

Holzbasierende Bioökonomie Baden-Württemberg: Analyse der Datenlage zu Holz-Stoffströmen

Kurzstudie

Durchgeführt durch die Hochschule für Forstwirtschaft Rottenburg

Autoren: M. Sc. Johanna Eichermüller, Prof. Dr.-Ing. Harald Thorwarth

Stand: Mai 2022

Gefördert durch

Plattform Erneuerbare Energien Baden-Württemberg e.V.

mit Unterstützung durch:

Deutscher Säge- und Holzindustrie Bundesverband e.V. (DeSH)

Holzenergie-Fachverband Baden-Württemberg e.V. (HEF)



Übersicht (Kurzzusammenfassung)

Die großen globalen Herausforderungen für Gesellschaften im 21. Jahrhundert umfassen die Begrenzung des Klimawandels und die Anpassung an seine Folgen sowie die Knappheit von Ressourcen wie z. B. Metallen und mineralischen Rohstoffen oder Flächen für Siedlung und die Produktion von Agrargütern. Daraus resultieren Gefahren wie der Verlust von Biodiversität und die Abhängigkeit von Importgütern aus bestimmten Regionen der Erde. Einzelne Regierungen und die Weltgemeinschaft versuchen, durch politische Strategien und internationale Verträge diesen Entwicklungen gegenzusteuern. Darunter fallen beispielsweise das Pariser Klimaabkommen, die Ziele für nachhaltige Entwicklung der Vereinten Nationen (Agenda 2030) und der Green Deal der Europäischen Kommission. Als eine mögliche Lösungsstrategie gilt das Konzept der Bioökonomie.

Bioökonomie beschreibt eine Wirtschaftsform, die im Gegensatz zu endlichen fossilen und mineralischen Ressourcen auf der Nutzung nachwachsender Rohstoffe beruht. Die Leitplanken für ein zukunftsfähiges Wirtschaftssystem bilden biologische Prozesse und Prinzipien wie z. B. natürliche Stoffkreisläufe. Voraussetzungen für diese Form des Wirtschaftens sind ein gesellschaftlicher Wertewandel sowie eine bessere Vernetzung von Forschung und Wirtschaft. Neben landwirtschaftlichen Erzeugnissen, biogenen Rest- und Abfallstoffen und anderer Biomasse, z. B. Algen, ist Holz ein zentraler Rohstoff der Bioökonomie. Holznutzung ist ein elementarer Bestandteil für den Erhalt der bestehenden (Kultur-)Wälder und ihre Anpassung an das sich verändernde Klima. Nur durch eine nachhaltige Bewirtschaftung kann langfristig die Fähigkeit des Ökosystems Wald erhalten werden, CO₂ aus der Luft zu binden.

Eine wichtige Komponente der kreislauforientierten Bioökonomie sind regional organisierte Stoffströme. Dies erfordert ein intelligentes Management der natürlichen Ressourcen und eine genaue Kenntnis der Materialflüsse entlang der Wertschöpfungskette. Die vorliegende Studie stellt die Stoffströme in der holzbasierten Bioökonomie, von der Rohstoffquelle Wald, über die stoffliche Nutzung, bis zur energetischen Verwertung dar.

Die Analyse verfügbarer Daten zu Holzaufkommen und –nutzung zeigt, dass die Kaskadennutzung des Rohstoffs Holz bereits eine hohe Bedeutung hat. Die stoffliche und energetische Nutzung von Holz gehen Hand in Hand. Frischholz wird, soweit es die Qualität erlaubt, zunächst der stofflichen Nutzung zugeführt. Nebenprodukte, Rest- und Abfallstoffe werden energetisch verwertet. Dabei stellt Holz mit einem Anteil von ca. 80 % an der erneuerbar bereitgestellten Wärme den wichtigsten erneuerbaren Energieträger und derzeit eine der tragenden Säulen der Energiewende dar.

Die Ergebnisse zeigen, dass zusätzliche Nutzungspotenziale vorhanden sind. Die jährlich nutzbaren Mengen an Frischholz sind begrenzt durch den nachhaltig nutzbaren Zuwachs. Offizielle Erhebungen im Rahmen der Bundeswald- und der Kohlenstoffinventur des Bundes zeigen jedoch, dass dieses nachhaltig verfügbare Potenzial in den letzten Jahren nur zu etwa drei Viertel genutzt wurde. Zusätzliche Potenziale ergeben sich aus Effizienzsteigerungen, v.a. in der energetischen Nutzung.

Die verfügbaren Daten sind jedoch mit vielen Unsicherheiten wie z. B. dem Einfluss der Klimaveränderungen auf die Waldentwicklung behaftet. Auf nationaler Ebene weist eine Holzbilanz mengenmäßig Holzaufkommen und –nutzung aus. Genauere Informationen zu Mengen und Qualitäten einzelner Stoffströme sind nur für einzelne Sektoren, z. B. den Altholzmarkt oder die Säge- und Holzwerkstoffindustrie vorhanden. Ein direkter Vergleich verschiedener Sektoren oder Datenquellen ist schwierig, da die Einheiten (Volumen, Gewicht, CO₂ oder Energie) und Bezugsgrößen variieren.

Die Landesstrategie „Nachhaltige Bioökonomie Baden-Württemberg“ formuliert als Ziele unter anderem die nachhaltige Erschließung von Rohstoffpotenzialen und ein intelligentes Management möglichst regionaler Stoffkreisläufe. Die vorhandenen Statistiken, die in der vorliegenden Studie aufbereitet wurden, sind als Grundlage für eine wissensbasierte Bioökonomie nicht ausreichend. Beispiele aus den Nachbarländern Österreich und Schweiz sowie aus Bayern zeigen, wie eine aussagekräftige Holz-Statistik auch für Baden-Württemberg aufgebaut sein könnte. Eine solche Übersicht ist grundlegend für Unternehmen, um Planungs- und Investitionsentscheidungen im Sinne der Bioökonomie auf einer verlässlichen Datenbasis treffen zu können. Eine solche Grundlage ist auch wesentlich für die politische Weichenstellung, z. B. bei der Weiterentwicklung von Förderbedingungen oder möglichen Einschränkungen der Holznutzung.

Inhalt

Übersicht (Kurzzusammenfassung).....	II
Inhalt	IV
Abbildungsverzeichnis	V
Tabellenverzeichnis	VI
Abkürzungsverzeichnis	VI
1. Einleitung: Was heißt eigentlich Bioökonomie.....	1
1.1. Begriffsdefinition	1
1.2. Bioökonomie-Strategien.....	1
1.2.1. Global	1
1.2.2. Europäische Union	3
1.2.3. Deutschland	3
1.2.4. Baden-Württemberg.....	5
1.3. Holz – Klimaschützer und Rohstoff der Bioökonomie	6
1.4. Ziel der Studie	8
2. Stoffströme in der holzbasierten Bioökonomie	9
2.1. Übersicht	9
2.2. Vorratsentwicklung, Zuwachs und Ernte	11
2.3. Stoffliche Nutzung	16
2.4. Altholzaufkommen und -Verwendung.....	18
2.5. Energetische Verwertung	20
2.6. Gesamtbetrachtung in der Holzrohstoffbilanz	28
3. Vorbilder und Beispiele	30
3.1. Schweiz.....	30
3.2. Österreich.....	31
3.3. Bayern	32
4. Bewertung der Datenlage.....	34
5. Fazit	36
Literaturverzeichnis.....	37

Abbildungsverzeichnis

ABBILDUNG 1: WECHSELWIRKUNGEN ZWISCHEN BIOÖKONOMIE-AKTIVITÄTEN UND ZIELEN FÜR NACHHALTIGE ENTWICKLUNG.....	2
ABBILDUNG 2: DREI AKTIONEN DER EUROPÄISCHEN BIOÖKONOMIE-STRATEGIE	3
ABBILDUNG 3: LEITLINIEN, ZIELE UND UMSETZUNGSWERKZEUGE DER DEUTSCHEN BIOÖKONOMIE-STRATEGIE	3
ABBILDUNG 4: ZIELE, HANDLUNGSFELDER UND AUSZUG AN MAßNAHMEN AUS DER BIOÖKONOMIE-STRATEGIE BADEN- WÜRTTEMBERG	5
ABBILDUNG 5: CO ₂ -KREISLAUF IN EINEM NICHT BEWIRTSCHAFTETEN WALD IM VERGLEICH ZU EINEM NACHHALTIG BEWIRTSCHAFTETEN WALD	6
ABBILDUNG 6: FORSCHUNGSFRAGE	8
ABBILDUNG 7: ÜBERSICHT DER HOLZSTRÖME IN DER HOLZBASIERTEN BIOÖKONOMIE.....	9
ABBILDUNG 8: EINTEILUNG DER ABSCHNITTE EINES BAUMS.....	10
ABBILDUNG 9: DER AUFBAU AN HOLZVORRAT IM WALD ERGIBT SICH AUS DEM JÄHRLICHEN ZUWACHS ABZÜGLICH GENUTZTER MENGEN UND TOTHOLZ, DAS ALS LEBENSRAUM UND DÜNGER IM WALD VERBLEIBT.	11
ABBILDUNG 10: HOLZEINSCHLAG IM ZEITVERLAUF	13
ABBILDUNG 11: HOLZEINSCHLAG IM JAHR 2020 IN DEUTSCHLAND (DE) UND BADEN-WÜRTTEMBERG (BW). GESAMTEINSCHLAG IN MIO. M ³ OHNE RINDE UNTERSCHIEDEN NACH HOLZARTENGRUPPEN, HOLZSORTEN UND WALDEIGENTUMSARTEN.....	14
ABBILDUNG 12: UNGENÜGENDE ERFASSUNG VON WALDRESTHOLZ-SORTIMENTEN	15
ABBILDUNG 13: VERWENDUNGSWEGE DES ROHSTOFFS HOLZ	16
ABBILDUNG 14: MENGENMÄßIGE ERFASSUNG DER HOLZVERWENDUNG IN DEUTSCHLAND	17
ABBILDUNG 15: ALTHOLZKATEGORIEN AI-A IV DER ALTHOLZVERORDNUNG (ALTHOLZV).....	18
ABBILDUNG 16: ALTHOLZAUFKOMMEN UND -VERWENDUNG IN DEUTSCHLAND 2016	20
ABBILDUNG 17: ENDENERGIEVERBRAUCH BW 2020. ANTEIL ERNEUERBARER ENERGIEN IN DEN SEKTOREN	21
ABBILDUNG 18:ENERGIEHOLZBILANZ DEUTSCHLAND - EINGESetzte SORTIMENTE UND VERWENDUNG	22
ABBILDUNG 19: HOLZENERGIE-POTENZIALE IN BADEN-WÜRTTEMBERG	24
ABBILDUNG 20: HOLZROHSTOFFBILANZ IN DEUTSCHLAND FÜR DAS JAHR 2016	28
ABBILDUNG 21: HOLZSTRÖME IN ÖSTERREICH.....	31
ABBILDUNG 22: HOLZSTRÖME IN ÖSTERREICH - ENERGETISCHE VERWENDUNG	32
ABBILDUNG 23: DIE STOFFSTRÖME DER STOFFLICHEN UND ENERGETISCHEN HOLZVERWENDUNG IN BAYERN IM JAHR 2018.....	33

Tabellenverzeichnis

TABELLE 1: WICHTIGSTE KENNZAHLEN AUS DER BUNDESWALD- UND DER KOHLENSTOFFINVENTUR FÜR DIE PERIODEN 2002-2012 UND 2012-2017	13
TABELLE 3: VERFAHREN FÜR DIE STOFFLICHE VERWERTUNG VON ALTHOLZ NACH ANHANG I ALTHOLZV	19
TABELLE 4: ANLAGENLISTE HOLZHEIZ- UND -HEIZKRAFTWERKE IN BADEN-WÜRTTEMBERG	25
TABELLE 5: UNTERSUCHUNGSRAHMEN UND BERECHNUNGSMETHODE DER SCHWEIZERISCHEN HOLZENERGIESTATISTIK	30

Abkürzungsverzeichnis

EC.....	<i>Europäische Kommission</i>	SDGs.....	<i>Sustainable Development Goals</i>
fm	<i>Festmeter</i>	UM BW.....	<i>Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg</i>
FWL.....	<i>Feuerungswärmeleistung</i>		
MLR BW	<i>Ministerium für Ernährung, Ländlichen Raum und Verbraucherschutz Baden-Württemberg</i>		

1. Einleitung: Was heißt eigentlich Bioökonomie

1.1. Begriffsdefinition

Im Gegensatz zur etablierte Form des Wirtschaftens, die auf der Nutzung der endlichen fossilen und mineralischen Ressourcen des Planeten basiert, beruht das Konzept der Bioökonomie auf der Nutzung nachwachsender Rohstoffe. Voraussetzungen für diese Wirtschaftsform sind sowohl ein gesellschaftlicher Wertewandel zu Gunsten nachhaltiger Produktions- und Konsummuster sowie eine bessere Vernetzung von Forschung und Wirtschaft. Auf diese Weise wird erwartet, dass ein zukunftsfähiges Wirtschaftssystem auf Basis biologischer Stoffe, Prozesse und Prinzipien erreicht werden kann. Nach dem Vorbild natürlicher Stoffkreisläufe wird in einer Bioökonomie Abfall vermieden und es wird eine Kreislaufwirtschaft etabliert (UM BW und MLR BW 2019; StMWi Bayern 2020; BMBF und BMEL 2020). Mehrere Strategiepapiere auf verschiedenen Ebenen zeichnen ein Bild einer großen gesellschaftlichen Transformation, die alle Lebens- und Wirtschaftsbereiche umfasst. Diese werden im Folgenden näher erläutert.

Zu den nachwachsenden Rohstoffen, die die Grundlage dieser Wirtschaftsform bilden, zählt neben landwirtschaftlich erzeugter Biomasse, biogenen Rest- und Abfallstoffen und anderer Biomasse, z. B. aus Algen, auch Holz. Daher fokussiert die vorliegende Studie den Rohstoff Holz als Grundlage für verschiedene Wirtschaftszweige, im Folgenden als holzbasierte Bioökonomie bezeichnet.

Im wissenschaftlichen bzw. im politischen Kontext kursieren Definitionen des Begriffs der (holzbasierten) Bioökonomie, die sich hinsichtlich der Anforderungen an Nachhaltigkeitskriterien, Innovation, und dem Einsatz biotechnologischer Verfahrensweisen unterscheiden. Allen Definitionen zu Grunde liegt die Schaffung von Mehrwert in einer Region durch Produkte bzw. eine Wertschöpfungskette, an deren Anfang ein nachwachsender Rohstoff steht. Die Forst- und Holzwirtschaft erfüllt viele, wenn auch nicht alle der oben genannten Punkte und kann der holzbasierten Bioökonomie zugeordnet werden (Hafner et al. 2021).

1.2. Bioökonomie-Strategien

1.2.1. Global

Der Begriff der Bioökonomie hat sich weltweit und über alle Ebenen (Vereinte Nationen, OECD, G7, EU, Einzelstaaten und Länder) zu einem politisch-strategischen Ansatz entwickelt. Ziel ist es, Wirtschaftssysteme weltweit hin zu Ressourcen- und Klimaschutz zu entwickeln und zusätzlich ethische und soziale Aspekte einzubeziehen.

Die Europäische Kommission (EC) fasst die Herausforderungen, denen die Menschheit im 21. Jahrhundert gegenübersteht und die Lösungsansätze zusammen: *„Wir leben in einer Welt mit begrenzten Ressourcen. Globale Herausforderungen wie der Klimawandel, die Zerstörung von Böden und Ökosystemen in Verbindung mit einer wachsenden Bevölkerung zwingen uns neue*

Produktions- und Konsummöglichkeiten zu finden, die die ökologischen Grenzen unseres Planeten respektieren. Gleichzeitig ist die Notwendigkeit, Nachhaltigkeit zu erreichen ein starker Anreiz zur Modernisierung unserer Industrien und zur Stärkung der Position Europas in einer äußerst wettbewerbsfähigen globalen Wirtschaft und damit den Wohlstand seiner Bürgerinnen und Bürger zu sichern. Um diese Herausforderungen zu bewältigen, müssen wir die Art und Weise, wie wir Lebensmittel, Produkte und Materialien in gesunden Ökosystemen produzieren und verbrauchen verbessern - durch eine nachhaltige Bioökonomie“ (EC 2018).

Während es das Ziel der Bioökonomie ist, die Nutzung fossiler Ressourcen durch erneuerbare Rohstoffe zu ersetzen, definieren die Ziele für nachhaltige Entwicklung (engl. *Sustainable Development Goals* SDGs) den Rahmen für eine ganzheitlich zukunftsfähige globale Entwicklung. Diese Ziele wurden im Jahr 2015 als „Agenda 2030 für nachhaltige Entwicklung“ von der Weltgemeinschaft beschlossen und lösen die Millenniums-Entwicklungsziele ab (United Nations General Assembly 2015).



Abbildung 1: Wechselwirkungen zwischen Bioökonomie-Aktivitäten und Zielen für nachhaltige Entwicklung

Wissenschaftliche Analysen zeigen, dass Aktivitäten im Bereich der Bioökonomie sowohl positive als auch negative Auswirkungen auf die Erreichung der SDGs haben können (Abbildung 1). Betroffen sind die Ziele 1 (Armut in jeder Form und überall beenden), 2 (Ernährung weltweit sichern), 3 (Gesundheit und Wohlergehen), 6 (Ausreichend Wasser in bester Qualität), 13 (Weltweit Klimaschutz umsetzen), 14 (Leben unter Wasser schützen), 15 (Leben an Land), 7 (Bezahlbare und saubere Energie), 9 (Industrie, Innovation und Infrastruktur), 12 (Nachhaltig produzieren und konsumieren). Während die Ziele für eine saubere industrielle Produktion durch bioökonomische Aktivitäten stark unterstützt werden, sind mit Blick auf die Erreichung der sozioökonomischen und ökologischen Ziele zusätzliche Regulierungen und Anstrengungen nötig, um die Nachhaltigkeit der Aktivitäten und den Einklang mit den international vereinbarten Zielen zu gewährleisten (Heimann 2019).

1.2.2. Europäische Union

Der europäische Bioökonomie-Begriff erfasst alle Sektoren und Systeme, die auf biologischen Ressourcen (Tiere, Pflanzen, Mikroorganismen und abgeleitete Biomasse, einschließlich organische Abfälle) basieren. Der Begriff umfasst und vernetzt Land- und Meeresökosysteme und die von ihnen erbrachten Leistungen; alle Primärproduktionssektoren, die biologische Ressourcen nutzen und produzieren (Landwirtschaft, Forstwirtschaft, Fischerei und Aquakultur) sowie alle Wirtschafts- und Industriesektoren, die biologische Ressourcen und Prozesse zur Herstellung von Lebensmitteln, Futtermitteln, biobasierten Produkten, Energie und Dienstleistungen einsetzen. Um erfolgreich zu sein, muss die europäische Bioökonomie Nachhaltigkeit und Kreislaufwirtschaft in ihren Mittelpunkt stellen. Ziele sind die Modernisierung von Industrie und Primärproduktion, Umweltschutz und Förderung der biologischen Vielfalt (EC 2018).

