wood raw material is recovered as further usable fibre in the chemical pulping processes ([27], p. 38). So far, black liquor does not appear on resource

markets but is almost entirely used for industries' internal energy generation [28]. However, because of increasing demand for lignocellulosic resources, black liquor volumes are considered to be possible future chemical resources [19].

Recovered wood, also referred to as waste wood or post-consumer wood, is wood or wood products that have been disposed after a first use or after end use. It consists of wood from packaging materials, wood from construction or demolitions sites or wood which can be recovered from municipal waste (e.g. used furniture). Parts of recovered wood also originate from manufacturers of wood-based products which dispose of wood processing residues at waste management companies (e.g. [29–32]).

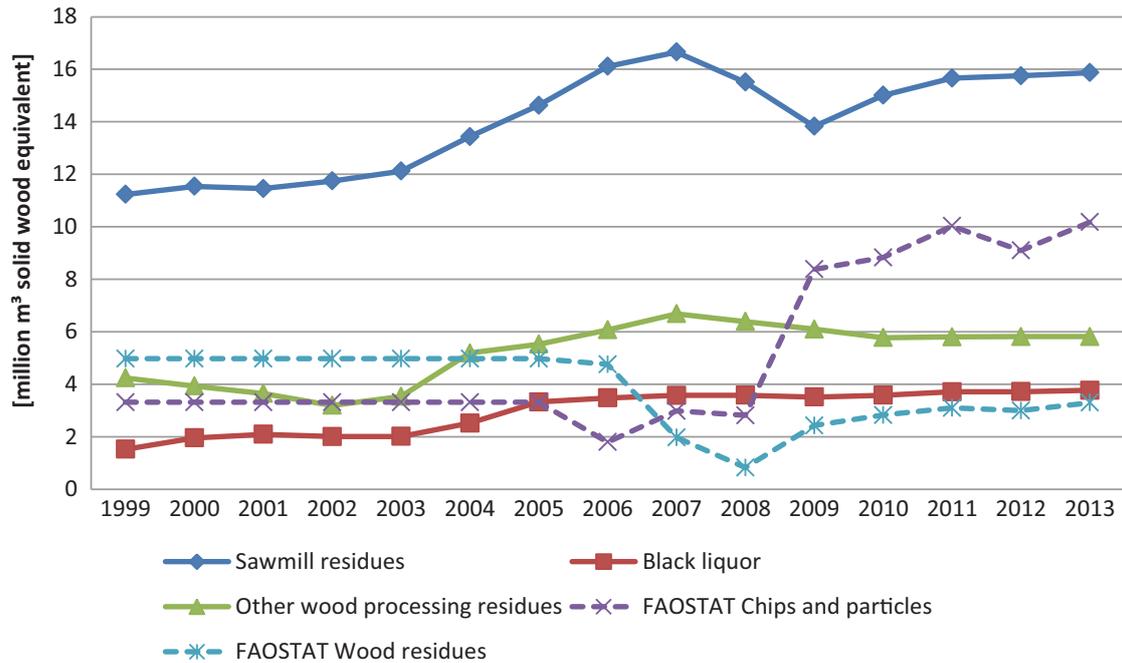
### **3 Supply of Wood-Based Residues: On Three Regional Levels**

This section focuses on the analysis of existing information and data on the supply of wood processing residues. This is done on three different regional levels: first, results of wood resource monitoring research conducted in Germany is presented and compared with results of (modelling data EUwood) and available statistical data from FAO. Subsequently analysis of available data on a European and on a global level are undertaken.

#### **3.1 Germany**

The wood resource monitoring project in Germany has been continuously assessing the supply and demand of wood raw materials in the forest industry since 1999. This periodic research based on empirical surveys allows one to display the development of wood resource availability and wood flows within the forest industry. Additional information is achieved for balancing wood resources and information on conversion factors. This assessment requires comprehensive data sets. Some data are provided from national statistics. However, many parts are recorded insufficiently. Detailed information on particular wood consumers is not covered by official statistics or is only underestimated because of statistical cut off thresholds (e.g. [20, 33]). Volumes of wood processing residues are also not covered by official statistics. Based on detailed surveys on the wood resource input of the respective industry branches, the segments of sawmill residues and other wood processing residues from wood-based panel production and further processing are analysed. Thus, surveys are designed to gather information on internal and external distribution of wood processing residues. This allows one to describe the resource mix of wood biomass consumers and thus material flows. Figure 2 shows the

## Wood Processing Residues



**Fig. 2** Development of particular assortments of wood processing residues. Source: [19, 21]

development of the different assortments of wood processing residues in Germany. For comparison, data from FAO are also shown.

It can be seen from the graphs that, by volume, wood processing residues are an important source of wood supply in Germany. Data given by FAO differ considerably. On the other hand, because of different compositions of the assortments (1) chips and particles and (2) wood residues, the development of residue volumes can only be compared based on total volumes.

Table 1 presents current data on wood resources and wood use in Germany. Results of the latest resource monitoring of the German forest industry (2010) are shown in comparison to the resource potential calculated within the EUwood study [3] and available data by FAO for 2010.

As can be seen in Fig. 2 as well as in Table 1, data gathered by wood resource monitoring, based on empirical research, are significantly higher than data provided in international databases. A systematic underestimation of available volumes in FAO can be stated.

### 3.2 Europe

As described in Sect. 2.1, comparable assessment studies of wood processing residue volumes on national and European scale studies are rare. Thus, quantification of (potential) supply of wood processing residue volumes is based on modelling. Wood resource modelling depends on comprehensive datasets and feasible default values, such as material balance, industry consumption and size classes and

**Table 1** Comparison of data on wood processing residues and post-consumer wood in Germany, 2010

Assortments	Resource monitoring 2010 Mantau [19] (million m <sup>3</sup> )	EUwood, potential for 2010 Mantau et al. [3] (million m <sup>3</sup> )	FAO, 2010 (FAO 2015) (million m <sup>3</sup> )	
Sawmill residues	14.4	13.8		
of which chips	9.1 <sup>a</sup>	8.9 <sup>b</sup>	8.8	Wood chips and particles
Other wood processing residues	5.8	6.9	2.8	Wood residues
Black liquor	3.6	3.6		
Post-consumer wood	14.0	8.7		
Total (assessed)	23.8	24.3	11.6	Total
<i>Total (incl. post- consumer wood)</i>	37.8	33.0		
Total in tonnes dry matter [t <sub>dm</sub> ]	11.4	11.2	5.5	
<i>Total (incl. post- consumer wood) [t<sub>dm</sub>]</i>	17.8	15.5		

Volumes in million m<sup>3</sup> solid wood equivalent

Total volume given in tonnes dry matter [t<sub>dm</sub>] are based on the conversion factor of 0.47 t<sub>dm</sub>/m<sup>3</sup> solid wood equivalent

Source: [3, 5, 19, 21, 23]

<sup>a</sup>Döring and Mantau [23]

<sup>b</sup>Calculations based on Saal [5]

particular coefficients. This information is not covered by official statistics and only partly available for some countries. As shown in Sect. 2.2, data by FAO on wood chips and particles and wood residues are not fully applicable. However, data that can be generally applied to the production of forest products, consumption and trade data for Europe (EU28/EFTA), are available from FAO.

Within the EUwood study, the modelling of wood processing residue volumes on a European scale was carried out [5] for the purpose of a European Wood Resource Balance. This included detailed quantification of the segment wood processing residues. Similar modelling based on EUwood results was used for the European Forest Sector Outlook Study 2012 [34]. The modelling approach followed the general forest industry structure (see Fig. 1) which follows a resource-based assessment structure. German data served as default data for modelling wood processing residue volumes in Europe [3, 34]. Datasets of comparable extent for other European countries are not known so far. Results of the periodic resource monitoring of the German forest industry sectors were applied as default values on FAO production and wood products consumption data (see [5]).

The comprehensive size class structure and further parameters of the German sawmill industry were applied to sawnwood production data (by FAO) to model volumes of *sawmill residue assortments* of the EU27 countries and to consider national differences in industry size and material conversion efficiency.

Volumes of *other wood processing residues* from the production of wood-based panels were estimated based on generalised parameters and material conversion factors. It is generally assumed that production processes throughout the producing countries are of similar quality and technological development. Thus, conversion factors are applied for all countries. Data on wood-based panel production volumes are given by FAO.

Residue volumes of *other wood processing residues* from production processes of finished products are estimated based on the wood consumption within the particular end-use processing sectors: construction, furniture and packaging industry and others. Country specific coefficients were applied to sawnwood and wood-based panel consumption (including import and export volumes) (FAO) to model particular wood consumption of the sectors. Again, German default values were applied to estimate respective shares of wood processing residues within the different end-use sectors.

Shares of black liquor as a residual product of the pulp industry were calculated based on pulp production data by FAO and available country specific conversion factors [10]. Further influencing parameters such as the share of coniferous roundwood input were modelled.

Table 2 shows the results of the EUwood study on the different segments of wood processing residues in comparison to available data by FAO.

As already seen in Table 1, data on wood processing residues based on the differentiated assessment [3] mainly based on German default values are significantly higher compared to statistical data provided by FAO.

### **3.3 Global Data**

As presented in Sect. 2.1, studies on the supply of wood processing residues on a global scale are rare. Moreover, results of considered global estimates (compare Sect. 2.1) are not comparable because of different methodological approaches.

To provide the possible range of global volumes of wood processing residues, we applied the presented methodologies and compared the results with data from FAO. The following Table 3 shows the available data by FAO in comparison to calculated wood processing residue volumes based on Parikka [6]; FAOSTAT [21] and Saal [5].

FAO provides data on wood chips and particles and wood residues for 80 producing countries. The other countries do not report the respective volumes. For this study the global supply of sawmill residues and wood chips in particular, other wood processing residues from wood-based panel production and black liquor were roughly estimated based on FAO/UNECE [10]. Other wood processing residues

**Table 2** Comparison of data on wood processing residues and post-consumer wood in the EU27, 2010

Assortments	EUwood, potential for 2010 Mantau et al. [3] (million m <sup>3</sup> )	FAO, 2010 (FAO 2015) (million m <sup>3</sup> )	
Sawmill residues	86.6		
of which chips	46.7 <sup>a</sup>	61.2	Wood chips and particles
Other wood processing residues	29.7	47.0	Wood residues
Black liquor	60.4		
Post-consumer wood	52.0		
Total (assessed)	176.7	108.2	Total
<i>Total (incl. post-consumer wood)</i>	228.7		
Total in tonnes dry matter	83.1	50.8	
<i>Total (incl. post-consumer wood) [tdm]</i>	107.5		

Volumes in million m<sup>3</sup> solid wood equivalent

Total volume given in tonnes dry matter [t<sub>dm</sub>] are based on the conversion factor of 0.47 t<sub>dm</sub>/m<sup>3</sup> solid wood equivalent

Source: [3, 21]

<sup>a</sup>Calculations based on Saal [5]

**Table 3** Comparison of different calculations on global data on wood processing residues, worldwide 2010

Basis	Parikka [6] (million m <sup>3</sup> )		FAO/UNECE [10] (million m <sup>3</sup> )		Saal [5] (million m <sup>3</sup> )		FAO, 2010 <sup>a</sup> (million m <sup>3</sup> )	
	From	To	From	To	From	To		
Assortments								
Sawmill residues	339.4	414.8	223.7	394.8	229.5	404.9		
of which chips	83.1	101.6	118.4	243.5	108.2	190.8	260.4	Wood chips and particles
Other wood processing residues					104.7 <sup>b</sup>		46.7	Wood residues
Black liquor			277.8	333.3	278.5	296.2		
Total (assessed)	422.5	516.4	619.9	971.5	720.7	996.6	307.1	Total
Total (t <sub>dm</sub> )	198.6	242.7	291.4	456.6	338.7	468.4	144.3	

Volumes in million m<sup>3</sup> solid wood equivalent

Total volume given in tonnes dry matter [t<sub>dm</sub>] are based on the conversion factor of 0.47 t<sub>dm</sub>/m<sup>3</sup> solid wood equivalent

Source: [5, 6, 10, 21]

<sup>a</sup>Data are based on FAO country data, available/provided for 80 countries

<sup>b</sup>Data based on coefficients of wood processing residue shares of wood-based panel production – only one value calculated

from further processing, such as from the furniture industry, were not estimated as the modelling approach developed for the EUwood study [5] was/is not applicable on a global scale. The estimation of sawmill residues and chips is based on general assumptions on material recovery [6] and country data [10]. The estimations of black liquor volumes are rough shares based on conversion factors [10] and more specific estimations which consider shares of wood species input in global pulp production given by, for example, Goetzl [35]. Minimum and maximum ranges are presented.

As Tables 1–3 show, the statistical data provided by FAO also underestimates the volume of wood processing residues in total on the global level. This is partly because of the low coverage of only 80 reporting countries. Moreover, the given values for wood chips and particles are not clearly defined. They may also include reported residue assortments of different origin. However, underestimation is also through lack of statistical coverage of the volumes of wood processing residues, even if the quantities imply significant global volumes of wood assortments.

## 4 Discussion

Wood processing residues contribute to wood supply by around one-fifth of the total wood biomass. In general, supply and available volumes of wood processing residues are dependent on the processing of roundwood. The efficiency of roundwood utilisation influences the supply of wood processing residues. It is assumed that the production of semi-finished and finished wood products increases [3, 34, 36]. Thus, an increasing supply of residues is expected in connection with increased roundwood processing and the increasing demand for wood and wood products. Further, an increase in demand and scarcity of wood resources probably leads to a more efficient use of wood processing residues.

However, as the results show, there is a huge discrepancy between officially reported data on wood processing residues and empirical (or modelled) data. Discrepancy may be because of terminology deficits and little reported data. Wood processing residues have a significant impact on sustainable wood supply. Their occurrence depends completely on the wood processing industry. The variety of assortments and sources is as poorly addressed in the literature as is the calculation of the quantity. In some cases the quantities may be calculated fairly well because of the unique technical relationship. Residues are an inevitable remainder of any production process. If conversion factors are well-known, the quantities can be calculated based on the underlying production statistics. This applies mainly to the semi-finished sector (e.g. sawmill and pulp industry). However, the further processing of wood (e.g. construction, furniture) is very diverse and research has not paid much attention to this issue so far. Aside from unknown available quantities, the question of utilisation should be analysed because it is not known to what extent residues are consumed internally or are available on the market. Most likely, most of the material is used for power and heat but only a few

empirical studies on residue utilisation are available. This chapter clarifies the terminology of wood residues and summarises existing data on quantities. However, as official statistics focus on products, analyses in this area probably always rely on empirical studies. It is strongly recommended to intensify such studies and possibly apply the results on international statistics in order to provide more realistic data. These data are needed for a better estimation of sustainable use of wood as well as, for example, for the quantification of cascades in circular economy because residues are the main source of cascading use of wood.

