

Iost, Susanne; Glasenapp, Sebastian; Jochem, Dominik; Shmyhelska, Liliya;
Weimar, Holger

Working Paper

Holzaufkommen und -verwendung in Deutschland - Entwicklung seit 2000 und Ausblick bis 2040

Thünen Working Paper, No. 235

Provided in Cooperation with:

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

Suggested Citation: Iost, Susanne; Glasenapp, Sebastian; Jochem, Dominik; Shmyhelska,
Liliya; Weimar, Holger (2024) : Holzaufkommen und -verwendung in Deutschland - Entwicklung
seit 2000 und Ausblick bis 2040, Thünen Working Paper, No. 235, Johann Heinrich von
Thünen-Institut, Braunschweig,
<https://doi.org/10.3220/WP1710841727000>

This Version is available at:

<https://hdl.handle.net/10419/289612>

Standard-Nutzungsbedingungen:

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

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

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

Terms of use:

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

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

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

Holzaufkommen und -verwendung in Deutschland Entwicklung seit 2000 und Ausblick bis 2040

Susanne Iost, Sebastian Glasenapp, Dominik Jochem, Liliya Shmyhelska,
Holger Weimar

Thünen Working Paper 235

Dr. Susanne Iost
Dr. Sebastian Glasenapp
Dr. Dominik Jochem
Liliya Shmyhelska (ehemalig Thünen)
Dr. Holger Weimar

Thünen-Institut für Waldwirtschaft
Leuschnerstraße 91
21031 Hamburg (Deutschland)
Tel.: +49 40 73962 340
E-Mail: susanne.iost(at)thuenen.de

Johann Heinrich von Thünen-Institut
Bundesforschungsinstitut für Ländliche
Räume, Wald und Fischerei
Bundesallee 50
38116 Braunschweig

Thünen Working Paper 235

Hamburg/Germany, April 2024

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	i
Tabellenverzeichnis	ii
Abbildungsverzeichnis	iii
Vorwort	iv
Preface	v
Zusammenfassung	vi
Abstract	viii
1 Einleitung	1
2 Methodischer Rahmen	2
2.1 Aufkommen und Verwendung holzartiger Ressourcen	2
2.2 Verwendete Einheiten und weitere Definitionen	6
2.3 Methoden und Datenquellen	9
2.3.1 Ex-Post-Analyse	9
2.3.2 Systematische Literaturanalyse	10
3 Aufkommen und Verwendung holziger Biomasse in Deutschland (2000 – 2020)	12
3.1 Aufkommen aus Primärquellen	12
3.1.1 Rohholz	12
3.1.2 Schadholz	14
3.1.3 Waldrestholz	15
3.1.4 Rinde	18
3.1.5 Landschaftspflegeholz	18
3.2 Aufkommen aus Sekundärquellen	18
3.3 Verwendung von Holz aus Primärquellen	20
3.4 Verwendung von Holz aus Sekundärquellen	23
4 Aufkommen und Verwendung holzartiger Biomasse in der EU-27 (2000 – 2020)	24
4.1 Holzaufkommen aus Primärquellen	27
4.2 Aufkommen aus Sekundärquellen	28
4.3 Holzverwendung in der EU-27	30
5 Aufkommen und Verwendung von Holz 2020 – 2040	31
5.1 Deutschland	31
5.1.1 Zukünftiges Holzaufkommen aus Primärquellen	32
5.1.2 Zukünftiges Holzaufkommen aus Sekundärquellen	36
5.1.3 Zukünftige Holzverwendung	38
5.2 EU-27	41
6 Schlussfolgerungen	44
Literaturverzeichnis	46
Anhang	53

Abkürzungsverzeichnis

AES	Amtliche Einschlagsstatistik
BWI	Bundeswaldinventur
EFSOS	European Forest Sector Outlook Study
EUROSTAT	European Statistical Agency
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations
FAOSTAT	Food and Agriculture Organization Statistics
FNR	Agency for Renewable Resources (Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V.)
hpnV	Heutige potenziell natürliche Vegetation
HPS	Holzpräferenzsszenario (WEHAM)
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
JFSQ	Joint Forest Sector Questionnaire
JRC	Joint Research Centre der Europäischen Kommission
JWEE	Joint Wood Energy Enquiry
m ³ (f)	Kubikmeter Holzfaseräquivalent
m ³ (r)	Kubikmeter Rohholzäquivalent
Mio.	Million
NPS	Naturschutzpräferenzsszenario (WEHAM)
o. B.	Over bark, d. h. mit Rinde
SWE	Solid wood equivalent
RMH	Rohstoffmonitoring Holz
t	Metrische Tonne
Thünen-ESRR	Einschlagsrückrechnung des Thünen-Instituts für Waldwirtschaft
TI-WF	Thünen-Institut für Waldwirtschaft
UF	Umrechnungsfaktor
VDP	Verband Deutscher Papierfabriken (ab 2022 DIE PAPIERINDUSTRIE)
WEHAM	Waldentwicklungs- und Holzaufkommensmodellierung
WRB	Wood Resource Balance

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Grundstruktur einer Holzrohstoffbilanz	4
Tabelle 2:	Altholzkategorien	8
Tabelle 3:	Umrechnungsfaktoren nach Holzsortimenten	9
Tabelle 4:	Bilanzierung Aufkommen und Verwendung nach Wood Resource Balance	27
Tabelle 5:	In die Auswertung einbezogene Studien zu Aufkommen und Verwendung von Holz (zukünftig)	32
Tabelle 6:	Totholz mengen BWI und WEHAM-Szenarien	35
Tabelle 7:	Literaturübersicht zum zukünftigen Aufkommen von Holzreststoffen in Deutschland	36
Tabelle 8:	Literaturübersicht zum zukünftigen Aufkommen an Holzreststoffen	37
Tabelle 9:	Übersicht berücksichtigter Studien zur zukünftigen Holzverwendung in Deutschland	38
Tabelle 10:	Übersicht der für die finale Auswertung ausgewählten Studien (EU-27)	42
Anhang Tabelle 1:	Suchbegriffe (search terms) für Literatur zu Aufkommen und Verwendung von Holz in Deutschland in der Zukunft	53
Anhang Tabelle 2:	Suchbegriffe (search terms) für Literatur zu Aufkommen und Verwendung von Holz in der EU-27 in der Zukunft	53

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Forschungsrahmen zur Rohstoffverfügbarkeit von holzartiger Biomasse in BIODIVERSITÄT	3
Abbildung 2:	Holzfluss der Bundesrepublik Deutschland 2009	5
Abbildung 3:	Flussdiagramm nach ROSES für die Auswahl der auszuwertenden Quellen	11
Abbildung 4:	Aufkommen aus primären Quellen in Deutschland	12
Abbildung 5:	Anteil von Nadel- und Laubholz an der Holzentnahme	13
Abbildung 6:	Holzeinschlag und -entnahme in Mio. m ³ nach ESSR und amtlicher Statistik	14
Abbildung 7:	Holzeinschlag nach Thünen-ESRR und Schadholzeinschlag nach Ursache (AES)	15
Abbildung 8:	Einschlag und Entnahme sowie NVD und NDH	16
Abbildung 9:	Aufkommen an Holz aus Sekundärquellen in Mio. m ³ (f)	19
Abbildung 10:	Verwendung von Rundholz in Mio. m ³	21
Abbildung 11:	Stoffliche Rundholzverwendung nach Sektoren in Mio. m ³	22
Abbildung 12:	FAOSTAT Holzproduktstatistik – Datenstruktur	25
Abbildung 13:	Inhaltlicher Rahmen des JWEE	26
Abbildung 14:	Aufkommen aus Primärquellen EU-27 in Mio. m ³	27
Abbildung 15:	Aufkommen aus Sekundärquellen EU-27 in Mio. m ³	29
Abbildung 16:	Verwendung von Holz nach Sektoren in Mio. m ³ swe* EU-28	30
Abbildung 17:	Zukünftiges Holzaufkommen Derbholz (szenarienbasierte Modellierung)	33
Abbildung 18:	Zukünftige Holzverwendung Deutschland	39
Abbildung 19:	Holzeinsatz in Endverwendungssektoren 2030	40
Abbildung 20:	Zukünftige Entwicklung der Holzverwendung von Derbholz in Deutschland	41
Abbildung 21:	Vergleich ausgewählter Ergebnisse zum zukünftigen Aufkommen holziger Biomasse	43

Vorwort

Das vorliegende Thünen Working Paper präsentiert Ergebnisse des Arbeitspakets 3 „Quantitative Bewertung der Rohstoffbasis DE und EU (2000 bis 2040)“ des Projektes BOKRAFT – „Rohstoffverfügbarkeit von holzartiger Biomasse zur Produktion von Biokraftstoffen in DE und EU bis 2040“.

Das Vorhaben BOKRAFT wurde vom Bundesministerium für Digitales und Verkehr (BMDV) finanziert. Die Projektkoordination lag beim Deutschen Biomasseforschungszentrum (DBFZ); weitere Projektpartner waren die Hochschule für Nachhaltige Entwicklung Eberswalde (HNEE) (AP 2) und das International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA) (AP 4).

Die Laufzeit des Projektes war November 2020 bis Dezember 2022. Der Betrachtungszeitraum war 2000 bis 2040. Für die Erstellung des Berichtes wird zusätzlich zu den im Projekt berücksichtigten Quellen Literatur verwendet, die bis Ende 2022 veröffentlicht wurde.

Preface

Thünen Working Paper XXX presents results of Working Package 3 “Quantitative Evaluation of the resource base in Germany and the EU (2000 bis 2040)” within the project BIODRAFT – “Resource availability of woody biomass for producing biofuels in Germany and the EU until 2040”.

BIODRAFT was funded by the Federal Ministry for Digital and Transport (BMDV) and coordinated by the DBFZ (Deutsches Biomasseforschungszentrum). Eberswalde University for Sustainable Development (HNEE) (WP 2) and International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA) (WP 4) also contributed to BIODRAFT.

Duration of the project was November 2020 to December 2022. The timeframe investigated was 2000 to 2040. In addition to the project results, relevant references published until the end of 2022 are included in the report.

Zusammenfassung

Alternative Kraftstoffe gelten laut dem Nationalen Klimaschutzplan 2050 als ein wesentlicher Baustein zur Dekarbonisierung des Verkehrssystems in Deutschland. Zu den alternativen Kraftstoffen zählen auch Kraftstoffe auf Basis biogener Ressourcen. Welchen Beitrag diese Kraftstoffe für die Reduktion der Treibhausgasemissionen im Verkehrssektor leisten können, hängt u.a. von der nachhaltigen Rohstoffverfügbarkeit ab.

Im Projekt BOKRAFT wurde die nachhaltige Verfügbarkeit von holzartiger Biomasse für den Einsatz im Verkehrssektor untersucht. Der vorliegende Bericht (BOKRAFT AP 3) beschreibt als Grundlage dafür das Aufkommen und die Verwendung von Holzrohstoffen in Deutschland und der EU-27 für den Zeitraum 2000 - 2040. Für den Einsatz im Verkehrssektor liegt der Fokus auf Rest- und Abfallstoffen, da die möglichst hochwertige stoffliche Nutzung von Stamm- und Industrieholz klar priorisiert wird und der Einsatz von diesen Sortimenten im Verkehrssektor kritisch hinterfragt werden muss.

Die historische Entwicklung von Holzaufkommen und -verwendung in Deutschland und der EU-27 wurde für den Zeitraum 2000 bis 2020 analysiert. Die zukünftig potenziell verfügbaren und verwendeten Mengen holziger Biomasse wurden in einer systematischen Literaturrecherche ermittelt. Der betrachtete Zeitraum war 2020 bis 2040 für Deutschland und die EU-27. Diese quantitativen Untersuchungen waren Teil des Projektes BOKRAFT¹.

Insgesamt sind das Aufkommen und die Verwendung von Rohholz in Deutschland und der EU-27 zwischen den Jahren 2000 und 2020 gestiegen. Im Vergleich zum Jahr 2000 stieg die Rohholzentnahme aus dem Wald in Deutschland bis 2020 um 34 % (von knapp 60 auf knapp 79 Mio. m³). Eine ähnliche Tendenz ist in der EU-27 zu beobachten (von 419 auf 508 Mio. m³). In Deutschland lag der Nadelholzanteil an der Rohholzentnahme im betrachteten Zeitraum im Mittel bei 74 %. Seit dem Jahr 2018 ist die Menge an Schadholz infolge von Trockenheit und nachfolgendem Schädlingsbefall deutlich angestiegen. Dies trug zum Anstieg des gesamten Rohholzeinschlags bei. Im Zeitraum von 2000 bis 2020 stieg auch die Rohholzverwendung an. In den traditionellen Verwendungssektoren (Sägeindustrie, Zellstoff- sowie Holzwerkstoffindustrie) wurde bis ins Jahr 2020 25 % mehr Holz verwendet, als noch im Jahr 2000. In der Energieerzeugung stieg die Rohholzverwendung im gleichen Zeitraum von knapp 9 auf mehr als 20 Mio. m³. Im Verlauf stieg die energetische Rohholzverwendung auf den bisher höchsten Wert von ca. 28 Mio. m³ im Jahr 2013 und sank bis zum Jahr 2020 auf ca. 20 Mio. m³.

Reststoffe aus primären Aufkommensquellen sind Rinde, Waldrestholz und Landschaftspflegematerial. Deren Aufkommen sind schwer zu beziffern. Zum einen wird beim Waldrestholz die Abgrenzung des Begriffs unterschiedlich gehandhabt, zum anderen fehlen regelmäßig bei allen primären Reststoffen direkt erhobene Daten. Sekundäre Holzreststoffe sind Altholz, Sägenebenprodukte, sonstiges Industrierestholz und Ablauge. Das Aufkommen an sekundären Holzreststoffen ist im Grundsatz von der Rohholzverwendung abhängig, da Holzreststoffe bei Be- und Verarbeitung von Rohholz sowie durch die Entsorgung von Holzprodukten entstehen. Ihr Aufkommen kann recht zuverlässig aus der empirischen Erfassung auf Seite der Verwender abgeleitet werden. Die Verwendung dieser Reststoffe erfolgt zur Energieerzeugung, zur Herstellung von Energieholzprodukten (v.a. Pellets) sowie in der Holzwerkstoff- und Zellstoffindustrie. Ablauge wird in der Zellstoffindustrie energetisch genutzt. Altholz wird in Deutschland zu mehr als 80 % zur Energieerzeugung verwendet, wobei davon wiederum ca. 80 % in Biomassefeuerungsanlagen mit einer Feuerungswärmeleistung von > 1 MW genutzt werden. Für die EU-27 sind kaum Daten zu Aufkommen und Verwendung von Holzreststoffen verfügbar, daher können hier keine belastbaren Schätzungen vorgenommen werden.

Mögliche zukünftige Entwicklungen von Aufkommen und Verwendung von Holzrohstoffen werden häufig mittels szenarienbasierter Modellierungen geschätzt. Die zugrundeliegenden Szenarien gehen zum einen von einer erhöhten Holznutzung aus. Zum anderen werden Szenarien modelliert, in denen politische und gesellschaftliche Tendenzen zu mehr Naturschutz und weniger Holznutzung angenommen werden. Hier wird der

¹ BOKRAFT - „Rohstoffverfügbarkeit von holzartiger Biomasse zur Produktion von Biokraftstoffen in DE und EU bis 2040“ <https://www.thuenen.de/de/fachinstitute/waldwirtschaft/projekte-liste/biokraftstoffe-aus-holzartiger-biomasse>

Kohlenstoffspeicherung im Wald durch Steigerung des stehenden Vorrats eine größere Bedeutung beigemessen, was eine geringere Rohholzproduktion zur Folge hätte. Somit ergeben Untersuchungen zur zukünftigen Holzverfügbarkeit in der Modellierungsperiode 2037–2042 für Deutschland potenzielle Rohholzaufkommen zwischen 41 Mio. m³ und knapp 100 Mio. m³ pro Jahr. Für die EU wird das potenzielle Rohholzaufkommen in den modellierten Basisszenarien auf ca. 330 bis 480 Mio. m³ beziffert. Informationen zum zukünftigen Aufkommen von primären und sekundären Holzreststoffen sind spärlich. Es kann jedoch davon ausgegangen werden, dass bei einem möglichen Rückgang der Nutzung von Rohholz auch die Mengen an Holzreststoffen abnehmen werden.

Für Deutschland beruhen die in die Auswertung eingeschlossenen Modellierungen des zukünftigen Holzaufkommens auf Daten der Bundeswaldinventur von 2012 (BWI 3). Die modellierten Szenarien berücksichtigen keine möglichen Auswirkungen des Klimawandels auf den Wald in Deutschland. Vor dem Hintergrund stark zunehmender Waldschäden seit 2018 und der damit möglicherweise verbundenen Vorratsabsenkung im Wald in Deutschland, wird sich das zukünftige Aufkommen eher im unteren Bereich der Modellierungsergebnisse bewegen. Für eine sichere Bewertung sind die kommenden Inventurdaten der BWI 4 abzuwarten, die voraussichtlich Ende 2024 zur Verfügung stehen werden.

Die vorliegende Auswertung gibt einen umfassenden Überblick über Aufkommen und Verwendung von Holzrohstoffen in Deutschland. Es wird gezeigt, welche Reststoffe bei der Be- und Verarbeitung von Holz entstehen und dass sie in unterschiedlichen Sektoren stofflich oder energetisch verwendet werden.

Die Auswertung zeigt, dass auf Grundlage der verfügbaren Daten keine direkte Gegenüberstellung von Aufkommen und Verwendung und somit keine verlässliche Schätzung verfügbarer Potenziale möglich ist. Theoretisch könnten in Verwendung befindliche Holzrohstoffe für die Herstellung von Biokraftstoffen umgenutzt werden. Um dann das Ziel einer größtmöglichen Reduktion von Treibhausgasen zu erreichen, müsste der potenzielle Reduktionseffekt im Verkehrssektor im Kontext der anderen möglichen Verwendung von Holzrohstoffen betrachtet werden.

Schlagworte: Biokraftstoffe, Biomasse, Holzrohstoffe, Kalamität, Schadholz, Aufkommen, Verwendung, Szenarien, systematische Literaturanalyse

Abstract

Alternative fuels are considered, according to the National Climate Action Plan 2050, as a crucial element for decarbonizing the transportation system in Germany. Among the alternative fuels are those based on biogenic resources. The contribution of these fuels to reducing greenhouse gas emissions in the transportation sector depends, among other factors, on the sustainable availability of woody biomass.

In the BIODRAFT project, the sustainable availability of woody biomass for use in the transportation sector was assessed. The presented report (BIODRAFT AP 3) describes the supply and use of wood resources in Germany and the EU-27 for the period 2000 - 2040. For use in the transportation sector, the focus is on residual and waste materials, as the high-quality material utilization of stem and industrial wood is clearly prioritized, and the use of these assortments in the transportation sector must be critically examined.

The historical development of wood supply and utilization in Germany and the EU-27 was analyzed for the period 2000 to 2020. Future potentially available and used quantities of woody biomass were determined through systematic literature research. The period considered was 2020 to 2040 for Germany and the EU-27. These quantitative investigations were part of the BIODRAFT² project.

Overall, the supply and use of roundwood in Germany and the EU-27 increased between 2000 and 2020. Compared to 2000, roundwood removals from forests in Germany increased by 34 % by 2020 (from just under 60 to just under 79 million m³). A similar trend is observed in the EU-27 (from 419 to 508 million m³). In Germany, the proportion of softwood in roundwood removals averaged 74 % during the period under review. Since 2018, the amount of damaged timber has increased significantly due to drought and subsequent pest infestations, contributing to the overall increase in roundwood fellings. Roundwood utilization also increased from 2000 to 2020. In traditional utilisation sectors (sawmilling industry, pulp and paper industry, wood-based panel industry), 25 % more wood was used by 2020 compared to 2000. In energy generation, roundwood use increased from just under 9 to over 20 million m³ in the same period. Over time, the use of roundwood for energy increased to its highest level of approximately 28 million m³ in 2013 and then decreased to around 20 million m³ by 2020.

Wood residues from primary sources include bark, forest residues and landscape conservation material. Their volumes are difficult to quantify. The definition of forest residues is handled differently, and there is a regular lack of directly collected data for all primary wood residues. Secondary wood residues are recovered post-consumer wood, sawmill by-products, other industrial waste wood and waste liquor. The quantity of secondary wood residues depends primarily on the use of roundwood, as wood residues are produced during the treatment and processing of roundwood and the disposal of wood products. Their quantities can be derived quite reliably from the empirical data collected in wood using sectors. These residues are used for energy generation, production of energy wood products (especially pellets), and in the wood-based materials and pulp industries. Waste liquor is utilised for energy in the pulp industry. In Germany, over 80 % of recovered post-consumer wood is used for energy generation, with approx. 80 % of this used in biomass combustion plants with a rated thermal input of > 1 MW. Data on the supply and use of wood residues are scarce for the EU-27, so reliable estimates cannot be made.

Possible future developments in supply and use of woody biomass are often estimated using scenario-based modelling. On the one hand, the underlying scenarios assume increased wood utilisation. On the other hand, scenarios are modelled in which political and social trends towards more nature conservation and less wood use are assumed. Here, greater importance is attributed to carbon storage in forests by increasing standing stock, resulting in lower roundwood production. Modelling results of these studies show potential future roundwood volumes of between 41 million m³ and just under 100 million m³ per year for Germany in the 2037-2042 modelling period. For the EU, the potential roundwood supplies in the modelled baseline scenarios are estimated

² BIODRAFT - „Rohstoffverfügbarkeit von holzartiger Biomasse - zur Produktion von Biokraftstoffen in DE und EU bis 2040“ <https://www.thuenen.de/de/fachinstitute/waldwirtschaft/projekte-liste/biokraftstoffe-aus-holzartiger-biomasse>

at around 330 to 480 million m³. Information on the future supply of primary and secondary wood residues is scarce. However, it can be assumed that if the utilisation of roundwood declines, the quantities of wood residues will also decrease.

For Germany, the modelling of future wood supplies included in the evaluation is based on data from the 2012 National Forest Inventory (BWI 3). The modelled scenarios do not take into account any possible effects of climate change on forests in Germany. The modelled scenarios do not consider possible effects of climate change on forests in Germany. Against the backdrop of significantly increasing forest damage since 2018 and the potentially associated reduction in stock in German forests, future supplies are likely to be at the lower end of the modelling results. To make a reliable assessment, the upcoming inventory data from BWI 4, expected to be available by the end of 2024, must be awaited.

The presented analysis provides a comprehensive overview of the supply and use of woody biomass in Germany. It shows which wood-based residues are generated during the treatment and processing of wood and how they are utilised in different sectors for material or energy purposes. Based on the available data, no direct comparison of supply and use is possible, and thus no reliable estimation of available potentials. Theoretically, wood raw materials currently in use could be repurposed for the production of biofuels. To achieve the goal of maximum reduction of greenhouse gases, the potential reduction effect in the transportation sector must be considered in the context of other possible uses of woody biomass.

Keywords: advanced biofuels, woody biomass, woody residues, calamities, damaged timber, supply, use, scenarios, systematic literature review

1 Einleitung

Um nationale und internationale Klimaschutzziele zu erreichen, müssen auch die Treibhausgasemissionen im Verkehrssektor gesenkt werden. Neben alternativen Antrieben, dem Ausbau des ÖPNV und Effizienzsteigerungen sind alternative Kraftstoffe laut dem Nationalen Klimaschutzplan 2050 ein wesentlicher Baustein zur Dekarbonisierung des Verkehrssystems in Deutschland (BMUB 2016). Zu den alternativen Kraftstoffen zählen auch Kraftstoffe auf Basis biogener Ressourcen. Technologien für deren Herstellung existieren bereits in unterschiedlichen Technologiestadien. Welchen Beitrag Biokraftstoffe für die Reduktion der Treibhausgasemissionen im Verkehrssektor leisten können, hängt jedoch wesentlich von der nachhaltigen Rohstoffverfügbarkeit ab. Durch die Nutzung von holzartigen Biomassen können verschiedene negative Auswirkungen, die z. B. beim Anbau von Energiepflanzen auftreten können, vermieden werden. Voraussetzung hierzu ist eine nachhaltige Bewirtschaftung der Waldflächen, bei der die langfristige Bewahrung der vielfältigen Ökosystemleistungen von Wäldern an erster Stelle steht. Hierzu zählen z. B. die Funktion als Kohlenstoffspeicher, Erholungsraum, Rohstoff- und Trinkwasserlieferant sowie die Bewahrung von Bodenfruchtbarkeit und Biodiversität.

An dieser Stelle setzt das Vorhaben BIODKRAFT³ an. In BIODKRAFT wurde untersucht, welche Mengen von holzartigen Biomassen, zukünftig – und unter Berücksichtigung von Nachhaltigkeitsanforderungen – zur Produktion von Biokraftstoffen verfügbar sein könnten und welche Wirkung damit im Verkehrssektor verbunden wäre. Der Fokus einer potenziell stärkeren Nutzung von Holz im Verkehrssektor liegt auf den marktfähigen holzartigen Rest- und Abfallstoffen. Ihre Verwendung steht weniger in Konkurrenz mit einer höherwertigen stofflichen Nutzung als beim Stamm- und Industrieholz der Fall ist. Auf europäischer Ebene wird der politische und gesetzliche Rahmen für die Herstellung von Biokraftstoffen mit der Novelle der Renewable Energy Directive (RED III) verstärkt so gesetzt, dass stoffliche Nutzung und Wiederverwendung gegenüber einer energetischen Verwendung priorisiert werden sollen (vgl. EU 21.10.2023). Die RED III legt auch fest, dass die EU-Mitgliedsstaaten keine direkte finanzielle Unterstützung für die Energieerzeugung aus u. a. Stamm- und Industrieholz gewähren sollen (EU 21.10.2023).

Das vorliegende Working Paper präsentiert Ergebnisse aus Arbeitspaket 3 des Projektes BIODKRAFT. Ziel des Arbeitspaketes war die quantitative Bewertung der Rohstoffbasis für Biokraftstoffe in Deutschland und der EU für den Zeitraum 2000 bis 2040. Dazu wurden vorhandene Daten zur Beschreibung der historischen (2000 – 2020) und der möglichen zukünftigen Entwicklung (2020 – 2040) von Aufkommen und Verwendung von Holzrohstoffen jeweils für Deutschland und die EU-27 zusammengestellt und diskutiert.

³ BIODKRAFT - „Rohstoffverfügbarkeit von holzartiger Biomasse zur Produktion von Biokraftstoffen in DE und EU bis 2040“
<https://www.thuenen.de/de/fachinstitute/waldwirtschaft/projekte-liste/biokraftstoffe-aus-holzartiger-biomasse>

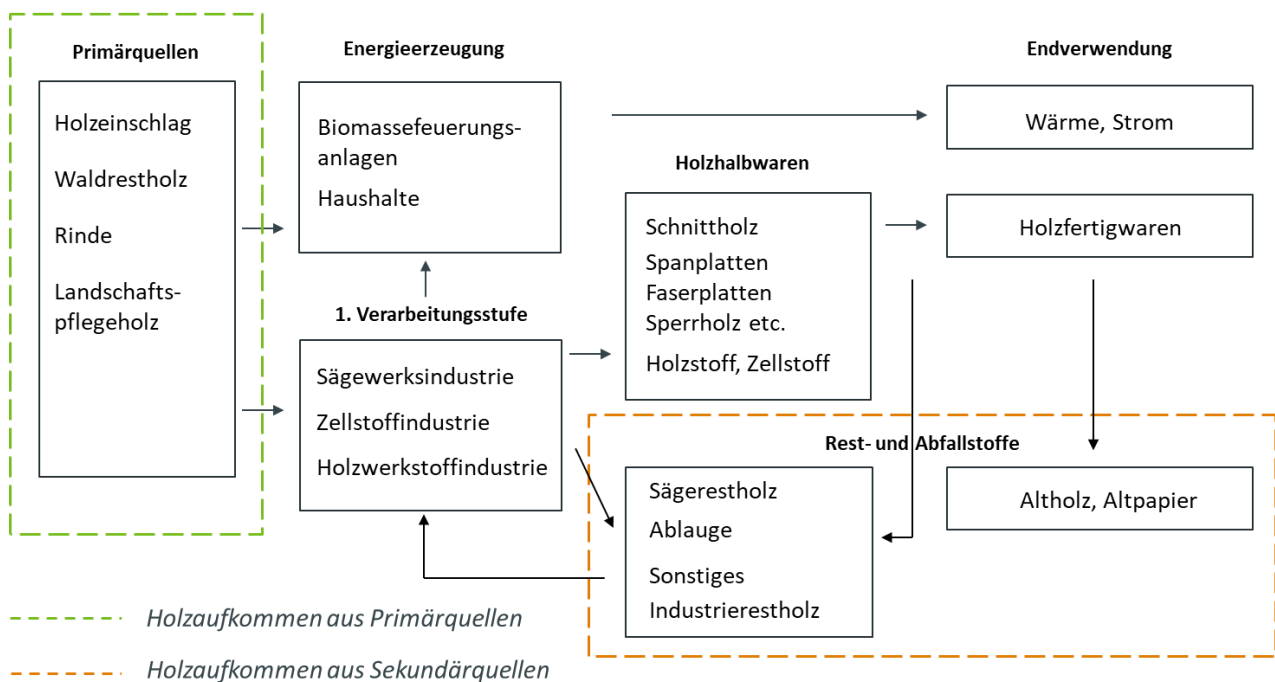
2 Methodischer Rahmen

2.1 Aufkommen und Verwendung holzartiger Ressourcen

Holzartige Ressourcen werden vielfältig stofflich und energetisch genutzt; aktuell werden sie jedoch nicht in marktrelevanten Mengen zur Herstellung von Biokraftstoffen eingesetzt (FNR 2023). Zur Beurteilung der Verfügbarkeit von holzartigen Biomassen für die Herstellung Biokraftstoffen müssen zunächst die verfügbaren Mengen an holzartigen Ressourcen, die grundsätzlich marktfähig und damit theoretisch mobilisierbar sind, sowie ihre bereits bestehenden Nutzungen verstanden und quantifiziert werden. Die dafür notwendigen Daten sind vielfältig und können nur im Kontext der jeweils zugrundeliegenden Methodik korrekt interpretiert und genutzt werden. Für Interpretation und Nutzung vorhandener Daten differenzieren wir in Aufkommen und Verwendung von holzartigen Ressourcen:

Grundsätzlich umfasst das **Aufkommen** die inländische Produktion sowie Importe und Lagerbestandsabnahmen holziger Biomasse (TI-WF 2023a). Für die vorliegende Betrachtung potenzieller Rohstoffquellen für die Herstellung von Biokraftstoffen im Rahmen des BOKRAFT-Projekts wird zwischen primären und sekundären Aufkommensquellen holzartiger Ressourcen unterschieden. Abbildung 1 gibt zur Einordnung der Aufkommensquellen in den Stoffstrom Holz einen verallgemeinerten Überblick und repräsentiert nicht den gesamten Stoffstrom Holz im Detail (vgl. Abbildung 2). Das **Holzaufkommen aus Primärquellen** umfasst nicht verarbeitete holzige Biomasse, welche im Kontext des vorliegenden Berichtes in inländischen Holzeinschlag (ohne Rinde, inkl. nicht verwertetem Derbholz), ungenutztes Waldrestholz, Rinde und Landschaftspflegeholz differenziert werden. Das **Holzaufkommen aus Sekundärquellen** umfasst Holzreststoffe, die bei der Be- und Verarbeitung von Holz zur Herstellung von Holzhalbwerten und Holzfertigwaren anfallen und teilweise oder vollständig in der Wertschöpfungskette wiederverwendet werden. Dabei handelt es sich um Sägenebenprodukte (i. e. Sägemehl, Sägespäne), sonstiges Industrierestholz und Ablauge (Gurría et al. 2017). Darüber hinaus gehören zu den sekundären Holzaufkommensquellen auch Altholz und Altpapier, die durch die Entsorgung von Fertigwaren entstehen.

Die **Verwendung** von Holz untergliedert sich in inländischen Verbrauch, die Zunahme von Lagerbeständen und den Export von holziger Biomasse (TI-WF 2023a). Im Kontext von BOKRAFT bezeichnet die **Holzverwendung** die Nutzung der verfügbaren holzartigen Biomassen in der ersten Verarbeitungsstufe der Erzeugung holzbasierter Produkte (stoffliche Verwendung) und zur Erzeugung von Energie (energetische Verwendung). Die stoffliche Holzverwendung von Rundholz erfolgt v. a. in Sägewerken, in der Zellstoff- und in der Holzwerkstoffindustrie; es entstehen Holzhalbwerten. Die energetische Holzverwendung erfolgt in privaten Haushalten und in Biomassefeuerungsanlagen zur Wärme- und Stromerzeugung.