Im Jahr 2012 wurde erstmals eine Bioökonomie-Strategie durch die EC vorgelegt. Diese wurde im Jahr 2018 aktualisiert und stützt sich auf drei Aktionen (Abbildung 2). Der Green Deal aus dem Jahr 2021 betont die Möglichkeiten und Chancen, die sich für Wirtschaftswachstum und klimafreundliche Entwicklung auf Basis nachhaltiger Ressourcen und Technologien ergeben. Dadurch erhält die Bioökonomie-Strategie zusätzlich politisches Gewicht.

Aktion 1	Aktion 2	Aktion 3
Stärkung und Ausbau der biobasierten Sektoren, Erschließung von Investitionen und Märkten	Lokale Bioökonomien rasch in ganz Europa einführen	Die ökologischen Grenzen der Bioökonomie verstehen

Abbildung 2: Drei Aktionen der europäischen Bioökonomie-Strategie

1.2.3. Deutschland

Die Bioökonomie-Strategie der deutschen Bundesregierung definiert Leitlinien, Ziele und Werkzeuge zur Umsetzung (Abbildung 3). Übergeordnetes Ziel ist es, Ökonomie und Ökologie für ein nachhaltiges Wirtschaften zu verbinden. Dafür umfasst die Strategie eine wissensbasierte Erzeugung, Erschließung und Nutzung biologischer Ressourcen, Prozesse und Systeme um Produkte, Verfahren und Dienstleistungen in allen wirtschaftlichen Sektoren im Rahmen eines zukunftsfähigen Wirtschaftssystems bereitzustellen (BMBF und BMEL 2020).

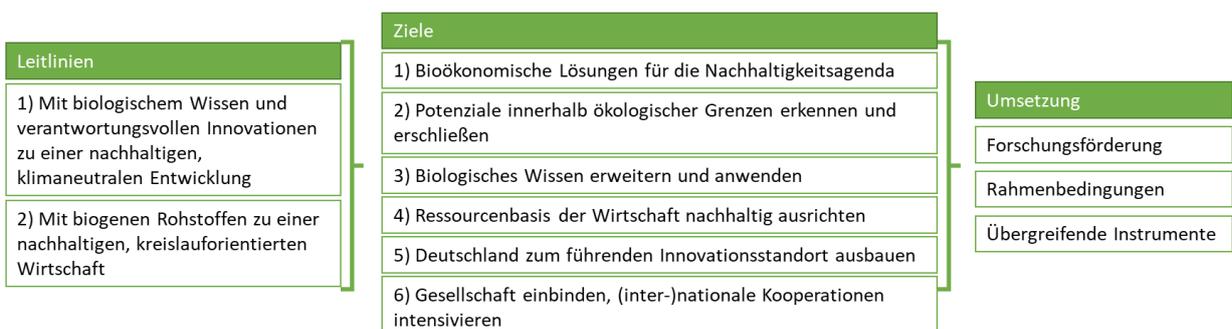


Abbildung 3: Leitlinien, Ziele und Umsetzungswerkzeuge der deutschen Bioökonomie-Strategie

Für die Forstwirtschaft und Holznutzung sind v. a. Ziel 2 und Ziel 4 relevant. Holz als heimischer, nachwachsender Rohstoff mit vielfältigen Anwendungsmöglichkeiten spielt eine Schlüsselrolle bei der Aufgabe, die Ressourcenbasis der Wirtschaft nachhaltig auszurichten. Um die nachhaltig verfügbaren Holzmengen optimal nutzen zu können ist es jedoch unerlässlich, die Nutzungspotenziale innerhalb ökologischer Grenzen zu erkennen und diese dann zu erschließen.

Ziel 2: Potenziale der Bioökonomie innerhalb ökologischer Grenzen erkennen und erschließen

Die ersten drei Handlungsfelder, die dieses Ziel definiert, (I) Produktionssysteme in ökosystemaren Zusammenhängen verstehen, (II) Zielkonflikte und Wechselwirkungen erforschen, sowie (III) Ökonomie und Ökologie in ganzheitlichen Ansätzen integrieren sind im Kontext der deutschen Forstwirtschaft bereits gut erforscht und werden zunehmend in der Praxis implementiert. Darauf geht Kapitel 2 noch weiter ein. Im vierten Handlungsfeld soll ein umfassendes Monitoring etabliert, Biomasseströme gemessen und bewertet, sowie vergleichende Nachhaltigkeitsbilanzierungen vorgenommen werden. Hier herrscht aus der Perspektive der Forstwirtschaft und Holznutzung der größte Entwicklungs- und Handlungsbedarf.

Ziel 4: Ressourcenbasis der Wirtschaft nachhaltig ausrichten

Dieses Ziel definiert als Handlungsfelder die nachhaltige Erzeugung, Bereitstellung und Nutzung biogener Rohstoffe und Nebenerzeugnisse in neuartigen Kreisläufen. Dadurch soll die Abhängigkeit unserer Gesellschaft von fossilen Rohstoffen reduziert werden. Besonders ländliche Räume können vom Potenzial der Bioökonomie für ihre Entwicklung profitieren. Zudem gilt es, landwirtschaftlich nutzbare Böden zu schützen und die Bodenfruchtbarkeit zu erhalten. Unter hohem Energieaufwand synthetisch hergestellte mineralische Düngemittel müssen in Zukunft zunehmend durch organische Düngemittel sowie Bodenverbesserungsmittel ersetzt werden. Hierfür eignen sich Produkte aus der Holznutzung wie z. B. Holzasche und Pflanzenkohle. Grundsätzlich bietet diese Anwendung großes Potenzial, jedoch müssen Schadstoffeinträge oder andere unerwünschte Effekte auf den Boden zuverlässig ausgeschlossen werden. Im Sinne einer Kreislaufschließung sind Methoden zu entwickeln, die anorganischen Elemente aus Holzaschen wiederzugewinnen und als Pflanzennährstoff oder Rohstoff für die industrielle Verwendung einzusetzen.

1.2.4. Baden-Württemberg

Die ressortübergreifende Landesstrategie nachhaltige Bioökonomie wurde vom Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg (UM BW) und dem Ministerium für Ernährung, Ländlichen Raum und Verbraucherschutz Baden-Württemberg (MLR BW) im Juni 2019 gemeinsam vorgelegt. Sie soll den notwendigen Wandel zu einer auf erneuerbaren und biologischen Ressourcen beruhenden, rohstoffeffizienten und kreislauforientierten Wirtschaft unterstützen (UM BW und MLR BW 2019). Dafür definiert sie Ziele, aus denen sich Handlungsfelder und konkrete Maßnahmen ableiten (Abbildung 4).



Abbildung 4: Ziele, Handlungsfelder und Auszug an Maßnahmen aus der Bioökonomie-Strategie Baden-Württemberg

Die Nutzung und Konversion von Agrar- und Forstbiomasse sowie Reststoffen aus der land- und forstwirtschaftlichen Produktion und der Abfallwirtschaft bietet ein erhebliches Entwicklungspotenzial. Als Wachstumsmärkte und innovative Technologien werden beispielsweise Innovationen entlang der Lebensmittelwertschöpfungskette und biotechnologisch oder mit Hilfe von Mikroorganismen hergestellte Fein- und Spezialchemikalien genannt. Mit Fokus auf den Rohstoff Holz werden neue Produktionssysteme und Konversionsverfahren sowie eine Kreislaufführung von Nähr- und Rohstoffen über die hochwertige Nutzung von Nebenprodukten, Reststoffen, Abfällen, Abwässern und CO₂ angestrebt.

Ein intelligentes Management von natürlichen Ressourcen und (regionalen) Stoffströmen bildet dabei die Grundlage für die Bereitstellung von Nahrungs- und Futtermitteln sowie Materialien und Rohstoffen für die stoffliche und energetische Nutzung. Die Stoffströme sind dabei möglichst zirkulär ausgerichtet. Sie müssen zwischen ländlichen, urbanen und industriellen Räumen in so optimiert werden, dass sich eine stärkere Kreislaufführung der Roh- und Nährstoffe zwischen den drei Räumen etabliert. Um diese Ströme lenken und optimieren zu können ist es allerdings essentiell, sie erst einmal zu identifizieren und ihre Quantität und Qualität zu bewerten.

1.3. Holz – Klimaschützer und Rohstoff der Bioökonomie

In der öffentlichen Diskussion wird zunehmend die Frage aufgeworfen, ob Holz überhaupt genutzt werden darf oder ob Wälder nicht eher zu Gunsten des Umwelt- und Klimaschutzes aus der Nutzung genommen und „sich selbst überlassen“ werden sollten. Dabei ist Holznutzung essentiell, um den Wald als wichtige CO₂-Senke zu erhalten und deshalb unerlässlich für den Klimaschutz. Dies zeigt folgendes Beispiel: In einem nicht bewirtschafteten Wald wechseln sich die natürlichen Lebenszyklus-Phasen (Verjüngung, Wachstum, Zerfall) ab (Abbildung 5). Der während der Wachstumsphase gebundene Kohlenstoff wird beim Verrotten des Holzes wieder in die Umwelt abgegeben. Der CO₂-Kreislauf ist geschlossen. D.h., in diesem Szenario bleibt die Gesamtmenge an Kohlenstoff, die im System Wald gespeichert ist, im Zeitverlauf in etwa gleich groß. Allerdings erhöht sich mit zunehmendem Alter der Bestände und unter dem Einfluss des Klimawandels das Risiko für großflächige Schadereignisse und damit für die ungewollte Freisetzung von CO₂. Es gibt keine Substitution fossiler Roh- und Brennstoffe durch die Nutzung des nachwachsenden Rohstoffs Holz.

Dem gegenüber wird der Wald bei nachhaltiger Bewirtschaftung möglichst optimal in der Wachstumsphase gehalten und bindet so effektiver CO₂ aus der Atmosphäre. Jedes Jahr wird nur ein Teil des Zuwachses geerntet, die verbleibenden Bäume im Bestand binden weiterhin CO₂. Auf Ebene des Ökosystems Wald bleibt der CO₂-Speicher auf einem stabilen Niveau erhalten. Durch die Nutzung entsteht ein zusätzlicher, langlebiger Kohlenstoffspeicher in Form von Holzprodukten. Der wichtigste Beitrag der nachhaltigen Forstwirtschaft zum Klimaschutz besteht aus der Substitution fossiler Brennstoffe andere energieintensive Materialien (z. B. Stahl, Beton) durch den nachwachsenden Rohstoff Holz. Dieser, hier relativ einfach dargestellte Zusammenhang wurde in letzter Zeit auch in einigen wissenschaftlichen Publikationen detailliert untersucht (Schulze et al. 2020; Schulze et al. 2021; Churkina et al. 2020; Bolte et al. 2021; Wern et al. 2021).

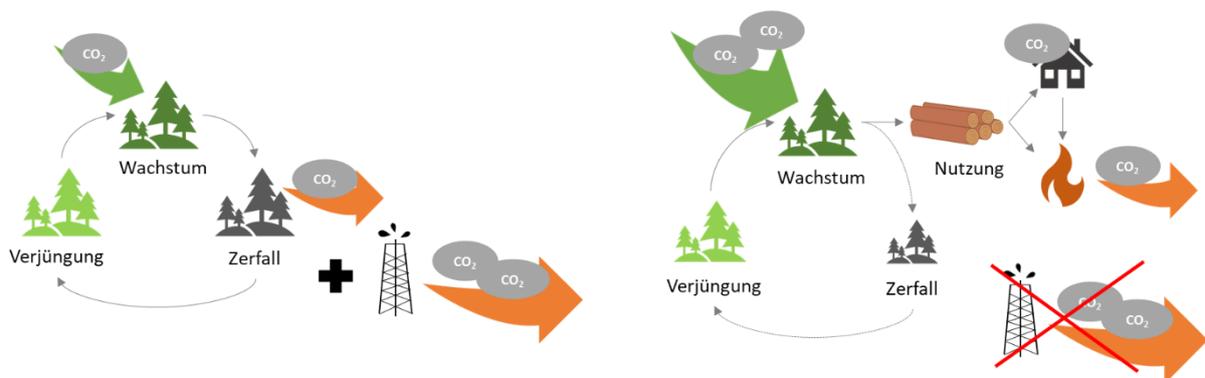


Abbildung 5: CO₂-Kreislauf in einem nicht bewirtschafteten Wald (links) im Vergleich zu einem nachhaltig bewirtschafteten Wald (rechts)

Zusammengefasst ist Holz ein idealer Rohstoff für die Bioökonomie. Die Nutzung des nachwachsenden Rohstoffs ermöglicht sowohl die stoffliche Substitution mineralischer und fossiler Materialien als auch die energetische Substitution fossiler Brennstoffe durch Energieholz, das als Koppelprodukt bei der Verarbeitung oder als Abfall am Ende der Nutzungskaskade anfällt. Die Forst- und Holzwirtschaft sowie nachgelagerte Branchen wie die Holzenergie verfügen in diesem Zusammenhang über Erfahrung und Know-how. Ausgereifte Technologien treffen hier auf ein Innovations- und Wachstumspotenzial, das einen Beitrag leisten kann, die Ziele der unter 1.2 aufgeführten Bioökonomie-Strategien zu erreichen.

1.4. Ziel der Studie

Tragfähige Konzepte für den Aufbau einer Bioökonomie brauchen eine belastbare Datengrundlage zu den nachhaltig zur Verfügung stehenden Rohstoffmengen. Hinsichtlich des Aufkommens und der Nutzung des Rohstoffs Holz liegen Daten teilweise vor. Aber es bestehen große Unsicherheiten im Hinblick auf ihre Vollständigkeit. Hier setzt die vorliegende Studie an und soll einen Beitrag zur Weiterentwicklung der holzbasierten Bioökonomie leisten.

In Baden-Württemberg stellen die Forst- und Holzwirtschaft sowie die Holzenergiebranche einen wichtigen, biobasierten Wirtschaftsfaktor dar. Primäres Hindernis für eine Weiterentwicklung und einen Ausbau der Nutzung von Holz im Sinne einer Bioökonomie ist die mangelnde und ungenaue Datenbasis hinsichtlich der regional verfügbaren und nachhaltig nutzbaren Potenziale. Aus Sicht des Gesamtsystems fehlt eine Darstellung regional aufgelöster Stoffströme bzw. Mengen und den jeweiligen Qualitäten der auf dem Markt verfügbaren Holzprodukte.

Im Rahmen der Kurzstudie „Holzbasierte Bioökonomie Baden-Württemberg: Analyse der Datenlage zu Holz-Stoffströmen“ wurden die aktuell verfügbaren Informationen gesammelt, dokumentiert und aufbereitet. Dabei wird auch aufgezeigt, wo die Defizite liegen. Dafür sind die verfügbaren Veröffentlichungen für Deutschland und BW aufbereitet und mit Statistiken zu Holzaufkommen und –Verwendung aus den Nachbarländern Österreich und Schweiz sowie aus Bayern hinsichtlich der erhobenen Daten und der Darstellungsform verglichen worden.

Ziel ist die Erarbeitung der Datengrundlage für ein umfassender angelegtes Forschungsprojekt zur Erfassung und zum Monitoring der Stoffströme für eine holzbasierte Bioökonomie in Baden-Württemberg.



Bioökonomie beruht auf der Bereitstellung und Nutzung nachwachsender Rohstoffe. **Holz** spielt hier eine zentrale Rolle.



Intelligentes Management von natürlichen Ressourcen. Stoffströme sind dabei möglichst regional und kreislaforientiert organisiert.



Genügen die verfügbaren **Daten über Materialflüsse und Stoffströme** als Grundlage einer holzbasierten Bioökonomie?

Abbildung 6: Forschungsfrage

2. Stoffströme in der holzbasierten Bioökonomie

2.1. Übersicht

Eine nachhaltige Bioökonomie erfordert eine ganzheitliche Betrachtung der Wertschöpfungskette, die alle industriellen und wirtschaftlichen Sektoren umfasst, die biogene Rohstoffe erzeugen, verarbeiten und nutzen. Darunter fallen Anbau und Ernte der Rohstoffe, deren Nutzung bis hin zur Verwertung der Reststoffe. Eine Besonderheit der Sektoren rund um Forst- und Holzwirtschaft ist, dass hier bereits (seit Jahrhunderten) produktive Wirtschaftszweige existieren. Dies steht beispielsweise im Gegensatz zum Konzept der Bioraffinerie für die Gewinnung neuer Materialien aus alternativen Biomassen, das erst noch etabliert werden muss.

Abbildung 7 gibt einen Überblick über die Holzströme in der holzbasierten Bioökonomie. Rohstoffquelle ist hauptsächlich der Wald. Weitere, hier nicht explizit dargestellte Holzstoffströme kommen zusätzlich aus der Landschaftspflege und aus Kurzumtriebsplantagen. Der **Waldbestand** stellt mit Blick auf den CO₂-Kreislauf in der Atmosphäre einen wichtigen Kohlenstoffspeicher dar. Die fortlaufende Bindung von CO₂ aus der Luft und Einlagerung in Form von Biomasse erfolgt aber durch die **Zuwächse**. Durch den Verbleib von Totholz und Kronenmaterial nach der Ernte oder Pflege wird der Erhalt von Lebensraum und Nährstoffen im Wald gewährleistet. Aus dem nachhaltig verfügbaren Zuwachs wird **Derbholz** geerntet. Der Begriff bezeichnet die oberirdische Holzmenge mit einem Durchmesser > 7 cm mit Rinde (Abbildung 8). Bäume < 7 cm Brusthöhendurchmesser (Durchmesser des Baums in 1,3 m Höhe) sind kein Derbholz (BMEL 2018).