## References

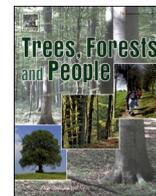
1. Ericsson K, Nilsson LJ (2006) Assessment of the potential biomass supply in Europe using a resource-focused approach. *Biomass Bioenergy* 30(1):1–15
2. Smeets EMW, Faaij APC (2007) Bioenergy potentials from forestry in 2050. *Clim Chang* 81 (3–4):353–390
3. Mantau U, Saal U, Prins C, Steierer F, Lindner M, Verkerk PJ, Eggers J, Leek N, Oldenburger J, Asikainen A, Anttila P (2010) EUwood-real potential for changes in growth and use of EU forests. Methodology report, Hamburg
4. Mantau U, Steierer F, Hetsch S, Prins C (2008) Wood resources availability and demands part I: national and regional wood resource balances 2005 EU/EFTA countries. Background Paper to the UNECE/FAO Workshop on Wood balances, Hamburg
5. Saal U (2010) Industrial wood residues: in: EUwood-Real potential for changes in growth and use of EU forests. Methodology report, Hamburg/Germany
6. Parikka M (2004) Global biomass fuel resources. *Biomass Bioenergy* 27(6):613–620
7. Thrän D, Bunzel K, Seyfert U, Zeller V, Buchhorn M, Müller K, Matzdorf B, Gaasch N, Klöckner K, Möller I, Starick A, Brandes J, Günther K, Thum M, Zeddies J, Schönleber N, Gamer W, Schweinle J, Weimar H (2011) Global and regional spatial distribution of biomass potentials: status quo and options for specification. DBFZ Report Nr 7
8. Alderman DR, Smith RL, Reddy VS (1999) Assessing the availability of wood residues and wood residue markets in Virginia. *For Prod J* 49(4)
9. Szostak A, Ratajczak E, Bidzińska G, Gałęcka A (2004) Rynek przemysłowych odpadów drzewnych w Polsce: (The industrial wood residues market in Poland). *Drewno–Wood* 47 (Nr.172):69–89
10. FAO/UNECE (2010) Forest Products Conversion Factors for the UNECE Region: Geneva Timber and Forest Discussion Paper 49
11. Krigstin S, Hayashi K, Tchórzewski J, Wetzel S (2012) Current inventory and modelling of sawmill residues in Eastern Canada. *For Chron* 88(05):626–635
12. Steele PH (1984) Factors determining lumber recovery in sawmilling. General Technical Report 39
13. Steele PH, Wagner FG, Lin YN, Skog KE (1991) Influence of softwood sawmill size on lumber recovery. *For Prod J* 41(4)
14. Yang P, Jenkins BM (2008) Wood residues from sawmills in California. *Biomass Bioenergy* 32(2):101–108
15. Batidzirai B, Smeets E, Faaij A (2012) Harmonising bioenergy resource potentials—methodological lessons from review of state of the art bioenergy potential assessments. *Renew Sust Energ Rev* 16(9):6598–6630
16. Wartluft JL (1976) A suggested glossary of terms and standards for measuring wood and bark mill residues. USDA Forest Service Research Note NE, Upper Darby
17. Oxford English Dictionary (2015). <http://www.oed.com/>. Accessed 13 October 2015

18. Lohmann U, Blosen M (2003) Holz-Lexikon, 4th edn. DRW-Verl, Leinfelden-Echterdingen
19. Mantau U (2012) Holzrohstoffbilanz Deutschland: Entwicklungen und Szenarien des Holzaufkommens und der Holzverwendung von 1987 bis 2015, Hamburg
20. Mantau U (2014) Wood flow analysis: quantification of resource potentials, cascades and carbon effects. Biomass Bioenergy
21. FAOSTAT (2015) ForesSTAT [online]. [http://faostat3.fao.org/browse/F/\\*/E](http://faostat3.fao.org/browse/F/*/E)
22. Perlack RD, Wright LL, Turhollow AF, Graham RL, Stokes BJ, Erbach DC (2005) Biomass as feedstock for a bioenergy and bioproducts industry: the technical feasibility of a billion-ton annual supply
23. Döring P, Mantau U (2012) Sägeindustrie: Einschnitt und Sägenebenprodukte 2010. Standorte der Holzwirtschaft-Holzrohstoffmonitoring, Hamburg
24. Mantau U, Hick A (2008) Standorte der Holzwirtschaft: Sägeindustrie Einschnitt und Sägenebenprodukte, Hamburg
25. Sörgel C, Mantau U, Weimar H (2006) Standorte der Holzwirtschaft: Aufkommen von Sägenebenprodukten und Hobelspänen, Hamburg
26. Mantau U, Bilitewski B (2010) Stoffstrom-Modell-Holz 2007: Rohstoffströme und CO<sub>2</sub>-Speicherung in der Holzverwendung. Forschungsbericht für das Kuratorium für Forschung und Technik des Verbandes der Deutschen Papierfabriken e.V. (VDP), Celle
27. Smook GA (1992) Handbook for pulp & paper technologists, 2nd edn. Angus Wilde Publications, Vancouver, Canada
28. CEPI (2014) Pulp and paper industry, definitions and concepts. [http://www.cepi.org/system/files/public/documents/publications/statistics/2014/FINAL%20CEPI%20Definitions%20and%20Concepts\\_0.pdf](http://www.cepi.org/system/files/public/documents/publications/statistics/2014/FINAL%20CEPI%20Definitions%20and%20Concepts_0.pdf)
29. Lang A (2004) Charakterisierung des Altholzaufkommens in Deutschland: Rechtliche Rahmenbedingungen-Mengenpotenzial-Materialkennwerte. Mitteilungen der Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft Hamburg, Nr. 215. Wiedebusch, Hamburg
30. Leek N (2010) Post-consumer wood: in: real potential for changes in growth and use of EU forests. Methodology Report, Hamburg/Germany
31. Merl A, Humar M, Okstad T, Picardo V, Ribeiro A, Steierer F (2007) Amounts of recovered wood in COST E31 countries and Europe. In: Gallis C (ed) 3rd European COST E 31 Conference. Management of recovered wood-reaching a higher technical, economic and environmental standard in Europe. Thessaloniki, University Studio Press, Klagenfurt, Austria
32. Weimar H (2009) Empirische Erhebungen im Holzrohstoffmarkt am Beispiel der neuen Sektoren Altholz und Großfeuerungsanlagen. Sozialwissenschaftliche Schriften zur Forst- und Holzwirtschaft, vol 9. Lang, Frankfurt am Main
33. Jochem D, Weimar H, Bösch M, Mantau U, Dieter M (2015) Estimation of wood removals and fellings in Germany: a calculation approach based on the amount of used roundwood. Eur J Forest Res 134(5):869–888
34. UN (2012) The European forest sector outlook study II, 2010–2030, Geneva
35. Goetzl A (2008) Wood for paper: fiber sourcing in the global pulp and paper industry. Forest Trends Potomac Forum
36. Buongiorno J (2012) Outlook to 2060 for world forests and forest industries: a technical document supporting Forest Service 2010 RPA assessment. General technical report SRS, vol 151. U.S. Dept. of Agriculture, Forest Service, Southern Research Station, Asheville

Saal U (2019) Terminology of wood processing residues (poster presentation), 3rd International Scientific Conference Wood-Science-Economy, Poznan, DOI: 10.13140/RG.2.2.23011.68645



Saal U, Iost S, Weimar H (2022) Supply of wood processing residues – a basic calculation approach and its application on the example of wood packaging, In: Trees, Forests and People 7(8):100199, DOI: 10.1016/j.tfp.2022.100199



# Supply of wood processing residues – a basic calculation approach and its application on the example of wood packaging

Ulrike Saal<sup>\*</sup>, Susanne Iost, Holger Weimar

*Thünen Institute of Forestry, Leuschnerstrasse 91, D-21031 Hamburg, Germany*

## ARTICLE INFO

### Keywords:

Wood processing residues  
Sawmill by-products  
Material flow analysis  
Conversion efficiency  
Wood packaging

## ABSTRACT

Waste reduction, recycling and increased material efficiency are key objectives in complex industrial ecology. The wood processing industry also aims at a more intensive resource recovery and usable residual volumes. Important volumes of wood processing residue potentials can be found at the EU level. However, to date no reliable calculation approach has been established. To fill the information gap, this study presents an approach for calculating the supply of wood processing residues. The methodological approach follows the concept of a material flow analysis. We quantify the material flows based on product-specific conversion factors and the coefficients of material efficiency. This paper intends to develop a calculation approach based on existing statistical data from official classifications such as Prodcom. We perform the calculation approach on standardised wood packaging products at the European level. The calculated supply of wood processing residues the European Union in 2018 was 29.7 million m<sup>3</sup>f with a total material input of about 70.8 million m<sup>3</sup>f and a production volume of 40.8 million m<sup>3</sup>f. A maximum volume of 29.6 million m<sup>3</sup>f sawnwood is used for the production of wooden containers. Quantification results can be further differentiated – e.g., the share of sawmill by-products. Hence, the calculation approach supports the visualisation and understanding of material flows within the forest-based sector. Wood processing residue coefficients resulting from product specific MFA can be repeatedly applied to annual production data of wood products, wood composites and wood supply chains. Thus, the quantification of wood processing residues improves the results of existing and future wood resource balances including cascade uses by increasing their level of detail.

## 1. Introduction

As a part of the constant analysis of wood resource availability the analysis of the WPR supply coincides with the current research in material efficiency, resource recovery, the cascading use of wood and circular economy (Brosowski et al. 2016; Jacobi et al. 2018). New market areas for wood products and new wood-based products, such as in textile and biorefinery (Jonsson et al. 2017; Hurmekoski et al. 2018), as well as wood-based bioeconomy are expected to influence the demand for wood fibres and wood resources (Mantau 2014; Hetemäki et al. 2017; Schier et al. 2021).

In efforts towards an enhanced bioeconomy and the transition of linear production to circular economy (Hetemäki et al. 2017; Jacobi et al. 2018), the quantification of supply potentials of WPR seems necessary. As regards the emerging wood-based bioeconomy sector and further intensification of the use of wood resources the importance of

WPR increases (Hurmekoski et al. 2018). Detailed knowledge on the supply of WPR supports detection of the level of substitution (OECD 2008; Hurmekoski et al. 2018). In addition, increasing the value-added within the wood value chain shows the significance of WPR as a resource for innovative applications (Sathre and Gustavsson 2009). Ultimately, the comprehensive documentation of WPR could increase the availability of data on WPR, and reduce waste in manifold aspects of industrial ecology including wood processing.

In this study we define WPR as a resource which accumulates during the processing and manufacturing of wood and wood products. WPR are an inevitable result of the production process and describe the entirety of the resource. We differentiate between waste and by-products. The term ‘by-products’ is mainly used for WPR which occur during the sawmilling process. Hence, they are a specific subcategory of WPR. Also, WPR can be categorised as waste, i.e., an „unserviceable remainder“ (Oxford English Dictionary 2015), if they are being disposed. In this case

This research did not receive any specific grant from funding agencies in the public, commercial, or not-for-profit sectors.

<sup>\*</sup> Corresponding author.

E-mail addresses: [Ulrike.Saal@thuenen.de](mailto:Ulrike.Saal@thuenen.de) (U. Saal), [Susanne.Iost@thuenen.de](mailto:Susanne.Iost@thuenen.de) (S. Iost), [Holger.Weimar@thuenen.de](mailto:Holger.Weimar@thuenen.de) (H. Weimar).

<https://doi.org/10.1016/j.tfp.2022.100199>

Received 31 August 2021; Received in revised form 14 December 2021; Accepted 18 January 2022

Available online 26 January 2022

2666-7193/© 2022 The Author(s).

Published by Elsevier B.V. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license

(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

they should be included to the supply of waste wood.

The volume of WPR depends on the type of industry production and roundwood conversion and usually increases with production volumes. WPR comprise chips, dust, slabs, shavings, trimmings, peeler cores, square cuts, and other fine particles. Due to its material characteristics, WPR has mainly been applied for energy use and particular material use (Mantau 2014; Brosowski et al. 2016; Saal et al. 2019) such as the manufacturing of wood-based panels, wood pulp or wood pellets (Vis et al. 2016). We chose the term „Wood Processing Residues (WPR)“ based on the wood processing origin of the accumulated residues (Saal et al. 2019).

However, a harmonised research approach and dependable data of WPR supply are not available. Detailed studies on the supply of WPR in general, as well as on the particular supply of WPR from specific processing industries on broader level (such as, e.g., the EU) are rare. Studies on the wood biomass supply on European and global level lack a common methodological approach for the assessment of biomass potentials (Batidzirai et al. 2012). They differ considerably in the applied data, units and terminology (Saal et al. 2019). Data on residue assortments (sawmill by-products, secondary wood processing residues, black liquor) as well as supply characteristics such as material efficiency appear to be insufficient. Most studies on the supply of WPR exclude the quantification of a supply from further processing following the primary processing of roundwood (Perlack et al. 2005; Vis et al. 2016), e.g., in furniture industry and wood packaging industry. In their study on WPR, Saal et al. (2019) propose a structure for the systematic analysis of WPR defined by origin. They concentrate on the data gap and lacking definitions and terminology to provide a basis for further analysis. FAO/UNECE (2020) provide conversion factors for semi-finished wood products, i.e., primary wood products based on a multi-country survey data. Coefficients of shares of WPR are deducible for, e.g., sawnwood and wood-based panels.

Empirical studies have, however, been conducted on a regional level and for specific processing procedures. Alderman et al. (1999) and Szostak et al. (2004) provide empirical results on the supply of WPR from further processing on a regional (Virginia) and national level (Poland). They include results on either wood packaging (Poland) or the pallet industry (Virginia, US). Other studies focus on residual volumes from the furniture industry; however, the studies are based on different contexts and research objectives (Daian and Ozarska 2009; Tatano et al. 2009; Mendoza et al. 2010). Saal (2010) presented a first approach to estimating the supply of WPR on the European level, including residues from further processing industries. The study includes empirical data on the German wood packaging industry by Mantau and Hartig (2003). Resulting estimations show a great potential of WPR for various utilisation possibilities. This applies especially to an emerging bioeconomy (Marques et al. 2020).

