

Ministerium für Ernährung, Ländlichen Raum und Verbraucherschutz Baden-Württemberg Klimawaldprodukte



2. Juni 2025

Metastudie zu klimabedingten Veränderungen im Wald und den Auswirkungen auf Holzwertschöpfungskette und Holzbau

Bericht

Impressum

Auftraggeber Ministerium für Ernährung, Ländlichen Raum und Verbraucherschutz
Referat 54 – Holzbau-Offensive
Kernerplatz 10
D-70182 Stuttgart

Ansprechpartner Jan Bulmer

Auftragnehmer Intep
Integrale Planung GmbH
Tucholskystraße 13
10117 Berlin
T +49 (0) 30 40 36 666 83
www.intep.com

Geschäftsführer:
René Sigg | Beat Stemmler
AG Charlottenburg
HRB 226770 B

Verfasser	Jonathan Graf	B. Sc. International Management
	Jana Tappeiner	M. A. Humangeographie / Global Studies
	Dr. Heidi Mittelbach	Dipl. Hydrologin
	Rahel Amacker	B.A. Politikwiss. und Soziologie
	Dr. Christian Schmid	Dipl. Geograph

Versionierung					
	Datum	Version	Kommentar	Verantw.	Freigabe
	2. Juni 2025	1.0	Dokument erstellt	jg	cs

Inhaltsübersicht

1	Zusammenfassung	4
2	Einleitung	7
2.1	Ausgangslage und Aufgabenstellung	7
2.2	Ziele	7
3	Methodisches Vorgehen	8
4	Teil I: Wald & Holz in Baden-Württemberg	10
4.1	Waldfunktionen	10
4.2	Der Wald in Baden-Württemberg	10
4.3	Das Cluster Forst-Holz in Baden-Württemberg	22
4.4	Der Rohstoff Holz vom Wald bis zum Holzbau	30
4.5	Die Holzstoffströme im DACH-Raum	47
4.6	Der Holzmarkt und Holzverwendungsszenarien	58
5	Teil II: Klimawaldprodukte	61
6	Fazit und Handlungsempfehlungen	84
6.1	Ausgangslage und Ziele	84
6.2	Verfügbarkeit und Verwendung von Holz	84
6.3	Wirtschaftliche Bedeutung von Holz	85
6.4	Holzbau und die Bedeutung von Laubholz	85
6.5	Erkenntnisse aus dem DACH-Raum	86
6.6	Handlungsfelder und Stoßrichtungen	86
6.7	Handlungsempfehlungen	88
7	Quellenverzeichnis	89
A	Anhang	99
A.1	Explorative Expertengespräche	99
A.2	Praxisgespräche	99

1 Zusammenfassung

Einleitung

Der Wald in Baden-Württemberg ist eine essenzielle Ressource und bildet die Grundlage des Clusters Forst- und Holzwirtschaft. Aufgrund des fortschreitenden Klimawandels und der Waldumbaumaßnahmen stehen alle Beteiligten der Wertschöpfungskette vor neuen Herausforderungen. Das Ziel ist es, das starke Forst- und Holzbau-Cluster zu erhalten, indem die gesamte Wertschöpfungskette auf die Veränderungen vorbereitet wird. Dies soll die nachhaltige Nutzung des Rohstoffs Holz fördern, den Wald als Lebensraum schützen und die wirtschaftliche Wertschöpfung entlang der gesamten Kette stärken. Die vorliegende Metastudie dient als Wissensgrundlage, um die möglichen Entwicklungen und den aktuellen Stand für Klimawaldprodukte zu beleuchten.

Methodisches Vorgehen

Für die Studie wurde eine umfassende Literaturrecherche durchgeführt, welche durch qualitative Interviews ergänzt worden ist. In einem ersten Schritt wurde der aktuelle Zustand des Waldes und des Clusters Forst-Holz in Baden-Württemberg durch eine umfangreiche Literaturanalyse erfasst. Daraufaufgehend wurden die zukünftige Waldentwicklung und Holzverwendung anhand der WEHAM-Szenarien betrachtet. In einem nächsten Schritt wurden im Abgleich mit der aktuellen Holzverwendung Themenfelder für Klimawaldprodukte identifiziert, welche dann in explorativen Expertengesprächen behandelt wurden. Die Erkenntnisse aus den explorativen Gesprächen wurden weiter durch Gespräche mit Branchenvertretenden validiert und ergänzt. Mit den Ergebnissen der Literaturrecherche sowie der Interviews wurden zuletzt Handlungsfelder und Stoßrichtungen ausgeführt, die im Kontext der klimabedingten Veränderung des Waldes künftig an Bedeutung gewinnen werden.

Teil I: Wald & Holz in Baden-Württemberg

Der Wald umfasst rund 38 % der Landesfläche von Baden-Württemberg, wobei die Baumarten Fichte (ca. 34 %) und Buche (ca. 22 %) anteilmäßig die größten Flächen ausmachen. Über alle Baumarten betrachtet, erfolgte zwischen 1987 und 2012 ein Vorratszuwachs, während jedoch bei Kiefern und Fichten ein Vorratsabbau verzeichnet wurde. In den letzten Jahren hat der klimabedingte Schädigungsgrad des Waldes weiter zugenommen, wobei seit 2019 ein beträchtlicher Kalamitätsholzeinschlag verzeichnet wurde. Der Wald trägt neben anderen Funktionen und Ökosystemleistungen als Kohlenstoffspeicher eine wichtige Rolle im Klimawandel, ist jedoch auch von den Auswirkungen des Klimawandels betroffen. Für die künftige Walnutzung ist es erforderlich, die Wälder auf den Klimawandel vorzubereiten, weshalb grundsätzlich standortgerechte, strukturreiche Mischwälder angestrebt werden. Durch den Klimawandel und die dadurch angepasste Waldbewirtschaftung werden sich in Zukunft die Rohholzaufkommen verändern. Das Rohholzaufkommen wird sich bis 2052 insgesamt reduzieren, wobei ebenfalls Veränderungen in der Verfügbarkeit bestimmter Baumarten und Holzsortimente erwartet werden.

Das Cluster Forst-Holz von Baden-Württemberg hat sich in den letzten 20 Jahren positiv entwickelt, mit einer deutlichen Steigerung der Bruttowertschöpfung je beschäftigter Person und Umsatz je Unternehmen. Die Holzbauquote in Baden-Württemberg steigerte sich deutlich und liegt fast 10 % über dem bundesweiten Durchschnitt. Neben dem Neubau trägt der Bestandsbau, beziehungsweise Modernisierungen und Aufstockungen, ebenfalls eine sehr wichtige Rolle und trägt auch künftig hohes Potenzial für den Holzbau.

Sowohl in Baden-Württemberg als auch in gesamt Deutschland besteht eine sehr hohe Abhängigkeit von Nadelholz, welche sich von der Bereitstellung in der Forstwirtschaft bis zum Holzbau verfolgen lässt. Die steigende Verfügbarkeit von Laubholz in den letzten 20 Jahren hat nicht dazu geführt, dass die stoffliche Verwendung zugenommen hat, sondern dass die energetische Verwertung angestiegen ist. In Deutschland werden rund 25 % des Waldholzes energetisch verwertet, wobei die stoffliche Verwendung in der endgültigen Nutzung fast die Hälfte ausmacht. In der Holzhalbwarenherstellung von Baden-Württemberg beträgt der Anteil von Laubholz in der Schnittholzherstellung rund 2 % des eingeschnittenen Holzes, während in der Holzwerkstoffindustrie rund 8 % des verwendeten Industrieholzes aus Laubholz besteht. Es besteht Potenzial für einen verstärkten Einsatz von Laubholz in diesen Gewerben. Unter anderem wird die aktuelle Verfügbarkeit des von den Materialeigenschaften geeigneten Nadelholzes, die höheren Prozesskosten zur Be- und Verarbeitung von Laubholz, sowie die Normierung und Absatzmöglichkeiten von Laubholzbauprodukten als Gründe für den hohen Einsatz von Nadelholz betrachtet. Im Holzbau betrug Laubholz im Jahr 2013 nur rund 13 % des im Bauwesen eingesetzten Holzes, wobei in der Zwischenzeit von keiner maßgebenden Veränderung ausgegangen wird.

Die Modellierung des Holzmarktes und der Holzverwendungsszenarien zeigt auf, dass in Deutschland eine steigende Verwendung von Holz nicht vom künftigen, einheimischen Nadelrohholz getragen werden kann. Mit dem sinkenden Rohholzaufkommen, unter anderem der am stärksten von klimabedingten Veränderungen gefährdeten Baumart Fichte, ergibt sich neben der gestärkten Verwendung von Laubholz zudem die Rohstoffquelle aus dem Gebäudebestand. In Deutschland wird Altholz nur zu rund 15 % stofflich verwendet, während rund 80 % in die energetische Verwertung fließen. In Baden-Württemberg bestand im Jahr 2016 ein Volumen von rund 29 Mio. m³ Holz im Gebäudebestand. Bis im Jahr 2030 wird ein aus dem baden-württembergischen Gebäudepark abgehender, stofflich wiederverwendbarer Stoffstrom von fast 1,5 Mio. m³ Holz erwartet. Im Vergleich zur erwarteten Holzverwendung von 2,7 Mio. m³ im Bauwesen von Baden-Württemberg bis 2030, könnten möglicherweise über 50 % gedeckt werden.

Teil II: Klimawaldprodukte

Als Resultat von Berichtsteil I und den geführten Interviews konnten folgende Handlungsfelder und Stoßrichtungen identifiziert werden:

- Zukunftsfähige Bauprodukte
 - Einsatz künftiger Baumarten
 - Einsatz von Kalamitätsholz
 - Einsatz von Stark- und Schwachholz
- Weiterentwicklung System Bauen
 - Kreislauffähiges Bauen
 - Ressourceneffizientes Bauen
- Unterstützende Prozesse
 - Kapitallenkung in Richtung Klimaschutz
 - Steigerung der Verarbeitungskapazitäten
 - Rahmenbedingungen, Zulassungen, Normen
 - Standardisierung und Digitalisierung

Die Handlungsfelder und Stoßrichtungen zeigen auf, dass einerseits auf das verändernde Rohholzaufkommen reagiert werden muss. Andererseits muss eine effiziente und stofflich langfristige Nutzung des Rohstoffs Holz im Bauwesen erreicht werden, um die Abhängigkeit von Waldholz zu reduzieren. Die Ergebnisse weisen darauf hin, dass die Vorbereitung und Anpassung auf die zu erwartende klimabedingte Veränderung in einem ersten Schritt auf einer prozessualen, marktstrukturellen Ebene erfolgen sollten.

Fazit und Handlungsempfehlungen

Es wurde aufgezeigt, dass sich der Klimawandel bereits heute auf den Wald und die Holzwertschöpfungskette auswirkt. Künftig wird sich das Rohholzaufkommen verändern, was zu weiteren Auswirkungen für die Akteure des Clusters Forst-Holz führen wird. Um die Akteure auf die ausgewiesenen, klimabedingten Veränderungen vorzubereiten und Anregungen für Maßnahmen aufzuzeigen, werden folgende übergeordnete Handlungsempfehlungen abgegeben:

- Weiterentwickeln der Holzstoffströme mit Fokus auf eine langfristige, stoffliche und kaskadische Nutzung von Holz.
- Ermitteln und Ausschöpfen von Potenzialen zur Substitution von Nadelholz im Holzbau und anderen Einsatzbereichen.
- Ermöglichen eines investitionsfreundlichen Umfeldes für die Transformation der Wertschöpfungskette zur Verwendung künftiger Holzarten.
- Bewusstsein schaffen in der Öffentlichkeit für die positiven Wirkungen der Wald- und Holznutzung als Instrument zur Reduktion und Speicherung von Kohlenstoff sowie für das Verständnis von Holz als Roh-, Werk- und Baustoff.
- Sensibilisieren der Akteure entlang der Holzwertschöpfungskette für klimabedingte Entwicklungen im Wald, für die künftige Verfügbarkeit und Verwendung verschiedener Baumarten sowie für die Perspektive des Gebäudeparks als Materiallager.

2 Einleitung

2.1 Ausgangslage und Aufgabenstellung

Der Wald stellt eine unverzichtbare Ressource für Baden-Württemberg dar. Neben zahlreichen weiteren Leistungen ist er auch die Grundlage des Clusters Forst- und Holzwirtschaft. Dieses vereint verschiedene Akteure aus der Forstwirtschaft, der Holzverarbeitungsindustrie, der Forschung und Bildung sowie staatliche Institutionen.

Der voranschreitende Klimawandel hat in den letzten Jahren zu spürbaren Veränderungen im Waldzustand geführt. Auch Waldumbaumaßnahmen wirken sich auf die Struktur der Wälder aus. Dies stellt alle Beteiligten der Wertschöpfungskette vor neue Herausforderungen.

Das starke Forst- und Holzbau-Cluster soll Baden-Württemberg erhalten bleiben. Dafür muss die gesamte Wertschöpfungskette auf die bevorstehenden und teilweise bereits eingetretenen Veränderungen vorbereitet werden. Ziel ist es, die nachhaltige Nutzung des Rohstoffs Holz zu fördern, den Wald als Lebensraum zu schützen und die wirtschaftliche Wertschöpfung entlang der gesamten Wertschöpfungskette zu stärken.

Um angemessene Schritte dafür einleiten zu können, soll die vorliegende Metastudie als Wissensgrundlage dienen und die möglichen Entwicklungen sowie den aktuellen Stand für Klimawaldprodukte beleuchten. Klimawaldprodukte werden wie folgt definiert:

„Klimawaldprodukte sind marktfähige, aus künftigen Waldressourcen hergestellte und seriell einsetzbare Holzprodukte und (Halb-)Waren zur langfristigen Sicherstellung des stofflichen und energetischen Einsatzes nachwachsender, heimischer Rohstoffe. Der Begriff Klimawaldprodukte umfasst darüber hinaus im weiteren Sinne alle notwendigen Prozesse und Dienstleistungen zur Anpassung der Rahmenbedingungen, um eine Gewährleistung der Zukunftsfähigkeit aller beteiligten Akteure entlang der Wertschöpfungskette im Cluster Forst-Holz zu ermöglichen.“ (Ministerium für Ernährung, Ländlichen Raum und Verbraucherschutz Baden-Württemberg, 2023)

2.2 Ziele

In dieser Studie werden bestehende Waldentwicklungsszenarien sowie potenzielle Szenarien für das Nutzungspotenzial, Holzverbrauchsentwicklung und Aufkommensprognosen aufgezeigt. Die Studie zielt zudem darauf ab, den aktuellen Wissens-, Technik- und Sachstand der Wertschöpfungskette im Cluster Forst-Holz zu erfassen, mit dem Fokus auf klimabedingte Veränderungen des Waldes. Dabei werden die Beteiligten und Teilbranchen der Wertschöpfungskette betrachtet und branchenübergreifende Handlungsbedarfe im Hinblick auf einen künftig verstärkt auftretenden Laubholzeinsatz aufgezeigt.

Damit bietet diese Metastudie die Grundlage für die Ableitung von Maßnahmen und die Gestaltung von Investitionsanreizen, damit den Zukunftsszenarien im Rahmen der Waldstrategie frühzeitig begegnet werden kann und entsprechende Umsetzungspfade aufgezeigt werden können.

3 Methodisches Vorgehen

Zunächst wurde der Ist-Zustand des Clusters Forst-Holz in Baden-Württemberg, im Rahmen einer systematischen und umfangreichen Literaturanalyse, abgebildet. Wie Abbildung 1 zeigt, wurde einerseits der Ist-Zustand des Waldes, andererseits der Ist-Zustand der Holzverwertung des Clusters Forst-Holz betrachtet. Schwerpunktmäßig wurden die Themenfelder Waldflächen, Baumartengruppen und Waldzustand sowie Holzeinschlag, Schadholzeinschlag, Wertschöpfung, Holzstoffströme und Holzverwendungsmöglichkeiten behandelt.

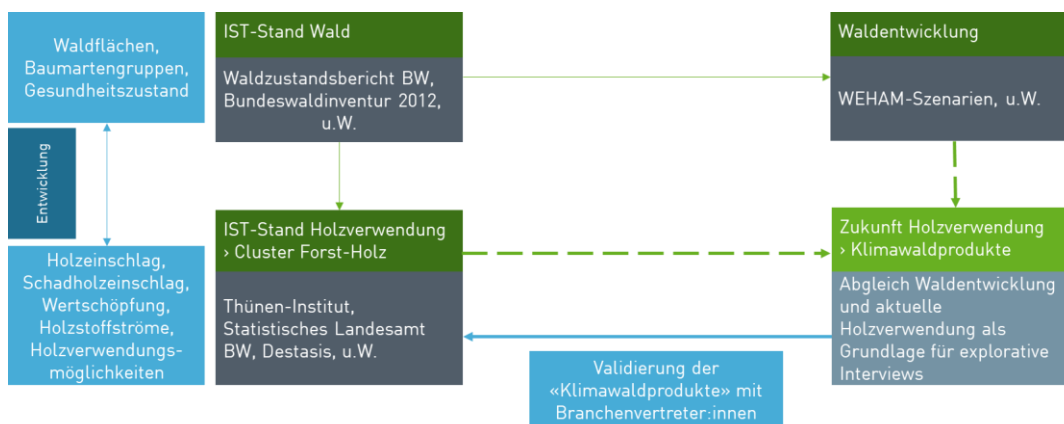


Abbildung 1: Vorgehensweise und Methodik der Studie.

In einem nächsten Schritt wurde die zukünftige Waldentwicklung betrachtet. Dabei dienten vor allem die WEHAM-Szenarien als Grundlage. WEHAM steht hierbei für Waldentwicklungs- und Holzaufkommensmodellierung.

Aus der Analyse des Ist-Zustands und der zukünftigen Waldentwicklung resultierten in einer ersten Auswahl an Themenfeldern und Bereichen, die bei der zukünftigen Holzverwertung und möglichen Klimawaldprodukten relevant sind. Folgende Themenfelder wurden identifiziert:

- Waldumbau und Waldentwicklung
- Nachhaltige Forstwirtschaft, Forstökonomie und forstliche Digitalisierung
- Umwelt- und Ressourcenökonomie
- Holzverfügbarkeit in Deutschland
- Holzmarkt (DACH) und Holzstoffströme
- Marktentwicklung im Bauwesen
- Computerbasiertes Bauen
- Kreislauffähigkeit im Bauwesen (und Urban Mining)
- Laubholz im Bauwesen
- Innovative Holzbauten, Holzbauteile und Verbindungen

Anhand dieser Themenbereiche wurden Expertinnen und Experten für explorative Interviews ausgewählt. Die Entscheidung fiel auf explorative Interviews als Forschungsmethode, da sich die offene und flexible Form des Interviews sich besonders dafür eignet, neue Ansichten und Perspektiven zu gewinnen. Insgesamt wurden zehn explorative Interviews geführt. Eine Liste der Gesprächspartnerinnen und Gesprächspartner ist in Anhang A.1 einsehbar. Durch die explorativen Interviews konnten verschiedene Ansätze zur zukünftigen Holzverwendung abgeleitet werden.

Die gewonnenen Erkenntnisse aus den Schritten 1 (Literaturrecherche) und 2 (explorative Interviews) wurden durch Interviews mit vier Branchenvertretenden in einem letzten Schritt validiert. Eine Liste der Gesprächspartnerinnen und Gesprächspartner ist in Anhang A.2 einsehbar.

4 Teil I: Wald & Holz in Baden-Württemberg

4.1 Waldfunktionen

Die Landesfläche Deutschlands besteht zu 32 % aus Waldflächen. Diese verfügt über eine Vielzahl an Funktionen und stellt Ökosystemleistungen zur Verfügung. Neben Basisleistungen wie der Produktion von Sauerstoff oder der Speicherung von Kohlenstoff stellt der Wald auch Versorgungsleistungen zur Verfügung, beispielsweise durch die stoffliche Nutzung von Holz. Regulationsleistungen werden unter anderem durch die Filterung von (Fein-)Staub und Gasen aus der Luft generiert. Der Wald ermöglicht die wirtschaftliche Nutzung von Holz, dient aber auch als Erholungsraum. Dadurch liefert er zudem kulturelle Leistungen (BMEL, 2021).

4.2 Der Wald in Baden-Württemberg

Grundlagen

Die Waldfläche in Baden-Württemberg beträgt aktuell 1.378.473 Hektar (ca. 38 % der Landesfläche Baden-Württembergs) und ist seit 1987 nahezu konstant geblieben. Damit ist Baden-Württemberg nach Bayern das walddreichste Bundesland. Die Waldfläche wird von Fichten (31 % bzw. 428.980 ha) und Buchen (22,8 % bzw. 313.740 ha) dominiert. Einen bedeutenden Anteil haben zudem die Baumarten Tanne (9 %) und Eiche (8,6 %) (Cullmann, 2024). Insgesamt nimmt der Nadelbaumanteil seit 1987 ab, wobei der Laubbaumanteil deutlich zunimmt. Die Anteile der Fichte sinken deutlich, wobei sich dieser Trend bei der Kiefer im Jahr 2022 verlangsamt hat (Schraml, 2024). Der Rückgang bei der Baumartengruppe Fichte ist auch durch die anstiege bei Douglasien und Tannen nicht kompensiert worden.

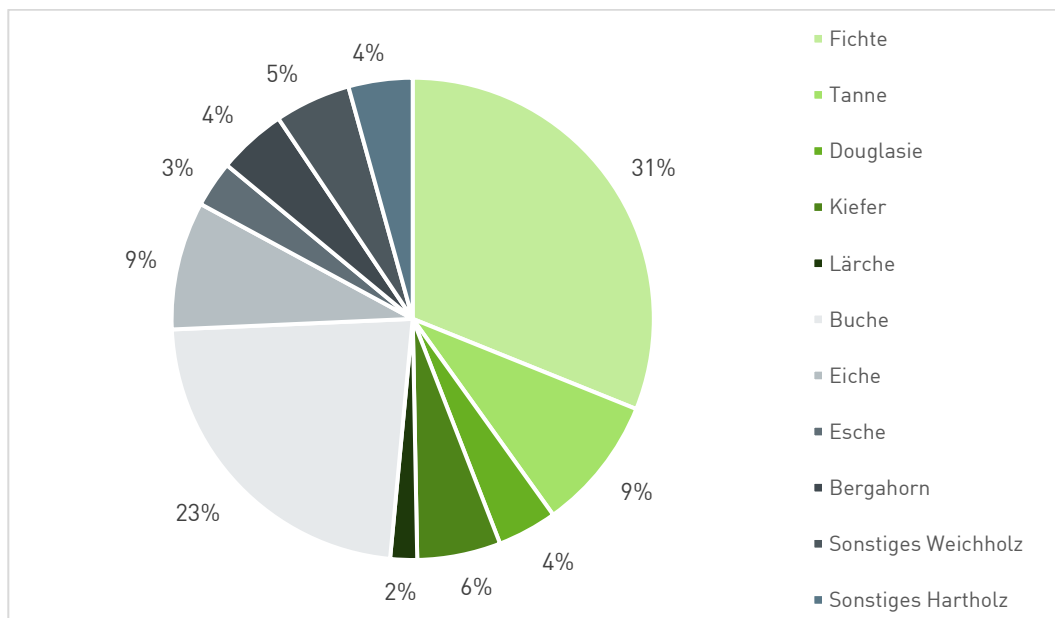


Abbildung 2: Flächenanteil der Baumarten in Baden-Württemberg (Datenquelle: Cullmann, 2024).

Verschiedene Eigentümergruppen haben Anteile am Wald in Baden-Württemberg: Ein Anteil von 40,5 % der Waldfläche Baden-Württembergs ist Körperschaftswald, 35,5 % Privatwald, 23,5 % Staatswald des Landes und 0,4 % Staatswald des Bundes (Cullmann, 2024).

Bann- und Schonwälder stellen Waldschutzgebiete dar, die überwiegend in Staats- und Kommunalwäldern zu finden sind. Die Fläche der Bannwälder – also Flächen, die sich selbst überlassen werden und wo weder Forstwirtschaft noch Pflege stattfindet – machen rund 0,6 % der Gesamtwaldfläche aus (MLR, 2023).

Aufkommens- und Vorratsentwicklung

Der Derbholzvorrat mit Rinde im Gesamtwald in Baden-Württemberg stieg im Zeitraum 1987 bis 2022 an und beträgt 495 Mio. m³ (Stand Jahr 2022). Während zwischen 1987 und 2012 ein kontinuierlicher Vorratszuwachs verzeichnet werden konnte, hat sich seit 2012 jedoch eine Trendumkehr auf einen leichten Vorratsabgang von rund 0,8 % ergeben.

Bezogen auf die einzelnen Baumarten liegt bei der Gruppe Douglasie, Eiche, sonstige Weichholz, und Tanne ein deutlich positiver Trend bzgl. ihrer Bestandsmenge vor. Bei den Baumarten Lärche, Buche, und sonstige Hartholz ist kein größerer Vorratszuwachs oder -abbau verzeichnet worden.

Fichten und Kiefern verzeichnen dagegen einen Vorratsabbau. Zwischen der dritten Bundeswaldinventur 2012 bis zur vierten Bundeswaldinventur 2022 liegt ein Vorratsabbau von -7,6 % bei der Fichte und -7,4 % bei der Kiefer vor (Cullmann, 2024). Trotz Trockenjahre ab 2018 mit Auswirkungen auf den Gesundheitszustand der Wälder besteht jedoch keine deutliche Trendumkehr im Vergleich zu den vorherigen Erhebungen.

	Derbholzvorrat 1.000 m ³ (mit Rinde)				Prozentuale Veränderung			
	1987	2002	2012	2022	1987-2002	2002-2012	2012-2024	1987-2024
Fichte	230.72	213.08	200.13	185.00	-7,6 %	-6,1 %	-7.6%	-19.82%
Tanne	45.36	50.72	56.15	60.29	11,8 %	10,7 %	7.4%	32.91%
Douglasie	6.50	11.84	17.15	21.78	82,1 %	44,8 %	27.0%	235.08%
Kiefer	34.33	30.20	28.18	26.09	-12,0 %	-6,7 %	-7.4%	-24.00%
Lärche	7.81	8.25	8.34	8.34	5,6 %	1,1 %	0.0%	6.79%
Buche	82.75	99.65	104.91	105.37	20,4 %	5,3 %	0.4%	27.34%
Eiche	26.35	30.14	33.02	36.52	14,4 %	9,6 %	10.6%	38.60%
Sonst. Hartholz	21.73	32.78	39.78	39.44	50,9 %	21,3 %	-0.9%	81.50%
sonst. Weichholz	7.26	8.88	11.63	12.74	22,2 %	29,8 %	9.5%	75.48%

Tabelle 1: Derbholzvorrat und prozentuale Veränderung in Baden-Württemberg (Datenquelle: Cullmann, 2024).

Der Zuwachs im Gesamtwald je Hektar und Jahr verlor in der Periode 2012-2022 im Vergleich zur Periode 2002-2012 um ca. 11,8 %. Die Zusammensetzung der Baumpopulation nach Baumarten und Altersphasen sowie Umweltbedingungen beeinflussen den laufenden Zuwachs. Bei der Betrachtung der zukünftigen Waldentwicklung wird speziell durch die Waldverjüngung der Trend in Richtung Laubbäumen deutlich erkennbar. Rund 73 % der nachwachsenden Bäume im Gesamtwald von Baden-Württemberg sind Laubbäumen (Schraml, 2024; Cullmann, 2024).

Die Gegenüberstellung von Zuwachs und Vorratsabgang in m³ mit Rinde zeigt, dass bei den meisten Baumarten der Zuwachs über dem Abgang liegt. Lediglich bei den Baumarten Fichte, Kiefer, Lärche und sonstigem Hartholz lag der Abgang über dem Zuwachs (Cullmann, 2024).

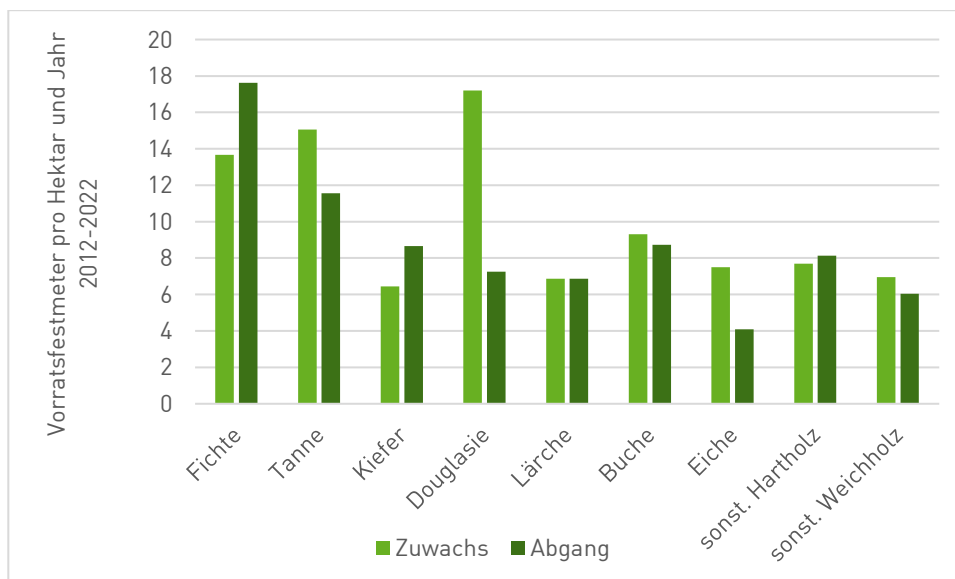


Abbildung 3: Zuwachs und Abgang Vorratsfestmeter pro Hektar und Jahr 2012-2022 (Datenquelle: Cullmann, 2024)

Waldzustand in Baden-Württemberg

Verschiedene Witterungsextreme wie Hitze, Trockenheit und Stürme können dem Wald zusetzen und erhebliche Schäden verursachen. Die stärksten witterungsbedingten Waldschäden wurden bisher durch Stürme verursacht. Infolge des Klimawandels wird weiterhin mit einer Zunahme und höheren Intensität von witterungsbedingten Waldschäden gerechnet, die auch Sekundärschäden nach sich ziehen können (z.B. Borkenkäferbefall bei Trockenstress). Da sich Klimaveränderungen gegenwärtig vergleichsweise schnell vollziehen, können sich Bäume mit ihren langen Lebenszyklen nicht entsprechend schnell an die sich verändernden Bedingungen anpassen (BMEL, 2022).