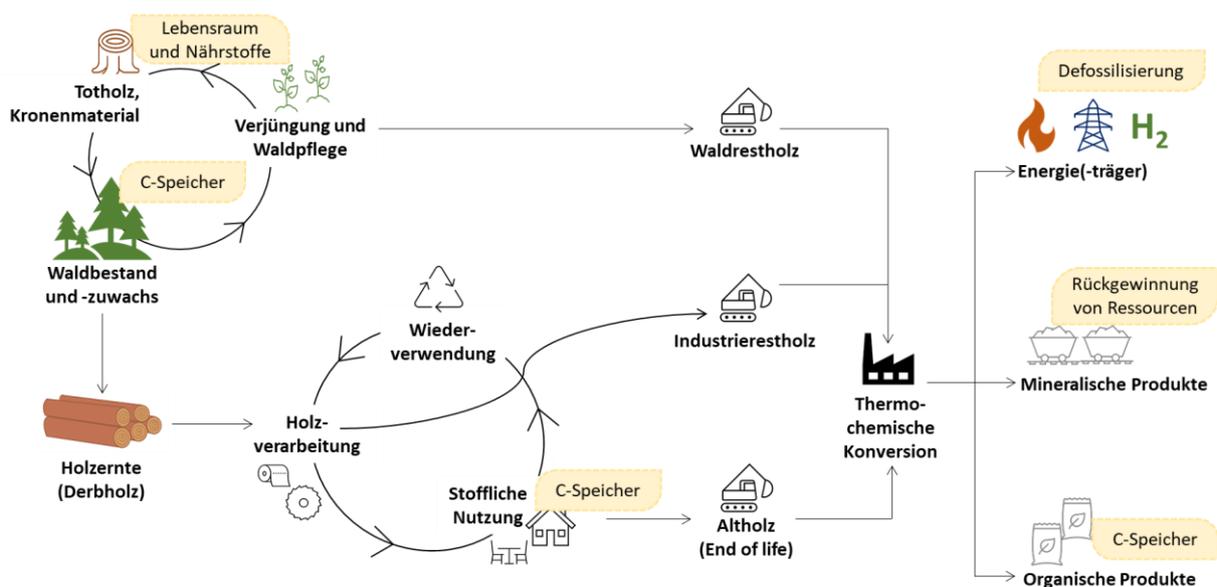


Abbildung 7: Übersicht der Holzströme in der holzbasierten Bioökonomie

Zusätzlich fällt bei Verjüngungs- und Waldpflegemaßnahmen **Waldrestholz** an, das meist der energetischen Verwertung zugeführt wird. Dabei handelt es sich um Durchforstungsrestholz oder Rückstände aus der Stammholzgewinnung für die stoffliche Nutzung, die auch als Schlagabraum bezeichnet werden. Die Abschnitte vom unteren und oberen Ende des Stammes werden Zopfe bzw. Stock genannt. Werden bei der Durchforstung gezielt schwache Stämme entnommen, die sich nicht für eine stoffliche Nutzung eignen, spricht man von Energierundholz. Meist verbleiben Baumbestandteile wie Nadeln, Zweige und Äste im Bestand. Dies ist sinnvoll, um den Austrag von Nährstoffen aus dem Wald zu minimieren. Zudem würden sich die hohen Aschegehalte dieser Pflanzenteile negativ auf Brennstoffqualität und damit verbundene Anforderungen an die Anlagentechnik auswirken (ARGE QM Holzheizwerke 2022).

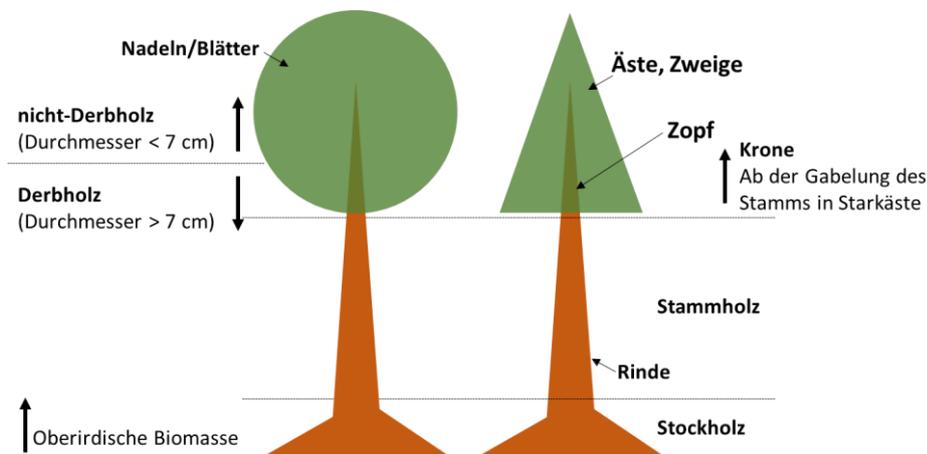


Abbildung 8: Einteilung der Abschnitte eines Baums

Das geerntete Derbholz wird, auch als **Rohholz** bezeichnet, über verschiedene Verarbeitungsschritte der **stofflichen Nutzung** zugeführt. Stofflich genutzt wird Holz in vielfältiger Art und Weise als Bau- und Konstruktionsholz, Möbel, Papier und vieles mehr. Durch diese Nutzung entsteht neben dem Wald ein zusätzlicher Kohlenstoffspeicher in Form eines Holzproduktspeichers.

Über verschiedene Verarbeitungsschritte hinweg fallen Nebenprodukte und Reststoffe an. Sofern sie sich nicht mehr für eine weitere stoffliche Nutzung eignen, können diese energetisch verwertet werden. Ebenso kann ein Produkt aus Holz, das nicht mehr zur Wiederverwendung geeignet ist, am Lebenszeitende energetisch verwertet werden. Neben Energie in Form von Wärme und Strom können **thermochemische Umwandlungsprozesse** je nach Ziel und Prozessführung auch Energieträger wie Gase oder Öle bereitstellen und so zur Defossilisierung des Energiesystems beitragen. Um den Kreislauf zu schließen, müssen Rückstände bzw. Verbrennungsprodukte wie z. B. Aschen oder organisches Material in Form von Biokohle nach entsprechender Qualitätskontrolle und ggf. erforderlicher Aufbereitung einer Anschlussnutzung zugeführt werden (Mayer et al. 2022).

2.2. Vorratsentwicklung, Zuwachs und Ernte

Die Produktion des nachwachsenden Rohstoffs Holz findet maßgeblich im Wald statt. Hierbei kann differenziert werden zwischen Staatswald, Kommunalwald und Privatwald. Die dort jeweils produzierten Holzsortimente sind nahezu identisch, deren Schwerpunkte können jedoch variieren. Ergebnisse der alle zehn Jahre durchgeführten **Bundeswaldinventur** (BMEL 2018) bestätigen, dass das Konzept der nachhaltigen Waldbewirtschaftung in Deutschland funktioniert. Am Ende des letzten Betrachtungszeitraums (2002-2012) lag der Gesamtvorrat an Holz in deutschen Wäldern mit 3,7 Mrd. Festmeter (fm) auf einem Rekordniveau. Dies entspricht einem Vorrat von 336 fm/ha Wald, der Wert hat innerhalb von zehn Jahren um 7 % zugenommen. Im europäischen Vergleich belegt Deutschland damit den dritten Platz nach Österreich und der Schweiz. Baden-Württemberg verzeichnete im Bundesvergleich mit 377 fm/ha die zweithöchsten Vorräte je Hektar Wald (nach Bayern). Der jährliche Zuwachs betrug insgesamt 122 Mio. fm (ganz Deutschland), davon ca. 18,8 Mio. fm in Baden-Württemberg. Zum Vergleich: Der Einschlag im Jahr 2010 betrug 10,7 Mio. fm, das entspricht lediglich 57 % des Zuwachses. Durchschnittlich 13 % des jährlichen Zuwachses gingen in den Vorratsaufbau. Ein weiterer Teil des Zuwachses verbleibt in Form von Nadeln, Rinde oder Totholz im Wald und liefert so Lebensraum und wertvolle Nährstoffe (Abbildung 9).



Abbildung 9: Der Aufbau an Holzvorrat im Wald ergibt sich aus dem jährlichen Zuwachs abzüglich genutzter Mengen und Totholz, das als Lebensraum und Dünger im Wald verbleibt.

Die Ergebnisse der dritten Bundeswaldinventur beziehen sich auf den Betrachtungszeitraum von 2002-2012. Die Daten zur aktuellen, vierten Bundeswaldinventur werden im Zeitraum von April 2021 bis Dezember 2022 erfasst. Mit der Auswertung ist im Jahr 2024 zu rechnen. Aktuellere Zahlen liefert die **Kohlenstoffinventur 2017**. Diese erfasst Kohlenstoffflüsse, Kohlenstoffspeicher sowie CO₂-Emissionen und Einbindungen entlang der Forst- und Holzketten. Tabelle 1 stellt die wichtigsten Kennzahlen aus den beiden Betrachtungszeiträumen gegenüber, was Rückschlüsse auf die Entwicklung von Holzzuwachs, Abgang (= Menge des ausgeschiedenen Bestandes, unabhängig ob durch Nutzung oder andere Ursachen) und

daraus resultierenden Vorratsänderungen betrifft. Es ist zu erkennen, dass die durchschnittlichen jährlichen Zuwächse weiterhin auf einem hohen Niveau befinden, jedoch mit einem rückläufigen Trend von 119 Mio. fm/a auf 117 Mio. fm/a (Hennig et al. 2019b).

Die Ursachen dieser abnehmenden Zuwächse liegen einerseits im Umbau von schnellwachsenden Nadel- zu eher langsam wachsenden Laubbaumarten und andererseits im Altern der Bestände insgesamt. Je nach Baumart weisen Bäume im Alter von 21-80 Jahren den stärksten Zuwachs auf. Mit zunehmendem Alter ist zwar der Holzvorrat (also der stehende Baum) groß, aber der Zuwachs nimmt immer weiter ab. Aus Klimaschutzsicht ist zu beachten, dass mit sinkenden Zuwachsraten der Bäume auch weniger CO₂ aus der Atmosphäre absorbiert und im Holz und in Holzprodukten gebunden wird (Hennig et al. 2019a).

Gleichzeitig wurde im Betrachtungszeitraum 2012-2017 weniger Holz genutzt und auch die Abgänge insgesamt fielen geringer aus. Als Verhältnis aus Abgang und Zuwachs resultiert die Abschöpfung des Zuwachses in Prozent, die ebenfalls rückläufig ist (von 88 % auf 76 %). Ist dieser Wert < 100 % bedeutet dies, dass das Mengenkriterium der Nachhaltigkeit erfüllt wurde, d. h. es wurde nicht mehr Holz geerntet als im gleichen Zeitraum nachgewachsen ist. Darüber hinaus zeigt diese Kennzahl aber auch, dass zusätzliches Nutzungspotenzial basierend auf den Zuwächsen vorhanden wäre. Dieses Potenzial liegt besonders im Kleinprivatwald, wo die Abschöpfung nur 66 % betrug (Hennig et al. 2019b). Eine solche Übererfüllung des Nachhaltigkeitsgrundsatzes kann allerdings ab einem bestimmten, nicht bekannten Kipp-Punkt zu einem weniger nachhaltigen Ergebnis führen. Denn ältere Wälder sind anfälliger für Schädigungen, z. B. durch Käfer oder Dürre und damit verbundene, ggf. großflächige Abgänge. Durch den Klimawandel steigt das Risiko für solche Ereignisse zusätzlich (Schulze et al. 2022; Schelhaas et al. 2003).

Die Waldentwicklungs- und Holzaufkommensmodellierung (WEHAM) schätzt die Waldentwicklung und das zukünftige Rohholzpotenzial für den Zeitraum bis 2052 unter Berücksichtigung verschiedener Szenarien (Oehmichen et al. 2018). Ein Abgleich der projizierten Potenziale mit dem aktuellen Nutzungsniveau zeigt, dass die nachhaltige Holznutzung in Zukunft bis zu 1,7 Mal höher sein könnte als momentan (Holzpräferenzszenario). Selbst unter gesteigerten Anforderungen an Biodiversitätsschutzmaßnahmen und Naturschutzleistungen könnte bis zu 1,3 Mal mehr Holz genutzt werden als aktuell (Naturschutzpräferenzszenario).

Tabelle 1: Wichtigste Kennzahlen aus der Bundeswald- und der Kohlenstoffinventur für die Perioden 2002-2012 und 2012-2017 (Hennig et al. 2019b) sowie aus der WEHAM-Modellierung für 2013-2052 (Oehmichen et al. 2018).

	Bundeswaldinventur 2002-2012	Kohlenstoffinventur 2012-2017	WEHAM 2013-2052
Zuwachs	119 Mio. fm/a	117 Mio. fm/a	Ø Rohholzpotezial 105 Mio. m ³ /a (Holzpräferenzszenario) 78 Mio. m ³ /a (Naturschutzpräferenzszenario)
Abgang, davon Nutzung	105 Mio. fm/a 74 Mio. fm/a	89 Mio. fm/a 62 Mio. fm/a	
Abschöpfung des Zuwachses	88 %	76 %	
Vorrat (absolut / pro Fläche)	3,7 Mrd. fm	3,9 Mrd. fm	3,2 Mrd. m ³ bzw. 289 m ³ /ha (Holzpräferenzszenario)
	336 fm/ha	358 fm/ha	4,0 Mrd. m ³ bzw. 374 m ³ /ha (Naturschutzpräferenzszenario)

Der **Holzeinschlag** wird jährlich erfasst und durch das Statistische Bundesamt veröffentlicht (Destatis 2021). Im Zeitverlauf zeigt sich, dass die Holzernte stark durch Schadereignisse beeinflusst wird. Auslöser der Kalamitäten waren in der Vergangenheit punktuelle Sturmereignisse, wie in Abbildung 10 dargestellt. Seit dem Jahr 2018 zeichnet sich ab, dass ausgelöst durch mangelnde Niederschläge mehr Schadholz aufgrund erhöhter Trockenheit und damit verbunden günstigen Bedingungen für den Befall durch Schadinsekten eingeschlagen werden muss (Mantau et al. 2022).

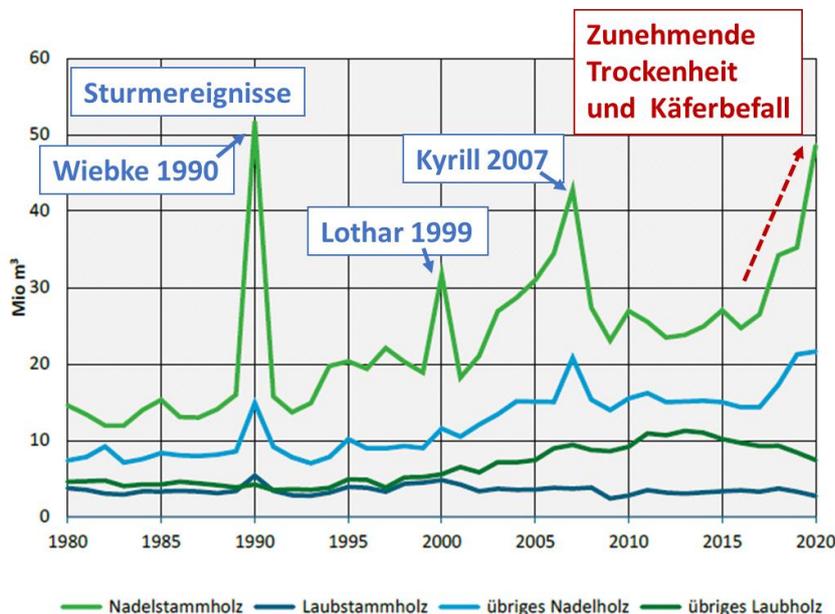


Abbildung 10: Holzeinschlag im Zeitverlauf. Verändert nach Mantau et al. (2022).

In der Statistik wird unterschieden nach sogenannten Holzartengruppen (zusammengefasste Kategorien bestimmter Nadel- und Laubbaumarten), Holzsorten (Stammholz, Industrie- und Energieholz sowie nicht verwendetes Holz) und Waldeigentumsarten (Privat-, Landes-, Bundes- und Körperschaftswald). Abbildung 11 zeigt für das Jahr 2020 die Einschlagsmengen

für Deutschland und als Teilmenge davon Baden-Württemberg. Aus BW stammen mit 8,8 Mio m³ ca. 10 % des bundesweiten Einschlagvolumens von 80,4 Mio. m³. Den größten Anteil am Einschlag nach Baumartengruppen haben sowohl bezogen auf Deutschland als auch auf BW die Nadelbaumarten Fichte, Tanne und Douglasie. Darauf folgt mit großem Abstand die Baumartengruppe Buche und sonstiges Laubholz. Unterschieden nach Holzsorten hat das Stammholz mit 64 % (DE) und 67 % (BW) den größten Anteil am Einschlag, begleitet von geringeren Mengen Industrieholz (10 % in BW) und Energieholz (15 % in BW).

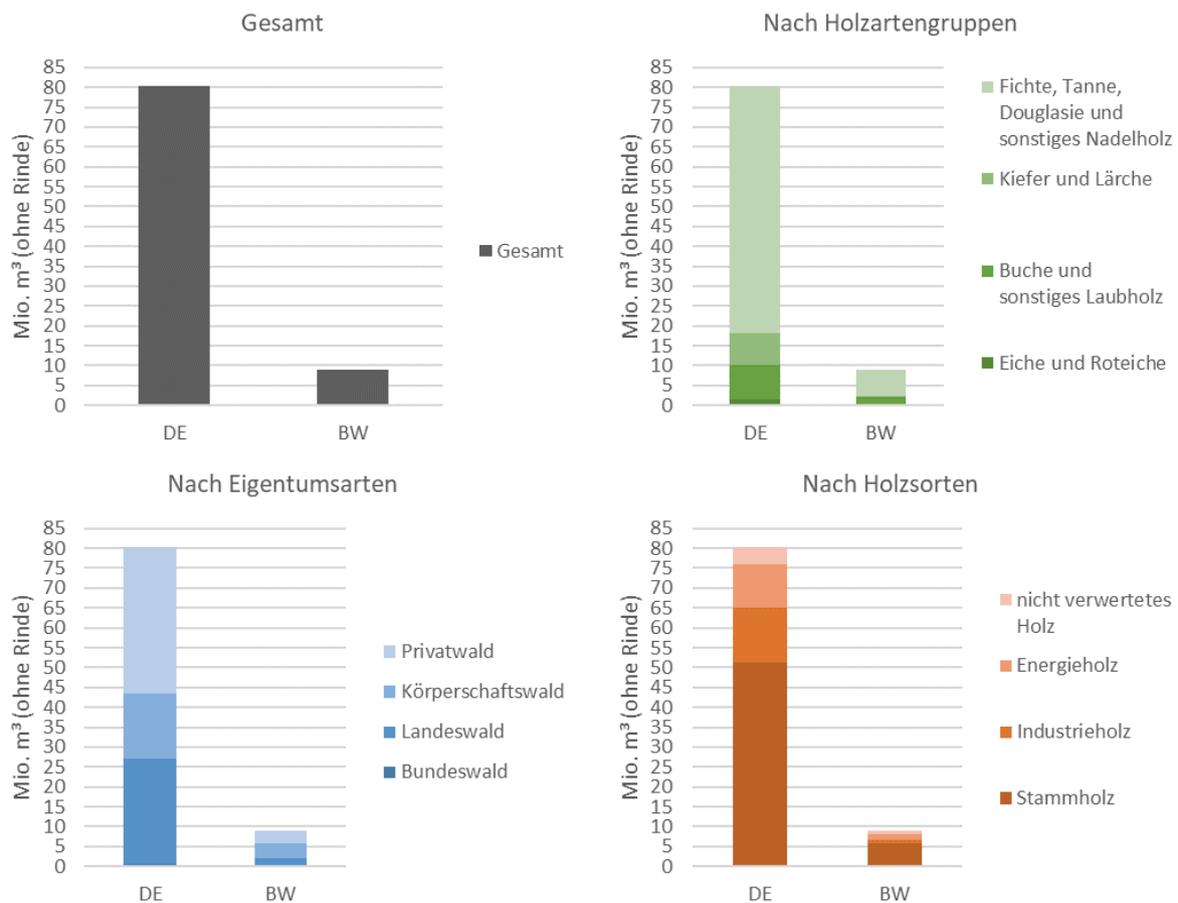


Abbildung 11: Holzeinschlag im Jahr 2020 in Deutschland (DE) und Baden-Württemberg (BW). Gesamteinschlag in Mio. m³ ohne Rinde unterschieden nach Holzartengruppen, Holzsorten und Waldeigentumsarten. Eigene Darstellung nach Destatis (2021).