Abbildung 1: Forschungsrahmen zur Rohstoffverfügbarkeit von holzartiger Biomasse in BIOKRAFT

Quelle: Eigene Darstellung

Sind Aufkommen und Verwendung holzartiger Ressourcen ausreichend genau bestimmbar, können einzelne Datenpunkte zum einen über die Bilanzierung von Aufkommen und Verwendung und zum anderen über eine Stoffstromanalyse zueinander in Beziehung gesetzt werden. Der Grundgedanke der Bilanzierung ist, dass Aufkommen und Verwendung mengenmäßig einander entsprechen müssen. Im vorliegenden Working Paper stellen wir Datenquellen zu Aufkommen und Verwendung zusammen, bilanzieren aber nicht selbst. Bestehende Holzbilanzen liefern wichtige Informationen über die Teile von Aufkommen und Verwendung, die in einer Beurteilung der Ressourcenbasis für die Biokraftstoffherstellung berücksichtigt werden müssen. Für die Interpretation der Daten aus Holzbilanzen ist zu berücksichtigen, welche holzartigen Ressourcen bilanziert werden und bis zu welcher Verarbeitungsstufe die Verwendung betrachtet wird. In der **Gesamtholzbilanz** des Thünen-Instituts (TI-WF 2023a) werden aufkommensseitig die inländische Produktion von Rundholz, Altpapier und Altholz und die Importe aller Holzprodukte (bis hin zu Fertigwaren) berücksichtigt. Auf der Verwendungsseite werden die Exporte aller Holzprodukte und der Inlandsverbrauch betrachtet. Lagerbestandsänderungen werden ebenfalls berücksichtigt. In der sogenannten **Holzrohstoffbilanz** (Mantau 2012b) werden auf der Aufkommensseite neben Holz aus dem Wald auch holzige Biomassen von außerhalb des Waldes, wie Landschaftspflegematerial und Reststoffe aus der Be- und Verarbeitung von Holz sowie Abfallstoffe wie Altholz berücksichtigt. Auf der Verwendungsseite werden die erste Verwendungsstufe der Holzrohstoffe und die energetische Nutzung berücksichtigt. „Sonstige stoffliche Verwendungen“ fassen derzeit mengenmäßig wenig relevante Verwendungen von Holzrohstoffen, wie Pfähle, Masten, Torfersatz, Herstellung von biobasierten Chemikalien, Kunststoffen und Textilfasern zusammen. Diese Verwendungen werden in einer sich weiter entwickelnden Bioökonomie wahrscheinlich an Bedeutung gewinnen. „Sonstige energetische Verwendung“ in Tabelle 1 fasst die energetische Verwendung von Holzrohstoffen in Müllverbrennungsanlagen, in Zementwerken und das Co-Firing in Kohlekraftwerken zusammen. Bei der Interpretation insbesondere der Verwendung von Holz ist es wichtig, dass im jeweiligen Fall gegenübergestellte Aufkommen zu berücksichtigen.

Grundsätzlich ist bei der Interpretation der in der Holzrohstoffbilanz gezeigten Daten zu beachten, dass Doppelzählungen enthalten sind (vgl. Tabelle 1). So werden Sägenebenprodukte, sonstiges Industriere Restholz und Ablauge als sekundäre Aufkommensquellen extra geführt und sind gleichzeitig u.a. Teil des Rundholzes. Diese

Reststoffe entstehen bei der Be- und Verarbeitung von Rundholz; Sägenebenprodukte in der Sägeindustrie, Ablauge in der Zellstoffindustrie und sonstiges Industriestholz in verschiedenen Verwendungssektoren (vgl. auch Kapitel 2.2.). Die Reststoffe werden überwiegend energetisch, aber auch stofflich in den Verwendungssektoren genutzt.

Tabelle 1: Grundstruktur einer Holzrohstoffbilanz

Aufkommen Holzrohstoffe	Verwendungssektoren
Rundholz (Stammholz)	Sägeindustrie
Rundholz (Industrieholz)	Holzwerkstoffindustrie
Waldrestholz	Holz- und Zellstoffindustrie
Rinde	Herstellung von Energieholzprodukten
Landschaftspflegeholz	Sonstige stoffliche Nutzung
Material aus Kurzumtriebsplantagen	
Sägenebenprodukte	Biomassefeuerungsanlagen > 1 MW
Sonstiges Industriestholz	Biomassefeuerungsanlagen < 1 MW
Ablauge	Privathaushalte
Altholz	Sonstige energetische Verwendung
Ggf. Bilanzausgleich	Ggf. Bilanzausgleich
Gesamt	Gesamt

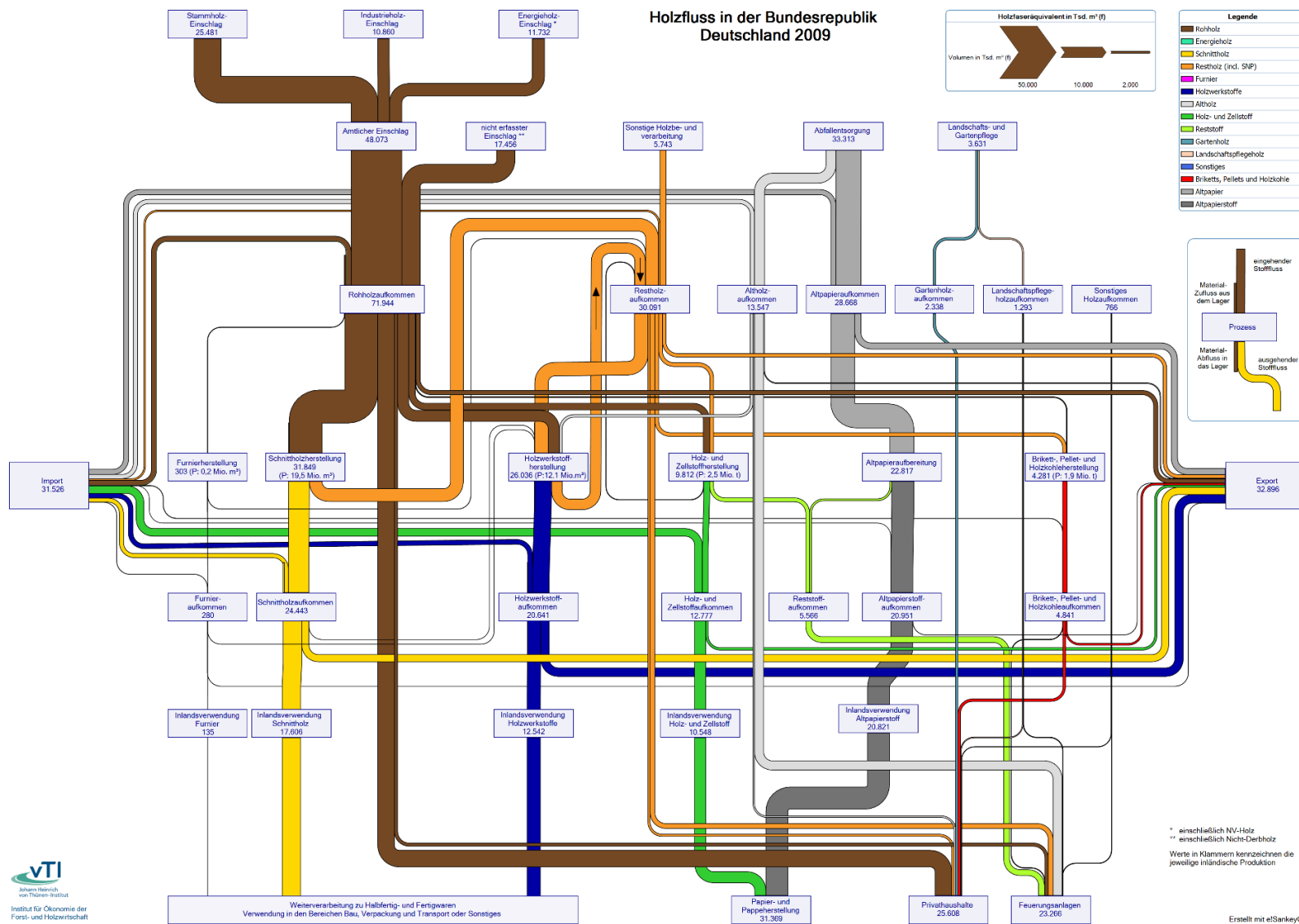
Quelle: Eigene Darstellung basierend auf Mantau (2012b), TI-WF (2023b)

Für Deutschland gibt es keine umfassende Erfassung von Aufkommen und Verwendung über amtliche Statistiken. Aufkommenseitig wird der Holzeinschlag im Wald (Rohholz) über die Holzeinschlagsstatistik (Destatis 2023a) erfasst. Diese amtliche Statistik erfasst allerdings in der Vergangenheit nur ca. 80 % des tatsächlichen Einschlages (vgl. Jochem et al. 2015; TI-WF 2023b).

Verwendungsseitig kann bestenfalls die Summe der Holzbiomasse, die in einem holzbasierten Produkt enthalten ist, aus der Produktionsstatistik (Destatis 2023b) abgeleitet werden. Die Produktionsstatistik bildet die Produktion von Holzprodukten ab, woraus sich theoretisch die potenzielle Verwendung ableiten ließe. Die Daten der Produktionsstatistik beinhalten grundsätzlich Angaben zu monetärem Wert und Menge von Holzprodukten. Allerdings ist regelmäßig zu beobachten, dass Daten aus Geheimhaltungsgründen nicht angegeben werden können. Die statistischen Angaben beziehen sich auf die Produkte, die nicht nur Holz enthalten, sondern weitere Bestandteile. Enthaltene Holz mengen können nur mittels zusätzlicher Informationen zur Produktzusammensetzung berechnet werden (vgl. Diestel und Weimar 2014). Aus dieser Information kann aber nicht abgeleitet werden, welche unterschiedlichen Holzressourcen (z. B. Rohholz, Sägenebenprodukte, Altholz) eingesetzt wurden. Vor diesem Hintergrund werden im Rohstoffmonitoring Holz (vgl. Info e.K. 2022) in den Holz be- und verarbeitenden Betrieben und für die Energieerzeugung eingesetzte Mengen holzartiger Ressourcen empirisch über Befragungen erhoben. Aus diesen Daten kann dann auf die im Inland genutzte Menge, also auf einen Teil der Verwendung, geschlossen werden.

Die Analyse konkreter Stoffströme ist die Grundlage für ein klares Verständnis des Einsatzes holzartiger Ressourcen in Wertschöpfungsketten in Bezug auf Mengen, aber auch verbundene Effekte wie Beschäftigung, Rohstoffeffizienz und andere Nachhaltigkeitsaspekte (vgl. Iost et al. 2020). Zur Orientierung für das Verständnis der im vorliegenden Bericht präsentierten Ergebnisse zu Aufkommen und Verwendung holziger Biomassen dient die Darstellung des Holzflusses in Deutschland im Jahr 2009 in Abbildung 2.

Abbildung 2: Holzfluss der Bundesrepublik Deutschland 2009



Quelle: Weimar (2011)

2.2 Verwendete Einheiten und weitere Definitionen

Im Forst- und Holzsektor sind verschiedene Maßeinheiten gebräuchlich. Ihre Verwendung steht weitestgehend im Zusammenhang mit der Verarbeitungsstufe von Holz. Daher werden für Rohholz und holzbasierte Produkte unterschiedliche Volumen- und Masseinheiten verwendet. Um entlang der Wertschöpfungskette Holz vergleichbare Angaben zum tatsächlichen Gehalt an Holz in den Halb- und Fertigwaren machen zu können, sind der Kohlenstoffgehalt, das Holzfaseräquivalent und das „solid wood equivalent“ geeignet. Weiterhin werden auch die Einheiten Tonne (absolut trocken (atro) und lufttrocken (lutro)), sowie Einheiten genutzt, die sich auf den Energiegehalt beziehen (vgl. Glasenapp et al. 2021). Zur quantitativen Bewertung der Rohstoffbasis im vorliegenden Bericht wird überwiegend das Holzfaseräquivalent verwendet.

Vorratsfestmeter: Volumenangabe für den stehenden Vorrat im Wald in m^3 mit Rinde inkl. allem Derbholz (Holz ≥ 7 cm Durchmesser). Enthält bei den Laubbaumarten das Schaft- und Astvolumen ≥ 7 cm Durchmesser und bei Nadelbaumarten nur das Schaftvolumen ≥ 7 cm Durchmesser (Riedel et al. 2017).

Erntefestmeter: Volumenangabe in m^3 ohne Rinde. Der Erntefestmeter ergibt sich aus dem Vorratsfestmeter abzüglich ca. 10 % Rinde und ca. 10 % Verluste bei der Holzernte (Riedel et al. 2017).

Kubikmeter Holzfaseräquivalent ($\text{m}^3(\text{f})$): Theoretische Größe und eine Volumeneinheit, die das äquivalente Volumen der in dem Produkt enthaltenen Holzfasern oder holzbasierenden Fasern in fasergesättigtem Zustand bezeichnet (Weimar 2011). Das Holzfaseräquivalent ist in etwa vergleichbar mit dem Festmeteräquivalent bzw. solid wood equivalent (swe) (Mantau et al. 2018).

Kubikmeter Rohholzäquivalent ($\text{m}^3(\text{r})$): Theoretische Größe, welche – bei Berücksichtigung von Ausbeuteverlusten – ausdrückt, wie viele Einheiten Rohholz für die Herstellung einer Einheit der jeweiligen holzbasierten Roh-, Halb- oder Fertigware erforderlich wären (Weimar 2020).

Holzentnahme und Holzeinschlag: nach FAO-Definition (FAOSTAT 2016) bezeichnet die Holzentnahme (removals) das Volumen aller lebenden oder toten Bäume, die geschlagen und aus dem Wald oder anderen Einschlagsorten entnommen werden. Im deutschen Kontext bezeichnet der Einschlag das ausschließlich im Wald eingeschlagene Rohholz erhoben in Festmeter Derbholz ohne Rinde (Destatis 2023a). Derbholz wird in Deutschland grundsätzlich als Holz mit einer Stärke von mindestens 7 cm einschließlich Rinde definiert (Destatis 2023a). In der Einschlagsrückrechnung des Thünen-Instituts (Thünen-ESRR) (TI-WF 2023b) werden sowohl der Holzeinschlag als auch die Holzentnahme erfasst. Holzeinschlag und Holzentnahme beschreiben unterschiedliche Dinge und Mengen (Jochem et al. 2015). Die Holzentnahme ergibt sich hier aus dem Holzeinschlag, abzüglich des nicht verwerteten Derbholzes, welches meist aufgrund von mangelnder Qualität im Wald verbleibt. Die Holzentnahme beinhaltet jedoch zusätzlich jenes Nichtderbholz (d. h. Holz mit einer Stärke von weniger als 7 cm), welches dem Wald entnommen und verwertet wird.

Um die Vergleichbarkeit der Daten für Deutschland mit denen für die EU-27 zu gewährleisten, verwenden wir im vorliegenden Bericht überwiegend die Daten der Thünen-ESRR zur Holzentnahme in Erntefestmeter (m^3 Rohholz ohne Rinde).

Reststoffe: Sind in Anlehnung an die Definition von *wood processing residues* (vgl. Saal et al. 2022) Rohstoffe, die bei der Ernte von holziger Biomasse, der Be- und Verarbeitung und durch die Entsorgung von holzbasierten Produkten anfallen können. Im Kontext des Projektes BOKRAFT schließt der Begriff „Reststoffe“ ungenutztes Waldrestholz, Rinde, Landschaftspflegeholz, Sägenebenprodukte, sonstiges Industrierestholz, Ablauge und Altholz ein (vgl. Abbildung 1). Altpapier gilt ebenfalls als Reststoff, wird aber im Rahmen des Projektes BOKRAFT nicht weiter betrachtet.

Waldrestholz: Holzige Biomasse, die im Wesentlichen aus „Nicht-Derbholz also Holz von einem geringeren Durchmesser als 7 cm besteht. Allerdings zählen zum Waldrestholz auch Erntereste und aus Qualitätsgründen

nicht genutztes Derbholz. Somit ist die Trennlinie zwischen „Derbholz“ und „Waldrestholz“ im theoretischen Sinne nicht ganz trennscharf, aber in dieser Form den Verbrauchsgewohnheiten angepasst.“ (Mantau 2012b).

Rinde: Kann bereits beim Einschlag im Wald oder erst in der weiteren Verarbeitung von Holz (z. B. im Sägewerk) anfallen (Gabsdil 2003; Mantau 2012b). Mantau (2012b) beziffert den Rindenanteil des Nadelholzes auf 12 % und des Laubholzes auf 8 %. International wird der mittlere Rindenteil mit 11 – 12 % des stehenden Stammvolumens angegeben (FAO et al. 2020).

Landschaftspflegeholz: Holzige Biomasse, die bei verschiedenen Maßnahmen zur Bewirtschaftung von Einzelbäumen, Baumbeständen und Naturschutzflächen außerhalb des Waldes geerntet wird: z. B. bei Pflege von Straßen- und Parkbäumen, sowie von Bäumen und Gehölzen entlang von Straßen, Bahn- oder Stromtrassen, Feldrändern und Uferböschungen. Hier kann ferner das Gartenscheitholz zugeordnet werden. Dieses wird im RMH im Sektor Privathaushalte als eigenständiges Sortiment erfasst (vgl. Jochem et al. 2023), wird aber im Projekt BIODIVERSITY nicht gesondert betrachtet. Gartenscheitholz fällt in Privathaushalten unregelmäßig in unterschiedlichen Mengen an und wird i.d.R. direkt in den Privathaushalten genutzt. Vor diesem Hintergrund erscheint dieses Sortiment nicht marktfähig und somit nicht im Rahmen einer Mobilisierung für die Herstellung von Biokraftstoffen verfügbar zu sein.

Sonstiges Industrierestholz und Sägenebenprodukte: Industrierestholz bezeichnet holzige Biomasse, die im Zuge der industriellen Be- und Verarbeitung von Holz und Holzprodukten anfällt (Saal et al. 2022). Ein Teil davon sind Sägenebenprodukte (SNP), die als Koppelprodukte der Schnittholzerzeugung entstehen. Sägenebenprodukte sind Sägespäne und -mehl, Schwarten, Spreißel und Hackschnitzel, die beim Rundholzeinschnitt anfallen (Sörgel et al. 2006). Restholz, welches bei der Be- und Verarbeitung von Holz, außer bei der Schnittholzerzeugung anfällt, wird als sonstiges Industrierestholz bezeichnet. Beispiele sind Hobelspäne oder Holzreste aus dem Zuschnitt z. B. in der Möbelproduktion.

Sägerestholz: In den Studien des Rohstoffmonitoring Holz (RMH) zu den Sägewerken (Sörgel et al. 2006; Döring et al. 2017c; Döring et al. 2020a) werden neben den oben definierten SNP auch „Sonstige“ Reststoffe erfasst und in der Gesamtmenge der SNP erfasst. In den Studien zu den Jahren 2015 und 2018 wurden zusätzlich auch Kapstücke gesondert ausgewiesen (Döring et al. 2017c; Döring et al. 2020a). Es ist jedoch nicht ersichtlich, ob Kapstücke erst ab dem Jahr 2015 erfasst wurden, oder lediglich ab dem Jahr 2015 gesondert ausgewiesen wurden. Um die Vergleichbarkeit der Erhebungen des RMH zu ermöglichen, wird im Weiteren der Begriff **Sägerestholz** verwendet. Dieser schließt SNP, „sonstiges“ und Kapstücke ein.

Ablauge: Ein flüssiges Nebenprodukt der Zellstoffindustrie, das bei der Eindampfung der genutzten Aufschlusslösung entsteht (i. e. "Schwarzlauge" im Sulfatverfahren, "Kochsäure" im Sulfidverfahren) (Möbius 2010). Es wird überwiegend zur Energieerzeugung eingesetzt und kann potenziell auch stofflich zur Bereitstellung von chemischen Verbindungen genutzt werden (Mantau 2012b; Davidsdottir 2013).

Altholz: Bei Altholz handelt es sich nach der Altholzverordnung (AltholzV 2002) um Industrierestholz und Gebrauchtholz, das entsorgt wird. Bei Industrierestholz handelt es sich um die in Betrieben der Holzbe- oder -verarbeitung anfallenden und entsorgten Holzreste mit überwiegendem Holzanteil (mehr als 50 Masseprozent); Gebrauchtholz sind die gebrauchten Erzeugnisse aus Massivholz, Holzwerkstoffen oder aus Verbundstoffen mit überwiegendem Holzanteil (mehr als 50 Masseprozent) (AltholzV 2002). Altholz wird in vier Kategorien unterteilt (Tabelle 2).

Tabelle 2: Altholzkategorien

Kategorie	Beschreibung	Stoffliche Verwertung möglich
A I	naturbelassenes oder lediglich mechanisch bearbeitetes Altholz, das bei seiner Verwendung nicht mehr als unerheblich mit holzfremden Stoffen verunreinigt wurde	Ja
A II	verleimtes, gestrichenes, beschichtetes, lackiertes oder anderweitig behandeltes Altholz ohne halogenorganische Verbindungen in der Beschichtung und ohne Holzschutzmittel	Ja
A III	Altholz mit halogenorganischen Verbindungen in der Beschichtung ohne Holzschutzmittel	Teilweise
A IV	mit Holzschutzmitteln behandeltes Altholz, wie Bahnschwellen, Leitungsmasten, Hopfenstangen, Rebpfähle, sowie sonstiges Altholz, das aufgrund seiner Schadstoffbelastung nicht den Altholzkategorien A I, A II oder A III zugeordnet werden kann, ausgenommen PCB-Altholz ⁴	Nein

Quelle: eigene Darstellung basierend auf AltholzV (2002)

In den Studien des Rohstoffmonitorings Holz zum Altholz im Entsorgungsmarkt werden ausschließlich jene Mengen erfasst, die im Entsorgungsmarkt bewegt werden und die dem Altholzbegriff der Altholzverordnung zuzuordnen sind. Dazu wurden Entsorgungsbetriebe befragt (vgl. z.B. Döring und Mantau 2021). In den Studien des Rohstoffmonitorings Holz zur Energieholzverwendung in Privathaushalten (vgl. Döring et al. 2020b), wird ebenfalls der Begriff Altholz verwendet. Im Kontext der Privathaushalte umfasst dieses Sortiment ebenfalls Gebrauchtholz, weiterhin Abbruchholz und Schnittholzreste aus eigener Verarbeitung. Die so bezeichnete Menge ist demnach kein Altholz im Sinne der AltholzV.

Altpapier: als Altpapier gelten Papierprodukte, die nach ihrem Gebrauch entsorgt und als Sekundärrohstoff verwendet werden.

Lagerbestandsveränderungen: Rundholz, Halb- und Fertigwaren aus Holz, sowie Reststoffe können im Verlauf der Be- und Verarbeitung im Wald oder in Lagern der Holz be- und verarbeitenden Betriebe gelagert werden. Wird dem Lager mehr Material zugeführt als entnommen, so handelt es sich netto um eine Lagerbestandszunahme. Wird mehr Material aus Wald- oder Industrielagern entnommen als zugeführt, handelt es sich netto um eine Lagerbestandsabnahme.

⁴ Altholz, das PCB im Sinne der PCB/PCT-Abfallverordnung ist und nach deren Vorschriften zu entsorgen ist, insbesondere Dämm- und Schallschutzplatten, die mit Mitteln behandelt wurden, die polychlorierte Biphenyle enthalten (vgl. AltholzV 2002)

Tabelle 3: Umrechnungsfaktoren nach Holzsortimenten

Holzsortiment	$t_{\text{Iutro}}/t_{\text{Iatro}}$	F_m/t_{Iatro}
Alt-/Gebrauchtholz	1,244	2,163
Sägenebenprodukte	1,626	2,128
Sonstiges Industrierestholz	1,208	2,128
Waldderbholz	1,572	1,923
Waldrestholz	1,773	1,923
Rinde (lose)	1,927	2,083
Pellets und Briketts	1,111	2,128
Landschaftspflegeholz	1,848	1,980
Schnellwuchsplantagenholz	1,136	1,923
Altpapier	1,099	1,250
Sonstige Brennholzsortimente ⁵	1,757	1,923

Quelle: Döring et al. (2018c, Tab. 4)

2.3 Methoden und Datenquellen

Um die gestellten Forschungsfragen zu beantworten, wurde die vorhandene wissenschaftliche Literatur – begutachtete wissenschaftliche Artikel, Ergebnisberichte von Forschungsprojekten und weitere öffentlich zugängliche Literatur – mittels einer rückblickenden, sog. Ex-Post-Analyse und systematischer Literaturanalyse ausgewertet. Für das vorliegende Working Paper wurde zusätzlich zu den während der Projektlaufzeit identifizierten Datenquellen und Referenzen auch relevante Literatur, die bis Ende 2022 veröffentlicht wurde, einbezogen.

2.3.1 Ex-Post-Analyse

Mittels der Ex-Post-Analyse wurden jene Forschungsfragen beantwortet, die sich auf die historische Entwicklung des Holzaufkommens und die Holzverwendung von 2000 – 2020 in Deutschland und der EU beziehen. Die Ex-Post-Analyse ist ursprünglich eine Methode zur retrospektiven Untersuchung von Marktbeziehungen. Sie findet auch in anderen Fachbereichen, wie Analysen von Umweltfaktoren oder Energiemärkten, breite Anwendung (Gelabert et al. 2011). In der Analyse wurden sowohl die Holzaufkommens- als auch die Holzverwendungsseite berücksichtigt. Für Deutschland sind die wichtigsten Datenquellen für das Aufkommen von Rohholz die Einschlagsrückrechnung des Thünen-Instituts sowie Daten des Statistischen Bundesamtes (siehe Kapitel 3.1).

Weitere wichtige Datenquellen sind Ergebnisse internationaler Zusammenarbeit, wie Daten aus dem Joint Forest Sector Questionnaire (JFSQ) und dem Joint Wood Energy Enquiry (JWEE), Verbandsinformationen (VDP/DIE PAPIERINDUSTRIE) und die Veröffentlichungen, die aus dem Rohstoffmonitoring Holz (RMH) entstanden sind, sowie weitere Studien.

⁵ Sonstige Brennholzsortimente sind nicht genauer definierbare Holzrohstoffe, wie z. B. Siebreste, Holzhackschnitzel unbestimmter Herkunft (vgl. Döring et al. 2018c, S. 14.)

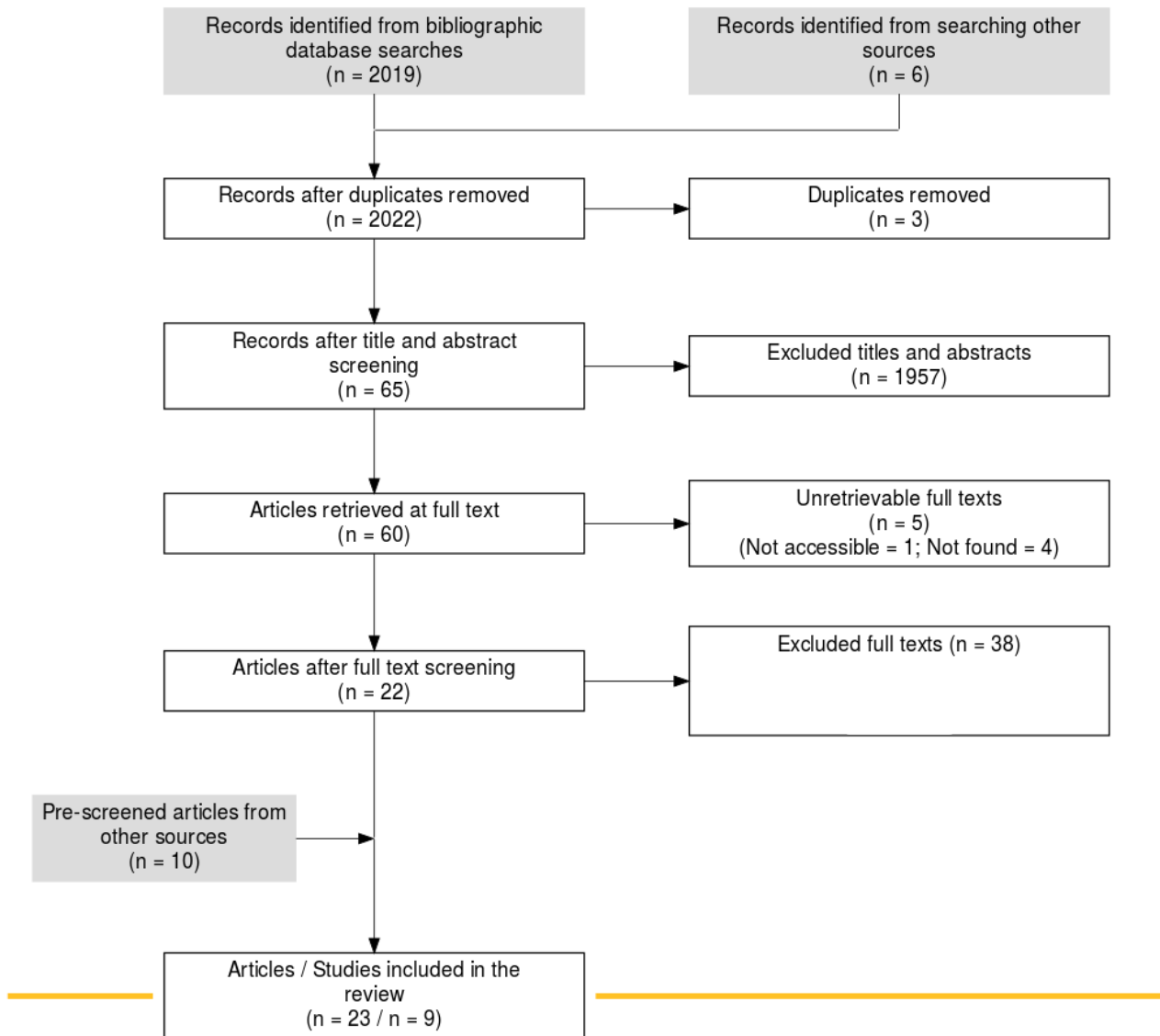
2.3.2 Systematische Literaturanalyse

Um die Frage zu beantworten, wie sich Aufkommen und Verwendung von holzigen Rohstoffen in Deutschland und der EU-27 bis 2040 entwickeln und wie mögliche zukünftige Nutzungsstrukturen aussehen können, wurde eine systematische Literaturanalyse nach dem ROSES-Protokoll durchgeführt (ROSES 2017). Die systematische Literaturanalyse ist eine Methode um einen zusammenfassenden Überblick über vorhandene Fachliteratur zu einem bestimmten Thema oder einer konkreten Fragestellung zu erstellen. Um den stetig wachsenden Wissensstand in vielen Fachgebieten überblicken und einordnen zu können, gewinnt die Strukturierung und Zusammenfassung von Informationen beständig an Bedeutung (Snyder 2019).

Der Fokus der Analyse lag auf Szenarien zu Holzaufkommen und -verwendung in der Zukunft. Die Suche nach relevanten Veröffentlichungen erfolgte in den Literaturdatenbanken Web of Science (WoS) und Scopus, sowie in Google Scholar. Für die Suche im April 2021 wurden in einem iterativen Prozess spezifische Kombinationen von Suchwörtern entwickelt. Die genutzten Suchbegriffe waren Nutzung, Verwendung, Verfügbarkeit, Holz, holzartig, Biomasse, Ressourcen, Szenarien, Zukunft, Schätzung, Potenzial (vgl. Anhang Tabelle 1 und Anhang Tabelle 2). In die Auswertung wurden begutachtete Artikel und graue Literatur eingeschlossen, die quantitative oder qualitative Angaben zu Aufkommen und Verwendung von Holz in der Zukunft machten. Weitere Kriterien für den Einschluss waren: ab dem Jahr 2000 veröffentlicht, in Deutsch oder Englisch verfasst und räumlicher Bezug Deutschland und/oder die EU.

Bei der ersten Suche wurden 2019 begutachtete Artikel und sechs weitere Studien gefunden. Nach dem im ROSES-Protokoll vorgeschriebenen Titel- und Abstract-Screening wurden 22 Artikel für die Analyse ausgewählt. Darüber hinaus wurden im Rahmen des Screening-Prozesses anhand der Verweise in den Artikeln und durch die Projektpartner 10 weitere Studien in die Analyse aufgenommen, bei denen es sich größtenteils um graue Literatur handelt, die in wissenschaftlichen Literaturdatenbanken nicht zu finden ist (vgl. Abbildung 3). Insgesamt wurden 32 Studien in die Auswertung einbezogen. Es wurden Informationen zum räumlichen und zeitlichen Bezug der Studie, sowie zu Aufkommen und Verwendung in den jeweils betrachteten Szenarien aus den Texten extrahiert. Zwölf Studien beinhalten konkrete quantitative Schätzungen der zukünftig verfügbaren Holzressourcen in der EU-27 und acht Studien machten diese Angaben nur für Deutschland.

Abbildung 3: Flussdiagramm nach ROSES für die Auswahl der auszuwertenden Quellen



Quelle: Eigene Darstellung basierend auf Haddaway et al. (2017)

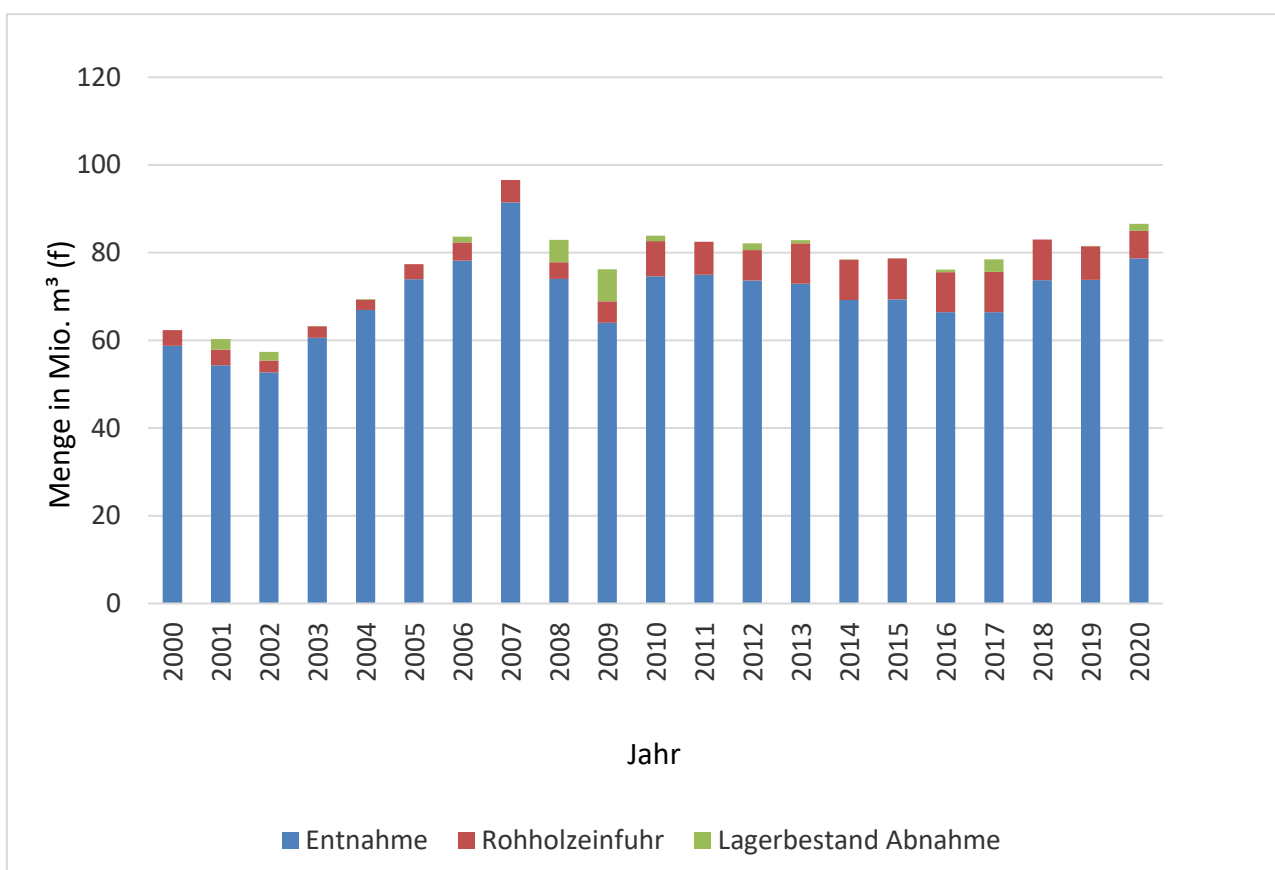
3 Aufkommen und Verwendung holziger Biomasse in Deutschland (2000 – 2020)

Die Auswertung (Ex-Post Analyse) der amtlichen Statistiken und der wissenschaftlichen Publikationen zur Entwicklung des Holzaufkommens zwischen 2000 und 2020 zeigt zum einen die quantitativen Unterschiede zwischen den verschiedenen Aufkommensquellen für Holzrohstoffe, aber auch die vorhandenen Datenlücken, insbesondere in Bezug auf die sekundären Aufkommensquellen auf.