### Objective

Increased knowledge on the supply of particular volumes of WPR supports regional use as well and improves resource streams with data (Mantau 2014; Da Silva et al. 2020; Marques et al. 2020). As shown with the above literature overview, frequent data and a uniform methodology on the quantification of WPR supply are lacking. We further face the data gap of product-specific efficiency coefficients for the calculation of particular supply along the production process of wood products (Camia et al. 2021).

As studies apply and call for “a range of possible values” of WPR (Camia et al. 2021), we aim to provide a general calculation approach of wood processing residues. Based on that, the calculation provides a comprehensive data basis for continuous monitoring. Further, it allows comparison of countries as well as time series on the basis of international product codes and frequent data (Prodcom). Hence, the main objective of this study is therefore to provide a calculation approach. The results of the study are meant to fill the data gap and to support the

harmonised calculation of the supply of WPR.

We apply our general calculation approach to core wood packaging products to calculate the supply of WPR from this particular industry branch. We further derive wood input coefficients and residue coefficients for the wood packaging industry. These can be used to calculate amounts of WPR on different spatial and temporal levels based on official production data.

Globalisation of trade enhances the meaning of wood packaging products. The wood packaging industry plays an essential role within the global trade of daily goods (Albrecht et al. 2013; UNECE 2016). The latest data on sawnwood consumption in the wood packaging sector dates back to 2015 (UNECE 2016). The sector consumed about 25 million m<sup>3</sup>, which is about 20% of the total sawnwood consumption in Europe (UNECE 2016). We focus on the application on standardised wood packaging products as given in the Prodcom classification based on NACE Rev. 2 (Eurostat 2017b). These comprise flat pallets, box pallets, lightweight packaging including crates and boxes, cable drums and cask and barrel products. Annual production data are available from Prodcom data base [dataset] (Eurostat 2021). Next to relevant availability of production data, the chosen sector is very applicable due to its differentiated product structure and low variation in material composition within its product groups.

The paper is structured as follows: First, we describe the methodological background and present the general calculation approach. Then, we apply the sample approach on the WPR of wood packaging products. We present equivalent data sources as well as the specific assumptions and coefficients on the research example. Results are given in the second part of the study. In Chapter 4 we discuss the results and conclude the paper with the main findings with regard to the use of the calculation approach.

## 2. Material and methods

### 2.1. Methodological frame

The methodological frame of the study covers three parts, starting with the methodological framework of analysis. The second part focuses on the description of the calculation sequences and their application on an example of wood packaging products. The third part covers quantification and data sources of the applied example.

#### 2.1.1. Material flow analysis and material efficiency

The conceptual framework for calculating the potential supply of WPR is based on Material Flow Analysis (OECD 2008). Using MFA, we analyse the material flow for the conversion of ingoing wood resources to outgoing production volumes of each production step, i.e., conversion step. Material flows can be considered on different levels of aggregation. We focus on the analysis of the downstream part of the material flow's core product (Cote et al. 2015; Schweinle et al. 2020). Compared to more frequent MFA on the macro-level (Mantau 2014; Parobek et al. 2014; Bösch et al. 2015; Lenglet et al. 2017; Marques et al. 2020), we apply MFA on meso-level to focus the resource flow of a product (Hirschnitz-Garbers et al. 2014). WPR are produced during all processing of wood or manufacturing of semi-finished and finished wood products. With emphasis on WPR we address the question of resource efficiency and residue output of the particular material wood and the differentiated focus on a particular branch of industry (OECD 2008). Thus, all relevant manufacturing processes of semi-finished and finished wood products are included in the analysis prior to the assessment of their inherent material flows. We quantify the analysed material flows based on material conversion efficiency. Each conversion step of the production process is assigned a product specific material efficiency rate.

We define the length of a considered material flow as the number of conversion steps considering the linear flow of the input wood resource towards the core product output only, without any intermediate

cascades or derived uses. Material input is at the roundwood level. Thus, all WPR which accumulate from the conversion steps of initial wood resource input through to final product output are accounted for the analysed flow. Due to the focus on the wood resource input we do not differentiate the origin of initial material volumes. For further differentiation of the material flow, we consider the material composition, i. e., the proportions of different wood resources and production-related additives of the analysed wood product. A product with two or more homogeneous input materials results in parallel linear material flows. All are analysed equally and quantified based on the flows' material conversion efficiency. All values are then weighted based on shares of material composition.

2.1.2. Reference unit

Resources and products of the wood industry are reported in various units of mass and volume. All units of relevant data input, e.g., product output units, are converted into wood fibre equivalents (m<sup>3</sup>f) to calculate a consistent MFA (Lenglet et al. 2017). By calculating on the level of contained wood fibre at the fibre saturation point, we consider possible consistency interference of double counting in material flows (Hirschnitz-Garbers et al. 2014), adhesives and volume changes during the different conversion steps as done in Bösch et al. (2015) and Lenglet et al. (2017).

2.1.3. Calculation approach of the supply of WPR

In the calculation approach we define indices for the specific product (i) referring to semi-finished and further processed wood products. As part of the material flow, we also define conversion step (j). As widely used in MFA (Marques et al., 2020) Fig. 1 shows an exemplary Sankey diagram, visualising the linear flow starting from wood resource input, subsequent material conversion steps and resulting shares of WPR and respective product output. Within the calculation approach of the present study we calculate a potential wood resource supply (Kaltschmitt et al. 2009; Batidzirai et al. 2012). Please note, that the material flow analysis and calculation approach merely focus the supply of WPR. Within this study, we do not analyse further flows or uses of the WPR.

Generally, we define a linear material flow for any specific wood product as:

$$IN_i = P_i + WPR_i + L_i \tag{1}$$

Where  $IN_i$  is the wood input to the material flow,  $P_i$  is the production volume of the manufactured product  $i$ ,  $WPR_i$  is the quantity of WPR and  $L_i$  are losses<sup>1</sup> of the production process.

We calculate the specific production volume of the manufactured product  $P_i$  in m<sup>3</sup>f, i.e., a product's wood content, based on given data of mass or pieces of a specific production output. Products are classified according to Prodcom nomenclature (Eurostat 2017b).

Hence, we define WPR as:

$$WPR = IN - P - L \tag{2}$$

We apply the factor  $me_i$  for the quantification of product specific material conversion efficiency. Each conversion step of the considered production process is described by an efficiency factor ( $me$ ) within a flow by share of wood product output per wood resource input. Generally, the material efficiency factors depend on the level of mechanisation and technical development of the processing and manufacturing process. Within this study, we assume that they are identical on European level (EU28). Further factors which influence the material efficiency of the initial processing are tree species and log diameter (Steele 1984; Yang and Jenkins 2008). Here, we apply country specific data of material efficiency of primary roundwood processing

given by FAO/ UNECE (2020).

We describe  $me_i$  for a specific product as:

$$me_i = \frac{P_i}{IN_i} \tag{3}$$

We further define  $me$  of  $n$  conversion steps ( $j$ ) of the processing of a product ( $i$ ) as:

$$me_i = me_1 * me_2 * me_n = \prod_{j=1}^n me_{ij} \tag{4}$$

Where  $me_{ij}$  describes the product of all conversion efficiency factors  $me_j$ .

The material efficiency factor for each conversion step is based on references and assumptions derived from the analysis of the material flow of a product. Each wood product or product chain has its specific  $me_{ij}$ . Moreover, country specific differences of a core product's characteristics can be considered.

As data on the volume of material input of a particular production process are barely available, we invert Eq. 3 and include Eq. 4 to calculate the product specific input on the basis of derived  $P_i$  and  $me_{ij}$  (4). The material input of a product and product chain is calculated as the quotient of production volume  $P_i$  and the product of efficiency rates of all product specific conversion steps  $j = n$ .

Considering a specific product, we define the initial material input as

$$IN_i = \frac{P_i}{\prod_{j=1}^n me_{ij}} \tag{5}$$

In the calculation approach we include the factor  $l$  for losses  $L_i$  as part of the material flow. In the present study we define losses of 1% over all products and conversion steps. Eq. (6) gives the relation of the factor  $l$  and WPR.

$$L_i = l * WPR_i \tag{6}$$

Where  $L$  is the volume of losses calculated by the general factor  $l$  for all products and all conversion steps, dependant on WPR.

We define  $L_i$  for all calculation steps  $j$  for a product based on (1), (5) and (6) as:

$$L_i = \sum_{j=1}^n L_j = IN * \frac{l}{(1+l)} * \left(1 - \prod_{j=1}^n me_{ij}\right) \tag{7}$$

Finally, we calculate the product specific volume of WPR as:

$$WPR_i = \frac{P_i}{\prod_{j=1}^n me_{ij}} * \frac{1}{(1+l)} * \left(1 - \prod_{j=1}^n me_{ij}\right) \tag{8}$$

2.1.4. Calculation of product specific coefficients

In line with the described calculation approach, we calculate product specific input-output coefficients. These coefficients describe the integrated material efficiency of a flow and define the relation of initial material input per production volume. Applied ranges of material efficiency are implemented based on weighted average (e.g., lightweight packaging).

We define the product specific input – output coefficient  $IP_i$  as:

$$IP_i = \frac{IN_i}{P_i} \tag{9}$$

Given the calculation of WPR (8) we define the coefficients of the product specific residue volume dependant on  $IN_i$   $R_i$  as well as dependant on  $P_i$  as:

$$R(IN)_i = \frac{WPR_i}{IN_i} \tag{10}$$

and

<sup>1</sup> We use capital letters (IN, P, L, WPR, M for values to distinguish them from factors ( $me$ ,  $D$ ), given in small letters

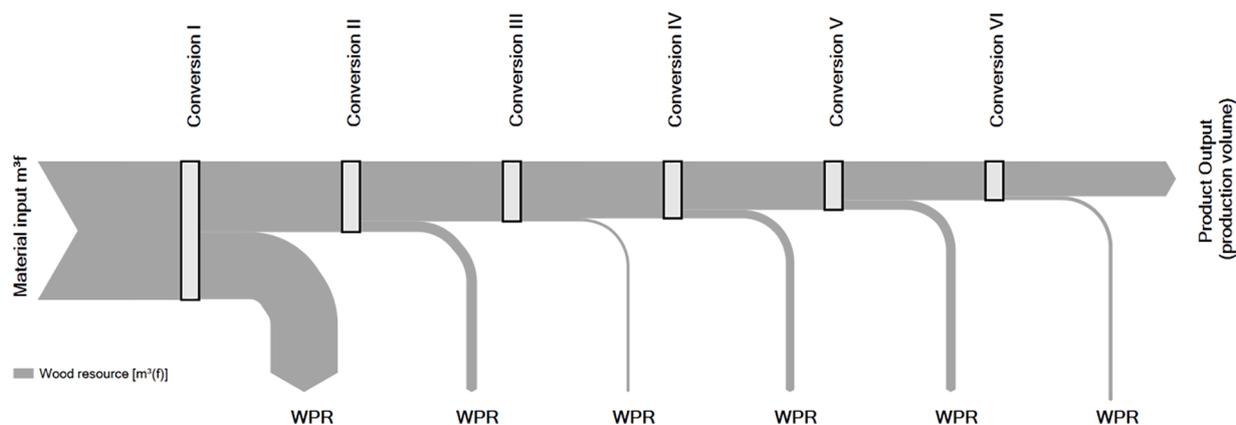


Fig. 1. Sankey diagram of a downstream part of wood processing and accumulation of WPR.

$$R(P)_i = \frac{WPR_i}{P_i} \tag{11}$$

2.2. Application to European wood packaging

We exemplify the calculation approach of the supply of WPR on wood packaging products which are classified in European production statistics (Prodcom) (Eurostat 2017b). We comply with chosen Prodcom codes which are assigned to economic activities. First, we focus on the material flow analysis of the core products regarding the definition of all conversion steps. Second, we assign material efficiency rates to the conversion steps and quantify the material flow based on examined data and references to calculate the supply of WPR. Furthermore, due to the structure of the presented calculation approach, we are able to differentiate the supply of WPR into volumes of sawmill by-products (SBP) and WPR from further processing of semi-finished wood products. We refer to this particular assortment of WPR from manufacturing as ‘secondary WPR’. Further, we provide specific residue coefficients including the volume of wood input at further processing level.

2.2.1. Material flow analysis

We analyse the material flows of five different core products of wood

packaging. We base the analysis of the flows on the general assumption of similar production processes in the wood packaging industry of the EU28 (UNECE 2016) in line with similar material input into the different production processes at the EU28-level. The considered core products are standardised products, which are elaborated with no further changes regarding their technological development as well as a high material efficiency (Cote et al. 2015). The analysed downstream parts of the core products’ material flows differ in extent, given the number of conversion steps. Roundwood is defined as the initial material input of all analysed flows. The outline of the material flows and their conversion steps within the production processes are shown in the following Table 1. The order of listed conversion steps may vary.

2.2.2. Quantification and associated data sources

To quantify the product specific material flows we assign material efficiency rates to the analysed conversion steps. Information on the successive material conversion of the core products and respective data on material efficiency are predominantly derived from references (see Table 1).

Material efficiency rates of particular conversion steps which are not given in references are derived from a set of assumptions: Several efficiency rates are based on the volumetric calculation of dimension

Table 1

Outline of the material flows and conversion steps.