Bei den Erhebungen zu Holzvorrat, Zuwachs und Ernte erfolgt die Angabe üblicherweise in fm oder m³ Derbholz ohne Rinde. In Abhängigkeit der Waldeigentumsart werden die Daten zum Holzeinschlag teilweise geschätzt oder über Stichproben erhoben. Der daraus resultierende Fehler ist für Bundes-, Landes- und teils auch den Körperschaftswald als relativ gering einzustufen, da die Angaben auf Unterlagen der Forstverwaltungen basieren. Dagegen sind die Angaben zur Holznutzung im Privatwald mit dem größten Fehler behaftet. Es ist zu beachten, dass die Unterscheidungskategorien der Holzeinschlagstatistik (Stammholz, Industrieholz, Energieholz) die Absicht der Vermarktenden und nicht den tatsächlichen Einsatz des geernteten Holzes widerspiegeln. Die vierte Kategorie, nicht verwertetes Holz, bezeichnet sämtliches nicht verwertetes Derbholz, das dauerhaft im Wald verbleibt, auch wenn es

bearbeitet wurde. Diese Mengen werden i. d. R. nicht vermessen, eine Schätzung gilt als ausreichend (Destatis 2021).

Dem Gegenüber stellen Restholz aus der Durchforstung und Abschnitte aus der Stammholzgewinnung, insbesondere Kronenmaterial, Zopfstücke und Stockholz wichtige Sortimente für die energetische Nutzung dar. Mit zunehmendem Fokus auf Ressourceneffizienz und der Entwicklung neuer bioökonomischer Verfahren könnte auch eine stoffliche Nutzung dieser Sortimente an Bedeutung gewinnen. Aktuell wird die Verfügbarkeit dieser Resthölzer jedoch nicht ausreichend erfasst. Dies soll durch folgendes Beispiel verdeutlicht werden.

Das Aufkommen an Waldrestholz wird in der Holzrohstoffbilanz für 2016 mit 7,4 Mio. m³ bzw. als Teilmenge der Rohstoffbilanz mit 6,5 Mio. m³ in der Energieholzbilanz für 2020 angegeben. Für das Jahr 1990 weist die Rohstoffbilanz ein Waldrestholzaufkommen von 1,4 Mio. m³ aus (Mantau et al. 2022). In Mantau (2012) ist der Begriff „Aufkommen“ definiert als die tatsächlich am Markt vorhandene Rohstoffmenge, gemessen in Form des Rohstoffverbrauchs durch den Konsumenten. Die vorliegenden Daten zeigen also nur die tatsächlich gehandelte Stoffmenge. Es gibt keine Erfassung von Vorrat, Zuwachs und Ernte, wie für die historisch im Fokus stehende Kategorie Derbholz (Abbildung 12). Aus Sicht einer holzbaasierten Bioökonomie ist dies eine Wissenslücke, die geschlossen werden muss. Aktuell wird bereits ganz am Anfang der Wertschöpfungskette, bei der Rohstoffproduktion im Wald, die zur Verfügung stehende Rohstoffbasis nicht vollständig erfasst.

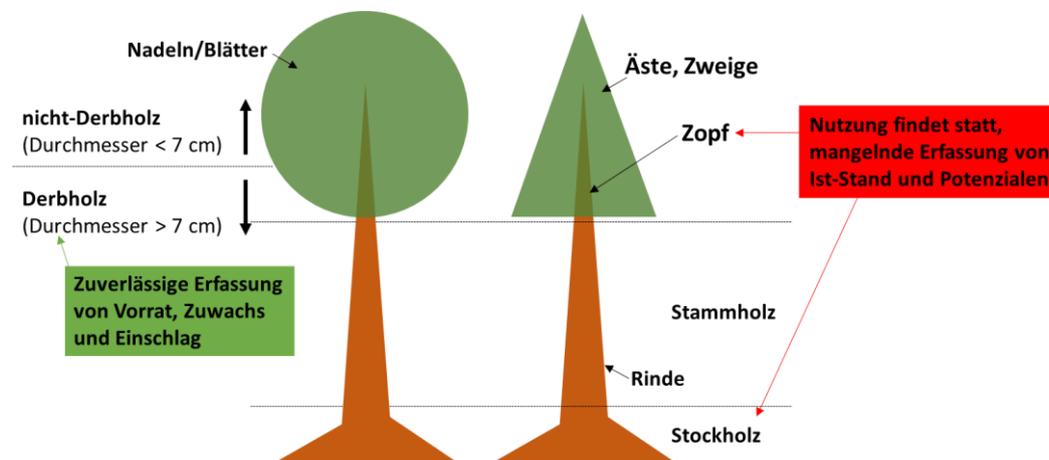


Abbildung 12: Ungenügende Erfassung von Waldrestholz-Sortimenten

2.3. Stoffliche Nutzung

Abbildung 13 zeigt die Verwendungswege des Rohstoffes Holz bis zur Produktion von Schnittholz im Sägewerk. Grundlage für die Holznutzung ist der Zuwachs an Holz im Wald. Aus diesem Zuwachs wird Rohholz geerntet. Ein Teil des Rohholzes wird direkt für industrielle Zwecke, z. B. die Herstellung von Papier oder Spanplatten genutzt. Dies betrifft meist minderwertige Qualitäten, die sich nicht für den Einschnitt im Sägewerk eignen (Industrierundholz). Auch bei der Ernte und Durchforstung, also der Waldpflege, fällt Rohholz an, das in Form von Waldhackschnitzeln oder Scheitholz zur Energieerzeugung genutzt wird (Energieholz). Der größte Teil des geernteten Zuwachses (ca. die Hälfte) wird als Sägerundholz in Sägewerken weiterverarbeitet. Durch die Entrindung des Holzes im Sägewerk bleibt Rinde zurück. Diese wird oftmals direkt vor Ort thermisch verwertet, um Strom und Wärme, z. B. für die Trocknung des Holzes zu erzeugen. Schnittholz ist das Hauptprodukt eines Sägewerkes, das zum Bauen genutzt wird. Der restliche Anteil sind Sägenebenprodukte. Darunter fallen z. B. Hackschnitzel und auch Sägespäne, aus denen Pellets produziert werden. In der Produktion entstehen etwa 60 % Schnittholz und 40 % Nebenprodukte.

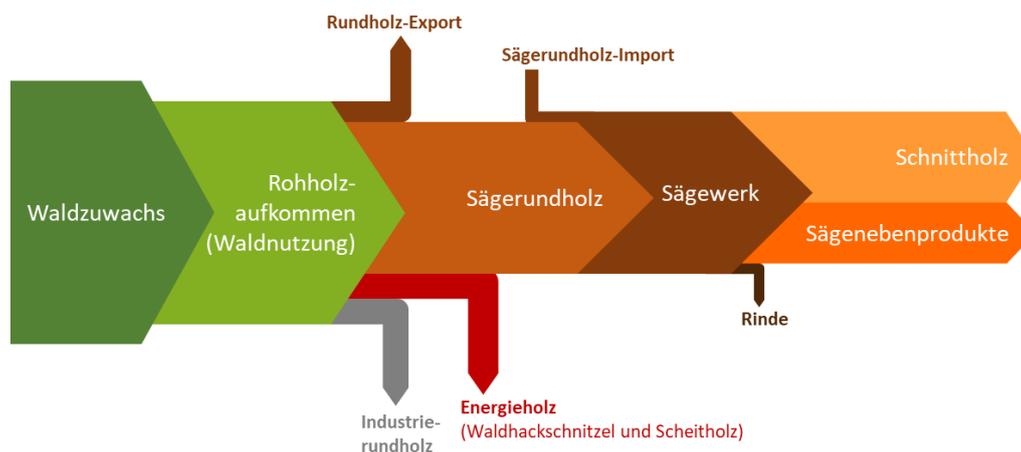


Abbildung 13: Verwendungswege des Rohstoffes Holz. Eigene Abbildung nach DEPI (2021).

Im Verbundvorhaben „Rohstoffmonitoring Holz“ wurde eine mengenmäßige Erfassung und Bilanzierung der Holzverwendung in Deutschland durchgeführt und von der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe publiziert (FNR 2018). Drei Teilberichte untersuchen die stoffliche Holznutzung im Jahr 2015 in den Zweigen Sägeindustrie, Holzwerkstoffindustrie sowie der Holz- und Zellstoffindustrie. Die Ergebnisse sind zusammengefasst in Abbildung 14.

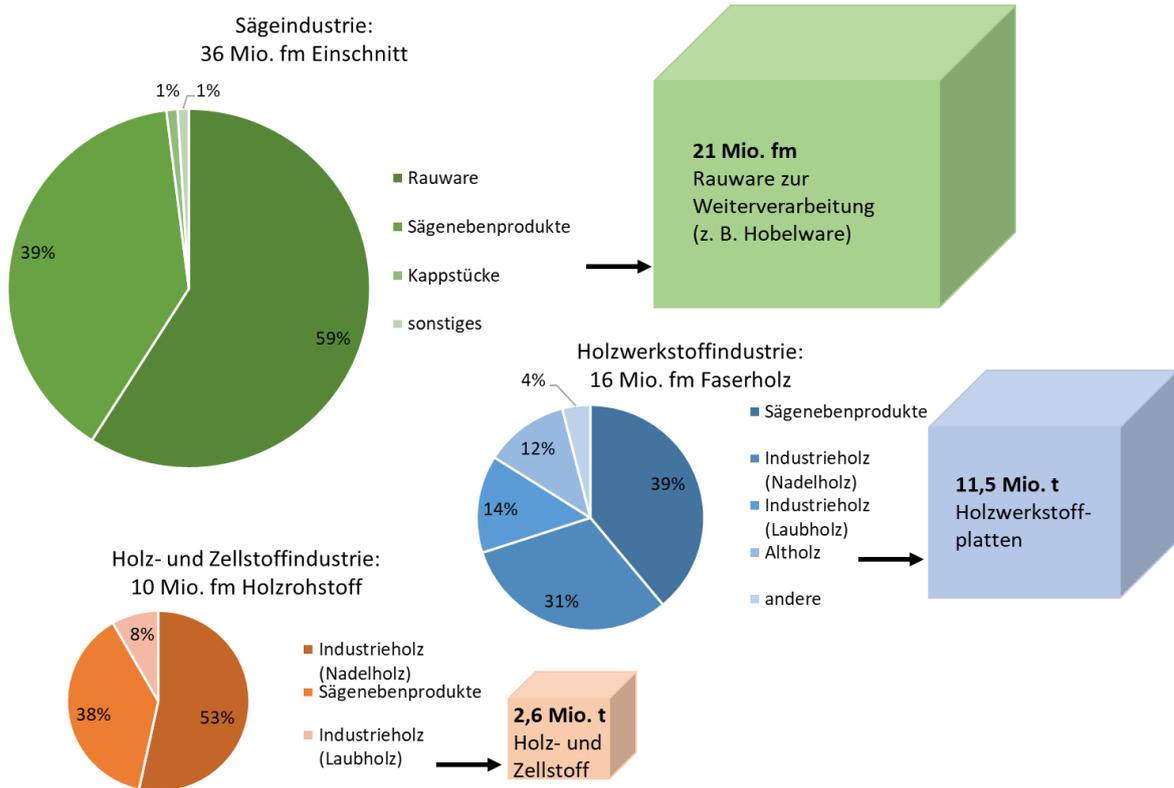


Abbildung 14: Mengenmäßige Erfassung der Holzverwendung in Deutschland. Eigene Abbildung nach FNR (2018).

In 2015 wurden insgesamt 2.070 **Sägewerke** erfasst, davon 1.433 Nadelholz-, 218 Laubholz- und 419 Mischbetriebe. Das Einschnittvolumen lag bei 36 Mio. fm, daraus entstanden 59 % Rauware, 39 % Sägenebenprodukte, < 1 % Kappstücke und 1 % sonstiges. Mit knapp 34 Mio. fm wurde überwiegend Nadelholz verarbeitet. Die in dieser Stufe angefallenen Sägenebenprodukte (14 Mio. fm) wurden überwiegend in der Holzwerkstoffindustrie (6,24 Mio. fm) und der Holz- und Zellstoffindustrie (3,8 Mio. fm) weiterverarbeitet.

Im Bereich **Holzwerkstoffindustrie** gab es 25 Standorte zur Herstellung von Holzwerkstoffplatten. Insgesamt wurden **11,5 Mio m³ Holzwerkstoffplatten** aus **15,8 Mio. fm Faserholz** produziert. Den größten Anteil daran hatten Spanplatten mit einem Faserholzeinsatz von 7 Mio. fm (44 %). Das eingesetzte Faserholz stammte zu 39 % aus Sägenebenprodukten, 31 % Industrieholz (Nadelholz), 14 % Industrieholz (Laubholz), 12 % Altholz sowie 4 % anderen Sortimenten. Von den verbrauchten Holzrohstoffen stammten 16 % aus dem Import.

Zudem wurden insgesamt **2,6 Mio. t Holz- und Zellstoff** produziert. Der Holzrohstoffverbrauch betrug **10 Mio. fm**. Der eingesetzte Holzrohstoff setzte sich zusammen aus 53,4 % Industrieholz (Nadelholz), 38,3 % Sägenebenprodukten und 8,3 % Industrieholz (Laubholz).

2.4. Altholzaufkommen und -Verwendung

Nach der ersten stofflichen Nutzung wird aus Frischholz **Altholz**. Dabei ist zu unterscheiden zwischen Industrierestholz und Gebrauchtholz. **Industrierestholz** bezeichnet Holz- oder Holzwerkstoffreste aus Betrieben der Holzbe- oder -verarbeitung sowie Verbundstoffe mit überwiegendem Holzanteil (> 50 m.-%). **Gebrauchtholz** umfasst gebrauchte Erzeugnisse aus Massivholz, Holzwerkstoffen oder Verbundstoffen mit überwiegendem Holzanteil. Beide Stoffströme fallen in den Anwendungsbereich der Altholzverordnung (AltholzV), sofern sie die Definition von Abfall im Sinne des Kreislaufwirtschaftsgesetzes (§ 3 Abs. 1 KrWG) erfüllen (Bundesregierung 2002, 2012).

Dabei ist zu beachten, dass Sortimente, die nach § 4 KrWG als sogenanntes **Neben- oder Koppelprodukt** anfallen, nicht zum Anwendungsbereich der Altholzverordnung gehören. Unter diese Definition fallen insbesondere unbelastetes Industrierestholz (z.B. Späne aus Sägewerken) und Waldrestholz (Bundesregierung 2012, 2002).

Altholz stammt aus unterschiedlichen Quellen und wird in Deutschland wie auch andere Abfallströme durch Entsorgungsunternehmen gesammelt. Durch Aufbereitungsanlagen, die über eine entsprechende Genehmigung verfügen, wird das Altholz einer weiteren Verwendung zugeführt. In diesen Anlagen findet eine Sortierung nach den in der AltholzV definierten Altholzkategorien A I bis A IV (Abbildung 15) statt.

Kategorie A I	Kategorie A II	Kategorie A III	Kategorie A IV
Naturbelassenes oder lediglich mechanisch behandeltes Altholz	Verleimtes, gestrichenes, beschichtetes, lackiertes oder anderweitig behandeltes Altholz ohne halogenorganische Verbindungen in der Beschichtung, ohne Holzschutzmittel	Altholz mit halogenorganischen Verbindungen in der Beschichtung ohne Holzschutzmittel	Mit Holzschutzmitteln behandeltes Altholz, ..., sowie sonstiges Altholz ... das nicht den Kategorien A I – A III zugeordnet werden kann, ausgenommen PCB-Altholz

Abbildung 15: Altholzkategorien A I-A IV der Altholzverordnung (AltholzV)

Je nach Altholzkategorie definiert die AltholzV zugelassene Verfahren für eine stoffliche Verwertung (Tabelle 2). Dabei sind Grenzwerte für Spurenelementgehalte (z. B. Arsen, Cadmium, Chrom) und chlorhaltige chemische Verbindungen (PCP und PCB), unabhängig von der Altholzklasse, einzuhalten.

Tabelle 2: Verfahren für die stoffliche Verwertung von Altholz nach Anhang I AltholzV

Verwertungsverfahren	Zugelassene Altholzkategorien	Besondere Anforderungen
Aufbereitung zu Holzhackschnitzeln und Holzspänen für die Herstellung von Holzwerkstoffen	A I A II A III mit Einschränkungen	Kategorie A III ist nur zulässig, wenn Lackierungen und Beschichtungen durch eine Vorbehandlung weitgehend entfernt wurden oder im Rahmen des Aufbereitungsprozesses entfernt werden
Gewinnung von Synthesegas zur weiteren chemischen Nutzung	A I – A IV	Eine Verwertung ist nur in hierfür nach § 4 des Bundesimmissionsschutzgesetzes genehmigten Anlagen zulässig
Herstellung von Aktivkohle/Industrieholzkohle	A I – A IV	Eine Verwertung ist nur in hierfür nach § 4 des Bundesimmissionsschutzgesetzes genehmigten Anlagen zulässig

Die Einsatzmöglichkeiten von Altholz in Feuerungsanlagen zur energetischen Verwertung sind abhängig von der Altholzkategorie, der Anlagengröße und dem Einsatzbereich (privat oder in der Holzverarbeitenden Industrie). Die Anwendungsbereiche sind genauer definiert in den Verordnungen zum Bundesimmissionsschutz-Gesetz (BImSchG bzw. BImSchV), die auch bestimmen, welchen Genehmigungsprozess eine Anlage durchlaufen muss und welche Emissionsgrenzwerte einzuhalten sind. Für naturbelassenes Altholz der Kategorie A I gelten keine Einschränkungen. Je nach Anlagengröße sind hier die 1. BImSchV (< 1 MW), 44. BImSchV (1-50 MW) oder 13. BImSchV (> 50 MW) relevant. Altholz der Kategorie A II ist grundsätzlich in mittleren oder großen Feuerungsanlagen (44. Oder 13. BImSchV) einzusetzen. Eine Ausnahme gibt es hier für die energetische Verwertung innerhalb der Holzverarbeitenden Industrie in Anlagen < 1 MW. Altholz der Kategorien A III und A IV darf nur in Feuerungsanlagen eingesetzt werden, die über eine Genehmigung nach 17. BImSchV verfügen.