Auch in Baden-Württemberg haben die Auswirkungen des Klimawandels dem Wald in den letzten Jahren stark zugesetzt. Die Folgen von Stürmen, Hitze und Trockenheit sowie Schädlingsbefall sind deutlich (LFV, 2021). Die Wälder leiden insbesondere durch wiederkehrende Extremwetterereignisse wie den auftretenden sommerlichen Hitze- und Trockenperioden, die geringe Auffüllung der Bodenwasserspeicher im Winter sowie die sinkenden Grundwasserstände. Dies gefährdet die Waldvitalität und verdeutlicht die Vulnerabilität der heimischen Wälder. In Folge der sehr heißen und trockenen Jahre 2018 bis 2020 wurde ein sprunghafter Anstieg an

Waldschäden verzeichnet. Seit einigen Jahren sind in der Oberrheinebene, wo die Wälder besonders unter dem Hitze- und Trockenstress leiden, außerordentlich große Waldschäden mit hohen Ausfallraten insbesondere bei den Kieferbeständen festzustellen. Neben der zunehmenden Hitze und Dürre werden die Wälder weiterhin durch hohen Nährstoffmangel und hohe Stickstoffeinträge aus Industrie, Verkehr und Landwirtschaft belastet. Diese Belastung verstärkt die Anfälligkeit der Bäume. Die zunehmend geschwächten Wälder werden besonders anfällig für Schadorganismen wie beispielsweise Borkenkäfer. Das wachsende Aufkommen verschiedener Schadorganismen führt zu einer Verstärkung der Waldschäden. Zudem ist durch den Klimawandel und die Globalisierung auch eine Zunahme der Anzahl und Verbreitung nicht-heimischer Schadorganismen zu verzeichnen, was zu hohen ökologischen und ökonomischen Schäden führen kann (FVA, 2021).

Die Ergebnisse der Bodenzustandserhebung zeigen, dass trotz sinkendem Schadstoffeintrag (z.B. Schwefel) viele Waldböden in Baden-Württemberg aufgrund der jahrzehntelang eingetragenen Schadstoffe beeinträchtigt und weiterhin über ihr natürliches Maß hinaus versauert sind. Zudem sind in vielen Regionen Baden-Württembergs nach wie vor hohe Stickstoffeinträge festzustellen, was zu einer fortschreitenden Versauerung der Waldböden beiträgt. Die Stickstoffeinträge liegen in vielen Teilen weiterhin über der ökologischen Belastungsgrenze der Wälder. Um die Funktionsfähigkeit der Waldböden wiederherzustellen bzw. zu erhalten, werden aufwändige, kleinstandörtlich differenzierte Bodenschutzkalkungen und weitere boden- und nährstoffschonende Maßnahmen durchgeführt (FVA, 2021).

Abbildung 4 zeigt die prozentuale Schadstufenverteilung der Waldzustandserhebung von 1985 bis 2022. Aktuell wird mit 46 % nahezu die Hälfte der Waldfläche in Baden-Württemberg als deutlich geschädigt eingestuft (Schadstufen 2 bis 4). Seit einigen Jahren ist eine Zunahme stark geschädigter bzw. abgestorbener Bäume zu verzeichnen. Derzeit gelten fünf Prozent der Waldfläche als stark geschädigt und ein Prozent als abgestorben. Der Anteil der nicht geschädigten Waldfläche befindet sich hingegen mit lediglich 17 % auf dem niedrigsten Niveau seit Beginn der Waldzustandserhebungen. Auch beim Zustand der zukünftigen Waldgenerationen sind negative Trends zu beobachten: In der Naturverjüngung wurden vor allem von Buchen, Tannen und Douglasien überdurchschnittlich starke Kronenschäden festgestellt (FVA, 2021).

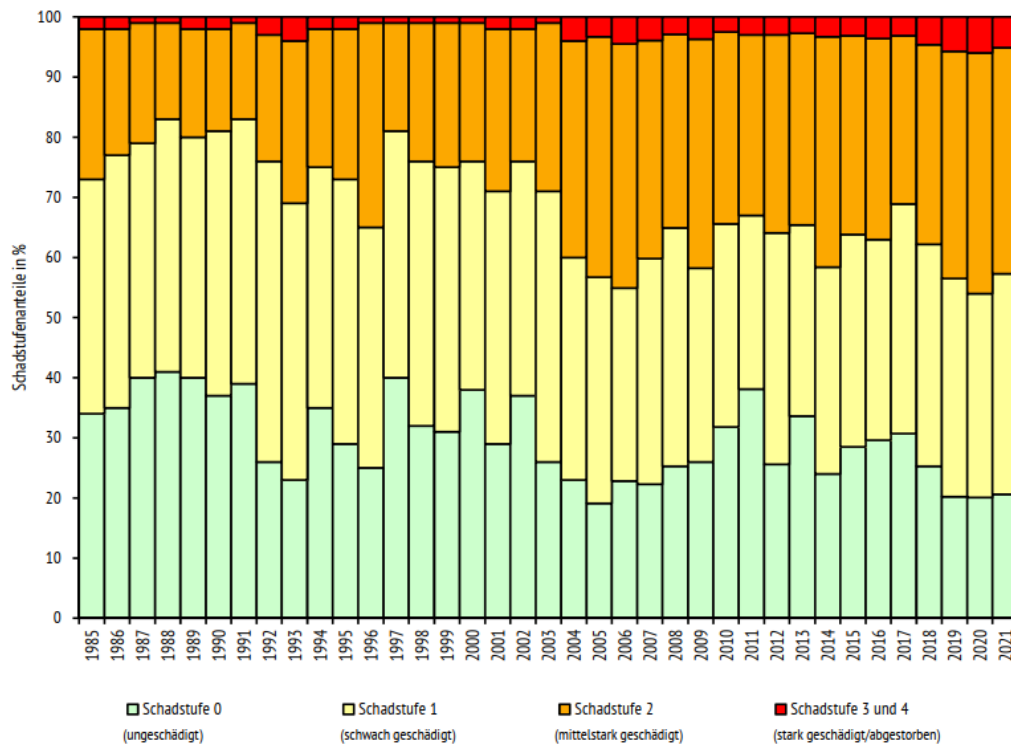


Abbildung 4: Schadstufenverteilung der Waldzustandserhebung von 1985 bis 2021 (Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg (FVA). Waldzustandsbericht 2021).

In den folgenden Unterkapiteln werden die Zustände der wichtigsten Baumarten in Baden-Württemberg kurz beschrieben. Die Zahlen dazu beziehen sich auf die Waldzustandserhebung aus dem Jahr 2021 in Baden-Württemberg.

Fichte

Die Fichte ist als Baumart der borealen Klimazone und Höhenlagen nicht an die steigenden Temperaturen und die ausgeprägten sommerlichen Dürreperioden angepasst. So gerät sie im Sommer unter Trockenstress, was sich häufig in Kurztriebbigkeit, vorzeitigem Nadelabwurf und einem erhöhten Anteil an Trockenästen zeigt. Hinzu kommt, dass die Anfälligkeit gegenüber Borkenkäferbefall bei Trockenheit stark ansteigt. In Baden-Württemberg werden 38 % der Fichtenfläche als deutlich geschädigt, 39 % als schwach geschädigt und lediglich 23 % als ungeschädigt eingestuft (FVA, 2021).

Tanne

Bei der Tanne gelten 44 % der Tannenfläche in Baden-Württemberg als deutlich geschädigt, 34 % als schwach geschädigt und lediglich 22 % als ungeschädigt. Bei der Waldzustandserhebung 2022 wurde eine deutliche Verschlechterung des Kronenzustandes der Tanne festgestellt, was im Wesentlichen auf jüngere Tannenbestände zurückzuführen ist, da jüngere Bäume im Vergleich zu älteren meist schneller und sensibler auf langanhaltende Trockenphasen reagieren. Zusätzlich ist in den letzten Jahren in einigen Tannenbeständen ein zunehmender Befall durch die Tannentrieblaus, welche vorwiegend jüngere Bäume befällt, zu beobachten. Daneben sind auch die Tannenbestände ähnlich wie bei der Fichte vom starken Borkenkäferbefall betroffen (FVA, 2021).

Kiefer

Gleich wie bei der Tanne, hat sich auch der Kronenzustand der Kiefer im Jahr 2022 verschlechtert. Insgesamt werden 56 % der Kiefernflächen als deutlich geschädigt eingestuft und damit so viel wie bei keiner anderen Nadelbaumart. Daneben sind 35 % schwach geschädigt und lediglich 9 % ungeschädigt. Auf Böden mit sehr geringer Wasserspeicherkapazität, wie dies beispielsweise bei den warm-trockenen Standorten der Oberrheinebene mit meist kiesig-sandigen Böden der Fall ist, leidet die Kiefer zunehmend unter Trockenstress und stirbt zum Teil innerhalb kürzester Zeit ab. Schadensverstärkend wirkt sich zudem der Befall durch die Kiefern-mistel sowie der Befall von Schadinsekten wie Borken- oder Prachtkäfern aus (FVA, 2021).

Lärche

Bei der Lärchenfläche sind 32 % deutlich geschädigt, 56 % schwach geschädigt und 12 % ungeschädigt. Die Baumart ist schlecht an warm-trockene Standorte angepasst, was bei länger andauernden Hitze- und Dürreperioden oftmals zu schlecht ausgebildeten Baumkronen führt. Zudem wurde bei geschwächten Lärchen in den letzten Jahren ein zunehmender Befall des Lärchenborkenkäfers registriert (FVA, 2021).

Douglasie

Der Anteil an deutlich geschädigter Waldfläche bei der Douglasie ist mit 26 % im Vergleich zu anderen Nadelbaumarten relativ gering. Dies liegt am deutlich jüngeren Baumalter der Douglasien in den Wäldern Baden-Württembergs. 50 % der Douglasienfläche wird als schwach geschädigt eingeschätzt und 24 % als ungeschädigt. Ungünstige Witterungsabfolgen können insbesondere bei jungen Douglasien zu einer physiologischen Nadelrötung durch Frostrocknis führen, was betroffene Jungpflanzen oftmals absterben lässt (FVA, 2021).

Buche

Buche ist die am häufigsten vorkommende Laubbaumart in Baden-Württemberg. Insgesamt sind 58 % der Buchenfläche als deutlich geschädigt, 33 % als schwach geschädigt und lediglich 9 % als ungeschädigt klassifiziert. Dabei ist der Anteil der stark geschädigten Bäume gegenüber anderen Laubbaumarten vergleichsweise hoch. Vielerorts sind die Auswirkungen der zunehmenden Hitze- und Dürrephasen der letzten Jahre im Kronenzustand und anhand weiterer typischer Trockenstresssymptome sichtbar. Dies lässt vermuten, dass die Vitalität der Bäume nochmals deutlich abgenommen hat. An jungen Buchen sind zudem regional Trockenschäden sowie Spätfrostschäden festzustellen. Im Spätsommer sind örtlich starke Befälle durch den Kleinen Buchenborkenkäfer und den Buchenprachtkäfer zu beobachten (FVA, 2021).

Eiche

Bei der Eichenfläche gelten 71 % als deutlich geschädigt, so viel wie bei keiner anderen Baumart. Daneben sind 23 % schwach geschädigt und lediglich 6 % ungeschädigt. Probleme sind unter anderem Trockenstress, die Schädigung durch blattfressende Schadinsekten und eine erhöhte Fruktifikationsrate (FVA, 2021).

Bergahorn

Der Kronenzustand des Bergahorns bleibt verglichen zu anderen Baumarten weiterhin auf einem geringen Schadniveau. Lediglich 14 % der Bergahornfläche werden als deutlich geschädigt eingestuft. Als schwach geschädigt klassifiziert werden 60 % und 26 % als ungeschädigt. Der geringe Schädigungsgrad des schnellwüchsigen und konkurrenzstarken Bergahorns gegenüber anderen Laubbaumarten lässt sich auf das niedrige Durchschnittsalter der untersuchten Bäume zurückführen. In Folge der extremen Belastung durch die Trockenjahre 2018 bis

2020 ist die Ahorn Rußrindenkrankheit, ausgelöst durch einen pilzlichen Erreger, verstärkt zu verzeichnen (FVA, 2021).

Esche

Das Eschentriebsterben, ausgelöst durch die Verbreitung eines pilzlichen Erregers, belastet den Kronenzustand der Esche seit Jahren. Insgesamt gelten 63 % der Eschenfläche als deutlich geschädigt, wovon 14 % stark geschädigt und 12 % stehend abgestorben sind. 26 % werden als schwach geschädigt und 11 % als ungeschädigt eingestuft. Die Mortalitätsrate der Esche ist seit über zehn Jahren sehr hoch, sodass der Eschenanteil in den Wäldern von Baden-Württemberg bereits stark gesunken ist (FVA, 2021).

Entwicklung des Waldzustands

Die langjährig erhöhten Stickstoffeinträge, die beispielsweise aus der Verbrennung fossiler Brennstoffe resultieren, können sich zukünftig negativ auf viele Prozesse im Ökosystem Wald sowie die Vitalität und Resistenz der Waldbäume auswirken. Sind zu viel Stickstoff und zu wenig andere wichtige Nährstoffe vorhanden, erhöht dies die Anfälligkeit der Bäume für biotische und abiotische Risiken und kann zu sinkender Dürre- und Frosttoleranz verschiedener Baumarten führen. Eine hohe Stickstoffkonzentration im Waldboden ist für nährstoffliebende Baumarten (z.B. Waldkiefer) eine günstige Wachstumsbedingung und es kann zu einer Verschiebung des Baumartenspektrums und zur Verdrängung charakteristischer Arten nährstoffarmer Wälder kommen (FVA, 2022).

Der Wald speichert enorme Mengen Kohlenstoff und bindet damit CO₂ aus der Luft. Gleichzeitig ist der Wald von den Auswirkungen des Klimawandels betroffen. Einerseits erhöht sich die Chance auf höheren Holzzuwachs durch längere Vegetationsperioden. Andererseits erhöhen die steigende Anzahl und die Stärke von Witterungsextremen wie Hitze, Trockenheit, Wind und Spätfroste die Waldbrandgefahr und den Schädlingsbefall. Regionale Vorhersagen der Klimawandelauswirkung sind dabei mit großen Unsicherheiten verbunden. Wesentlich ist, dass die Wälder resilient, d.h. tolerant gegenüber vielseitigen Änderungen von Klimafaktoren sein müssen (UBA, 2021; BMEL, 2022a). Vor allem Fichten sind zunehmend anfällig gegen Dürre, Windwurf und Borkenkäfer (BMEL, 2021).

Die Zunahme klimabedingter Störungen, wie Windwurf, Trockenheit und Schädlingsbefall, setzen das vermehrte Absterben der Bäume fort. Ältere Bäume sind oftmals stärker von den Auswirkungen des Klimawandels betroffen als jüngere Bäume. Bereits jetzt wird beobachtet, dass in Regionen mit starken klimatischen Veränderungen einige Baumarten ihr potenzielles Lebensalter nicht mehr erreichen. Folglich wird das Risiko klimabedingter Schäden mit zunehmendem Alter der Bäume steigen und sich auch auf die damit verbundenen Holzvorräte im Wald auswirken. Der zunehmende Einfluss von Witterungsextremen kann darüber hinaus dazu führen, dass der Anwuchserfolg bei der Wiederbewaldung durch Pflanzung, Saat und Naturverjüngung weiter abnimmt (BMEL, 2021).

Waldbauliche Entscheidungen, die in der Regel langfristig wirken, müssen mögliche Auswirkungen des Klimawandels mit einbinden. Die Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg (FVA) hat basierend auf diverser Literatur Baumartensteckbriefe erarbeitet, die auch klimarelevante Erkenntnisse einbinden. Die Steckbriefe geben eine Orientierung zur Baumartenwahl für waldbauliche Entscheidungen unter Berücksichtigung klimatisch bedingter Veränderungen (FVA, 2021). Abbildung 5 stellt die Ergebnisse einer landesweiten Bilanzierung der klimasensitiven Baumarteneignungskarten für die vier Hauptarten Buche, Eiche,

Fichte und Tanne unter den IPCC-Klimaszenarien RCP4.5 und RCP8.5 bis zum Jahr 2100 dar. Alle vier Hauptbaumarten zeigen für Deutschland eine klare Tendenz abnehmender klimatischer Eignung.

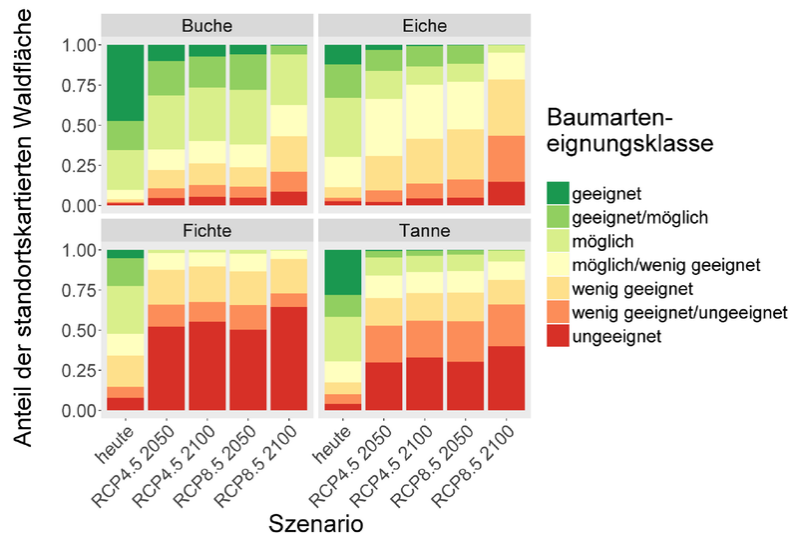


Abbildung 5: Bilanzierung der klimatisch bedingten Veränderungen der Baumarteneignung für die vier Hauptbaumarten in Baden-Württemberg bis zum Jahr 2100. (FVA: IPCC-Klimaszenario RCP4.5 und RCP8.5, 2021).

Für die zukünftige Waldnutzung ist es erforderlich, die Wälder auf den Klimawandel vorzubereiten. Mischwälder bieten bessere Voraussetzungen, um sich an Umweltveränderungen anzupassen und Risiken wie Stürme, Schaderreger und Baumkrankheiten auszugleichen. Daher werden grundsätzlich gepflegte, standortgerechte und strukturreiche Mischwälder angestrebt. Für die Verbesserung der Stabilität der Wälder ist neben einer intensiven Waldpflege auch der Anbau standortgerechter Waldbestände mit einem Mix aus verschiedenen Baumarten eine wichtige Maßnahme (BMEL, 2022). Durch Artensteckbriefe verschiedener Baumarten kann erkannt werden, welche Arten besser an zukünftige Begebenheiten angepasst sind und damit zu einem zukunftsfähigen Waldbau beitragen können (FVA, 2021). Dennoch haben Sturmkatastrophen der letzten Jahrzehnte gezeigt, dass auch die als robust geltenden Mischwälder bei extremen Wetterereignissen an ihre Grenzen kommen können. Ein einziges Extremereignis kann die waldbauliche Arbeit von Generationen vernichten (BMEL, 2022).

Exkurs: EU-Biodiversitätsstrategie

Im Mai 2020 wurde der EU-Strategiebericht zur biologischen Vielfalt (EU-Biodiversitätsstrategie für 2030) veröffentlicht (Europäische Kommission, 2023a). Angesichts des durch den Klimawandel verursachten Verlusts an Biodiversität zielt die Strategie darauf ab, die biologische Vielfalt in Europa bis 2030 wiederherzustellen (ebd.). Neben der Entwicklung auf EU-Ebene wurde im Rahmen der UN-Biodiversitätskonferenz (COP 15) im Dezember 2022 ebenfalls auf globaler Ebene eine Vereinbarung für die biologische Vielfalt verabschiedet, das „Kunming Montreal Global Biodiversity Framework“ (Bundesamt für Naturschutz, 2023). Die Vereinbarung beinhaltet konkrete Maßnahmen, um den Verlust biologischer Vielfalt auf globaler Ebene anzugehen. Dazu wird, analog zur EU-Biodiversitätsstrategie, angestrebt, 30 % der weltweiten Land- und Meeresflächen unter Schutz zu stellen (UNEP, 2022).

Im Jahr 2023 veröffentlichte die EU-Kommission zwei Leitlinien der EU-Waldstrategie zur Umsetzung der Biodiversitätsziele 2030 (Europäische Kommission, 2023b). Die Leitlinien der EU-Biodiversitätsstrategie orientieren sich dabei am Kunming-Montreal Global Biodiversity Framework. Die erste Leitlinie umfasst die Themen biodiversitätsfreundliche Aufforstung, Wiederaufforstung und Baumpflanzung. Die zweite Leitlinie befasst sich mit der Definition, Kartierung, Überwachung sowie dem strikten Schutz von Primär- und Altwäldern in der EU.

Die Ergebnisse von Schier et al. (2022) zeigen auf europäischer Ebene mögliche Auswirkungen auf das Rundholzangebot durch die Auswirkungen der Ausweitung von Naturschutzgebieten und Vorschriften nach der EU-Biodiversitätsstrategie 2030 auf. Im Jahr 2030 wird im Vergleich zum Referenzszenario zwischen -48 % und -9 % weniger Rundholz verfügbar sein. Die konkreten Auswirkungen hängen stark von den berücksichtigten Gebieten und Einschränkungen ab, die in der Verordnung noch nicht ausdrücklich definiert sind (Bundesamt für Naturschutz, 2020). Die nationale Umsetzung der EU-Biodiversitätsstrategie in den Mitgliedsstaaten ist in vielen Fällen noch unklar. In Deutschland wurde jedoch bereits ein konkreter Vorschlag für die Nationale Strategie zur biologischen Vielfalt 2030 (NBS2030) erarbeitet und vom Bundeskabinett im Dezember 2024 beschlossen.

Waldentwicklungs- und Holzaufkommensmodellierung (WEHAM)

Die Waldentwicklungs- und Holzaufkommensmodellierung WEHAM schätzt auf Grundlage der 3. Bundeswaldinventur aus dem Jahr 2012 (BMEL, 2012) die Entwicklung des Waldes und das potenzielle Rohholzaufkommen für den Zeitraum 2013 bis 2052 ab. In der Modellierung nicht berücksichtigt werden wirtschaftliche Einflüsse wie die Entwicklung von Nachfrage und Preis, forsttechnische Größen wie Geländeneigung oder die Erschliessung des Waldes durch Wege, sowie individuelle Eigentümerziele wie Höhe und Intensität der Nutzung und Baumartenwahl (BMEL, 2016). Mit den Ergebnissen der Modellierung wird ein Verständnis erhalten, welche Baumarten in Zukunft in welchem Volumen zur Verfügung stehen werden. In den zwei alternativen Waldbehandlungsszenarien «Holzpräferenzszenario» und «Naturschutzszenario» werden unterschiedliche Waldbehandlungen mit deren Auswirkung auf die Waldstruktur und das Rohholzaufkommen über eine Zeit von 40 Jahren (2012 bis 2052) simuliert. Im Holzpräferenzszenario (HPS) wird der Holzvorrat abgesenkt mit dem Ziel, das Rohholzaufkommen zu steigern. Ziel des Naturschutzpräferenzszenario (NPS) ist der Erhalt und die Förderung der Biodiversität und der Naturschutzleistung im Wald. Die verschiedenen Waldbehandlungs- und Holzverwendungsszenarien liegen für ganz Deutschland vor (Seintsch et al., 2017; Mantau et al., 2017), die Waldbehandlungsszenarien liegen für 42 Clusterregionen Deutschlands vor (Gerber et al., 2018).

Die nachfolgenden Abbildungen zeigen die regionalisierten Ergebnisse (Gerber et al., 2018) zur Entwicklung der Vorratsänderung und des Rohholzpotenzials für die Jahre 2012 bis 2052 für die Waldbehandlungsszenarien HPS und NPS. Die Entwicklungen der Regionen Baden-Württembergs sind mit den Entwicklungen für Gesamtdeutschland vergleichbar (Oehmichen et al., 2017).

Abbildung 6 stellt für die einzelnen Clusterregionen Stuttgart, Tübingen, Freiburg und Karlsruhe die prozentuale Vorratsänderung über den Projektionszeitraum 2012 bis 2052 im Vergleich zum Referenzjahr 2012 für alle Baumartengruppen dar. Im HPS ist im Mittel für alle Baumartengruppen (BA) in allen Regionen ein Rückgang des Vorrats auf 76 % bis 88 % ersichtlich. Vor allem der Vorrat der Baumartengruppe Buche und Lärche sinkt auf bis zu 57 %. Die Vorratsänderung der Fichte in den einzelnen Clusterregionen beträgt eine Reduktion des

Vorrats auf bis zu 81 % in Freiburg und eine Zunahme auf 110 % in Stuttgart. Einzig die Laubbäume mit niedriger Lebensdauer (ALN) erfahren in allen Regionen einen Zuwachs auf bis zu 130 %. Im NPS wird die angestrebte Änderung der Baumartenzusammensetzung durch einen Anstieg der Vorratsänderung vor allem der Laubbäume erkennbar. Im Mittel ist eine Vorratsänderung über alle Baumarten auf 106 % bis 123 % erkennbar. Am deutlichsten steigt der Vorrat für die ALN, ALH und Douglasie von 140 % bis 213 %. Buche und Eiche nehmen zwischen 5 % und 20 % zu, einzig die Kiefer und Lärche haben einen geringen bis negativen Zuwachs von bis zu -22 %.

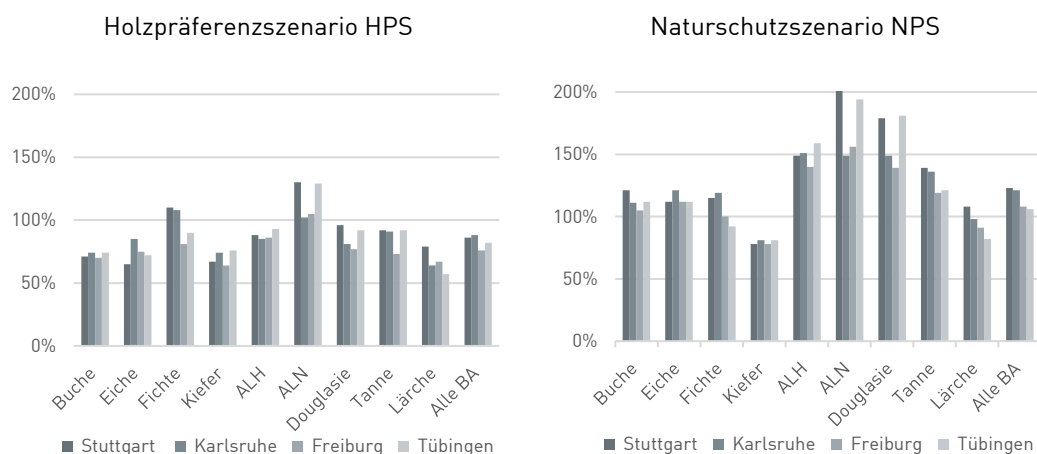


Abbildung 6: Vorratsänderungen in Prozent über den Projektionszeitraum 2012 bis 2052 (2012 entspricht 100 %) für die Waldbehandlungsszenarien Holzpräferenzszenario (HPS) und Naturschutzszenario (NPS) in den Clusterregionen Stuttgart, Karlsruhe, Freiburg und Tübingen für die Baumartengruppen Buche, Eiche, Fichte, Kiefer, andere Laubbäume hoher Lebensdauer (ALH) und niedriger Lebensdauer (ALN) sowie gesamthaft (alle Baumarten) (Datenquelle: Gerber et al., 2018).

Abbildung 7 zeigt die Entwicklung des Rohholzpotenzials für die vier Gruppen von Hauptbaumarten Kiefer, Fichte, Eiche und Buche für Baden-Württemberg als Summe der Clusterregionen Stuttgart, Karlsruhe, Freiburg und Tübingen. Für das HPS liegt das mittlere Rohholzpotenzial über alle Haupt-Baumartengruppen bei circa 14,8 Mio. m³ pro Jahr, wobei das Potenzial von 19,3 Mio. m³ pro Jahr (2013) auf 12,7 m³ pro Jahr (2052) sinkt. Diese Entwicklung deutet auf die Möglichkeit einer vorübergehend verstärkten Holznutzung hin und ist vergleichbar mit der Entwicklung des Rohholzpotenzials in ganz Deutschland (Oehmichen et al., 2017). Nachdem die Vorräte abgebaut sind, sinken die Potenziale bei Kiefer und Buche um circa 50 % und bei Fichte um 25 %. Für das NPS liegt das mittlere Rohholzpotenzial über alle Haupt-Baumartengruppen bei circa 11,7 Mio. m³ pro Jahr, das Potenzial sinkt von 12,5 Mio. m³ pro Jahr (2013) auf 11,2 Mio. m³ pro Jahr (2052) im Vergleich zum HPS deutlich weniger stark. Die Potenziale sinken bei Kiefer um circa 37 % und bei Fichte und Buche um rund 10 %. Vergleicht man das potenzielle Rohholzaufkommen über alle Baumartengruppen für das Jahr 2052, steht für HPS mit einem Aufkommen von 12,7 Mio. m³ pro Jahr dem NPS ein Aufkommen von 11,7 Mio. m³ pro Jahr gegenüber.

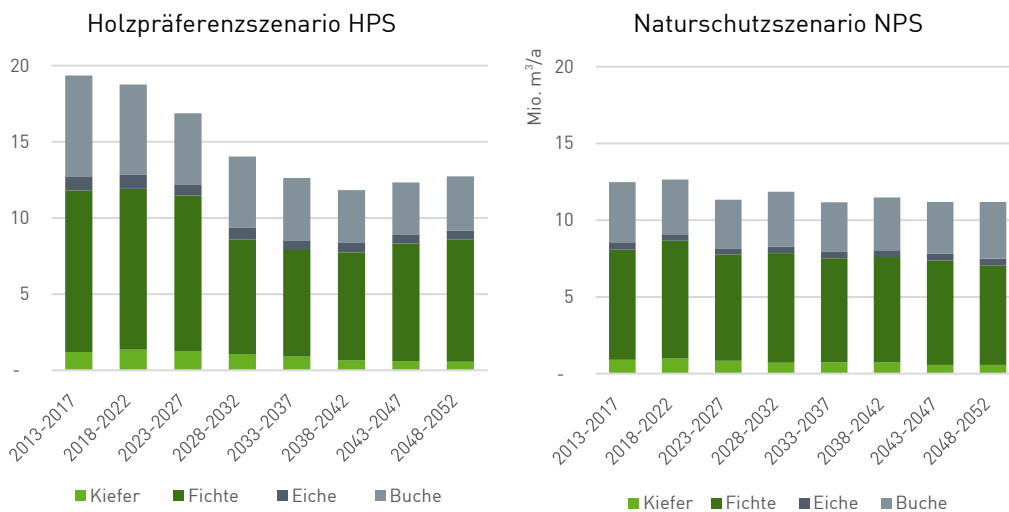


Abbildung 7: Entwicklung des potenziellen Rohholzaufkommens (in Mio. m³/a) für die Holzartengruppen Kiefer, Fichte, Eiche und Buche jeweils für Waldentwicklungsszenarien HPS (links) und NPS (rechts) im Zeitraum 2013 bis 2052 (Datenquelle: Gerber et al. 2018).