Product group	Input of	Conversion I	Conversion II	Further processing of	Conversion III	Conversion IV	Conversion V	Conversion VI	Reference
Pallets and flat pallets	Roundwood	Sawing		Sawnwood	Chamfering	Cutting to length			1
Box pallets and other	Roundwood	Sawing		Press block Sawnwood	Chamfering	Cutting to length			2
Cases, boxes, Lightweight products	Roundwood	Sawing	Planing I	Press block Sawnwood (rough)		Cutting/trimming			3
Cable drums	Roundwood	Peeling		Ply/ veneer sheets	Sanding	Cutting/trimming			4
		Sawing	Planing I	Sawnwood rough Sawnwood		Cutting/trimming	Circular parts	Assembling	
Casks, Barrels, vats and tubs	Roundwood	Sawing/ splitting	Planing I	Staves	Planing II	Cutting/trimming		Circular parts	5
		Sawing		Sawnwood	Planing II	Cutting/trimming	Circular parts	Assembling	

References

- 1 USDA Forest Service 1971; Anil Philip 2010; Bengtsson and Logie 2015; Pfeifer Group 2020
- 2 see 1 Zamko 2019
- 3 Barthel and Albrecht 2007; Albrecht et al. 2013; FEDEMCO 2020; Kirschner 2020
- 4 Sydor et al. 2017
- 5 Laglasse 2006; Böhm et al. 2013; Flor et al. 2017

change due to processing, e.g., cutting to circular surface. In the case of the material flow of lightweight products, and the Conversion Step IV ‘cutting and trimming of veneer sheets’, we model the conversion efficiency on the basis of roundwood equivalent data (Hunecke 1966). This is done as a stopgap measure based on the known conversion efficiencies of the other conversion steps.

Some flows are differentiated and quantified based on ranges due to possible differences in the number of conversion steps or resource mix, e.g., lightweight products. Furthermore, we differentiate the case of the few producing countries of casks, barrels, vats and tubs. We assume that the data given for European Nordic countries (e.g., Finland, Estonia, and Lithuania) on their volume of produced casks and barrels rather covers sauna and hot tub products than barrels for liquids. We define a shorter length of the material flow, i.e., fewer material conversion steps. We base the conversion efficiency rates on an example calculation on prevalent dimensions of tubs (Baltresto Germany 2021). Here, the range covers the calculation of the same material flow for all considered countries in contrast to the calculation considering country differences.

In contrast to studies focussing on product output (Steele 1984; Lin et al. 2011), we define losses of wood material as a factor decreasing the WPR volume. Empirical studies within the sawmill industry indicate shares material input between 0.5 and 2% of (Sörgel et al. 2006). Saal (2010) included a share of 0.7% (coniferous) and 1.6% (non-coniferous) of losses in the estimation of the supply of SBP in Europe. As given in the methodological frame in chapter 2.1, we define losses as 1% over all products and conversion steps. Losses can be volumes which are falsely assorted as waste or not withdrawn by suction. Further, losses may occur by measuring differences e.g., in trade, due to material characteristics such as moisture content (mass).

We finally quantify the analysed flows based on the data of the Prodcom tables [dataset] (Eurostat 2021). The data sets for the

considered countries (EU28) and years (2014 – 2018) differ in their completeness. In some cases, missing data were imputed using national statistics.

### 3. Results

#### 3.1. Quantification of the material flows

The following chapter covers the results of the quantification of the exemplified material flows of wood packaging products. It is structured according to the calculation approach, indicating material conversion steps for quantification, respective supply volumes of WPR and the correspondent coefficients. The results are differentiated according to the advances of the calculation approach, including results of SBP share, the share of WPR from further processing as well as the volume of sector-specific sawnwood consumption.

As the result of material flow analysis, the following Table 2 shows the product specific material efficiency rates for each conversion step along the material flows. It also presents the results of the assumptions made on the analysed material flows based on references and the described calculation approach (see 2.1).

The results in Table 2 indicate the material efficiency shares of each conversion step of the considered core products. Moreover, we present results on the specific resource mix of the final wood packaging product. Data on the particular weight of a product is given for the calculation of the production volume.

#### 3.2. Supply of wood processing residues from the wood packaging industry

Table 3 presents the results of product specific supply of WPR of

**Table 2**  
Product specific data on resource mix, material efficiency of conversion steps and weight.

Product group	Resource mix	Conversion [%]						Weight [kg]	Ref.
		I Sawing/ splitting	II Planing	III Planing/ sanding/ chamfering	IV Cutting to length/ trimming	V Cutting to Circular surface*			
		[%]				*me prop.	Share of total volume		
Pallets and flat pallets	Sawnwood	76 <sup>1</sup>	66 <sup>2</sup>	96 <sup>3</sup>	96 <sup>4</sup>			25 <sup>5</sup>	1
	Press block	24 <sup>1</sup>							
Box pallets and other	Sawnwood (rough)	100 <sup>1</sup>	55 <sup>2</sup>	95 <sup>3</sup>	95 <sup>4</sup>			30 <sup>5</sup>	2
	Sawnwood (rough)	30 <sup>1</sup>	52 <sup>2</sup>	85 <sup>3</sup>	90 <sup>4</sup>				3
Cases, boxes, Lightweight	Veneer	70 <sup>1</sup>	87 <sup>5</sup>	96 <sup>6</sup>	82 <sup>7</sup>			0.9 <sup>8</sup>	
	Sawnwood (rough)	100 <sup>1</sup>	51 <sup>2</sup>		95 <sup>4</sup>	80 <sup>5</sup>	80 <sup>6</sup>	90 <sup>7</sup>	4
Cable drums	Sawnwood (rough)	100 <sup>1</sup>	51 <sup>2</sup>	85 <sup>3</sup>	95 <sup>4</sup>	80 <sup>5</sup>	80 <sup>6</sup>	90 <sup>7</sup>	
	planed	100 <sup>1</sup>	51 <sup>2</sup>	85 <sup>3</sup>	95 <sup>4</sup>	80 <sup>5</sup>	80 <sup>6</sup>	90 <sup>7</sup>	
Casks and barrels	Roundwood NC	100 <sup>1</sup>	90 <sup>2</sup>	40 <sup>3</sup>	87 <sup>3</sup>	97 <sup>3</sup>	95 <sup>4</sup>	21 <sup>4</sup>	5
	Sawnwood	100 <sup>1</sup>	51 <sup>5</sup>	85 <sup>6</sup>	97 <sup>3</sup>	93 <sup>4</sup>	28 <sup>7</sup>		

#### References

- 1 weighted shares of sawnwood and press block <sup>1</sup> Konsemüller 2016; <sup>2</sup>average of producing countries FAO/ UNECE 2020; <sup>3</sup> own calculation; <sup>4</sup> own calculation based on USDA Forest Service 1971 <sup>5</sup> EPAL 2019
- 2 <sup>1</sup> USDA Forest Service 1971; Konsemüller 2016; <sup>2</sup>average of producing countries FAO/ UNECE 2020; <sup>3</sup>own calculation; <sup>4</sup> own calculation based on USDA Forest Service 1971; <sup>5</sup>Zamko 2019
- 3 <sup>1</sup> Albrecht et al. 2013; <sup>2</sup>average of producing countries FAO/ UNECE 2020; <sup>3</sup> Sörgel et al. 2006; <sup>4</sup> own calculation; <sup>5</sup> Albrecht et al. 2013; <sup>6</sup> FAO/ UNECE 2020; <sup>7</sup> Nock and Stegmann 1979; <sup>8</sup> Barthel and Albrecht 2007
- 4 <sup>1</sup> Konsemüller 2016; Sydor et al. 2017; <sup>2</sup> average of producing countries FAO/ UNECE 2020; <sup>3</sup> Sörgel et al. 2006; <sup>4</sup> own calculation based on Sydor et al. 2017; <sup>5</sup> own calculation; <sup>6</sup> calculation based on Konsemüller 2016
- 5 <sup>1</sup> Laglasse 2006; Böhm et al. 2013; <sup>2</sup> own calculation based on Hiziroglu and Adams 2017; <sup>3</sup> own calculations based on Laglasse 2006; Böhm et al. 2013); <sup>4</sup> own calculation based on Konsemüller 2016; <sup>5</sup> average of producing countries FAO/ UNECE 2020; <sup>6</sup> Sörgel et al. 2006; <sup>7</sup> own calculations based on product data Baltresto Germany 2021

**Table 3**  
Volume of wood processing residues of wood packaging 2018, EU28.

Product group	WPR [m <sup>3</sup> f]		Whereof SBP [m <sup>3</sup> f]	
	Max	min	max	min
Pallets and flat pallets	20,012,982		17,518,101	
Box pallets and other	6028,084		5390,076	
Cases, boxes, LW	2380,799	1375,057	1309,446	756,285
Cable drums	824,798	648,932	664,190	488,323
Casks and barrels, vats and tubs	518,492	516,938	75,159	73,614
Total	29,765,154	28,581,992	24,956,972	24,226,399

wood packaging products for the year 2018 in the EU28. Based on the analysed conversion steps, the particular supply of the product specific volume of SBP can be differentiated. The table reveals the residue volume of sawnwood production as a share of the total supply of WPR.

The calculation of the supply of WPR from wood packaging results in a potential maximum of 29.7 million m<sup>3</sup>f and minimum supply of 28.6 million m<sup>3</sup>f. The considerable difference of the supply volume of more than one million m<sup>3</sup>f WPR results from calculation of ranges, mainly of lightweight packaging. For the year 2018 the maximum volume of total losses in the wood packaging industry amounts to 0.36 million m<sup>3</sup>f.

The following Table 4 shows the results on wood resource input into the European wood packaging industry in 2018. The results are differentiated according to total roundwood input, the volume of roundwood for sawnwood as well as the respective volume of produced sawnwood within the production of wood packaging.

The European wood packaging industry required a total volume of 70.8 million m<sup>3</sup>f (max) roundwood whereof 54.1 million m<sup>3</sup>f were used for the production of sawnwood as a resource for the processing of mainly pallets and box pallets, cable drums and components of lightweight packaging. The processing of sawnwood in the production of casks and barrels is limited, e.g., to the production of vats and tubs. Regarding the sawnwood-producing countries, the average material efficiency of sawnwood production is about 53% (based on FAO/UNECE (2020)). Other roundwood volumes are assigned to the production of veneer sheets for lightweight packaging as well as staves for barrel production of non-coniferous roundwood such as poplar and oak (Albrecht et al. 2013; Böhm et al. 2013).

Table 5 combines data on total production output in tonnes given by Eurostat (2021) and results of the total production volume in m<sup>3</sup>f based on the presented calculation approach (see 2.1).

According to the described calculation approach and exemplary application we provide coefficients of product specific wood resource input and WPR shares in Table 6

The input-output coefficients  $IP_i$  as well as the coefficients of WPR  $R_i$  are given in ranges, where differences were applied in the quantification of product specific material flows. The coefficients can be applied for further calculations of WPR volumes and supply on the basis of known input data ( $R(IN)_i$ ) and available production data ( $R(P)_i$ ).

Fig. 2 presents the product specific volume of roundwood input (max.) and sawnwood production as well as the shares of WPR.

The total roundwood input is highest in the production of pallets and box pallets, whereas the share of WPR is highest in the production of cable drums and casks and barrel products.

**Table 4**  
Wood resource input of the wood packaging sector in 2018, EU28.

Product group	Roundwood input total [m <sup>3</sup> f]		Roundwood input for sawnwood production [m <sup>3</sup> f]		Whereof sawnwood produced [m <sup>3</sup> f]	
	max	Min	max	min	max	min
Pallets and flat pallets	51,382,428		39,179,102		21,485,819	
Box pallets and other	12,053,085		12,053,085		6609,108	
Cases, boxes, LW	5488,609	4472,810	1646,583	1341,843	863,633	703,797
Cable drums	1184,169	1006,544	1184,169	1006,544	603,926	513,337
Casks and barrels, vats and tubs	736,135	734,566	4420		2254	
Total	70,844,426	69,649,432	54,067,358	53,584,993	29,564,740	29,314,316

**Table 5**  
Production output and production volume of wood packaging 2018, EU28.

Product group	Product output [t] <sup>1</sup>	Production volume [m <sup>3</sup> f]
Pallets and flat pallets	20,621,958	31,169,316
Box pallets and other	3946,324	5964,720
Cases, boxes, LW	1931,524	3084,002
Cable drums	228,388	351,123
Casks and barrels, vats and tubs	162,466	212,459
Total	26,890,660	40,781,620

Source: <sup>1</sup>[dataset] (Eurostat 2021)

**Table 6**  
Product specific coefficients of wood packaging products.

Product group	$IP_i$		$R(IN)_i$		$R(P)_i$	
	max	Min	max	min	max	min
Pallets and flat pallets	1.648		0.389		0.642	
Box pallets and other	2.021		0.500		1.011	
Cases, boxes, LW	1.780	1.450	0.434	0.307	0.770	0.444
Cable drums	3.373	2.867	0.697	0.645	2.349	1.848
Casks and barrels, vats and tubs	3.465	2.557	0.704	0.603	2.440	1.542

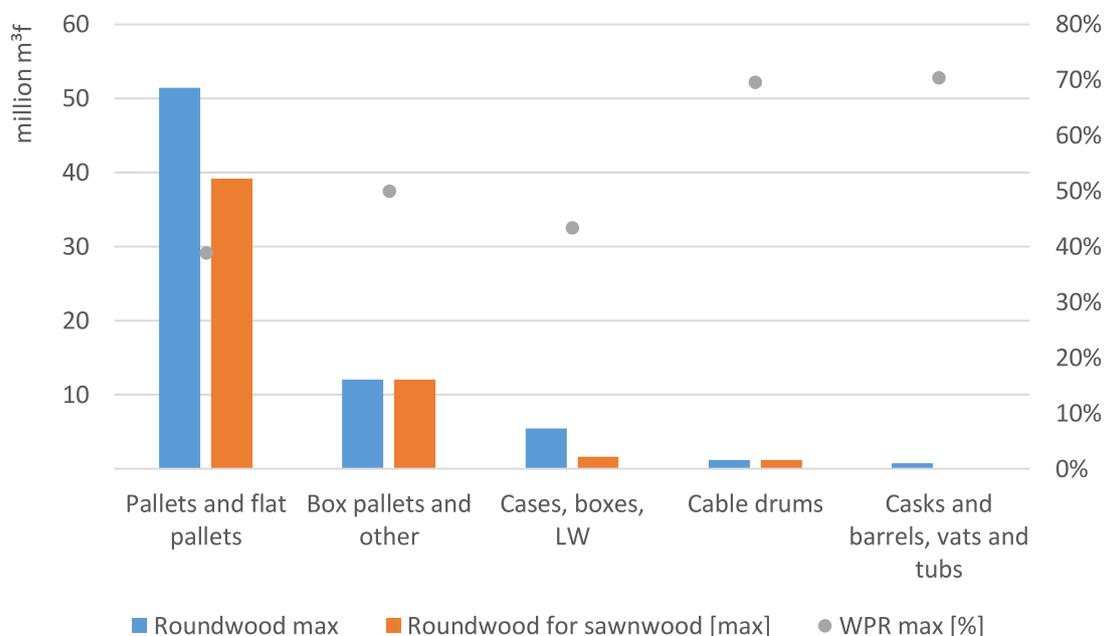
Reference year 2018, EU28

The share of pallet production ranks highest on the European level (2018) (see Figure 3). Although the share of WPR from pallets is the lowest amongst wood packaging products, the highest share by supply volume can be realised. Due to low production volumes, the high shares of WPR of cable drums, and casks and barrels only result in low supply volume of WPR. The production of pallets and box pallets account for 90% of the total production of wood packaging.