Das jährliche Aufkommen an Altholz in Deutschland im Jahr 2016 betrug ca. 10 Mio. Mg/a (Abbildung 16). Diese Menge setzte sich zusammen aus Bau- und Abbruchabfällen (ca. 4 Mio. Mg/a), Altholz aus der Holzbe- und verarbeitenden Industrie (ca. 2,6 Mio. Mg/a), Holz aus Sperrmüll und Siedlungsabfällen (ca. 0,9 Mio. Mg/a bzw. 0,5 Mio. Mg/a), sowie einem Netto-Import von Altholz. Der überwiegende Anteil des Altholzes wurde im Jahr 2016 energetisch verwertet. Etwa 15 % der Altholzmenge wurde einer stofflichen Nutzung zugeführt (Flamme et al. 2020).

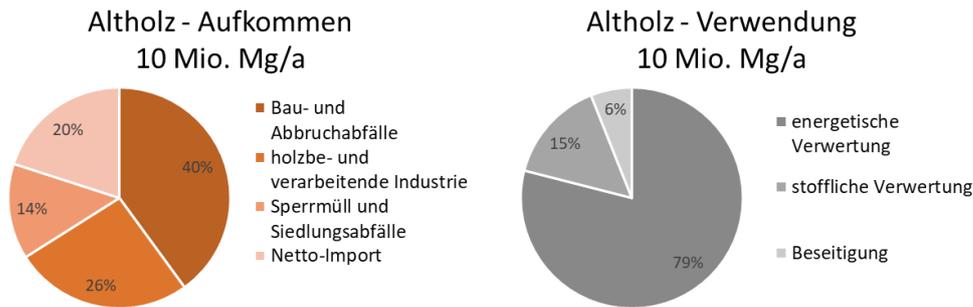


Abbildung 16: Altholzaufkommen und -Verwendung in Deutschland 2016. Eigene Darstellung nach Flamme et al. (2020).

2.5. Energetische Verwertung

Der Anwendungsbereich der energetischen Holznutzung erstreckt sich von der Bereitstellung von Wärme und Warmwasser in Haushalten, Nah- oder Fernwärmenetzen, Prozesswärme in der Industrie bis hin zur Kraft-Wärme-Kopplung in Holzheizkraftwerken. Im Zusammenspiel mit anderen erneuerbaren Energiequellen liegen die Stärken der Holzenergie in der Bereitstellung hoher Temperaturen und der Speicherbarkeit.

Für die Energiewende spielt die Holzenergie derzeit eine wichtige Rolle. Besonders im Wärmesektor, der für etwa die Hälfte des Endenergieverbrauchs verantwortlich ist, stellt die feste Biomasse etwa 80 % des erneuerbaren Anteils (Abbildung 17).

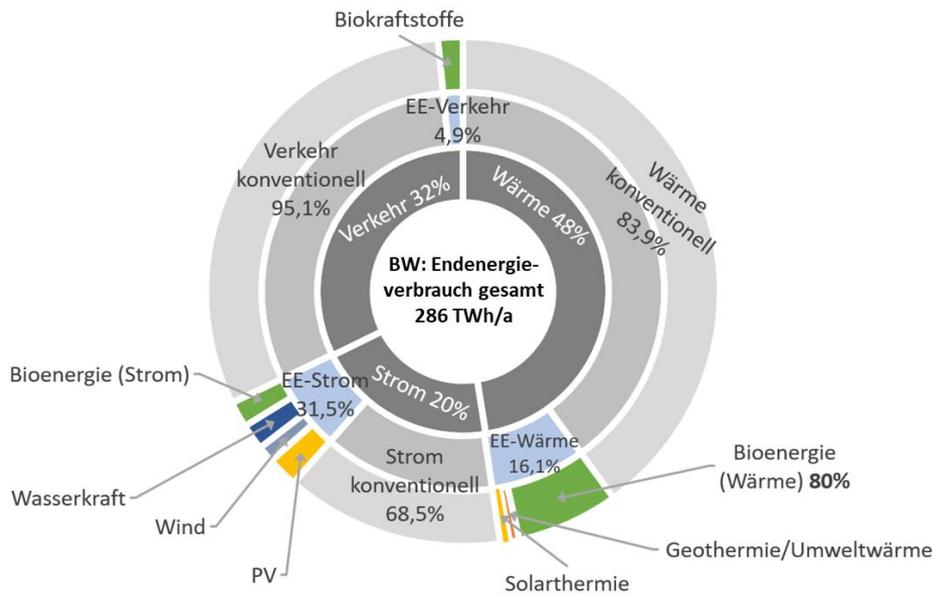


Abbildung 17: Endenergieverbrauch BW 2020. Anteil erneuerbarer Energien in den Sektoren. Eigene Darstellung nach UM BW (2021).

Je nach Art der Brennstoffaufbereitung wird zwischen Scheitholz, Hackschnitzeln, Schredderholz und Pellets unterschieden. Wichtige Parameter für die Qualität eines Holzbrennstoffs sind der Heizwert, der Wassergehalt, der Aschegehalt und deren Zusammensetzung, sowie mögliche Verunreinigungen. Neben Waldrestholz und Energierundholz stammen typische Brennstoffsortimente aus der Landschaftspflege oder sind Rest- und Gebrauchtholz. Im häuslichen Bereich sind handbesockelte Holzfeuerungen noch weit verbreitet. Daneben sind automatische Holzfeuerungen in einem großen Leistungsbereich von < 10 kW bis > 100 MW in verschiedenen Bauarten auf dem Markt verfügbar. Die Auswahl der passenden Anlagentechnik sollte sich nach dem verfügbaren Brennstoff richten. Grundsätzlich werden Rost-, Wirbelschicht- und Staubfeuerungen unterschieden (ARGE QM Holzheizwerke 2022).

In Abhängigkeit der Anlagengröße und des eingesetzten Brennstoffs gelten verschiedene Anforderungen an das Genehmigungsverfahren und die Emissionsgrenzwerte. Grundsätzlich werden in kleinen Anlagen < 1 MW Feuerungswärmeleistung (FWL) meist qualitativ hochwertige Brennstoffe aus unbehandeltem Holz eingesetzt. Diese Anlagen sind typischerweise in Ein- und Mehrfamilienhäusern zu finden und unterliegen der 1. BImSchV. Um den Staubgehalt im Abgas zu reduzieren, kommen bereits hier Emissionsminderungstechnologien entsprechend den gesetzlichen Vorgaben zum Einsatz. Für die Wärmebereitstellung in Wärmenetzen oder in industriellen Prozessen werden größere Anlagen mit größerer Leistung benötigt. Bis zu einer FWL von 50 MW gelten die Vorgaben der 44. BImSchV. Der Einsatz aufwändigerer Anlagentechnik (z. B. kontrollierte Prozessführung, Abgasreinigung) ermöglicht die Verwendung anspruchsvollerer Brennstoffe mit niedrigeren Brennstoffkosten (Wern et al. 2021). Für die Verwendung von Altholz gelten, wie in Kapitel 2.4 erläutert, Vorgaben in Abhängigkeit vom Grad der Kontamination und des Ursprungsortes.

Die Energieholzbilanz (Abbildung 18) weist für das Jahr 2020 eine Holzmenge von 59,9 Mio. m³ aus. Die Hälfte des Energieholzaufkommens bestand aus Rest- und Abfallstoffen, überwiegend in Form von Sägenebenprodukten und Altholz. Frischholz aus dem Wald machte in Form von Derbholz, Waldrestholz und Rinde einen Anteil von ca. 42 % am Aufkommen aus. Neben einem eher geringen Anteil Landschaftspflegematerial (8 %).

Auf Seiten der Energieholzverwendung hatten die privaten Haushalte mit 45 % den größten Anteil. Hier wird überwiegend Frischholz in Form von Waldscheitholz eingesetzt. Der Anteil an Privathaushalten, die mit Holz heizen, ist seit dem Jahr 2000 stark gestiegen. Die Nachfrage nach Brennholz bzw. der Verbrauch in diesem Segment hat sich seit dem Jahr 2013 stabilisiert oder war sogar rückläufig. Dies ist einerseits auf mildere Winter, andererseits auf den Einsatz effizienterer Technologien, z. B. automatische Pelletfeuerungen, zurückzuführen.

Im Bereich der gewerblich und öffentlich betriebenen Kleinf Feuerungsanlagen < 1 MW wurden ca. 15 % des eingesetzten Energieholzes verwendet. Eine frühere Erhebung aus dem Jahr 2016 weist in diesem Segment einen Brennstoffverbrauch von 6,5 Mio. t in 36.500 Anlagen aus. Als eingesetzte Holzsortimente wurden überwiegend Waldrestholz (31%), Sägenebenprodukte (18 %) und Landschaftspflegeholz (16 %) genannt (FNR 2018).

In mittleren und großen Feuerungsanlagen mit einer FWL von > 1 MW wurden ca. 37 % des Energieholzes verwendet. Bezogen auf das Jahr 2016 wurde ein Holzverbrauch von 13,3 Mio. t in 504 Anlagen ausgewiesen. Das wichtigste Brennstoffsor timent in diesem Segment ist Altholz (49 % in 2016). Als weitere wichtige Sortimente wurden Landschaftspflegeholz (13 %), Waldrestholz (12 %) und Rinde (8 %) genannt. Drei Viertel der Brennstoffmenge wurde in Anlagen > 20 MW eingesetzt, die 22 % des Anlagenparks ausmachen (FNR 2018). Die Energieholzbilanz weist als Zwischenprodukt auch die Kategorie „Pellets, Briketts und Holzkohle“ aus (ca. 12 %).

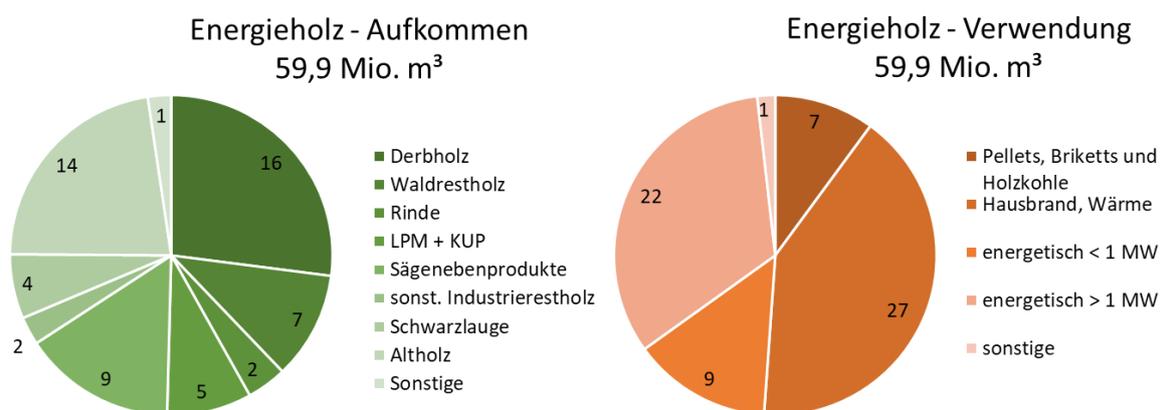


Abbildung 18: Energieholzbilanz Deutschland - eingesetzte Sortimente und Verwendung. Eigene Darstellung nach Mantau et al. (2022).

Die Außenhandelsbilanz für Energieholz war im Jahr 2020 ausgewogen. Rund 98 % des im Inland eingesetzten Holzbrennstoffs (ca. 22 Mio. t) stammte aus heimischer Produktion. Der Außenhandel hat jedoch mit ca. 2 Mio. t Import und Export jährlich eine größere Bedeutung als der Saldo vermuten lässt. Deutschland ist netto-Exporteur von Holzpellets und netto-Importeur von Altholz und Briketts (Mantau und Hennenberg 2022).

Im Auftrag des Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg wird vom Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg (ZSW) in regelmäßigen Abständen der Bericht „Erneuerbare Energien in Baden-Württemberg“ erstellt (UM BW 2021, 2020, 2019). Darin werden statistische Daten zu den verschiedenen erneuerbaren Energien in Baden-Württemberg zusammengestellt. Diese Berichte stellen die derzeit umfassendste und belastbarste Datengrundlage zur energetischen Holznutzung dar. Die darin enthaltenen Daten zur Holzenergie basieren im Wesentlichen auf einer Erhebung von Kilgus et al. (2007), Daten der Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg (LUBW) zum Luftschadstoff-Emissionskataster (Gebhart-Graf et al. 2021; Leiber et al. 2017) und persönlichen Mitteilungen aus dem Schornsteinfegerhandwerk. Einschränkungen hinsichtlich der Belastbarkeit der Datengrundlage formuliert UM BW (2021) besonders im Bereich der Kleinverbraucher > 1 MW: „Eine belastbare Ermittlung der in diesem Segment eingesetzten Holzmenge beziehungsweise der damit erzeugten Wärmemenge ist nur begrenzt möglich, da der Markt lediglich eine geringe Transparenz aufweist. So wird zum Beispiel ein großer Teil des dafür eingesetzten Holzes nicht kommerziell gehandelt“. Dies stellt eine erhebliche Unsicherheit dar, da dieser Sektor nach FNR (2018) für ca. 45 % der Energieholzverwendung verantwortlich ist.

Einfache Abschätzungen deuten stark darauf hin, dass eine Intensivierung der Holzenergienutzung in BW durchaus möglich ist. Zusätzliche Nutzungsmöglichkeiten liegen besonders in bisher nicht für die stoffliche Nutzung nachgefragten Laubholzsortimenten sowie Nadelstarkholz, das sich aufgrund der großen Durchmesser nicht mehr für die automatisierte Verarbeitung eignet. Generell steigt mit dem Vorratsaufbau, der über die letzten Jahre stattgefunden hat, das Risiko für eine Qualitätsminderung der Holzbestände (Riegger 2017). Eine Gegenüberstellung von Angaben der Forstkammer BW über zusätzliche Nutzungspotenziale und dem Brennstoffbedarf der bestehenden Heizwerke und Heizkraftwerke (Branchenangaben) zeigt, dass die bisherige Nutzung verdoppelt bis verdreifacht werden könnte (Abbildung 19).

Ausgehend von einer Dichte von 700 kg/fm und einem Heizwert von 2,5 kWh/kg bei waldfrischem Holz entspricht der angenommene Brennstoffeinsatz von 665.439 fm/a in den Heizwerken und Heizkraftwerken ca. einer Energiemenge von 1,2 TWh/a bzw. 4,32 PJ/a. Im Vergleich dazu gibt UM BW (2021, 2019) für das Jahr 2018 für die Kategorie feste biogene Brennstoffe (modern) eine Energiebereitstellung von 1,2 TWh Strom und 8,3 TWh Wärme an. Dies entspricht einem Primärenergieäquivalent von 11,7 PJ für die Stromerzeugung und 32,6 PJ für die Wärmeerzeugung. Es ist zu beachten, dass bei der Wärmebereitstellung auch

Zentralheizungen im häuslichen Bereich enthalten sind. Dennoch ist der Unterschied zwischen den Angaben auffällig und muss geprüft werden.

Anlagenart	Anzahl	Brennstoffbedarf [Fm/a]	
HKW	19	442.806	
HW	228	222.633	
HKW + HW	247	665.439	[Laub 2015]
Zusätzliche Nutzungsmöglichkeit		1.300.000	[Riegger 2017]
Unausgeschöpfte Nutzungspotentiale: Stärkere Laubholzsortimente, Nadelstarkholz			



Verdreifachung der Heizwerks- und Heizkraftwerksleistung **möglich**

Abbildung 19: Holzenergie-Potenziale in Baden-Württemberg (Thorwarth 2018)

Um die Abschätzung der noch nicht ausgeschöpften Nutzungspotenziale zu konkretisieren, sind jedoch genauere Informationen über die momentane Holzenergienutzung in BW erforderlich. Nur so lassen sich Planungssicherheit für die Investition in Heizwerke und Heizkraftwerke und eine nachhaltige Rohstoffversorgung erreichen. Im Projekt ENTRAIN (ENhancing renewable heaT planning for improving the aiR quAlity of commuNities), gefördert durch EU Interreg Central Europe und das UM BW, wurde eine Erfassung von Holzheiz(kraft)werken in Baden-Württemberg durchgeführt. Als Ergebnis liegt eine Anlagenliste vor, die für insgesamt 103 Standorte Informationen zu Betreiber, Alter der Anlage, eingesetzter Verbrennungstechnologie, Brennstoffart und -mengen, Anlagengröße (inst. Leistung), erzeugten Wärme- und Strommengen sowie relevanter Emissionsgrenzwerte und vermiedener CO₂-Emissionen enthält (Tabelle 3). Die Liste führt Informationen aus bestehenden Datenbanken wie dem Energieatlas BW, Monitoring-Daten verschiedener Institutionen (DBFZ, UFZ, ZSW) sowie brancheninterner Listen zusammen und wurde durch eine Erhebung im Rahmen des ENTRAIN-Projekts im Jahr 2019 ergänzt und verifiziert. Die vorhandenen Daten erheben keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Sie basieren meist auf EEG-Marktstammdaten, d.h. aus der Perspektive der Stromerzeugung. Daher ist die Wahrscheinlichkeit, dass Anlagen, die ausschließlich Wärme bereitstellen, nicht erfasst wurden. Die verwendeten Kenngrößen liefern nur bedingt Informationen zu Brennstoffeinsatz und -bedarf. Zudem wurden Heizwerke und Kleinf Feuerungen < 1 MW nicht systematisch erfasst.