Das potenzielle Rohholzaufkommen der Rohholzsortimente Starkholz, mittelstarkes Holz und Schwachholz der einzelnen Baumgruppenarten ist in Abbildung 8 für gesamt Baden-Württemberg als Summe der Clusterregionen Stuttgart, Karlsruhe, Freiburg und Tübingen dargestellt. Für das Szenario HPS wird der Rückgang des Rohholzaufkommens über alle Baumartengruppen für alle Rohholzsortimente erkennbar. Starkholz reduziert sich gesamthaft von 2,8 Mio. m³ pro Jahr auf 1,5 Mio. m³ pro Jahr (-45 %), mittelstarkes Holz von 10 Mio. m³ pro Jahr auf 5,5 Mio. m³ pro Jahr (-44 %) und Schwachholz von 6,5 Mio. m³ pro Jahr auf 5,6 Mio. m³ pro Jahr (-15 %). Die höchste Reduktion von Starkholz und mittelstarkem Holz wird für Kiefer (um 65 % bzw. 70 %) und Buche (jeweils um 56 %) ausgewiesen, gefolgt von Eiche (um 50 % bzw. 40 %) und Fichte (um jeweils ca. 35 %). Das Aufkommen für Schwachholz für Kiefer und Fichte steigt um ca. 20 % und sinkt für Buche und Eiche um ca. 40 % und ca. 30 %.

Für das Szenario NPS ergibt sich ein anderes Bild. Das potenzielle Aufkommen von Starkholz steigt von 1,8 Mio. m³ pro Jahr auf 2,4 Mio. m³ pro Jahr (+37 %), sinkt für mittelstarkes Holz von 6,3 Mio. m³ pro Jahr auf 4,5 Mio. m³ pro Jahr (-30 %) und sinkt leicht für Schwachholz von 4,4 Mio. m³ auf 4,2 Mio. m³ pro Jahr (-3 %). Das Starkholzaufkommen steigt für Fichte in ca. 40 %, für Buche um ca. 35 % und für Eiche um ca. 25 %, während es für Kiefer um ca. 10 % sinkt. Mittelstarkes Holz nimmt über die gesamten Baumgruppenarten um ca. 30 % ab, Schwachholz um ca. 3 %. Mittelstarkes Holz reduziert sich für Kiefer um ca. 55 %, Buche um ca. 37 %, Eiche um ca. 30 % und Fichte um 23 %.

Stellt man die beiden Szenarien HPS und NPS für alle Baumgruppenarten im Jahr 2052 gegenüber, verfügt das NPS über 60 % mehr Starkholz (HPS 1,5 Mio. m³ pro Jahr; NPS 2,4 Mio. m³ pro Jahr), das HPS im Jahr 23 % mehr mittelstarkes Holz (HPS 5,5 Mio. m³ pro Jahr; NPS 4,5 Mio. m³ pro Jahr) und das HPS über 33 % mehr Schwachholz (HPS 5,6 Mio. m³ pro Jahr; NPS 4,2 Mio. m³ pro Jahr).

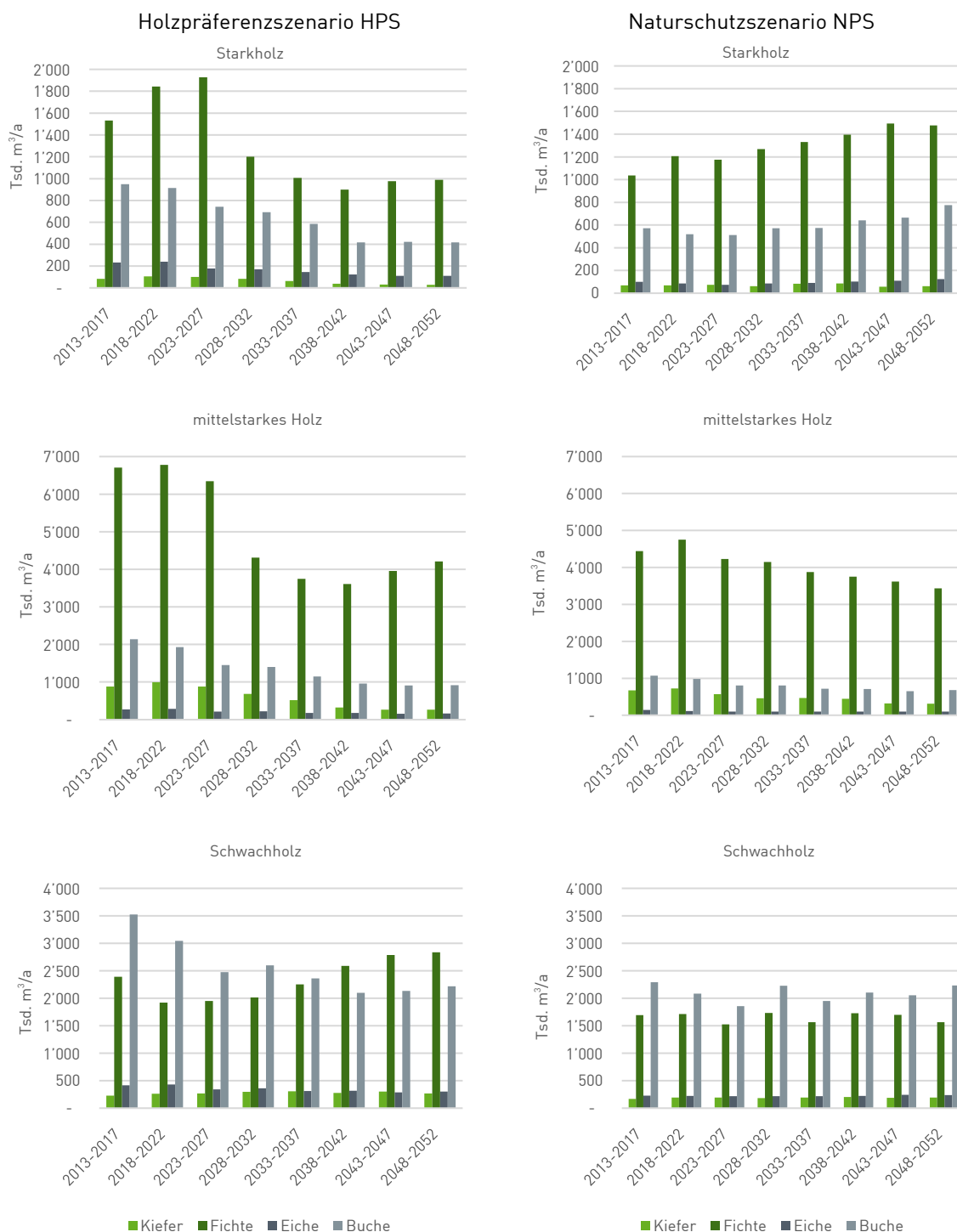


Abbildung 8: Entwicklung des potenziellen Rohholzaufkommens (in 1.000 m³/a) für das Rohholzsortiment Starkholz (oben), mittelstarkes Holz (Mitte) und Schwachholz (unten) für die Holzartengruppen Kiefer, Fichte, Eiche und Buche jeweils für Waldentwicklungsszenarien HPS (links) und NPS (rechts) im Zeitraum 2013 bis 2052 (Datenquelle: Gerber et al. 2018).

Waldstrategie Baden-Württemberg 2050

Deutschland und einige Bundesländer separat haben Waldstrategien erarbeitet. Diese dienen dazu, zielgerichtet und effizient mit den zukünftigen Herausforderungen des Waldes und des Waldsektors umgehen zu können. Die „Waldstrategie Baden-Württemberg 2050“ stellt sich den Herausforderungen zum Erhalt des Waldes und zur Sicherung seiner vielfältigen Funktionen. Damit verbunden ist ein langfristiger Veränderungsprozess, der klimatische Rahmenbedingungen und die sich wandelnden gesellschaftlichen Anforderungen an den Wald integriert. Die Waldstrategie Baden-Württemberg 2050 ist ein kontinuierlicher und transparenter Prozess, dessen Ziele und Maßnahmen regelmäßig evaluiert und weiterentwickelt werden. In den Prozess wurden von Beginn an verschiedene Akteure einbezogen (FVA, 2021).

Die Strategie gibt einen langfristigen Orientierungsrahmen für die Waldwirtschaft vor, mit dem obersten Ziel eines klimatoleranten, resilienten und zukunftsfähigen Waldes. In den sieben Themenfeldern Klimawandel, Wald und Mensch, Gesellschaftliche Megatrends, Ressourcen, Waldeigentum, Biodiversität, Digitalisierung sowie weiteren übergeordneten Querschnittsthemen wurden insgesamt 23 Ziele und dazugehörige Handlungsfelder formuliert, aus denen operative Maßnahmen für einen Maßnahmenplan formuliert werden. Zeitnah umgesetzt werden sollen u.a. Maßnahmen

- zur Anpassung der Waldbaukonzepte
- zur Stärkung der Rolle des Waldes für Gesundheitsförderung
- zur Weiterentwicklung von Werkzeugen unterschiedlicher Interessengruppen
- zur Entwicklung eines Honorierungssystems für Ökosystemleistungen
- zur Forschungs- und Entwicklungsförderung zu innovativen Holzverwendungen
- zur Entwicklung eines digitalen Wald-Portals als Informations-, Service und Förderplattform
- zum Aufbau eines Fernerkundungszentrums für Forstwirtschaftliche Fragestellungen
- zur Stärkung von Waldkindergärten und Bildungseinrichtungen rund um das Thema Wald (FVA, 2021).

4.3 Das Cluster Forst-Holz in Baden-Württemberg

Im Folgenden wird ein Überblick über das Cluster Forst-Holz gegeben. Dabei wird auf die Entwicklung einzelner Teilbranchen eingegangen.

Das Cluster Forst-Holz Baden-Württemberg umfasst alle auf Holz basierten Wirtschaftszweige. Die Unterteilung des Clusters nach Wirtschaftszweigen basiert in dieser Studie auf der vom Thünen-Institut geführten Methode zur Strukturanalyse des Clusters Forst-Holz (Becher, 2014).

Das Cluster Forst-Holz hat im Jahr 2020 mit rund 10,52 Milliarden Euro (Thünen-Institut, 2021) rund 2,3 % zur landesweiten Bruttowertschöpfung in Baden-Württemberg beigetragen (Statistisches Landesamt Baden-Württemberg, 2022a). Mit rund 163.000 Erwerbstätigen im Jahr 2020 beschäftigt das Cluster ungefähr 2,6 % aller Erwerbstätigen im Bundesland (Statistisches Landesamt Baden-Württemberg, 2022b).

Die größte wirtschaftliche Bedeutung innerhalb des Clusters haben, gemessen an der Bruttowertschöpfung, das Verlags- und Druckereigewerbe (30,2 %), das Papiergewerbe (20,6 %), das

Holzverarbeitende Gewerbe (20,5 %) und der Wirtschaftszweig «Holz im Baugewerbe» (16,5 %). Zur Diskussion steht jedoch, inwiefern das Verlags- und Druckereigewerbe weiterhin als Branche des Clusters Forst-Holz betrachtet werden soll, da speziell im Verlagswesen ein wachsender Digitalisierungstrend herrscht. Dadurch nimmt die Abhängigkeit zum Rohstoff Holz ab (Iost, 2023). Die absolute Bruttowertschöpfung nach Wirtschaftszweigen im Cluster ist in Abbildung 9 ersichtlich.

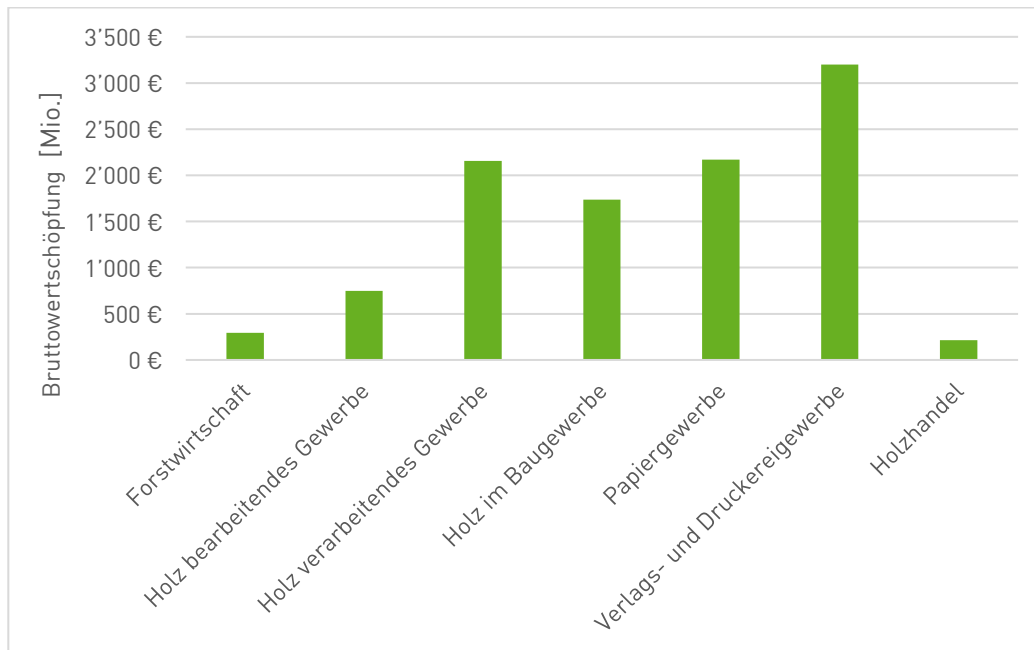


Abbildung 9: Bruttowertschöpfung Cluster Forst-Holz Baden-Württemberg im Jahr 2020 (Datenquelle: Thünen-Institut, 2021).

Verglichen mit der gesamtdeutschen Bruttowertschöpfung des Clusters Forst-Holz ist Baden-Württemberg mit 17,3 % anteilmäßig eines der wichtigsten Länder der bundesweiten Forst- und Holzwirtschaft. In der Gesamtwirtschaft trägt das Bundesland 15 % zur deutschen Bruttowertschöpfung von Deutschland bei, was die regionale Bedeutung des Clusters weiter unterstreicht (Statistisches Landesamt Baden-Württemberg, 2022c). Tabelle 2 zeigt die entsprechenden absoluten Werte der Bruttowertschöpfung der Branchen des Clusters sowie deren regionale Anteile.

Bruttowertschöpfung in [Tsd. Euro]			
Branchen	Baden-Württemberg	Deutschland	Anteil
Forstwirtschaft	292.450	1.828.237	16,0 %
Holzbearbeitendes Gewerbe	747.797	3.542.472	21,1 %
Holzverarbeitendes Gewerbe	2.157.155	12.790.774	16,9 %
Holz im Baugewerbe	1.736.632	9.542.402	18,2 %
Papiergewerbe	2.169.750	10.936.021	19,8 %
Verlags- und Druckereigewerbe	3.199.841	20.351.446	15,7 %
Holzhandel	215.808	1.660.374	13,0 %
Cluster Forst-Holz insgesamt	10.519.433	60.651.726	17,3 %

Tabelle 2: Bruttowertschöpfung [Tsd. Euro] in Baden-Württemberg und Deutschland Jahr 2020 (Datenquelle: Thünen Institut, 2021).

Auffallend ist dabei, dass das baden-württembergische holzbearbeitende Gewerbe hinsichtlich der Bruttowertschöpfung einen Anteil von über 20 % der gesamtdeutschen Branche hat, obwohl diese Branche wertschöpfungsmäßig nicht zu den größten Landes-Branchen zählt. Es folgen das Papiergewerbe (19,8 %) und das Holz im Baugewerbe (18,2 %).

Durchschnittlich wurden im Cluster Forst-Holz im Jahr 2020 rund 64.200 Euro pro beschäftigte Person erwirtschaftet, ungefähr 7,43 % mehr als die durchschnittliche Bruttowertschöpfung pro beschäftigte Person bundesweit. Damit die wirtschaftliche Stärke einzelner Bereiche innerhalb des Clusters Holz und Forst weiter verglichen werden kann, zeigt Abbildung 10 die Bruttowertschöpfung pro beschäftigte Person nach Branchen im Jahr 2020 auf.

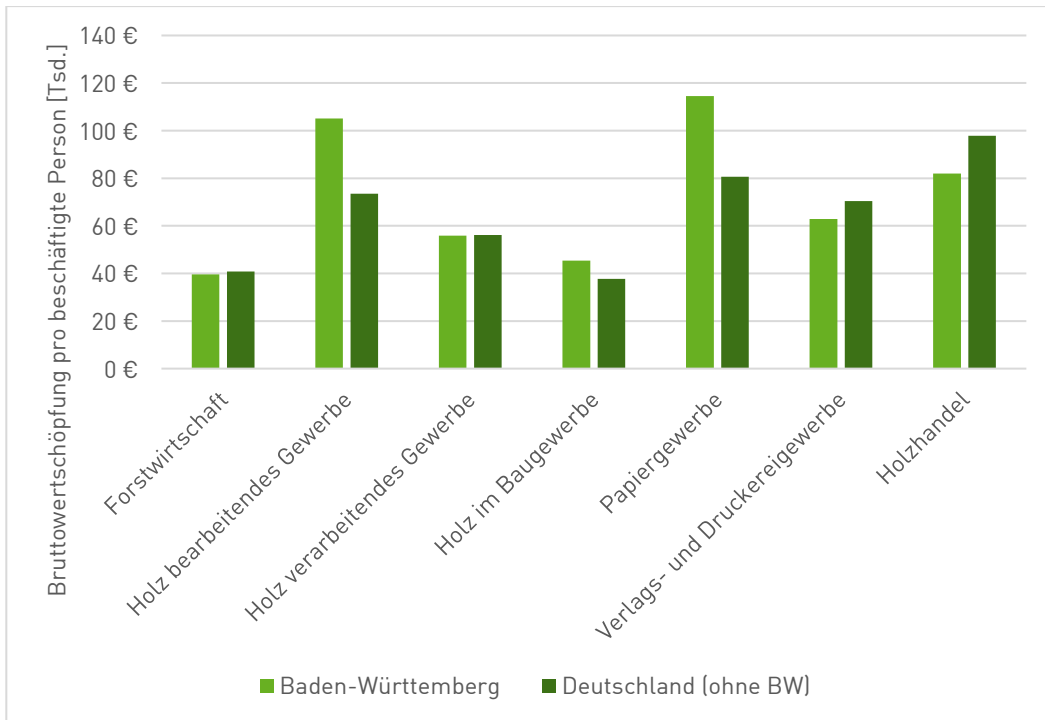


Abbildung 10: Bruttowertschöpfung pro beschäftigte Person in Baden-Württemberg und im übrigen Deutschland Jahr 2020 (Datenquelle: Thünen-Institut, 2021).

Der Vergleich der Bruttowertschöpfung pro beschäftigte Person nach Branchen zeigt auf, dass in Baden-Württemberg das «holzbearbeitende Gewerbe», «Holz im Baugewerbe», sowie das «Papiergewerbe» eine höhere Bruttowertschöpfung pro beschäftigte Person erzielt als in Deutschland. Das «holzbearbeitende Gewerbe» mit +42,9 %, das «Papiergewerbe» mit +42 %, und das «Holz im Baugewerbe» mit +20,4 % über der durchschnittlichen Bruttowertschöpfung pro beschäftigte Person dieser Branchen in Deutschland zeichnen sich in Baden-Württemberg mit einer sehr hohen Produktivität aus. In den Branchen «Forstwirtschaft» und «holzverarbeitendes Gewerbe» kann keine nennenswerte Differenz der Bruttowertschöpfung pro Beschäftigte Person ausgemacht werden. Das «Verlags- und Druckereigewerbe» sowie der «Holzhandel» erwirtschaftet im bundesweiten Vergleich deutlich unter dem Durchschnitt der Bruttowertschöpfung pro beschäftigte Person.

Die Entwicklung ausgewählter Branchen des Cluster Forst-Holz

Mit dem Fokus dieser Studie auf den Holzbau wird folgend die Entwicklung der Forstwirtschaft, des Holzhandels, des holzbe- und verarbeitenden Gewerbes sowie das Holz im Baugewerbe betrachtet.

Unternehmen

In den genannten Branchen sind insgesamt rund 13.980 Unternehmen in Baden-Württemberg tätig. Im Cluster Forst-Holz zeigt sich zwischen 2002 und 2020 eine kontinuierlich leicht fallende Tendenz bei den Unternehmenszahlen mit jährlichen Abnahmen von durchschnittlich - 0,4 % (vgl. Abbildung 11).

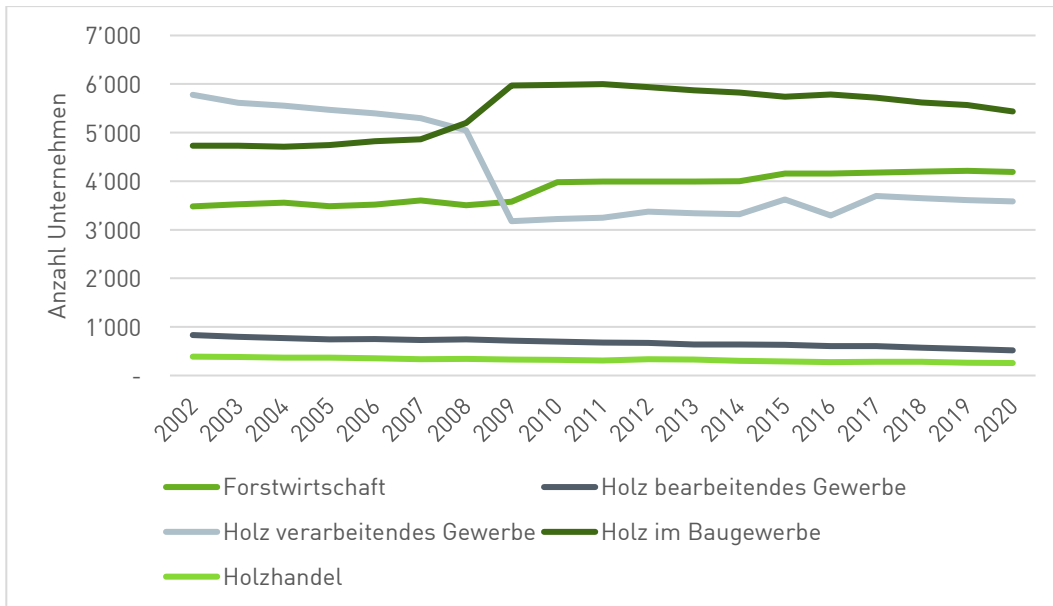


Abbildung 11: Entwicklung Anzahl Unternehmen in ausgewählten Branchen des Clusters Forst-Holz in Baden-Württemberg (Datenquelle: Thünen-Institut, 2021).

Besonders auffällig sind die leichten Rückgänge im holzbearbeitenden Gewerbe (- 2,5 % jährlich) und im Holzhandel (- 2,2 % jährlich). Hingegen verzeichnet die Forstwirtschaft einen leichten jährlichen Anstieg von durchschnittlich 1,1 % zwischen 2002 und 2014. Ab 2015 stagnierte die Entwicklung, nachdem es zuvor ein überdurchschnittliches Wachstum von 4,1 % im Vergleich zu 2014 gegeben hatte. Ähnlich verhält es sich mit dem Holzverarbeitenden Gewerbe, das zwischen 2002 und 2008 jährlich konstant um durchschnittlich -1,92 % gesunken ist und im Jahr 2009 fast 40 % weniger Unternehmen aufwies als im Vorjahr¹. Seitdem jedoch verzeichnet es ein leichtes Wachstum. Im Gegensatz dazu erlebte die Branche «Holz im Baugewerbe» einen Anstieg der Unternehmenszahlen insbesondere von 2007 bis 2009 um 22,76 %, bedingt durch das Wachstum in der Unterbranche «Bautischlerei und -schlosserei».

Beschäftigte

Das Cluster Forst-Holz beschäftigt im Jahr 2020 rund 94.000 Personen innerhalb der ausgewählten Branchen. Die Gesamtbeschäftigtenzahl im Cluster Forst-Holz blieb zwischen 2010 und 2020 konstant bei rund 92.000 bis 94.000 Beschäftigten, nachdem sie zuvor von 2002 bis 2009 von rund 110.000 auf 92.000 zurückgegangen war. In Abbildung 12 ist die Entwicklung der Anzahl der Beschäftigten der verschiedenen Branchen zwischen 2002 und 2020 ersichtlich.

¹ Dieser Einbruch ist größtenteils auf einen Rückgang in Unternehmen des «industriellen Holzbauwesens» sowie der «sonstigen Holzverarbeitung» zurückzuführen.

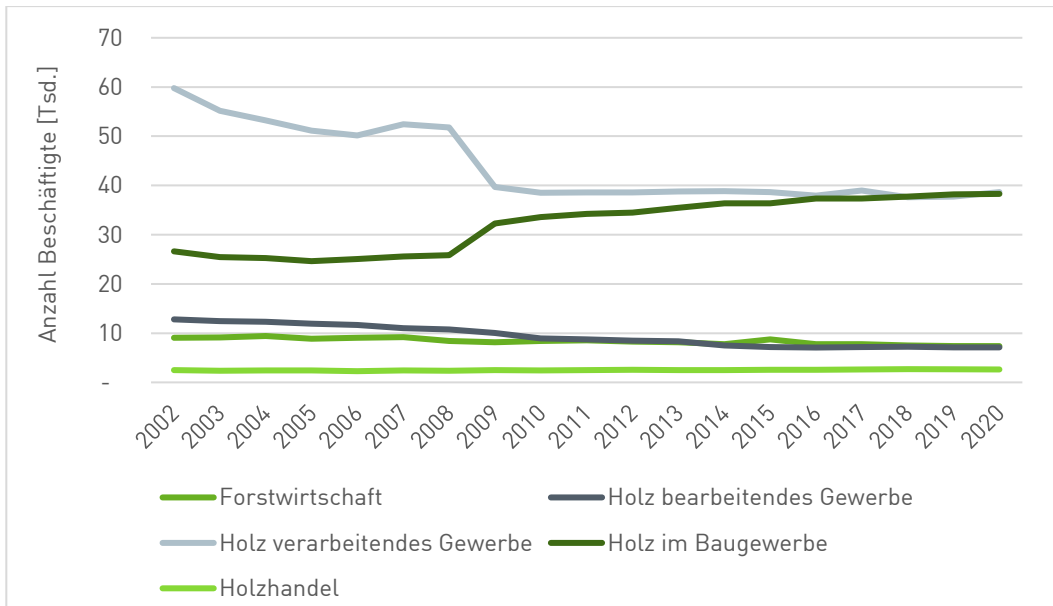


Abbildung 12: Entwicklung der Beschäftigten in ausgewählten Branchen des Clusters Forst-Holz in Baden-Württemberg [Datenquelle: Thünen-Institut, 2021].

In der Forstwirtschaft, dem Holzhandel und dem holzbearbeitenden Gewerbe zeigen sich konstante Entwicklungen der Beschäftigtenzahlen. Die Forstwirtschaft verzeichnet jährlich einen Rückgang von 1,1 %, das holzbearbeitende Gewerbe von rund 3 %, während der Holzhandel leicht um 0,7 % pro Jahr wächst. Ähnliche Entwicklungen wie bei den Unternehmenszahlen sind im Holzverarbeitenden Gewerbe und im «Holz im Baugewerbe» zu beobachten. Die Beschäftigtenzahl im Holzverarbeitenden Gewerbe sank 2008 auf 2009 massiv und stagnierte seitdem. In der Branche «Holz im Baugewerbe» stieg die Beschäftigtenzahl zwischen 2008 und 2009 um etwa 25 %.

Durchschnittliche Unternehmensgrößen

Die Entwicklung der durchschnittlichen Unternehmensgröße zeigt keine maßgebende strukturelle Veränderung in der Unternehmensdemographie zwischen 2002 und 2020. Abbildung 13 zeigt auf, wie sich die durchschnittliche Unternehmensgröße zwischen 2002 und 2020 im Cluster Forst-Holz entwickelt hat.

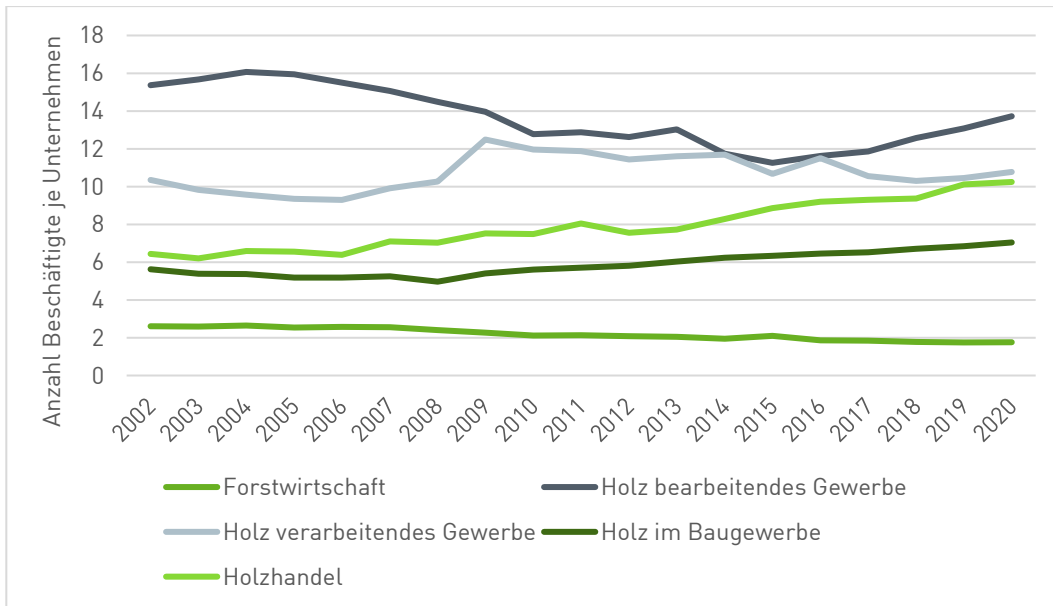


Abbildung 13: Entwicklung der Unternehmensgröße anhand der durchschnittlichen Beschäftigten ausgewählter Branchen des Clusters Forst-Holz in Baden-Württemberg (Datenquelle: Thünen-Institut, 2021)

Wie zuvor in der Entwicklung der «Forstwirtschaft» ersichtlich, verändert sich aufgrund der sinkenden Anzahl Forstwirtschafts-Unternehmen sowie der entsprechenden Beschäftigtenzahl die durchschnittliche Unternehmensgröße kaum. Ein struktureller Wandel hin zu wenigen großen Unternehmen kann also nicht festgestellt werden. Im holzbearbeitenden Gewerbe, in welchem die durchschnittliche Unternehmensgröße über den betrachteten Zeitraum rund 13,5 Beschäftigten entsprach, zeigt die Entwicklung über den gesamten Zeitraum eine ähnliche Tendenz wie in der Forstwirtschaft. Im holzbearbeitenden Gewerbe kann jedoch eine leichte Dekonzentration der Unternehmen zwischen 2005 und 2015 festgestellt werden, ehe eine Konzentration der Unternehmen seit 2016 erneut leicht zugenommen hat. Im Holzverarbeitenden Gewerbe kann keine starke Entwicklung der Unternehmensgrößen über den Zeitraum beobachtet werden. Die Entwicklung in der Branche «Holz im Baugewerbe» weist eine stetige leichte Konzentration der Unternehmen auf. Außerdem gibt es ein entsprechendes Wachstum der Unternehmensgrößen von rund 5,6 Beschäftigten im Jahr 2002 auf 7,04 Beschäftigte im Jahr 2020.