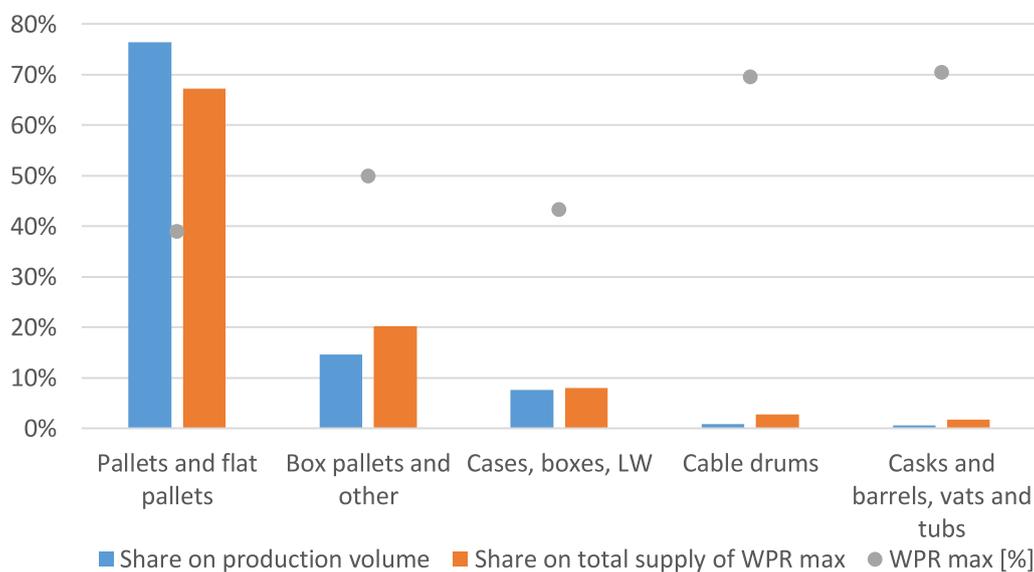
### 3.3. Wood resource input and WPR of further processing in wood packaging

To close the data gap of wood resource consumption on the level of further processing, we quantify shorter material flows and the product of conversion efficiency  $me_i$  of the related conversion steps. Thus, more detailed results on supply volumes of WPR along the production process of wood products can be derived based on particular coefficients. They indicate the material input on the level of further processing (also secondary processing), e.g., initial input of semi-finished wood products such as sawnwood and wood based-panels. Table 7 shows the volume of wood resource input on further processing levels as well as the supply volume of secondary WPR. The coefficients for the quantification of wood resource input on further processing level as well as the quantification of WPR supply based on initial wood resource input and production volume are given in Table 8.

Compared to the results of total supply of WPR in Table 7 and respective coefficients in Table 8, a range of results can only be given for the production of casks and barrels, etc. Here, the results are only based on own calculations due to missing differentiation of the material conversion in the references (e.g., Albrecht et al. 2013).



**Fig. 2.** Total roundwood input, sawnwood production and shares of WPR (EU28) 2018  
Source: Own calculations based on [dataset] Eurostat (2021).



**Fig. 3.** Shares on production volume and supply of wood processing on total production and total supply, shares of WPR (EU28) 2018  
Source: Own calculations based on [dataset] Eurostat (2021).

**Table 7**  
Wood resource input and WPR on further processing level 2018, EU28.

Product group	Wood resource input 2nd processing [m³f]		2nd WPR [m³f]	
	max	min	max	min
Pallets and flat pallets	33,689,146		2494,881	
Box pallets and other	6609,108		638,008	
Cases, boxes, LW	3765,659		1071,353	
Cable drums	513,337		160,608	
Casks and barrels, vats and tubs	736,135	732,400	450,063	446,922
<b>Total</b>	<b>45,313,386</b>	<b>41,543,991</b>	<b>4814,913</b>	<b>4811,772</b>

**Table 8**  
Coefficients of further processing and secondary WPR.

Product group	2nd IP <sub>i</sub>		2nd R(IN) <sub>i</sub>		2nd R(P) <sub>i</sub>	
	max	Min	max	min	max	min
Pallets and flat pallets	1.081		0.049		0.080	
Box pallets and other	1.108		0.053		0.107	
Cases, boxes, LW	1.221		0.195		0.347	
Cable drums	1.462		0.160		0.457	
Casks and barrels, vats and tubs	3.118	1.304	0.611	0.118	2.118	0.301

Reference year 2018, EU28

### 3.4. Country specific results

Fig. 4 gives an overview of the total supply of WPR by country in reference to the total production volume. The shares of SBP of the total WPR volume are also presented on country level.

Clear differences in the supply volume of WPR can be seen when looking explicitly at results on the country level. The main producing countries Italy, Poland, France, Germany, and Spain show high production volumes, mainly of pallet production. Differences in the shares of SBP and the respective share of secondary WPR are due to the composition of production of wood packaging products. Italy mainly produces pallets, box pallets and lightweight packaging with lower shares of WPR. The French wood packaging production includes pallets and the highest production volume of casks and barrels – the latter with the highest share of WPR. The following Fig. 5 shows exemplary results on the product composition and dependent volume of WPR of countries with a total production volume over one million m<sup>3</sup>f, listed according to total production volume.

The country specific results in Fig. 5 show the prevailing production of pallets. Next to high total production volumes, the volume of total WPR ranks highest in countries with products mainly made of sawnwood (pallets and box pallets). Furthermore, the production of cases, boxes and lightweight products also influences the total volume of WPR.

Fig. 6 presents country specific results of the total roundwood volume, the produced volume of sawnwood within the production of wood packaging as well as the volume of WPR and share of secondary WPR from further processing. Countries with a total roundwood volume > 1 million m<sup>3</sup>f are displayed.

As one of the main producers of pallets and box pallets (see Fig. 5), the total roundwood consumption ranks highest in Italy followed by France and Poland. Moreover, these countries, and also Spain and Germany require the highest volumes of sawnwood for wood packaging. Volumes of secondary WPR are relatively in line with the volumes of WPR. However, the high production volumes of lightweight packaging and casks and barrels in Italy, France and Spain also result in comparably high volumes of secondary WPR.

## 4. Discussion

Current literature and research lack a general approach for the

quantification of WPR on the basis of available data sets of forest products. With the present study we are able to present a calculation approach for the quantification of the potential supply of WPR based on material flow analysis. The respective focus is on the analysis of material input, the successive material conversion and related material efficiency of processes. This enables the quantification of process-related supply volumes of WPR, as well as the respective wood resource input on any level of the analysed flow.

Compared to earlier studies by Alderman et al. (1999) Mantau and Hartig (2003) Szostak et al. (2004) we track the calculation approach and serve the application on any wood product. Given the data availability by, e.g., Prodcop (Eurostat 2021), and prior MFA, the presented approach is general. Thus, it can be applied for the analysis of different countries and over time.

As shown, the calculation approach can be applied to production data of wood packaging products for the calculation of the supply of WPR and particular wood resource consumption. The presented approach shows the importance of prior material flow analysis for further quantification and exposition of numbers. High shares of WPR and respective shares of SBP of the chosen example reveal the importance of general quantification of the residual wood resource. Moreover, the exemplary calculation of WPR from wood packaging as well as the sector's wood resource consumption (input) illustrates the potential of the further processing sectors. Generally, the supply volume of WPR of a product grows with the volume of production. The supply volume of a product group, e.g., wood packaging, varies depending on the product composition and respective production volumes. Therefore, differences in the country specific supply of WPR are related to the composition of wood packaging products.

### 4.1. Discussion of the results

The research frame of the present study covers the analysis of standardised wood packaging and represents the calculation of the theoretical potential. However, to elaborate the results we applied ranges to differentiate the assumptions and to follow diverse references, e.g., with lightweight products. Compared to data given by Albrecht et al. (2013) we differentiated the material flow even further and applied a weighted average to consider the material differences of the resource mix. Results of the quantification of the two varying flows show

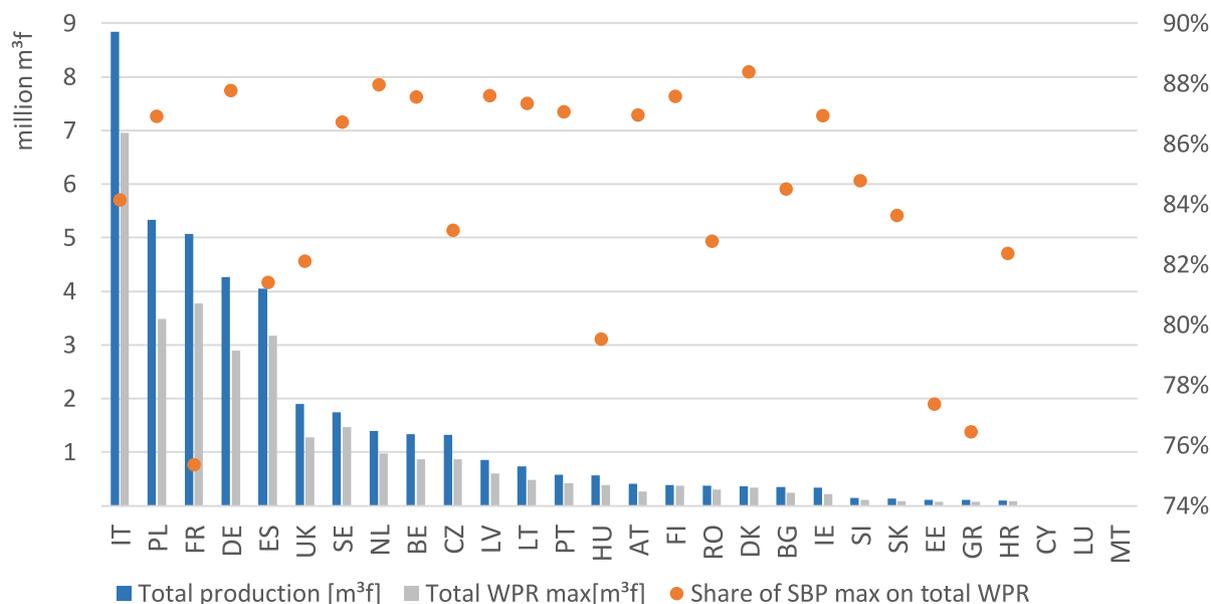


Fig. 4. Total production volume and supply of WPR by country, share of SBP (EU28) 2018  
Source: Own calculations based on [dataset] Eurostat (2021).

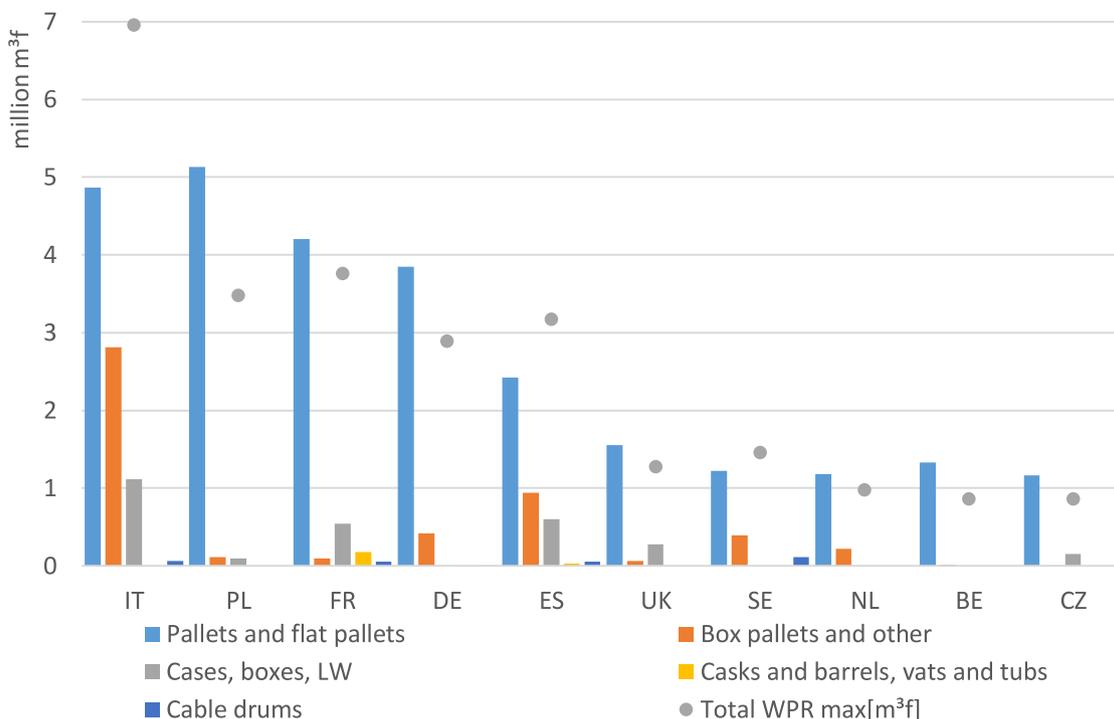


Fig. 5. Composition of production volume and total WPR of countries > 1 million m<sup>3</sup>f, 2018  
Source: Own calculations based on [dataset] Eurostat (2021).