Tabelle 3: Anlagenliste Holzheiz- und -heizkraftwerke in Baden-Württemberg (Quelle: Holzenergie-Fachverband BW)

Nr.	PLZ	Standort	inst. Leistung [kW]	Brennstoffeinsatz [t/a]	Brennstoffart
1	71729	Erdmannshausen	550	175	
2	88637	Leibertingen	800	710	
3	78224	Singen	900	507	
4	72250	Freudenstadt	1'000	1'000	
5	79219	Staufen i. Br.	1'000	1'000	
6	78532	Tuttlingen	1'000	1'000	
7	88317	Aichstetten	1'056	1'056	
8	79618	Herten	1'100	1'100	
9	77880	Sasbach	1'111	1'111	
10	77887	Sasbachwalden	1'111	1'111	
11	74549	Wolpertshausen	1'111	1'111	
12	73265	Dettingen	1'167	1'167	
13	79539	Lörrach	1'170	2'500	
14	78315	Radolfzell	1'200	507	
15	77723	Gengenbach	1'222	1'222	
16	78247	Hilzingen	1'300	282	
17	74821	Mosbach	1'333	1'333	
18	71315	Waiblingen	1'333	1'333	
19	72488	Sigmaringen	1'380	519	
20	78266	Büsingen	1'470	1'492	
21	77933	Lahr	1'560	323	
22	88605	Meßkirch	1'600	313	
23	79837	St. Blasien	1'650	1'695	
24	88239	Wangen	1'650	616	
25	74321	Bietigheim-Bissingen	1'667	1'667	
26	75365	Calw-Hirsau	1'667	1'667	
27	77955	Ettenheim	1'667	1'667	
28	73099	Adelberg	1'700	1'540	
29	70435	Stuttgart	1'750	3'454	
30	72202	Nagold	1'880	1'275	
31	78244	Gottmadingen	2'000	1'398	
32	79664	Wehr	2'000	3'622	
33	88430	Rot	2'100	2'190	
34	69207	Sandhausen	2'100	3'640	
35	76124	Karlsruhe	2'167	2'167	
36	71229	Leonberg	2'188	4'317	
37	79865	Grafenhausen	2'200	1'950	
38	72270	Baiersbronn	2'220	1'153	
39	78199	Bräunlingen	2'222	2'222	
40	79098	Freiburg	2'222	2'222	
41	72160	Horb a. N.	2'222	2'222	
42	75334	Straubenhardt	2'222	2'222	
43	78357	Mühlingen	2'240	4'421	
44	97959	Assamstadt	2'400	635	

Analyse der Datenlage zu Holz-Stoffströmen

Tabelle 2 (fortgeführt): Anlagenliste Holzheiz- und -heizkraftwerke in Baden-Württemberg (Quelle: Holzenergie-Fachverband BW)

Nr.	PLZ	Standort	inst. Leistung [kW]	Brennstoffeinsatz [t/a]	Brennstoffart
45	78052	Villingen-Schwenningen	2'400	2'750	
46	79713	Bad Säckingen	2'444	2'444	
47	73453	Abtsgmünd	2'490	621	
48	72285	Pfalzgrafenweiler	2'625	5'181	
49	73557	Mutlangen	2'778	2'778	
50	79682	Todtmoos	2'778	2'778	
51	72589	Westerheim	2'900	396	
52	79787	Lauchringen	2'975	5'872	
53	77971	Kippenheim	3'100	1'760	
54	71540	Murrhardt	3'280	533	
55	76494	Baden-Baden	3'333	3'333	
56	76131	Karlsruhe	3'333	3'333	
57	79379	Müllheim	3'333	3'333	
58	79801	Hohentengen	3'461	6'830	
59	77787	Nordrach	3'938	7'771	
60	77948	Friesenheim	4'025	7'944	
61	79108	Freiburg	4'156	8'203	
62	77866	Rheinau	4'200	3'280	
63	77815	Bühl	4'300	3'825	
64	88512	Mengen	4'300	1'037	
65	73760	Ostfildern	4'375	8'635	
66	69168	Wiesloch	4'444	4'444	
67	74172	Neckarsulm	4'813	9'498	
68	88316	Isny	4'950	4'000	
69	79539	Lörrach	5'000	931	
70	72458	Albstadt	5'150	1'397	
71	79256	Buchenbach	5'250	10'362	
72	74889	Sinsheim	5'250	10'362	
73	69427	Mudau	5'469	10'794	
74	88477	Schwendi	5'469	10'794	
75	74226	Nordheim	5'513	10'880	
76	88364	Wolfegg	6'929	10'790	
77	88239	Wangen	7'000	1'313	
78	72411	Bodelshausen	7'438	14'679	
79	77694	Kehl	7'930	4'575	
80	88356	Ostrach	8'333	8'333	
81	72359	Dotternhausen	9'000	23'000	
82	71282	Hemmingen	9'500	919	
83	73479	Ellwangen (Jagst)	9'800	30'132	
84	88416	Ochsenhausen	10'000	3'200	
85	74420	Oberrot	12'250	24'178	
86	97941	Tauberbischofsheim	13'280	3'559	

Tabelle 2 (fortgeführt): Anlagenliste Holzheiz- und -heizkraftwerke in Baden-Württemberg (Quelle: Holzenergie-Fachverband BW)

Nr.	PLZ	Standort	inst. Leistung [kW]	Brennstoffeinsatz [t/a]	Brennstoffart
87	71636	Ludwigsburg	14'600	42'000	LPM, WRH
88	74420	Oberrot	16'699	32'959	
89	72186	Empfingen	21'875	43'174	
90	69115	Heidelberg	21'875	43'174	Grünschnitt, LPM
91	74420	Oberrot	21'875	43'174	
92	77836	Rheinmünster	24'290	47'941	
93	77855	Achern	25'388	50'108	
94	74847	Obrigheim	28'306	55'868	
95	74722	Buchen- Sansenhecken	32'813	64'762	AI-AIV, WRH, Stroh
96	88436	Eberhardzell	36'750	72'533	
97	72531	Hohenstein	37'000	81'000	AI, AII, WRH
98	75179	Pforzheim	45'000	95'000	AI-AIII, LPM, WRH
99	89542	Herbrechtingen	49'000	140'000	AI-AII, WRH, LPM, Straßenbegleitgrün
100	72076	Tübingen	49'900	22'119	WRH, LPM, AI-AII
101	77694	Kehl	68'300	74'260	AI-AIV
102	89077	Ulm	82'000	140'000	AI-AIV, WRH, LPM
103	68305	Mannheim	86'844	140'000	AI-AIV

2.6. Gesamtbetrachtung in der Holzrohstoffbilanz

Das Konzept der Kaskadennutzung sieht vor, Rohstoffe möglichst effizient und nachhaltig zu nutzen. So sollen Produkte möglichst oft (u. a. durch Recycling) wiederverwendet werden. Anschließend können sie einer thermischen Nutzung zugeführt, also verbrannt werden. Die Bilanzierung der stofflichen und energetischen Holzverwendung für das Jahr 2016 von Mantau et al. (2022) zeigt, dass dies für den Rohstoff Holz bereits eine hohe Bedeutung hat und in der Praxis umgesetzt wird.

Auf Seiten der Holzverwendung zeigt die Bilanz (Abbildung 20), dass stoffliche und energetische Nutzung einen in etwa gleichen Anteil von je ca. 50 % haben. Dies wird durch die Kategorien auf Seiten des Holzaufkommens widerspiegelt. Sägestammholz und sonstiges Derbhholz sind die beiden Sortimenten, die sich besonders für eine stoffliche Nutzung eignen. Sie haben gemeinsam einen Anteil von 52 % am Holzaufkommen. Die weiteren Sortimente wie Waldrestholz, Altholz und Sägenebenprodukte sind eher für eine energetische Verwertung geeignet. Ob ein Stoff oder Element nahezu endlos im Nutzungskreislauf gehalten werden kann, ist davon abhängig, ob der Stoff im Rahmen der Aufbereitung zur Verwertung wieder auf die Qualität des Ausgangsrohstoffs gebracht werden kann. Zusätzliche Kriterien sind hierbei der dazu erforderliche Energieaufwand und Höhe der Anreicherung von Schadstoffen durch die mehrfache Nutzung. Bei vielen endlichen Rohstoffen wie z. B. Metallen oder kritischen Elementen kann ein endloser Kreislauf geschaffen werden. Beim nachwachsenden Rohstoff Holz erscheint das indes nicht zielführend zu sein. Studien zeigen eine hohe Schadstoffbelastungen im Altholz, die u. a. zu Überschreitungen der Grenzwerte für Schwermetallkonzentrationen führen können. Die Ergebnisse legen nahe, dass Holz nicht mehr als einmal wiederverwendet werden sollte (Thorwarth und Scheuber 2020). Die energetische Verwertung bietet den Vorteil, dass Schadstoffe sicher aus dem Nutzungskreislauf ausgeschleust werden können.

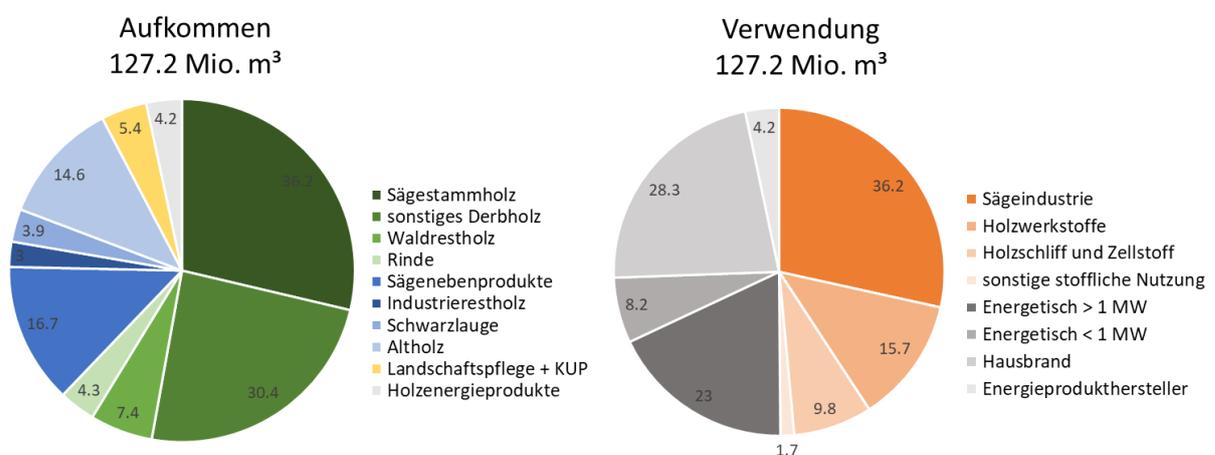


Abbildung 20: Holzrohstoffbilanz in Deutschland für das Jahr 2016. Eigene Darstellung nach Mantau et al. (2022).

Ein typisches Sortiment, das sowohl stofflich als auch energetisch genutzt wird, sind die Sägenebenprodukte. Für das Jahr 2015 ergibt sich nach (FNR 2018) innerhalb der ersten Verarbeitungsstufe in der Sägeindustrie aus einem Einschnitt von 36 Mio. fm ein Aufkommen an Sägenebenprodukten von 14 Mio. fm. Für das Jahr 2016 (siehe Abbildung 20) weist die Holzrohstoffbilanz ein Aufkommen an Sägenebenprodukten von 16,7 Mio. m³ aus (+ 19 % im Vergleich zum Vorjahr).

Auf die Frage, welche Menge an Sägenebenprodukten nun welcher Verwendung zugeführt wurden, ist keine klare Zuordnung möglich. Hier zeigt sich die große Schwäche der Darstellung in Form einer Bilanz im Vergleich zu einem Stoffflussdiagramm. Die vorliegenden Daten erlauben folgende Abschätzung: Für das Jahr 2015 zeigt Abbildung 14 die Verwendung von Sägenebenprodukten in der Sägeindustrie nachgelagerten Industriezweigen. Vom o. g. Aufkommen von 14 Mio. fm wurden ca. 6,2 Mio. fm für die Produktion von Holzwerkstoffen und ca. 3,8 Mio. fm für Holz- und Zellstoff eingesetzt. Rechnerisch ergibt sich eine verbleibende Differenz von 4 Mio. fm, die neben anderen Arten der stofflichen Nutzung theoretisch einer energetischen Nutzung hätte zugeführt werden können.

Im Jahr 2020 wurden nach Mantau et al. (2022) 9 Mio. m³ Sägenebenprodukte energetisch verwertet (Abbildung 18). Im Vergleich zu 2015 wurde den Veröffentlichungen zufolge also eine mehr als doppelt so große Menge dieses Sortiments (+ 125 % zwischen 2015 und 2020) energetisch genutzt. Aus den vorliegenden Bilanzen geht nicht eindeutig hervor, worin dieser große Unterschied begründet liegt. Insgesamt ist zwar der Trend zu erkennen, dass das Einschnittvolumen der deutschen Sägewerke in den letzten Jahren stetig gestiegen ist (Nöstler 2022). Daten von (Döring et al. 2020) für das Jahr 2018 zeigen jedoch trotz eines gestiegenen Einschnitts von 39 Mio. fm (+ 3 Mio. fm im Vergleich zu 2015) einen gleichbleibenden Anfall von 14,3 Mio. fm Sägenebenprodukten (14,0 Mio. fm in 2015), zzgl. 0,5 Mio. fm Kappstücke und 0,5 Mio. fm „Sonstiges“.

3. Vorbilder und Beispiele

3.1. Schweiz

Das Schweizerische Bundesamt für Energie (BFE) erfasst als Teil der Energiestatistiken Teilstatistiken zu erneuerbaren Energien (Sonne, Wind, Biomasse usw.), spezifischen Energietechniken (z. B. Kraft-Wärme-Kopplung oder Wärmepumpen) und den Energieverbrauch in Industrie- und Dienstleistungssektor (Bundesamt für Energie 2021). Im Rahmen dieser Teilstatistiken erscheint jährlich die Holzenergiestatistik, die im Auftrag des BFE durch ein Ingenieurbüro unter Mitwirkung des Branchenverbands Holzenergie Schweiz erstellt wird (Stettler 2020; Stettler und Staiger 2021).

Basierend auf Ausgangsdaten zum Anlagenbestand an Einzelraum- und Gebäudeheizungen sowie automatischen Holzfeuerungen (Biomasseheiz(kraft)werke) und einer Erhebung von Veränderungen in diesem Bestand werden der jährliche Holzumsatz sowie die Energiebereitstellung errechnet (Tabelle 4). Die Holzenergiestatistik bietet so jährlich ein aktuelles Bild der energetischen Holzverwendung mit Aussagen zur Effizienz des Anlagenparks, eingesetzten Holzmenngen und bereitgestellter Energie.

Das methodische Vorgehen der schweizerischen Holzenergiestatistik unterscheidet sich stark vom deutschen Pendant, dem Rohstoffmonitoring Holz (FNR 2018), dessen Ergebnisse im Kapitel 2 dargestellt sind. Während das Rohstoffmonitoring auf Stichprobenerhebungen zum Nutzerverhalten und entsprechenden Hochrechnungen basiert, liegt dem Schweizer Vorgehen ein Erhebungs- und Berechnungsmodell zu Grunde, das den Anlagenpark und spezifische Kennzahlen abbildet. Nach einmaliger detaillierter Aufnahme der Ausgangsdaten zum Anlagenbestand erfordert diese Art der Darstellung eine regelmäßige Pflege.

Tabelle 4: Untersuchungsrahmen und Berechnungsmethode der Schweizerischen Holzenergiestatistik

Kennzahl	Einzelraum-/Gebäudeheizungen	Automatische Holzfeuerungen
Ausgangsdaten	Anzahl Neuanlagen pro Jahrgang; spez. Holzbedarf [m ³ /Anlage], Jahresnutzungsgrad [%], Lebensdauer [a]	Erhebung Anlagenzahl und –leistung, Außerbetriebnahmen; spez. Holzbedarf [m ³ /kW], Jahresnutzungsgrad [%]
Anlagenbestand	Σ (Neuanlagen) ab Jahr X über Lebensdauer	Σ (Anlagen im Betrieb) im betrachteten Jahr
Holzumsatz [m ³ /a]	Σ (Neuanlagen * spez. Holzbedarf) * Betriebsgrad * Reduktionsfaktor Leerstandquote	Σ (Anlagenleistung im Betrieb * spez. Holzbedarf)
Endenergie [PJ/a]	Holzumsatz * Energieinhalt Holz (H _u) je Anlagenkategorie	Holzumsatz * Energieinhalt Holz (H _u), individueller Kennwert je Anlage
Endenergie effektiv [PJ/a]	Bereinigung mit Witterungskorrekturfaktor	Bereinigung mit Witterungskorrekturfaktor
Nutzenergie effektiv [PJ/a]	Endenergie * Jahresnutzungsgrad [%]	Endenergie * Jahresnutzungsgrad [%]

3.2. Österreich

Im Rahmen der Klimaschutzinitiative „klimaaktiv“ des Österreichischen Bundesministeriums für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (BMK) erstellen die Österreichische Energieagentur und die Landwirtschaftskammer jährlich einen Überblick der Holzströme in Österreich. Die Mengenströme der unterschiedlichen Holzsortimente vom Aufkommen (Holzeinschlag, Import, sonstiges Aufkommen) über verschiedene Verarbeitungswege (Sägeindustrie, sonstige Holzverarbeitung) bis zur vielfältigen stofflichen und energetischen Verwendung werden grafisch dargestellt (Abbildung 21).