Umsatz je Unternehmen

Die Unternehmen in allen Teilbranchen des Clusters können insgesamt über eine wachsende Umsatzentwicklung zwischen 2002 und 2020 zurückblicken. Dass die Beschäftigtenzahl nicht parallel dazu gestiegen, sondern in einigen Wirtschaftszweigen auch gesunken ist oder stagniert hat, weist auf einen Strukturwandel im Cluster hin.

Im holzbearbeitenden Gewerbe und dem «Holz im Baugewerbe» ist der durchschnittliche Umsatz je Unternehmen am stärksten gestiegen mit rund +116 %, beziehungsweise +112 % im Vergleich zu 2002. Die Entwicklung des durchschnittlichen Umsatzes je Unternehmen ist in Abbildung 14 ersichtlich.

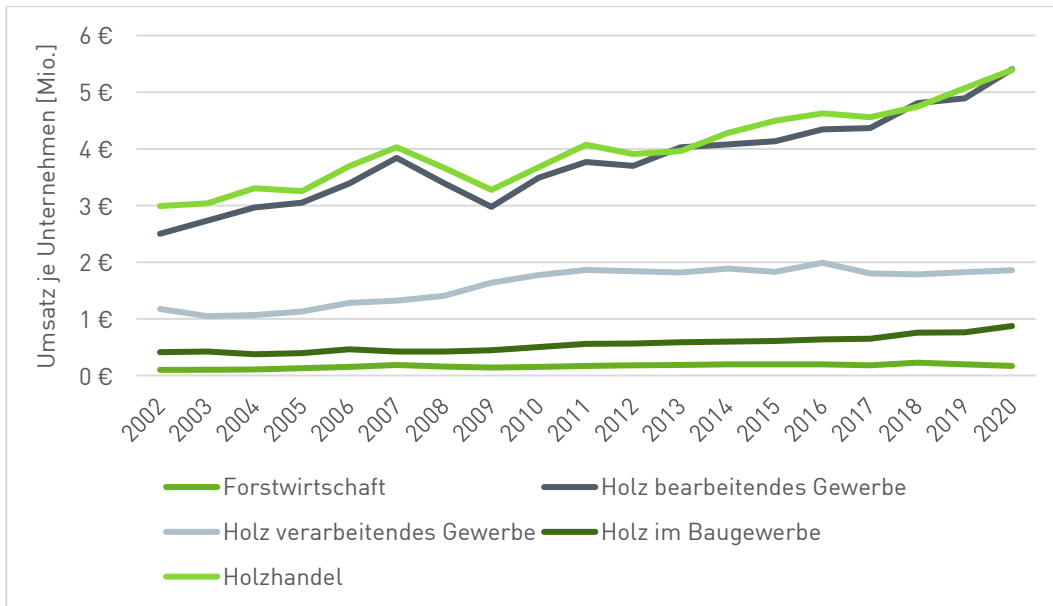


Abbildung 14: Entwicklung Umsatz je Unternehmen ausgewählter Branchen des Clusters Forst-Holz in Baden-Württemberg in Euro (Datenquelle: Thünen-Institut, 2021)

Im Holzhandel und dem Holz verarbeitenden Gewerbe steigerte sich der durchschnittliche Umsatz je Unternehmen über den Betrachtungszeitraum um rund +80 %, respektive +58 %. Die positiven Umsatzzahlentwicklungen je Unternehmen sind ein positives Indiz für die Finanzkraft der Unternehmen.

Bruttowertschöpfung je beschäftigte Person

Die Bruttowertschöpfung je beschäftigte Person stieg in den ausgewählten Branchen zwischen 2002 und 2020 im Durchschnitt von rund 34.000 Euro auf 54.000 Euro. Der höchste Anstieg konnte in der Branche des holzbearbeitenden Gewerbes verzeichnet werden mit +160 % höherer Bruttowertschöpfung je beschäftigter Person im Jahr 2020, was auf strukturelle Veränderungen innerhalb der Branche deutet. In der Forstwirtschaft nahm die Bruttowertschöpfung zwischen 2018 und 2020 um rund 44 % ab, was unter anderem auf die steigenden Kalamitätsfälle zurückgeführt werden könnte. Die Entwicklung der Bruttowertschöpfung je beschäftigter Person der Branchen ist in Abbildung 15 ersichtlich.

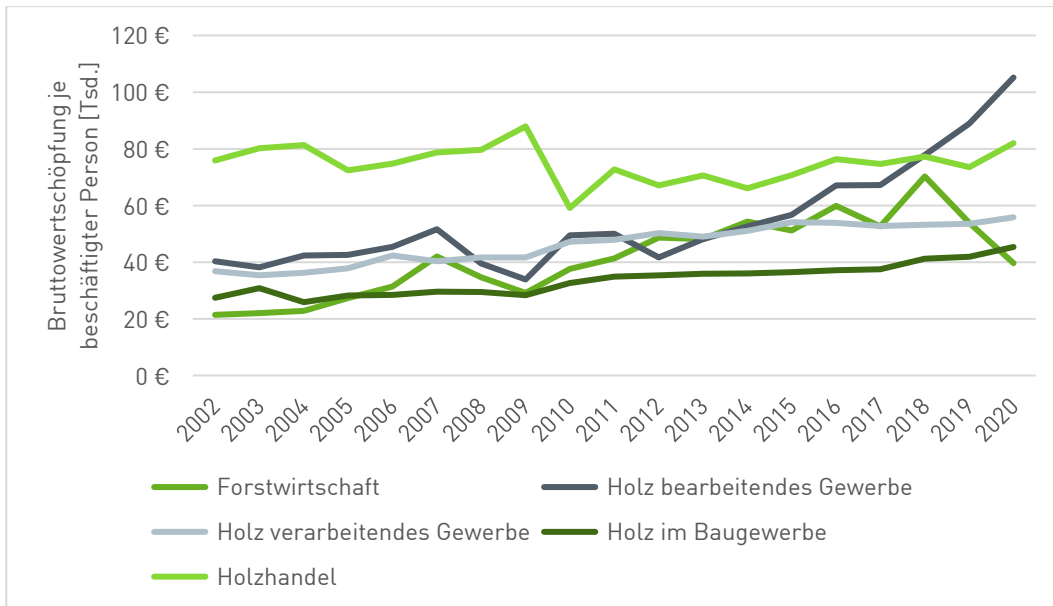


Abbildung 15: Entwicklung Bruttowertschöpfung je beschäftigter Person ausgewählter Branchen des Clusters Forst-Holz in Baden-Württemberg in Tsd. Euro (Datenquelle: Thünen Institut; 2021).

Insgesamt haben die ausgewählten Branchen des Clusters Forst-Holz in Baden-Württemberg in den letzten rund 20 Jahren zwar einen Rückgang der Beschäftigten und Unternehmen erfahren, gleichzeitig wurden jedoch der Umsatz und die Bruttowertschöpfung gesteigert. Dies deutet auf einen Strukturwandel hin, allerdings auch auf eine steigende Produktivität mit der clusterweit höchsten Bruttowertschöpfung je beschäftigter Person im Jahr 2020. Es scheint sich einerseits der Trend zur erhöhten Nachfrage nach Holz abzuzeichnen, andererseits deuten Kennzahlen wie beispielsweise die gesunkene Bruttowertschöpfung in der Forstwirtschaft auf klimabedingte Veränderungen hin.

4.4 Der Rohstoff Holz vom Wald bis zum Holzbau

Im folgenden Kapitel wird der Rohstoff Holz und beteiligte Akteure entlang der Wertschöpfungskette vom Rohholz aus dem Wald bis zum verbauten Holz in Gebäuden betrachtet. Dazu liegt der Fokus auf Baden-Württemberg, wobei jedoch bundesweite Kennzahlen stützend einbezogen werden.

Rohstoff Waldholz - Forstwirtschaft

In der Periode 2002-2021 unterlag der Holzeinschlag in Baden-Württemberg kleineren Schwankungen und erreichte im Jahr 2021 einen mengenmäßigen Höchstwert von 9.150 Festmeter (fm) geschlagenem Holz ohne Rinde (Statistisches Bundesamt, 2022a). Dieser Wert beinhaltet sowohl Laubderbholz als auch Nadelderbholz der Kategorien Stammholz, Industrieholz und sonstiges Holz.

Die wichtigste Holzsorte ist Stammholz mit einem Anteil von 65,6 % des Holzeinschlags, gefolgt von Energieholz mit 15,8 % und Industrieholz mit 10,4 % (Jahr 2021). Der Nadelholzanteil am Holzeinschlag beträgt rund 75 %, während Laubholz mit nur 25 % eine untergeordnete Rolle einnimmt. Die überwiegende Holzsorte im Nadelholzeinschlag ist Stammholz mit fast 80 %,

gefolgt von Industrieholz mit 8,3 %. Im Vergleich dazu beträgt der Stammholzanteil des Laubholzeinschlags nur 24,4 %, während der größte Anteil mit 44 % dem Energieholz zuzuordnen ist.

Insgesamt hat sich der Einschlag von Laubholz anteilmäßig über die letzten 20 Jahre in Baden-Württemberg erhöht (vgl. Abbildung 16). Gleichzeitig ist jedoch der Anteil an Laubstammholz nach zwischenzeitlicher Erhöhung auf über 12 % des Holzeinschlags (Jahr 2019) im Jahr 2021 wieder auf rund 6 % gesunken. Dies könnte auf den steigenden Anteil an kalamitätsbedingtem Nadelholz in den letzten drei Jahren hinweisen (vgl. Abbildung 18) und möglicherweise auch Auswirkungen der Energiekrise widerspiegeln, wodurch die Mobilisierung von Laubstammholz abnahm.

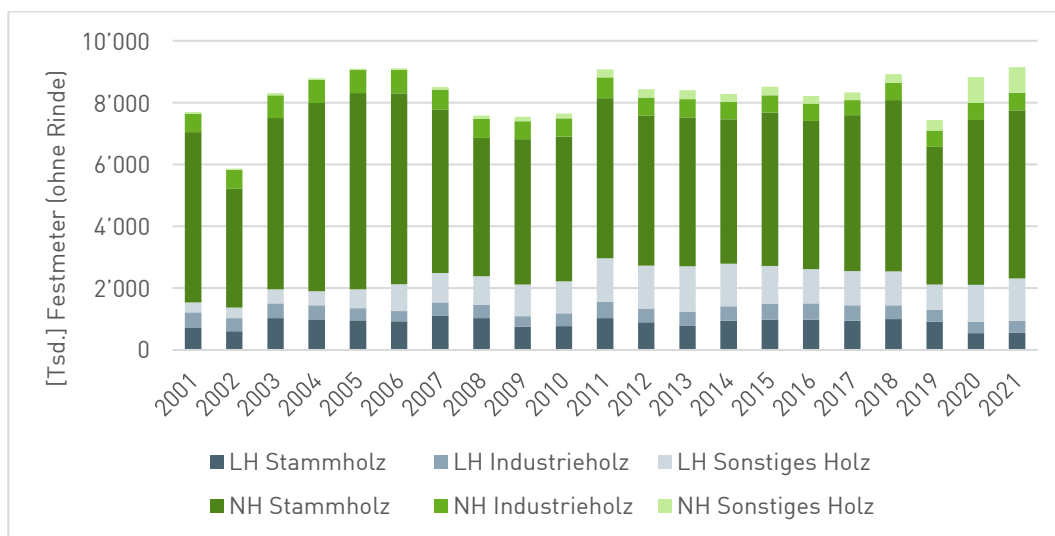


Abbildung 16: Entwicklung Holzeinschlag nach Anteil Holzarten (Datenquelle: Statistisches Landesamt Baden-Württemberg, 2022d).

Die wichtigste Baumartengruppe in Baden-Württemberg ist «Fichte, Tanne, Douglasie und sonstiges Nadelholz» mit knapp 71 % des Holzeinschlags (Jahr 2021). Die andere Nadelbaumartengruppe «Kiefer und Lärche» macht einen Anteil von rund 4 % des Holzeinschlags aus. Von den rund 25 % Laubholzeinschlag ist mit 92 % der überwiegende Teil der Baumartengruppe «Buche und sonstiges Laubholz» zugehörig. «Eiche und Roteiche» machen ungefähr 8 % aus. In Abbildung 17 sind die Holzsorten und deren Baumartengruppenanteile des Holzeinschlags 2021 ersichtlich.

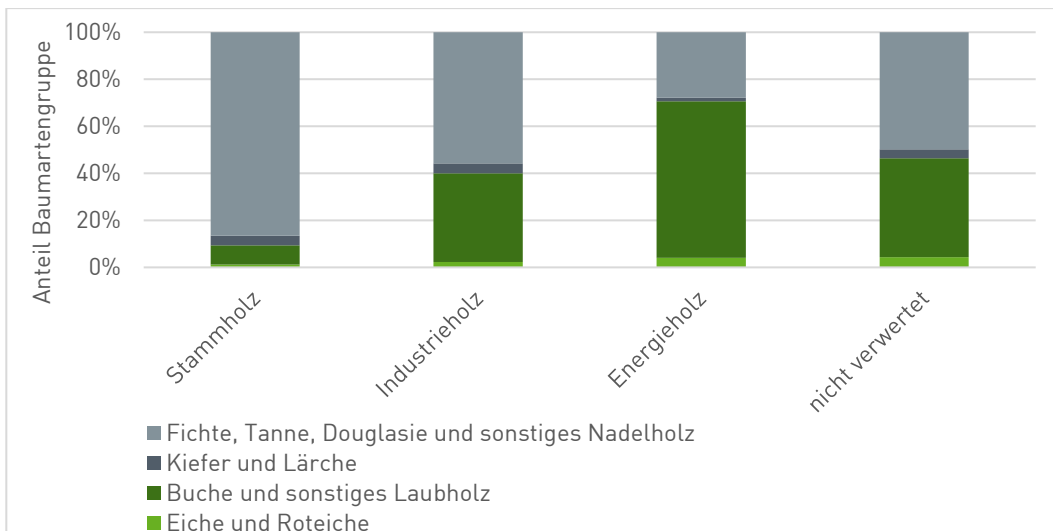


Abbildung 17: Anteil Baumartengruppen an Holzarten im Holzeinschlag von Baden-Württemberg im Jahr 2021 (Datenquelle: Statistisches Landesamt Baden-Württemberg, 2022d).

Seit dem Jahr 2018 fällt auch in Baden-Württemberg ein erhöhtes Aufkommen von Schadh Holz an. Extreme Trockenheit, hohe sommerliche Temperaturen, Vermehrung von Schädlingen oder Extremwetterereignisse wie der Orkan Sabine im Jahr 2020 führten dazu, dass zwischen 2018 und 2022 hohe Waldschäden entstanden (s. Abbildung 18). In Baden-Württemberg fiel zwischen 2018 und 2021 rund 81 % des kalamitätsbedingten Holzeinschlags auf die Baumartengruppe «Fichte, Tanne, Douglasie und sonstiges Nadelholz». Insgesamt fielen in Baden-Württemberg über diesen Zeitraum fast 18 Mio. fm Kalamitätsholz an, was rund 52 % des gesamten Holzeinschlags betrug. Deutschlandweit fielen 245 Mio. fm Kalamitätsholz an (BMEL, 2022c).

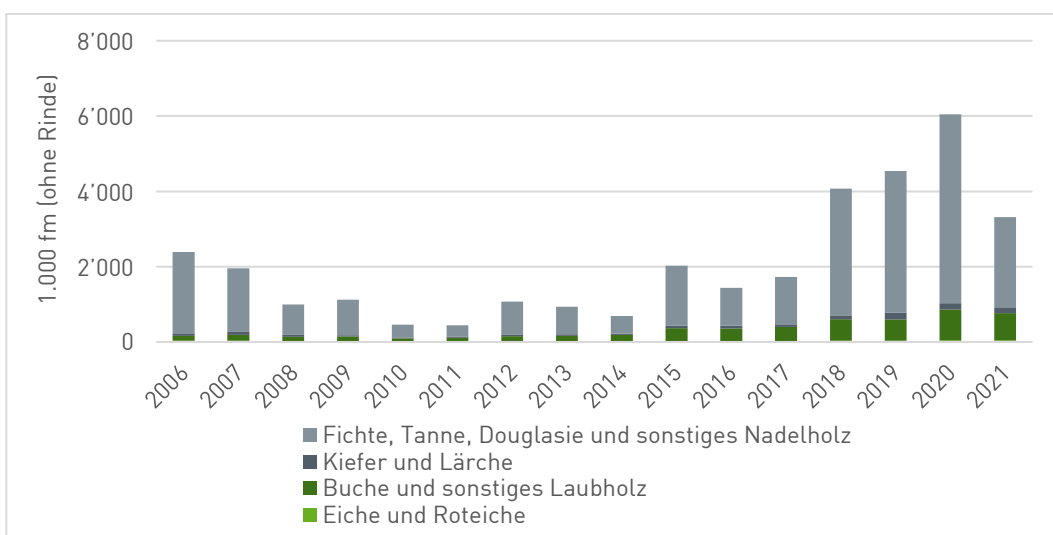


Abbildung 18: Schadholzeinschlag in Baden-Württemberg nach Baumartengruppen seit 2006 (Datenquelle: Destatis und statistisches Landesamt Baden-Württemberg, 2023, <https://www.statistik-bw.de/Landwirtschaft/Ernte/Holzeinschlag-Sorten.jsp>).

Holz(halb)waren - Holzbe- und verarbeitendes Gewerbe

Aus dem Rohstoff Holz, welcher neben dem Waldholz auch aus Quellen wie beispielsweise Sägenebenprodukte oder Altholz entstammen kann, werden auf dem Weg zum Holzbau Zwischenprodukte beziehungsweise Holz(halb)waren hergestellt. Zu den Holzhalbwaren gehören unter anderem Schnittholz, Holzwerkstoffe und Furniere. Holzbauprodukte basieren dabei auf den Holzhalbwaren, welche je nach Holzqualitäten, Zulassung und Verfügbarkeit im Baugewerbe eingesetzt werden können.

Holzbau- und Holzwerkstoffe müssen als Bauprodukte deklariert sein sowie über eine CE-Kennzeichnung/ Überwachungskennzeichen verfügen. Eine Produktnorm sowie Bemessungs- und Ausführungsnormen sind ebenfalls notwendig. Damit wird sichergestellt, dass relevante Materialeigenschaften bekannt und Regelungen zur Bemessung des Baustoffs vorhanden sind (UBA, 2019).

Für einen Überblick über gängige Holzbau- und Holzwerkstoffe aus baurechtlicher Sicht wird auf die Studie „Potenziale von Bauen mit Holz“ (UBA, 2019) sowie die fortlaufend aktualisierte Veröffentlichung des Informationsdienstes Holz „Baustoffe für den konstruktiven Holzbau“ (Becker & Radovic, 2022) verwiesen.

Schnittholzproduktion - Sägeindustrie

In der Sägeindustrie von Deutschland wurden im Jahr 2022 gemäß Holzkurier (2022a) rund 35,7 Mio. fm Nadelholz eingeschnitten. Davon wurden gemäß Holzkurier-Erhebung, inklusive Schätzung der nicht erfassten Unternehmen, rund 6,5 Mio. fm Nadelholz in baden-württembergischen Sägewerken bearbeitet. In Baden-Württemberg wurde im Jahr 2022 somit rund 18 % des nationalen Nadelholzeinschnitts in Sägewerken getätigt. 21 Unternehmen in Baden-Württemberg verzeichneten einen Nadelholzeinschnitt über 50.000 fm, wobei sechs zwischen 200.000 und 500.000 fm und zwei über 500.000 fm eingeschnitten haben. Ein Vergleich zum baden-württembergischen Holzeinschlag von Nadelstammholz zeigt auf, dass die regionalen Verarbeitungskapazitäten nicht durch die landesweiten Ressourcen gedeckt wurden. Es stehen rund 5,4 Mio. fm Nadelstammholz den eingeschnittenen 6,5 Mio fm gegenüber. Gemäß Döring et al. (2020) betrug im Jahr 2018 die Rauwarenausbeute in den deutschen Sägewerken rund 60,6 %, bezogen auf den Nadelholzeinschnitt. Unter Annahme einer konstanten Rauwarenausbeute wären in Baden-Württemberg im Jahr 2022 somit rund 3,94 Mio. m³ Rauware produziert worden.

Beim Laubholz sind die Zahlen erwartungsgemäß deutlich geringer. Die Anzahl Einschnitte der Sägeindustrie von Deutschland belief sich im Jahr 2021 gemäß Holzkurier (2022b) auf rund 1,6 Mio. fm Laubholz. In Baden-Württemberg wurden dabei rund 140.000 fm Laubholz bearbeitet, was einen Anteil von ungefähr 9 % des bundesweiten Laubholzeinschnitts in der Sägeindustrie ausmacht. In der Berichterstattung des Holzkuriers werden dabei zehn Sägewerke mit Laubholzeinschnitt in Baden-Württemberg aufgeführt, wovon jedoch nur drei Werke einen Einschnitt über 20.000 fm verzeichneten. Im Vergleich zum Holzeinschlag von Laubstammholz werden somit in Baden-Württemberg nur rund 25 % des landesweiten Laubstammholzes in der Sägeindustrie verarbeitet. Gemäß Döring et al. (2020) betrug im Jahr 2018 die bundesweite Rauwarenausbeute rund 62,4 %, bezogen auf den Laubholzeinschnitt. Bei erneuter Annahme einer konstanten Rauwarenausbeute seit 2018 wären in Baden-Württemberg im Jahr 2021 rund 87.000 m³ Rauware aus Laubholz produziert worden. Die Rauwarenproduktion aus Laubholz wird seit 1990 deutschlandweit von einem rückläufigen Trend geprägt (Mantau, 2019)

Insgesamt entfallen somit rund 98 % des Einschnittvolumens von Schnittholzproduzenten in Baden-Württemberg auf Nadelholz. Deutschlandweit sind rund 70 % der Schnittholzproduzenten auf Nadelholz und 10 % auf Laubholz spezialisiert, während 20 % als Mischbetriebe bezeichnet werden können (Döring et al. 2020). Von den Großbetrieben, welche über eine Einschnittskapazität von mehr als 200.000 fm verfügen, sind 96 % auf Nadelholz spezialisiert und bearbeiten dabei rund zwei Drittel des bundesweiten Einschnittvolumens (WBW, 2021). Diese Großbetriebe in der Sägeindustrie machen landesweit rund 2 % der Anzahl Unternehmen aus. In Baden-Württemberg sind sämtliche Großbetriebe auf Nadelholz spezialisiert, während in der Laubholzbearbeitung die drei größten Unternehmen als „keine Kleinbetriebe“ bezeichnet werden können.

Das Schnittholz findet in unterschiedlichen Bereichen Einsatz, wobei noch kein definitiver Rückschluss auf den Holzbau gezogen werden kann. Die verarbeiteten Schnittholzvolumen bzw. die Differenzen zwischen den Volumen an Nadel- und Laubholz geben dazu jedoch ein starkes Indiz. Holzbauprodukte werden unter anderem auf der Grundlage von Schnittholz produziert, womit das verfügbare Nadel- und Laubschnittholz die Weiterverarbeitung und den Einsatz im Bauwesen beeinflusst.

Im Bereich der schnittholzbasierten Bauprodukte besteht weiterhin eine sehr hohe Abhängigkeit von Nadelholz. In der Studie zu „Potenziale von Bauen mit Holz“ (UBA, 2019) wurde die grundsätzliche Möglichkeit des Einsatzes von Laubholz (nach Baumartengruppen) für verschiedene Holzbaustoffe zusammengetragen. Dazu wurden für die Grundlagen unter anderem auf die Studien von Torno et al. (2017) sowie Becker & Radovic (2018)² verwiesen. Die Studie von Torno et al. ermöglicht einen vertieften Einblick in die Einsatzmöglichkeiten von europäischen Laubholzarten im konstruktiven Bereich.

In Tabelle 3 ist die Übersicht nach UBA (2019) einsehbar. Diese ist wie folgt zu interpretieren:

xx: wird hauptsächlich verwendet

x: wird verwendet

o: grundsätzliche Möglichkeit eines Einsatzes

Baumartengruppen	Vollholz	KVH	BaSH	BSH
Nadelholz				
Kiefer, Lärche	x	x	x	X
Fichte, Tanne, Douglasie, Sonstige	x	xx (Fichte) / x	xx (Fichte) / x	xx (Fichte) / x
Laubholz				
Eiche, Roteiche	x	o	o	x
Buche, sonstige	x	o	o	x

² Die Publikation von Becker & Radovic wird fortlaufend aktualisiert, wobei die aktuelle Version von Januar 2022 vorliegt.

Baumartengruppen	BSP	B-StapelH	Massivholz-platten	BauBuche
Nadelholz				
Kiefer, Lärche	x	x	x	
Fichte, Tanne, Douglasie, Sonstige	x	x	x	
Laubholz				
Eiche, Roteiche	o	o	x	
Buche, sonstige	x	o	x	x

Tabelle 3: Grundsätzliche Einsatzmöglichkeit von Baumartengruppen bei Holzbaustoffen;
KVH: Konstruktionsvollholz; BaSH: Balkenschichtholz; BSH: Brettschichtholz; BSP: Brettsperrholz; B-StapelH: Brettstapelholz [Datenquelle: UBA, 2019].

Neben der ausgeführten limitierten Verfügbarkeit beeinflussen die Faktoren Kosten und rechtliche Grundlagen die Herstellung und den Einsatz von laubschnittholzbasierten Holzbaustoffen. Diese sind unter anderem durch die Materialeigenschaften von Laubholz bedingt, wozu ebenfalls neue Technologien erforscht werden müssen (UBA, 2019). Gemäß Knauf & Frühwald (2020) sind in Deutschland Buche und Eiche als Schnittholz zugelassen, wobei alle anderen Laubholzbaumarten entweder bauaufsichtliche Zulassungen oder Zustimmungen im Einzelfall benötigen. Nach Becker & Radovic (2022) bestehen für Brettschichtholz aus Buche und Eiche Zulassungen, wobei Knauf & Frühwald (2020) auf die Publikation von Aicher (2014) und bauaufsichtliche Zulassungen für Edelkastanie verweisen. Weiter besteht für Brettschichtholz aus Birke ebenfalls eine Europäische Technische Bewertung (ETA-19/0031) eines Unternehmens. Mit Furnierschichtholz aus Buche ist ein weiteres Produkt für konstruktive Anwendungen im Bauwesen auf dem Markt (Knauf & Frühwald, 2020).

Holzwerkstoffindustrie

Eine Erhebung von Döring et al. (2021) für das Jahr 2020 ergab, dass in Deutschland 29 Betriebsstätten in der Produktion von Holzwerkstoffplatten tätig waren. Dabei wurden 11,6 Mio. m³ Holzwerkstoffe produziert, wobei die Unternehmen eine Produktionskapazitätsauslastung von 94,4 % verzeichneten (Döring et al., 2021). Das höchste Produktionsvolumen stammt dabei von der Spanplattenherstellung mit 5,3 Mio. m³ gefolgt von der MDF/HDF-Produktion mit 3,8 Mio. m³ sowie OSB und LDF-Produktion mit jeweils rund 1,3 Mio. m³. Insgesamt werden im Vergleich zu 2005 weniger Holzwerkstoffe in Deutschland produziert, was größtenteils durch einen Rückgang in Produktionsvolumen und -kapazität von Spanplatten getrieben wurde (vgl. Abbildung 19).

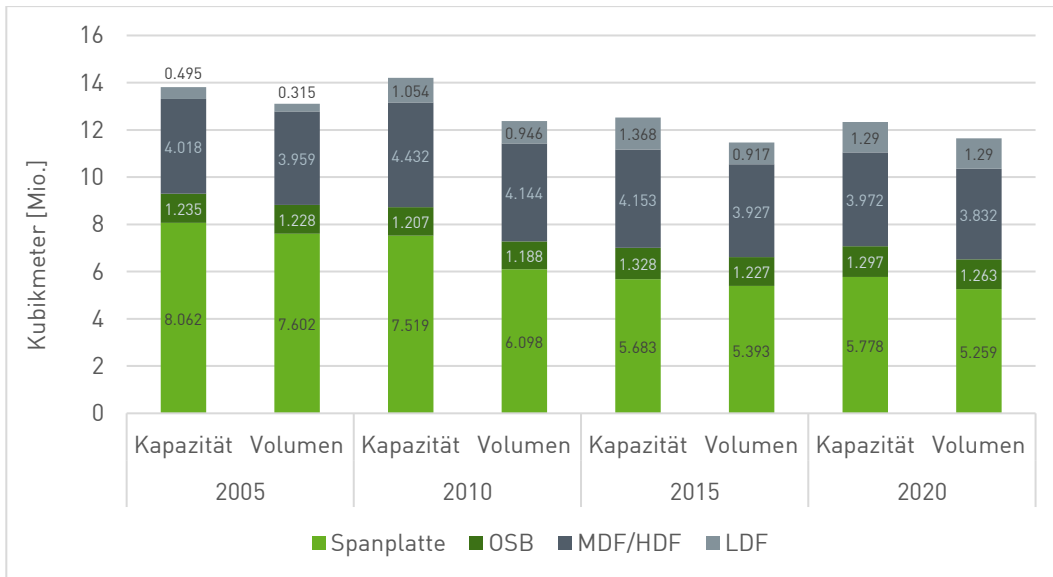


Abbildung 19: Entwicklung Produktionskapazität und Produktionsvolumen Holzwerkstoffindustrie von Deutschland in Millionen Kubikmeter (Datenquelle: Döring et al., 2021).