3.1 Aufkommen aus Primärquellen

Abbildung 4 zeigt die Entwicklung des gesamten Holzaufkommens aus Primärquellen seit 2000 bis 2020. Rinde, Waldrestholz und Landschaftspflegeholz sind nicht mit abgebildet, da jeweils das tatsächliche Aufkommen nicht bekannt ist und lediglich das mobilisierte Aufkommen aus den Verwendungen dieser Sortimente hergeleitet werden kann. Außerdem liegen Erhebungen für Verwendungen nicht für jedes Jahr vor. Im Zeitraum von 2000 bis 2020 ist das Holzaufkommen aus Primärquellen insgesamt um ca. ein Drittel gestiegen was vor allem auf die gestiegene Holzentnahme und leicht höhere Importe zurückzuführen ist (vgl. Abbildung 4). Die Entwicklung verlief jedoch nicht stetig und wird im Folgenden für die einzelnen Aufkommensquellen getrennt betrachtet.

Abbildung 4: Aufkommen aus primären Quellen in Deutschland



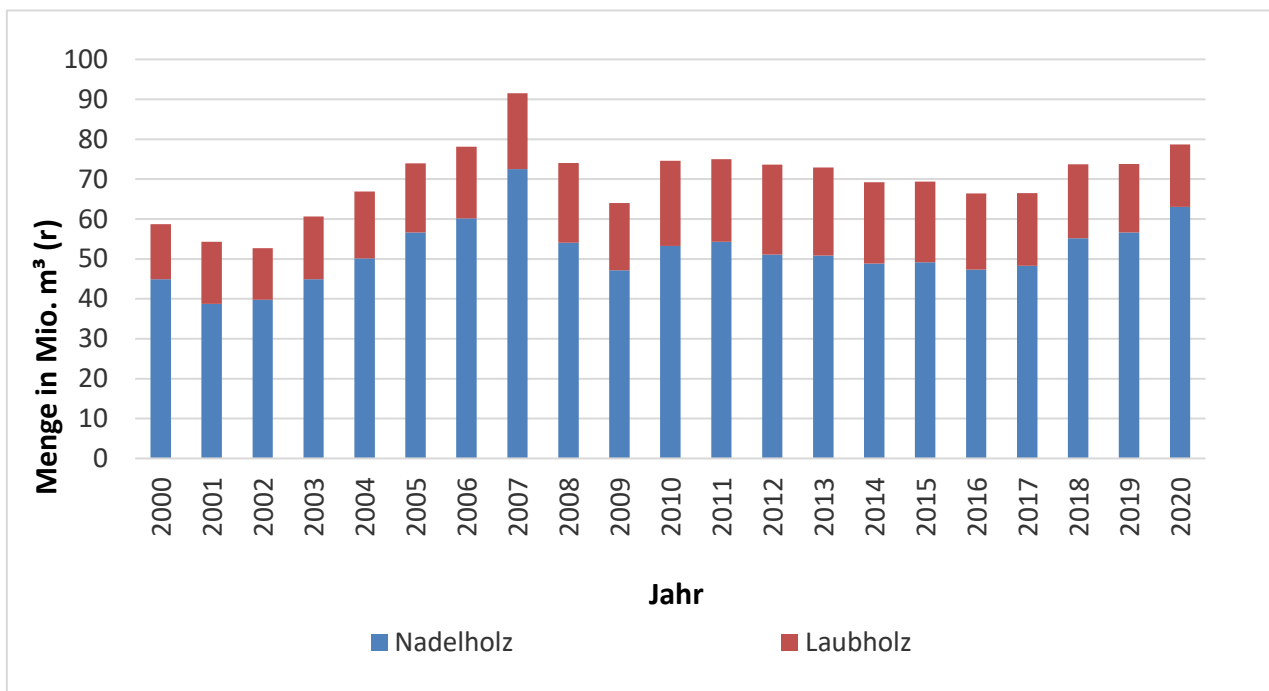
Quellen: Eigene Darstellung basierend auf TI-WF (2023b, 2023c)

3.1.1 Rohholz

Die Holzentnahme aus dem Wald in Deutschland hat von 2000 bis 2020 um 34 % zugenommen (vgl. Abbildung 4). Im betrachteten Zeitraum lag der durchschnittliche Anteil von Nadelholz bei 74 % und von Laubholz bei 26 % (Abbildung 5). Zwischen 2002 und 2007 war ein deutlicher Anstieg der Holzentnahme zu beobachten. Im Januar

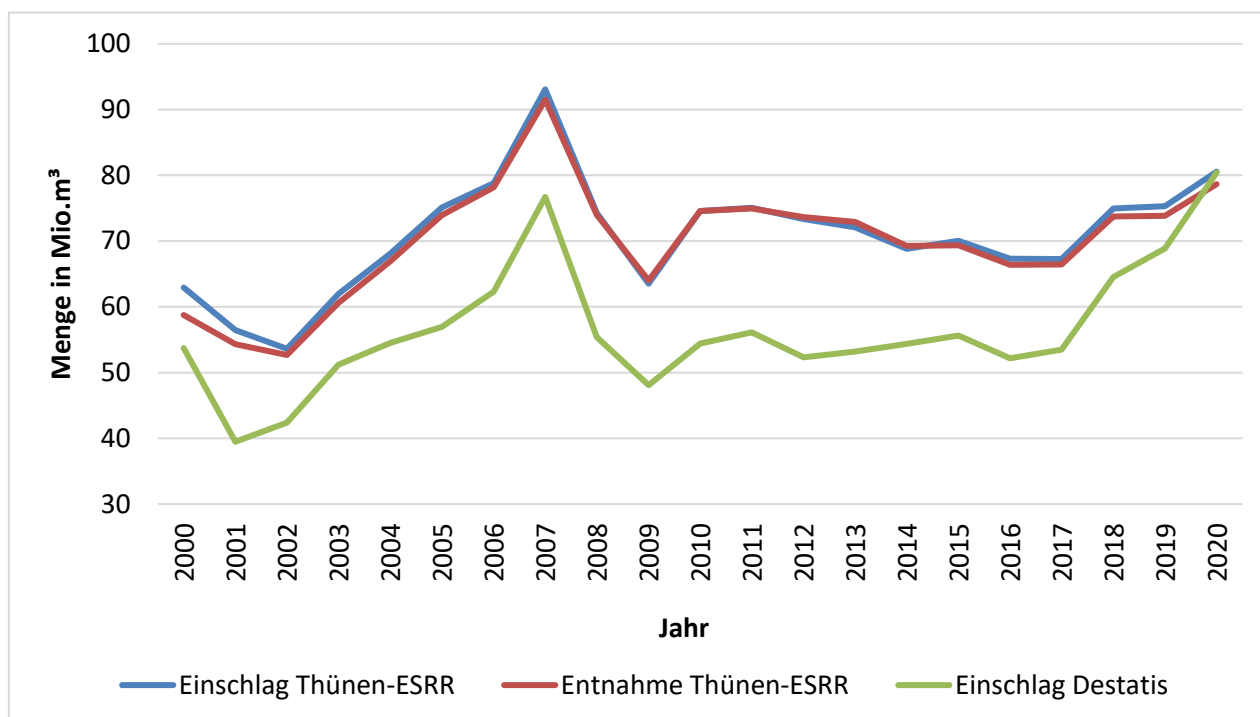
2007 verursachte das Sturmtief Kyrill große Mengen an Schadholz, was folglich zu einer hohen Holzentnahme führte (Jochem et al. 2015). In den Folgejahren 2008 und 2009 gingen die Holzentnahmen zurück und es wurden verstärkt Lagerbestände genutzt (TI-WF 2023b, 2023a), da in der Folge des Schadholzanfalls zum einen weniger Holz entnommen und zum anderen das aus dem Vorjahr eingelagerte Holz genutzt wurde. Weiterhin hat sich die Finanzkrise ebenfalls sehr stark auf die Holzentnahme ausgewirkt. Der deutsche Holzmarkt ist stark vom Baugeschäft abhängig. Durch die Immobilien- und Finanzkrise in den USA ging die Nachfrage nach Holz auch in Europa zurück (UNECE/FAO 2009). Durch die sinkende Nachfrage sanken die Preise für Schnittholz (v. a. Nadel-schnittholz), in der Folge wurde die Schnittholzproduktion reduziert um die Produktion der geringeren Nachfrage anzupassen und den Preisrückgang zu mildern (UNECE/FAO 2009). Dies führte kurzfristig auch zu einem reduzierten Holzeinschlag (Abbildung 4). Ebenso gingen die Schnittholzexporte deutlich zurück, verbunden mit Umsatzrückgang und Lageraufbau (BSHD 26.03.2009; UNECE/FAO 2009; Knauf et al. 2016). Im Jahr 2010 erreicht die Höhe der Holzentnahme in etwa wieder das Niveau vor 2007. In den Jahren 2014 bis 2017 ging die Holzentnahme leicht zurück und stieg danach bis 2020 kalamitätsbedingt deutlich an (vgl. Abschnitt zu Schadholz).

Abbildung 5: Anteil von Nadel- und Laubholz an der Holzentnahme



Quelle: Eigene Darstellung basierend auf TI-WF (2023b)

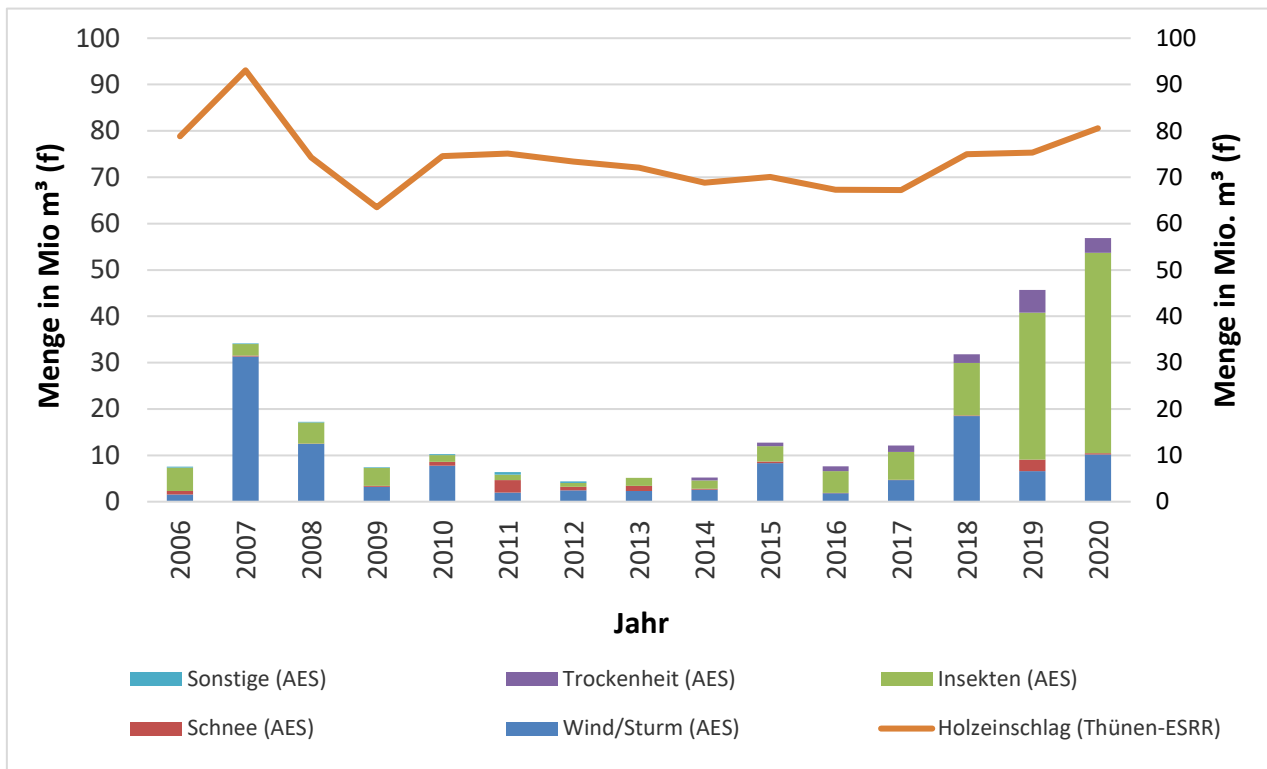
Die Daten zur Holzentnahme werden der Thünen-Einschlagsrückrechnung (Thünen-ESRR) (TI-WF 2023b) entnommen. Diese Methode nutzt Daten zur stofflichen und energetischen Holzverwendung und berechnet, wieviel Holz dem Wald entnommen werden muss, um diese Verwendungen abzudecken (Jochem et al. 2015). Wie bereits in Kapitel 2.1 erläutert, ergibt sich die Holzentnahme aus dem Einschlag (Derbholz), zuzüglich des entnommenen Nichtderbholzes abzüglich des nicht verwerteten Derbholzes, welches v. a. aufgrund von Qualitätsmängeln im Wald verbleibt. Den Daten der Thünen-ESRR stehen die in der amtlichen Holzeinschlagsstatistik erfassten Mengen gegenüber (Abbildung 6). Die amtliche Statistik führt eine Erhebung des Einschlags auf Angebotsseite durch (Destatis 2023a) und unterschätzt den tatsächlichen Holzeinschlag, da die Einschlagsmengen in Privatwäldern nicht direkt abgefragt, sondern geschätzt werden und ein hoher Anteil des Brennholzeinschlag nicht erfasst wird (Jochem et al. 2015).

Abbildung 6: Holzeinschlag und -entnahme in Mio. m³ nach ESSR und amtlicher Statistik

Quellen: Eigene Darstellung basierend auf TI-WF (2023b); Destatis (2023a)

3.1.2 Schadholz

Seit 2018 hat der Anteil der erzwungenen Entnahme aufgrund von extremen Witterungsbedingungen und darauffolgenden Schädlingsbefall an der gesamten Holzentnahme an Bedeutung gewonnen. Die gesamte Holzentnahme ist nur moderat gestiegen, jedoch ist die anteilige Menge an Schadholz, die durch Insekten, Trockenheit oder Stürme verursacht wurde, seit 2018 zu einem bedeutenden Teil der Holzentnahmen geworden. Schadholz wird neben dem planmäßigen Einschlag auch über die amtliche Holzeinschlagsstatistik (AES) (Destatis 2023a) erfasst. Der Schadholzeinschlag wird unter anderem nach Einschlagsursache differenziert erhoben. Abbildung 7 zeigt einen stetigen Anstieg des Schadholzanteiles, der mit 75 % in 2020 einen Höchstwert erreichte und insgesamt ab 2018 auch zum Anstieg des gesamten Einschlags führte. Abbildung 7 zeigt ferner die Anteile der verschiedenen Ursachen, die zum Anfall von Schadholz führten. Daten differenziert nach Schadursachen sind aktuell über Destatis nur ab dem Jahr 2006 verfügbar. Die Schadursache „Trockenheit“ wird seit dem Jahr 2020 gesondert ausgewiesen; bis dahin war diese Schadursache unter „Sonstiges“ erfasst. Insgesamt hat als Schadursache das Auftreten von Insektenkalamitäten in den letzten Jahren stark an Bedeutung gewonnen. Die Kalamitäten betreffen Nadelholz wesentlich stärker als Laubholz; 70 % des insektenbedingten Schadholzes fallen bei Nadelbaumarten an (Destatis 2023a). Schadholz wird nicht immer sofort dem Wald entnommen, weil z. B. nicht ausreichend Kapazitäten für die Aufarbeitung des Holzes und den Abtransport von der Fläche verfügbar sind. Wird Schadholz dem Wald entnommen, führt dies kurzfristig zu einem unplanmäßigen Anstieg der Holzentnahme. Unplanmäßige Holzentnahmen resultieren wiederum mittel- und langfristig in einem Vorratsabbau im stehenden Bestand und verringern so das Zuwachspotenzial und den zukünftig möglichen Einschlag, wenn planmäßige Holzentnahmen nicht entsprechend angepasst werden. Alternativ zum Begriff Schadholz wird auch Kalamitätsholz verwendet, denn Holz, welches in Folge eines Schadereignisses geerntet wird, ist nicht zwangsläufig schadhaft und kann u. U. auch für bestimmte stoffliche Verwendungen weiterhin zur Verfügung stehen.

Abbildung 7: Holzeinschlag nach Thünen-ESRR und Schadholzeinschlag nach Ursache (AES)

Quellen: Eigene Darstellung basierend auf TI-WF (2023b), Destatis (2023a)

Der kurzfristige kalamitätsbedingte Anstieg des Einschlags kann sich auch auf die Lagerbestände und den Handel mit Rohholz auswirken. Steht mehr Rohholz zur Verfügung, können die Holz be- und verarbeitenden Industrien grundsätzlich ihre jeweilige Produktion bis zu einer bestimmten Kapazitätsgrenze anpassen. Kann kein Rohholz mehr aufgenommen werden, wird es entweder im Wald oder in den Lagern der be- und verarbeitenden Betriebe (Industriellager) gelagert. Durch das erhöhte Rohholzangebot sinken die Preise, was einen vermehrten Export zur Folge haben kann. Vor dem Jahr 2018 war Deutschland ein Nettoimporteur von Nadelrohholz, ab 2019 Nettoexporteur dieses Holzsortiments (TI-WF 2023c; Destatis 2024).

3.1.3 Waldrestholz

Wie aus der Definition für Waldrestholz in Kapitel 2.2 ersichtlich, ist die Abgrenzung von Waldrestholz schwierig. Das dem Wald bei der Holzernte entnommene Waldrestholz wird nicht systematisch über AES erfasst. Hinausgehend über die Betrachtung von Waldrestholz im Sinne der hier verwendeten Definition berührt die Diskussion auch stehendes und liegendes Totholz. Dessen Vorkommen steht mit der Nutzungsintensität insofern im Zusammenhang, als dass Totholz infolge der Holzernte anfällt, wenn nicht verwertbare Sortimente und Kronenmaterial im Bestand verbleiben (Schnell und Hennig 2019).

Die aktuell verwendete Menge des Waldrestholzes kann anhand der zur Verfügung stehenden Daten zur energetischen Nutzung von Holz geschätzt werden. Laut RMH werden zwischen 2 und knapp 4 Mio. m³ Waldrestholz in Biomassefeuerungsanlagen energetisch genutzt (Döring et al. 2018c, 2021c; Döring et al. 2018b; Döring et al. 2021b). Auch in Privathaushalten wird Waldrestholz energetisch genutzt. Im RMH werden die energetisch verwendeten Mengen „Waldscheitholz“ erhoben (vgl. Döring et al. 2020b, 2016). Dieses „Waldscheitholz setzt sich aus Derbholz, Derbholzrinde, und Nicht-Derbholz zusammen. Interpretiert man das Nicht-Derbholz als Waldrestholz, betrug die energetische Verwendung in Privathaushalten je 3,2 Mio. m³ in 2014 und 2018 (Döring et al. 2020b, 2016). Ein Vergleich mit den in den Biomassefeuerungsanlagen genutzten Mengen

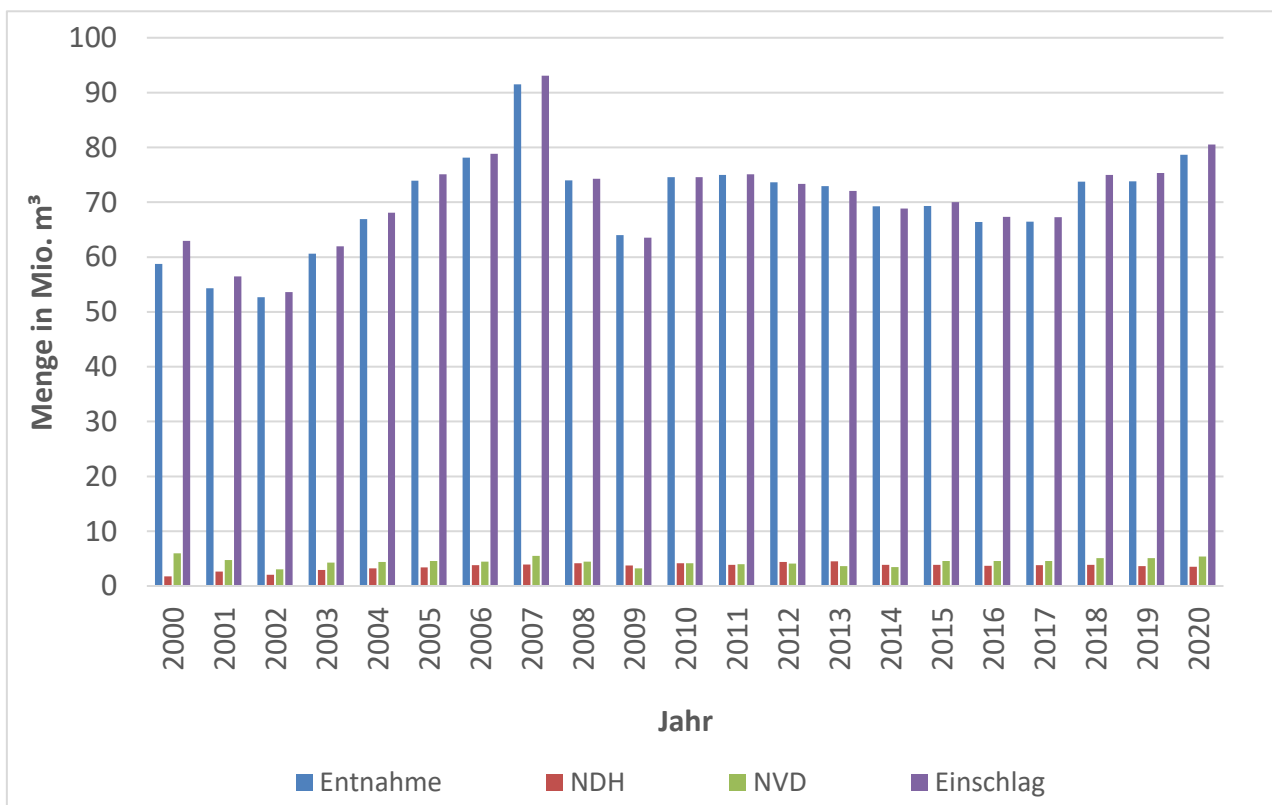
kann nicht unmittelbar vollzogen werden, da in den verschiedenen Studien des RMH der Begriff „Waldrestholz“ unterschiedlich verwendet wird.

Betrachtet man die Aufkommenseite, so gelangt man eher zu Waldrestholzpotenzialen, als zu einem tatsächlich mobilisierten Aufkommen. So schätzen Brosowski et al. (2015) das ungenutzte Potenzial des Waldrestholzes auf der Angebotsseite auf ca. 11,7 Mio. t Trockenmasse, was 22,5 Mio. m³ entspricht. Bei der Beurteilung dieser Menge müssen die einbezogenen Kompartimente der gefällten Bäume und auch die Mobilisierbarkeit in Bezug auf technische und ökonomische Machbarkeit sowie ökologische Auswirkungen mit berücksichtigt werden.

Die Thünen-ESRR (TI-WF 2023b) weist das nicht verwertete Derbholz (NVD) und das genutzte Nichtderbholz (NDH) gesondert aus (vgl. Abbildung 8). Damit kann mit Hilfe der Thünen-ESRR das theoretische Waldrestholzpotenzial zu einem Teil abgeleitet werden. Die Schätzung ist jedoch nicht vollumfänglich, da eingeschlagenes aber ungenutztes Nichtderbholz im Rahmen dieser Berechnungen nicht quantifiziert werden kann.

Das NVD wird bei der Thünen-ESRR anhand von Daten aus dem Testbetriebsnetz Forst (TBN) als prozentualer Anteil am Einschlag geschätzt und stellt damit einen Teil des theoretischen Potenzials an Waldrestholz dar (BMEL 2022). Die Mobilisierbarkeit dieses theoretischen Potenzials ist nicht abschätzbar. Zum einen bestimmen die Holzpreise, ob sich die Aufarbeitung des NVD lohnt (Dieter et al. 2001; Rock et al. 2016a). In der Vergangenheit haben die Anforderungen aus den Holzverarbeitenden Industrien und hohe Aufarbeitungskosten dazu geführt, dass Rohholz oft nicht mehr bis zur Derbholzgrenze genutzt wird (Rock et al. 2016a). Als Alternative zur kommerziellen Mobilisierung des NVD aus dem Wald, sind auch nicht-kommerzielle Formen der Räumung zu beachten. Beispielweise können private Haushalte ursprünglich als NVD klassifiziertes Holz auch als Selbstwerber im Wald aufbereiten. Zum anderen kann es erforderlich sein, NVD als Totholz im Wald zu belassen um Biodiversitätsziele zu erreichen.

Abbildung 8: Einschlag und Entnahme sowie NVD und NDH



Quelle: Eigene Darstellung basierend auf Thünen-ESRR (TI-WF 2023b); NDH: Nichtderbholz; NVD: Nicht verwertetes Derbholz

Zur Beurteilung der hier genannten Potenziale und identifizierten Mengen muss auf die weiteren Funktionen von Waldrestholz und Totholz als Teile des Waldökosystems eingegangen werden. Dieter et al. (2001) weisen darauf hin, dass in Studien zu nutzbaren Biomassepotenzialen aus dem Wald Laub und Nadeln zwar theoretisch energetisch nutzbar sind. Die Nährstoffgehalte in Blättern und Nadeln sind allerdings hoch und bei ihrer Nutzung außerhalb des Waldes werden sie dem Nährstoffkreislauf des Bestandes entzogen. Bei vollmechanisierten Ernteverfahren kann Nadelholz direkt nach der Ernte gehackt werden, was die Abfuhr der Nährstoffe in den Nadeln aus dem Bestand zur Folge haben kann. Alternativ kann die Hackung und der Abtransport des Hackgutes erst erfolgen, wenn die Nadeln durch Austrocknung natürlich abgefallen sind. Dieses Verfahren ist aber an die Preise für Hackgut und die Kosten der Bereitstellung gebunden (Dieter et al. 2001). Bei Laubbaumarten kann der höhere Nährstoffentzug durch Ernte im Winter vermieden werden (ebd.). Weiterhin weisen Hennenberg und Böttcher (2018) darauf hin, dass sich die Intensivierung bestehender Nutzung oder eine neue Nutzung von Waldrest- und Totholz negativ auf Biodiversität, Boden (Kohlenstoffspeicher und Nährstoffhaushalt) und Wasserhaushalt auswirken könnten. Die Autoren empfehlen, die Entnahme von Waldrestholz zur energetischen Nutzung (inkl. der Herstellung von Biokraftstoffen) zu reduzieren und an standörtliche und naturschutzfachliche Gegebenheiten anzupassen. Jonsson et al. (2018) betrachten ebenfalls den Beitrag von im Wald verbleibendem Totholz zur Biodiversität als wichtigstes Argument, da fehlendes Totholz den Verlust von Habitaten und Nahrungsquellen für Lebewesen im Wald bedeutet. Im Kontext der im vorliegenden Working Papers präsentierten Ergebnisse wird die Nutzung von Stubben und Wurzelstöcken aus Nachhaltigkeitsgründen ausgeschlossen. Die Mobilisierung dieser Biomasse würde eine flächige Befahrung des Bestandes erfordern und hätte somit Bodenverdichtung zur Folge. Weiterhin stellt sie ebenfalls einen Entzug von Nährstoffen dar und steht Biodiversitätszielen (z. B. Erhalt und Aufbau von Totholzvorräten) entgegen (Dieter et al. 2001).

Der Bedeutung von Totholz wird u. a. in sog. „Alt- und Totholzkonzepten“ der Bundesländer (ForstBW 2017), in Zertifizierungsrichtlinien (FSC, PEFC) und in der nationalen Strategie zur biologischen Vielfalt Rechnung getragen (Schnell und Hennig 2019). Die nationale Strategie zur biologischen Vielfalt (BMUB 2007) formuliert grundsätzlich das Ziel, dass alte Bestände und Totholz in ausreichender Menge und Qualität in Waldbeständen vorhanden sind. Konkretere Maßnahmen zur Erreichung dieses Ziels werden durch entsprechende Leitlinien und Konzepte der Bundesländer (Rosenkranz und Seintsch 2015) wie z. B. das Alt- und Totholzkonzept des Landes Baden-Württemberg formuliert (ForstBW 2017, 2022). Auch in den Zertifizierungsrichtlinien werden konkrete Vorgaben formuliert. So erfolgt in FSC-zertifizierten Wäldern i.d.R. keine Nutzung von Waldrestholz (Kriterium 10.11.9) und die Betriebe müssen eine Biotop- und Totholzstrategie entwickeln und diese in den Bewirtschaftungsplan integrieren (Kriterium 6.6.5.) (FSC Deutschland 2020). Mit Stand Oktober 2022 sind in Deutschland ca. 1,44 Mio. ha Waldfläche FSC-zertifiziert (FSC International 2022). In nach PEFC zertifizierten Betrieben gibt es ebenfalls Vorgaben zu Erhalt und Förderung von Biotopholz (inkl. Totholz): zur Erhaltung und Wiederherstellung von Biodiversität werden Betriebspläne aufgestellt. Ganzbaumnutzung (alle ober- und unterirdischen Pflanzenteile) findet nicht statt. Vollbaumnutzung (Nutzung aller oberirdischen Teile) wird nach klaren Kriterien (vgl. Leitfaden 4) eingeschränkt, um den Erhalt von Nährstoffkreisläufen sicherzustellen. So muss für eine Vollbaumnutzung der Bestand alt genug sein, um stofflich nutzbare Sortimenten auszuhalten und es müssen die Ergebnisse der Bodenzustandserhebung und die jeweiligen Vorgaben der Bundesländer berücksichtigt werden (PEFC Deutschland e.V. 2020). Zum 30.09.2022 sind ca. 8,75 Mio. ha in Deutschland PEFC-zertifiziert (PEFC 2022). In 2021 waren ca. 1,12 Mio. ha Waldfläche gleichzeitig nach FSC und PEFC zertifiziert (PEFC 2021).

Eine Auswertung der Kohlenstoffinventur 2017 (Schnell und Hennig 2019) hat ergeben, dass die Totholzvorräte in 2017 im Vergleich zu 2012 leicht angestiegen sind. Die höchsten Vorräte sind im Landeswald zu finden, was mit den entsprechenden Konzepten der Länder in Zusammenhang stehen kann. Liegendes Totholz hat den größten Anteil und ca. 29 % des Totholzvorrats hat eher geringe Dimensionen mit einem Mittendurchmesser von 20 cm oder weniger (Schnell und Hennig 2019). Die Ergebnisse zeigen demnach eine Verbesserung hinsichtlich des Vorkommens von Totholz (BMUV 2021).

3.1.4 Rinde

Wie im Fall von Waldrestholz wird Rinde nicht in der AES erfasst. Das Rindenaufkommen ist grundsätzlich an den Einschlag und dessen Aufteilung in Baumarten, das Alter der geernteten Bäume und die ausgehaltenen Sortimenten gekoppelt. Mantau (2012b) schätzt, dass 10 % des Holzeinschlags Rinde sind, und zwar 12 % im Nadelholzeinschlag und 8 % im Laubholzeinschlag. Eine ähnliche Schätzung wird von der FAO vorgenommen, die berichtet, dass Rinde im Durchschnitt 11 – 12 % des Rohholzvolumens ausmacht (FAOSTAT 2022).