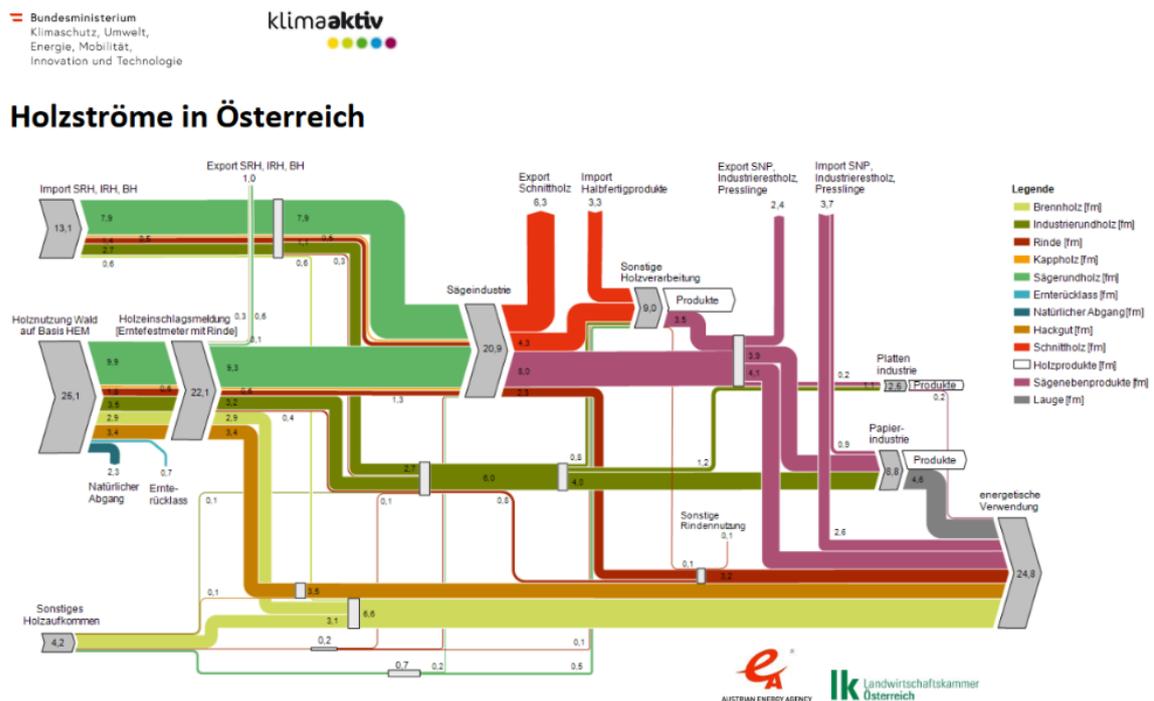


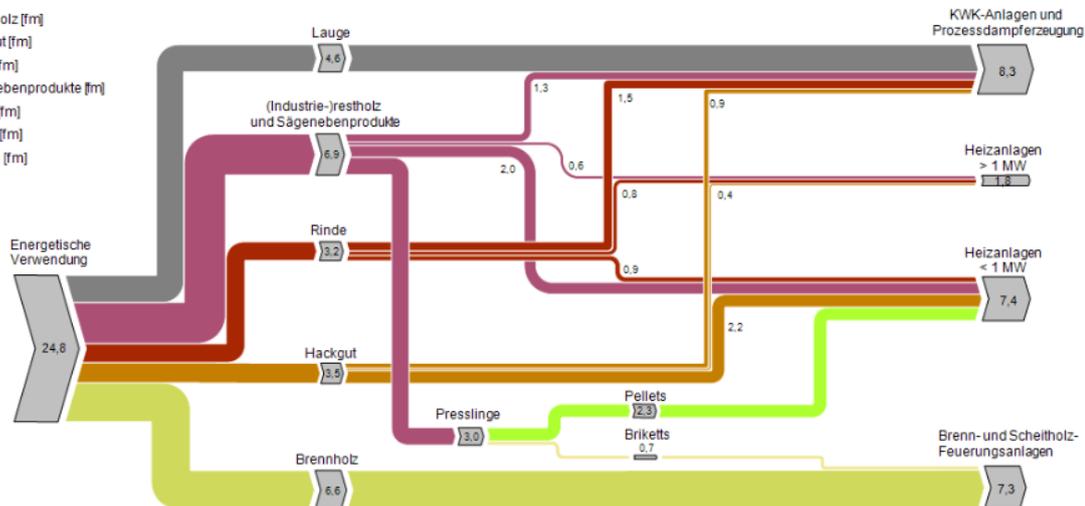
Abbildung 21: Holzströme in Österreich (Österreichische Energieagentur 2021)

Zusätzlich werden die energetischen Nutzungspfade nach Holzsortiment und Konversionstechnologie aufgeschlüsselt (Abbildung 22). Für die Diagramme werden u. a. Daten aus Holzeinschlagsmeldungen des Bundesministeriums für Landwirtschaft, Regionen und Tourismus (BMLRT), des Bundesforschungs- und Ausbildungszentrums für Wald, Naturgefahren und Landschaft (BFW), der Kooperationsplattform Forst Holz Papier (FHP), der Statistik Austria sowie Eigenberechnungen der Energieagentur und der Landwirtschaftskammer herangezogen (Österreichische Energieagentur 2021).

Holzströme in Österreich – Energetische Verwendung

Legende

- Brennholz [fm]
- Hackgut [fm]
- Rinde [fm]
- Sägebodenprodukte [fm]
- Lauge [fm]
- Pellets [fm]
- Briketts [fm]



Ausgabe: August 2021 / Bezugsjahr 2019 - Alle Werte in Mio. Erntefestmeter, Festmeter [fm], Kubikmeter [m³] angegeben; Ströme < 0,1 Mio. fm sind nicht dargestellt; Rundungsdifferenzen rechnerisch, Erstellt von DI Lorenz Strimitzer, DI Bernhard Wlcek, Österreichische Energieagentur – Austrian Energy Agency, DI Kasimir Nemestothy, LKÖ - Erstellt im Auftrag des BMK.

Abbildung 22: Holzströme in Österreich - Energetische Verwendung (Österreichische Energieagentur 2021)

Während die im Kapitel 2.6 dargestellte Holzrohstoffbilanz für Deutschland mengenmäßig Holzaufkommen und –nutzung auf nationaler Ebene darstellt, können Ursprung, Wege und Senken einzelner Stoffströme entlang der Wertschöpfungskette nicht verfolgt werden. Eine Darstellung als Fließbild wie im österreichischen Beispiel ermöglicht genauere Informationen zu verwendeten Mengen und Qualitäten in den jeweiligen Verwendungspfaden.

3.3. Bayern

Die Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF) mit Beteiligung von C.A.R.M.E.N. e.V. führt regelmäßig eine Untersuchung des Energieholzmarktes in Bayern hinsichtlich Aufkommen und Verbrauch durch. Nach ersten Veröffentlichungen von Wagner und Wittkopf (2000) und Bauer et al. (2006) erschien bisher jeweils im Abstand von zwei Jahren der Bericht „Energieholzmarkt Bayern“ (Friedrich et al. 2012; Friedrich et al. 2014; Weidner et al. 2016; Gößwein et al. 2018; Gößwein und Hiendlmeier 2020). Darin wird Holzbilanz (Aufkommen, Verbrauch und Außenhandel) sowie ein Stoffstrommodell der stofflichen und energetischen Holzverwendung in Bayern erstellt (Abbildung 23). Der Untersuchungsrahmen umfasst das Aufkommen an Waldenergieholz, Altholz, Holz aus Kurzumtriebsplantagen, Nebenprodukten der Sägeindustrie sowie Pelletproduktion und -verbrauch. Nachfrageseitig fließt die Holznutzung in Privathaushalten anhand 1.000 repräsentativer Haushalte, mittleren Holzfeuerungen und Biomasseheiz(kraft)werken sowie der Papier-, Zellstoff- und Holzwerkstoffindustrie in die Erhebung ein.

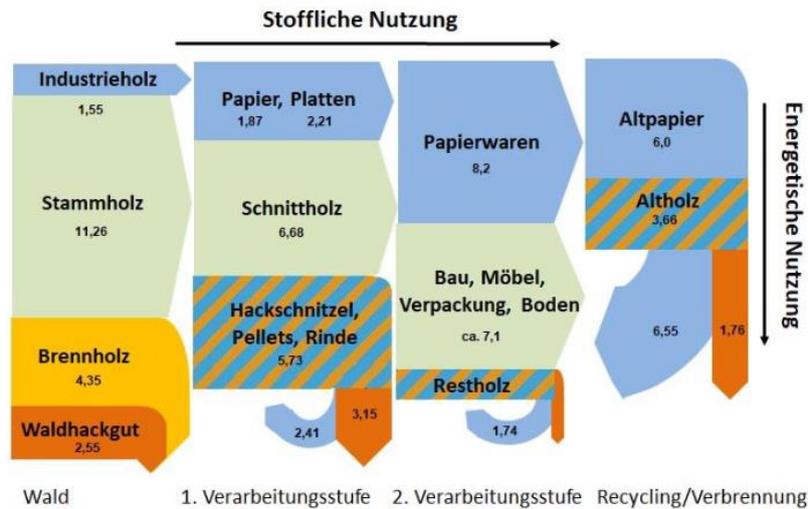


Abbildung 23: Die Stoffströme der stofflichen und energetischen Holzverwendung in Bayern im Jahr 2018 in Mio. fm mit Rinde bzw. m³ in einer vereinfachten Darstellung (Gößwein und Hiendlmeier 2020).

Darüber hinaus befasst sich ein aktuell laufendes Forschungsprojekt der Technischen Universität München mit der Bereitstellung und zirkulär ausgerichteten Nutzung nachwachsender Rohstoffe (Laufzeit 2021-2024, gefördert durch den Freistaat Bayern). Ziel ist die Erarbeitung einer Bayerischen Biomasse-Ressourcenstrategie für die Gewinnung nachwachsender Rohstoffe und ihre sinnvolle Integration in neue und bestehende Wertschöpfungskreisläufe (Bay StMELF 2021).

Als vergleichbare Erhebung zum bayerischen Energieholzmarktbericht veröffentlicht das UM BW jährlich Daten zur Entwicklung der Energiebereitstellung aus erneuerbaren Energien (UM BW 2021, 2020, 2019), darunter auch die Holzenergie in der Kategorie „feste biogene Brennstoffe“. Bei der Art der Energieholznutzung wird unterschieden zwischen Kaminöfen, Kachelöfen, Pelletöfen, Kaminen, Beistellherden und sonstigen Einzelfeuerstätten (zusammengefasst als „traditionell“) sowie Zentralheizungsanlagen, Heizwerken und Heizkraftwerken (zusammengefasst als „modern“). Während die Erhebung für Bayern ein gut aufgelöstes Bild der Wertschöpfungskette mit den zwei Dimensionen der stofflichen und energetischen Nutzung ergibt, ist für BW lediglich die aus Holz bereitgestellte Energiemenge erfasst. Die Einteilung in „traditionelle“ und „moderne“ Feuerungen lässt zwar gewisse Rückschlüsse auf die eingesetzten Brennstoffe zu, es fehlen jedoch genaue Informationen zu Brennstoffsportimenten und –Qualitäten.

4. Bewertung der Datenlage

Kapitel 2 fasst die verfügbaren Daten zu Holzpotenzialen und –stoffströmen aus wissenschaftlichen Untersuchungen und aus Veröffentlichungen offizieller Stellen zusammen. Darauf aufbauend zeigt Kapitel 3 exemplarisch Erhebungen aus Nachbarländern (Schweiz, Österreich und Bayern) zieht Vergleiche zu den verfügbaren Daten für Deutschland und BW.

Nun erfolgt eine Bewertung der Datenlage hinsichtlich den Kriterien Aussagekraft, Plausibilität, regionaler Auflösung und dem Bezug auf verschiedene Holzsortimente und Qualitäten. Dabei steht die Frage im Mittelpunkt, ob die bisherigen Erhebungen eine ausreichende Grundlage für den Ausbau der Holznutzung in BW im Sinne der Bioökonomie bilden. Entscheidend dafür ist die genaue Kenntnis der verfügbaren Rohstoffpotenziale. Darüber hinaus erfordert die Etablierung möglichst regionaler, kreislauforientierter und intelligent geführter Stoffströme einen guten Überblick zum Holzmarkt. Diese Voraussetzungen sind formuliert in den Maßnahmen 9, 12, und 15 der Bioökonomiestrategie des Landes (UM BW und MLR BW 2019).

Aussagekraft und Plausibilität

Die Bundeswald- und Kohlenstoffinventur werden in regelmäßigen Abständen von fünf Jahren durchgeführt. Eine Schwäche der daraus resultierenden Kennzahlen liegt darin, dass die Aussagen der Bundeswald- und Kohlenstoffinventur nur eine Bestandsaufnahme im Nachhinein erlauben. Unter dem Einfluss natürlicher Faktoren, v. a. der sich verändernden Wachstumsbedingungen durch den Klimawandel, und möglicher Änderungen im wirtschaftlichen und politischen Rahmen können keine genauen Prognosen über die zukünftigen Nutzungspotenziale getroffen werden. Eine weitere Einschränkung hinsichtlich der Aussagekraft der Daten zu Holzvorrat, Zuwachs und Ernte ist der ausschließliche Fokus auf das Derbholz. Andere Sortimente, die unter dem Begriff Waldrestholz zusammengefasst werden, spielen in der Nutzung bereits heute eine wichtige Rolle, v. a. für die energetische Verwertung. Die aktuell gehandelten Mengen dieses Rohstoffs werden in den Bilanzen des Rohstoffmonitoring Holz ausgewiesen. Daraus ist jedoch keine Information hinsichtlich des Nutzungsgrads und der verfügbaren Potenziale im Wald abzuleiten.

Regionale Auflösung und Bezug auf verschiedene Holzsortimente

Auf nationaler Ebene weist eine Holzbilanz mengenmäßig Holzaufkommen und –nutzung aus. Genauere Informationen zu Mengen und Qualitäten einzelner Stoffströme sind nur für einzelne Sektoren, z. B. den Altholzmarkt oder die Säge- und Holzwerkstoffindustrie vorhanden. Ein Vergleich der in diesen Sektoren verwendeten oder anfallenden Holzmengen ist schwierig, da grundsätzlich nach Rohholz und verschiedenen Sortimenten aus der Holzverarbeitenden Industrie zu unterscheiden ist und Doppelzählungen über die Nutzungskaskade hinweg vermieden werden müssen. Es werden verschiedene Dimensionen bzw. Einheiten verwendet, um die Massenströme zu beschreiben. Umrechnungen zwischen verschiedenen Angaben von Volumen (fm, m³), Masse (kg oder t, hier wäre die Angabe des

Wassergehalts besonders wichtig, ist jedoch oft nicht nachvollziehbar) oder Energieinhalt (J oder kWh) stellen Fehlerquellen dar.

Hinsichtlich der regionalen Auflösung bestehen für das Land BW große Wissenslücken. Dies geht auch aus einer Antwort des MLR BW auf eine Anfrage von Landtagsabgeordneten zum Holzmarkt im Land hervor (Landtag von Baden-Württemberg 2021). Beispielsweise wird der Holzexport durch das Statistische Landesamt erfasst. Insgesamt ist von 2016 bis 2020 ein kontinuierlicher Anstieg des Exports von ca. 296.000 t auf 456.000 t (Rundholz) bzw. von ca. 710.000 t auf 775.000 t (Schnittholz) zu erkennen. Eine differenzierte Darstellung des Holzexports nach Holzarten, Waldbesitzarten, und Exportländern ist nicht verfügbar.

Die Säge- und Holzverarbeitenden Betriebe im Land sind das Herzstück der holzbasierten Bioökonomie. Die verfügbaren Statistiken und Datenbanken zu diesem Wirtschaftszweig unterscheiden sich stark. Die Angaben variieren zwischen 206 (Statistisches Landesamt), 312 (DeSH) und 580 Unternehmen (Cluster Forst und Holz des Thünen Instituts). Zur Anzahl und Struktur der Säge- und Holzverarbeitende Betriebe gibt es kein klares Bild. Es gibt keine Erfassung der Betriebsgröße, des Rohstoffbedarfs, der Produkte und Nebenprodukte. Diese Informationen sind für den Aufbau einer umfassenden Kaskadennutzung im Sinne einer Bioökonomie wichtig. Weiter heißt es: „Über die Verwendungswege der Reststoffe und Nebenprodukte bei der Holzbe- und -verarbeitenden Industrie findet keine aggregierte statistische Erfassung statt. Denn diese werden je nach weiterem Verwendungsweg (Holzwerkstoffindustrie, Papier-Zellstoffindustrie, Pellets, interne Verwendung) als Nebenprodukte oder Abfälle mit entsprechenden Abfallschlüsseln deklariert. (Landtag von Baden-Württemberg 2021).“

Im Ergebnis ist festzuhalten, dass die in der vorliegenden Studie aufbereiteten Statistiken als Grundlage für den Aufbau einer wissensbasierten Bioökonomie nicht ausreichend sind. Um die in der Landesstrategie formulierten Ziele der nachhaltigen Erschließung von Rohstoffpotenzialen und des intelligenten Managements möglichst regionaler Stoffkreisläufe zu erreichen, ist eine aggregierte Erfassung von Aufkommen, Nutzungspfaden und Verwendungen erforderlich. Die Aufbereitung der Daten sollte so erfolgen, dass Holzmengen und Qualitäten möglichst regional aufgelöst entlang der Wertschöpfungskette verfolgt werden können.

5. Fazit

Die Nutzung von Holz war bisher stark an Nadelholz, v. a. der Fichte orientiert. Durch den Umbau des Waldes hin zu einem klimaangepassten Mischwald mit höheren Anteilen an Laubbäumen ändert sich das Rohstoffangebot. Hier liegen Chancen für die holzbasierte Bioökonomie, die Nutzungsmöglichkeiten für Laubholz auszuweiten.

Insgesamt steht bereits heute eine breite Palette an Verarbeitungs- und Konversionspfaden für den nachwachsenden Rohstoff Holz zur Verfügung. Vielfältige Arten der stofflichen Nutzung basieren auf den Kerngedanken von Ressourceneffizienz, Kaskadennutzung und *Zero Waste*. Reststoffe, die in einem Verarbeitungsschritt anfallen, werden abhängig von der Qualität einer geeigneten nachgelagerten Nutzung zugeführt.

Ein weiteres Element der Wertschöpfungskette ist die energetische Verwertung von Holz, die gleichzeitig einen Beitrag zur Energiewende und zur Ausschleusung von Schadstoffen aus dem Nutzungskreislauf leisten kann. Für das Schließen natürlicher Stoffkreisläufe im Sinne der Bioökonomie ist es wichtig, auch Verbrennungsrückstände in Form von Holzasche oder Biokohle für eine Nutzung zu erschließen.

Absolut betrachtet, begrenzen natürlich die jährlich zuwachsenden Mengen das Potenzial der Nutzung von Holz als Rohstoff in einer biobasierten Ökonomie. Ein großer Unsicherheitsfaktor, der die Prognose dieser Mengen erschwert, ist die Auswirkung der Klimaveränderung auf Gesundheit und Produktivität der Waldbestände. Dennoch erscheint eine Ausweitung der Nutzung innerhalb der Leitplanken der Nachhaltigkeit realistisch. Historisch betrachtet wurde in den letzten 20 Jahren etwa ein Viertel des Holzzuwachses nicht genutzt. Zusätzliche Nutzungspotenziale ergeben sich aus Effizienzsteigerungen, v.a. in der energetischen Nutzung, z.B. durch den Einsatz von Absorptionswärmepumpen. Durch den Ersatz traditioneller Einzelraumfeuerungen durch moderne Heizkessel oder die Kombination von Holzenergie mit anderen Wärmequellen wie z. B. Solarthermie oder Umweltwärme lassen sich Versorgungssicherheit und andere Ziele wie Luftreinhaltung und Ressourceneffizienz vereinen.

Die zentrale Frage für die Weiterentwicklung einer holzbasierten Bioökonomie ist, über welche Verwendungspfade das verfügbare Holzpotenzial verteilt und möglichst sinnvoll und effizient genutzt wird. Investitionsentscheidungen für die Entwicklung neuer Projekte bzw. Anlagen zur stofflichen oder energetischen Nutzung werden basierend auf Analysen des jeweiligen Einzelfalles getroffen. Der Planungsprozess entspricht bisher eher einem „Fahren auf Sicht“. Es gibt keine übergreifende Strategie, aus der hervorgeht welche Rohstoffpotenziale und Stoffströme aktuell welcher Nutzung zugeführt werden und welche Perspektiven sich für zukünftige Nutzungen ergeben. Das Ziel der Bioökonomie, ein intelligentes, möglichst regionales und kreislauforientiertes Management der natürlichen Ressourcen zu etablieren, ist auf dieser Basis schwer zu erreichen. Die aufgezeigten Beispiele aus Österreich, der Schweiz und Bayern geben Anhaltspunkte, wie eine bessere Datengrundlage für die intelligente Verteilung und Nutzung des Rohstoffs Holz geschaffen werden kann.