Für die Herstellung der 11,6 Mio. m³ Holzwerkstoffe im Jahr 2020 wurden 15,8 Mio. fm Faserholz verbraucht (Döring et al., 2021). Die wichtigste Rohstoffquelle waren dabei die Sägenebenprodukte, welche 47,6 % der Verbrauchsmenge ausmachten. Der Anteil an Industrieholz betrug 32,6 %, wovon knapp 88,5 % aus Nadelindustrieholz bestanden. Laubindustrieholz mit 0,6 Mio. fm verzeichnete im Vergleich zur Erhebung von 2015 einen deutlichen Rückgang von - 72,6 %. Zusätzlich wurden rund 2,5 Mio. fm Altholz verwendet, was im Vergleich zu 2015 ein Anstieg von fast 34 % bedeutet.

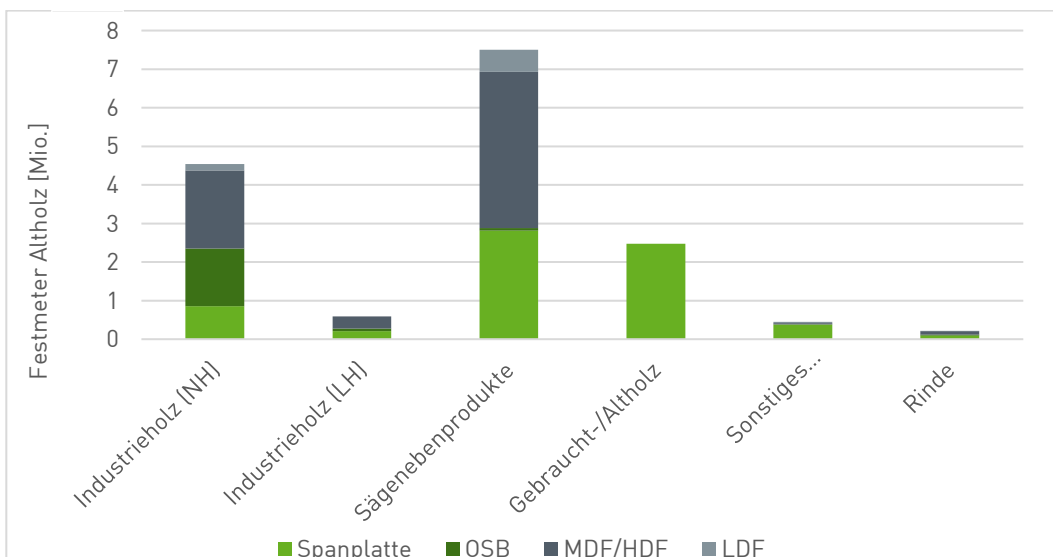


Abbildung 20: Faserholzverbrauch in der Holzwerkstoffindustrie nach Produktgruppen und Art des Rohstoffs im Jahr 2020 (Datenquelle: Döring et al., 2021).

Von den 0,6 Mio. fm Laubindustrieholz wurden 53,4 % in der MDF/HDF-Produktion, 35,9 % in der Spanplattenherstellung und 10,7 % zur OSB-Herstellung eingesetzt. In der LDF-Herstellung wurde kein Laubindustrieholz verwendet.

In Baden-Württemberg sind gemäß der Erhebung von Döring et al. (2021) drei große Hersteller in der Holzwerkstoffindustrie ansässig. Dabei wird über die Erhebung sowie die jeweiligen Unternehmenswebseiten abgeleitet, dass ein Produktionsvolumen von ungefähr 1,15 Mio. m³LDF, sowie rund 500.000 m³ Spanplatten jährlich in Baden-Württemberg besteht. Im Vergleich zum bundesweiten Produktionsvolumen von 2020 werden somit rund 9,5 % der Spanplatten und rund 89 % der LDF-Platten in Baden-Württemberg hergestellt. Im Abgleich des nationalen Faserholzverbrauch mit dem Produktionsvolumen wären in Baden-Württemberg im Jahr 2020 1,34 Mio. m³ folgender Volumen und Arten des Rohstoffs verarbeitet worden (Tabelle 4):

Faserholzverbrauch in Mio. m ³	Spanplatte	LDF	insgesamt
Industrieholz (NH)	0,081	0,152	0,234
Industrieholz (LH)	0,020	-	0,020
Sägenebenprodukte	0,268	0,512	0,780
Gebraucht-/Altholz	0,235		0,235
Sonstiges Industrierestholz	0,037	0,024	0,061
Rinde	0,009	0,002	0,011
Insgesamt	0,650	0,690	1,340

Tabelle 4: Faserholzverbrauch Holzwerkstoffindustrie Baden-Württemberg, bei durchschnittlichem Volumen und Art des Rohstoffs in Deutschland im Jahr 2020 (Datenquelle: Döring et al., 2021).

Von der regionalen Holzwerkstoffindustrie werden insgesamt jährlich somit rund 234.000 m³ Nadelindustrieholz und rund 20.000 m³ Laubindustrieholz verwendet.

Gemäß Knauf & Frühwald (2020) werden die Baumarten Pappel, Buche und Birke für den Einsatz in der Holzwerkstoffindustrie bevorzugt. In deren Expertenbefragung zu einem erhöhten Laubholzeinsatz in der Holzwerkstoffindustrie wurden als positive Faktoren die Verfügbarkeit, der niedrige Rohstoffpreis sowie geringere VOC-Emissionen genannt, während als Nachteile von höheren prozesstechnischen Kosten ausgegangen wird. Als Treiber für einen verstärkten Einsatz von Laubholz in der Holzwerkstoffindustrie wird darauf verwiesen, dass aktuell kein Substitutionsdruck besteht aufgrund des weiterhin ausreichenden Volumens an Nadelholz. Mit einer Reduktion des Nadelholzangebots und einer einhergehenden Preissteigerung für Nadelholz wird mit einem deutlich verstärkten Einsatz von Laubholz gerechnet (Knauf & Frühwald, 2020). Als technisch maximaler Anteil von Laubholz wird ausgegangen, dass bei Spanplatten rund 70 %, bei MDF/HDF rund 73 %, bei LDF rund 77 % und bei OSB rund 93 % möglich sein könnten. Das wäre insgesamt ein Laubholzanteil von rund 75 % in der Holzwerkstoffindustrie, wovon der maximale Anteil an Buchenholz auf rund 78 % geschätzt wird (Knauf & Frühwald, 2020).

Verbaute Holzprodukte – Holz im Baugewerbe

Die Holzbau- und Holzwerkstoffe finden im Neubau und der Modernisierung nach verschiedenen Holzbauweisen sowie im Bereich von mineralischen Bauweisen (z.B. Innenwände) einen Einsatz. Folgend werden die Holzbauweisen nach UBA (2019) ausgeführt, die in Deutschland breite Anwendung finden:

- **Holztafelbau (Holzständerbau- Holzrahmenbau):** Verbundkonstruktion aus Rippen mit ein- oder beidseitiger Beplankung. Die Beplankung wirkt statisch. Meist sind Beplankung und Rippen durch Nägel oder Schrauben (nachgiebige Verbindungsmittel) verbunden. Holztafeln werden als Wand- und Deckenscheiben eingesetzt und dienen zur Aussteifung. Im Holztafelbau wird meist Vollholz eingesetzt, welches überwiegend Nadelholz ist, wobei auch Laubholz eingesetzt werden kann. Die Beplankung besteht aus Holzwerkstoffplatten.
- **Holzskelettbau:** Die tragende Struktur von Stützen- und Riegelkonstruktionen wird unabhängig von Raumtrennern usw. erstellt. Die Aussteifung erfolgt entweder über das Holzskelett selbst oder über ergänzende Aussteifungssysteme. Für die Stützen und Riegel wird meist Konstruktionsvollholz oder Brettschichtholz eingesetzt. Die Bauteile bestehen deshalb in den meisten Fällen aus Nadelholz, Laubholz kann prinzipiell aber ebenfalls eingesetzt werden.
- **Massivholzbau:** Besitzt massive, durchgehende Wand-, Decken- und Dachelemente. Diese sind als Brettstapelelemente oder Brettsperrelemente ausgeführt.
- **Holzbetonverbundbauweise/Holzhybridbauweise:** Deckenkonstruktionen, die aus einer oberen Stahlbetonplatte und unteren Holzbalken oder Massivholzdeckenelementen bestehen. Verbunden werden Holz und Stahlbeton durch Schubverwinder, Kerben, Nocken oder schräge Schrauben.

In Kapitel 4.3 wurde die Entwicklung der Branche «Holz im Baugewerbe» von Baden-Württemberg ausgeführt. Die Akteure des «Holz im Baugewerbe» werden jedoch folgend weiter unterteilt, um den Kontext für die Holzbautätigkeit und den Rohstoffeinsatz innerhalb des Baugewerbes zu schaffen.

Akteure des «Holz im Baugewerbe»

In der Branche «Holz im Baugewerbe» waren im Jahr 2020 in rund 5.400 Unternehmen 38.300 Personen beschäftigt. Insgesamt wurde dabei ein Umsatz von 4,7 Mrd. Euro erzielt und eine Bruttowertschöpfung von 1,7 Mrd. Euro erwirtschaftet. Die Zimmerei trägt dabei mit rund 53 % den höchsten Anteil der Bruttowertschöpfung bei, während jedoch in der Bautischlerei und -schlosserei mit 48,3 % die meisten Beschäftigten tätig sind. Die Bruttowertschöpfung je beschäftigter Person hat sich in der Teilbranche Holzfertigbau seit 2012 verdreifacht, und ist mittlerweile fast 50 % höher als in der Zimmerei. Die Entwicklung der Bruttowertschöpfung je beschäftigter Person der Teilbranchen des «Holz im Baugewerbe» ist in Abbildung 21 ersichtlich.

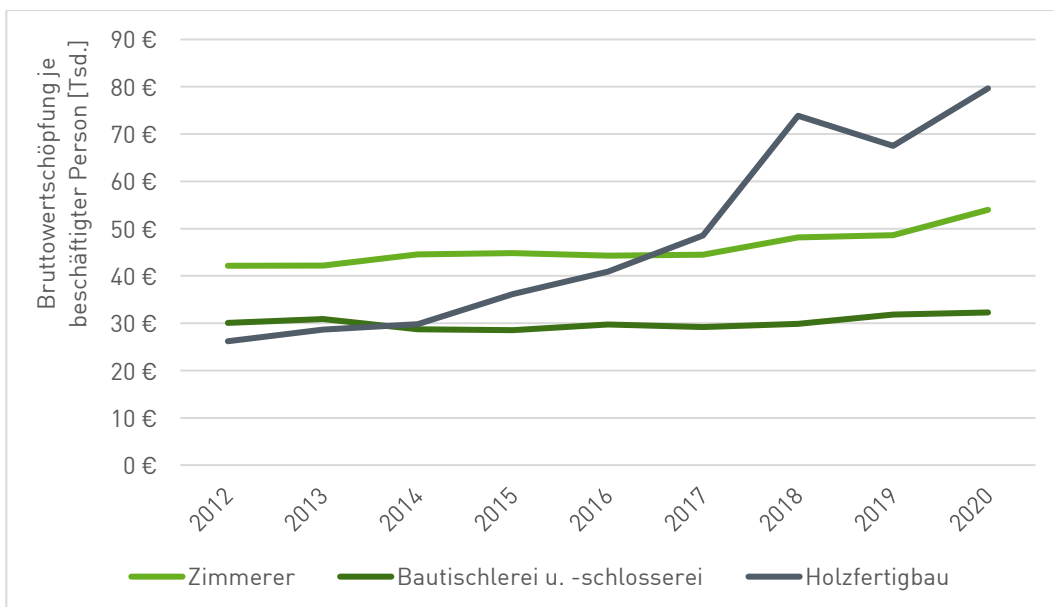


Abbildung 21: Entwicklung Bruttowertschöpfung je beschäftigter Person [Tsd. €] Teilbranchen «Holz im Baugewerbe» zwischen 2012 und 2020 (Datenquelle: Thünen-Institut, 2021).

In Kapitel 4.3 wurde aufgezeigt, dass in der Branche «Holz im Baugewerbe» durchschnittlich rund sieben Beschäftigte je Unternehmen im Jahr 2020 tätig waren. Mittels der statistischen Berichte von Baden-Württemberg zum Bauhauptgewerbe kann für den Wirtschaftszweig Zimmerei und Ingenieurholzbau eine Zeitreihe zur Entwicklung der Betriebsgrößen betrachtet werden (Statistisches Landesamt Baden-Württemberg, 2020). Dabei kann eine leicht steigende Tendenz an Betrieben mit über 20 Beschäftigten in Baden-Württemberg festgestellt werden (vgl. Abbildung 22). Im Jahr 2020 beschäftigten rund 5 % der Unternehmen über 20 Personen. Diese 5 % der Unternehmen beschäftigten rund 21,6 % der Beschäftigten im Wirtschaftszweig Zimmerei und Ingenieurholzbau.

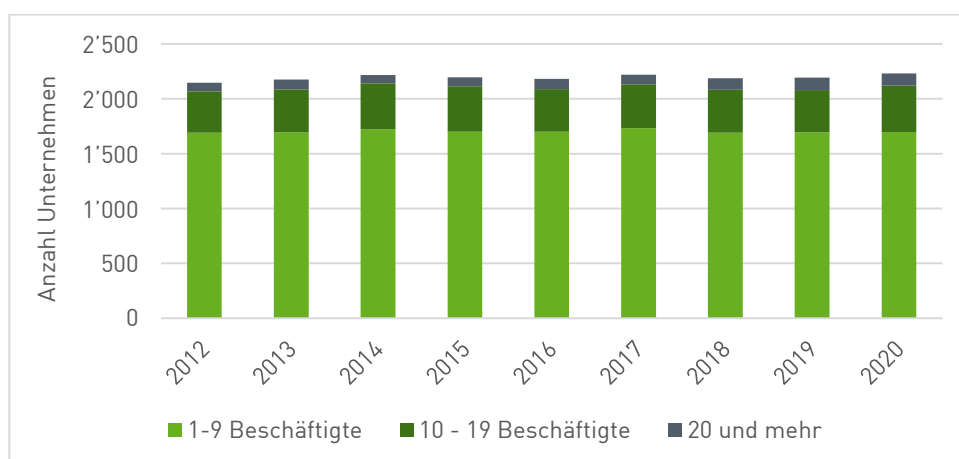


Abbildung 22: Entwicklung der durchschnittlichen Anzahl Beschäftigter je Unternehmen im Wirtschaftszweig Zimmerei und Ingenieurholzbau von Baden-Württemberg (Datenquelle: Statistisches Landesamt Baden-Württemberg, 2020).

Im Holzbau fallen ebenfalls wichtige Leistungen von Architektur- und Ingenieurbüros an. Da diese statistisch nicht eindeutig dem Holz im Baugewerbe zugeordnet werden können, werden diese separat betrachtet. Im Jahr 2020 waren rund 95.700 Personen in 17.450 Architektur- und Ingenieurbüros beschäftigt. Dabei zeigte sich zwischen 2017 und 2020 ein Zuwachs an Beschäftigten, jedoch eine sinkende Anzahl Unternehmen (vgl. Abbildung 23).

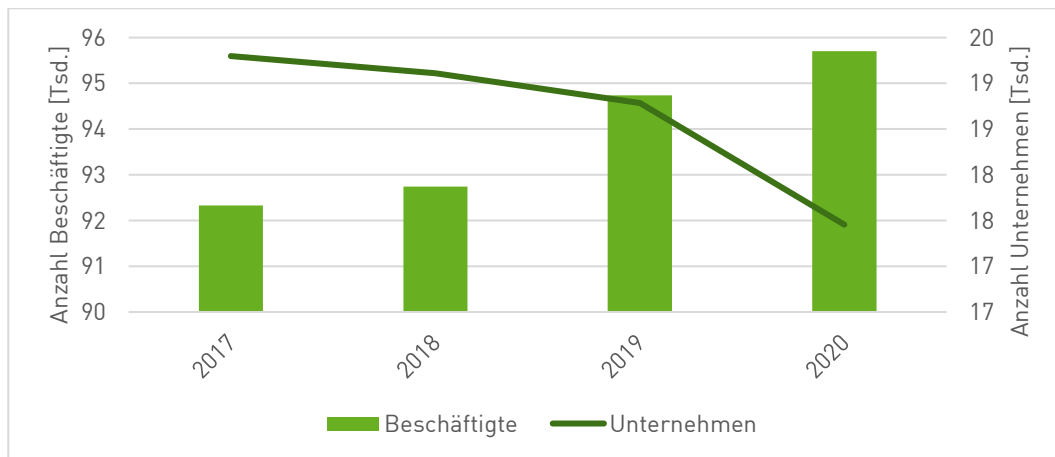


Abbildung 23: Entwicklung Beschäftigte und Anzahl Unternehmen in Architektur- und Ingenieurbüros in Baden-Württemberg zwischen 2017 und 2020 (Datenquelle: Statistisches Bundesamt, 2023b; Bundesagentur für Arbeit, 2023).

Holzbautätigkeit - Neubau

Der Holzbau hat in Baden-Württemberg eine hohe Bedeutung. Im Jahr 2020 wurden 33,4 % der Wohngebäude überwiegend mit dem Baustoff Holz (folgend Holzbauquote) konstruiert (Statistisches Landesamt Baden-Württemberg, 2021). Dabei wurden rund 20,8 % des Rauminhalts (m³) der Wohngebäude überwiegend mit dem Baustoff Holz gebaut. In den letzten 20 Jahren hat in Baden-Württemberg ein sehr starker Trend in Richtung Holzbau bei Wohngebäuden stattgefunden, wobei sich die Holzbauquote seit dem Jahr 2003 um rund 12 % erhöht hat. Im Vergleich zur bundesweiten Entwicklung zeigen die Auswertungen zur Bautätigkeit auf, dass Baden-Württemberg eine Vorreiterrolle im Holzbau trägt mit einer durchschnittlich über 10 % höheren Holzbauquote als in Deutschland (Statistisches Bundesamt, 2022). Die Entwicklung der Holzbauquote und des Rauminhalts nach überwiegendem Baustoff Holz von Baden-Württemberg und Deutschland ist in Abbildung 24 ersichtlich.

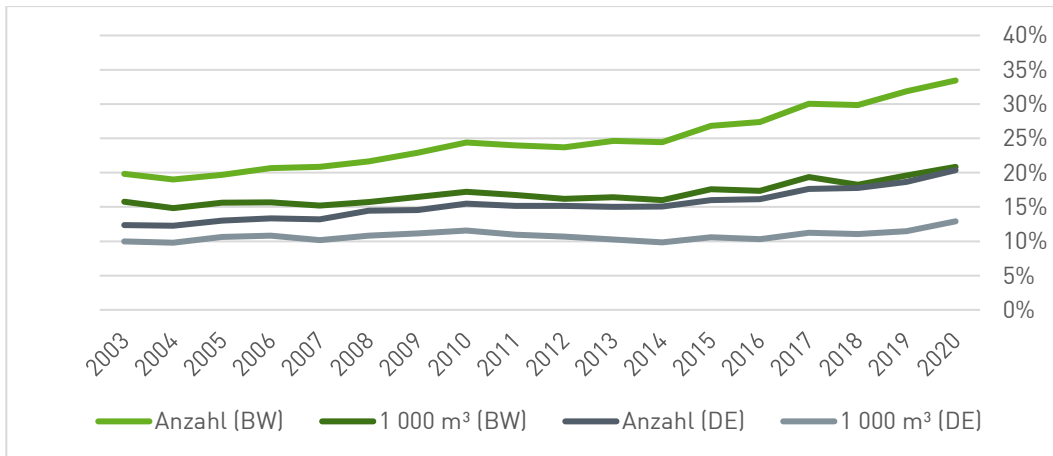


Abbildung 24: Entwicklung Bautätigkeit nach überwiegendem Baustoff Holz von Wohngebäuden in Baden-Württemberg und Deutschland (Datenquelle: Statistisches Landesamt Baden-Württemberg, 2021; Statistisches Bundesamt, 2022).

Von den insgesamt genehmigten Gebäuden in Baden-Württemberg mit Holz als überwiegend verwendetem Baustoff betrug der Anteil an Einfamilienhäusern (Wohngebäude mit einer Wohnung) im Jahr 2020 81,7 %. In Baden-Württemberg besteht die große Mehrheit der Holzbauvorhaben somit aus Einfamilienhäusern. Für Einfamilienhäuser ist der Holzbau gleichzeitig auch die gängigste Bauart, es wurden 41,2 % aller Einfamilienhäuser als Holzbau genehmigt. Der Anteil an Mehrfamilienhäusern (Wohngebäude mit zwei oder mehr Wohnungen) aus Holz betrug 18,2 %, womit jedoch rund 27,6 % des gesamten Rauminhalts in dieser Gebäudekategorie von Holzgebäuden zur Verfügung gestellt wird.

Die Holzbauquote bei Wohngebäuden mit drei oder mehr Wohnungen liegt bei 6,7 % und entwickelt sich in Baden-Württemberg sehr positiv; zwischen 2012 und 2020 hat sich diese fast verdoppelt, während der geschaffene Rauminhalt im selben Zeitraum sogar mit einem Faktor von fast 2,5 gewachsen ist (Statistisches Landesamt Baden-Württemberg, 2021; Statistisches Landesamt Baden-Württemberg 2013). Wohngebäude mit drei oder mehr Wohnungen tragen jedoch städtebaulich eine hohe Relevanz, wodurch die aktuelle Holzbauquote in diesem Leistungsbereich als noch nicht etabliert betrachtet werden kann.

Bei den Nicht-Wohngebäuden³ liegt die Holzbauquote in Baden-Württemberg mit rund 27,35 % (Jahr 2020) leicht über dem bundesweiten Wert von rund 21 %. Die Entwicklung der Holzbauquote von Nicht-Wohngebäuden in Baden-Württemberg und Deutschland ist in Abbildung 25 ersichtlich.

³ Die hohe Holzbauquote bei den Nicht-Wohngebäuden in Baden-Württemberg im Jahr 2016 ist größtenteils auf eine Vielzahl von Anstaltsgebäuden zurückzuführen, deren Rauminhalt knapp über der statistischen Erfassungsgrenze von 350 m³ liegt.

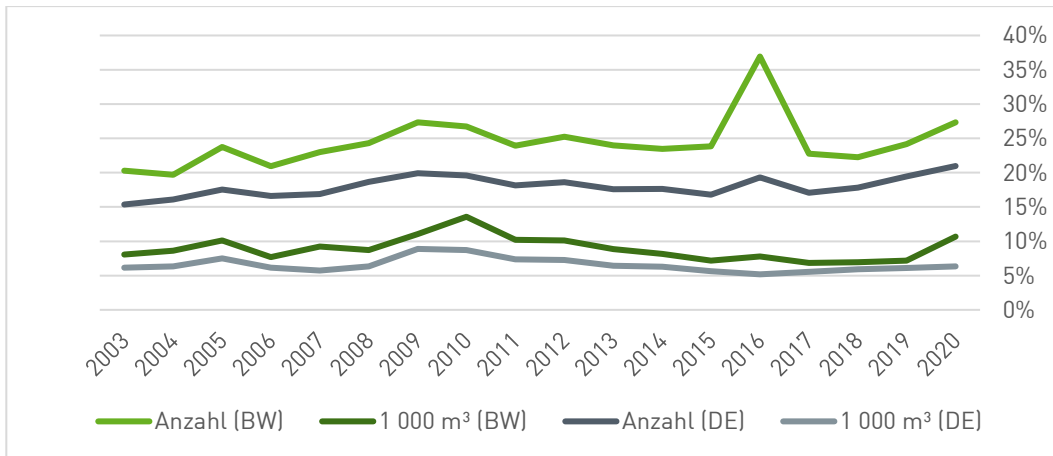


Abbildung 25: Entwicklung Bautätigkeit mit überwiegendem Baustoff Holz von Nicht-Wohngebäuden in Baden-Württemberg und Deutschland (Datenquelle: Statistisches Landesamt Baden-Württemberg, 2021; Statistisches Bundesamt, 2022).

Im Vergleich zu Wohngebäuden ist die Differenz zwischen der Anzahl an Gebäuden (Holzbauquote) und des gebauten Rauminhalts mit überwiegendem Baustoff Holz höher. Dabei kann festgestellt werden, dass der durchschnittliche Rauminhalt der Nicht-Wohngebäude mit überwiegendem Baustoff Holz deutlich unter dem durchschnittlich geschaffenen Rauminhalt pro Nicht-Wohngebäude liegt. Während in einem durchschnittlichen Nicht-Wohngebäude in Baden-Württemberg im Jahr 2020 rund 8.700m³ Rauminhalt geschaffen wurde, betrug der geschaffene Rauminhalt der Gebäude mit überwiegendem Baustoff Holz nur 3.400m³. Im Jahr 2020 war diese Differenz am stärksten im Bau von Anstaltsgebäuden, in welchem mit Gebäuden mit überwiegendem Baustoff Holz pro Gebäude rund fünfmal weniger Rauminhalt geschaffen wurde. Weitere beträchtliche Differenzen bestehen im Bereich der Büro- und Verwaltungsgebäude sowie bei Handels- und Lagergebäuden. Grundsätzlich kann festgehalten werden, dass der Holzbau im Bau von kleineren Wohn- und Nicht-Wohngebäuden etabliert und konkurrenzfähig ist, während andere Konstruktionsweisen für größere Vorhaben eingesetzt werden.

Gemäß Hafner et al. (2017) besteht in der Holzbaubranche aufgrund der klein- bis mittelständischen Unternehmensdemographie ein Hemmnis zum mehrgeschossigen Holzbau, mit fehlenden finanziellen und anforderungsspezifischen Kapazitäten. Dieses Hemmnis besteht gemäß Purkus et al. (2020) sowie nach Kind et al. (2022) auch bei größeren Projekten im urbanen Raum. In Baden-Württemberg kann dies anhand der Unternehmensdemographie und dem Abgleich zwischen Holzbauquote und Rauminhalt aufgezeigt werden. Dies gilt sowohl für den Wohnbau mit drei oder mehr Wohnungen als auch für den Nicht-Wohnbau.

Nach Purkus et al. (2020) sind für die „Veränderung der Branchenkapazität die geplanten Erweiterungsinvestitionen ein relevanter Indikator. Gemäß der Konjunkturumfrage von Holzbau Deutschland (2021) investieren die Zimmerer und Holzbauunternehmen bei anhaltender Baukonjunktur und solider Finanzlage und weisen dabei aus, dass 82 % der Unternehmerinnen und Unternehmer im Jahr 2021 angegeben haben, künftig wie folgt zu investieren: 66 % Ersatzinvestitionen; 29 % Erweiterungsinvestitionen; 25 % Rationalisierungsmaßnahmen. Im Jahr 2021 gaben somit fast 30 % der Unternehmen an, Erweiterungsinvestitionen tätigen zu wollen. Im Lagebericht von Holzbau Deutschland im Jahr 2023 wurden keine konkreten Angaben zu geplanten Investitionen ausgeführt (2023). Es wird jedoch auf einen anhaltenden Anstieg der

Eigenkapitalquote unter einem durch Volatilitäten im Holzmarkt belasteten Geschäftsjahr verwiesen. Gemäß Purkus et al. (2020) können besonders für die Veränderung von Logistikprozessen, Erweiterungen von Kapazitäten und Investitionen in neue Fertigungshallen eine hohe Investitionstätigkeit bei mittelständischen Betrieben beobachtet werden. Dies kann als positives Indiz für die Erhöhung von Verarbeitungskapazitäten unter anderem für die Erschließung von größeren Bauvorhaben gedeutet werden.

Holzbautätigkeit – Baumaßnahmen im Bestand

Der Anteil an Gebäude- und Baumaßnahmen im Bestand trägt in Baden-Württemberg unabhängig vom Baustoff eine ähnlich hohe Bedeutung. Von den gesamten Baugenehmigungen in Baden-Württemberg für das Jahr 2020 fallen knapp 40 % auf Gebäude- und Baumaßnahmen im Bestand. Bei Nichtwohngebäuden betrug dieser Anteil sogar fast 50 %. In den statistischen Berichten zur Bautätigkeit kann jedoch der überwiegend verwendete Baustoff bei Baumaßnahmen im Bestand nicht eingesehen werden.

Deutschlandweit konnten gemäß Holzbau Deutschland (2023) im Jahr 2021 rund 44 % der Umsätze der Zimmereien und Holzbauunternehmen im Bestandsbau erzielt werden. Holzbau Deutschland verweist dabei auch auf eine grundsätzlich rückläufige Bauwirtschaft im Bereich des Neubaus, während beim Bauen im Bestand die Baunachfrage das Angebot übersteigt (Holzbau Deutschland, 2023). Holzbau Deutschland geht von einer anhaltenden Entwicklung aus. Die Umsatzanteile nach Leistungsbereichen von Zimmereien und Holzbauunternehmen für das Jahr 2021 sind in Abbildung 26 ersichtlich.

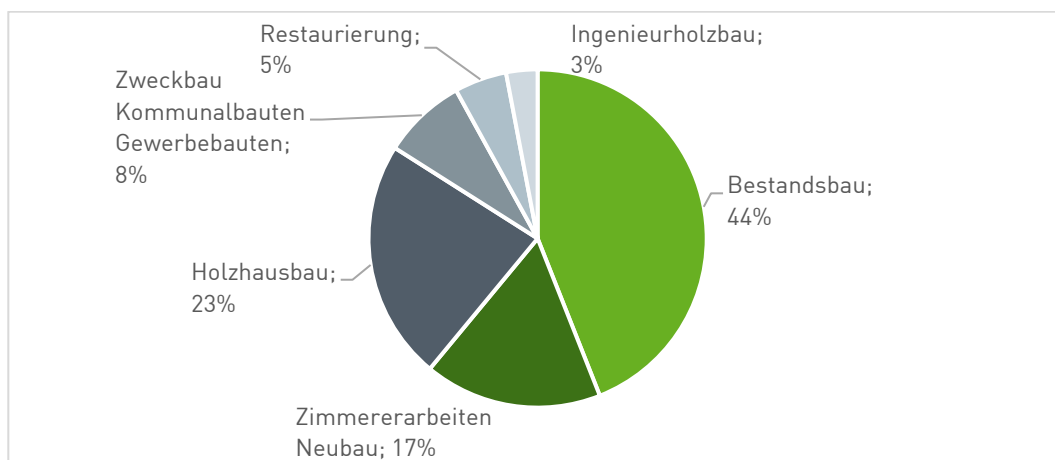


Abbildung 26: Umsatzanteile der Leistungsbereiche in Prozent Holzbau Deutschland für das Jahr 2021 (Datenquelle: Holzbau Deutschland, 2023).