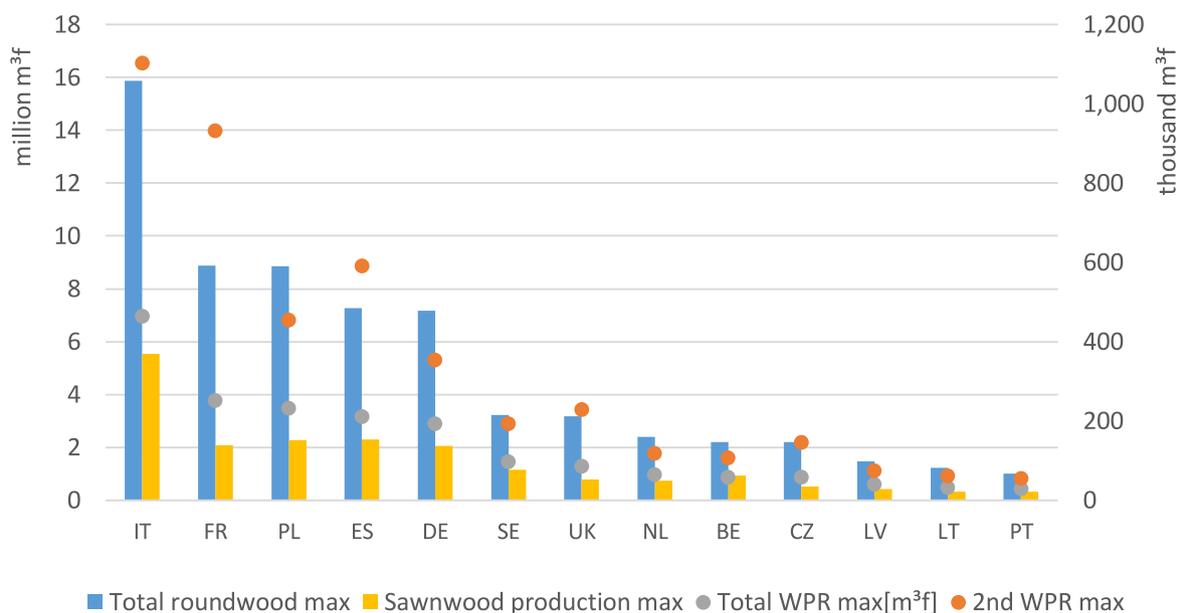


Fig. 6. Volumes of total roundwood, total WPR, produced sawnwood and secondary WPR.

a considerable range of one million m<sup>3</sup>f in the supply of WPR. For the case of Italy with high production volumes of lightweight products, results show a range of about 360,000 m<sup>3</sup>f, which equals 5% of total WPR. Whereas the assumptions made on differences in the production of casks, barrels, vats and tubs only result in minor volumes on the total and country level. The ranges equal less than 1% of the countries' total supply of WPR.

As regards the initial wood resource input as well as the lengths of the flows, references show diverse patterns. This applies, e.g., for pallet production (USDA Forest Service 1971; Lübbersmeyer 2021) or production of lightweight products (Albrecht et al. 2013; Kirschner 2020)

and covers vertical integration of wood packaging (Lübbersmeyer 2021).

Thus, we basically quantify the complete material flow along its conversion steps by reverse calculation – starting from the given production volume towards the initial wood resource input. Following this approach, we avoid double counting of potential wood resources, i.e., input roundwood and the accumulating WPR volume. In addition, based on the particular differentiation of the material flows into conversion steps, the quantified volumes of wood resource input as well as WPR can be accounted on separate level. Thus, it is very likely to quantify the respective volumes of secondary WPR as well as the particular supply of

SBP. These results can be applied to close important data gaps on the particular shares or volumes of WPR from further processing (Vis et al. 2016; Camia et al. 2021).

For the calculation of secondary WPR from conversion of semi-finished wood products, the differentiation of the flows based on ranges was not applicable. Differences in the number of conversion steps mainly occur in the conversion of roundwood to sawnwood at the beginning of the material flow. The detailed analysis of the material efficiency of all conversion steps goes beyond the conversion factors provided by FAO/ UNECE (2020).

In the present study we calculate a total maximum volume of 29.7 million m<sup>3</sup>f WPR including a volume of 25 million m<sup>3</sup>f SBP. The volume of WPR equals a mean share of WPR for the manufacturing of wood packaging products of 41 - 42% for the year 2018. Generally, the product-specific shares of WPR range from 30% to 70% (see Table 6). The average share of WPR from wood packaging changes over time and country dependent on the product composition. The range of the coefficients of the analysed product group reveals the importance of a differentiated quantification of WPR based on the application of product specific coefficients. So far, there are no comparable results on the total volume of WPR, except the mean share of the efficiency of European sawmill industry. The industry's respective share of total WPR (assuming 100% SBP) is 45% (FAO/ UNECE 2020).

The calculated maximum volume of produced sawnwood is 29.6 million m<sup>3</sup>f in 2018 (24.1 million m<sup>3</sup>f in 2014). This corresponds to the consumed sawnwood in the production of wood packaging and exceeds the latest data of estimated 20 million m<sup>3</sup> of the sector's sawnwood consumption in 2015 given by UNECE (2016) considerably. According to UNECE (2016), the wood packing sector used about 20% of the total sawnwood production in EU28. This share basically corresponds to the results of the present study. As a result of the present study, the share of the sector's sawnwood production is about 23% in the year 2015 (24%, 2018) based on FAOSTAT (2021).

Based on the sector's production volume in 2018, the calculated share of secondary WPR is 10.6% in reference to the wood resource input on further processing level. Saal (2010) and Mantau (2012) applied a total share of 9.7% for the calculation of WPR from wood packaging on EU27 level. The share originates from the empirical study on the German wood packaging industry in 2002 by Mantau and Hartig (2003). However, the study does not reveal the composition of data and respondents by product group and thus, is limited in the application on broader level. Vis et al. (2016) present a 'provision volume' of WPR from wood packaging of 4.7 million m<sup>3</sup>f. The number refers to the estimation of secondary WPR without any further information on data composition, differences in the composition of products or production volume. Both shares refer to the wood resource input on further processing level. Thus, their application on sector specific data is limited, since data on wood consumption on further processing level are not gathered on necessary level. Moreover, results of the application of a mean share of 9.7 % on countries with predominant pallet production are too high. A similar effect results on the application of the share of 4.7% given by Vis et al. (2016) in the case of particular production of lightweight packaging, cable drums or casks and barrel products.

#### 4.2. Discussion of method and data

The assumptions generalise the sector of wood packaging for the purposes of the exemplary application of the calculation approach on European level. Small differences may exist with respect to the level of industrialisation of the processing and conversion steps of the considered countries. Thus, the calculation approach may bear bias or uncertainties in the assumptions on industry structure, material flow patterns and material efficiency. However, we tried to avoid these influences by focusing on the given systematic of product classification (Prodcum) and specific references. Moreover, the described assumptions can be adjusted based on available knowledge, data and future

references. This applies also to the set of data. The calculation of product specific input-output coefficients is based on default values given by a study of Diestel and Weimar (2014) and data by Thuenen Institute (2021). Respective background data on the carbon content, product specific density of wood species, as well as the composition of the material, are dynamic and may change over time.

The model could be further validated using very explicit data of manufacturing data. Unfortunately, we did not have these data. What we did was a validation based on the manufacturing of sawnwood and planed wood based on coefficients provided by (FAO/ UNECE 2020). Here, some reliable information was available on the inputs and outputs. For further processed wood products this was not possible. Also, we mathematically checked the calculation approach by conducting the argumentation, see 6.2.

For the evaluation of available data on annual production by Prodcum we roughly analysed the share of data availability of wood packaging products based on the reported data by country [dataset] (Eurostat 2021). Data on the production of 2018 are available to 86% (pallets) and about 36% (casks and barrels). The rough share includes "confidential volumes" as well as zero production. In fact, as described in Eurostat (2017a) some countries report their production as zero as long as their respective production is less than 1% of the community total. That implies that we might miss production volumes and thus supply volumes of WPR within our calculation based on Prodcum data. Moreover, small sized companies with less than 20 employees are excluded from reporting (Eurostat 2017a).

Compared to other end-use products, such as furniture, the chosen sector is assigned to a few, rather homogenous product groups. However, due to the structure of the wood packaging industry, the volume of WPR is even higher since the sample calculation relies on the homogenous production of standardised products. In contrast to standardised wood packaging products, the quantification of WPR from individual wood packaging products, e.g., large tailor-made machinery, can only be based on vague estimates or detailed empirical studies. Other product groups, such as wood-based construction, may show a high variation of material composition and heterogeneity within the product group. Thus, the application of the calculation approach on various wood products, wood composites or wood supply chains requires a prior analysis regarding their material composition of products and production process. Generally, the approach can be applied on any classified wood product, however the analysis of the product or product group may differ in the level of extent.

Thus far, the WPR from further processing industries do not appear as marketable volumes, compared to SBP. However, the volume of WPR from wood packaging is already used and a part of cascading and circular resource flows. Vis et al. (2016) state that the use of WPR in the wood-based-panel production is one of the few established applications of cascading on European level. However, definite amounts of WPR from wood packaging (not to mistake with wood packaging waste) used in the production of wood-based panels are not known. In Germany, approximately 25% of WPR that accumulate in wood packaging production are used for industry internal energy use (Mantau and Hartig 2003). Compared to other wood processing industries, the share is small due to a lower demand of process energy during the production of wood packaging. If not disposed, a share of 75% can be allocated to material use, i.e., cascading use. In terms of climate change mitigation, the CO<sub>2</sub>-neutral energy use of WPR in general, entails the theoretic substitution of fossil fuels (Sulaiman et al. 2020; Myllyviita et al. 2021).

## 5. Conclusion

The presented general calculation approach and the sample application in this study contribute to filling in the data gap on the supply of WPR (as described, e.g., in Camia et al. (2021)), especially of end-use sectors. Given the general calculation approach, the data set of product specific coefficients can be applied on available data on any spatial

or regional level. The advantage of the general calculation approach is its adaptability to different research focus but also to current changes. It is, however, important to know the studied product and product group, to assign reasonable data or individual assumptions on material flow patterns and material efficiency, if there is no adequate data available. Generally, data on resource efficiency, and WPR in particular, would strongly benefit from detailed empirical research. Following the up-to-date objectives of circular economy, the recycling and pooling (e. g., pallets) of wood packaging products as well as the level of repair and recycling of end-use products in general is relevant for further differentiated research of wood resource consumption and supply of WPR. Additionally, the calculation of the possible mitigation effect can be part of further research.

The particular results of the study can be applied for a more detailed analysis of wood resource availability, trade flows and objectives of, e.

g., wood-based circular economy and shall be seen as a stimulus to further investigate wood resource flows.

### Declaration of Competing Interest

The authors declare that they have no known competing financial interests or personal relationships that could have appeared to influence the work reported in this paper.

### Acknowledgements

We thank Johanna Schliemann for her support with e! Sankey as well as Hermann Englert with the visualisation of the tree diagram and calculation approach based on Latex. The authors of the study also thank the anonymous reviewers for their valuable comments.

## Appendix A

Supply of wood processing residues – a calculation approach on the example of the wood processing residues from wood packaging

### Mathematical derivation of the general calculation approach

The following equations describe the model of the quantification of the material flows. The main equations of the calculation approach are given in the main paper (see 2.1).

The basic components of the assumed (modelled) production process of a product with index  $i$  can be described as in equation 1.

$$IN_i = P_i + WPR_i + L_i \quad (\text{A.1})$$

Where  $IN_i$  is the wood input to the material flow,  $P_i$  is the production volume of the manufactured product,  $WPR_i$  is the quantity of wood processing residues and  $L_i$  are losses<sup>2</sup> of the production process.

$$L_i = l * WPR_i \quad (\text{A.2})$$

Where  $l$  is an overall factor, dependent on  $WPR_i$ . We assume  $l = 0.01$

Inserted in Eq. 1, we get:

$$IN_i = P_i + WPR_i + l * WPR_i = P_i + (1 + l) * WPR_i \quad (\text{A.3})$$

$P_i$  can be derived from product specific C-factor and density – applied on production output given in mass or volume. The specific content of carbon equals a share of 51.9% wood fibre content. We calculate  $P_i$  in  $\text{m}^3\text{f}$ .

$$P_i = \left[ \begin{array}{l} P_0 * \alpha_i \\ 0.519 * \rho_i \end{array} \right] \quad (\text{A.4})$$

Where  $P_0$  is the given product specific production output (mass or pieces<sup>3</sup>),  $\alpha$  is the product specific carbon content,  $\rho_i$  is the product specific density (Diestel and Weimar 2014).

$P_i$  can also be derived from the factor  $me$  “material efficiency” and the following relation:

$$P_i = me_i * IN_i \quad (\text{A.5})$$

As  $me$  indicates the material efficiency of a process (conversion step) it is usually used with index  $n$ .

### Tree diagram

Following, we describe the calculation approach based on a tree diagram as an example. The shown tree diagram (Figure A.1) presents a theoretical process of three conversion steps. Three edges extend from every “knot” of the tree diagram spread. Formulas are given on the edges to calculate from one knot to the following knot. All three formulas of a knot need to add up to 1. Within the presentation we leave out the product specific index  $i$ :

Exemplarily we calculate the production volume of the third conversion step  $P_3$  depending on the initial input volume  $IN_1$ , we multiply along the upper branch.

$$P_3 = IN_1 * me_1 * me_2 * me_3 \quad (\text{A.6})$$

In general:

<sup>2</sup> We use capital letters (IN, P, L, WPR, M) for values to distinguish them from factors ( $me$ ,  $D$ ), given in small letters

<sup>3</sup> If the production is given in pieces, the average weight of the product is applied as a factor to calculate the mass.

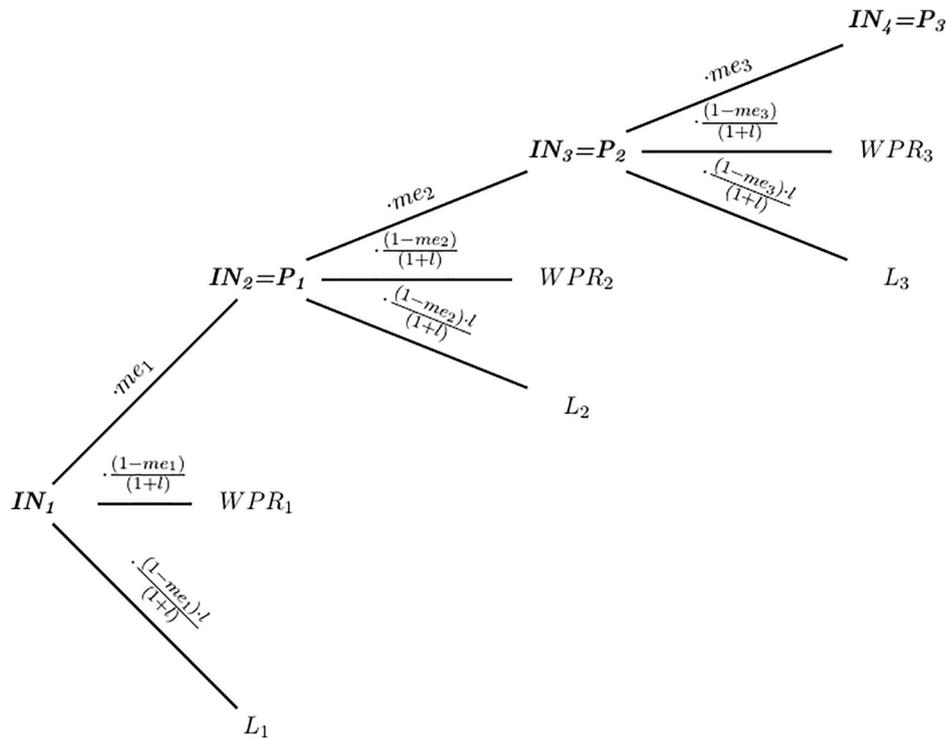


Fig. A.1. Tree diagram on wood resource input and output, conversion efficiency, WPR and losses.

$$P_n = IN_1 \prod_{j=1}^n me_j \tag{A.7}$$

Where j indices the conversion step of the process.