Hirschler et al. (2022) definieren Rinde als ein Nebenprodukt der Verarbeitung von stofflich genutztem Rundholz und schätzen das potenzielle Rindenaufkommen auf Basis von FAO-Daten zur Produktion von Rundholz. Dabei betrachten sie das Potenzial, welches sich aus dem Verbrauch von Rundholz ergibt, d. h. inländisch produziertes Holz und der Nettohandel werden berücksichtigt. In den Jahren 2015 bis 2020 lag dieses Potenzial in Deutschland zwischen knapp 6 und 7 Mio. m³ pro Jahr (Hirschler et al. 2022Tab. A10, A11). Ein Teil des gesamten Rindenaufkommens verbleibt im Wald, da sich im Zuge von Holzernte und -transport Rinde vom Stamm löst, abfällt und dann nicht wieder aufgesammelt wird. Das Verbleiben der Rinde im Wald trägt zur Erhaltung von Nährstoffkreisläufen im Ökosystem Wald und somit zu einer nachhaltigen Waldbewirtschaftung bei (Hirschler et al. 2022). Dieser Teil des Rindenaufkommens ist nicht quantifizierbar und weder stofflich noch energetisch nutzbar. Bei der weiteren industriellen Verarbeitung von Rundholz fällt ebenfalls Rinde an, die v. a. energetisch genutzt wird (vgl. Kapitel 3.3).

3.1.5 Landschaftspflegeholz

Ebenso wie die Rinde und das Waldrestholz wird das Landschaftspflegeholz nicht in der AES oder einer anderen amtlichen Statistik erfasst. Die Mengen werden entweder theoretisch auf der Angebotsseite z. B. auch als Potenziale geschätzt oder über die bekannten und mengenmäßig erfassten Verwendungen angegeben. Die Verwendungsseite wird in Kapitel 3.3 erörtert.

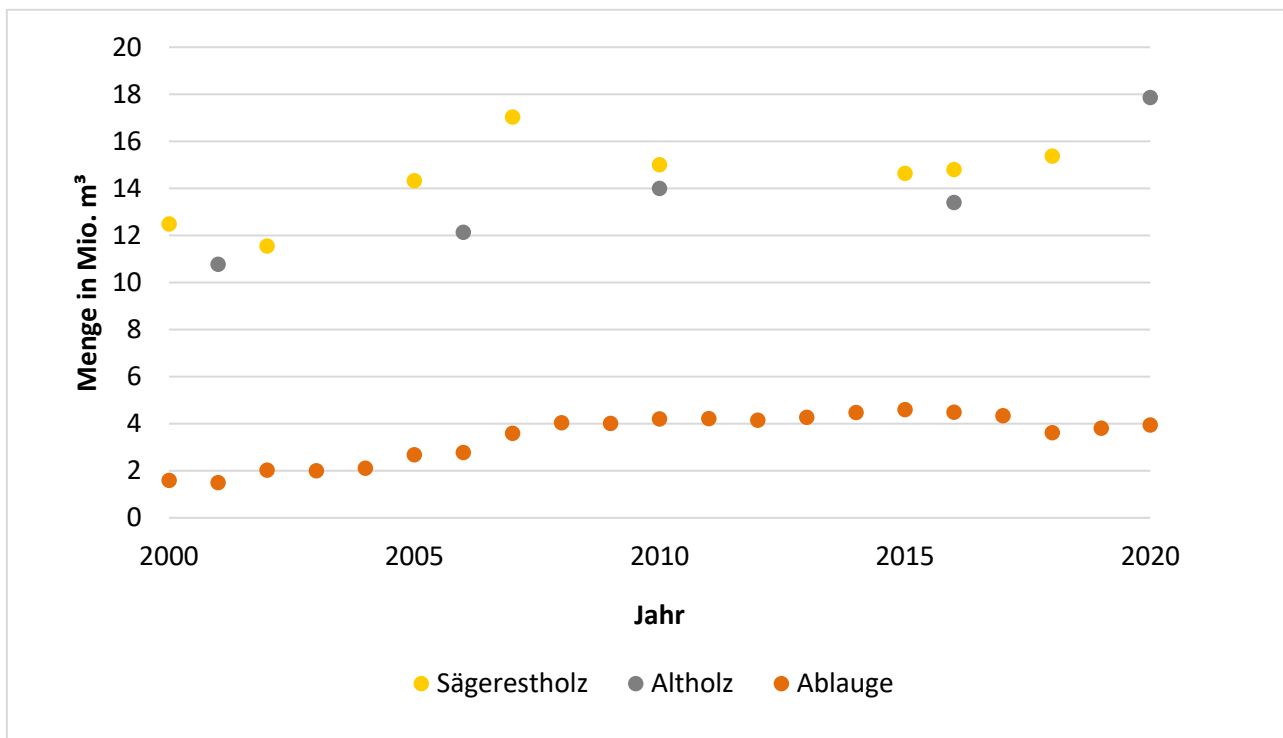
Auf der Angebotsseite berichtet die EUWood-Studie für den Zeitraum 2010 bis 2030 für Deutschland von einem jährlichen Potenzial von 7,2 Mio. m³ Landschaftspflegeholz, von denen 2,5 Mio. m³ als ungenutzt eingestuft werden (Mantau et al. 2010a, Tab. 5-2). Diese Schätzung erfolgte auf Basis einer Gesamtschätzung für die EU-27 als durchschnittliches Potenzial an Landschaftspflegeholz pro Hektar Nichtwaldfläche. Daraus wurden die Gesamtpotenziale für die einzelnen Länder der EU-27 berechnet (Mantau et al. 2010a). Studien, die sich nur auf Deutschland beziehen, geben jedoch eine andere Höhe des Landschaftspflegeholzpotenzials an. Mühlenhoff et al. (2014) schätzen, dass jährlich ca. 300.000 t (knapp 0,8 Mio. m³) Landschaftspflegeholz allein aus Straßenbegleitgrün zur Verfügung stehen könnten. Diese Schätzung ist mit Vorsicht zu bewerten, da Mühlenhoff et al. (2014) keine weiteren Angaben zur Herleitung dieser Schätzung machen. Zusätzlich schätzen Scheuermann et al. (2003) das unter Berücksichtigung der im Bezugszeitraum der Studie gegebenen technischen Möglichkeiten ca. 0,6 Mio. m³ Landschaftspflegeholz verfügbar seien. Diese Menge bezieht sich auf die Unterhaltung und Pflege von Windschutzhecken, Ufer- und Straßenrandhölzern. Mantau (2012b) schätzt das Aufkommen an Landschaftspflegematerial in 2010 auf 4,5 Mio. m³. Dabei schließt die verwendete Definition von Landschaftspflegematerial hier Grünschnitt und Landschaftspflegeholz (holziger Anteil) ein und der holzige Anteil wird nicht getrennt ausgewiesen (Mantau 2012b).

3.2 Aufkommen aus Sekundärquellen

Sekundäre Aufkommensquellen sind Sägenebenprodukte (bzw. Sägerestholz, vgl. Kapitel 2.2), sonstiges Industrierestholz, Ablauge und Altholz. Die direkte Erhebung des Aufkommens erfolgt auf unterschiedliche Art und Weise. Das Aufkommen von Ablauge wird jährlich vom Verband Deutscher Papierfabriken (VDP) (seit 2022 DIE PAPIERINDUSTRIE) in den Unternehmen erhoben (vgl. VDP 2016- 2021). Ablauge wird dort zwar nur in ihrer

Verwendung als Energieträger dokumentiert. Da die Ablauge aber als Nebenprodukt der Zellstoffherstellung anfällt, dann direkt vor Ort energetisch genutzt und nicht gehandelt wird (vgl. Kapitel 2.2), kann davon ausgegangen werden, dass die Verwendung dem Aufkommen entspricht. Die Aufkommen an Sägenebenprodukten und Altholz sind aus den Erhebungen des RMH bekannt. Wie bereits in Kapitel 2.2 erläutert, sind die Sägenebenprodukte in den verschiedenen RMH-Studien nicht einheitlich definiert und können auch sonstiges IRH enthalten. Dennoch stellen die RMH-Studien in der Sägeindustrie die wichtigsten und zuverlässigsten Datenquellen für das Aufkommen an Sägenebenprodukten dar. Die Altholzaufkommen werden in den Studien des RMH zu Altholz im Entsorgungsmarkt (vgl. Kapitel 2.2) erhoben (z.B. Döring und Mantau 2021). Die in den Entsorgungsbetrieben erfassten Mengen werden als Handelsvolumen bezeichnet und umfassen Mengen, die innerbetrieblich genutzt oder weitervertrieben werden. Das Marktvolumen ergibt sich aus dem Handelsvolumen abzüglich des Weitervertriebs an Endverwerter. Zum Marktvolumen zählen auch die Mengen, die innerbetrieblich verwendet werden (vgl. Döring und Mantau 2021). Die Studien des RMH zum Altholz im Entsorgungsmarkt schließen keine Altholzverwendung in Privathaushalten ein. Abbildung 9 zeigt die bekannten Aufkommensmengen. Für die Jahre 2010 und 2016 liegen für alle drei Sortimente Daten vor; das Gesamtaufkommen aus Sekundärquellen liegt jeweils bei knapp über 30 Mio. m³.

Abbildung 9: Aufkommen an Holz aus Sekundärquellen in Mio. m³(f)



Quellen: Eigene Darstellung basierend auf folgenden Daten: Ablauge: VDP (2000-2015, 2016- 2021); Sägereestholz: Mantau et al. (2002), Mantau und Sörgel (2004), Sörgel et al. (2006), Mantau und Hick (2008), Döring und Mantau (2012), Döring et al. (2017c), Döring et al. (2020a); Altholz: Weimar und Mantau (2005), Weimar und Mantau (2008), Mantau et al. (2012), Döring et al. (2018a), Döring und Mantau (2021)

Das sekundäre Aufkommen an Sägereestholz, sonstigem Industrierestholz und Ablauge ist eng an die Rohholzverwendung in der Industrie gekoppelt. So nimmt bei zunehmenden Rohholzeinsatz z. B. in der Sägeindustrie das Aufkommen an Sägenebenprodukten zu. Bei den Sägenebenprodukten handelt es sich überwiegend um Nadelholz, da der Großteil des Einschnitts Nadelholz ist (94 %) (Döring et al. 2020a).

Das Aufkommen an Altholz (Handelsvolumen) lag im Jahr 2001 bei ca. 6,2 Mio. t, was einer Menge von 10,8 Mio. m³ entspricht (Weimar und Mantau 2005). Das Inkrafttreten der Altholzverordnung im Jahr 2002

(AltholzV 2002) führte zu einem erhöhten Bewusstsein für Altholz, da die Verordnung Definition, Sammlung und Nutzung von Altholz im Detail festlegte. Nach Inkrafttreten der AltholzV in 2002 stieg das Aufkommen auf 12,1 Mio. m³ im Jahr 2006 (Weimar und Mantau 2008), auf 13,4 Mio. m³ in 2016 (Döring et al. 2018a) und auf 17,7 Mio. m³ in 2020 (Döring und Mantau 2021). Der Anteil der stofflichen Nutzung an der Gesamtverwendung von Altholz in Deutschland lag in 2020 bei ca. 14 %, 71 % wurden energetisch verwendet und weitere 14 % wurden exportiert (Döring und Mantau 2021).

Sonstiges Industrierestholz fällt in verschiedenen Sektoren der Be- und Verarbeitung von Holz an und kann daher nur schwer geschätzt werden. Konkrete empirische Erhebungen des Aufkommens an IRH bei der Hobelwarenproduktion wurden im RMH in den Jahren 2005 (Sörgel et al. 2006) und 2015 (Döring et al. 2017c) direkt erhoben. Die Aufkommen lagen bei 1,1 Mio. m³ (2005) und 0,5 Mio. m³ (2015). Für weitere Verarbeitungsschritte von Holz und Holzwaren ist das Aufkommen von IRH nicht bekannt. Grundsätzlich kann das Aufkommen über die Summe der Verwendung geschätzt werden. Döring et al. (2017b) beziffern den stofflichen Einsatz in der Holzwerkstoffindustrie im Jahr 2015 auf 0,3 Mio. m³; 2,3 Mio. m³ wurden in Biomassefeuerungsanlagen energetisch genutzt (2016) (Döring et al. 2018b; Döring et al. 2018c). Daraus lässt sich ein Aufkommen von ca. 2,6 Mio. m³ pro Jahr ableiten. Vermutlich unterschätzt dieser Wert das tatsächliche IRH-Aufkommen, da es in deutlich mehr Bereichen anfällt, als vom RMH erfasst (z. B. in der Möbel- und Verpackungsindustrie).

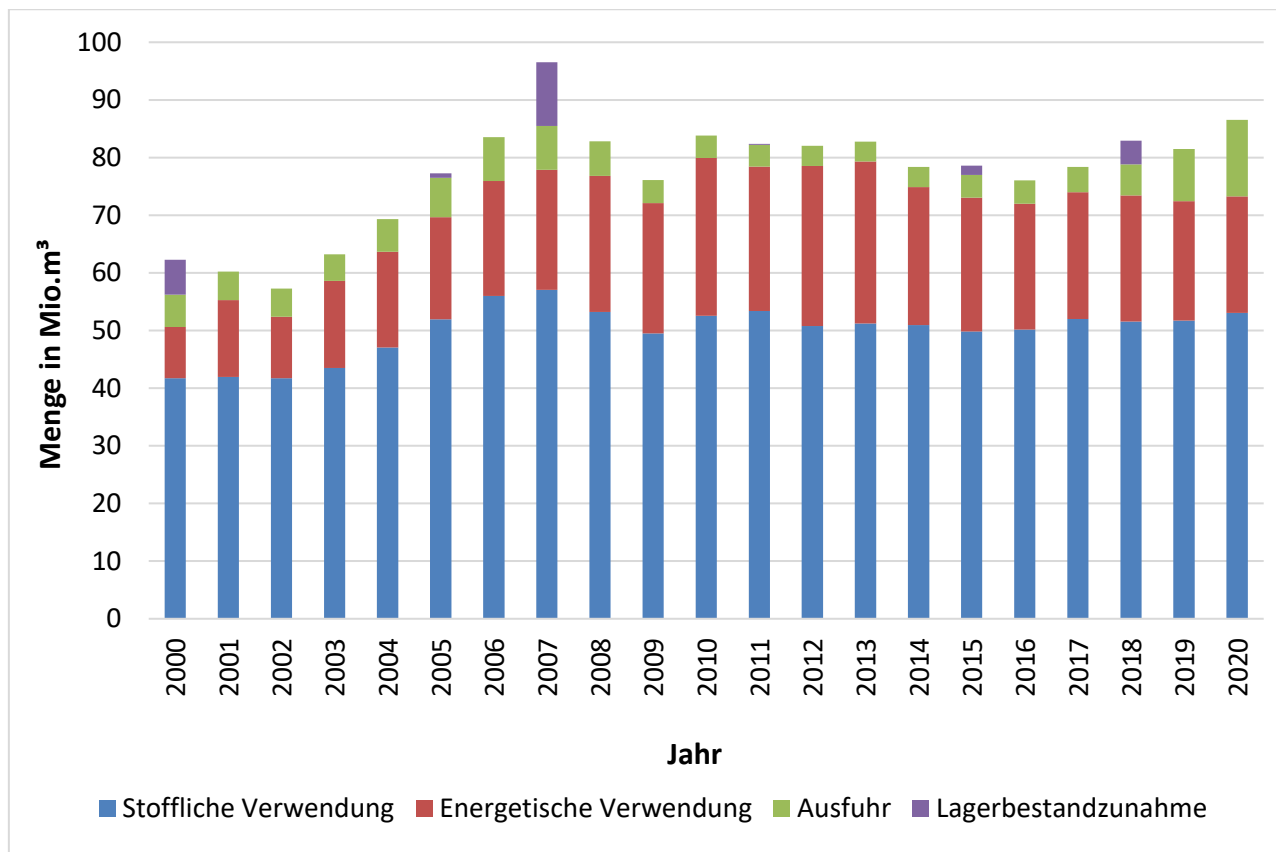
3.3 Verwendung von Holz aus Primärquellen

Die hier gezeigten Informationen zur Verwendung von Rundholz in der ersten Verarbeitungsstufe werden der Einschlagrückrechnung des Thünen-Instituts entnommen (Thünen-ESRR) (TI-WF 2023b). In der Thünen-ESRR wird als stoffliche Verwendung von Rundholz die Summe der Verwendung in Säge-, Holzwerkstoff- und Zellstoffindustrie verstanden. Hinzu kommen die Verwendung von (i.d.R. nicht sägefähigem) Rundholz zur Herstellung von Energieholzprodukten wie Pellets, Briketts und Holzkohle, der Nettoexport und die Menge an Rundholz, welche in Wald- und Industrielager geht. Die energetische Verwendung von Rundholz erfolgt in Privathaushalten und in Biomassefeuerungsanlagen zur Wärme- und Stromerzeugung.

Der Thünen-ESRR zufolge ist die stoffliche Verwendung von Rundholz von 47,8 Mio. m³ im Jahr 2000 auf 58,4 Mio. m³ im Jahr 2020 gestiegen, was über den gesamten Zeitraum einem Anstieg von 22 % entspricht. Die energetische Verwendung von Rundholz in Biomassefeuerungsanlagen und Privathaushalten stieg von 8,9 Mio. m³ im Jahr 2000 auf 20,2 Mio. m³ im Jahr 2020. Dies entspricht einem Anstieg von 127 % (TI-WF 2023b). Haushalte sind die größten Verwender von Rohholz für energetische Zwecke. Im Vergleich zum Holzeinsatz in Biomassefeuerungsanlagen nutzten sie in 2020 in etwa die dreifache Menge an Rohholz zur Energieerzeugung.

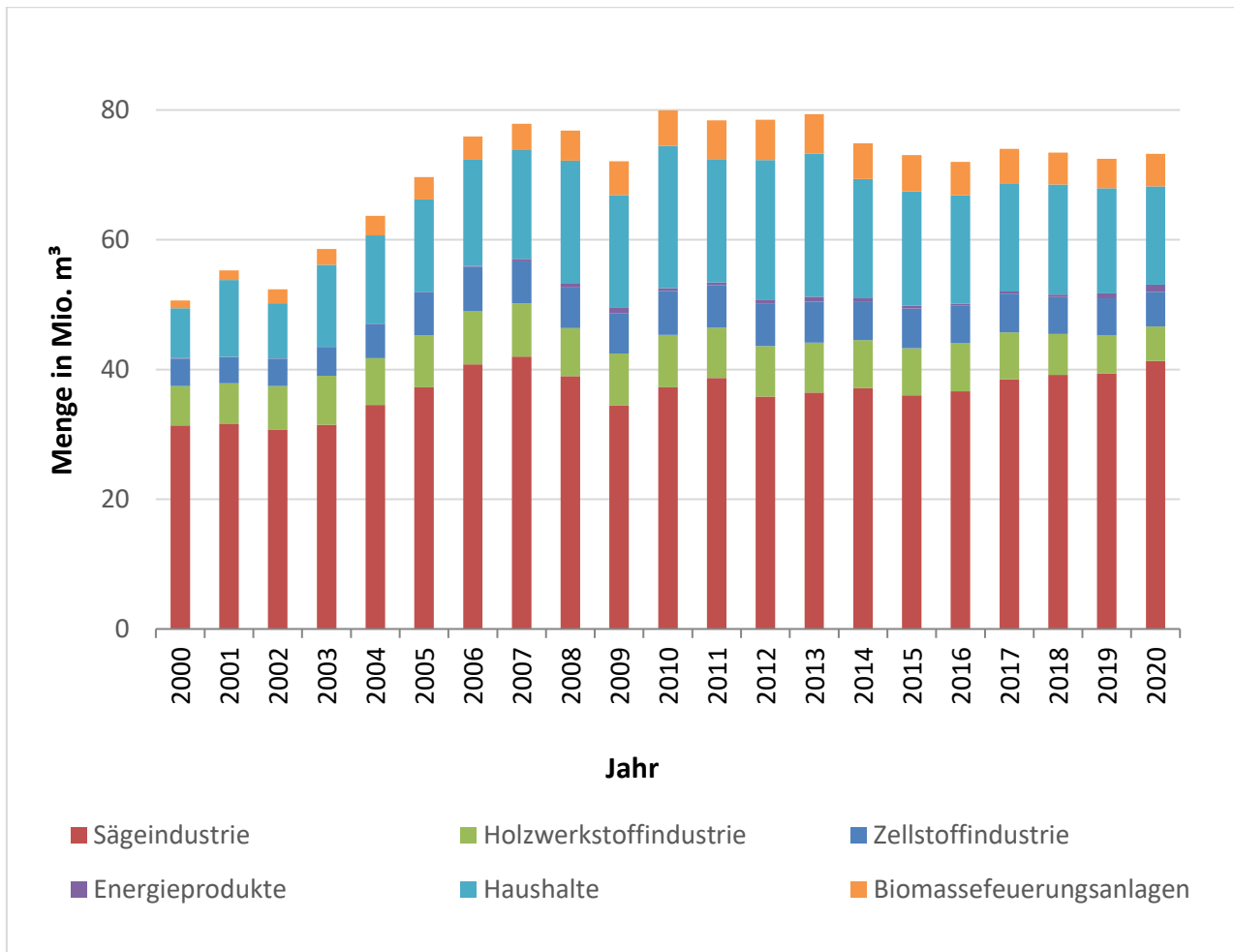
Neben dem inländischen stofflichen und energetischen Verbrauch von Rundholz, zählen auch Lagerbestandszunahmen und die Ausfuhr von Rundholz zur Verwendung (Abbildung 10). Der Export von Rundholz war seit dem Jahr 2000 relativ stabil und lag im Mittel bei knapp 5 Mio. m³. In den Jahren 2019 und 2020 hat er deutlich auf 9 bzw. 13 Mio. m³ zugenommen.

Wie in Kapitel 3.1 erläutert, werden die Ein- und Ausfuhren durch Angebot und Nachfrage bestimmt. Seit 2018 haben die enormen Schadholzmengen zur Erhöhung des Angebots und sinkenden Preisen beigetragen. In der Folge wurde Rund- und Schnittholz, auch aufgrund gestiegener Auslandsnachfrage verstärkt exportiert. Dies spiegelt sich auch in den Lagerbeständen wider: Sie stiegen in Jahren mit großen Kalamitäten (2007 und 2018), sanken aber in Zeiten mit starker Nachfrage, wie z. B. der gestiegenen Auslandsnachfrage in den Jahren 2019 und 2020 (vgl. Abbildung 10).

Abbildung 10: Verwendung von Rundholz in Mio. m³

Quelle: Eigene Darstellung basierend auf TI-WF (2023b)

Abbildung 11 zeigt die Verwendung von Rundholz in den verschiedenen Branchen und Sektoren. Die Holzverwendung in der Säge- und der Zellstoffindustrie, sowie in der energetischen Verwendung hat im betrachteten Zeitraum zugenommen. In der Holzwerkstoffindustrie ist ein Rückgang zu beobachten. Die Sägeindustrie verwendet den größten Anteil des Rundholzes. In der deutschsprachigen Literatur wird zur Beschreibung des Rundholzes u. a. in Stammholz und in Industrieholz unterschieden. Die Sägeindustrie verwendet Stammholz zur Herstellung von Schnittholz v. a. für die weitere Verwendung im Baugewerbe, in der Verpackungsindustrie und in der Möbelindustrie (Bösch et al. 2015). Im untersuchten Zeitraum von 2000 bis 2020 hat die Sägeindustrie ihren Stammholzverbrauch um 32 % von 31,4 auf 41,3 Mio. m³ gesteigert (TI-WF 2023b). Traditionell verwendet die Sägeindustrie hauptsächlich Nadelholz und eine geringe Menge an Laubholz. Dieser Trend erklärt sich durch die technischen Vorteile des Nadelholzes und hat sich in den letzten Jahren noch verstärkt: Der Anteil des Nadelholzes an der gesamten Verwendung von Rundholz in dieser Branche stieg von 86 % im Jahr 2000 auf 95 % im Jahr 2020, während der Anteil des Laubholzes entsprechend zurückging (TI-WF 2023b).

Abbildung 11: Stoffliche Rundholzverwendung nach Sektoren in Mio. m³

Quelle: Eigene Darstellung basierend auf TI-WF (2023)

Zweitgrößter stofflicher Verbraucher von Rundholz, in diesem Fall von Industrielholz, ist die Holzwerkstoffindustrie. Deren Rundholzverbrauch sank um 15 %, von 6,1 Mio. m³ im Jahr 2000 auf 5,3 Mio. m³ im Jahr 2020 (TI-WF 2023b). Wie in der Sägeindustrie wird mehr Nadel- als Laubholz verwendet; der Nadelholzanteil lag 2020 bei 87 %.

Die Zellstoffindustrie setzt ähnliche Mengen an Rundholz ein, wie die Holzwerkstoffindustrie; ebenfalls zu fast 90 % Nadelholz. Allerdings ist die Holzverwendung hier im betrachteten Zeitraum um ca. 27 % angestiegen und betrug im Jahr 2020 5,4 Mio. m³ (TI-WF 2023b).

Zur Herstellung von Energieholzprodukten wie Pellets, Briketts und Holzkohle wurden in 2020 1,1 Mio. m³ Rundholz (Industrielholz) verwendet. Hier ist seit dem Jahr 2000 (0,7 Mio. m³) ebenfalls eine Zunahme zu beobachten (TI-WF 2023b). Zur Herstellung von Pellets werden je nach Verfügbarkeit zu ca. 90 % Sägenebenprodukte und zu ca. 10 % nicht sägefähiges Rundholz eingesetzt (DEPI 2022). Der Produktionsanstieg wird mit einer gestiegenen Nachfrage, Produktionsausweitungen und der erhöhten Menge an trockenheitsbedingtem Schadholz im Markt erklärt (ee news 22.06.2022; DEPV 2019).

Die energetische Verwendung von Rundholz erfolgt in Biomassefeuerungsanlagen und in privaten Haushalten. Die energetische Holzverwendung in Privathaushalten stieg von 7,7 Mio. m³ in 2000 auf 15,2 Mio. m³ in 2020. Es wird Nadel- und Laubholz eingesetzt; der Anteil von Laubholz liegt bei ca. 60 % (vgl. TI-WF 2023b). Im Jahr 2014 lebten von der Gesamtheit der Haushalte, die mit Holz heizen, 92,6 % in Ein- und Zweifamilienhäusern. 41 % von

diesen berichteten, die Eigentümer des Hauses zu sein (Döring et al. 2016). Dieses Verhältnis hat sich im Jahr 2018 leicht verändert: Von der Gesamtheit der Haushalte, die mit Holz heizen, entfallen 85,8 % auf Haushalte in Ein- und Zweifamilienhäusern und 14,2 % auf Haushalte in Mehrfamilienhäusern (Döring et al. 2020b). Tandetzki und Weimar (2022) argumentieren, dass durch Coronapandemie und Krieg in der Ukraine die Verunsicherung von Bevölkerung und Unternehmen über die Versorgung mit Gas und Öl zunimmt. Holz war in dieser Zeit ein stark nachgefragter Ersatzbrennstoff geworden. Insbesondere Laubholz wird aufgrund seines höheren Energiegehalts zum Heizen in Privathaushalten nachgefragt werden (Tandetzki und Weimar 2022).

Der Einsatz von Holz in Biomassefeuerungsanlagen nahm zunächst ebenfalls von 1,2 Mio. m³ im Jahr 2000 auf 6,25 Mio. m³ in 2012 zu; seitdem ist ein Rückgang der eingesetzten Mengen zu verzeichnen. In 2020 lag die Verwendung bei 5 Mio. m³. In Biomassefeuerungsanlagen wird Derbholz und Nichtderbholz eingesetzt. Den Daten des RMH ist zu entnehmen, dass im Jahr 2019 1,70 Mio. m³ Rohholz (Derbholz) und 2,87 Mio. m³ Waldrestholz (überwiegend Nichtderbholz) in Biomassefeuerungsanlagen eingesetzt wurde (Döring et al. 2021b, 2021c). Der Anteil von Nadel- und Laubholz ist sowohl bei kleinen Anlagen unter 1 MW als auch bei großen Anlagen über 1 MW gleich hoch (jeweils ca. 50 %).

Waldrestholz, Landschaftspflegeholz und Rinde zählen ebenfalls zu den Sortimenten der Primärquellen. Im RMH wird die energetische Verwendung von Waldrestholz für das Jahr 2019 auf 5,2 Mio. m³ geschätzt (Döring et al. 2021c, 2021b). Weiterhin wurden in 2019 2,4 Mio. m³ Landschaftspflegeholz und 0,9 Mio. m³ Rinde energetisch genutzt (Döring et al. 2021c; Döring et al. 2020b; Döring et al. 2021b). Zusätzlich wurden 2020 0,2 Mio. m³ Rinde in der Holzwerkstoffindustrie stofflich genutzt (Döring et al. 2021a). In der Zellstoffindustrie wurden zwischen 2015 und 2020 0,8 und 1,1 Mio. m³ Rinde zur Energieerzeugung eingesetzt (VDP 2016- 2021).

3.4 Verwendung von Holz aus Sekundärquellen

Neben Holz aus primären Aufkommensquellen nutzen die Holzverarbeitenden Industrien regelmäßig auch sekundäre Aufkommensquellen (vgl. Kapitel 2.2). Diese Mengen werden jedoch nicht einheitlich in amtlichen Statistiken erfasst. Verschiedene nicht-amtliche Datenquellen geben Auskunft über das Aufkommen von Altholz und Altpapier, Sägenebenprodukten und Ablauge. Die Informationen liegen meist verwendungsseitig vor, d. h. aus der dokumentierten Verwendung wird auf das Aufkommen geschlossen. Sonstiges Industrierestholz ist sehr unzureichend erfasst, da auch mögliche Verwendungen nicht zuverlässig und umfassend beschrieben werden können. Holz aus sekundären Aufkommensquellen wird in der Energieerzeugung, zur Herstellung von Energieholzprodukten (v. a. Pellets) sowie in der Holzwerkstoff- und Zellstoffindustrie verwendet.

Im Jahr 2015 wurden 6,2 Mio. m³ Sägenebenprodukte (SNP) in der Holzwerkstoffindustrie und ca. 1,2 Mio. m² in Biomassefeuerungsanlagen (Döring et al. 2017b, 2017a) verwendet. In Privathaushalten werden als Brennstoffe ebenfalls „Schnittholzreste“ genutzt (Döring et al. 2016); diese sind aber Reste, die bei der Verarbeitung von Wald- und Gartenscheitholz im privaten Bereich entstehen und dürfen nicht dem Aufkommen an Sägerestholz aus der Sägeindustrie gegenübergestellt werden. Die Zellstoffindustrie gab an, in ihren Produktionsprozessen im Zeitraum 2016 – 2021 jährlich ca. 3,8 Mio. m³ SNP zu verwenden (VDP 2016- 2021). Darüber hinaus sind Pellethersteller weitere Nutzer von SNP, da 90 % der Pelletproduktion auf diesem Holzsortiment basieren (DEPI 2022).

Die Verwendung von sonstigem Industrierestholz wird über das RMH erfasst. Es findet vor allem in Biomassefeuerungsanlagen und in der Holzwerkstoffindustrie Verwendung. In 2016 und 2019 wurden 1,9 bzw. 1,5 Mio. m³ sonstiges IRH in Biomassefeuerungsanlagen eingesetzt. Im Jahr 2015 wurde eine geringe Menge, ca. 1,9 Mio. m³, in Biomassefeuerungsanlagen und 0,3 Mio. m³ in der Holzwerkstoffindustrie genutzt (Döring et al. 2017b; Döring et al. 2018c).

Die Ablauge wurde in der Zellstoffindustrie energetisch genutzt (VDP 2016- 2021). Es gibt Bestrebungen sie stofflich für die Gewinnung von Basis- bzw. Plattformchemikalien zu nutzen. Dieser Nutzungspfad ist nach

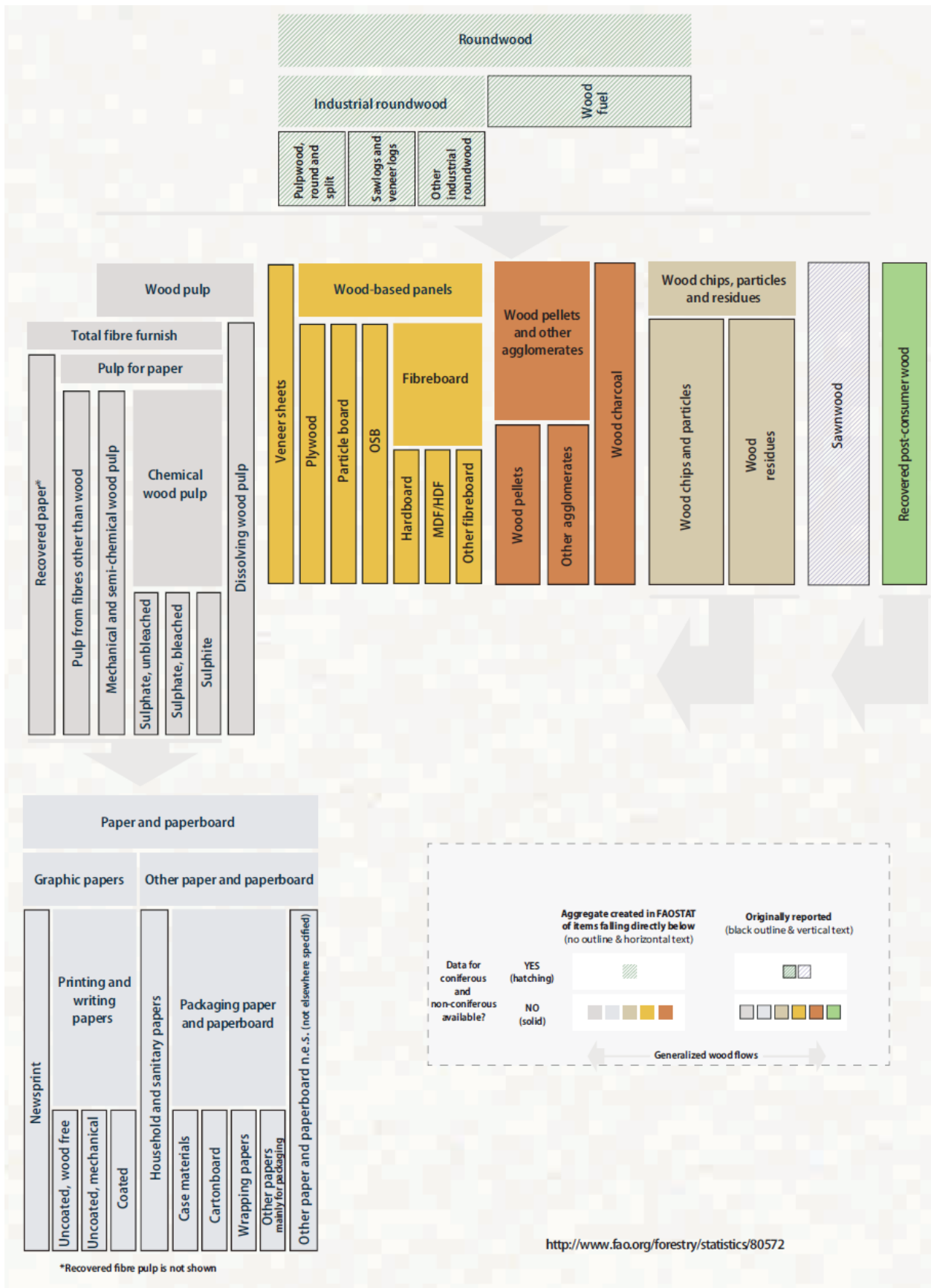
Mantau (2012b) mengenmäßig bisher nicht relevant. Unter der Maßgabe, dass Ablauge ausschließlich energetisch genutzt wird (Mantau 2018), kann die Verwendung dem Aufkommen gleichgesetzt werden (vgl. Abbildung 9).