Literaturverzeichnis

ARGE QM Holzheizwerke (2022): Planungshandbuch. 3., komplett überarbeitete Auflage. Straubing: CARMEN (Schriftenreihe QM Holzheizwerke, 4).

Bauer, J.; Zormaier, F.; Borchert, H.; Burger, F. (2006): Energieholzmarkt Bayern. Analyse der Holzpotenziale und der Nachfragestruktur. Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft. Freising. Online verfügbar unter <https://www.lwf.bayern.de/mam/cms04/service/dateien/w53-energieholzmarkt-bayern.pdf>, zuletzt geprüft am 06.12.2021.

Bay StMELF (2021): Vorbereitung einer Bayerischen Biomasse-Ressourcenstrategie - wissenschaftliche Grundlagen und Empfehlungen. BioReSt (Projekt C 52). Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten. Online verfügbar unter <https://www.lwf.bayern.de/forsttechnik-holz/biomassenutzung/279092/index.php>.

BMBF; BMEL (Hg.) (2020): Nationale Bioökonomiestrategie. Bundesministerium für Bildung und Forschung; Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft. Online verfügbar unter https://www.bmbf.de/SharedDocs/Publikationen/de/bmbf/pdf/nationale-biooekonomiestrategie_3341.pdf;jsessionid=58B8BCE5E96A95BA714B33CF6FD52954.live381?__blob=publicationFile&v=2, zuletzt aktualisiert am März 2020, zuletzt geprüft am 02.08.2021.

BMEL (2018): Der Wald in Deutschland. Ausgewählte Ergebnisse der dritten Bundeswaldinventur. Bundesministerium. Online verfügbar unter https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/Broschueren/bundeswaldinventur3.pdf;jsessionid=1E534EFACBD22FB528CD0F3B091DA16C.live841?__blob=publicationFile&v=3, zuletzt aktualisiert am Oktober 2014, zuletzt geprüft am 03.11.2021.

Bolte, A.; Ammer, C.; Annighöfer, P.; Bauhus, J.; Eisenhauer D.-R.; Geissler, C. et al. (2021): Fakten zum Thema: Wälder und Klimaschutz. Deutscher Verband Forstlicher Forschungsanstalten (DVFFA). In: *AFZ Der Wald* (11), S. 12–15. Online verfügbar unter https://literatur.thuenen.de/digbib_extern/dn063660.pdf.

Bundesamt für Energie (2021): Teilstatistiken. Online verfügbar unter <https://www.bfe.admin.ch/bfe/de/home/versorgung/statistik-und-geodaten/energiestatistiken/teilstatistiken.html#kw-98126>, zuletzt geprüft am 06.12.2021.

Bundesregierung (2002): Verordnung über Anforderungen an die Verwertung und Beseitigung von Altholz (Altholzverordnung). AltholzV, vom zuletzt geändert am 19.06.2020. Fundstelle: BGBl. I S. 3302.

Bundesregierung (2012): Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Bewirtschaftung von Abfällen (Kreislaufwirtschaftsgesetz). KrWG, vom zuletzt geändert am 20.07.2017. Fundstelle: BGBl I S. 212.

Churkina, Galina; Organschi, Alan; Reyer, Christopher P. O.; Ruff, Andrew; Vinke, Kira; Liu, Zhu et al. (2020): Buildings as a global carbon sink. In: *Nat Sustain* 3 (4), S. 269–276. DOI: 10.1038/s41893-019-0462-4.

DEPI (2021): Pelletproduktion. Deutsches Pelletinstitut. Online verfügbar unter <https://www.depi.de/pelletproduktion>.

Destatis (2021): Land- und Forstwirtschaft, Fischerei. Forstwirtschaftliche Bodennutzung - Holzeinschlagstatistik -. 2020. Statistisches Bundesamt (Fachserie 3 Reihe 3.3.1). Online verfügbar unter <https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Landwirtschaft-Forstwirtschaft->

Fischerei/Wald-Holz/Publikationen/Downloads-Wald-und-Holz/holzeinschlag-2030331207004.html, zuletzt aktualisiert am 15.04.2021.

Döring, P.; Giesecking, L.; Mantau, U. (2020): Sägeindustrie 2018. Einschnitt- und Produktionsvolumen. Hamburg. Online verfügbar unter http://infro.eu/downloads/studien_neu_2022/S01%20Saageindustrie%202018.pdf.

EC (2018): A sustainable bioeconomy for Europe: strengthening the connection between economy, society and the environment. Updated Bioeconomy Strategy. European Commission. Online verfügbar unter <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/edace3e3-e189-11e8-b690-01aa75ed71a1>, zuletzt geprüft am 04.11.2021.

Flamme, Sabine; Hams, Sigrid; Bischoff, Jens; Fricke, Claas (2020): Evaluierung der Altholzverordnung im Hinblick auf eine notwendige Novellierung. Umweltbundesamt (Texte, 95/2020). Online verfügbar unter https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/publikationen/texte_95-2020_evaluierung_der_altholzverordnung_im_hinblick_auf_eine_notwendige_novellierung.pdf.

FNR (Hg.) (2018): Rohstoffmonitoring Holz. Mengenmäßige Erfassung und Bilanzierung der Holzverwendung in Deutschland. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (Schriftenreihe Nachwachsende Rohstoffe Band 38). Online verfügbar unter <https://edocs.tib.eu/files/e01fn18/1029673020.pdf>, zuletzt geprüft am 03.11.2021.

Friedrich, S.; Gaggermeier, A.; Hiendlmeier, S.; Zettinig, C. (2014): Energieholzmarkt Bayern 2012. Untersuchung des Energieholzmarktes in Bayern hinsichtlich Aufkommen und Verbrauch. Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft. Freising. Online verfügbar unter https://www.lwf.bayern.de/mam/cms04/forsttechnik-holz/dateien/energieholzmarkt_bayern_2012_bf.pdf, zuletzt geprüft am 06.12.2021.

Friedrich, S.; Schumann, C.; Zormaier, F.; Schulmeyer, F.; Dietz, E.; Burger, F. et al. (2012): Energieholzmarkt Bayern 2010. Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft. Freising. Online verfügbar unter https://www.lwf.bayern.de/mam/cms04/service/dateien/w70_energieholzmarkt_bayern_2010_gesamtheft_gesch.pdf, zuletzt geprüft am 06.12.2021.

Gebhart-Graf, Claus; Graf, Thomas; Hartel, Rupert; Horn, Michael; Leiber, Thomas; Metzger, Thomas et al. (2021): Luftschadstoff-Emissionskataster Baden-Württemberg. LUBW Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg. Karlsruhe. Online verfügbar unter <https://pd.lubw.de/10206>.

Gößwein, S.; Hiendlmeier, S. (2020): Energieholzmarkt Bayern 2018. Untersuchung des Energieholzmarktes in Bayern hinsichtlich Aufkommen und Verbrauch. Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft; C.A.R.M.E.N. e.V. Online verfügbar unter https://www.lwf.bayern.de/mam/cms04/service/dateien/energieholzmarkt_2018_bericht_bf.pdf, zuletzt geprüft am 04.11.2021.

Gößwein, S.; Hiendlmeier, S.; Borchert, H. (2018): Energieholzmarkt 2016. Abschlussbericht. Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft. Freising. Online verfügbar unter https://www.lwf.bayern.de/mam/cms04/service/dateien/energieholzmarkt_bayern_2016_bf.pdf, zuletzt geprüft am 03.11.2021.

Hafner, Manuel; Springorum, Jan; Petkau, Artur (2021): Was ist (holzbasierte) Bioökonomie? Analyse nationaler und internationaler politischer Strategiepapiere zur Bioökonomie und zur Waldbewirtschaftung. In: *Holz-Zentralblatt* 147, 22.01.2021 (Nummer 3), S. 47.

Heimann, Tobias (2019): Bioeconomy and SDGs: Does the Bioeconomy Support the Achievement of the SDGs? In: *Earth's Future* 7 (1), S. 43–57. DOI: 10.1029/2018EF001014.

- Hennig, Petra; Schnell, Sebastian; Riedel, Thomas (2019a): Produktivität der Wälder. Kohlenstoffinventur 2017. In: *AFZ Der Wald* (14), S. 28–31. Online verfügbar unter https://www.thuenen.de/media/institute/wo/Waldmonitoring/THG/Projekt/CI2017/AFZ_14_19_Kohlenstoff_Artikel_6_Produktivitaet.pdf.
- Hennig, Petra; Schnell, Sebastian; Riedel, Thomas (2019b): Rohstoffquelle Wald - Holzvorrat auf neuem Rekord. Kohlenstoffinventur 2017. In: *AFZ Der Wald* (14), S. 24–27. Online verfügbar unter https://www.thuenen.de/media/institute/wo/Waldmonitoring/THG/Projekt/CI2017/AFZ_14_19_Kohlenstoff_Artikel_5_Rohstoff.pdf.
- Kilgus, D.; Struschka, M.; Baumbach, G. (2007): Ermittlung des Emissionsaufkommens für Staub im Bereich der Haushalte und Kleinverbraucher in Baden-Württemberg.
- Landtag von Baden-Württemberg (2021): Holzmarkt in Baden-Württemberg. Kleine Anfrage der Abg. Klaus Hoher und Jochen Haußmann FDP/DVP und Antwort des Ministeriums für Ländlichen Raum und Verbraucherschutz. Drucksache 16/10011. Online verfügbar unter https://www.landtag-bw.de/files/live/sites/LTBW/files/dokumente/WP16/Drucksachen/10000/16_10011_D.pdf, zuletzt aktualisiert am 10.03.2021, zuletzt geprüft am 03.11.2021.
- Leiber, Thomas; Gromes, Bernhard; Graf, Thomas; Metzger, Thomas Schemel; Gebhart-Graf, Claus; LUBW Referat 31 - Luftreinhaltung, Umwelttechnik et al. (2017): Luftschadstoff-Emissionskataster Baden-Württemberg 2014. LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg. Karlsruhe. Online verfügbar unter <https://pd.lubw.de/80585>.
- Mantau, U. (2012): Holzrohstoffbilanz Deutschland, Entwicklungen und Szenarien des Holzaufkommens und der Holzverwendung 1987 bis 2015. Hamburg. Online verfügbar unter <https://d-nb.info/1028947232/34>.
- Mantau, U.; Fehrenbach, H.; Hennenberg, K. (2022): Aktuelle Holzenergienutzung in Deutschland. In: UBA (Hg.): Aktuelle Nutzung und Förderung der Holzenergie. Teilbericht zu den Projekten BioSINK und BioWISE. Dessau-Roßlau.
- Mantau, U.; Hennenberg, K. (2022): Außenhandel mit Holzenergieprodukten. In: UBA (Hg.): Aktuelle Nutzung und Förderung der Holzenergie. Teilbericht zu den Projekten BioSINK und BioWISE. Dessau-Roßlau.
- Mayer, Elisa; Eichermüller, Johanna; Endriss, Felix; Baumgarten, Björn; Kirchhof, Rainer; Tejada, Julian et al. (2022): Utilization and recycling of wood ashes from industrial heat and power plants regarding fertilizer use. In: *Waste management (New York, N.Y.)* 141, S. 92–103. DOI: 10.1016/j.wasman.2022.01.027.
- Nöstler, M. (2022): Sägewerke erhöhten 2021 Einschnitt weiter. In: *Holzkurier.com*, 09.03.2022. Online verfügbar unter https://www.holzkurier.com/schnittholz/2022/03/deutsche_saegewerkeerhoehten2021einschnittweiter.html.
- Oehmichen, Katja; Bender, Susann; Gerber, Kristin; Polley, Heino; Röhling, Steffi; Dunger, Karsten (2018): Die alternativen WEHAM-Szenarien. Holzpräferenz, Naturschutzpräferenz und Trendfortschreibung : Szenarienentwicklung, Ergebnisse und Analyse. Braunschweig, Germany: Johann Heinrich von Thünen-Institut (Thünen Report, 59). Online verfügbar unter <http://hdl.handle.net/10419/180212>.
- Österreichische Energieagentur (2021): klimaaktiv Erneuerbare Energie. Energieholz - Holzströme in Österreich. Online verfügbar unter

Analyse der Datenlage zu Holz-Stoffströmen

https://www.klimaaktiv.at/erneuerbare/energieholz/holzstr_oesterr.html, zuletzt aktualisiert am 22.10.2021, zuletzt geprüft am 06.12.2021.

Riegger, Ulrike (2017): Nachhaltige Bereitstellung von Energieholz in Baden-Württemberg. Waldbesitzer als Partner des Klimaschutzes. Vortrag, Holzenergie-Tagung Baden-Württemberg. Rottenburg.

Schelhaas, Mart-Jan; Nabuurs, Gert-Jan; Schuck, Andreas (2003): Natural disturbances in the European forests in the 19th and 20th centuries. In: *Global Change Biology* 9 (11), S. 1620–1633. DOI: 10.1046/j.1365-2486.2003.00684.x.

Schulze, Ernst Detlef; Bouriaud, Olivier; Irslinger, Roland; Valentini, Riccardo (2022): The role of wood harvest from sustainably managed forests in the carbon cycle. In: *Annals of Forest Science* 79 (1). DOI: 10.1186/s13595-022-01127-x.

Schulze, Ernst Detlef; Sierra, Carlos A.; Egenolf, Vincent; Woerdehoff, Rene; Irslinger, Roland; Baldamus, Conrad et al. (2020): The climate change mitigation effect of bioenergy from sustainably managed forests in Central Europe. In: *GCB Bioenergy* 12 (3), S. 186–197. DOI: 10.1111/gcbb.12672.

Schulze, Ernst-Detlef; Rock, Joachim; Kroiher, Franz; Egenolf, Vincent; Wellbrock, Nicole; Irslinger, Roland et al. (2021): Klimaschutz mit Wald. 46-54 Seiten / *Biologie in unserer Zeit*, Bd. 51 Nr. 1 (2021): Nachhaltigkeit und globaler Wandel / *Biologie in unserer Zeit*, Bd. 51 Nr. 1 (2021): Nachhaltigkeit und globaler Wandel. DOI: 10.11576/BIUZ-4103.

Stettler, Y. (2020): Schweizerische Holzenergiestatistik. Erhebung für das Jahr 20! Im Auftrag des Bundesamtes für Energie. Basler & Hofmann AG, Zürich. Online verfügbar unter file:///C:/Users/johan/AppData/Local/Temp/10171-Schweizerische_Holzenergiestatistik_EJ2019_20210510.pdf, zuletzt geprüft am 06.12.2021.

Stettler, Y.; Staiger, P. (2021): Schweizerische Holzenergiestatistik. Erhebung für das Jahr 2020. Im Auftrag des Bundesamtes für Energie. Basler & Hofmann AG, Zürich. Online verfügbar unter file:///C:/Users/johan/AppData/Local/Temp/10617-Schweizerische_Holzenergiestatistik_EJ2020_20210825_FINAL.pdf, zuletzt geprüft am 06.12.2021.

StMWi Bayern (Hg.) (2020): Bioökonomiestrategie Bayern. Zukunft. Bioökonomie. Bayern. Transformation nachhaltig und innovativ gestalten. Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft, Landesentwicklung und Energie. Online verfügbar unter https://www.stmwi.bayern.de/fileadmin/user_upload/stmwi/Publikationen/2020/2020-11-23_ZukunftBiooekonomieBayern-BF.pdf, zuletzt geprüft am 06.07.2021.

Thorwarth, H. (2018): Energetische Nutzung von Holz – Notwendigkeit, Potenziale und Grenzen. Holzenergie-Tagung Baden-Württemberg. Rottenburg, 22.11.2018.

Thorwarth, Harald; Scheuber, Matthias (2020): Die Qualität bestimmt die Grenzen der Kaskadennutzung von Altholz. In: *Müll und Abfall* (3). DOI: 10.37307/j.1863-9763.2020.03.06.

UM BW (2019): Erneuerbare Energien in Baden-Württemberg 2018. Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg. Online verfügbar unter https://um.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-um/intern/Dateien/Dokumente/2_Presse_und_Service/Publikationen/Energie/Erneuerbare-Energien-2018.pdf, zuletzt geprüft am 03.11.2021.

UM BW (2020): Erneuerbare Energien in Baden-Württemberg 2019. Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg. Online verfügbar unter https://um.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-um/intern/Dateien/Dokumente/2_Presse_und_Service/Publikationen/Energie/Erneuerbare-Energien-2019.pdf, zuletzt geprüft am 03.11.2021.

um/intern/Dateien/Dokumente/2_Presse_und_Service/Publikationen/Energie/Erneuerbare-Energien-2019-bf.pdf, zuletzt geprüft am 03.11.2021.

UM BW (2021): Erneuerbare Energien in Baden-Württemberg 2020. Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg. Stuttgart. Online verfügbar unter https://um.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-um/intern/Dateien/Dokumente/2_Presse_und_Service/Publikationen/Energie/Erneuerbare-Energien-2020-barrierefrei.pdf, zuletzt geprüft am 03.11.2021.

UM BW; MLR BW (Hg.) (2019): Landesstrategie nachhaltige Bioökonomie Baden-Württemberg. Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg; Ministerium für Ländlichen Raum und Verbraucherschutz Baden-Württemberg. Online verfügbar unter https://mlr.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-mlr/intern/dateien/PDFs/Bio%C3%B6konomie/Landesstrategie_Nachhaltige_Bio%C3%B6konomie.pdf, zuletzt aktualisiert am 06.07.2021.

United Nations General Assembly (2015): Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development. Resolution adopted by the General Assembly on 25 September 2015. Online verfügbar unter https://www.un.org/en/development/desa/population/migration/generalassembly/docs/globalcompact/A_RES_70_1_E.pdf.

Wagner, K.; Wittkopf, S. (2000): Der Energieholzmarkt Bayern. Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft. Freising. Online verfügbar unter https://www.lwf.bayern.de/mam/cms04/service/dateien/w26_der_energieholzmarkt_bayern_gesamtheft_gesch.pdf, zuletzt geprüft am https://www.lwf.bayern.de/mam/cms04/service/dateien/w26_der_energieholzmarkt_bayern_gesamtheft_gesch.pdf.

Weidner, U.; Hiendlmeier, S.; Zenker, M.; Borchert, H.; Friedrich, S.; Schulmeyer, F.; Leuchtweis, C. (2016): Energieholzmarkt Bayern 2014. Abschlussbericht. Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft. Freising. Online verfügbar unter https://www.lwf.bayern.de/mam/cms04/service/dateien/energieholzmarkt_bayern_2014_bf.pdf, zuletzt geprüft am 06.12.2021.

Wern, B.; Thorwarth, H.; Scholl, F.; Matschoss, P.; Vogler, C.; Baur, F. (2021): Die Rolle von Holz in der Energiewende. In: *Energiewirtschaftliche Tagesfragen* 71 (11), S. 42–46. Online verfügbar unter https://www.izes.de/sites/default/files/publikationen/ET%202021_Rolle%20von%20Holz%20in%20der%20Energiewende.pdf.