Kind et al. (2022) führen Potenziale verschiedener Marktsegmente im Bereich der Bestandsbauten von Holzbau in Deutschland aus. Tichelmann et al. (2019) analysiert ein Potenzial von 2,3 bis 2,7 Mio. Wohnungen durch Innenentwicklung und Aufstockung deutschlandweit. Für Baden-Württemberg konnten dabei keine regionalisierten Ergebnisse ausfindig gemacht werden. Eine Studie von berchtoldkrass space&options (2021) im Auftrag der Landeshauptstadt Stuttgart zeigt jedoch für Stuttgart ein rechnerisches Potenzial von 18.300 Wohnungen durch Nachverdichtung und Aufstockung für die Stadt Stuttgart auf.

Gemäß Purkus et al. (2020) wird der Holzbau bei Aufstockungen dabei aufgrund der vorteilhaften Materialeigenschaften wie dem geringen Gewicht und der konstruktiven Flexibilität betrachtet. Gemäß der Expertenbefragung von Purkus et al. (2020) wird im Leistungsbereich Sanierung ebenfalls eine hohe Nachfrage erwartet, welche speziell für kleinere Zimmereien relevant ist. In der Studie von Kind et al. (2022) wird anhand der Studien von Stolte et al. (2012) und des Berichts des BMWi (2014) das Potenzial von energetischer Sanierung und Modernisierung weiter bestärkt. Eine Übersicht verschiedener Praxisbeispiele von Holzbau im Bestand ist in der Publikation „Aufbauen, umbauen, nachverdichten: Neuer Holzbau in Bestand und Fläche“ der Studiengemeinschaft Holzleimbau e.V. (2023) einsehbar.

Rohstoffeinsatz im Baugewerbe

Die Holzverwendung im Baugewerbe wurde von Mantau et al. (2013) analysiert und im Rahmen des Vorhabens „Monitoring und Verwendung von Holzprodukten im Bausektor und Bestimmung der Potenziale für CO₂-Bindung“ von der Heinze GmbH und der INFRO e.K. auf das Jahr 2016 aktualisiert (2018).

Gemäß Heinze & INFRO (2018) wurden im Bausektor (Hochbau) im Jahr 2016 deutschlandweit 27,6 Mio. Vorratsfestmeter Holz eingesetzt. Nach Abzügen von Ernteverlusten und Rinde sowie der Berücksichtigung von nicht benutztem Derbholz wurden somit 22,1 Mio. m³ Waldholz im Bauwesen eingesetzt. Unter Berücksichtigung des Ausbeutegrads verschiedener Holzwaren entspricht dies insgesamt 14,1 Mio. m³ Festmeteräquivalent. Wie bereits in Kapitel 4.4 aufgezeigt, werden beispielsweise in der Herstellung von Holzwerkstoffen ebenfalls Sägenebenprodukte, Altholz, sonstiges Industrierestholz und Rinde verwendet. Heinze & INFRO (2018) beziffern dies im Jahr 2016 auf zusätzliche 3,6 Mio. Festmeteräquivalente Holz, welche aus den genannten Quellen stammen.

Für die Bilanzierung des im Bausektor verwendeten Holzes wird von Heinze & INFRO (2018) die Kenngröße des „Baukubikmeteräquivalents“ eingeführt, welche die m³ ausweist, die das Holz im Gebäude umfasst. Gemäß Heinze & INFRO (2018) wurden im deutschen Baugewerbe (Hochbau) des Jahres 2016 20,5 Mio. m³ (Baukubikmeter) Holz verwendet. Mit 61,1 % der verwendeten Holzwaren wurde dabei der größte Anteil in der Modernisierung von Wohnungsbauten eingesetzt. Im Neubau von Wohngebäuden wurden 24,8 % der Holzwaren eingesetzt, während die restlichen 14 % im Neubau und der Modernisierung des Nichtwohnbaus eingesetzt wurden. Der Holzeinsatz in der Modernisierung übersteigt somit den Holzeinsatz im Neubau deutlich und ist fast doppelt so hoch.

Die 20,5 Mio. Baukubikmeter eingesetzter Holzwaren zeigen hiermit jedoch noch nicht die tatsächlich im Gebäude verbleibenden Holzwaren auf. Durch Verarbeitungsprozesse in der Produktion und auf der Baustelle fallen insgesamt 17,7 % Verschnitt an, was die effektiv verbaute Menge an Holzwaren auf 16,9 Mio. Baukubikmeter im Jahr 2016 bereinigt (Heinze & INFRO, 2018).

Der größte Anteil der verwendeten Bauprodukte basiert auf Schnittholz mit einem Anteil von 54,4 % des Gesamtvolumens aller Holzhalbwaren. Insgesamt sind die Anteile der Holzhalbwaren über Wohngebäude und Nichtwohngebäude sowie Neubau und Modernisierung wie folgt verteilt (Heinze & INFRO, 2018; vgl. Abbildung 27):

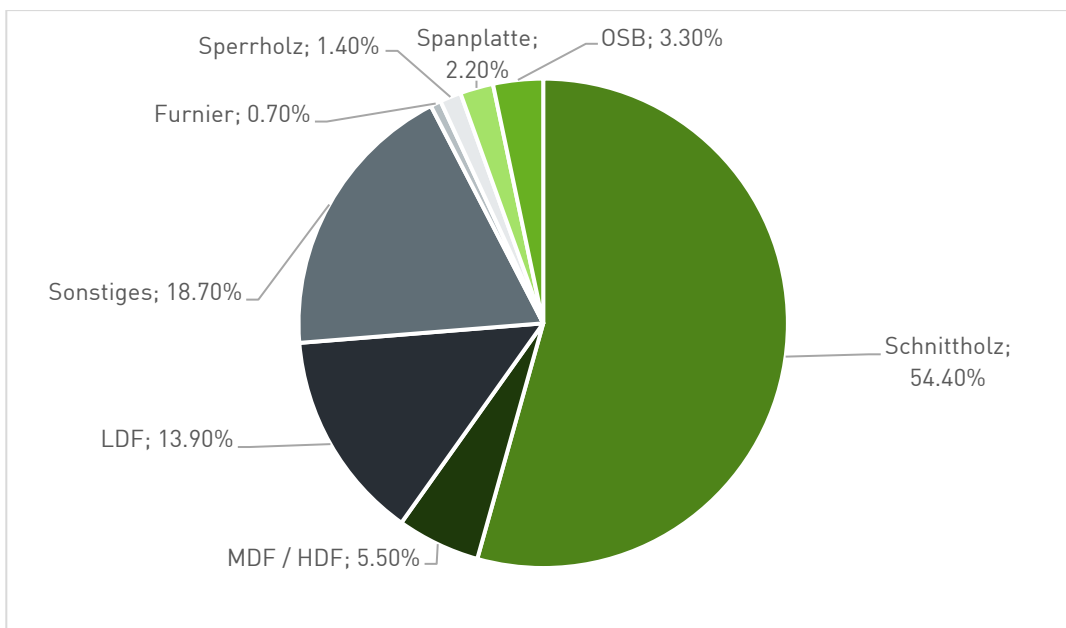


Abbildung 27: Anteil verwendeter Holzhalbwaren an gesamtem Holzvolumen in Baukubikmeter in Deutschland 2016 (Datenquelle: Heinze GmbH, 2018).

Im Jahr 2013 bestand deutschlandweit 85,6 % des verbauten Holzes aus Nadelholz, während Laubholz mit 12,6 % eine untergeordnete Rolle spielte (Mantau et al, 2013). Dabei verteilten sich die Anteile der Holzarten nach Baukubikmeter in den Gebäudetypen und Baumaßnahmen wie folgt (vgl. Abbildung 28):

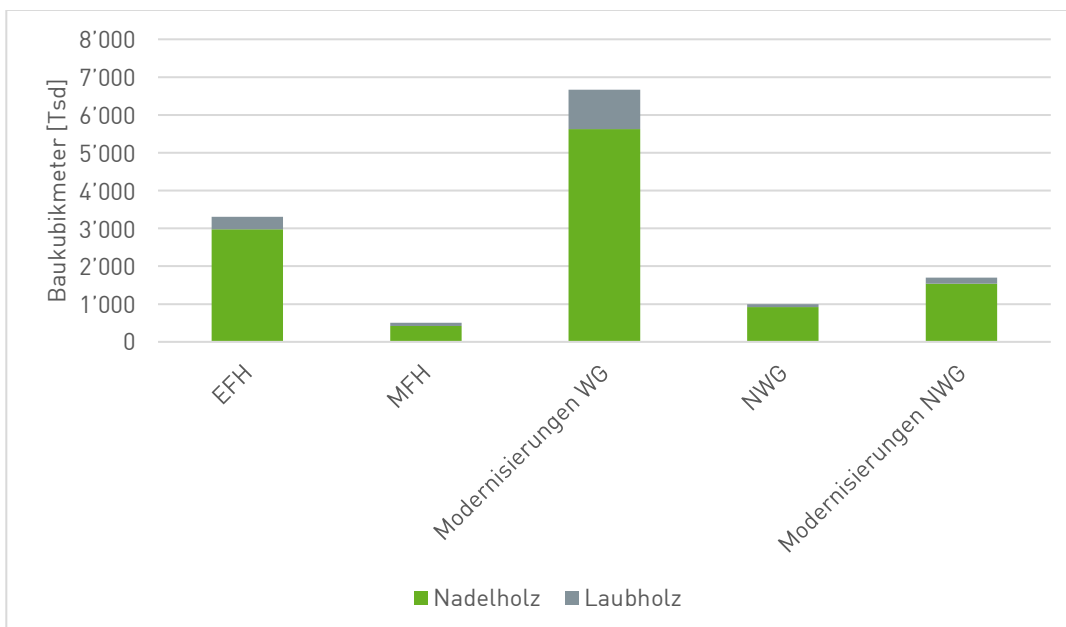


Abbildung 28: Baukubikmeter [Tsd.] nach Gebäudetyp und Baumaßnahme im Jahr 2013 in Deutschland (Datenquelle: Mantau et al., 2013).

Materialströme im Gebäudebestand von Baden-Württemberg

Im Rahmen des Forschungsvorhabens „Stofffluss- und Akteursmodell als Grundlage für ein aktives Ressourcenmanagement im Bauwesen von Baden-Württemberg“ des Karlsruher Instituts für Technologie (Volk et al., 2019) wurden die Materialströme im Gebäude- und Infrastrukturbestand von Baden-Württemberg im Jahr 2016 berechnet und eine Prognose der Stoffströme bis zum Jahr 2030 aufgestellt. Der Materialbestand an Holz in den Bereichen Wohngebäude und Nichtwohngebäude betrug rund 29 Mio. m³ im Jahr 2016⁴. Dabei fielen rund 59 % des Materialbestands von Holz auf Wohngebäude, während rund 41 % in Nicht-Wohngebäuden verbaut war. In der Auswertung wird weiter zwischen behandeltem und unbehandeltem Holz unterschieden⁵. Insgesamt betrug das Volumen an verbautem unbehandeltem Holz rund 27 Mio. m³ Holz.

Zwischen 2016 und 2030 wurde für Baden-Württemberg prognostiziert, dass rund 4,17 Mio. m³ unbehandeltes Holz, sowie 214.000 m³ behandeltes Holz in Wohn- und Nicht-Wohngebäude fließen werden. Gleichzeitig wird ein Abfluss aus dem Gebäudepark von rund 1,95 Mio. m³ unbehandeltem Holz und 260.000 m³ behandeltem Holz erwartet. In Tabelle 5 sind die prognostizierten Stoffströme nach Wohngebäuden und Nicht-Wohngebäuden einsehbar.

Materialfluss 2016-2030 [m ³]						
	Input WG	Output WG	Input NWG	Output NWG	Total Input	Total Output
Holz I+II	2.714.286	728.571	1.457.143	1.224.286	4.171.429	1.952.857
Holz III+IV	20.571	99.000	194.286	162.857	214.857	261.857
Total	2.734.857	827.571	1.651.429	1.387.143	4.386.286	2.214.714

Tabelle 5: Materialfluss Gebäudepark Baden-Württemberg 2016-2030 in m³ (Datenquelle: Volk et al., 2019)

Nach Abschätzungen von Volk et al. (2019) wird die Recyclbarkeit von unbehandeltem Holz (Holz I+II) auf rund 75 % geschätzt, während bei behandeltem Holz eine energetische Verwertung von 100 % angenommen wird. Damit würde sich ein wiederverwendbarer Stoffstrom von fast 1,5 Mio. m³ Holz über den Zeitraum von 2016 bis 2030 aus dem baden-württembergischen Gebäudepark ergeben. Weitere 0,75 Mio. m³ Holz könnten in die energetische Verwertung überführt werden. Das Input/Output-Verhältnis zeigt jedoch nicht auf, wie viel des Inputs tatsächlich durch den Output gestützt werden könnte. Der Materialbestand sowie die In- und Outputflüsse zeigen jedoch auf, dass grundsätzlich ein beträchtliches Potenzial an Holzwaren verfügbar wäre.

⁴ Die Auswertung beruht auf der tragenden Struktur des Konstruktionsvolumens, wobei die nichttragende Struktur vernachlässigt wurde. Im Holzbau wird von einem Anteil der tragenden Konstruktion zwischen 65 % und 75 % ausgegangen. Im Rahmen der KIT-Studie wurde mit der Einheit Masse in kg gearbeitet, weshalb die ausgewiesene Mischdichte von 700 kg/m³ Holz für die Umrechnung der ausgewählten Daten angewendet wurde.

⁵ Unbehandeltes Holz (I+II): Fichte/Tanne/Kiefer, Spanplatten, Holzfaser, Zink, Eiche/Buche, Sperrholz, Holz, Bauholz zur Wiederverwendung, unbehandelt; Holzwolle (in Bauplatten); Holzfaser; Kork
Behandeltes Holz (III+IV): Fichte/Tanne/Kiefer behandelt, Fichte/Tanne/Kiefer lackiert; Holzschutzmittel behandelt

4.5 Die Holzstoffströme im DACH-Raum

Einleitung Holzstoffströme

Nach dem Holzeinschlag in der Primärproduktion im Wald durchläuft der Rohstoff Holz bis zum fertiggestellten Produkt verschiedene Be- und Verarbeitungsstufen sowie Handelskanäle (BAFU, 2021). Die Verwendung von Holz kann grundlegend in die stoffliche und energetische Nutzung eingeteilt werden. Bei einer stofflichen Verwendung werden die CO₂-Emissionen zwischenzeitlich gespeichert, während diese bei einer energetischen Nutzung freigesetzt werden, weshalb eine lange und mehrstufige stoffliche Nutzung klimabedingt interessant ist. Die primären stofflichen Nutzenden sind auf der ersten Absatzstufe die Sägeindustrie, die Holzwerkstoffindustrie sowie die Holzstoff- und Zellstoffindustrie (Mantau & Weimar, 2018). In der Säge- und Holzwerkstoffindustrie wird heute vor allem Nadelholz verwendet, da die Holzverarbeitung sowie Holzprodukte fast ausschließlich auf Nadelholz basieren. Von Laubholz fließt im Stoffstrom im DACH-Raum hingegen der Großteil in die energetische Nutzung und nur geringe Mengen in die stoffliche Nutzung. Je nach Einsatzgebiet unterscheiden sich die Verweildauer in der Wertschöpfungskette sowie die Transportwege dabei deutlich (BAFU, 2021).

Eine Betrachtung der Holzstoffströme gibt Aufschluss über den Einsatz von Holzwaren entlang des Lebenszyklus und zeigt Verflechtungen innerhalb der Holz-Wertschöpfungskette auf. Dazu wird nachfolgend der Holzstoffstrom von Deutschland, sowie von Österreich und der Schweiz betrachtet und verglichen, um mögliche Unterschiede und Verbesserungspotenziale entlang der Wertschöpfungskette Holz abzuleiten.

Holzstoffstrom Deutschland

Rund ein Drittel der Landesfläche Deutschlands (32 %) ist bewaldet. Dies entspricht 11,4 Mio. ha Wald. Die Waldfläche blieb in den letzten Jahrzehnten konstant; sie hat sich zwischen 2002 und 2012 mit einem Zuwachs von 0,4 % nur geringfügig verändert (BMEL, 2012). Die Holznutzung liegt unter dem möglichen Nutzungspotenzial, weshalb die Holzvorräte in den heimischen Wäldern Deutschlands kontinuierlich zunehmen (FNR, 2018). Es wird deutlich weniger Holz genutzt als nachwächst, wodurch weitere Reserven im Wald aufgebaut werden, die später genutzt werden können oder als Kohlenstoffsенke im Wald verbleiben (Mantau & Weimar, 2018). Gemäß amtlicher Statistik wurden im Jahr 2021 82,9 Mio. m³ Holz eingeschlagen, wovon jedoch rund 61 % kalamitätsbedingt angefallen sind, also durch Schäden, Trockenheit oder Schädlinge verursacht wurden (BMEL, 2022b). Besonders hoch war der kalamitätsbedingte Einschlag bei der Baumartengruppe Fichte mit einem Anteil von rund 71 % (BMEL, 2022). Insgesamt betrug der Anteil von Nadelholz rund 87 % des Gesamtholzeinschlags (Statistisches Bundesamt, 2022d).

Gemäß der Holzrohstoffbilanz⁶ für Waldholz (Derbholz) von Mantau & Weimar (2018) betrug der Anteil der stofflichen Nutzung in Deutschland im Jahr 2016 74,4 %, während 25,6 % energetisch genutzt wurden. Auf der 1. Absatzstufe ist die Sägeindustrie mit rund 54 % Hauptabnehmer von Waldholz. Die zwei weiteren großen Abnehmer für die stoffliche Nutzung von Waldholz sind die Holzwerkstoffindustrie mit rund 11 %, gefolgt von der Holzschliff- und Zellstoffindustrie mit

⁶ Das Thünen-Institut führt jährlich eine Holzeinschlagsrückrechnung durch. Analysen haben gezeigt, dass die amtlichen Einschlagsstatistiken deutlich unter dem tatsächlichen Holzeinschlag liegen (Jochem et al., 2015). Die Abweichungen im Jahr 2021 (Jochem et al., 2022) haben eine Differenz von rund 1,5 % gezeigt. Aufgrund der Abweichungen wird für Deutschland das Rohstoffmonitoring von Mantau & Weimar (2018) verwendet, worin das Referenzjahr 2018 betrachtet wird. Hier muss angemerkt werden, dass sich gemäß Jochem et al. (2022) der Holzeinschlag seit dem Jahr 2016 von 67,4 Mio. m³ um rund 25 % auf 84,2 % im Jahr 2021 erhöht hat.

9 % des Waldholzes. Der Waldholzverbrauch in den letzteren Industrien ist jedoch gering, da im Vergleich zur Sägeindustrie einerseits Industrieholz und andererseits auch Rest- und Altholz verwendet werden können. Die energetische Nutzung von Waldholz fiel im Jahr 2016 zu einem hohen Anteil auf private Haushalte, da in der Herstellung von Pellets überwiegend Sägenebenprodukte verwendet werden, während der Einsatz von Waldholz für Biomassefeuerungsanlagen weniger lukrativ ist (Mantau & Weimar, 2018). Gemäß Mantau & Weimar (2018) erhöht sich mit steigendem Laubholzanteil der Anteil der energetischen Nutzung. Im Jahr 2016 wurden 44,8 % des Waldholzes als Nadelstammholz verwendet, was als Holz, welches in der Sägeindustrie be- oder verarbeitet wird, definiert ist. Der Anteil Laubstammholz am gesamten Waldholzvolumen betrug nur 3,2 %. Das restliche Derbholz, welches nicht in die Sägeindustrie geflossen ist, umfasst jeweils rund 21 % sonstiges Nadelderbholz und sonstiges Laubderbholz. Darin werden die anderen stofflichen und energetischen Verwendungen zusammengefasst.

Der gesamte jährliche Holzverbrauch in Deutschland wird gemäß Mantau & Weimar (2018) erst in der Betrachtung einer Holzprozessbilanz ersichtlich, da diese mit Waldholz und Kaskadennutzung sämtliche Rohstoffströme umfasst. Im Jahr 2016 wurden in Deutschland insgesamt 127,4 Mio. m³ (Festmeteräquivalente) Holz verwendet. Davon stammen 61,6 % des gesamten Holzvolumens aus dem Wald. Das übrige Drittel (gerundet) des Holzvolumens stammt aus anderen Rohstoffquellen, wovon die Sägenebenprodukte mit 13,1 % und Altholz mit 11,5 % die größten Anteile aufweisen (Tabelle 6).

Holzrohstoffbilanz					
Aufkommen	2016		2016		Verwendung
	Mio. m ³	%	Mio. m ³	%	
Sägestammholz	36,2	28,5	36,2	28,5	Sägeindustrie
sonstiges Derbholz	30,4	23,9	15,7	12,3	Holzwerkstoffe
Waldrestholz	7,4	5,8	9,8	7,7	Holzschliff und Zellstoff
Rinde	4,3	3,4	1,7	1,4	Sonst. Stoffliche Nutzung
Landschaftspflegematerial	5,4	4,3			
Kurzumtriebsplantagen	0,0	0,0	23,0	18,1	Energetisch ≤ 1 MW
Sägenebenprodukte	16,7	13,1	8,2	6,5	Energetisch ≥ 1 MW
Sonstiges Industrierestholz	3,0	2,3	28,3	22,2	Hausbrand
Schwarzlauge	3,9	3,0	0	0	Sonst. Energet. Verw.
Altholz	14,6	11,5			
Holzenergieprodukte	4,2	3,3	4,2	3,3	Energieprodukthersteller
Bilanzausgleich	1,1	0,9	0	0	Bilanzausgleich
Insgesamt	127,2	100,0	127,2	100,0	Insgesamt

Tabelle 6: Prozessuale Holzrohstoffbilanz für das Jahr 2016 (Datenquelle: Mantau, 2018).

Im Vergleich zum Jahr 1990 stieg die Holzverwendung von 64,8 Mio. m³ auf ca. 127,4 Mio. m³ (Festmeteräquivalent). Dabei wuchs die stoffliche Verwendung von 45,9 Mio. m³ auf 63,7 Mio. m³, was einem prozentualen Anstieg von 38,8 % entspricht. Die energetische Verwendung nahm im gleichen Zeitraum von 18,9 Mio. m³ auf 63,8 Mio. m³ zu, was einem Zuwachs von

+237,6 % entspricht. Inzwischen liegen bei der Holzverwendung dementsprechend stoffliche und energetische Nutzungen mengenmäßig etwa gleichauf (FNR, 2018a). Der größte Teil der energetischen Nutzung basiert jedoch zu rund 75 % auf Altholz und Nebenprodukten der Holzverarbeitung (FNR, 2018b). Infolge des starken Anstiegs der energetischen Nutzung von Holz seit Beginn des Jahrtausends wird heute fast doppelt so viel Laubholz bereitgestellt wie noch vor 20 Jahren (Mantau & Weimar, 2018). Während die stoffliche Nutzung von Laubholz zwischen 1995 und 2000 bei 60 % lag, ist diese seit dem Jahr 2009 auf rund 30 % zurückgegangen. Knauf & Frühwald (2020) führen dies auf die Tatsache zurück, dass zwar mehr Laubholz eingeschlagen wurde, jedoch nicht zu einer Steigerung der stofflichen Nutzung von Laubholz geführt hat. Bei Vergleich der Holzrohstoffbilanz zwischen 1990 und 2016 wird ebenfalls deutlich, dass das Volumen an Altholz deutlich zugenommen hat, von rund 2,8 Mio. m³ zu 14,6 Mio. m³. Während sich das Gesamtholzaufkommen in diesem Zeitraum ungefähr verdoppelt hat, hat sich das Aufkommen von Altholz ungefähr verfünffacht (Mantau & Weimar, 2018). Gemäß Flamme et al. (2020) wurden im Jahr 2016 jedoch nur 15 % des Altholzaufkommens stofflich genutzt, während 79 % energetisch verwendet wurden.

Verschiedene Faktoren, unter anderem Änderungen der politischen Rahmenbedingungen, können die Kaskadennutzung und Stoffströme beeinflussen (2018b). Deutschland hat sich politische Ziele für den Holzbau gesetzt. Die Umsetzung dieser Ziele wird die Nachfrage nach Holz erhöhen. Dies kann durch verschiedene Maßnahmen wie eine Erweiterung der Menge und Qualität des Rohstoffes Holz für bisherige und künftige Verwendungen, Effizienzsteigerung der Holzbereitstellung und -verwendung sowie Ausweitung der Recyclingpotenziale erreicht werden. Eine konsequente, weiterzuentwickelnde Kaskadennutzung kann zudem zu einer Entschärfung der Konkurrenz zwischen stofflicher und energetischer Nutzung beitragen (Matthes & Timm, 2022). Dazu sind Recycling und Rückführung in die stoffliche Verwendung auf jeder Stufe zu prüfen und zu optimieren. Ein großes Potenzial besteht insbesondere im Ausbau der stofflichen Nutzung von Laubholz (Matthes & Timm, 2022).

Außenhandelsbilanz von Deutschland

Deutschland war über den Zeitraum von 2008 bis 2018 Rohholzimporteur. Der kalamitätsbedingte Holzeinschlag seit dem Jahr 2018 führte dazu, dass Deutschland vom Rohholzimporteur zum Rohholzexporteur wurde. Gemäß Spathelf et al. (2022) führte der hohe inländische Einschlag mit 13,1 Mio. m³ auch zu einer Rekordmenge an Rohholzexporten. In Abbildung 29 ist die Entwicklung der Außenhandelsbilanz ausgewählter Güter nach Thünen-Institut (2020) einsehbar. Gleichzeitig hat der Export von Schnittholz zwischen 2008 und 2020 stark zugenommen. Von rund 9 Mio. m³ Schnittholz im Jahr 2008 stieg das exportierte Volumen über die letzten drei Jahre auf rund 14 Mio. m³ r.

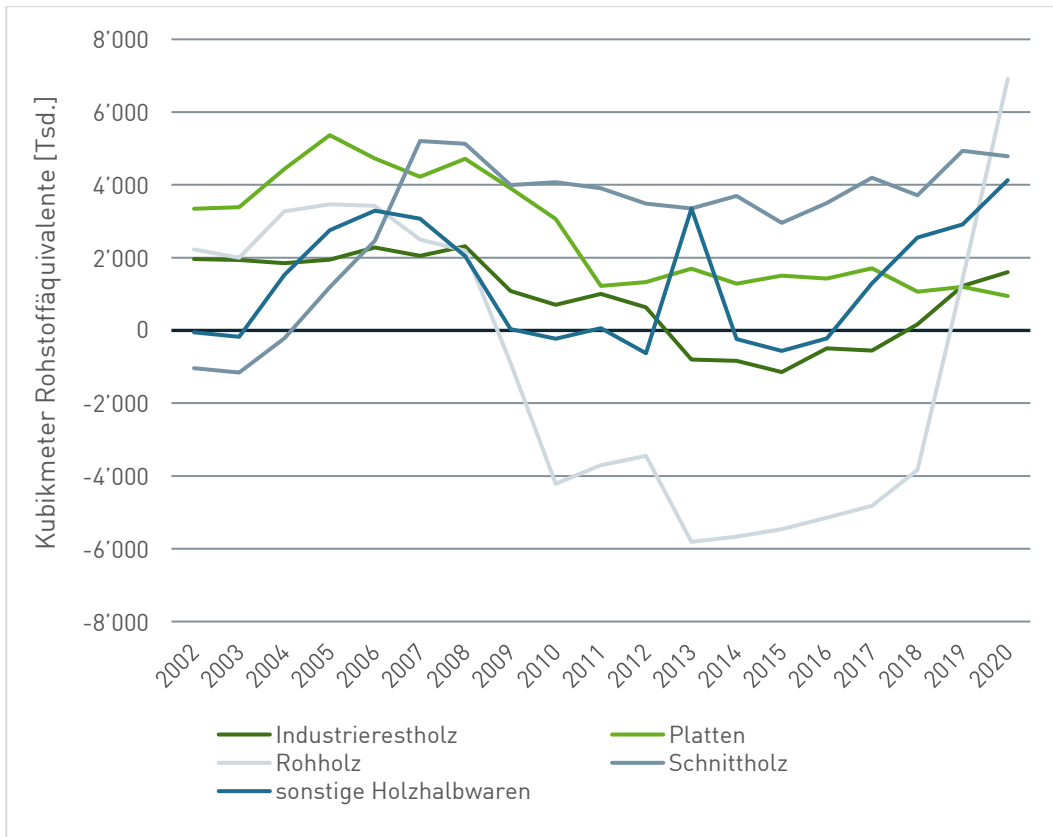


Abbildung 29: Außenhandelsbilanz Deutschland in m³ Rohstoffäquivalenten [Tsd.], 2008 bis 2020 (Datenquelle: Thünen-Institut, 2020)

Bei einem Abgleich der offiziellen Außenhandelsdaten des Statistischen Bundesamts (2023) kann ebenfalls beobachtet werden, dass der Exportüberschuss von Rohholz größtenteils durch Nadelholz bedingt ist. Im Jahr 2020 bestanden rund 92 % des Bilanzüberschusses aus exportiertem Nadelrohholz. Dies unterstreicht den Einfluss des klimabedingten Kalamitätsholzeinschlages und der Anfälligkeit der für die Holzwirtschaft sehr wichtigen Nadelrohholzbaumarten. Gemäß Spathelf et al. (2022) erfolgt der Außenhandel der EU traditionell mit angrenzenden Gebieten, weshalb besonders interessant ist, dass im Jahr 2020 fast die Hälfte nach China exportiert wurde. Dies wird auf das Preisniveau von Nadelrohholz, fehlende Möglichkeiten zur Lagerung sowie die fehlende Aufnahmefähigkeit der Holzwirtschaft zurückgeführt.

In Baden-Württemberg zeigt die Außenhandelsbilanz für Forsterzeugnisse und Holzwaren ebenfalls einen erneuten Anstieg im Exportüberschuss seit dem Jahr 2018. Speziell nach einer Periode von 2010 bis 2016 waren in Baden-Württemberg die Einfuhren und Ausfuhren forstwirtschaftlicher Erzeugnisse relativ ausgeglichen. Seit 2018 kann ein deutlicher Anstieg beobachtet werden, wobei sich der Überschuss fast verdreifacht hat. In Abbildung 30 ist die Entwicklung der Außenhandelsbilanz von Baden-Württemberg in Tonnen forstwirtschaftlicher Erzeugnisse und Holzwaren ersichtlich. Die Daten für Baden-Württemberg können jedoch nicht weiter in Nadelholz und Laubholz oder unterschiedliche Holzwaren ausdifferenziert werden. Weiter zeigt die Statistik den Binnenhandel nicht auf, wodurch Einfuhren und Ausfuhren in andere Bundesländer nicht in der Statistik berücksichtigt sind.