Aus den Daten des RMH geht hervor, dass Altholz sowohl energetisch als auch stofflich genutzt wird. Die stoffliche Verwendung erfolgte in der Holzwerkstoffindustrie und lag bei 1,8 bis knapp 2,5 Mio. m³ (Döring et al. 2021a; Döring et al. 2017b). Eine ähnliche Menge Altholz wird exportiert (Döring und Mantau 2021). Die energetische Verwendung in Privathaushalten lag seit 2005 im Bereich von knapp 1,3 bis ca. 2 Mio. m³ (Mantau und Sörgel 2006; Mantau 2012a; Hick und Mantau 2008; Döring et al. 2020b, 2016). Auch wenn im RMH die Daten für alle energetischen Verwender nicht für das gleiche Jahr erhoben werden, kann man in der Gesamtschau der Daten schließen, dass ca. 13 – 17 % des Altholzes stofflich genutzt werden. Insgesamt werden deutlich über 80 % energetisch genutzt, wobei davon wiederum ca. 80 % in Biomassefeuerungsanlagen mit einer Feuerungswärmeleistung von > 1 MW genutzt werden (Döring et al. 2018c, 2021c; Weimar et al. 2012; Weimar und Mantau 2006; Döring et al. 2018b; Döring et al. 2021b).

4 Aufkommen und Verwendung holzartiger Biomasse in der EU-27 (2000 – 2020)

Global werden Daten zu Aufkommen und Produktion von Holz und Holzprodukten durch den Joint Forest Sector Questionnaire (JFSQ) erhoben. Der JFSQ ist eine Initiative der International Tropical Timber Organization (ITTO), der United Nations Economic Commission for Europe (UNECE), der Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) und dem statistischen Amt der Europäischen Union (Eurostat). Jede Organisation sammelt die Daten für ihre jeweiligen Mitgliedsländer (Eurostat 2023). Die Daten für Deutschland werden im Thünen-Institut für Waldwirtschaft zusammengestellt und an Eurostat und UNECE übermittelt, wo jeweils Datenprüfungen stattfinden, bevor die Daten dann über FAOSTAT veröffentlicht werden (McCusker 2021). Im Detail werden Holzentnahme, Produktion (vgl. Abbildung 12), Importe und Exporte von Holzprodukten erhoben (UNECE/FAO et al. 2020; FAOSTAT 2023).

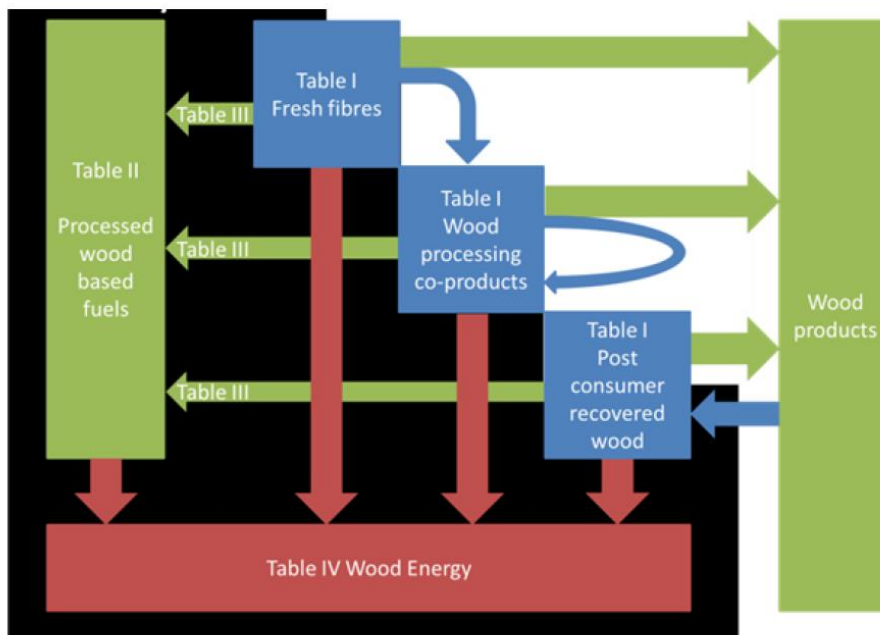
Abbildung 12: FAOSTAT Holzprodukttestatistik – Datenstruktur



Quelle: FAOSTAT (2023)

Informationen zum allgemeinen Holzrohstoffaufkommen und der energetischen Verwendung von Holzrohstoffen werden alle zwei Jahre über den Joint Wood Energy Enquiry (JWEE) erhoben. Es handelt sich um eine gemeinsame Initiative der UNECE/FAO Forestry and Timber Section, der FAO und nationaler Expert*innen (UNECE/FAO 2023b). Im Kern besteht der Fragebogen aus vier Tabellen, in denen Informationen zur Produktion und zum Handel von Holzsortimenten, die Umwandlung von Holzsortimenten in Holzenergieprodukte und die energetische Verwendung nach Sektoren abgefragt werden (vgl. Abbildung 13).

Abbildung 13: Inhaltlicher Rahmen des JWEE



Quelle: UNECE/FAO (2023b)

Im Projekt EUWood wurde die Verwendung von holzartiger Biomasse auf europäischer Ebene untersucht und eine Methode zur Bilanzierung von Aufkommen und Verwendung entwickelt (Mantau et al. 2010a). Auf Basis der Projektergebnisse von Mantau et al. (2010a) wurden von Cazzaniga et al. (2021) Holzrohstoffbilanzen (Wood Resource Balances, WRB) für die Jahre 2009 bis 2017 für die EU-28 erstellt; die wichtigsten Datenquellen sind JFSQ und JWEE und im Jahr 2021 erfolgte eine Aktualisierung der Berechnungen für EU-27 (Cazzaniga et al. 2021). Die Strukturierung der Aufkommensquellen in der WRB (Tabelle 4) unterscheidet sich von der Holzrohstoffbilanz für Deutschland (Tabelle 1): Holz von außerhalb des Waldes (z. B. aus Landschaftspflege) wird nicht gesondert aufgeführt, sondern als primäre Ressource nur das gesamte Rundholz beziffert, welches in Anlehnung an die Definition der FAO auch von außerhalb des Waldes stammen kann (Cazzaniga et al. 2021; FAOSTAT 2016). Weiterhin wird in der WRB für die EU-27 der Nettohandel als Aufkommensquelle mit aufgenommen. Für eine bessere Übersichtlichkeit wird dieser in Tabelle 4 nicht gezeigt.

Tabelle 4: Bilanzierung Aufkommen und Verwendung nach Wood Resource Balance

Quellen (sources)		Verwendungen (uses)	
primär	Rundholz (Stamm- und Industrielholz)	Sägeindustrie Holzwerkstoffe*	Materialien
	Energieholz Rinde		
sekundär	Sägenebenprodukte	Pelletherstellung	Energie** *
	Sonstiges Industrierestholz	„direct wood“	
	Energieholzprodukte (Pellets, Briketts) Ablauge	„indirect wood“ „unknown wood“****	
	Altholz		
	Ggf. unbekannte Quellen		
	Gesamtaufkommen	Gesamtverwendungen	

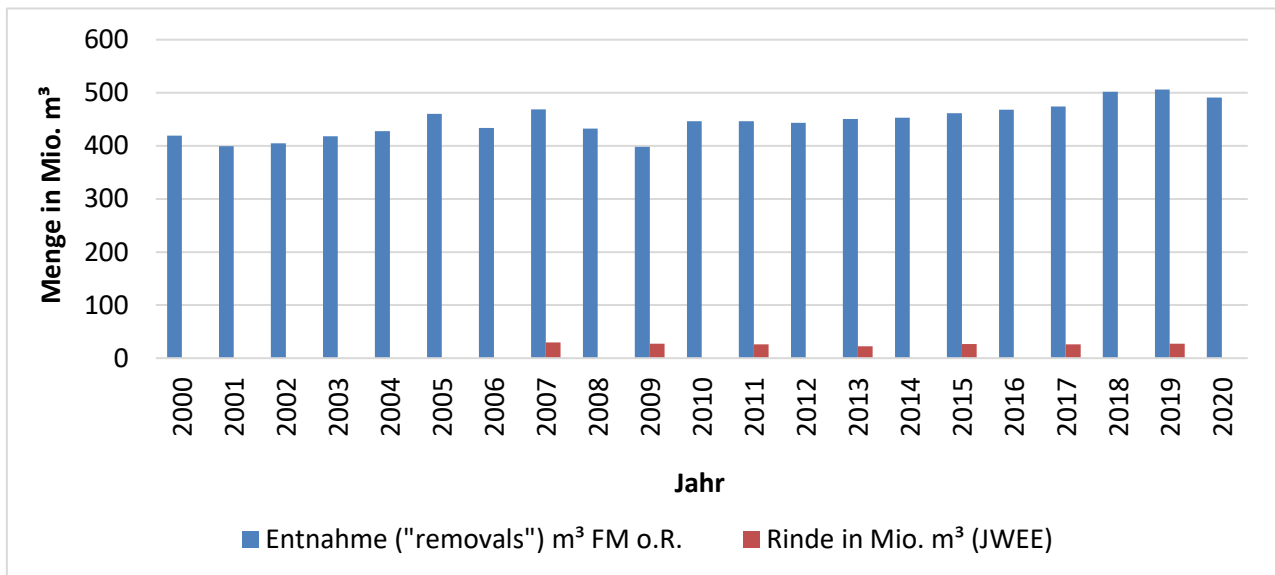
*differenziert in Furniere, Sperrholz-, Span- und Faserplatten
 ** differenziert in Holzstoff, Zell- und Halbzellstoff, Chemiezellstoff
 ***Wärme- und Stromerzeugung
 **** englische Bezeichnungen siehe Kap. 4.3

Quelle: Eigene Darstellung basierend auf Cazzaniga et al. (2021)

4.1 Holzaufkommen aus Primärquellen

Auch auf EU-Ebene zählen Holzentnahme und andere nicht industriell verarbeitete Holzsortimente wie Landschaftspflegeholz, Waldrestholz und Rinde zu den Primärquellen holziger Biomasse. Im vorliegenden Working Paper werden Importe nicht betrachtet, da der Fokus auf den EU-Ländern liegt.

Abbildung 14: Aufkommen aus Primärquellen EU-27 in Mio. m³



Quellen: Eigene Darstellung basierend auf FAOSTAT (2022); JWEE (UNECE/FAO 2023b)

Das durchschnittliche Volumen der Holzentnahme in der EU-27 von 2000 bis 2020 beträgt 445,8 Mio. m³. Im Vergleich zum Jahr 2000 ist das Gesamtvolumen der Rohholzentnahme bis 2020 um 17 % gestiegen (von 419,5 Mio. m³ auf 491,1 Mio. m³) (FAOSTAT 2022). Die in Abbildung 14 gezeigten Mengen schließen Holz aus dem Wald und von außerhalb des Waldes ein; ebenso ist Waldrestholz, Stamm- und Industrielholz, sowie Energieholz abgedeckt (FAOSTAT 2016). Wie in Deutschland nimmt auch in der Europäischen Union der Einfluss

von Schadereignissen zu, was zum Anstieg des Holzentnahme beigetragen hat. Von 2017 bis Ende 2018 betrug die Menge des in Folge von Stürmen geernteten Holzes etwa 57 Mio. m³, wovon Deutschland, Italien, Polen, Österreich und die Tschechische Republik am meisten betroffen waren (EOS, 2019). Trockenheit und Insektenbefall verursachten ca. 20 – 25 Mio. m³ Schadholz; am stärksten betroffen waren Deutschland und die Tschechische Republik. Insgesamt führten Kalamitäten zu mehr als 360 Mio. m³ Schadholz in Europa in den Jahren 2018-2020 (EOS, 2022).

Waldrestholz, Rinde und Landschaftspflegeholz werden aufkommensseitig nicht einheitlich und vergleichbar erfasst. Daten zum Aufkommen an Rinde können mit Einschränkungen dem JWEE entnommen werden. Im JWEE ist das Aufkommen an Rinde mit 3 % des rechnerischen Inlandsverbrauchs (gross domestic supply) an Stamm-, Industrie- und Energieholz voreingestellt. Die berichtenden Länder können diesen Wert beibehalten oder anpassen; das jeweilige Vorgehen wird aber nicht dokumentiert. Daher leitet sich das Rindenaufkommen im JWEE entweder aus dem voreingestellten Wert, oder aus den tatsächlich geschätzten Aufkommen oder aus der energetischen Verwendung von Rinde ab. Nach Daten des JWEE (vgl. Abbildung 14) lag das erfasste Rindenaufkommen in der EU-27 im Zeitraum 2007 bis 2019 zwischen knapp 23 und 30 Mio. m³ (vgl. Abbildung 14). Zur Einordnung der Höhe des Rindenaufkommens ist grundsätzlich zu beachten, dass allgemein von einem Rindenanteil von 8 bis 10 % ausgegangen wird (vgl. Kapitel 3.1.4). Die Voreinstellung im JWEE von 3 % ist also eher als niedrig einzustufen. Zusätzlich ergeben Auswertungen der JWEE-Daten (UNECE/FAO 2023a), dass keine Daten für Spanien und Malta enthalten sind. Daten zum Aufkommen von Rinde liegen weiterhin nicht für alle EU-27-Mitgliedsstaaten für alle Berichtsjahre vor; zwischen 15 und 20 Länder lieferten Daten zu Rinde. Somit kann insgesamt von einer Unterschätzung des Rindenaufkommens anhand der JWEE-Daten ausgegangen werden. Hirschler et al. (2022) schätzen das Potenzial an Rinde basierend auf der Rundholzentnahme und des rechnerischen Verbrauchs (d. h. Rundholzentnahme, einschließlich Import- und abzüglich Exportmengen) von Industrieholz und Brennholz. Die Schätzung mittels rechnerischen Verbrauchs wurden dabei als das realistischere Potenzial gesehen. In den Jahren 2015 bis 2020 lagen die Potenziale für die EU-27 jeweils zwischen 45 und 50 Mio. m³. Wie auch für Deutschland, kann für die EU-27 angenommen werden, dass ein Teil dieses Potenzials im Zuge von Holzernte und -transport im Wald verbleibt und dort eine wichtige ökologische Funktion erfüllt (siehe auch Kapitel 3.1.4 zum Rindenaufkommen in Deutschland).

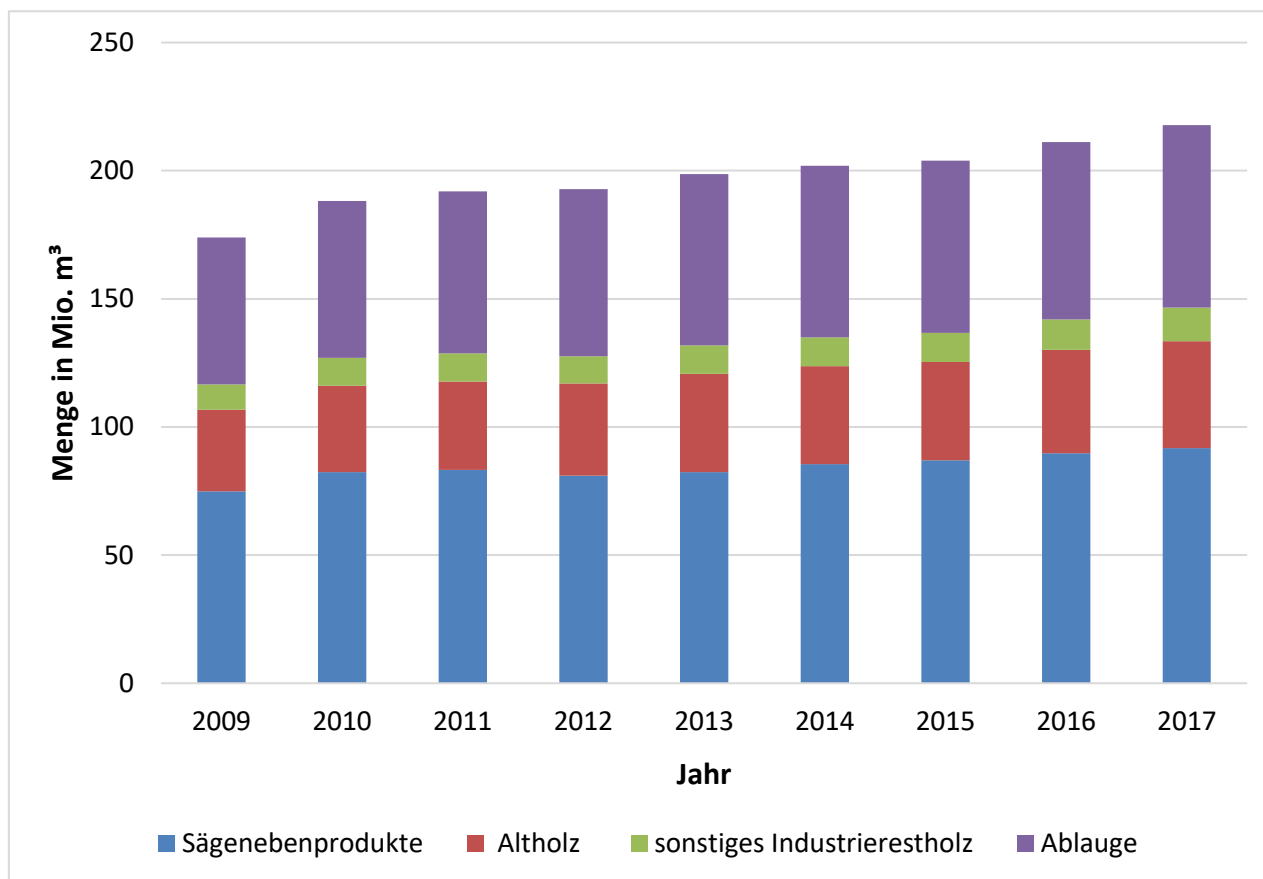
Zum Aufkommen an Landschaftspflegeholz entwickelten Mantau et al. (2010b) eine Schätzmethode, welche das Aufkommen an Landschaftspflegeholz u. a. vom Zuwachs im Wald und der nicht bewaldeten Fläche eines Landes ableitet. Im Ergebnis stehen in der Europäischen Union bis 2030 jährlich 86,7 Mio. m³ Landschaftspflegeholz potenziell zur Verfügung. Davon wurden zum Zeitpunkt der Studie 39 Mio. m³ bereits energetisch genutzt, 17,3 Mio. m³ wurden kompostiert und 30,3 Mio. m³ vermutlich nicht genutzt. Die Länder mit den größten dokumentierten Potenzialen an Landschaftspflegeholz sind Frankreich und Spanien, gefolgt von Polen, Deutschland und Schweden (Mantau et al. 2010a).

4.2 Aufkommen aus Sekundärquellen

Das Aufkommen holzartiger Biomasse aus sekundären Quellen stieg laut den Ergebnissen der WRB im Zeitraum 2009 bis 2017 stetig von 168 Mio. m³ auf 210 Mio. m³ (Abbildung 15) (Cazzaniga et al. 2021). Dieser Anstieg ist v. a. durch die gestiegenen Aufkommen an Sägenebenprodukten und Ablauge zu erklären. So ist das Aufkommen an Sägenebenprodukten von 74,9 Mio. m³ im Jahr 2009 auf 91,8 Mio. m³ im Jahr 2017 gestiegen (Abbildung 15). Dies hängt mit der Verwendung von Rundholz in der europäischen Sägewerksindustrie zusammen (vgl. Kapitel 3.3). Auch die Menge an sonstigem Industrierestholz ist von 9,8 Mio. m³ im Jahr 2009 auf 13 Mio. m³ im Jahr 2017 gestiegen. Das Aufkommen von Altholz stieg von 31,9 Mio. m³ im Jahr 2009 auf 41,7 Mio. m³ im Jahr 2017 an (Cazzaniga et al. 2021). In der FAOSTAT-Datenbank gibt es für Holzaufkommen aus Sekundärholzquellen die Kategorie "wood residues", die Sägenebenprodukte, sonstiges Industrierestholz und andere Holzabfälle umfasst. Diese Informationen wurden nicht verwendet, da die Daten bis zum Jahr 2016 aggregiert sind und sich nicht den

hier verwendeten Kategorien zuordnen lassen. Ab 2017 wird die neue Kategorie "recovered post-consumer wood" eingeführt, die Altholz getrennt von den anderen Restholzsortimenten ausweist.

Abbildung 15: Aufkommen aus Sekundärquellen EU-27 in Mio. m³



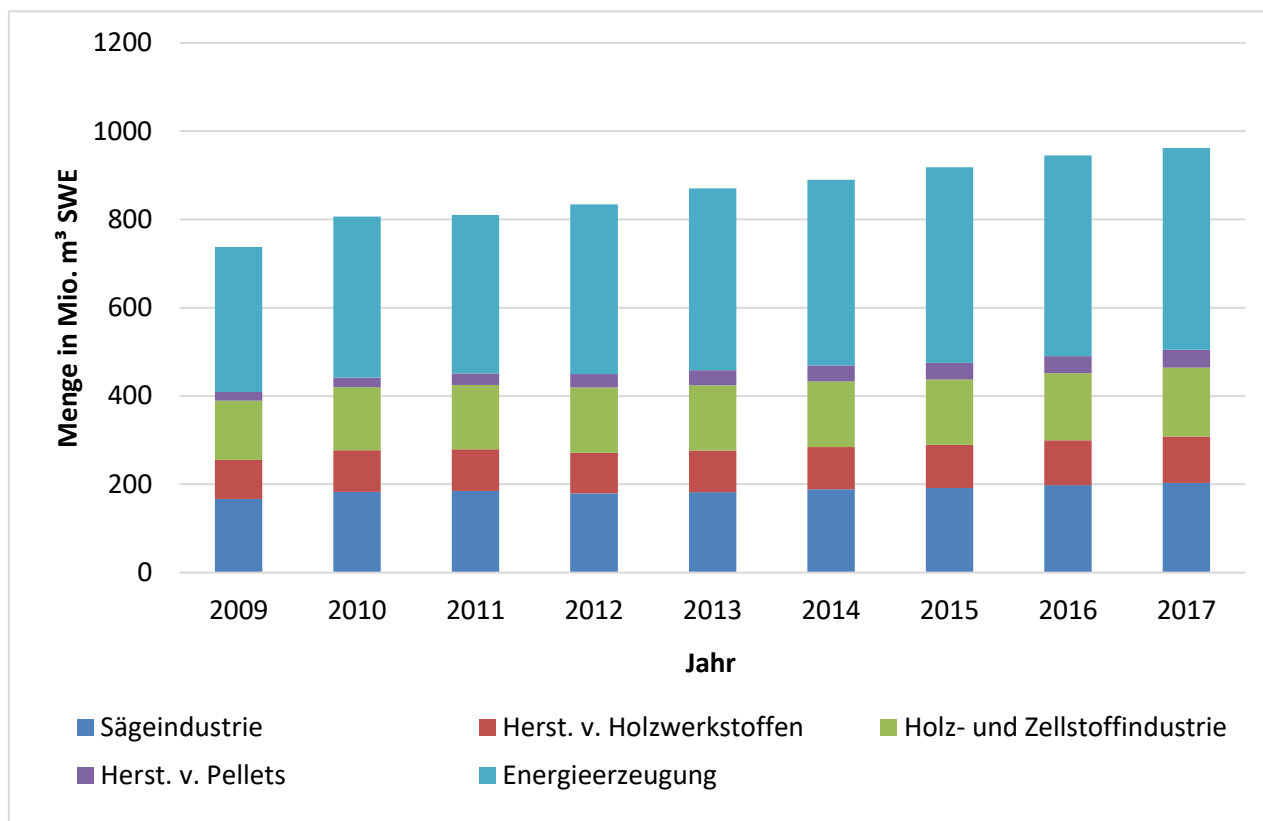
Quelle: Eigene Darstellung basierend auf Wood Resource Balance. (Cazzaniga et al. 2021)

Das Aufkommen an Ablauge nahm von 57,4 Mio. m³ im Jahr 2009 auf 71,3 Mio. m³ im Jahr 2017 zu (Cazzaniga et al. 2021). Cazzaniga et al. (2021) verwenden den englischen Begriff "black liquor". Die englische Bezeichnung „waste liquor“ entspricht allerdings der direkten Übersetzung von Ablauge (vgl. auch VDP 2021). Die WRB-Daten für Deutschland sind vergleichbar mit denen des VDP, in denen Angaben zur Ablauge als Summe von Schwarzlauge und Kochsäure gemacht werden. Somit kann angenommen werden, dass mit „black liquor“ ebenfalls Ablauge und nicht nur Schwarzlauge gemeint ist (vgl. Kapitel 3.2). Die Zellstoff- und Papierindustrie ist der sechstgrößte industrielle Energieverbraucher in Europa und nutzt die entstehende Ablauge für die Deckung ihres eigenen Energiebedarfes. Somit ist sie einer der größten Verbraucher von Biomasse (Granachera et al. 2019). Die chemische Zusammensetzung der Ablauge variiert je nach dem Verfahren zur Zellstoffgewinnung (Morya et al. 2022). Da meist die Gewinnung von Zellstoff im Vordergrund steht, ist die entstehende Ablauge in der Regel nicht geeignet um direkt in anderen Produktionsprozessen verwendet zu werden (Lauwaert et al. 2019; Unkelbach und Hirth 2022). Außerdem ist der aktuelle Markt für Produkte auf Ligninbasis begrenzt, mit den wenigen kommerziellen Beispielen wie Vanillin, das als chemisches Zwischenprodukt für die Herstellung einiger Medikamente oder als Geschmackszusatz verwendet wird (Lauwaert et al. 2019). Die wissenschaftliche Literatur legt nahe, dass das aus Ablauge gewonnene Lignin in der Zukunft eine Vielzahl hochwertiger Anwendungen ermöglichen könnte, wie z. B. Fein- und Spezialchemikalien, verschiedene Polymere oder Kohlenstofffasern (Unkelbach und Hirth 2022). Sollte Ablauge in Zukunft verstärkt stofflich genutzt werden, stünde dies im Konflikt mit der bisherigen energetischen Nutzung in der Zellstoff- und Papierindustrie.

4.3 Holzverwendung in der EU-27

Auf europäischer Ebene gibt es keine umfassenden und nach Sektoren differenzierten Untersuchungen wie im RMH für Deutschland, aus denen für die jeweiligen Verwendungen die unterschiedlichen Aufkommensquellen abgeleitet und bilanziert werden können. Abbildung 16 zeigt Daten aus den WRB 2009 – 2017 von Cazzaniga et al. (2021) für die Verwendung von Holz in den verschiedenen Sektoren. Für die unterschiedlichen Verwendungen wird nicht zwischen Holz aus primären und sekundären Aufkommensquellen unterschieden. In der EU-28 ist demnach die Holzverwendung insgesamt von knapp 738 Mio. m³ in 2009 auf 962 Mio. m³ angestiegen.

Abbildung 16: Verwendung von Holz nach Sektoren in Mio. m³ swe* EU-28



Quelle: Eigene Darstellung basierend auf Cazzaniga et al. (2021); *Holz aus primären und sekundären Aufkommensquellen in solid wood equivalents

Laut den WRB-Daten wird auf EU-Ebene knapp die Hälfte des verwendeten Holzes für die Energieerzeugung genutzt. Die Menge energetisch genutzten Holzes stieg von 2009 bis 2017 von knapp 330 auf 457 Mio. m³; auch der prozentuale Anteil an der Gesamtverwendung stieg leicht von 45 auf 48 % (vgl. Abbildung 16). Das energetisch genutzte Holz wird in der WRB nach der Herkunft in „direct“, „indirekt“ und „unknown wood“ differenziert:

„**direct wood**“, d. h. alle Holzfasern, die ohne weitere Behandlung oder Umwandlung in die Energieerzeugung eingehen. Es umfasst die Entnahme aus Wäldern und außerhalb von Wäldern und kann demnach Rundholz, Waldrestholz und Landschaftspflegeholz sowie die anhaftende Rinde beinhalten. Somit handelt es sich hier um energetische Verwendung aus primären Aufkommensquellen. Die energetische Verwendung betrug 137 Mio. m³ im Jahr 2009 und stieg auf 195 Mio. m³ im Jahr 2017.

„**indirect wood**“, zu dem verarbeitete und unverarbeitete Reststoffe aus der ersten Verarbeitungsstufe wie Sägebrennprodukte, Ablauge usw. sowie Altholz aus dem Verbrauch gehören. Somit beschreibt das indirekte

Holz energetisch genutztes Holz aus sekundären Aufkommensquellen. Die Menge stieg von 149 Mio. m³ im Jahr 2009 auf 226 Mio. m³ im Jahr 2017 deutlich an.

„**unknown wood**“, d. h. nicht identifizierte Aufkommen, die sich aus dem Bilanzausgleich ergeben. Ihre Menge beträgt zwischen 41 Mio. m³ im Jahr 2009 und 34 Mio. m³ im Jahr 2017 (Cazzaniga et al. 2021).

Der zweitgrößte Verbraucher von holzartiger Biomasse auf EU-Ebene ist die **Sägeindustrie**. Laut WRB betrug die Verwendung von Rundholz zwischen 2009 und 2017 166 bis 203 Mio. m³, bei zunehmendem Trend hinsichtlich der absoluten Mengen. Der Anteil an der Gesamtverwendung lag in den Jahren 2009 bis 2011 bei 23 % und ging dann leicht auf 21 % zurück. Die stoffliche Verwendung weiterer Mengen erfolgt in der Holz- und Zellstoffproduktion (zu 16 – 18 %), sowie zur Herstellung von Holzwerkstoffen (11 – 12 %) und Pellets (3 – 4 %) (vgl. Abbildung 16). Konkret wurden in der **Zellstoffindustrie** zwischen 134 Mio. m³ im Jahr 2009 und 155 Mio. m³ im Jahr 2017 eingesetzt. In der **Holzwerkstoffindustrie** wurden zwischen 88 Mio. m³ Holzbiomasse im Jahr 2009 und 105 Mio. m³ im Jahr 2017 eingesetzt (Cazzaniga et al. 2021). Die zur Herstellung von Pellets eingesetzte Menge an Holzbiomasse verdoppelte sich von 19 Mio. m³ in 2009 auf 40,3 Mio. m³.

5 Aufkommen und Verwendung von Holz 2020 – 2040

Im Ergebnis des Auswahlprozesses der systematischen Literaturanalyse (Abbildung 3) zur Beantwortung der Frage, wie sich Aufkommen und Verwendung von holzigen Rohstoffen in Deutschland und der EU-27 bis 2040 entwickeln und wie mögliche zukünftige Nutzungsstrukturen aussehen können, wurden 22 Studien ausgewählt. Zusätzlich wurden 10 Studien entweder durch Referenzen oder durch Empfehlungen von Projektpartnern gefunden. Nicht alle dieser Studien beinhalten quantitative Daten zu Aufkommen oder Verwendung von holzbasierten Ressourcen. Von allen Studien präsentieren 12 quantitative Daten für die Europäische Union oder die europäische Region; 8 Studien beinhalten ausschließlich quantitative Daten für Deutschland und in fünf der Studien mit Bezug auf Europa sind Daten für Deutschland ableitbar (Tabelle 5).

5.1 Deutschland

Im Ergebnis der systematischen Literaturanalyse wurden 13 Studien identifiziert, die quantitative Angaben zu zukünftigen Aufkommen und Verwendung in Deutschland machen (Tabelle 5). Die Studien betrachten jeweils entweder Holzaufkommen, Holzverwendung oder Holzreste/Altholz in Mio. m³, Mio. t oder PJ (Tabelle 5). Um Mengen in verschiedenen Maßeinheiten zu vergleichen, wurden die Umrechnungsfaktoren aus den Studien des RMH verwendet (vgl. Tabelle 3).

Tabelle 5: In die Auswertung einbezogene Studien zu Aufkommen und Verwendung von Holz (zukünftig)

Autor*innen, Jahr	Titel/Thema	Räumlicher Bezug	Holz-aufkommen	Holz-verwendung	Holzreste/ Altholz
Böttcher et al., 2018	Waldvision Deutschland	DE	m ³	k. A.	k. A.
Di Gruttola & Borello, 2021	Verfügbarkeit sekundärer Biomasse	EU-28 Mitgliedsstaaten			t _{atro}
Glasenapp et al., 2017	Szenarien Holzverwendung WEHAM	DE	k. A.	m ³	k. A.
Eppler et al., 2021	Nachhaltige Biomassepotenziale Bioökonomie	DE	t _{atro}	t _{atro}	t _{atro}
Jonsson et al., 2018	Outlook European forest-base sector	EU-26; einzelne Mitgliedsstaaten	m ³ (o.B.)	k. A.	k. A.
Kemmler et al., 2021	Energiewirtschaftliche Projektionen und Folgeabschätzungen	DE	k. A.	k. A.	PJ
Mantau et al., 2010	EUWood	EU-27; einzelne Mitgliedsstaaten	m ³	m ³	m ³
Oehmichen et al., 2018	Alternative WEHAM-Szenarien	DE	m ³	k. A.	k. A.
Rock et al., 2016	WEHAM Basis-szenario	DE	m ³	k. A.	k. A.
Schier & Weimar, 2018	Holzmarktmodellierung	DE	m ³	m ³	k. A.
Szichta et al., 2022	Wood cascading	DE	k. A.	k. A.	t
Piotrowski et al., 2015	Sustainable biomass supply and demand	EU-27; DE	m ³	m ³	k. A.
UNECE/FAO, 2021	Forest Sector Outlook Study	EU-27	m ³	m ³	k. A.