Converted to  $IN_1$  we obtain:

$$IN_1 = \frac{P_n}{\prod_{j=1}^n me_j} \tag{A.8}$$

Mathematical evidence =1

**Mathematical derivation of WPR as a function of  $IN_1$  based on the tree diagram and  $n = 3$ :**

$$WPR_1 + WPR_2 + WPR_3 = IN_1 * \frac{(1 - me_1)}{(1 + l)} + IN_2 * \frac{(1 - me_2)}{(1 + l)} + IN_3 * \frac{(1 - me_3)}{(1 + l)} \tag{A.9}$$

$$= IN_1 * \frac{(1 - me_1)}{(1 + l)} + IN_1 * me_1 * \frac{(1 - me_2)}{(1 + l)} + IN_1 * me_1 * me_2 * \frac{(1 - me_3)}{(1 + l)} \tag{A.10}$$

$$= IN_1 * \frac{1}{(1 + l)} * [(1 - me_1) + me_1 * (1 - me_2) + me_1 * me_2 * (1 - me_3)] \tag{A.11}$$

$$= IN_1 * \frac{1}{(1 + l)} * [1 - me_1 + me_1 - me_1 * me_2 + me_1 * me_2 - me_1 * me_2 * me_3] \tag{A.12}$$

$$= IN_1 * \frac{1}{(1 + l)} * [1 - me_1 * me_2 * me_3] \tag{A.13}$$

We obtain the following equation for the general case:

$$WPR = \sum_{i=1}^n WPR_i = WPR_1 + \dots + WPR_n = IN_1 * \frac{1}{(1 + l)} * (1 - \prod_{j=1}^n me_j) \tag{A.14}$$

Where  $\prod_{j=1}^n me_j$  is the product of all  $me$  of a production process.

**Mathematical derivation of Losses as a function of  $IN_1$  based on the tree diagram and  $n = 3$ :**

$$L_1 + L_2 + L_3 = IN_1 * \frac{(1 - me_1) * l}{(1 + l)} + IN_2 * \frac{(1 - me_2) * l}{(1 + l)} + IN_3 * \frac{(1 - me_3) * l}{(1 + l)} \tag{A.15}$$

$$= IN_1 * \frac{(1 - me_1) * l}{(1 + l)} + IN_2 * me_1 * \frac{(1 - me_2) * l}{(1 + l)} + IN_3 * me_1 * me_2 * \frac{(1 - me_3) * l}{(1 + l)} \quad (A.16)$$

$$= IN_1 * \frac{l}{(1 + l)} + [(1 - me_1) + me_1 * (1 - me_2) + me_1 * me_2 * (1 - me_3)] \quad (A.17)$$

$$= IN_1 * \frac{l}{(1 + l)} + [1 - me_1 + me_1 - me_1 * me_2 + me_1 * me_2 - me_1 * me_2 * me_3] \quad (A.18)$$

$$= IN_1 * \frac{l}{(1 + l)} * [1 - me_1 * me_2 * me_3] \quad (A.19)$$

We obtain the following equation for the general case:

$$L = \sum_{i=1}^n L_i = L_1 + \dots + L_n = IN_1 * \frac{l}{(1 + l)} * (1 - \prod_{j=1}^n me_j) \quad (A.14)$$

Mathematical evidence: Sum of all P, WPR and L= IN<sub>1</sub>

## References

- Albrecht, Stefan, Brandstetter, Peter, Beck, Tabea, Fullana-i-Palmer, Pere, Grönman, Kaisa, Baitz, Martin, et al., 2013. An extended life cycle analysis of packaging systems for fruit and vegetable transport in Europe. *Int. J. Life Cycle Assessm.* 18 (8), 1549–1567. <https://doi.org/10.1007/s11367-013-0590-4>.
- Alderman, D.R., Smith, R.L., Reddy, V.S., 1999. Assessing the availability of wood residues and wood residue markets in Virginia. *For. Prod. J.* 49 (4).
- Philip, Anil, Sebastian, K., 2010. Environmental analysis of pallets using life cycle analysis and multi-objective dynamic programming. Master Thesis. Pennsylvania State University. College of Engineering.
- Baltresto Germany (2021): Holzbadefass | Badefass Bausatz | Badezuber mit Ofen. Available online at <https://baltresto.de/produkte/badezuber/holzbadezuber>, updated on 5/18/2021, checked on 5/18/2021.
- Barthel, Leif, Albrecht, Stefan, 2007. The Sustainability of Packaging Systems for Fruit and Vegetable Transport in Europe based on Life-Cycle-Analysis. University of Stuttgart, Chair of Building Physics, Dpt. of Life Cycle Engineering.
- Batidzirai, B., Smeets, E.M.W., Faaij, A.P.C., 2012. Harmonising bioenergy resource potentials—Methodological lessons from review of state of the art bioenergy potential assessments. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 16 (9), 6598–6630. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.09.002>.
- Bengtsson, Jonas, Logie, James, 2015. Life Cycle Assessment of one-way and pooled pallet alternatives. *Procedia CIRP* 29, 414–419. Available online at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212827115000852>, checked on 5/16/2019.
- Böhm, Silke; Große, Silvia; Jochum, Michael; Letzel, Thomas; Müller-Schick, Christian; Schmarr, Hans-Georg; Seegmüller, Stefan (2013): *Fassholz aus Rheinland-Pfalz*. FORSCHUNGSANSTALT FÜR WALDÖKOLOGIE UND FORSTWIRTSCHAFT RHEINLAND-PFALZ.
- Bösch, Matthias, Jochem, Dominik, Weimar, Holger, Dieter, Matthias, 2015. Physical input-output accounting of the wood and paper flow in Germany. *Resour. Conserv. Recycl.* 94, 99–109. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2014.11.014>.
- Brosowsky, André, Thrän, Daniela, Mantau, Udo, Mahro, Bernd, Erdmann, Georgia, Adler, Philipp, et al., 2016. A review of biomass potential and current utilisation – Status quo for 93 biogenic wastes and residues in Germany. *Biomass Bioenergy* 95, 257–272. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2016.10.017>.
- Camia, A, Giuntoli, J, Jonsson, R, Robert, N, Cazzaniga, N E, Jasinevicius, G, et al., 2021. *JRC, 2021. The Use of Woody Biomass For Energy Production in the EU. EUR 30548 EN*. JRC. Publications Office of the European Union. <https://doi.org/10.2760/831621>. Edited by JRC122719 Available online at.
- Cote, M., Poganietz, W.-R., Schebek, L., 2015. Quantitative and qualitative dynamic Modelling of secondary raw materials of wood products in Germany. *Matériaux Techniq.* 103 (1), 104–110, 103 1 (2015) 104 checked on 11/3/2020.
- Da Silva, Joma, Emiliin, Schmidt, Goran, Mantau, Udo, 2020. Wood Resource Balance for plantation forests in Brazil. Resources, Consumption and Cascading use. *CERNE* 26 (2), 247–255. <https://doi.org/10.1590/01047760202026022718>.
- Daian, G., Ozarska, B., 2009. Wood waste management practices and strategies to increase sustainability standards in the Australian wooden furniture manufacturing sector. *J. Cleaner Prod.* 17 (17), 1594–1602. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2009.07.008>.
- Diessel, Silvia; Weimar, Holger, 2014. Der Kohlenstoffgehalt in Holz- und Papierprodukten: Herleitung und Umrechnungsfaktoren. Thünen working paper 38. Johann Heinrich von Thünen-Institut (38). Available online at 10.3220/WP\_38\_2014 [DOI].
- Eurostat, 2017a. Methodology - Prodcom - statistics by Product - Eurostat. Prodcom User Guide. Available online at: <https://ec.europa.eu/eurostat/web/prodcom/methodology>, updated on 8/10/2021, checked on 8/10/2021.
- Eurostat, 2017b. *Prodcom Classification List*. Europa - RAMON - Classification Detail List. Available online at: [https://ec.europa.eu/eurostat/ramon/nomenclatures/index.cfm?TargetUrl=LST\\_NOM\\_DTL&StrNom=PRD\\_2017&StrLanguageCode=EN&IntPcKey=41631000&StrLayoutCode=HIERARCHIC&IntCurrentPage=1](https://ec.europa.eu/eurostat/ramon/nomenclatures/index.cfm?TargetUrl=LST_NOM_DTL&StrNom=PRD_2017&StrLanguageCode=EN&IntPcKey=41631000&StrLayoutCode=HIERARCHIC&IntCurrentPage=1), updated on 12/4/2020, checked on 12/4/2020.
- Eurostat (2021): Manufactured goods (Prodcom). Data Excel files (NACE Rev.2). Statistics on the production of manufactured goods Value ANNUAL 2018. Available online at <https://ec.europa.eu/eurostat/de/web/prodcom/data/excel-files-nac-e-rev.2>, checked on 12/4/2020.
- FAO/UNECE, 2020. Forest Product Conversion Factors. [S.l.]. Food & Agriculture Org.
- FAOSTAT (2021): Forestry Production and Trade Statistics. Edited by FAO. Available online at <http://www.fao.org/faostat/en/#data/FO>, updated on 8/16/2021, checked on 8/17/2021.
- FEDEMCO (2020): Light wooden packaging. - YouTube. Available online at [https://www.youtube.com/watch?v=SRD463YQ\\_Eg](https://www.youtube.com/watch?v=SRD463YQ_Eg), updated on 11/3/2020, checked on 11/3/2020.
- Flor, F.J., Leiva, F.J., García, J., Martínez, E., Jiménez, E., Blanco, J., 2017. Environmental impact of oak barrels production in Qualified Designation of Origin of Rioja. *J. Cleaner Prod.* 167, 208–217. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.08.190>.
- Hetemäki, Lauri, Hanewinkel, Marc, Muys, Bart, Aho, Esko, 2017. Leading the Way to a European Circular Bioeconomy Strategy. European Forest Institute, Joensuu. From Science to Policy, 5.
- Hirschnitz-Garbers, Martin, Srebotnjak, Tanja, Gradmann, Albrecht, Lutter, Stephan, Giljum, Stefan, 2014. Further Development of Material and Raw Material Input Indicators - Methodological Discussion and Approaches for Consistent Data Sets. Ecologic Institute, WU Wien. Berlin.
- Hiziroglu, Salim; Adams, Win (2017): Efficient-use-of-bandsaws-in-lumber-manufacturing. Oklahoma State University - Division of Agricultural Sciences and Natural Resources (Oklahoma Cooperative Extension Fact Sheets, NREM-5046). Available online at <https://extension.okstate.edu/fact-sheets/print-publications/nrem/efficient-use-of-bandsaws-in-lumber-manufacturing-nrem-5046.pdf>, checked on 6/11/2021.
- Hunecke, D., 1966. Die Umrechnungsfaktoren für die Aufstellung von Holzbilanzen. *Holz-Zentralblatt: unabhängiges Organ für die Forst- und Holzwirtschaft* 1966, 1737–1739, 8/12/1966 (96).
- Hurmekoski, Elias, Jonsson, Ragnar, Korhonen, Jaana, Jänis, Janne, Mäkinen, Marko, Leskinen, Pekka, Hetemäki, Lauri, 2018. Diversification of the forest industries: role of new wood-based products. *Can. J. For. Res.* 48 (12), 1417–1432. <https://doi.org/10.1139/cjfr-2018-0116>.
- Jacobi, Nikolai, Haas, Willi, Wiedenhofer, Dominik, Mayer, Andreas, 2018. Providing an economy-wide monitoring framework for the circular economy in Austria: Status quo and challenges. *Resour. Conserv. Recycl.* (137), 156–166. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.05.022>. Available online at.
- Jonsson, Ragnar; Hurmekoski, Elias; Hetemäki, Lauri; Prestemon, Jeffrey P. (2017): What is the Currents State of Forest Product Markets and How Will They Develop in the future? Edited by Georg Winkel. European Forest Institute (What Science Can Tell Us, 8).
- Kaltschmitt, M.; Hartmann, H.; Hofbauer, H. (2009): Energie aus Biomasse.
- Kirschner, Markus, 2020. *Product Information On Lightweight packaging, Boxes and Crates*. Call to Ulrike Saal, Hamburg/Germany, p. 2020.
- Konsemüller, Felix, 2016. *Verpackungsindustrie - Holz mengen und Anteile in Verpackungsprodukten*. Bachelorarbeit. Universität Hamburg, Hamburg. Arbeitsbereich Ökonomie der Holz- und Fortwirtschaft.
- Laglasse (2006): fabrication de merrain, conception de tonneau, chênes, laglasse. Available online at <http://www.laglasse.com/fabrication-de-merrain.htm>, updated on 4/28/2006, checked on 11/3/2020.
- Lenglet, Jonathan, Courtonne, Jean-Yves, Cauria, Sylvain, 2017. Material flow analysis of the forest-wood supply chain: A consequential approach for log export policies in France. *J. Cleaner Prod.* 165, 1296–1305. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.07.177>.
- Lin, W., Wang, J., Wu, J., DeVallance, D., 2011. Log Sawing Practices and Lumber Recovery of Small Hardwood Sawmills in West Virginia. *For. Prod. J.* 61 (3), 216–224.
- Lübbersmeyer, Jens, 2021. Vertical integration in pallet production EPAL. Interview, schriftlich to Ulrike Saal 2021. E-Mail.