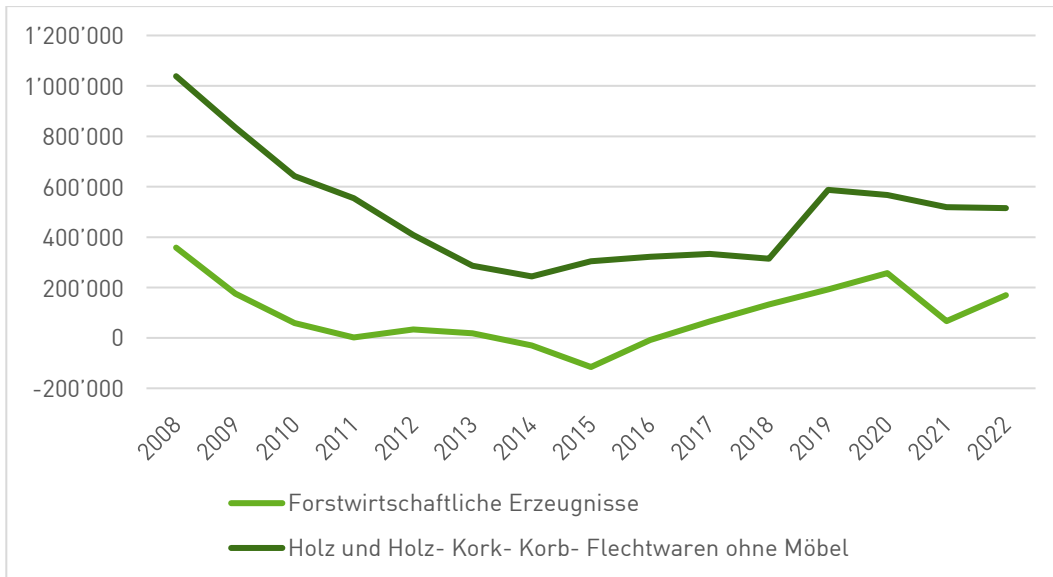


Abbildung 30: Außenhandelsbilanz Baden-Württemberg 2008-2022 in [t] (Datenquelle: Statistisches Bundesamt, 2023).

Holzstoffstrom Österreich

Österreich ist knapp zur Hälfte mit Wald bedeckt. Die Forst- und Holzwirtschaft sind traditionell wichtige Stützen der nationalen Wirtschaft. Österreich hat aber auch eine international bedeutende Forst- und Holzwirtschaft etabliert. In den österreichischen Wäldern wächst, gleich wie in Deutschland, jährlich mehr Holz nach als genutzt wird. Folglich steigen Holzvorrat und ungenutzte Holzreserven an. Gleichzeitig nimmt die Nachfrage nach dem Rohstoff Holz für die stoffliche und energetische Nutzung zu (Klimaaktiv, 2012).

Abbildung 31 zeigt den Weg des Holzes im österreichischen Markt auf Basis der aktuellen Zahlen des Jahres 2020. Sämtliche Mengen sind in Mio. fm angegeben; ein fm entspricht einem m³ fester Holzmaße. Die Grafik wird von links nach rechts gelesen, wobei das Holzaufkommen links den Startpunkt darstellt. Die verschiedenen Pfeile sowie deren Dicke zeigen die unterschiedlichen Holzsortimente bzw. ihren Umfang. Importe fließen in das System hinein, Exporte verlassen das System (Klimaaktiv, 2022). Der Holzstoffstrom von Österreich wird zwar jährlich sehr ausführlich aufgearbeitet, lässt jedoch keinen Rückschluss auf die Verwendung nach Laubholz und Nadelholz zu.

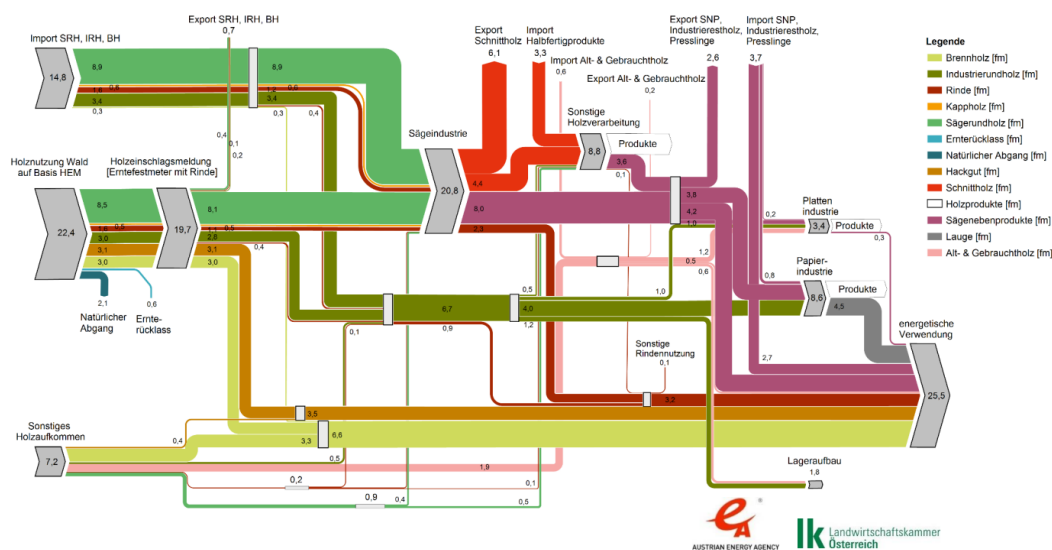


Abbildung 31: Holzstoffstrom Österreich 2020 in Mio. efm, fm, m³ (Strimitzer et al., 2022).

Gemäß Holzeinschlagsmeldung (HEM) wurden in Österreich im Jahr 2020 insgesamt 19,6 Mio. efm eingeschlagen. Hauptabnehmer war die Sägeindustrie mit rund 49,5 % der efm, wovon jedoch rund 16 % anteilmäßig auf Rinde und Kappholz fallen. Weitere 3,2 Mio. efm wurden als Industrierundholz der Papier- und Zellstoffindustrie sowie der Span- und Faserplattenindustrie zugeführt. Der Anteil des Holzeinschlags zur energetischen Verwendung in Österreich betrug rund 33 %, wovon 46 % Brennholz und 54 % Hackgut waren (Klimaaktiv, 2022).

Insgesamt betrug das inländische Holzaufkommen in Österreich rund 26,8 Mio. fm. Der Anteil durch den Holzeinschlag beträgt somit rund 73 %, während die restlichen 7,2 Mio. fm aus Quellen des sonstigen Holzaufkommens stammen. Importiert wurden im Jahr 2020 22,2 Mio. fm unterschiedlicher Holzrohstoffe- und waren. Das inländische sonstige Holzaufkommen setzt sich gemäß Klimaaktiv (2022) aus kaum erfassten Holzmenen aus dem Kleinstwald, Nutzung von Flurgeholz, rezykliertem Holz und Lagerstandsänderungen zusammen. Gemessen am Volumen ist dabei das Alt- und Gebrauchtholz die größte Quelle mit rund 27 % des sonstigen Holzaufkommens. Das verwendete Alt- und Gebrauchtholz fließt in Österreich zu fast 71 % in die Plattenindustrie, während nur knapp 29 % energetisch verwendet werden. Zusammen mit dem Hackgut und Brennholz des sonstigen Holzaufkommens werden somit rund 58 % des sonstigen Holzaufkommens energetisch verwendet (Klimaaktiv, 2022).

In der Sägeindustrie werden rund 50 % des Holzvolumens als Schnittholz der sonstigen Holzverarbeitung weitergegeben. Ungefähr 11 % des Holzvolumens der Sägeindustrie fällt auf Rinde und wird direkt in die energetische Verwendung weitergegeben, während jedoch die restlichen 39 % aus Sägenebenprodukten bestehen, welche stofflich (industriell) und energetisch eingesetzt werden. In der sonstigen Holzverarbeitung wird von verarbeitenden Betrieben (Zimmereien, Tischlereien, etc.) das Schnittholz weiterbearbeitet. Dabei werden rund 5,1 Mio. fm Holzprodukte erstellt (sämtliche Produkte der (Weiter-)Verarbeitung von Holz wie Türen, Möbel, Holzbau, etc.), wobei jedoch weitere 3,6 Mio. fm Sägenebenprodukte anfallen.

Von den im Inland verwendeten Sägenebenprodukten fließen rund 53 % in eine weitere stoffliche Verwendung, wobei jedoch ein Großteil in der Papierindustrie und nur rund 11 % in der

Plattenindustrie weiterverarbeitet werden. Die Plattenindustrie produzierte im Jahr 2020 rund 3,1 Mio. fm Holzprodukte. Dazu wurden neben den Sägenebenprodukten, welche rund ein Drittel des verwendeten Holzes ausmachten, ebenfalls 1,2 Mio. fm Altholz und rund 1 Mio. Industrierieholz verwendet. Der Anteil von Altholz und Sägenebenprodukten machte somit rund zwei Drittel der verwendeten Holzstoffe der Plattenindustrie aus, was die kaskadische Nutzung in der Industrie aufzeigt.

Insgesamt wurden im Jahr 2020 25,5 Mio. fm energetisch verwertet. Dies entsprach rund 60 % der inländischen Holzverwendung. Österreich exportiert jedoch größtenteils Holzprodukte und Halbwaren, welche stofflich eingesetzt werden, während der Anteil der exportierten Güter für die energetische Verwertung sehr tief ist. Unter Betrachtung der Holzverwendung inklusive der Exporte werden somit in Österreich 49 % der Holzverwendung energetisch getätigt. Weiter setzt sich der Materialfluss, wie in der Erläuterung der Holzstoffströme aufgezeigt, aus verschiedenen Holzflüssen der Holzbe- und -verarbeitung zusammen. Rund 40 % des insgesamt energetisch verwerteten Holzes stammten direkt aus dem Holzeinschlag (Brennholz und Hackgut). Dies zeigt auch hier die kaskadische Nutzung entlang der Holz-Wertschöpfungskette in Österreich auf.

Holzstoffstrom Schweiz

Die Landesfläche der Schweiz ist zu rund 31 % mit Wald bedeckt. Das Potenzial des Schweizer Holzes ist derzeit nicht vollständig ausgeschöpft. Eine kostendeckende oder gewinnbringende Holzproduktion wird durch verschiedene Herausforderungen erschwert. Ein zentraler Grund ist die Topografie der Schweiz, welche vielerorts die Bewirtschaftung der Wälder erschwert. Dies trifft insbesondere auf die Bergwälder zu, in welchen ein beträchtlicher und wachsender Holzvorrat vorhanden ist. Die heutigen Erntemengen in den vielen Bergwäldern könnten theoretisch über mehrere Jahrzehnte verdoppelt werden. Allerdings stellt die wirtschaftliche Holzbereitstellung in diesen Gebieten eine Herausforderung dar. Würden die Erntemengen im Mittelland, wo sich die Wälder einfacher bewirtschaften lassen, erhöht werden, wäre eine Verringerung des künftigen Zuwachses an diesen geografischen Lagen sowie Konflikte mit den Biodiversitätszielen die Folge. Weitere Herausforderungen sind das hohe Lohnniveau sowie forstwirtschaftliche Betriebskulturen. So ist beispielsweise der Schweizer Waldbesitz außerordentlich fragmentiert, was eine effiziente Bewirtschaftung und Vermarktung erschweren. Zusammen verhindern die topografischen und wirtschaftlichen Gründe, dass das Erntepotenzial in der Schweiz, und insbesondere in den Bergwäldern, ausgeschöpft wird. Allgemein liegen die durchschnittlichen Holzerntekosten am tiefsten, wenn kostengünstige Beschäftigte große, homogene Baumbestände auf flachem Terrain kahlschlagen können. Diese Bedingungen sind in der Schweiz wie oben aufgeführt nicht gegeben und zudem ist gemäß schweizerischem Waldgesetz der Kahlschlag verboten (Rey & Thalmann, 2017). So liegt auch der Rohstoffpreis für Holz in der Schweiz seit Jahren auf einem niedrigen Niveau (ALN, 2022). In Abbildung 32 ist der Holzstoffstrom der Schweiz für das Jahr 2020 abgebildet.

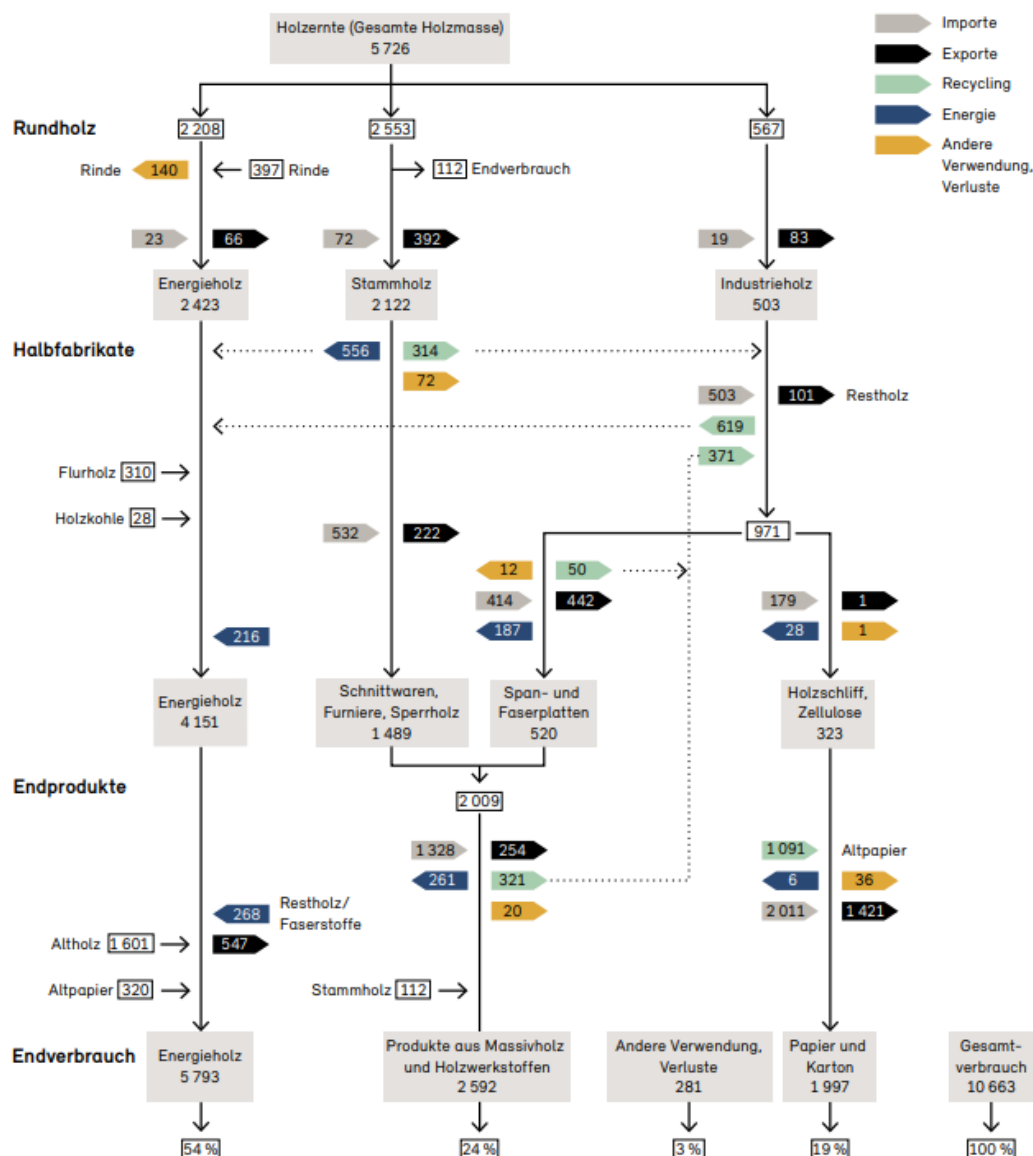


Abbildung 32: Holzflüsse in der Schweiz 2020, in 1000 m³ feste Holzmaße (BAFU, 2021).

Das Gesamtholzaufkommen in der Schweiz betrug 10,17 Mio. m³, mit Bereinigung der Mehrfachzählungen von Restholz 8,5 Mio. m³. In der Schweiz wurden im Jahr 2020 rund 5,7 Mio. fm Waldholz eingeschlagen. Das Waldholz bestand zu rund 42,2 % aus Stammholz (ohne Rinde), zu 9,4 % aus Industrieholz (mit Rinde) und ebenfalls zu 48,3 % aus Energieholz (mit Rinde) und Rinde. Rund 51,2 % des gesamten Holzaufkommens stammten aus dem Wald, wobei das sonstige Holzaufkommen zu 42,3 % aus Sägenebenenprodukten (Restholz) und zu 21,6 % aus Altholz bestand. Insgesamt betrug die Holzverwendung in der Schweiz rund 10,7 Mio. m³. Davon wurden rund 54 % energetisch verwendet. Mit rund 24 % des verwendeten Holzes wurden Produkte aus Massivholz und Holzwerkstoffen hergestellt, während weitere 19 % auf Papier und Karton gefallen sind (BAFU, 2021).

Vom Waldholz flossen 56,8 % in die energetische Verwendung, während in der stofflichen Nutzung rund 26,2 % in Produkte aus Massivholz (Sägeindustrie) und 11 % in die Papier- und Plattenindustrie geflossen sind. In Schweizer Sägewerken wurden im Jahr 2020 insgesamt aus 1,9 Mio. m³ Rundholz rund 1,2 Mio. m³ Schnittholz hergestellt. Dabei betrug der Anteil von Nadel schnittholz rund 95,5 %. In der industriellen Holzverarbeitung, welche hier aus Holzwerkstoff- und Papierindustrie besteht, wurden rund 0,97 Mio. m³ Holz verwendet, wobei 51,1 % Waldindustrieholz und 48,9 % Sägenebenprodukte verwendet wurden. In der Holzwerkstoffindustrie wurden 0,59 Mio. m³ Span- und Faserplatten produziert (BAFU, 2021). Altholz wird in der Schweiz bislang kaum weiterverwertet. Für die stoffliche Verwertung wird das Altholz größtenteils exportiert (ALN, 2022). So wird derzeit mehr als die Hälfte der Schweizer Holzabfälle exportiert (Rey & Thalmann, 2017). Das im Inland verbleibende Altholz fließt in die energetische Nutzung. Diesbezüglich besteht weiteres Steigerungspotenzial, einerseits für die stoffliche, andererseits für die energetische Nutzung (ALN, 2022).

Der Endverbrauch von Holz ist in der Schweiz in den vergangenen Jahrzehnten angestiegen. Derzeit wird die zusätzliche Nachfrage hauptsächlich durch den Import von Halb- und Fertigfabrikaten erfüllt. In der Schweiz wie auch in Österreich ist ein starker Rückgang an Sägereibetrieben zu verzeichnen (Rey & Thalmann, 2017). Es fehlt an geeigneten Standorten für Sägewerke, welche sowohl zahlbar als auch gut erschlossen sind. Die Schweizer Sägewerke können aktuell die inländische Holzernte nicht selbst bewältigen. Steigt die Nachfrage nach Holzprodukten weiter an, verstärken sich die fehlenden Verarbeitungskapazitäten weiter und die Abhängigkeit vom Ausland steigt weiter an (ALN, 2022). In den letzten Jahrzehnten sind zudem große Schweizer Zellstoffwerke bzw. Papierfabriken verschwunden. Dies erschwert die inländische Möglichkeit zur Kaskadennutzung erheblich. Für eine vollständige Kaskadennutzung in der Schweiz fehlen wichtige Abnehmer auf mehreren Stufen wie z.B. Zellstoff und Altholz (Rey & Thalmann, 2017). Für die voraussichtlich weiter steigende Nachfrage nach Holz, auch im Zusammenhang mit Holz als Baustoff, empfiehlt sich, eine Steigerung der inländischen Holzernte und der Holzverarbeitungskapazitäten zu erzielen sowie die Kaskadennutzung von Holz zu verbessern (ALN, 2022).

Die Holzstoffströme im Vergleich

Die Anteile von Waldholz am Holzaufkommen unterscheiden sich zwischen den Ländern stark: Während in der Schweiz rund 51,2 % des Holzaufkommens aus dem Wald stammen, weisen Deutschland mit 61,6 % und Österreich mit 76,2 % deutlich höhere Waldholzanteile auf. Das weitere Holzaufkommen setzt sich aus anderen Quellen wie Altholz und Sägenebenprodukte zusammen. In Deutschland und Österreich wird jeweils fast 20 % mehr Waldholz stofflich verwendet als in der Schweiz. Für den Vergleich⁷ der Holzstoffströme sind spezifische Knotenpunkte der drei Länder in Tabelle 7 ersichtlich.

⁷Die Methodik und die jeweiligen Referenzjahre der Holzstoffströme, beziehungsweise der (prozessualen) Rohholzbilanz, unterscheiden sich zwischen den drei Ländern. Diese lassen sich somit als Ganzes nicht direkt vergleichen, weshalb spezifische Kennzahlen abgeleitet wurden.

	Deutschland		Österreich		Schweiz	
Referenzjahr	2016		2020		2020	
Waldflächenanteil	32,0 %		47,6 %		31,0 %	
Holzaufkommen	127,4 m ³		52,0 m ³		10,2 m ³	
Anteil Waldholz	61,6 %		76,2 %		51,2 %	
Anteil Nadelholz / Laubholz	74,2 %	25,8 %	83,0 %	17,0 %	70,1 %	29,9 %
Anteil Sägenebenprodukte (Restholz)	13,1 %		Kein Wert		20,2 %	
Anteil Altholz	11,5 %		4,8 %		10,4 %	
Holzverwendung	127,4 m ³		52,0 m ³		10,6 m ³	
Anteil stoffliche Verwendung Waldholz	74,4 %		74,5 %		56,8 %	
Anteil Sägeindustrie an Waldholz	48,0 %		49,0 %		36,7 %	
Anteil stoffliche Verwendung Sägenebenprodukte	71,7 %		53,3 %		22,9 %	
Anteil stoffliche Verwendung Altholz	24,7 %		70,6 %		0,0 %	
Anteil stoffliche Verwendung insgesamt	51,5 %		48,5 %		43,0 %	

Tabelle 7: Vergleich Knotenpunkte Holzstoffströme Deutschland, Österreich, Schweiz. (Datenquelle: Mantau & Weimar, 2018; Strimitzer et al., 2022; BAFU, 2021).

In Österreich werden die Sägenebenprodukte nicht als separater Zufluss im Holzaufkommen einberechnet, was den Anteil an Waldholz prozentual erhöht. Der Anteil des Nadelholzaufkommens beträgt in allen Ländern über 70 %, was sich ebenfalls in der Schnittholzverarbeitung von Deutschland und der Schweiz zeigt, in welcher 95 %, beziehungsweise 93 % der Schnittholzproduktion auf Nadelholz fällt. Der Hauptabnehmer des Waldholzes in Österreich und Deutschland ist die Sägeindustrie, welche jeweils fast 50 % des Waldholzes bezieht. Insgesamt werden in den beiden Ländern rund 75 % des Waldholzes auf der ersten Absatzstufe stofflich verwendet. In der Schweiz hingegen fließen nur rund 56 % des Waldholzes in die stoffliche Verwendung, was die energetische Verwertung zum Hauptabnehmer des Waldholzes macht. In der Schweiz führten der klimabedingte Schadholzanfall, eine Reduktion von Verarbeitungskapazitäten in der Holzwerkstoffindustrie und auch pandemiebedingte Produktionsausfälle zu der erhöhten energetischen Nutzung, auch mit Holzsortimenten, bei welchen eine höherwertige Verwendung möglich gewesen wäre (BAFU, 2021).

Die Sägenebenprodukte (Restholz), wurden in Deutschland und Österreich größtenteils stofflich verwendet. In Deutschland flossen rund 44,6 % in die Holzwerkstoffindustrie und 27,1 % in die Holz- und Zellstoffindustrie (Eichermüller & Thorwarth, 2022). In Österreich flossen rund 42,2 % in die Holz- und Zellstoffindustrie und 11,1 % in die Holzwerkstoffindustrie. In Österreich wurde jedoch ein beträchtlicher Anteil von 22,4 % der Sägenebenprodukte exportiert, was keinen Rückschluss auf eine stoffliche oder energetische Nutzung ermöglicht. In der Schweiz werden nur rund 22,9 % der Sägenebenprodukte stofflich verwendet. Diese flossen in die

Holzwerkstoff und Holz- und Zellstoffindustrie, wobei eine Differenzierung nicht möglich ist. In Österreich und Deutschland findet entlang des Holzstoffstroms somit eine Kaskadennutzung des Waldholzes statt, was auf bestehende Strukturen und Absatzmöglichkeiten hinweist. Besonders in Deutschland, wo 44,6 % in die Holzwerkstoffindustrie fließen, scheint die kaskadische Nutzung etabliert zu sein.

In der Altholzverwendung bestehen in den drei Ländern sehr unterschiedliche Strukturen. Während der Anteil an Altholz am gesamten Holzaufkommen in Deutschland und in der Schweiz mit 10-11 % fast doppelt so hoch ist wie in Österreich, wird dieses in Österreich jedoch deutlich stärker in die stoffliche Nutzung zurückgeführt. Somit gelangt in Österreich weniger Altholz in den Umlauf, jedoch wird dieses innerhalb des Holzstoffstroms deutlich hochwertiger verwendet. Über 70 % des Altholzes fließt in Österreich in die stoffliche Nutzung, wobei rund 63 % des Altholzaufkommens in die Holzwerkstoffindustrie geführt wird. In Deutschland beträgt der Anteil stofflicher Nutzung nur 24,7 %, während in der Schweiz das Altholz nur energetisch eingesetzt oder exportiert wird. Die Rahmenbedingungen zur stofflichen Altholzverwendung und somit einer Kaskadennutzung scheint in Österreich am weitesten vorangeschritten, während in Deutschland und speziell der Schweiz noch ein größeres unausgeschöpftes Potenzial zur stofflichen Verwendung von Altholz besteht.

In der endgültigen Holzverwendung fließt in allen drei Ländern ein hoher Anteil in die energetische Verwertung. In der Schweiz beträgt der Anteil 57 %, welcher jedoch bereits stark durch die erste Absatzstufe aus dem Wald beeinflusst ist. Die Differenz zwischen energetischer Nutzung des Waldholzaufkommens und der endgültigen Holzverwendung in der energetischen Verwertung beträgt somit nur rund 13,8 %. Diese 13,8 % fallen in der Schweiz aus sonstigen Holzaufkommen und kaskadischer Nutzung von Holzstoffen in verschiedenen Be- und Verarbeitungsschritten an. In Deutschland und Österreich beträgt der Anteil energetischer Verwertung an der endgültigen Holzverwendung 48,5 % bzw. 51,5 %. In Österreich und Deutschland wird rund 25 % des Waldholzes mit energetischer Nutzung auf der ersten Absatzstufe verwendet. Dies zeigt, dass die Holznutzung in beiden Ländern kaskadisch entlang des Holzstoffstroms erfolgt, wobei das Waldholz zunächst stofflich verwendet wird (mindestens ein Holzbe- und Verarbeitungsschritt).

Exkurs: EU-Verordnung über entwaldungsfreie Lieferketten

Nachhaltige Waldbewirtschaftung trägt eine entscheidende Rolle bei der Aufrechterhaltung des ökologischen Gleichgewichts, weshalb Degradierung und Entwaldung deutlich zur globalen Erwärmung und zum Verlust von biologischer Vielfalt beitragen. Um illegale Abholzung zu verhindern und nachhaltige Waldbewirtschaftung zu fördern, wurde im März 2013 die Europäische Holzhandelsverordnung (EUTR) eingeführt. Diese verpflichtet beteiligte Unternehmen, sicherzustellen, dass Holz und Holzwaren aus legalen Quellen stammen (Europäische Kommission, 2023c). Die Ernährungs- und Landwirtschaftsorganisation der Vereinten Nationen stellte zwischen 1990 und 2020 jedoch einen starken weltweiten Verlust an Waldflächen fest (FAO, 2020). Als eine global bedeutende Volkswirtschaft mit hohem Konsum hat die EU als Reaktion beschlossen, neue Regulationen einzuführen, um der Entwaldung innerhalb der EU, aber auch weltweit, vorzubeugen. Dazu wurde eine neue Verordnung ausgearbeitet, welche im Vergleich zum bestehenden EUTR zusätzliche Bereiche einbezieht und restriktivere Vorschriften für entwaldungsfreie Lieferketten einführt (Europäische Kommission, 2022; 2023d). Im Mai 2023 erfolgte die Annahme der neuen Verordnung (EUDR) im Europäischen Rat und trat per 29. Juni 2023 in Kraft (BMEL, 2024a). Geltungsstart, beziehungsweise Anwendungsbeginn wurde ursprünglich auf Ende Dezember 2024 festgesetzt, wurde jedoch mittlerweile um 12 Monate

verschoben. Betroffene Akteure müssen somit ab dem 30. Dezember 2025 den neuen Sorgfaltspflichten gerecht werden. Dazu zählen unter anderem die Pflicht zur Durchführung einer Sorgfaltsprüfung und Angaben von Geolokalisierungsdaten, wenn Holz (genauso wie Palmöl, Rinder, Soja, Kaffee, Kakao und Kautschuk) und daraus hergestellte Produkte auf dem Binnenmarkt abgesetzt oder exportiert werden. Die Verordnung schafft somit Transparenz entlang der Wertschöpfungskette des Rohstoffs Holz und soll entwaldungsfreie Lieferketten sicherstellen. Waldbesitzende müssen die nötigen geografischen Daten bereitstellen, ebenso wie nachgelagerte Akteure, die Produkte aus Holz weiterverarbeiten oder vertreiben. Aktuell bestehen weiterhin erhebliche Diskussionen bezüglich der neuen Verordnungen.

4.6 Der Holzmarkt und Holzverwendungsszenarien

Im WEHAM-Projekt wurden die drei Holzverwendungsszenarien Referenzszenario (REF), Förderszenario (FÖR) und Restriktionsszenario (RES) erarbeitet, die Entwicklungsannahmen der Holznachfrage in den relevanten Endwarenssektoren Bauwesen, Wärmemarkt, Verpackungssektor, Möbelsektor und Papiersektor einbeziehen (Tabelle 8).