Quelle: Eigene Darstellung

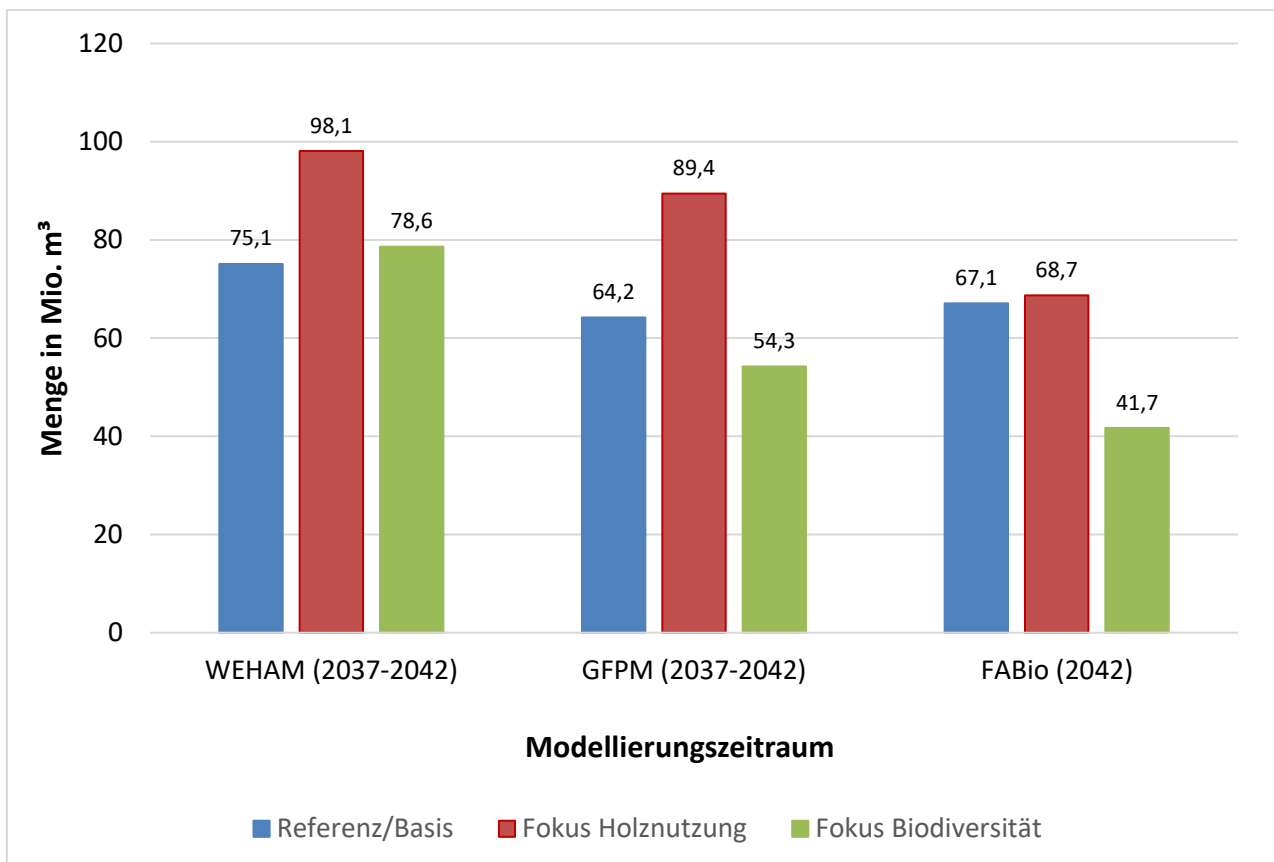
5.1.1 Zukünftiges Holzaufkommen aus Primärquellen

Das zukünftige Holzaufkommen in Deutschland ist Gegenstand von neun der identifizierten Studien. Die Verwendung von Holz wird in sechs Studien betrachtet. Informationen zu Holzresten bzw. Altholz sind in fünf Studien zu finden. Mantau et al. (2010a) und Eppler et al. (2021) und gehen auf alle drei Aspekte ein (vgl. Tabelle 5). Eppler et al. (2021) führen keine eigenen Modellierungen oder Berechnungen durch, sondern geben einen Literaturüberblick. Da die enthaltenen Daten teilweise unzureichend anhand Referenzen belegt sind, wird die Studie aus der weiteren Analyse ausgeschlossen.

Für den Vergleich in Abbildung 17 wurden nur jene Studien gewählt, welche die Aufkommenseite explizit für Deutschland und einen vergleichbaren Zeitraum (d. h. zwischen 2020 und 2040) modellierten. Ausgeschlossen

wurden Studien, die einen anderen Zeitraum modellierten (UNECE/FAO 2021; Jonsson et al. 2018), unklare Quellenangaben machten (Piotrowski et al. 2015; Eppler et al. 2021) oder eher Potenzialabschätzungen für Europa und einzelne Mitgliedsstaaten machten (Mantau et al. 2010a). Die Ergebnisse szenarienbasierter Modellierungen sind nur im Kontext der zugrundeliegenden Szenarien interpretierbar. Die Analyse von Szenarien zielt darauf ab, alternative Versionen möglicher Zukünfte zu untersuchen. Szenarien sind daher nicht als Prognosen zu interpretieren, sondern beschreiben Zukünfte, wie sie unter bestimmten Rahmenbedingungen sein könnten („what if“; vgl. Jonsson et al. 2018). Abbildung 17 zeigt die Bandbreite der vor diesem Hintergrund quantifizierten möglichen Holzaufkommen in der Zukunft. Die Ergebnisse zeigen jeweils das modellierte Aufkommen von Derbholz in Erntefestmetern ohne Rinde, welches stofflich und energetisch verwendet werden kann.

Abbildung 17: Zukünftiges Holzaufkommen Derbholz (szenarienbasierte Modellierung)



Quelle: Eigene Darstellung basierend auf Rock et al. (2016a), Oehmichen et al. (2018), Schier und Weimar (2018) und Böttcher et al. (2018)

In den Szenarien mit Fokus auf Biodiversität wird angenommen, dass in Zukunft weniger Holz genutzt wird, da im Wald verstärkt Naturschutzmaßnahmen, z. B. zur Erhaltung und Wiederherstellung von Biodiversität, umgesetzt werden. Weiterhin wird der Kohlenstoffspeicherung im Wald im Hinblick auf Klimaschutz eine höhere Bedeutung zugemessen. In diesen Szenarien liegt das zukünftige Holzaufkommen für die Modellierungszeitraum 2037-2042 zwischen knapp 42 Mio. m³ und 78,6 Mio. m³ pro Jahr. In den Referenz- oder Basisszenarien liegt das zukünftige Holzaufkommen zwischen 64,2 Mio. m³ und 75,1 Mio. m³ pro Jahr, da angenommen wird, dass sich die aktuelle Waldbewirtschaftung in Zukunft nicht oder nur wenig ändert (auch BAU - Business as Usual). Die Szenarien mit Fokus auf Holznutzung gehen davon aus, dass zukünftig holzartige Biomasse aufgrund wirtschaftlicher und politischer Interessen verstärkt mobilisiert wird. Diese erhöhte Mobilisierung wird über eine

geringere Umtriebszeit und einen erhöhten Anteil von Nadelbaumarten erzielt. Die auf diesen Annahmen basierenden Modellierungen des Holzaufkommens liegen zwischen 68,7 Mio. m³ und 98,1 Mio. m³.

Das bekannteste Szenario für die zukünftige Waldbewirtschaftung in Deutschland ist das WEHAM-Basisszenario (Rock et al. 2016a). WEHAM ist ein empirisches abstandsunabhängiges Einzelbaumwuchsmodell. Es bildet Wachstum und Behandlung von Wald und die Sortierung des anfallenden Rohholzes über einen Zeitraum von 40 Jahren ab, d.h. es liegen Modellierungsergebnisse bis zum Jahr 2052 vor. Nach Abschluss der Bundeswaldinventur (BWI) wurde von Fachleuten aus Bundes- und Landesinstitutionen das WEHAM-Basisszenario entwickelt (Rock et al. 2016a). Das Szenario beschreibt die erwartete wahrscheinlichste künftige Bewirtschaftung des Waldes in Deutschland, in der Wachstum der Bäume, Waldbehandlung in den verschiedenen Bestandessphasen und die Sortierung des entnommenen Holzes in ihrer bisherigen Form weitergeschrieben werden. Das WEHAM-Basisszenario bildet die zu Beginn der Modellierung übliche waldbauliche Praxis aufgrund der Erfahrung voriger Jahre und den Erwartungen an die kommenden Jahre nach (Rock et al. 2016a). Umtriebszeit der Bäume sowie der Anteil von Laub- und Nadelholz bleiben seit 2012 konstant. Außerdem wird das Totholz nicht in die Berechnung des zukünftigen Aufkommens einbezogen. WEHAM arbeitet mit sogenannten rechnerischen Reinbeständen, die aus den an einem BWI-Aufnahmepunkt erhobenen Daten hergeleitet werden (Rock et al. 2016a). Mögliche Einflüsse von Witterung und Klima oder Störungen (Sturm, Insekten, Waldbrand) werden nicht abgebildet. Weiterhin berücksichtigt es keine Einzelinteressen von Waldeigentümern, Sonderstandorte oder individuelles Marktverhalten. Es ist kein Prognoseinstrument. Unter diesen Annahmen beträgt das potenzielle Holzaufkommen im Jahr 2052 78,2 Mio. m³.

Die Ausgangslage für die Modellierung bildet der Waldzustand, wie er sich aus den Daten der dritten Bundeswaldinventur (BWI³) zum Jahr 2012 darstellt. Die BWI ist eine terrestrische Stichprobeninventur, die alle 10 Jahre erfolgt (Rock et al. 2016a). Die Erhebungen für die vierte Bundeswaldinventur wurden in 2021 und 2022 durchgeführt; die Veröffentlichung der Ergebnisse wird ab 2025 erwartet (Riedel 2021).

Oehmichen et al. (2018) entwickelten mit dem Modell WEHAM unter Einbeziehung unterschiedlicher Anspruchsgruppen zwei alternative Szenarien zur zukünftigen Bewirtschaftung des Waldes: das Holzpräferenzszenario (HPS) und das Naturschutzpräferenzszenario (NPS). Für diese Szenarien wurden Wachstum und Behandlung von Wald und das daraus resultierende potenzielle Rohholzaufkommen mit WEHAM ebenfalls auf Basis der Daten aus der BWI³ modelliert (vgl. Abbildung 17). Weiterhin wurde ergänzend zu WEHAM ein Verfahren zur Totholzmodellierung entwickelt und die Totholznachlieferung für HPS und NPS berechnet (Gerber et al. 2018).

Das HPS geht von einem aktuell hohen stehenden Holzvorrat aus, der abgesenkt wird, um das Rohholzangebot zu erhöhen und so die steigende Nachfrage nach heimischem Holz zu decken. Die Reduzierung der Holzvorräte erfolgt in Verbindung mit kürzeren Umtriebszeiten und geringeren Zielstärken. Weiterhin wird im HPS die ertragsreiche Nadelbaumart Douglasie waldbaulich gefördert. Die Annahmen zu Nutzungseinschränkungen entsprechen denen des WEHAM-Basisszenarios (Oehmichen et al. 2018). Eine solche Waldbewirtschaftung führt zu einem projizierten Rohholspotenzial von 86,4 Mio. m³ in 2052.

Das NPS zielt auf Erhalt und Förderung des Biodiversitäts- und Klimaschutzes im Wald ab. Die Baumartenzusammensetzung wird an die heutige potenziell natürliche Vegetation (hpnV) angenähert. Die Umtriebszeiten von Fichte und Kiefer an nicht natürlichen Standorten werden verkürzt und so der Nadelholzanteil reduziert. Der Laubholzanteil steigt durch gezielte Verjüngung an. Die Umtriebszeiten werden überwiegend verlängert und somit auch der Holzvorrat in Altbeständen vergrößert (Oehmichen et al. 2018). Zusätzlich zu den bereits geschützten Flächen werden weitere 5 – 10 % der Waldfläche aus der Nutzung genommen. Vor allem die Absenkung der Umtriebszeiten für Nadelholzbaumarten an nicht natürlichen Standorten hat zur Folge, dass das projizierte Rohholspotenzial zunächst ansteigt, um dann ab der Modellierungsperiode 2023-2027 abzusinken beginnt (Oehmichen et al. 2018). Die Modellierung des NPS ergibt für das Jahr 2052 ein projiziertes Rohholspotenzial von 76,2 Mio. m³.

Die Unterschiede zwischen HPS und NPS lassen sich zudem durch die deutlich unterschiedlichen Annahmen zu den Totholz mengen erklären (Tabelle 6). Die Totholz mengen werden in der Regel vom Vorrat abgezogen und beeinflussen das potenzielle Rundholzaufkommen. Im HPS wird die Totholzmenge um etwa 60 % geringer angenommen als im NPS.

Tabelle 6: Totholz mengen BWI und WEHAM-Szenarien

Quelle	Szenario	Menge in m ³ /ha
BWI, 2012		20,6
Rock et al. 2016	WEHAM Basisszenario	n/a
Oehmichen et al. 2018	WEHAM HPS	14,6
	WEHAM NPS	35

Quelle: Eigene Darstellung

Schier und Weimar (2018) nutzen die drei WEHAM-Waldbewirtschaftungsszenarien (Rock et al. 2016b; Oehmichen et al. 2018) als Grundlage für eine Marktmodellierung mit dem GFPM⁶. Ziel der Autoren war es, mögliche Auswirkungen eines veränderten Rohholzaufkommens in Deutschland in verschiedenen Szenarien auf den Holzmarkt zu beobachten. Das potenzielle Aufkommen, das sich aus den WEHAM-Waldbehandlungsszenarien ergibt, wurde als exogene Variable in der Holzmarktmodellierung berücksichtigt. Schier und Weimar (2018) haben neben dem inländischen Holzaufkommen auch die Holzverwendung und den Außenhandel in die Analyse einbezogen. Im Ergebnis modelliert das GFPM die potenzielle Rundholzproduktion, die nicht höher als das potenzielle Rohholzaufkommen aus WEHAM sein kann.

Die Unterschiede in den Ergebnissen zwischen Schier und Weimar (2018), Rock et al. (2016a) und Oehmichen et al. (2018) sind auf die unterschiedlichen Modelle zurückzuführen, die diese Autoren verwenden. WEHAM ist ein Waldwachstumsmodell (Rock et al. 2016b; Oehmichen et al. 2018), das sich auf die Waldbewirtschaftung bezieht. In WEHAM wird das potenzielle Rundholzaufkommen, das theoretisch geerntet werden könnte, modelliert. Das GFPM hingegen ist ein Marktmodell, das die Nachfrage nach Holzprodukten berücksichtigt. Im GFPM wird die Rohholzproduktion (Entnahme aus dem Wald) basierend auf der Nachfrage nach Holzprodukten modelliert.

Böttcher et al. (2018) haben das Holzaufkommen in Deutschland mit dem Waldwachstumsmodell Forestry and Agriculture Biomass Model (FABio) des Öko-Instituts für den Zeitraum 2012 bis 2102 modelliert. Die Modellierung nutzt die Ergebnisse der BWI² (2002) und BWI³ (2012) und erfolgt in drei eigens entwickelten Szenarien: Basisszenario, Holzscenario und Waldvision (Abbildung 17).

Das Basisszenario schreibt den aktuellen Trend der Nutzungsintensität von Wäldern fort und ist an das WEHAM-Basisszenario angelehnt. Waldumbau findet nicht explizit statt und auf 4,1 % der Waldfläche erfolgt natürliche Waldentwicklung, d. h. es gibt keine Holznutzung. Das Holzscenario beschreibt eine intensiviertere Bewirtschaftung und Holznutzung. Durchforstungs- und Entnahmemengen pro Eingriff werden in etwa verdoppelt. Bei der Verjüngung der Bestände werden, ähnlich wie im WEHAM-HPS, Nadelbaumarten waldbaulich gefördert und es werden keine weiteren Flächen aus der Nutzung genommen. Im Szenario Waldvision werden die Zieldurchmesser für eine Nutzung um 17 – 22 % erhöht sowie Stärke und Frequenz von

⁶ Das Global Forest Products Model (GFPM) ist ein Gleichgewichtsmodell des globalen Holzmarktes für Produktion, Verbrauch und Handel von Holzprodukten auf globaler Ebene. Es wurde von Buongiorno et al. 2003 entwickelt. Das GFPM wurde von Schier et al. 2018 weiterentwickelt, um bei Rohholz und Schnittholz zwischen Laubholz und Nadelholz zu unterscheiden.

Eingriffen um 10 – 5 % verringert. Bei der Verjüngung werden Laubbäume gefördert. Der Flächenanteil ohne Holznutzung wird gegenüber dem Basisszenario vervierfacht.

Böttcher et al. (2018) haben für ihre Modellierungen das WEHAM-Basisszenario als Grundlage verwendet. Ziel war es jedoch, ein Szenario mit einer verstärkten ökologischen Waldbewirtschaftung auf der gesamten Waldfläche Deutschlands zu entwickeln, das die Autoren als "Waldvision" bezeichneten. So sieht das Waldvision-Szenario 16,6 % nicht bewirtschafteter Waldflächen vor, was 12,5 Prozentpunkte mehr sind als die derzeitige nicht bewirtschaftete Waldfläche. Für 2042 weist das Szenario "Waldvision" ein deutlich geringeres Holzaufkommen im Vergleich zu WEHAM-NPS aus. Im Vergleich zum Basisszenario sind die Modellierungsergebnisse des Waldvision-Szenarios für 2042 aufgrund der Übergangszeit in der Waldbewirtschaftung und der Veränderungen der Baumarten im Wald niedrig. Wenn sich der Wald an die neue Bewirtschaftung angepasst hat, steigt das Holzaufkommen bis zum Jahr 2102 auf 61,8 Mio. m³.

5.1.2 Zukünftiges Holzaufkommen aus Sekundärquellen

Bei der Literaturrecherche wurden vier Studien gefunden, die sich mit Holzresten befassen, wobei sich jede von ihnen jedoch auf unterschiedliche Sortimente und einen anderen Zeitrahmen konzentriert (Tabelle 7). Aufgrund der schlecht nachvollziehbaren Quellenangaben wird für die Betrachtung des zukünftigen Holzaufkommens aus Sekundärquellen die Studie von Eppler et al. (2021) ausgeschlossen.

Tabelle 7: Literaturübersicht zum zukünftigen Aufkommen von Holzreststoffen in Deutschland

	Di Gruttola und Borello, 2021	Szichta et al., 2022	Mantau et al., 2010a	Schier und Weimar, 2018
Art der Analyse	Potenzialschätzung	Potenzialschätzung	Potenzialschätzung	Szenarienbasierte Modellierung
Bezugsjahr	2014 – 2018	2019	2010	2012
Betrachtungszeitraum	2019 – 2025	2020 – 2050	2030	2015 – 2050
Verwendetes Modell	Autoregressives statistisches Modell	Stoffstromanalyse und PRecTimber Modell	ökonometrische Schätzungen, EFISCEN-Modell, WRB	Global Forest Products Model (GFPM)
Modellierte Parameter	Holzreststoffe (nicht weiter spezifiziert)	Altholz	Holzreststoffe aus Primär- und Sekundärquellen	Waldrestholz

Quellen: Di Gruttola und Borello (2021), Mantau et al. (2010a), Schier und Weimar (2018), Szichta et al. (2022)

Di Gruttola und Borello (2021) verwenden ein statistisches Modell, um die Verfügbarkeit von Holzreststoffen in Europa und Deutschland im Jahr 2025 zu schätzen. Das Modell stützt sich auf die Datenbanken von EUROSTAT und FAOSTAT für Holzbrennstoffe, Säge- und Furnierholz sowie Zellstoff aus Nadel- und Laubrundholz. Zur Bewertung des Restholzanteils wurden je nach Art des Rundholzes unterschiedliche Verhältnisse von Restholz zu Produktion (RPR) (in Engl: residues to production ratios (RPR)) verwendet. Zusätzlich wurden Nachhaltigkeitsaspekte berücksichtigt, wie z. B. Restholz, das im Wald verbleibt, um Bodenerosion zu verhindern, und die Nutzung von Wärme und Strom für den Industriesektor. Die Autoren erstellen keine Szenarien, sondern unterscheiden zwischen der Unter- und Obergrenze der potenziellen Verfügbarkeit von Holzreststoffen, die für Deutschland im Zeitraum zwischen 7 und 8,5 Mio. m³ liegt. Aus dem Text ist zu entnehmen, dass die Menge sowohl Holzreststoffe aus dem Wald als auch aus der ersten Verarbeitungsstufe umfasst.

Szichta et al. (2022) konzentrierten sich stattdessen nur auf die zukünftige Verfügbarkeit von Altholz in Deutschland bis 2050. Zu diesem Zweck wurde eine Materialflussanalyse (MFA) der stofflichen Holzverwendung in Deutschland im Jahr 2019 durchgeführt und auf der Grundlage der Ergebnisse ein Modell zur Vorhersage der Verwertung von Holz mengen (PRecTimber) entwickelt. Die MFA ergab 62 Mio. m³ Rundholz, das für die stoffliche Verwendung genutzt wird. Parallel dazu wurden historische Daten für den inländischen Verbrauch von Holzprodukten verwendet, um den jährlichen Abfall von Holzprodukten zu berechnen. Es wurden drei Szenarien für den künftigen Verbrauch von Holzprodukten entwickelt und anschließend wurde mit dem PRecTimber-Modell für diese Szenarien die mögliche Rückgewinnung von Altholz berechnet. Dabei bleibt im Basisszenario S0 die Menge der im Jahr 2019 in den Verbrauch gelangenden Holzprodukte bis zum Jahr 2050 konstant. Im wahrscheinlichsten „most-likely“-Szenario S1 wird ein mäßiger Anstieg der Substitution von Nichtholzprodukten und im unklaren „ambiguous“-Szenario S2 ein deutlicher Anstieg des inländischen Verbrauchs von Holzprodukten erwartet. Daraus ergeben sich 29,5 Mio. m³, 30,6 Mio. m³ bzw. 31,6 Mio. m³ an zukünftigem Altholz (Tabelle 8).

Tabelle 8: Literaturübersicht zum zukünftigen Aufkommen an Holzreststoffen

Quelle	Szenarien	Menge in Mio.m ³	Sortiment	Modellierungszeitraum bis
Szichta et al., 2022	S0 2050	29,5	Altholz	2050
	S1 2050	30,6		
	S2 2050	31,6		
Di Gruttola und Borello, 2021	Lower limit	7	Holzreststoffe	2025
	Upper limit	8,4		
Mantau et al., 2010	HP 2030	30,3	Holzreststoffe aus Primärquellen	2030
	HS 2030	44,6	Holzreststoffe aus Sekundärquellen	
Schier und Weimar, 2018	BAS	11,01	Waldrestholz	2050
	HPS	9,2		
	NPS	4,9		

Quellen: Di Gruttola und Borello (2021), Mantau et al. (2010a), Schier und Weimar (2018), Szichta et al. (2022)

Mantau et al. (2010a) beziffern das Aufkommen an Holzresten aus Primärquellen (Waldrestholz, Rinde und Landschaftspflegeholz) auf 30,3 Mio. m³ und aus Sekundärquellen (Sägenebenprodukte, andere industrielle Reststoffe, Ablauge und Altholz) auf 44,6 Mio. m³ (vgl. Tabelle 8).

Schier und Weimar (2018) modellierten die Menge an Waldrestholz, die sich aus den drei WEHAM-Waldbewirtschaftungsszenarien ergibt. Demnach wird die größte Menge an Waldrestholz für das BAS-Szenario prognostiziert, etwas weniger für das HPS-Szenario. Die geringste Menge an Waldrestholz wird im NPS-Szenario modelliert, da die in diesem Szenario angewandte Waldbehandlungsstrategie das potenzielle Holzaufkommen begrenzt (Tabelle 8).

5.1.3 Zukünftige Holzverwendung

Die zukünftige Holzverwendung ist Gegenstand nur weniger Studien (vgl. Tabelle 9). Diese Tabelle gibt einen Überblick über die Quellenlage und relevante methodische Aspekte. Die Ergebnisse sind nur eingeschränkt miteinander vergleichbar, da die ausgewählten Studien unterschiedliche Zeiträume, Holzsortimente und Holzverwendungen (energetisch oder stofflich) betrachten. Bei zwei der drei Studien handelt es sich um szenarienbasierte Modellierungen; Mantau et al. (2010b) nehmen eine Potenzialschätzung vor. Im Rahmen der systematischen Literaturanalyse wurden noch weitere Studien gefunden, die aber aufgrund von schlecht nachvollziehbaren Quellen und Methoden ausgeschlossen wurden.

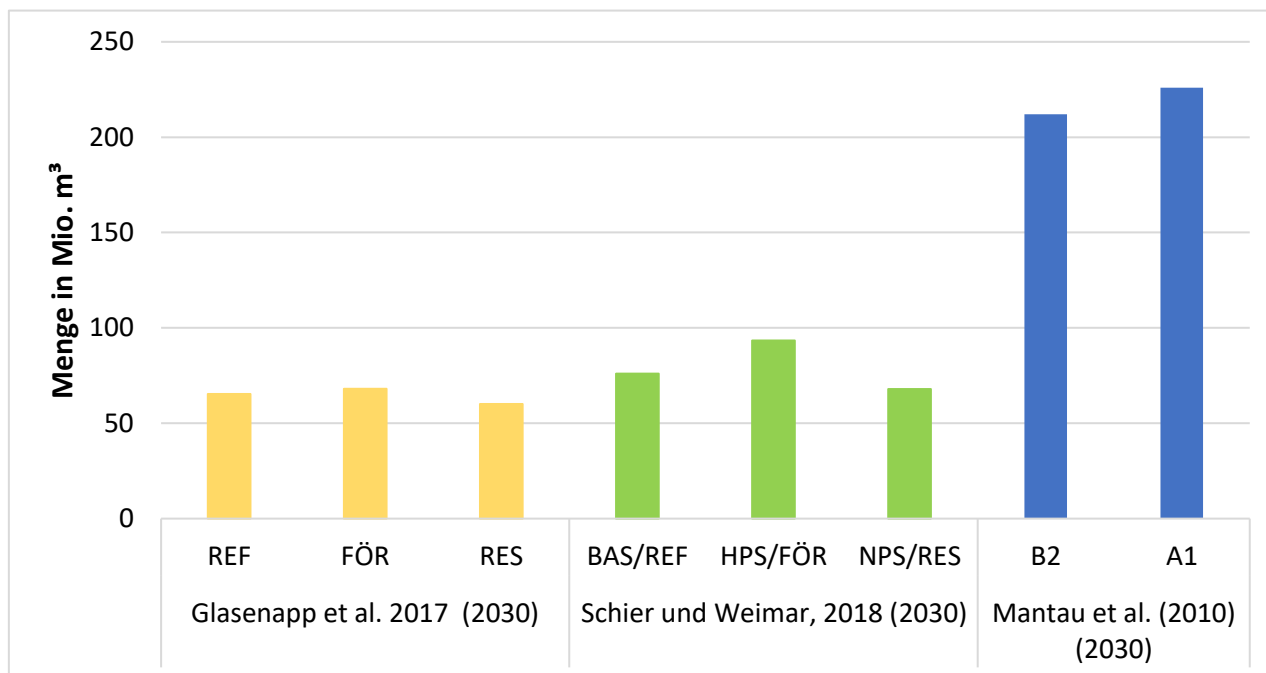
Tabelle 9: Übersicht berücksichtigter Studien zur zukünftigen Holzverwendung in Deutschland

	Glasenapp et al., 2017	Mantau et al., 2010a	Schier und Weimar, 2018
Art der Analyse	Szenarienbasierte Modellierung	Abschätzung des Potenzials	Szenarienbasierte Modellierung
Modellierungszeitraum bis	2016 – 2030	2030	2015 – 2050
Verwendetes Modell	Experteneinschätzungen, Mathematische Einschätzungen	ökonomische Schätzungen, EFSOS-Berechnungen, WRB	Global Forest Products Model (GFPM)
Modellierte Parameter	Rohholz, Holzhalbwaren (Schnittholz, Zellstoff, etc.) Holzendwaren in Energiesektor (Altholz, etc.)	Verbrauch von Holz aus Primär- und sekundärquellen	Rohholz und Holzhalbwaren (Schnittholz, Zellstoff, Platten, etc.)

Quellen: Glasenapp et al. (2017), Mantau et al. (2010a), Schier und Weimar (2018)

Abbildung 18 zeigt ausgewählte Ergebnisse aus Analysen zur zukünftigen Verwendung holziger Biomasse in Deutschland. Die Ergebnisse aus Glasenapp et al. (2017) und Schier und Weimar (2018) beziehen sich auf Derbholz aus dem Wald und beinhalten stoffliche und energetische Holzverwendung. Mantau et al. (2010a) nehmen für zwei Szenarien ein Potenzialschätzung der zukünftigen Nachfrage nach holziger Biomasse vor. Dabei wird holzige Biomasse aus dem Wald und von außerhalb des Waldes und damit auch Derbholz und Nichtderbholz einbezogen. Dementsprechend liegen die Ergebnisse deutlich höher, als bei Glasenapp et al. (2017) und Schier und Weimar (2018).

Abbildung 18: Zukünftige Holzverwendung Deutschland



Quellen: Eigene Darstellung basierend auf Glasenapp et al. (2017), Mantau et al. (2010a), Schier und Weimar (2018)

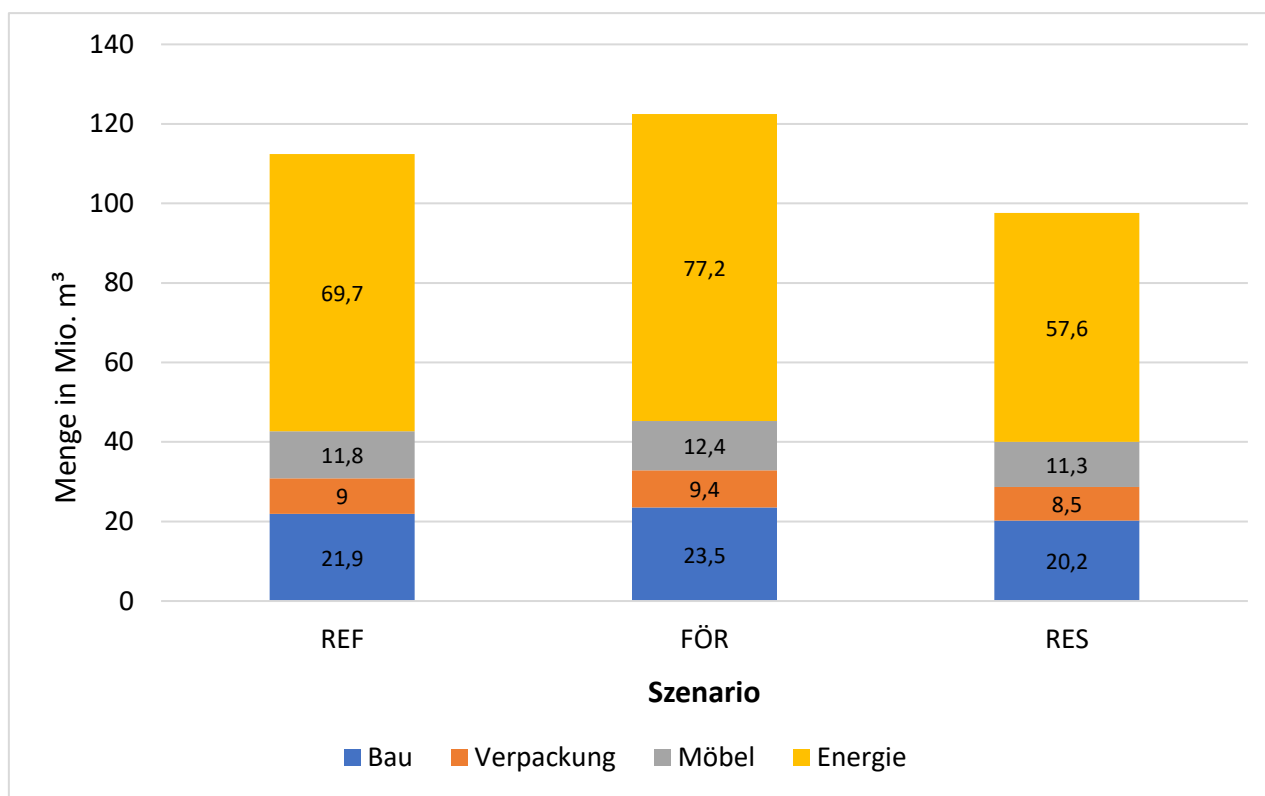
Glasenapp et al. (2017) entwickeln und beschreiben im Rahmen von WEHAM-Holzverwendungsszenarien – Referenz-, Förder- und Restriktionsszenario – für den Zeitraum 2016 bis 2030. Für jedes Szenario wurde die Holzverwendung getrennt für die Sektoren Bau, Verpackung, Möbel, Papier und Energie berechnet. Den Szenarien lagen Einschätzungen von Interessenvertretern aus der Holzwirtschaft, Forstwirtschaft und dem Naturschutz zur zukünftigen Entwicklung der Holzverwendung in den untersuchten Sektoren zugrunde (Glasenapp et al. 2017). Darüber hinaus wurden exogene Einflussfaktoren wie z. B. die Haushaltsentwicklung, Förderanreize und Baugenehmigungen berücksichtigt. Die Holzverwendungsszenarien von Glasenapp et al. (2017) ergänzen die WEHAM-Waldbewirtschaftungsszenarien und die daraus resultierende mögliche Holzbereitstellung (Rock et al. 2016b; Oehmichen et al. 2018). Das Referenzszenario (REF) projiziert die aktuelle Entwicklung in die Zukunft fort (vergleichbar mit Business-as-Usual). Das Restriktionsszenario (RES) geht von einer negativen Entwicklung von Einflussfaktoren wie Bauquote, Substitution von Nichtholz- durch Holzprodukte und Förderanreize aus, und damit von einer Verringerung der stofflichen Holzverwendung in der Zukunft. Das Förderszenario (FÖR) geht stattdessen von einer positiven Auswirkung der Einflussfaktoren und damit von einem Anstieg der stofflichen Nutzung von Holz aus, der vor allem auf die Substitution von Nichtholzprodukten durch Holzprodukte im Bau-, Verpackungs- und Möbelsektor zurückzuführen ist. Zudem wird in den Szenarien die Holznutzung zur Energieerzeugung abgeschätzt. Bei der Interpretation der Ergebnisse ist zu beachten, dass die Holzverwendung in den stofflichen Endverwendungssektoren berechnet wurde und die Mengen sich auf die Halbwaren beziehen, die in der Endverwendung eingesetzt werden. Verschnitt und die Zusammensetzung der Endwaren aus unterschiedlichen Halbwaren wurden berücksichtigt, die Holzmengen entsprechen daher nicht dem Einsatz an Rohholz.