- Mantau, U., 2012. *Wood Flows in Europe (EU27). Project Report*. With assistance of CEPI, Celle.
- Mantau, U., 2014. Wood flow analysis: Quantification of resource potentials, cascades and carbon effects. *Biomass Bioenergy*. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2014.08.013>. Available online at.
- Mantau, U., Hartig, A., 2003. *STANDORTE Der Holzwirtschaft. Aufkommen und Verwendung von Industriestholz*. Ordinariat für Weltforstwirtschaft Arbeitsbereich der Ökonomie der Holz- und Forstwirtschaft. Universität Hamburg. Edited by.
- Marques, Alexandra, Cunha, Jorge, De Meyer Annelies, Navare, Kranti, 2020. Contribution Towards a Comprehensive Methodology for Wood-Based Biomass Material Flow Analysis in a Circular Economy Setting. *Forests* (1), 11. <https://doi.org/10.3390/f11010106>. Available online at.
- Mendoza, Zafra Morais dos Santos Hurtado de, Evangelista, Wesley Viana, Oliveira, Solange de, 2010. An analysis of the wood residues generated by carpentry shops in Viçosa, State of Minas Gerais. *Revista Arvore* 34 (4), 755–760 checked on 11/3/2020.
- Myllyviita, Tanja, Soimakallio, Sampo, Judl, Jáchym, Seppälä, Jyri, 2021. Wood substitution potential in greenhouse gas emission reduction—review on current state and application of displacement factors. *For. Ecosyst* 8 (1). <https://doi.org/10.1186/s40663-021-00326-8>.
- OECD (2008). Measuring material flows and resource productivity. Synthesis Report. Oxford English Dictionary (2015): Oxford English Dictionary. Available online at <http://www.oed.com/>, checked on 10/13/2015.
- Parobek, Ján, Paluš, Hubert, Kaputa, Vladislav, Šupín, Mikuláš, 2014. Analysis of Wood Flows in Slovakia. *BioResources* 9 (4). <https://doi.org/10.15376/biores.9.4.6453-6462>.
- Perlack, R.D.; Wright, L.L.; Turhollow, A.F.; Graham, R.L.; Stokes, B.J.; Erbach, D.C. (2005): *Biomass as Feedstock for A Bioenergy and Bioproducts Industry*. The Technical Feasibility of a Billion-Ton Annual Supply. Available online at [http://www1.eere.energy.gov/bioenergy/pdfs/final\\_billionton\\_vision\\_report2.pdf](http://www1.eere.energy.gov/bioenergy/pdfs/final_billionton_vision_report2.pdf).
- Pfeifer Group (2020): Das Produkt - Pfeifer Group – Passion for Timber. – Passion for Timber. Available online at <https://www.pfeifergroup.com/de/produkte/palettenkloetze-verpackungsholz/palettenkloetze/das-produkt/>, updated on 11/2/2020, checked on 11/2/2020.
- Saal, U. (2010): *Industrial wood residues. in: EUwood - Real potential for changes in growth and use of EU forests*. Methodology report. Hamburg/Germany. Available online at [http://ec.europa.eu/energy/renewables/studies/doc/bioenergy/euwood\\_final\\_report.pdf](http://ec.europa.eu/energy/renewables/studies/doc/bioenergy/euwood_final_report.pdf).
- Saal, Ulrike, Weimar, Holger, Mantau, Udo, 2019. Wood Processing Residues. *Adv. Biochem. Eng. Biotechnol.* 166, 27–41. [https://doi.org/10.1007/10\\_2016\\_69](https://doi.org/10.1007/10_2016_69).
- Sathre, Roger, Gustavsson, Leif, 2009. Process-based analysis of added-value in forest product industries. *For. Policy Econ.* (11), 65–75.
- Schier, Franziska, Morland, Christian, Dieter, Matthias, Weimar, Holger, 2021. Estimating supply and demand elasticities of dissolving pulp, lignocellulose-based chemical derivatives and textile fibres in an emerging forest-based bioeconomy. *For. Policy Econ.* 126, 102422 <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2021.102422>.
- Schweinle, Jörg, Geng, Natalia, Iost, Susanne, Weimar, Holger, Jochem, Dominik, 2020. Monitoring sustainability effects of the bioeconomy: a material flow based approach using the example of softwood lumber and its core product Epal 1 pallet. *Sustainability* 12 (6), 2444. <https://doi.org/10.3390/su12062444>.
- Sörgel, C.; Mantau, U.; Weimar, H. (2006): Standorte der Holzwirtschaft. Aufkommen von Sägebrenprodukten und Hobelspänen. Universität Hamburg, Zentrum Holzwirtschaft Arbeitsbereich Ökonomie der Holz- und Forstwirtschaft. Hamburg.
- Steele, P.H., 1984. *Factors Determining Lumber Recovery in Sawmilling. General Technical Report - 39*. USDA Forest Service.
- Sulaiman, Chindo, Abdul-Rahim, A.S., Ofozor, Christopher Amechi, 2020. Does wood biomass energy use reduce CO2 emissions in European Union member countries? Evidence from 27 members. *J. Cleaner Prod.* 253, 119996 <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.119996>.
- Sydr, Maciej, Wolpiuk, Marcin, Surowanec, Marzena, Rogozinski, Tomasz, 2017. Issues of wooden cable drum production technology. *Ann. Warsaw Univ. Life Sci.* (100), 11–17 checked on 11/2/2020.
- Szostak, A., Ratajczak, E., Bidzińska, G., Galecka, A., 2004. Rynek przemysłowych odpadów drzewnych w Polsce. (The industrial wood residues market in Poland). *Drewno – Wood* 47 (172), 69–89. Nr.
- Tatàno, Fabio, Barbadoro, Luca, Mangani, Giovanna, Pretelli, Silvia, Tombari, Lucia, Mangani, Filippo, 2009. Furniture wood wastes: experimental property characterisation and burning tests. *Waste Manage.* 29 (10), 2656–2665. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2009.06.012>.
- Thuenen Institute, 2021. *Data Base - Foreign trade Balance*. Thuenen Institute of Forestry, Hamburg/Germany checked on 4/16/2021.
- UNECE (2016): Trends and perspectives for pallets and wooden packaging. Edited by United Nations Economic Commission for Europe Committee on Forests and the Forest Industry. Geneva. Available online at [https://www.unece.org/fileadmin/DAM/timber/meetings/20161018/E/ECE.TIM.2016.6.FINAL\\_wooden\\_packaging.pdf](https://www.unece.org/fileadmin/DAM/timber/meetings/20161018/E/ECE.TIM.2016.6.FINAL_wooden_packaging.pdf), checked on 5/6/2019.
- USDA Forest Service, 1971. *WOOD PALLET MANUFACTURING. RESEARCH NOTE FPL-0213*. U.S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE FOREST SERVICE FOREST PRODUCTS LABORATORY MADISON, WIS.
- Vis, M.; Mantau, U.; Allen, B. (2016): Study on the optimised cascading of wood. Edited by M. Vis, U. Mantau, B. Allen. European Comission Luxembourg. Available online at doi: 10.2873/827106.
- Yang, P., Jenkins, B.M., 2008. Wood residues from sawmills in California. *Biomass Bioenergy* 32 (2), 101–108. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2007.09.001>.
- Zamko (2019): Palettenbox -4 Aufsatzrahmen (höhe 800 mm). Available online at <http://zamko.eu/de/produkt/holz-palettenboxen/palettenbox-4-aufsatzrahmen-hohe-800-mm/>, updated on 7/18/2019, checked on 10/29/2020.

#### Internet sources

## Weitere Veröffentlichungen und wissenschaftliche Beiträge

1. Saal U, Iost S, Weimar H (2022) Supply of wood processing residues - a basic calculation approach and its application on the example of wood packaging. Hamburg: Thünen Institute of Forestry, 1 p, Project Brief Thünen Inst 2022/17a, DOI:10.3220/PB1650527751000
2. Saal U, Iost S, Weimar H (2022) Verfügbarkeit von Industrierestholz - Ein grundlegender Berechnungsansatz am Beispiel der Holzpackmittelindustrie. Hamburg: Thünen-Institut für Waldwirtschaft, 1 p, Project Brief Thünen Inst 2022/17, DOI:10.3220/PB1650527288000
3. Mantau U; Mayr M; Döring P; Saal U; Glasenapp S; Blanke C (2017) World markets for wood: Status and prospects In: Energy from Organic Materials (Biomass), DOI: 10.1007/978-1-4939-7813-7\_990
4. Saal U (2014) Modelling the Supply of Sawmill Industry Residues on European Level, 22nd European Biomass Conference and Exhibition, Hamburg
5. Mantau U, Saal U (2011) Holzverknappung in der EU fordert Branche heraus: Szenarien des Rohstoffaufkommens und der Holznachfrage in Europa - Zusammenfassung der EU-Wood-Studie. Holz Zentralblatt 137(13):327-328
6. UNECE/FAO Forestry and Timber Section (2011) European Forest Sector Outlook Study II 2010-2030. United Nations, New York and Geneva, ISBN 978-92-1-117051-1
7. Mantau U, Saal U, Verkerk PJ, Eggers J, Lindner M, Anttila P, Asikainen A, Oldenburger J, Leek N, Steierer F, Prins C, Jonsson, R (2010) Will there be enough wood for all? EFInews, Volume 18 (3)
8. Mantau U, Saal U, Prins C, Steierer F, Lindner M, Verkerk PJ, Eggers J, Leek N, Oldenburger J, Asikainen A, Anttila P (2010) EUwood - Real potential for changes in growth and use of EU forests.: Methodology report, Hamburg
9. Mantau U, Saal U, Prins C, Steierer F, Lindner M, Verkerk PJ, Eggers J, Leek N, Oldenburger J, Asikainen A, Anttila P (2010) EUwood - Real potential for changes in growth and use of EU forests.: Final report Hamburg

## Erklärungen zum Eigenanteil

*Erklärung des Eigenanteils am wissenschaftlichen Beitrag I*

Saal U, Weimar H, Mantau U (2017) Wood processing residues, In: Advances in biochemical engineering/biotechnology 166, S. 27–41, DOI: 10.1007/10\_2016\_69

Der erste wissenschaftliche Beitrag wurde von U. Saal, H. Weimar und U. Mantau geschrieben. Der Artikel wurde im Oktober 2015 an die Gutachter der Reihe „Advances in Biochemical Engineering/Biotechnology“ des Springer Verlags gesandt und am 8.März 2017 online veröffentlicht. Der Artikel ist im Jahr 2019 als Buchkapitel im Sammelband „Biorefineries“ der genannten Reihe erschienen.

Auszug aus 3.1.1

Das grundlegende Konzept des Artikels wurde gemeinsam von U. Saal, H. Weimar und U. Mantau erarbeitet. Das theoretische Konzept wurde von U. Saal in Zusammenarbeit mit H. Weimar entwickelt. Die Datensammlung sowie Berechnung und Auswertung der Ergebnisse wurden von U. Saal durchgeführt. Kapitel 1 wurde in Zusammenarbeit mit H. Weimar geschrieben, Kapitel 2 und 3 wurden von U. Saal geschrieben, Kapitel 4 wurde in Zusammenarbeit mit U. Mantau geschrieben.

Bestätigung durch den Betreuer



.....

*Erklärung des Eigenanteils am wissenschaftlichen Beitrag II*

Terminology of wood processing residues (poster presentation), 3rd International Scientific Conference Wood-Science-Economy, Poznan, DOI: 10.13140/RG.2.2.23011.68645

Der *Abstract* zum zweiten wissenschaftlichen Beitrag wurde am 31.05.2019 zur Präsentation eines wissenschaftlichen Posters zur Konferenz "Wood-Science-Economy 2019" eingereicht und in Folge eines Review-Verfahrens im August 2019 angenommen. Das Poster wurde am 22. Oktober 2019 im Forum präsentiert.

Auszug aus 3.2.1

Die alleinige Autorin des Posters mit dem Titel „Terminology of wood processing residues - No data without wording“ ist U. Saal. Die Daten zur systematischen Literaturanalyse wurden mit Unterstützung einer studentischen Hilfskraft im Arbeitsbereich der Ökonomie der Holz- und Forstwirtschaft am Zentrum Holzwirtschaft der Universität Hamburg im Jahr 2015 gewonnen. Die zugrundeliegende Erarbeitung des theoretischen Konzeptes der Terminologearbeit, die systematische Literaturrecherche, die Datenauswertung und Darstellung der Ergebnisse wurden von U. Saal ausgearbeitet.

Bestätigung durch den Betreuer



.....

*Erklärung des Eigenanteils am wissenschaftlichen Beitrag III*

Supply of wood processing residues – a basic calculation approach and its application on the example of wood packaging, In: Trees, Forests and People 7(8):100199, DOI: 10.1016/j.tfp.2022.100199

Der dritte wissenschaftliche Beitrag wurde von U. Saal, S. Iost und H. Weimar verfasst. Der Artikel wurde am 31. August 2021 im Journal „Trees, Forests and People“ als Beitrag zum Sonderband „Wood-based solutions“ eingereicht und im Oktober 2021 in Folge eines Peer-Review-Verfahrens akzeptiert. Der Artikel wurde am 18. Januar 2022 online veröffentlicht.

Auszug aus 3.3.1

Hauptautorin des Artikels ist U. Saal. Die Ko-Autoren S. Iost und H. Weimar haben die Studie mit ihrer fachlichen Expertise unterstützt. Das grundlegende Konzept des Artikels wurde von den Autor:innen gemeinsam erarbeitet. Das theoretische Konzept zur Anwendung der Methode der Materialflussanalyse wurden von U. Saal erarbeitet. Die Datensammlung sowie der Berechnungsansatz, die Auswertung und Darstellung der Ergebnisse wurden von U. Saal durchgeführt. Der Artikel wurde überwiegend von U. Saal geschrieben und durch Hinweise und Änderungsvorschläge der Ko-Autoren ergänzt.

Bestätigung durch den Betreuer



.....

## Eidesstattliche Erklärung

Hiermit erkläre ich an Eides statt, dass ich die vorliegende Dissertation selbst verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe.

Hamburg, 21.4.2023

A handwritten signature in blue ink that reads "Ulrike Saal". The signature is written in a cursive style and is positioned above a horizontal dotted line.

Ulrike Saal