Weiterhin sind die Unterschiede zwischen den Ergebnissen der Szenarienmodellierung von Glasenapp et al. (2017) und Schier und Weimar (2018) ist darauf zurückzuführen, dass unterschiedliche Segmente des Holzmarktes modelliert werden. Glasenapp et al. (2017) analysieren die gesamte Holzverwendung (nicht nur Rohholz) in den Endverwendungssektoren Möbel, Verpackungen, Bauwesen und Energie. Die Datenpunkte nach Schier und Weimar (2018) in Abbildung 18 repräsentieren den Verbrauch zur stofflichen und energetischen Verwendung von Derbholz in Deutschland in den drei Szenarien.

Mantau et al. (2010a) machen deutlich höhere Angaben zur zukünftigen Verwendung holziger Biomasse. Es handelt sich hier um zwei Nachfragepotenziale nach holziger Biomasse, nicht um eine Schätzung der eigentlichen Verwendung. Weiterhin wird nicht nur Derbholz aus dem Wald, es werden auch Waldrestholz, holzige Biomasse von außerhalb des Waldes und sekundäre Aufkommensquellen (Reststoffe) einbezogen. Die Szenarien A1 und B2 basieren auf den entsprechenden Szenarien des Intergovernmental Panel of Climate Change (IPCC). A1 beschreibt ein gleichmäßiges Wirtschaftswachstum mit ausgeprägtem Welthandel. B2 geht von einem geringeren Wirtschaftswachstum bei stärkerem Umweltbewusstsein und weniger globalem Handel aus. (vgl. Mantau et al. 2010b, S. 32). Diese Nachfragepotenziale können nur realisiert werden, wenn die Holzproduktion deutlich gesteigert wird (vgl. Mantau et al. 2010a, S. 24).

Bei Vergleich und Beurteilung von Aussagen zur zukünftigen Holzverwendung muss also immer berücksichtigt werden, auf welche Holzsortimente Bezug genommen wird, also ob sich die Verwendung nur auf Waldholz bezieht und ob der Handel berücksichtigt wird.

Abbildung 19: Holzeinsatz in Endverwendungssektoren 2030



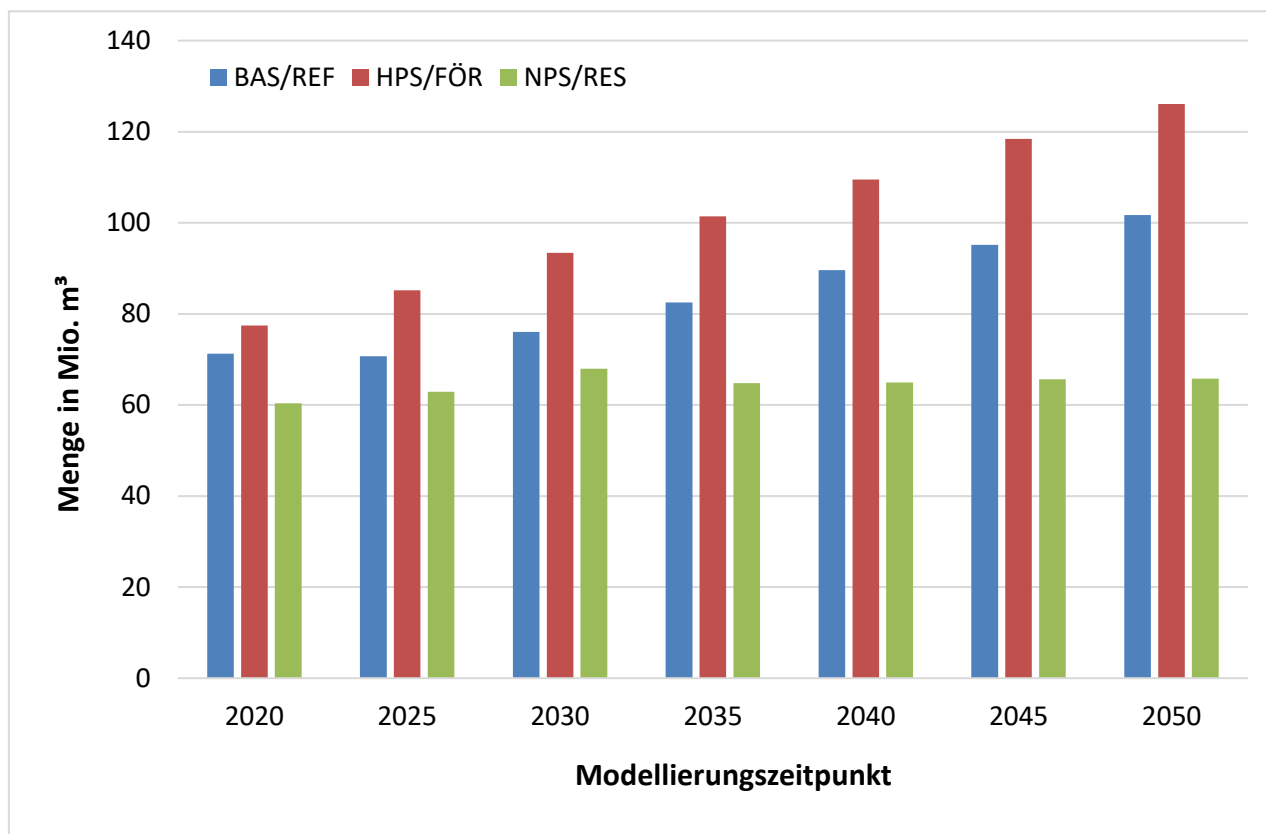
Quellen: Eigene Darstellung basierend auf Glasenapp et al. (2017)

Abbildung 19 zeigt für 2030 die Holzverwendung unterteilt nach Sektoren. Die energetische Holzverwendung bezieht sich in Glasenapp et al. (2017) nicht nur auf Derbholz aus dem Wald, sondern auch auf primäre und sekundäre Reststoffe. Demzufolge ist die in Abbildung 19 gezeigte Gesamtverwendung deutlich höher, als die in Abbildung 18 gezeigte Verwendung von Derbholz.

Schier und Weimar (2018) modellieren mögliche Auswirkungen veränderter Primärholzverfügbarkeiten auf den Holzmarkt in kombinierten WEHAM-Waldbewirtschaftungs- (siehe Kapitel 5.1.1) und Holzverwendungsszenarien (Glasenapp et al. 2017). Die Berechnungen des WEHAM-Modells setzen den Rahmen für mögliche Verschiebungen im Angebot oder der Nachfrage nach Holzprodukten und damit verbundenen Wechselwirkungen unter Berücksichtigung des Außenhandels. Zusätzlich zu Abbildung 18, die einen Überblick

nur für den Modellierungszeitraum 2027 – 2032 gibt, zeigt Abbildung 20 die Entwicklung der modellierten Szenarien im Zeitablauf.

Abbildung 20: Zukünftige Entwicklung der Holzverwendung von Derbholz in Deutschland



Quellen: Eigene Darstellung basierend auf Schier und Weimar (2018)

5.2 EU-27

Auf EU-Ebene wurden 13 Studien in die finale Auswertung und damit die Datenextraktion einbezogen (vgl. Tabelle 10). Aus dieser Auswahl wurden nicht alle Studien für die Darstellung des zukünftigen Holzaufkommens in der EU genutzt, da im Zuge der Datenextraktion qualitative Aspekte der Studien deutlich wurden, die zu einer Nichtberücksichtigung führten. Dies waren unzureichende Nachweise von Quellen und/oder Methoden (Eppler et al. 2021; Piotrowski et al. 2015; Panoutsou et al. 2016), ein Projektionszeitraum kürzer als 2030 (Verkerk et al. 2019; Di Gruttola und Borello 2021), kein Bezug auf gesamte Waldfläche (nur „planted forests in Carle und Holmgren (2008)). Im Falle des European Forest Sector Outlooks wurde nur die aktuellere Studie einbezogen und die ältere (UNECE/FAO 2005) nicht verwendet. Hetemäki et al. (2014) stellen die Ergebnisse anderer Studien zusammen und werden daher nicht weiter berücksichtigt.

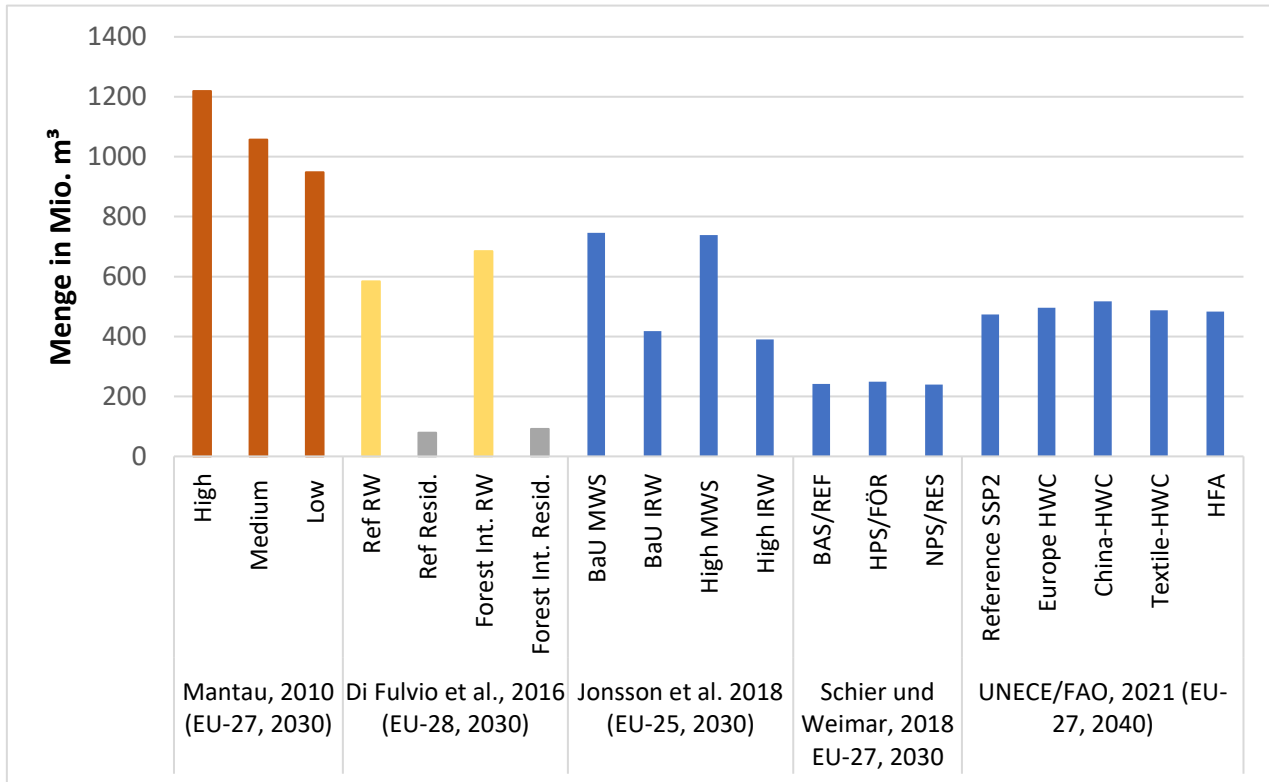
Tabelle 10: Übersicht der für die finale Auswertung ausgewählten Studien (EU-27)

Quellen	Angaben zu Aufkommen in	Angaben zu Verwendung in	Angaben zu Reststoffen in
<i>Carle und Holmgren 2008</i>	m ³	k. A.	k. A.
Di Fulvio et al. 2016	m ³	k. A.	t atro
<i>Di Gruttola und Borello, 2021</i>	k. A.	k. A.	t atro
<i>Eppler et al. 2021</i>	t atro	k. A.	t atro
<i>Hetemäki et al. 2014</i>	k. A.	t atro	k. A.
Jonsson et al. 2018	m ³	k. A.	k. A.
Mantau et al. 2010	m ³	m ³	m ³
<i>Panoutsou et al. 2016</i>	t atro	k. A.	k. A.
<i>Piotrowski et al. 2016</i>	t atro	k. A.	k. A.
Schier und Weimar, 2018	m ³	m ³	k. A.
<i>Verkerk et al. 2019</i>	t atro	k. A.	t atro
<i>UNECE/FAO, 2005</i>	m ³	k. A.	k. A.
UNECE, 2021	m ³	k. A.	k. A.

Quellen: Eigene Darstellung; Kursiv: aus Qualitätsgründen ausgeschlossene Studien

Das zukünftige Aufkommen an holziger Biomasse in der EU wird in den ausgewählten Studien (Abbildung 21) auf eine Höhe zwischen knapp 270 und 1.290 Mio. m³ geschätzt. Das Aufkommen in den drei Szenarien nach Mantau et al. (2010a) beinhaltet nicht nur Waldholz, sondern alle primären und auch sekundäre Aufkommensquellen und ist somit deutlich höher. Die Szenarien differenzieren unterschiedliche mögliche Mobilisierungsgrade. Di Fulvio et al. (2016) schätzen das potenzielle Aufkommen an holziger Biomasse basierend auf räumlichen Informationen zu den Waldbeständen mit dem Global Forest Model (G4M). Im Ergebnis wird das modellierte Erntepotenzial unterteilt in Rundholz (RW) und Ernterückstände (Waldrestholz) (Resid.) dargestellt. In der weiteren Untersuchung werden bestimmte wirtschaftliche Rahmenbedingungen angenommen, die Einfluss darauf haben, wieviel des Erntepotenzials tatsächlich geerntet werden könnte. Von den vier verwendeten Szenarien sind in Abbildung 21 nur das Referenz- (REF) und das Forest Intensification-Szenario dargestellt, da die Mengen in den weiteren Szenarien (Economic Growth, Standardized Transport) den Mengen des Referenzszenarios sehr ähnlich sind.

Abbildung 21: Vergleich ausgewählter Ergebnisse zum zukünftigen Aufkommen holziger Biomasse



Quellen: Eigene Darstellung; rot: Aufkommen aus primären und sekundären Quellen; gelb: potenzielles Rundholzaufkommen; grau: potenzielles WRH-Aufkommen; blau: unter Marktbedingungen projizierte Rundholzproduktion

Jonsson et al. (2018) betrachten zwei Holzaufkommensszenarien für die Europäische Union für den Zeitraum von 2012 bis 2030: das Business-as-usual (BaU)-Szenario und das Szenario mit hoher Mobilisierung. Die Autoren verwenden das Carbon Budget Model (CBM), um auf Länderebene das maximale Holzaufkommen (Maximum Wood Supply, MWS) zu schätzen. Das MWS ist die Holzmenge, die unter Anwendung von gängigen Waldbaumaßnahmen ohne Absenkung des stehenden Vorrates auf der vorhandenen Waldfläche entnommen werden kann. Aus dem MWS wird dann für die Szenarien unter Anwendung des Global Forest Trade Model (GFTM) der Anteil an Industrierundholz (Industrial Roundwood, IRW) abgeleitet. Abbildung 21 zeigt für das Jahr 2030 im BaU-Szenario ein leicht höheres Aufkommen (+8 %) gegenüber dem High Mobilisation (High) Szenario. Dies erklärt sich durch den modellierten Verlauf des Aufkommens vor 2030, der in der Abbildung nicht gezeigt wird. Im High-Szenario findet eine intensivere Holznutzung und damit eine Absenkung des Vorrats statt. In der Folge reduziert sich auch das maximale Aufkommen in 2030 im HM-Szenario.

Schier und Weimar (2018) modellieren unter Berücksichtigung der globalen Holzmärkte die potenzielle Rundholzproduktion mit dem GFPM auch für die EU-27 (vgl. Kapitel 5.1.1). Die in Abbildung 21 gezeigten Mengen stellen die Produktion von Laub- und Nadelholz für die stoffliche Nutzung dar und liegen daher deutlich unter den Mengen aus den anderen Studien. Unter Berücksichtigung der Annahmen der drei WEHAM-Szenarien sowie der zusätzlichen Betrachtung von Totholz liegt die zukünftige Rundholzproduktion von industriell nutzbarem Rundholz in der EU zwischen 239 Mio. m³ im Naturschutzszenario und 249 Mio. m³ im Szenario mit intensiver Holznutzung.

Der aktuelle Forest Sector Outlook (UNECE/FAO 2021, 2022) modelliert Produktion, Verbrauch und Handel von Holz und Holzprodukten für den Zeitraum bis 2040 unter verschiedenen Annahmen zu Wirtschafts- und Bevölkerungswachstum sowie Klimawandel in verschiedenen Szenarien. Auf der Aufkommenseite kommen drei Szenarien aus den Shared Socioeconomic Pathways (SSP) (Nakicenovic et al. 2014) zur Anwendung in der

Modellierung mit dem GFPM. Die SSP definieren die wirtschaftlichen und ökologischen Herausforderungen in den Gesellschaften und die gesellschaftliche Fähigkeit, sich an den Klimawandel anzupassen oder ihn abzuschwächen. Abbildung 21 zeigt Ergebnisse für das SSP2 als Referenzszenario ohne strukturelle Veränderungen. Die anderen drei Szenarien bilden mögliche strukturelle Veränderungen auf der Nachfrageseite und deren Auswirkungen auf das Holzangebot ab. So bezieht sich das Szenario Europa - High Wood Consumption (HWC) auf die Zunahme des Holzbaus in der Europäischen Region und der Russischen Föderation, was folglich die Nachfrage nach Holz erhöht. Der China-HWC geht von einer hohen Holznachfrage im chinesischen Bausektor aus, während sich der Textil-HWC auf die steigende Nachfrage nach Holzfasern für die Textilproduktion bezieht. Das HFA-Szenario (High Forest Area) schließlich geht von einer Zunahme der globalen Waldfläche um 10 % aus. Insgesamt liegt die projizierte Rundholzproduktion im Jahr 2040 zwischen 420 und 522 Mio. m³ in der EU-27.

Die deutlichen Unterschiede in den projizierten Mengen der Rundholzproduktion bei Schier und Weimar (2018), Jonsson et al. (2018) und UNECE/FAO (2021, 2022) sind zum einen durch die unterschiedlichen Projektionszeiträume und vor allem durch die unterschiedliche Ausgestaltung der Szenarien begründet.

Auf EU-Ebene gibt es keine ausreichende Datengrundlage zur Abschätzung des zukünftigen Aufkommens an holzigen Reststoffen. Eine methodisch nachvollziehbare Abschätzung liefern einzig Di Fulvio et al. (2016). In den beiden Szenarien liegen die Restholzaufkommen in den modellierten Szenarien bei 79 bzw. knapp 92 Mio. m³ (vgl. Abbildung 21).

6 Schlussfolgerungen

Die im vorliegenden Bericht zusammengestellten Daten zeigen, dass unter den Begriffen Aufkommen und Verwendung sehr unterschiedliche Mengen holziger Biomasse abgebildet werden. Zur korrekten Einordnung von veröffentlichten Daten ist es daher unerlässlich, die folgenden Punkte zu klären:

- Handelt es sich grundsätzlich um ein Potenzial oder um eine mobilisierte bzw. produzierte Menge, die für die weitere Verwendung konkret zur Verfügung steht? Handelt es sich um holzige Biomasse aus dem Wald oder auch von außerhalb des Waldes? Werden Holzreststoffe oder Holzabfälle betrachtet?
- Berücksichtigen Angaben zum Aufkommen nur die inländische Produktion oder wird der Außenhandel einbezogen? Bezieht sich ein Aufkommen auf den stehenden Vorrat oder die Erntemenge? Wird die eingeschlagene oder die entnommene Menge als Erntemenge ausgewiesen? Bezieht sich die Erntemenge auf Derbholz oder wird Nichtderbholz mit betrachtet?
- Zur Einordnung von Daten zur Verwendung ist zu klären, welche Verwendungen jeweils betrachtet werden. Werden einzelne oder eine Gruppe von Holz verwendenden Sektoren betrachtet oder alle Verwendungsbereiche? Teilweise erfolgt die Quantifizierung der Holzverwendung auch differenziert in stoffliche und energetische Verwendung. Insbesondere bei der energetischen Verwendung kann auch holzige Biomasse von außerhalb des Waldes in Quantifizierungen einbezogen sein.

Zur Beurteilung der zur historischen Entwicklung von Aufkommen und Verwendung holzartiger Biomasse in Deutschland stehen verschiedene Datenquellen regelmäßig zur Verfügung. Die Herausforderung besteht in der korrekten Interpretation der Daten aufgrund der vorgenannten Aspekte hinsichtlich zugrundeliegender Begrifflichkeiten und Abgrenzungen. Daraus ergeben sich auch Herausforderungen bei der expliziten Gegenüberstellung von Aufkommen und Verwendung einzelner Holzrohstoffe: teilweise sind die Mengen nur entweder aufkommensseitig oder verwendungsseitig bekannt. Oder ein direkter Vergleich ist nicht möglich, weil das Aufkommen für Waldholz erfasst wird, die Verwendung aber auch Holz von außerhalb des Waldes einschließt.

Dennoch lassen sich das Aufkommen und die Verwendung von einzelnen Holzrohstoffen in Deutschland anhand der vorgestellten Daten für sich betrachtet jeweils umfassend darstellen. Dabei wird deutlich, welche Reststoffe

bei der Be- und Verarbeitung von Holz entstehen und in welchem Umfang sie in unterschiedlichen Sektoren stofflich oder energetisch verwendet werden. Holzreststoffe werden über unterschiedliche Erhebungen entweder aufkommens- oder verwendungsseitig erfasst. Somit können Aufkommen und Verwendung nicht ohne Einschränkung gegenübergestellt werden. Die Ableitung von potenziell zur Herstellung von Biokraftstoffen zur Verfügung stehenden Mengen an Holzreststoffen aus den vorhandenen Daten wurde aufgrund der beschriebenen Unsicherheiten im vorliegenden Working Paper nicht vorgenommen.

Für Deutschland gibt es verschiedene Studien, welche Aufkommen und Verwendung holzartiger Biomasse für die Zukunft schätzen. Die szenarienbasierten Modellierungen des Rohholzaufkommens basieren auf Daten aus der dritten Bundeswaldinventur mit dem Bezugsjahr 2012. Seitdem nahmen klimawandelbedingte Waldschäden deutlich zu, die in den Modellszenarien nicht berücksichtigt sind. Bis zur Veröffentlichung der Daten aus der vierten Bundeswaldinventur mit dem Bezugsjahr 2022 kann keine Aussage getroffen werden, wie sich der stehende Vorrat im Wald entwickelt hat und wie dadurch die zukünftigen Erntemengen beeinflusst werden. Somit ist aktuell nur schwer einschätzbar, wie realistisch die Modellierungsergebnisse für das zukünftige Aufkommen sind. Es ist möglich, dass bereits eine Absenkung des stehenden Vorrats im Wald in Deutschland eingetreten ist. Somit kann angenommen werden, dass sich das zukünftige Aufkommen eher im unteren Bereich der Modellierungsergebnisse bewegen wird. Informationen über das zukünftige Aufkommen von Holzresten sind nur wenige vorhanden. Es kann jedoch davon ausgegangen werden, dass bei einem Rückgang der Nutzung von Rohholz auch die Mengen an Holzresten abnehmen werden.

Für die EU-27 ist die Datenlage hinsichtlich Aufkommen und Verwendung von Rohholz vergleichbar mit Deutschland. Daten zu Aufkommen und Verwendung von Holzreststoffen im gesamten Zeitraum von 2000 – 2040 sind allerdings deutlich weniger verfügbar. Somit können für die EU-27 keine belastbaren Schätzungen zur Verfügbarkeit für die Herstellung von Biokraftstoffen vorgenommen werden.

Im Projekt BOKRAFT war zu klären, ob holzartige Rest- und Abfallstoffen für die Herstellung von Biokraftstoffen in Zukunft verfügbar sein könnten. Wie bereits hergeleitet, erlaubt die im vorliegenden Working Paper (BOKRAFT AP 3) beschriebene Datenlage keine direkte Gegenüberstellung von Aufkommen und Verwendung und somit keine verlässliche Schätzung verfügbarer Potenziale. Theoretisch könnten in Verwendung befindliche Holzrohstoffe für die Herstellung von Biokraftstoffen umgenutzt werden. Um dann das Ziel einer größtmöglichen Reduktion von Treibhausgasen zu erreichen, müsste der potenzielle Reduktionseffekt im Verkehrssektor im Kontext der anderen möglichen Verwendung von Holzrohstoffen betrachtet werden. Welche Verwendung von Holzrohstoffen resultiert in der größtmöglichen Reduktion von Treibhausgasemissionen? Die Beantwortung dieser Frage könnte zukünftig eine Veränderung der bisherigen Verwendung von Holzrohstoffen rechtfertigen. Eine mögliche Umnutzung müsste mit politischen und marktlichen Instrumenten so gesteuert werden, dass sektorübergreifend insgesamt weniger Treibhausgase emittiert werden.

Literaturverzeichnis

- AltholzV (2002): Altholzverordnung vom 15. August 2002 (BGBl. I S. 3302), die zuletzt durch Artikel 120 der Verordnung vom 19. Juni 2020 (BGBl. I S. 1328) geändert worden ist. AltholzV. Online verfügbar unter <https://www.gesetze-im-internet.de/altholzv/AltholzV.pdf>.
- BMEL (Hg.) (2022): Buchführung der Testbetriebe. (Forstbetriebe). Ausführungsanweisung zum Erhebungsbogen für Forstbetriebe. Online verfügbar unter <https://www.bmel-statistik.de/fileadmin/daten/BFB-0113005-2022.pdf>, zuletzt geprüft am 19.01.2023.
- BMUB (2007): Nationale Strategie zur biologischen Vielfalt. Kabinettsbeschluss vom 7. November 2007. Hg. v. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB). Berlin, zuletzt geprüft am 12.07.2022.
- BMUB (Hg.) (2016): Klimaschutzplan 2050. Klimaschutzpolitische Grundsätze und Ziele der Bundesregierung. Online verfügbar unter https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Publikationen/Industrie/klimaschutzplan-2050.pdf?__blob=publicationFile&v=1, zuletzt geprüft am 27.10.2023.
- BMUV (2021): Aktiv für die biologische Vielfalt. Rechenschaftsbericht 2021 der Bundesregierung zur Umsetzung der Nationalen Strategie zur biologischen Vielfalt. Hg. v. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB). Berlin. Online verfügbar unter https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Naturschutz/rechenschaftsbericht_2021_bf.pdf, zuletzt geprüft am 20.12.2022.
- 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 (0), S. 99–109. DOI: 10.1016/j.resconrec.2014.11.014.
- Böttcher, H.; Hennenberg, K.; Winger, C. (2018): Waldvision Deutschland. Beschreibung von Methoden, Annahmen und Ergebnissen. Hg. v. Öko-Institut e.V. Online verfügbar unter <https://www.oeko.de/fileadmin/oekodoc/Waldvision-Methoden-und-Ergebnisse.pdf>.
- Brosowski, André; Adler, Philipp; Erdmann, Georgia; Stinner, Walter; Thrän, Daniela; Mantau, Udo (2015): Biomassepotenziale von Rest- und Abfallstoffen. Status Quo in Deutschland. Gülzow-Prüzen: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR) (Schriftenreihe nachwachsende Rohstoffe, 36). Online verfügbar unter https://www.researchgate.net/publication/286371156_Biomassepotenziale_von_Rest-_und_Abfallstoffen_Status_quo_in_Deutschland.
- BSHD (26.03.2009): Auswirkungen der Finanz- und Wirtschaftskrise auf die deutsche Sägeindustrie: BSHD-Präsident Dr. Rettenmeier fordert Unterstützung. Berlin. Online verfügbar unter <https://www.saegeindustrie.de/de/content/newsroom/pressemitteilungen/pressemitteilung?id=6&headline=Auswirkungen%20der%20Finanz-%20und%20Wirtschaftskrise%20auf%20die%20deutsche%20S%C4g%20industrie:%20BSHD-Pr%C4sident%20Dr.%20Rettenmeier%20fordert%20Unterst%FCtzung>.
- Carle, J.; Holmgren, P. (2008): Wood from planted forests: A Global Outlook 2005-2030. Online verfügbar unter <https://www.fao.org/forestry/24492-0d26e5849f963ec2846872435fe0777c2.pdf>, zuletzt geprüft am 20.04.2022.
- Cazzaniga, N.; Jasinevičius, G.; Jonsson, K.; Mubareka, S. (2021): Wood Resource Balances of EU-28 Member States. Hg. v. EC JRC (Technical Brief, JRC114889.). Online verfügbar unter https://knowledge4policy.ec.europa.eu/publication/wood-resource-balances_en, zuletzt geprüft am 14.12.2022.
- Davidson, B. (2013): Forest Products and Energy. In: *Elsevier Reference Collection in Earth Systems and Environmental Sciences*. DOI: 10.1016/B978-0-12-409548-9.01454-8.
- DEPI (Hg.) (2022): Pelletproduktion. Online verfügbar unter <https://depi.de/pelletproduktion>, zuletzt geprüft am 19.12.2022.
- DEPV (Hg.) (2019): Holzpellets für die Wärmewende in Deutschland. Rekordproduktion des nachwachsenden Brennstoffs. Online verfügbar unter <https://depv.de/p/Holzpellets-fur-die-Warmewende-in-Deutschland-jgwAtBeZdxwAERJs8ScViB>, zuletzt aktualisiert am 25.10.2019, zuletzt geprüft am 19.12.2022.
- Destatis (2023a): Holzeinschlagsstatistik (forstliche Erzeugerbetriebe). Code 41261. Hg. v. Destatis. Online verfügbar unter <https://www-genesis.destatis.de/genesis/online?sequenz=statistikTabellen&selectionname=41261#abreadcrum>.

- Destatis (Hg.) (2023b): Produktion im Verarbeitenden Gewerbe: Deutschland, Jahre, Güterverzeichnis (9-Steller). Code: 42131-0004. Online verfügbar unter <https://www-genesis.destatis.de/datenbank/beta/statistic/42131/table/42131-0004>, zuletzt geprüft am 27.10.2023.
- Destatis (Hg.) (2024): Aus- und Einfuhr (Außenhandel): Deutschland, Jahre, Warenverzeichnis (8-Steller). 51000-0013. Online verfügbar unter <https://www-genesis.destatis.de/genesis/online?operation=previous&levelindex=3&step=2&titel=Tabellenaufbau&levelid=1708945049967&levelid=1708945032012#abreadcrumb>, zuletzt geprüft am 26.02.2024.
- Di Fulvio, Fulvio; Forsell, Nicklas; Lindroos, Ola; Korosuo, Anu; Gusti, Mykola (2016): Spatially explicit assessment of roundwood and logging residues availability and costs for the EU28. In: *SCANDINAVIAN JOURNAL OF FOREST RESEARCH* 31 (7), S. 691–707. DOI: 10.1080/02827581.2016.1221128.
- Di Gruttola, Francesca; Borello, Domenico (2021): Analysis of the EU Secondary Biomass Availability and Conversion Processes to Produce Advanced Biofuels: Use of Existing Databases for Assessing a Metric Evaluation for the 2025 Perspective. In: *Sustainability* 13 (14), S. 7882. DOI: 10.3390/su13147882.
- Diestel, Sylvia; Weimar, Holger (2014): Der Kohlenstoffgehalt in Holz- und Papierprodukten - Herleitung und Umrechnungsfaktoren. Institute, Thünen. Hamburg/Germany (Thünen Working Paper).
- Dieter, Matthias; Englert, Hermann; Klein, Markus (2001): Abschaetzung des Rohholzpotentials fuer die energetische Nutzung in der Bundesrepublik Deutschland. Hg. v. Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft (Arbeitsbericht des Instituts für Ökonomie, 2001/11). Online verfügbar unter https://literatur.thuenen.de/digbib_extern/bitv/dk040192.pdf, zuletzt geprüft am 20.12.2021.
- Döring, Przemko; Cords, Marius; Mantau, Udo (2018a): Altholz im Entsorgungsmarkt. Aufkommen und Verwertung 2016. Teilbericht Rohstoffmonitoring Holz. Online verfügbar unter http://info.eu/downloads/studien/5_Altholz%20im%20Entsorgungsmarkt%202016.pdf, zuletzt geprüft am 27.05.2019.
- Döring, Przemko; Giesecking, L.; Mantau, Udo (2020a): Sägeindustrie 2018. Einschnitt- und Produktionsvolumen. Teilbericht Rohstoffmonitoring Holz. Hamburg. Online verfügbar unter http://www.info.eu/downloads/studien/SGW_2018_Teilbericht.pdf.
- Döring, Przemko; Giesecking, Lukas; Mantau, Udo (2021a): Holzwerkstoffindustrie 2020. Entwicklung der Produktionskapazität und Holzrohstoffnutzung. Teilbericht Rohstoffmonitoring Holz.
- Döring, Przemko; Glasenapp, Sebastian; Mantau, Udo (2016): Energieholzverwendung in privaten Haushalten 2014. Marktvolumen und verwendete Holzsortimente. Teilbericht Rohstoffmonitoring Holz. Hamburg.
- Döring, Przemko; Glasenapp, Sebastian; Mantau, Udo (2017a): Holz- und Zellstoffindustrie 2015. Entwicklung der Produktionskapazität und Holzrohstoffnutzung. Teilbericht Rohstoffmonitoring Holz. Hamburg.
- Döring, Przemko; Glasenapp, Sebastian; Mantau, Udo (2017b): Holzwerkstoffindustrie 2015. Entwicklung der Produktionskapazität und Holzrohstoffnutzung. Teilbericht Rohstoffmonitoring Holz.
- Döring, Przemko; Glasenapp, Sebastian; Mantau, Udo (2017c): Sägeindustrie 2015. Einschnitt- und Produktionsvolumen. Teilbericht Rohstoffmonitoring Holz. Hamburg.
- Döring, Przemko; Glasenapp, Sebastian; Mantau, Udo (2020b): Energieholzverwendung in privaten Haushalten 2018. Marktvolumen und verwendete Holzsortimente. Teilbericht Rohstoffmonitoring Holz. Hg. v. Info e.K. Hamburg.
- Döring, Przemko; Glasenapp, Sebastian; Weimar, Holger; Mantau, Udo (2018b): Die energetische Nutzung von Holz in Biomassefeuerungsanlagen unter 1 MW in Nichthaushalten im Jahr 2016. Teilbericht Rohstoffmonitoring Holz.
- Döring, Przemko; Mantau, Udo (2012): Sägeindustrie - Einschnitt und Sägenebenprodukte 2010. Holzrohstoffmonitoring. Online verfügbar unter https://literatur.thuenen.de/digbib_extern/dn051270.pdf, zuletzt geprüft am 27.10.2023.
- Döring, Przemko; Mantau, Udo (2021): Altholz im Entsorgungsmarkt. Aufkommen und Verwertung 2020. Teilbericht Rohstoffmonitoring Holz. Hamburg. Online verfügbar unter http://info.eu/downloads/studien_neu_2022/S06%20Altholz%202020.pdf.
- Döring, Przemko; Weimar, Holger; Mantau, Udo (2018c): Einsatz von Holz in Biomasse-Großfeuerungsanlagen 2016. Teilbericht Rohstoffmonitoring Holz. Hamburg.
- Döring, Przemko; Weimar, Holger; Mantau, Udo (2021b): Die energetische Nutzung von Holz in Biomassefeuerungsanlagen unter 1 MW in Nichthaushalten im Jahr 2019. Teilbericht Rohstoffmonitoring Holz. Hamburg.

- Döring, Przemko; Weimar, Holger; Mantau, Udo (2021c): Einsatz von Holz in Biomasse-Großfeuerungsanlagen 2019. Teilbericht Rohstoffmonitoring Holz. Hamburg.
- ee news (22.06.2022): Deutschland: Energiekrise treibt Nachfrage nach Pelletheizungen - Branche steigert Pelletproduktion im 1. Halbjahr auf 1.75 Mio. Tonnen. Online verfügbar unter <https://www.ee-news.ch/de/biomasse/forschung/article/49104/deutschland-energiekrise-treibt-nachfrage-nach-pelletheizungen-branche-steigert-pelletproduktion-im-1-halbjahr-auf-1-75-mio-tonnen>, zuletzt geprüft am 19.12.2022.
- Eppler, Ulrike; Fritsche, Uwe; Ribak, Sina (2021): Zukunftsfähige Bioökonomie. Endbericht. für den NABU - Naturschutzbund Deutschland e.V. Hg. v. IINAS. Online verfügbar unter https://www.nabu.de/imperia/md/content/nabude/biooekonomie/210505_nabu-iinas_biooekonomie-studie.pdf, zuletzt geprüft am 31.01.2023.
- EU (21.10.2023): Richtlinie (EU) 2023/2413 des Europäischen Parlaments und des Rates zur Änderung der Richtlinie (EU) 2018/2001, der Verordnung (EU) 2018/1999 und der Richtlinie 98/70/EG im Hinblick auf die Förderung von Energie aus erneuerbaren Quellen und zur Aufhebung der Richtlinie (EU) 2015/652 des Rates. RED III. Online verfügbar unter https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=OJ:L_202302413, zuletzt geprüft am 09.11.2023.
- European Organisation of the Sawmill Industry (EOS) (2019): Annual Report of The European Sawmill Industry.
- European Organisation of the Sawmill Industry (EOS) (2022): Annual Report of The European Sawmill Industry. Online verfügbar unter https://eos-oes.eu/wp-content/uploads/2023/04/eos-annual-report-2021-2022_web.pdf.
- Eurostat (Hg.) (2023): Joint Forest Sector Questionnaire (JFSQ). Online verfügbar unter [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Glossary:Joint_forest_sector_questionnaire_\(JFSQ\)](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Glossary:Joint_forest_sector_questionnaire_(JFSQ)), zuletzt aktualisiert am 10.08.2023, zuletzt geprüft am 07.12.2023.
- FAO; ITTO; Nations, United (2020): Forest product conversion factors: FAO, ITTO and United Nations.
- FAOSTAT (2016): FOREST PRODUCTS DEFINITIONS.
- FAOSTAT (Hg.) (2022): Forestry Production and Trade. Database. Online verfügbar unter <https://www.fao.org/faostat/en/#data/FO>, zuletzt geprüft am 14.12.2022.
- FAOSTAT (Hg.) (2023): FAOSTAT Forest Product Production Statistics - Data Structure. Online verfügbar unter <https://www.fao.org/forestry/49962-0f43c0da7039a611aa884b3c6c642f4ac.pdf>, zuletzt geprüft am 07.12.2023.
- FNR (Hg.) (2023): Kraftstoffabsatz in Deutschland. Aktuelle Marktsituation 2022. Online verfügbar unter <https://biokraftstoffe.fnr.de/kraftstoffe/aktuelle-marktsituation>.
- ForstBW (Hg.) (2017): Alt- und Totholzkonzept Baden-Württemberg. Online verfügbar unter https://www.forstbw.de/fileadmin/forstbw_pdf/waldnaturschutz/Alt-_und_Totholzkonzept_2017.pdf, zuletzt geprüft am 19.01.2023.
- ForstBW (Hg.) (2022): Naturschutzrelevante Verfahrens- und Qualitätsstandards bei ForstBW im Hinblick auf Alt- und Totholz (AuT-Konzept ForstBW). Online verfügbar unter <https://www.forstbw.de/schuetzen-bewahren/waldnaturschutz/alt-totholzkonzept/aut-konzept-naturschutzrelevante-details/>, zuletzt geprüft am 20.12.2022.
- FSC Deutschland (Hg.) (2020): Umsetzungshilfe. Deutscher FSC-Standard 3-0. Online verfügbar unter https://www.fsc-deutschland.de/wp-content/uploads/Umsetzungshilfe-FSC-Standard-3_0.pdf, zuletzt geprüft am 20.12.2022.
- FSC International (Hg.) (2022): Facts & Figures. Online verfügbar unter <https://connect.fsc.org/impact/facts-figures>, zuletzt aktualisiert am 01.10.2022, zuletzt geprüft am 20.12.2022.
- Gabsdil, Arne (2003): Aufkommen und Verwendung von Rinde. Diplomarbeit im Studiengang Holzwirtschaft. Diplomarbeit. Universität Hamburg, Hamburg.
- Gelabert, Liliana; Labandeira, Xavier; Linares, Pedro (2011): An ex-post analysis of the effect of renewables and cogeneration on Spanish electricity prices. In: *Energy Economics* 33, S59-S65. DOI: 10.1016/j.eneco.2011.07.027.
- Gerber, Kristin; Röhling, Steffi; Dunger, Karsten; Klatt, Susann; Oehmichen, Katja (2018): Regionalisierte Ergebnisse der alternativen WEHAM-Szenarien (Thünen Working Paper, 102). Online verfügbar unter https://literatur.thuenen.de/digbib_extern/dn059991.pdf, zuletzt geprüft am 03.02.2022.

- Glaseapp, S.; Fonseca, M.; Weimar, H.; Döring, P.; Aguilar, F. X. (2021): Conversion factors for residential wood energy in the European Union: an introduction to harmonizing units of measurement. In: *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 138, S. 110491. DOI: 10.1016/j.rser.2020.110491.
- Glaseapp, Sebastian; Döring, Przemko; Christian Blanke; Mantau, Udo (2017): Entwicklung von Holzverwendungsszenarien. Abschlussbericht WEHAM - AP 3.2. Hg. v. Universität Hamburg, Zentrum Holzwirtschaft. Online verfügbar unter https://www.weham-szenarien.de/fileadmin/weham/Ergebnisse/Glaseapp_Doering_Blanke_Mantau_2017_Entwicklung_von_Holzverwendungsszenarien_WEHAM_Projekt_.pdf, zuletzt geprüft am 03.02.2022.
- Granachera, Julia; Celebia, Ayse Dilan; Kermania, Maziar; Marechal, Francois (Hg.) (2019): Potential of hydrothermal black liquorgasification integrated in pulp production plant. THE 32ND INTERNATIONAL CONFERENCE ON EFFICIENCY, COST, OPTIMIZATION, SIMULATION AND ENVIRONMENTAL IMPACT OF ENERGY SYSTEMS. Wroclaw.
- Gurría, P.; Ronzon, Tévèvia; Tamosiunas, S.; López, R.; García Condado, S.; Guillén, J. et al. (2017): Biomass flows in the European Union - The Sankey Biomass diagram - towards a cross-set integration of biomass. Hg. v. JRC (Technical Report).
- Haddaway, N. R.; Macura, B.; Whaley, P.; Pullin, A. S. (2017): ROSES flow diagram for systematic reviews. Version 1.0.
- Hennenberg, K.; Böttcher, H. (2018): Kurzstudie zur Prüfung der derzeitigen Anreizstruktur beim Einsatz von Holz zur energetischen Verwendung auf die Wirksamkeit hinsichtlich der Klima- und Nachhaltigkeitsziele. Hg. v. Öko-Institut e.V. Darmstadt, Berlin. Online verfügbar unter <https://www.oeko.de/fileadmin/oekodoc/Kurzstudie-Anreizstruktur-Holz.pdf>, zuletzt geprüft am 29.11.2021.
- Hetemäki, L.; Lindner, M.; Mavsar, R.; Korhonen, M. (Hg.) (2014): Future of the European Forest-Based Sector: Structural Changes Towards Bioeconomy. European Forest Institute (What Science Can Tell Us, 6).
- Hick, Alexander; Mantau, Udo (2008): Energieholzverwendung in privaten Haushalten. Marktvolumen und verwendete Holzsortimente. Abschlussbericht.
- Hirschler, Olivier; Osterburg, Bernhard; Weimar, Holger; Glaseapp, Sebastian; Ohmes, Marie-Friederike (2022): Peat replacement in horticultural growing media: AVailability of bio-based alternative materials (Thünen Working Paper, 190). Online verfügbar unter https://www.thuenen.de/media/publikationen/thuenen-workingpaper/ThuenenWorkingPaper_190.pdf, zuletzt geprüft am 16.12.2022.
- Infro e.K. (Hg.) (2022): Systemisches Rohstoffmonitoring Holz - Optionen der Verstetigung des Rohstoffmonitoring Holz und Verknüpfung mit statistischen Berichterstattungssystemen. Online verfügbar unter <https://www.fnr.de/ftp/pdf/berichte/22017018.pdf>, zuletzt geprüft am 13.10.2023.
- Iost, Susanne; Geng, Natalia; Schweinle, Jörg; Banse, Martin; Brüning, Simone; Jochem, Dominik et al. (2020): Setting up a bioeconomy monitoring: Resource base and sustainability (Thünen Working Paper, 149). Online verfügbar unter https://literatur.thuenen.de/digbib_extern/dn062442.pdf, zuletzt geprüft am 27.10.2023.
- Jochem, Dominik; Morland, Christian; Glaseapp, Sebastian; Weimar, Holger (2023): Energetischer Holzverbrauch der privaten Haushalte. Projektkurztitel: Energieholz PHH. Hg. v. UBA (Texte, 15/2023). Online verfügbar unter https://literatur.thuenen.de/digbib_extern/dn066028.pdf, zuletzt geprüft am 14.11.2023.
- Jochem, Dominik; Weimar, Holger; Bösch, Matthias; Mantau, Udo; Dieter, Matthias (2015): Estimation of wood removals and fellings in Germany: a calculation approach based on the amount of used roundwood. In: *Eur J Forest Res* 134 (5), S. 869–888. DOI: 10.1007/s10342-015-0896-9.
- Jonsson, R.; Blujdea, V. N.; Fiorese, G.; Pilli, R.; Rinaldi, F.; Baranzelli, C.; Camia, A. (2018): Outlook of the European forest-based sector: forest growth, harvest demand, wood-product markets, and forest carbon dynamics implications. In: *iForest* 11 (2), Artikel 2636, S. 315–328. DOI: 10.3832/ifer2636-011.
- Knauf, Marcus; Hunkemöller, Raphael; Friedrich, Stefan; Mai, Wolfgang; Borchert, Herbert; Bauer, Jürgen (2016): Clusterstudie Forst, Holz und Papier in Bayern 2015. Langfassung. Abschlussbericht. Hg. v. LWF. Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF). Online verfügbar unter https://www.lwf.bayern.de/mam/cms04/service/dateien/clusterstudie2015_langfassung.pdf, zuletzt geprüft am 21.12.2022.
- Lauwaert, Jeroen; Stals, Ingeborg; Lancefield, Christopher S.; Deschaumes, Wesley; Depuydt, Dieter; Vanlerberghe, Brecht et al. (2019): Pilot scale recovery of lignin from black liquor and advanced characterization of the final product. In: *Separation and Purification Technology* 221, S. 226–235. DOI: 10.1016/j.seppur.2019.03.081.
- Mantau, Udo (2012a): Energieholzverwendung in privaten Haushalten 2010. Marktvolumen und verwendete Holzsortimente. Standorte der Holzwirtschaft - Holzrohstoffmonitoring.

- Mantau, Udo (2012b): Holzrohstoffbilanz Deutschland: Entwicklungen und Szenarien des Holzaufkommens und der Holzverwendung von 1987 bis 2015. Hamburg. Online verfügbar unter https://franzjosefadrian.com/wp-content/uploads/2015/09/mantau_holzrohstoffbilanz-2012.pdf.
- Mantau, Udo (2018): Holzrohstoffbilanz Deutschland. Entwicklungen des Holzaufkommens und der Holzverwendung 1987 bis 2016. Schlussbericht.
- Mantau, Udo; Döring, Przemko; Weimar, Holger; Glasenapp, Sebastian; Jochem, Dominik; Zimmermann, Klaus (2018): Rohstoffmonitoring Holz. Erwartungen und Möglichkeiten. Kurzfassung. Hg. v. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR). Gülzow-Prüzen.
- Mantau, Udo; Hick, Alexander (2008): Sägeindustrie - Einschnitt und Sägenebenprodukte.
- Mantau, Udo; Saal, Ulrike; Prins, Kit; Steierer, Florian; Lindner, Marcus; Verkerk, Hans et al. (2010a): EUwood: Real potential for changes in growth and use of EU forests. Final Report. Hamburg/Germany.
- Mantau, Udo; Saal, Ulrike; Prins, Kit; Steierer, Florian; Lindner, Marcus; Verkerk, Hans et al. (2010b): EUwood: Real potential for changes in growth and use of EU forests. Methodology report.
- Mantau, Udo; Sörgel, Christian (2004): Standorte der Holzwirtschaft. Holzwerkstoffindustrie, Holzschliff- und Zellstoffindustrie, Sägeindustrie, Außenhandelsstatistik,
- Mantau, Udo; Sörgel, Christian (2006): Energieholzverwendung in privaten Haushalten. Marktvolumen und verwendete Holzsortimente. Abschlussbericht.
- Mantau, Udo; Weimar, Holger; Kloock, Tobias (2012): Altholz im Entsorgungsmarkt - Aufkommens- und Vertriebsstruktur 2010.
- Mantau, Udo; Weimar, Holger; Wierling, Roland (2002): Standorte der Holzwirtschaft. Holzwerkstoffindustrie, Holzschliff- und Zellstoffindustrie, Sägeindustrie, Außenhandelsstatistik, Abschlussbericht.
- McCusker, Alex (2021): Introduction to the JFSQ. Hg. v. UNECE/FAO. Online verfügbar unter <https://unece.org/forestry-timber/documents/2021/02/presentations/introduction-jfsq-alex-mccusker-unecefao-forestry>.
- Möbius, C. H. (2010): Abwasser der Papier- und Zellstoffindustrie. Biologische Reinigung von Abwässern aus der Erzeugung von Papier und Zellstoff. 4. Auflage. Augsburg. Online verfügbar unter <http://www.cm-consult.de>.
- Morya, Raj; Kumar, Madan; Tyagi, Isha; Kumar Pandey, Ashutosh; Park, Jungsu; Raj, Tirath et al. (2022): Recent advances in black liquor valorization. In: *BIORESOURCE TECHNOLOGY* 350, S. 126916. DOI: 10.1016/j.biortech.2022.126916.
- Mühlenhoff, Jörg; Kajimura, Ryotaro; Boenigk, Nils; Ziegler, David; Witt, Janet (2014): Holzenergie in Deutschland. Status Quo und Potenziale. Agentur für Erneuerbare Energien (Renews Spezial, Sonderausgabe). Online verfügbar unter <https://www.unendlich-viel-energie.de/mediathek/publikationen/holzenergie-update>, zuletzt geprüft am 25.11.2022.
- Nakicenovic, Nebojsa; Lempert, Robert J.; Janetos, Anthony C. (2014): A Framework for the Development of New Socio-economic Scenarios for Climate Change Research: Introductory Essay. In: *Climatic Change* 122 (3), S. 351–361. DOI: 10.1007/s10584-013-0982-2.
- Oehmichen, Katja; Klatt, Susann; Gerber, Kristin; Polley, Heino; Röhling, Steffi; Dunger, Karsten (2018): Die alternativen WEHAM-Szenarien: Holzpräferenz, Naturschutzpräferenz und Trendfortschreibung. Szenarienentwicklung, Ergebnisse und Analyse (Thünen Report, 59). Online verfügbar unter https://literatur.thuenen.de/digbib_extern/dn059875.pdf, zuletzt geprüft am 08.12.2021.
- Panoutsou, Calliope; Langelveld, Hans; Vis, Martijn; Lammens, Tijs; Askew, Melvin; Carrez, Dirk et al. (2016): D8.2 Vision for 1 billion dry tonnes lignocellulosic biomass for biobased economy by 2030 in Europe. Hg. v. EC. S2Biom Project Grant Agreement n°608622.
- PEFC (Hg.) (2021): PEFC and FSC Double Certification (2016 - 2021). PEFC Factsheet - mid 2021. Online verfügbar unter <https://cdn.pefc.org/pefc.org/media/2022-03/e8c7aab3-8ead-4290-ad20-16f53de0a3f1/6d51e062-7233-53e3-9da0-a63ef63f99a1.pdf>, zuletzt geprüft am 20.12.2022.
- PEFC (Hg.) (2022): Facts & Figures. Online verfügbar unter <https://www.pefc.org/discover-pefc/facts-and-figures>, zuletzt aktualisiert am 30.09.2022, zuletzt geprüft am 20.12.2022.
- PEFC Deutschland e.V. (Hg.) (2020): PEFC Waldstandards. PEFC-Standards für Nachhaltige Waldbewirtschaftung. Normatives Dokument PEFC D 1002:2020. Online verfügbar unter https://www.pefc.de/media/filer_public/97/9c/979c94c8-5790-4f8b-9b63-c8970f797dfa/pefc-waldstandard_grafikversion_stand07-2022.pdf, zuletzt geprüft am 20.12.2022.

- Piotrowski, S.; Essel, R.; Carus, M.; Dammer, Lara; Engel, L. (2015): Nachhaltig nutzbare Potenziale für Biokraftstoffe in Nutzungskonkurrenz zur Lebens- und Futtermittelproduktion, Bioenergie sowie zur stofflichen Nutzung in Deutschland, Europa und der Welt. Hg. v. nova-Institut GmbH. Online verfügbar unter <https://renewable-carbon.eu/publications/product/nachhaltig-nutzbare-potenziale-fur-biokraftstoffe-in-nutzungskonkurrenz-zur-lebens-und-futtermittelproduktion-bioenergie-sowie-zur-stofflichen-nutzung-in-deutschland-europa-und-der-welt-%e2%88%92-l/>, zuletzt geprüft am 01.06.2022.
- Riedel, Thomas (2021): Die Bundeswaldinventur. Hg. v. Thünen-Institut für Waldökosysteme. Online verfügbar unter <https://www.thuenen.de/de/themenfelder/waelder/die-bundeswaldinventur>, zuletzt geprüft am 23.01.2023.
- Riedel, Thomas; Hennig, P.; Kroiher, F.; Pollex, H.; Schmitz, F.; Schwitzgebel, F. (2017): Die dritte Bundeswaldinventur BWI 2012. Inventur- und Auswertungsmethoden. Johann Heinrich von Thünen-Institut. Online verfügbar unter https://www.bundeswaldinventur.de/fileadmin/SITE_MASTER/content/Downloads/BWI_Methodenband_web.pdf, zuletzt geprüft am 08.12.2021.
- Rock, Joachim; Dunger, Karsten; Marks, Alexander; Schmidt, Ursula; Seintsch, Björn (2016a): Wald und Rohholzpotenzial der nächsten 40 Jahre. Ausgewählte Ergebnisse der Waldentwicklungs- und Holzaufkommensmodellierung 2013 bis 2052. Hg. v. BMEL. Online verfügbar unter https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/Broschueren/Wald-Rohholzpotential-40Jahre.pdf;jsessionid=FBA06BE014B2CF986B66B6983FEEC8D7.live832?__blob=publicationFile&v=3, zuletzt geprüft am 07.12.2021.
- Rock, Joachim; Gerber, Kristin; Klatt, Susann; Oehmichen, Katja (2016b): Das WEHAM 2012 "Basisszenario": Mittellinie oder Leitplanke? The WEHAM 2012 "Baseline scenario": center line or guardrail? In: *forstarchiv* (87), S. 66–69. DOI: 10.4432/0300-4112-87-66.
- Rosenkranz, Lydia; Seintsch, Björn (2015): Opportunitätskostenanalyse zur Implementierung des naturschutzorientierten Waldbehandlungskonzepts "Neue Multifunktionalität". In: *Landbauforschung - Applied Agricultural and Forestry Research* 65 (3/4), S. 145–160. DOI: 10.3220/LBF1452524672000.
- ROSES (2017): Systematic Review Reporting Standards | ROSES. Online verfügbar unter <https://www.roses-reporting.com/>, zuletzt aktualisiert am 05.12.2022, zuletzt geprüft am 05.12.2022.
- Saal, Ulrike; Iost, Susanne; Weimar, Holger (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, S. 100199. DOI: 10.1016/j.tfp.2022.100199.
- Scheuermann, Anne; Thrän, Daniela; Scholwin, Frank; Dilger, Martin; Falkenberg, Doris; Nill, Moritz; Witt, Janet (2003): Monitoring zur Wirkung der Biomasseverordnung auf Basis des Erneuerbare-ENergien-Gesetzes (EEG). Online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/publikation/long/2438.pdf>, zuletzt geprüft am 24.10.2023.
- Schier, F.; Morland, C.; Janzen, N.; Weimar, Holger (2018): Impacts of changing coniferous and non-coniferous wood supply on forest product markets: a German scenario case study. In: *Eur J Forest Res* 137 (3), S. 279–300. DOI: 10.1007/s10342-018-1111-6.
- Schier, Franziska; Weimar, Holger (2018): Holzmarktmodellierung. Szenarienbasierte Folgenabschätzung verschiedener Rohholzangebotssituationen für den Sektor Forst und Holz (Thünen Working Paper, 91). Online verfügbar unter https://literatur.thuenen.de/digbib_extern/dn059786.pdf, zuletzt geprüft am 03.02.2022.
- Schnell, Sebastian; Hennig, Petra (2019): Totholzvorräte weiterhin auf hohem Niveau. In: *AFZ-DerWald* (14). Online verfügbar unter https://literatur.thuenen.de/digbib_extern/dn061183.pdf, zuletzt geprüft am 20.12.2022.
- Snyder, Hannah (2019): Literature review as a research methodology: An overview and guidelines. In: *Journal of Business Research* 104, S. 333–339. DOI: 10.1016/j.jbusres.2019.07.039.
- Sörgel, Christian; Mantau, Udo; Weimar, Holger (2006): Standorte der Holzwirtschaft - Aufkommen von Sägenebenprodukten und Hobelspänen. Universität Hamburg, Zentrum Holzwirtschaft.
- 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.
- Tandetzki, Julia; Weimar, Holger (2022): Holzpreise: Baustoff und Energieträger. In: *Wirtschaftsdienst* 102 (7), S. 503. DOI: 10.1007/s10273-022-3236-y.
- TI-WF (2023a): Gesamtholzbilanz. Thünen-Institut für Waldökosysteme. Hamburg. Online verfügbar unter <https://www.thuenen.de/de/fachinstitute/waldwirtschaft/zahlen-fakten/holzbilanzen/gesamtholzbilanz>, zuletzt aktualisiert am 2022, zuletzt geprüft am 27.10.2023.

- TI-WF (2023b): Holzeinschlag und Rohholzverwendung. Hg. v. Thünen-Institut für Waldwirtschaft. Hamburg. Online verfügbar unter <https://www.thuenen.de/de/fachinstitute/waldwirtschaft/zahlen-fakten/holzeinschlag-und-rohholzverwendung>, zuletzt geprüft am 20.11.2023.
- TI-WF (2023c): Rohholzbilanz. Bundesrepublik Deutschland in Mio. m³ (r) (Rohholzäquivalent). Online verfügbar unter <https://www.thuenen.de/de/fachinstitute/waldwirtschaft/zahlen-fakten/holzbilanzen/rohholzbilanz>.
- UNECE/FAO (2005): EUROPEAN FOREST SECTOR OUTLOOK STUDY. 1960-2000-2020. ECE/TIM/SP/20 (ISSN 1020 2269).
- UNECE/FAO (Hg.) (2009): Forest Products Annual Market Review 2008-2009 (ECE/TIM/SP/24). Online verfügbar unter https://unece.org/fileadmin/DAM/timber/publications/Final_FPAMR2009.pdf, zuletzt geprüft am 15.12.2022.
- UNECE/FAO (2021): Forest Sector Outlook Study 2020-2040. Vereinte Nationen; FAO. Geneva (Geneva timber and forest study paper). Online verfügbar unter https://unece.org/sites/default/files/2021-11/SP-51-2021-11_0.pdf.
- UNECE/FAO (Hg.) (2022): Structural changes in the forest sector and their long-term consequences for the forest sector. Contribution to the forest sector outlook study 2020-2040 (ECE/TIM/DP, 92). Online verfügbar unter <https://unece.org/sites/default/files/2023-02/DP92-FSOS-2020-2040-structural-changes-web.pdf>, zuletzt geprüft am 11.05.2023.
- UNECE/FAO (Hg.) (2023a): Joint Wood Energy Enquiry (JWEE). Daten 2007 - 2019. Online verfügbar unter <https://unece.org/forests/joint-wood-energy-enquiry>, zuletzt aktualisiert am 12.12.2022, zuletzt geprüft am 26.10.2023.
- UNECE/FAO (2023b): Joint Wood Energy Enquiry (JWEE). User Manual. Online verfügbar unter <https://unece.org/forests/joint-wood-energy-enquiry>, zuletzt aktualisiert am 12.12.2022, zuletzt geprüft am 12.12.2022.
- UNECE/FAO; ITTO; Eurostat (Hg.) (2020): Joint Forest Sector Questionnaire Definitions. Online verfügbar unter <https://unece.org/sites/default/files/2021-04/jq2020def-e.pdf>.
- Unkelbach, Gerd; Hirth, Thomas (2022): Products and applications of different lignins from biorefineries. In: *EFB Bioeconomy Journal* 2, S. 100036. DOI: 10.1016/j.bioeco.2022.100036.
- VDP (Hg.) (2000-2015): Papier - Ein Leistungsbericht.
- VDP (Hg.) (2016- 2021): Papier 2016 - Ein Leistungsbericht.
- Verkerk, P. J.; Fitzgerald, J. B.; Datta, P.; Dees, M.; Hengeveld, G. M.; Lindner, M.; Zudin, S. (2019): Spatial distribution of the potential forest biomass availability in Europe. In: *For. Ecosyst.* 6 (1). DOI: 10.1186/s40663-019-0163-5.
- Weimar, Holger (2011): Der Holzfluss in der Bundesrepublik Deutschland 2009. Methode und Ergebnis der Modellierung des Stoffflusses von Holz. Johann Heinrich von Thünen-Institut, Institut für Ökonomie der Forst- und Holzwirtschaft. Hamburg (2011/06). Online verfügbar unter https://literatur.thuenen.de/digbib_extern/bitv/dn049777.pdf, zuletzt geprüft am 07.12.2022.
- Weimar, Holger (2020): Holzbilanzen 2017 bis 2019 für die Bundesrepublik Deutschland. Braunschweig: Thünen-Institut, Bundesforschungsinstitut für Ländliche Räume, Wald und Fischerei (Thünen Working Paper, 153).
- Weimar, Holger; Döring, Przemko; Mantau, Udo (2012): Holzstoffmonitoring. Einsatz von Holz in Biomasse-Großfeuerungsanlagen 2011. Abschlussbericht. Universität Hamburg, Zentrum Holzwirtschaft; Thünen-Institut für Waldwirtschaft.
- Weimar, Holger; Mantau, Udo (2005): Altholz im Entsorgungsmarkt - Aufkommens- und Vermarktungsstruktur. Abschlussbericht.
- Weimar, Holger; Mantau, Udo (2006): Einsatz von Holz in Biomasse- und Holzfeuerungsanlagen. Standorte der Holzwirtschaft. Abschlussbericht.
- Weimar, Holger; Mantau, Udo (2008): Altholz im Entsorgungsmarkt - Aufkommens- und Vermarktungsstruktur.

Anhang

Anhang Tabelle 1: Suchbegriffe (search terms) für Literatur zu Aufkommen und Verwendung von Holz in Deutschland in der Zukunft

DATENBANK	SPRACHE	SEARCH STRING
Web of Science	Englisch	TS= (use* OR utili*ation OR availability) AND TS=(wood* OR timber OR *biomass*) AND TS= (scenario* OR future* OR forecast* OR estimat*) AND TS= (German*)
	Deutsch	TS= (Nutz* OR Verwend* OR verf?g*) AND TS=(Holz* OR *holzartig* OR Biomass* OR Ressouc*) AND TS= (Szenari* OR *zuk?nft* OR *sch?tz* OR *sch?tz* OR *potenzial*)
Scopus	Englisch	TITLE-ABS-KEY (*use* OR utili*ation OR availability*) AND TITLE-ABS-KEY (wood* OR timber OR *biomass*) AND TITLE-ABS-KEY (scenario* OR future* OR forecast* OR estimat*) AND TITLE-ABS-KEY (german*)
	Deutsch	TITLE-ABS-KEY (*nutz* OR verwend* OR verfüg*) AND TITLE-ABS-KEY (holz* OR *holzartig* OR biomass* OR ressourc*) AND TITLE-ABS-KEY (szenari* OR zuk?nft* OR prognos* OR *sch?tz* OR *potenzial*)
Google Scholar	Deutsch	Holzverwendungsszenarien UND Holznutzungsszenarien

Quelle: Eigene Darstellung

Anhang Tabelle 2: Suchbegriffe (search terms) für Literatur zu Aufkommen und Verwendung von Holz in der EU-27 in der Zukunft

Datenbank	SEARCH STRING
Web of Science	TS=("wood use scenario*" OR "wood consumption scenario*" OR "wood utili*ation scenario*" OR "timber scenario*" OR "timber estimation" OR "wood estimation*" OR "wood availability" OR "timber availability")
Scopus	TITLE-ABS-KEY ("wood use scenario*" OR "wood consumption scenario*" OR "wood utili*ation scenario*" OR "timber scenario*" OR "timber estimation" OR "wood estimation*" OR "wood availability" OR "timber availability")
Google Scholar	wood use scenario Europe AND wood utilisation scenario Europe

Quelle: Eigene Darstellung

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

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

Bereits in dieser Reihe erschienene
Bände finden Sie im Internet unter
www.thuenen.de

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

Zitationsvorschlag – *Suggested source citation:*
Iost S, Glasenapp S, Jochem D, Shmyhelska L, Weimar H (2024) Holzaufkommen
und -verwendung in Deutschland - Entwicklung seit 2000 und Ausblick bis 2040.
Braunschweig: Johann Heinrich von Thünen-Institut, 66 p, Thünen Working
Paper 235, DOI:10.3220/WP1710841727000

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

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



Thünen Working Paper 235

Herausgeber/Redaktionsanschrift – *Editor/address*

Johann Heinrich von Thünen-Institut
Bundesallee 50
38116 Braunschweig
Germany

thuenen-working-paper@thuenen.de
www.thuenen.de

DOI:10.3220/WP1710841727000
urn:nbn:de:gbv:253-202403-dn067800-8