Endwarenssektor	Referenzszenario RES	Förderszenario FÖR	Restriktionsszenario RES
Bauwesen	Holzeinsatz steigt um 5,5 Mio. m ³ bzw. 34 %. Moderate Substitution von Nicht-Holzprodukten durch Holzprodukte	Anstieg um 6,8 Mio. m ³ bzw. 41 %	Anstieg um 4,1 Mio. m ³ bzw. 25 %. Geringere Steigerung der Holzbauweisen.
Wärmemarkt	Energetischer Holzeinsatz steigt um 5,2 Mio. m ³ bzw. 8 %. Markt wird wieder weiter gefördert, reduziert sich jedoch langfristig.	Anstieg um 12,7 Mio. m ³ bzw. 20 %. EEG-Förderung wird in der Art fortgesetzt, dass der derzeitige Anlagenbestand erhalten bleibt.	Absinken der energetischen Holznutzung um 6,9 Mio. m ³ bzw. 11 %. EEG-Förderung fällt weg.
Verpackungssektor	Holzeinsatz steigt um 1,4 Mio. m ³ bzw. 18 %. Konjunkturelle Zuwächse und moderat steigende Holznachfrage.	Holzeinsatz steigt um 1,8 Mio. m ³ bzw. 23 %. Steigende Holznachfrage im Verpackungssektor.	Holzeinsatz steigt um 0,9 Mio. m ³ bzw. 12 %. Gering steigende Holznachfrage im Verpackungssektor.
Möbelsektor	Moderater Anstieg des Holzeinsatzes im Möbelsektor um 2,1 Mio. m ³ bzw. 22 %	Stärkerer Anstieg des Holzeinsatzes im Möbelsektor um 2,7 Mio. m ³ bzw. 28 %	Moderater Anstieg des Holzeinsatzes im Möbelsektor um 1,6 Mio. m ³ bzw. 17 %
Papiersektor	Anstieg des Holzeinsatzes um 0,3 % pro Jahr. Stabile Entwicklung.	Entwicklung wie im RES	Entwicklung wie im RES

Veränderung gesamt	+14,2 Mio. m ³ (zzgl. Papiersektor)	+24,0 Mio. m ³ (zzgl. Papiersektor)	- 0,3 Mio. m ³ (zzgl. Papiersektor)
Veränderung Holz- satz			

Tabelle 8: WEHAM-Holzverwendungsszenarien. Entwicklungsannahmen unterschiedlicher Endwarenspektoren bis ins Jahr 2030 (Datenquelle: UBA, 2019; Mantau, et al., 2017).

Diese Verwendungsszenarien wurden gemeinsam mit den Waldbehandlungsszenarien und dem globalen Holzmarktmodell angewendet, um die Auswirkung der Änderungen des inländischen Rohholzangebots oder der Nachfrage nach Holzprodukten auf den nationalen Holzmarkt abschätzen zu können. Die Verwendung der Holzvolumina umfasst Derbholz sowie die übrigen zur Holzproduktion eingesetzten Holzrohstoffe wie Altholz oder Sägenebenprodukte (Mantau et al., 2017; Schier und Weimar, 2017). Die Erkenntnisse liegen für den gesamten nationalen Markt und nicht für die einzelnen Clusterregionen vor. Abbildung 33 zeigt die Ergebnisse der Rohholzproduktion und Nachfrage für die stoffliche Nutzung getrennt für Nadelholz und Laubholz und für die drei Kombinationen Basisszenario-Referenzszenario (BAS-REF), Holzpräferenzszenario-Förderungsszenario (HPS-FÖR) und Naturschutzszenario-Restriktionsszenario (NPS-RES). Für Nadelholz übersteigt in allen drei Szenarien-Kombinationen die Nachfrage das Angebot. Das modellierte einheimische Rohholzpotenzial von Nadelholz kann die steigende Verwendung nicht decken und würde einen Import von Nadelholz zur Folge haben. Für Laubholz entspricht die Nachfrage der stofflichen Nutzung für alle drei Kombinationen nahezu dem modellierten Angebot.

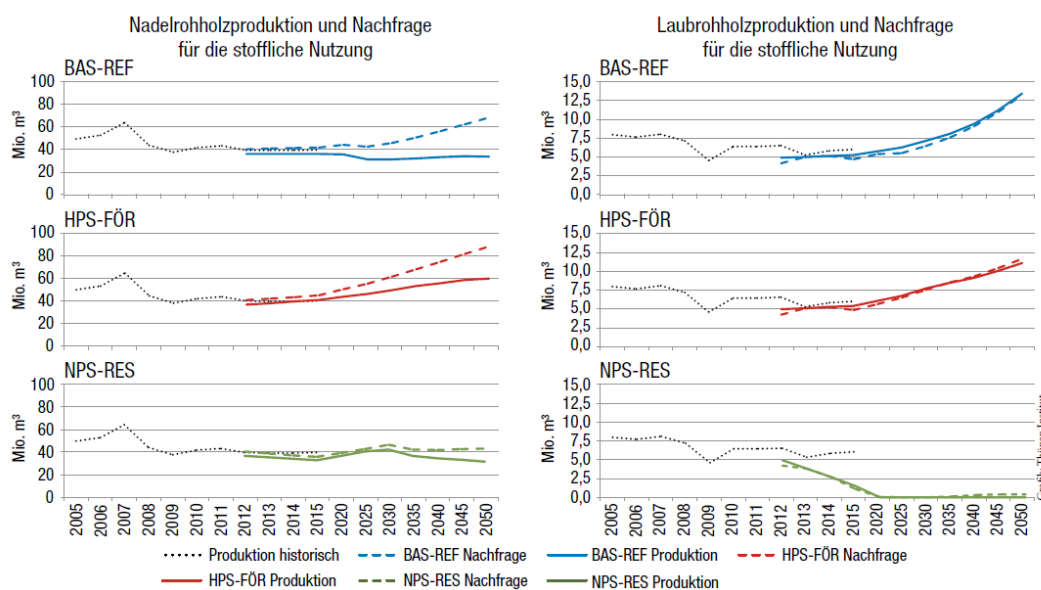


Abbildung 33: Ergebnisse der Entwicklungsszenarien für die inländische Produktion und den Verbrauch von Nadel- und Laubholz für die Stoffliche Nutzung (Schier und Weimar, 2017).

Die Ergebnisse von Schier & Weimar (2018) zeigen auf, dass das inländische Rohholz zum größten Teil von der inländischen Industrie bearbeitet wird. In den Szenarien variieren die Rohholzimporte, wobei fehlende Holzrohstoffe zu großen Teilen durch die Senkung von inländischen Produktionsleistungen kompensiert werden (Schier & Weimar, 2018). Gleichzeitig werden Veränderungen im inländischen Verbrauch holzbasierter Güter nicht durch die inländische Produktionsleistung beeinflusst. Somit führen einerseits sinkende inländische Produktionsleistungen nicht zu einer Reduktion im inländischen Verbrauch, jedoch führt eine Steigerung der inländischen Produktionskapazität auch nicht zu einem gesteigerten Verbrauch (Schier & Weimar, 2018). Die klimabedingten Extremwetterereignisse werden aber gemäß WBW (2021) zu weiteren Störungen der Marktversorgung führen und direkte Auswirkungen auf die Holzwertschöpfungskette haben. Unter anderem wird von einem exponentiellen Anstieg der Nadelholzpreise ausgegangen, wobei Deutschland bei fehlender Anpassung vermehrt Nadelholz importieren werden muss (WBW, 2021). Mit den klimabedingten Auswirkungen auf den Wald in anderen Ländern steht die Verfügbarkeit hingegen in Frage. Demgegenüber wird darauf verwiesen, dass eine Umstellung der Holzwirtschaft auf Laubholz und damit einhergehende Innovationen Deutschland in eine Pionierstellung rücken könnte (WBW, 2021).

5 Teil II: Klimawaldprodukte

Die Definition „Klimawaldprodukte“ umfasst einerseits marktfähige, aus künftigen Waldressourcen hergestellte und seriell einsetzbare Holzwerkstoffe und (Halb-)Waren zur langfristigen Sicherstellung des stofflichen und energetischen Einsatzes nachwachsender, heimischer Rohstoffe. Andererseits beinhaltet sie ebenfalls die Prozesse und Dienstleistungen zur Anpassung der Rahmenbedingungen, um die Zukunftsfähigkeit aller beteiligten Akteure entlang der Wertschöpfungskette Holz zu ermöglichen.

Anhand des aktuellen Waldzustands, der aktuellen Holzverwendung, der Holzmarktmodellierung und den Ergebnissen von Expertengesprächen (explorative Interviews) sowie des Abgleichs mit Gesprächspartnerinnen und Gesprächspartner aus der Praxis werden direkte Handlungsfelder und unterstützende Prozesse zur Stärkung der Wertschöpfungskette abgeleitet. Damit werden die Ergebnisse der breit gefassten Definition von Klimawaldprodukten wie folgt unterteilt:

- Zukunftsfähige Bauprodukte
 - Einsatz künftiger Baumarten
 - Einsatz von Kalamitätsholz
 - Einsatz von Stark- und Schwachholz
- Weiterentwicklung System Bauen
 - Kreislauffähiges Bauen
 - Ressourceneffizientes Bauen
- Unterstützende Prozesse
 - Kapitallenkung in Richtung Klimaschutz
 - Steigerung der Verarbeitungskapazitäten
 - Rahmenbedingungen, Zulassungen, Normen
 - Standardisierung und Digitalisierung

Folgend werden jeweils der Status Quo, Herausforderungen, Empfehlungen sowie Praxisbeispiele und Ansätze aus der Forschung der jeweiligen Stoßrichtungen aus den direkten Handlungsfeldern und den unterstützenden Prozessen ausgeführt. Die Erkenntnisse basieren in erster Linie auf der Auswertung der beiden Gesprächsrunden und wurden danach gezielt durch bestehende Literatur ergänzt.

Handlungsfeld

Stoßrichtung

Zukunftsfähige Bauprodukte

Einsatz von künftigen Baumarten

Der Klimawandel und die zunehmenden Klimaextreme haben starke Auswirkungen auf das Ökosystem Wald und dadurch auch auf die Bereitstellung von Ökosystemdienstleistungen sowie wirtschaftliche Kennzahlen. Vitalitätseinbußen und Schäden betreffen alle Baumarten. Hierbei hat jedoch die Fichte deutschlandweit den höchsten Schädigungsgrad. Um die Wälder auf den Klimawandel weiter vorzubereiten, werden standortgerechte, strukturreiche Mischwälder angestrebt (vgl. Kapitel 4.2). Laubholzbaumarten nehmen daher zunehmend eine wichtigere Rolle ein. Gemäß Knauf & Frühwald (2020) ist das potenzielle Laubstammholzaufkommen ca. 60 % höher als das jährlich genutzte Holzvolumen zwischen 2013 und 2017. Gemäß Mantau & Weimar (2018) stieg in der Vergangenheit durch einen erhöhten Anteil an Laubholz die energetische Nutzung von Holz. Aktuell besteht weiterhin eine hohe Verfügbarkeit an Nadelholz, wobei jedoch schon heute starke regionale Unterschiede bestehen. Durch das hohe Volumen an Kalamitätsholz und den Holzvorratsabbau besteht aber noch kein Fokus auf den Einschlag und die Bereitstellung von Laubholz. Ein Verbundvorhaben der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, der Bayrischen Staatsforsten AöR sowie der DB Cargo Logistics betrachtet derzeit die Versorgungskette Holz, IT und Einsatz von Schienennetzen und entwickelt ein intelligentes Supply-Chain-Konzept (FNR, 2020a). Dabei wird zwar auf die nicht tragbaren Volumen an klimabedingtem Schadholz verwiesen, ein möglicher gestärkter Schienenverkehr und die Vernetzung der Akteure könnte sich jedoch im Kontext der auszubauenden Frachtkapazität auch auf mögliche Aspekte der Bereitstellung von Laubholz positiv auswirken.

Im konstruktiven Holzbau besteht eine sehr hohe Abhängigkeit von Nadelholz, jedoch ebenfalls entlang der gesamten stofflichen Holz-Wertschöpfungskette (vgl. Kapitel 4.4). Dabei hat speziell die Baumart Fichte eine sehr hohe Bedeutung, da diese die für den derzeitigen Holzbau die geeignetsten Materialeigenschaften besitzt und in der Vergangenheit in großem Volumen verfügbar war. Laubholz kann bereits heute technisch im Holzbau eingesetzt werden, wobei sich dies häufig auf den Ingenieurholzbau beschränkt. In diesem Anwendungsbereich können die Vorteile der hohen Tragfähigkeit und Festigkeit von Laubholz gezielt im konstruktiven Bereich eingesetzt werden. Der Ingenieurholzbau macht jedoch nur einen kleinen Teil des Holzbaus aus, da in kleingeschossigen Wohn- und Nicht-Wohngebäuden der Holzbau als Konstruktionsweise bereits konkurrenzfähig am Markt etabliert ist, während der Holzbau bei mehrgeschossigen Gebäuden weiterhin einen tiefen Marktanteil besitzt. Laubholzprodukte sind derzeit kostenintensiv, weshalb sie als Spezialanwendungen beispielsweise für Tragkonstruktionen eingesetzt werden. Für Laubholz wird jedoch bei diesen Spezialanwendungen ein Potenzial gesehen, da diese architektonisch filigran durch reduzierte Querschnitte und konstruktiv durch eine hohe Spannweite neuere Segmente des Holzbaus stärken können. Die am häufigsten eingesetzten Baumarten im Laubholzbereich sind aktuell Buche und Eiche, welche als einzige Laubholzarten in Deutschland als Schnittholz zugelassen sind (Knauf & Frühwald, 2020). Die weiteren Laubholzarten brauchen eine bauaufsichtliche Zulassung oder Zustimmungen im Einzelfall (Knauf & Frühwald, 2020). Expertinnen und Experten schätzen den möglichen Laubholzeinsatz in Bauprodukten aus Vollholz bis zum Jahr 2030 auf 3-4 %, was bei einem aktuellen Produktionsvolumen von rund 3,5 Mio. m³

KVH, BSH oder BSP ca. 115.000 m³ pro Jahr aus Laubholz verwendet werden könnten (Knauf & Frühwald, 2020). Wenn dies auf Verschnitt und nach Rauwarenausbeute rückgerechnet wird, entspräche das somit einem Volumen von rund 230.000 m³ Laubschnittholz bzw. und 380.000 Festmeter Laubstammholz (Knauf & Frühwald, 2020).

Aktuell bezieht die Holzwerkstoffindustrie einen höheren Anteil an Nadelholz statt Laubholz. Hier wird jedoch ein Potenzial eines gesteigerten Laubholzanteils als technisch möglich eingeschätzt. Ergebnisse von Kauf & Frühwald (2020) führen aus, dass der maximal technische Anteil an Laubholz verschiedener Holzwerkstoffe insgesamt fast 75 % betragen könnte, was 11,4 Mio. m³ Laubholz entspräche. Davon fallen fast 78 % auf Buchenholz, wodurch mit leicht erhöhten Prozesskosten gerechnet werden müsste (vgl. Kapitel 4.4). Im Verbundvorhaben GerLau „Verwertungsorientierte Untersuchung an geringwertigen Laubholz-Sortimenten zur Herstellung innovativer Produkte“ zeigen Ergebnisse der Fraunhofer WKI (2019) auf, dass bei MDF- und HDF-Platten eine Substitution von Nadelholz mit Laubholz von bis zu 50 % möglich wäre. Im Vergleich zur aktuellen Laubholzverwendung (vgl. Kapitel 4.4) von rund 0,6 Mio. fm Laubindustrieholz in der Holzwerkstoffindustrie im Jahr 2020 könnte der Laubholzeinsatz um ein Vielfaches steigen. Über einen verstärkten Einsatz von Laubholz in der Holzwerkstoffindustrie könnte die Nachfrage nach Nadelholz deutlich entlastet werden.

Als weitere interessante Baumart für die Zukunft wird vermehrt auch die Douglasie als Ersatz für die Fichte wahrgenommen. Grund hierfür ist ihre hohe projizierte prozentuale Steigerung des Rohholzpotenzials. Während die Douglasie eine hohe Zuwachsleistung und geeignete Materialeigenschaften besitzt, beträgt das absolute Wachstum des Rohholzpotenzials nur einen kleinen Anteil.

Herausforderungen

Da alle Baumarten vom Klimawandel betroffen sind und sich regionale Auswirkungen unterscheiden, muss auf regionaler Ebene eine den Gegebenheiten angepasste Waldbewirtschaftung mit angepassten Baumartenmischungen etabliert werden. Eine große Herausforderung besteht darin, dass die Aufforstung nicht nur den kurz- und mittelfristigen Klimabedingungen, sondern auch den langfristigen entsprechen sollte. Zwischen Forstwirtschaft, der Holzbe- und verarbeitenden Industrie und dem Holzbau besteht zudem zu wenig Transparenz. Bei den jeweiligen nachgelagerten Akteuren fehlt es an Wissen, welcher Bestand an Baumarten und Volumen im Wald ist und mit welchem Aufkommen gerechnet werden kann. Durch die aktuell hohe Verfügbarkeit von Fichte bzw. Nadelholz sowie dem Kalamitätsholzeinschlag liegt wie erläutert der Fokus nicht auf der Bereitstellung von Laubholz. Die Rohstoffflüsse für Laubholz sind derzeit nicht genügend etabliert, weshalb die Verfügbarkeit der richtigen Ressourcen im richtigen Volumen für Produkte aus Laubholz als Schwierigkeit betrachtet wird. Weiter bestehen aktuell nicht genügend geeignete Absatzmöglichkeiten im stofflichen Bereich für Laubholz, weshalb die energetische Verwertung stark konkurrierend ist. Der künftig deutliche Rückgang des verfügbaren Volumens von Fichte ist derzeit noch nicht genügend stark in den nachgelagerten Wertschöpfungsschritten angekommen, weshalb die Entwicklung und Innovation sowie die Wissensbildung zum Einsatz anderer Baumarten noch nicht genügend von der Industrie getrieben wird. Die Einführung einer neuen Baumart als Material für Prozesse der bisherigen Wertschöpfung wird als sehr

langwieriger Prozess beschrieben. Das liegt hauptsächlich an Normierungen und Vorschriften, weshalb diese vorzeitig angestoßen werden müssten. Dieser Prozess wird als innovationshemmend wahrgenommen und erhöht die Kosten für die Entwicklung und Einführung neuer Bauprodukte und Baumarten. Hier ergibt sich schlussendlich die Frage, wer die Kosten für neue Produktentwicklungen trägt. Seitens des Ingenieurwesens besteht hier ein Hemmnis aufgrund des Haftungsrisikos für Planende, weshalb die Normierung, Zulassung, und entsprechende Berechnungswerte eine essenzielle Rolle für diese Akteure einnimmt. Als treibende Faktoren für den Preis von Laubholzprodukten und auch als Hemmnis für einen großvolumigen Einsatz von Laubholz im Bauwesen werden die tiefere Ausbeute, sowie ungünstigere Materialeigenschaften in der Herstellung und in der Montage bezeichnet. Dabei wird auf Themen der Rissbildung, Spannung, und Feuchtigkeit (Witterungsschutz) verwiesen. Weiter sind Verbindungs- und Verklebungstechniken sowie die geeigneten Werkzeuge in Verarbeitung und Montage essenziell. Mit einer größeren Verfügbarkeit von Laubholzprodukten, den entsprechenden Zulassungen und Normierungen sowie der routinierten Verwendung wird geschätzt, dass der Preis wettbewerbsfähiger werden könnte. Dazu müssten jedoch die genannten Anfangshemmnisse ausgeräumt werden. Der Einsatz von Laubholzprodukten beschränkt sich, wie bereits ausgeführt, mehrheitlich auf den Ingenieurholzbau. Innerhalb dessen eignet er sich überwiegend für Spezialanwendungen, da die Gebäudekosten ansonsten nicht tragbar wären. Diesbezüglich wird eingeschätzt, dass es bei vielen Holzbauunternehmen an personellen und finanziellen Kapazitäten und Wissen fehlt. Eine Herausforderung ist aktuell ebenfalls, dass am Markt eine sehr limitierte Anzahl Anbieter für Laubholzprodukte existiert. Dies führt dazu, dass beispielsweise öffentliche Auftraggebende zwar produktneutral ausschreiben können, dass aber aufgrund des fehlenden Wettbewerbs bei gewissen Laubholzprodukten vergaberechtliche Schwierigkeiten auftreten können.

Empfehlungen

- Prüfung von konkurrenzfähigen Substitutionsmöglichkeiten von Nadelholz mit Laubholzarten in Anwendungsbereichen außerhalb des konstruktiven Holzbaus zur Entlastung der Nachfrage nach Nadelholz
- Prüfen von Maßnahmen, um die Verfügbarkeit und die prozessualen Kosten von Laubholzprodukten wirtschaftlich tragbar zu gestalten und den Kompetenzaufbau zu unterstützen; Marktakzeptanz für Laubholzprodukte fördern
- Prozesse für Innovation und Entwicklung in der Industrie anstoßen, um die Einführung von neuen Baumartengruppen bis zur breiten Marktverfügbarkeit vorzeitig anzugehen. Dazu sind Themen der Sensibilisierung zu klimabedingten Veränderungen im Wald und dem künftigen Holzaufkommen zu beachten.
- Etablierung und Sicherstellung der Verfügbarkeit sowie Einsatz- und Absatzmöglichkeiten für noch nicht etablierte und wirtschaftliche Bauprodukte aus Laubholz und künftigen Baumarten, um Planungssicherheit für Investitionen zu gewährleisten
- Unterstützung von Akteuren für Produktinnovationen im Bereich der Zulassungen und Normierungen; Stärkung interdisziplinärer Zusammenarbeit der Akteure
- Weiterentwicklung der Brandschutzrichtlinien; Stärkung der Verfügbarkeit von Berechnungswerten zur weiteren Förderung des Leistungsbereiches Ingenieurholzbau

- Prüfung der diskutierten Gebäudeklasse E⁸, um den Erfahrungsaufbau zu fördern und Anwendungsmöglichkeiten von Laubholzbaustoffen, Laubholz-Nadelholz-Kombinationen sowie Holz-Hybridlösungen in der Praxis umzusetzen
- Positionierung der Umstellung auf Laubholz und einhergehenden Prozess- und Produktinnovationen durch mögliche Pionierstellung der deutschen Holzwirtschaft

Praxisbeispiele und Ansätze aus der Forschung

- Pollmeier Massivholz GmbH: BauBuche
- Hasslacher Gruppe: Brettschichtholz & Brettsperrholz aus Birke
- Neue Holzbau AG: Brettschichtholz Buche & Esche
- Hochschule für Forstwirtschaft Rottenburg - Verwendung von schwachem Laubholz für die Produktion von Brettsperrholz: Untersuchung des potenziellen Einsatzes von Laubholz zur Verbesserung der strukturellen Verwendbarkeit. Neuartige Produktinnovation zur Steigerung der Formstabilität von Laub-Schwachholz mittels innovativer Holzmodifikationsverfahren. Ziel ist die Herstellung von Vollholzwänden, bekannt als Brettsperrholzelemente, aus minderwertigem Laub-Schwachholz und Holz minderer Qualität. Dieses Vorhaben ist Teil eines Gesamtprojekts, das die Verwendung von modifiziertem Buchenholz für Brettsperrholz umfasst, und strebt eine mögliche Umsetzung in industrieller Produktion an. (FNR, 2020b).
- Fraunhofer WKI - Brettschichtholz aus Robinie-Hartholz: Robinienholz hat eine hohe Dichte und ist in der Dauerhaftigkeitsklasse 1-2 (DIN EN 350-2) eingestuft. Somit wird kein chemischer oder konstruktiver Holzschutz benötigt. Projektziel des Vorhabens ist, ein witterungsbeständiges BSH mit Anwendungen im Außen- und Feuchtbereich zu entwickeln (Fraunhofer WKI, 2022).
- Holzforschung Austria - Bauen mit Laubholz: Forschungsprojekt zur Schaffung von Grundlagen für effizienten Einsatz von Laubholz in konstruktiven Bauprodukten. Entwicklung Verarbeitungsverfahren zur Steigerung der Ausbeute und gesteigerter Homogenisierung des Ausgangsmaterials. (Holzforschung Austria, o. D.)
- Thünen-Institut – Holznutzung in der Zukunft unter dem Einfluss des Klimawandels: Entwicklung eines Modells, welches die Dichte, die Dichteverteilung und die technologischen Eigenschaften wesentlicher Wirtschaftsbaumarten in Deutschland abbildet. Betrachtung der klimabedingten Veränderung von technologischen Holzeigenschaften und Nutzbarkeit, sowie Betrachtung von möglichen alternativen Zukunftsholzarten (Thünen-Institut, o. D.).
- Fraunhofer-Institut IFAM – Eingeklebte Laubholzstäbe im konstruktiven Holzbau unter Verwendung von Klebstoffen auf Basis nachwachsender Rohstoffe: Erkundung von Alternativen zur Verwendung von Stahlstäben, die in Nadelholz eingebettet sind, durch den Einsatz von Laubholz in tragenden Strukturen. Ebenfalls wird die Entwicklung von Klebstoffen aus erneuerbaren Ressourcen für Verbindungselemente aus Laubholz untersucht, wobei die Möglichkeit einer mehrfachen stofflichen Nutzung berücksichtigt wird. Abschließend erfolgt die Erarbeitung von Designrichtlinien für die Integration der eingebetteten Verbindungselemente aus Laubholz. (FNR, 2021a).

⁸„Gebäudeklasse E als Maßnahme für schnelleres, ressourcenschonendes und kostengünstiges Bauen“, durch welche die Verfahren für Nachweise zu Schutzzielen vereinfacht werden und „sachkundige Bauherrschaften mit Architektinnen und Architekten vereinbaren können, von den allgemein anerkannten Regeln der Technik abzuweichen“ (Architektenkammer Baden-Württemberg, 2022).

- Karlsruher Institut für Technologie (KIT) – Innovative Verbindungen unter Verwendung von Laubhölzern Systematische Untersuchung von Prinzipien und Fachwissen im Bereich der Verbindungen unter Verwendung von Laubhölzern. Hierbei wurden spezifische Merkmale, Abweichungen von Verbindungen in Nadelhölzern sowie aktuelle Herausforderungen umfassend analysiert und dokumentiert. Die Ergebnisse dieses Projekts bieten Einblicke und Empfehlungen für die praktische Anwendung und Dimensionierung von Verbindungen mit Laubhölzern. (KIT, 2023).
 - Forst-Holz in Bayern GmbH, TU München, bwc management consulting GmbH - Entwicklung einer Entscheidungsmatrix für die zukünftige Laubholznutzung im Rahmen einer effizienten Bioökonomie: Untersuchung der wirtschaftlichen, ökologischen und gesellschaftlichen Konsequenzen unterschiedlicher Nutzungsmöglichkeiten von Laubholz im Kontext einer nachhaltigen Bioökonomie. Bewertung der Chancen und Herausforderungen im Bereich innovativer Laubholzanwendungen sowie Erstellung einer Entscheidungsmatrix, die auf technischen, ökologischen, rechtlichen und strukturellen Aspekten basiert. (FNR, 2020c)
 - Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt, Georg-August-Universität Göttingen, Fraunhofer-Institut WKI - Verwertungsorientierte Untersuchungen an geringwertigen Laubholz-Sortimenten zur Herstellung innovativer Produkte: Im Verlauf des Verbundvorhabens wurden die Potenziale der Nutzung von Laubholz sowie die vorhandenen Vorräte dieses Rohstoffes abgeschätzt, unter Berücksichtigung der zu erwartenden Anteile an Festigkeit und Qualität. Darüber hinaus wurde eine eingehende Analyse und quantitative Bewertung der Laubholzproduktion durchgeführt, wobei insbesondere die Potenziale für die Holzwerkstoffindustrie und die Herstellung von Vollholzprodukten betrachtet wurden. (Universität Göttingen, 2019).
-



Handlungsfeld	Stoßrichtung
Zukunftsfähige Bauprodukte	Einsatz von Kalamitätsholz

Deutschland ist seit 2018 stark von Kalamitätsholz betroffen, wobei im Jahr 2021 61 % des gefällten Holzes kalamitätsbedingt eingeschlagen wurde. Um Kalamitäten nicht auszudehnen, wird Kalamitätsholz aus dem Wald entfernt, was zu erheblichen Auswirkungen auf dem Holzmarkt führen kann. Das Kalamitätsholz kann als ungeplanter Holzeinschlag betrachtet werden, welcher für hochwertige Einsatzzwecke zu einem späteren Zeitpunkt angedacht war. Preisanstiege beim Holz können Kalamitätsholz für die Sägeindustrie und den Holzbau zu einer attraktiven Alternative zum eigentlich geplanten Einschlag machen. Einsatzmöglichkeiten für Kalamitätsholz bestehen, da dieses dieselben konstruktiven Eigenschaften wie nicht schadhaftes Holz aufweisen kann oder etwaige Mängel durch technische Verfahren beseitigt werden können (bspw. technische Trocknung bei Beschädigung durch Borkenkäfer). Kalamitätsholz ist aufgrund der möglichen visuellen Unreinheiten in erster Linie für den nicht-sichtbaren Bereich vorgesehen, wobei es Beispiele gibt, in welchen Kalamitätsholz bewusst im sichtbaren Bereich eingesetzt wurde, um auf den fortschreitenden Klimawandel und die Auswirkungen im Wald aufmerksam zu machen. Das Aufkommen von Kalamitätsholz ist insbesondere seit 2018 so hoch, dass nicht alles verarbeitet und im Inland verwendet werden kann, wodurch Deutschland vom Nettoimporteur zum Nettoexporteur wurde (vgl. Kapitel 4.5).

Herausforderungen

Auch wenn Prognosen zum verfügbaren Kalamitätsholz durch den unplanmäßigen Anfall mit großer Unsicherheit behaftet sind, wird kurz- bis mittelfristig ein höheres Volumen erwartet. Das führt zu einem unplanmäßigen Abbau des Holzvorrats. Das Angebot an Kalamitätsholz kann somit nicht gesteuert werden, wird aber aufgrund des Abbaus an Holzvorräten langfristig tendenziell wieder rückläufig sein. Die aktuellen Bestände sollen in langfristigen, hochwertigen Produkten eingesetzt werden, während aktuell noch ein zu hoher Anteil energetisch verwertet oder in tieferen Kaskadenstufen als tatsächlich möglich eingesetzt wird. Die Preise für Kalamitätsholz sind niedrig, wobei ebenfalls Zusatzkosten durch den Abgang hiebsunreifer Baumbestände dazukommen. Durch den Aufwand für Bewirtschaftung und Wiederbewaldung entstehen Verluste für die Forstwirtschaft. Beim Einsatz von Kalamitätsholz bestehen seitens Eigentümerschaften sowie Architektinnen und Architekten aktuell eine gewisse Zurückhaltung und Hemmnisse. Bei Holzbauenden scheint teilweise das Wissen, ob und wie Kalamitätsholz mit sichtbaren Unreinheiten eingesetzt werden kann, nicht vollständig vorhanden zu sein. Als große Herausforderung werden die Qualitätsansprüche im Vergleich zu anderen Ländern bezeichnet, wobei als Beispiel auf mögliches Potenzial im Einsatz von Kalamitätsholz durch kleinere Querschnitte im Holzbau verwiesen wird.

Empfehlungen

- Prüfen und Etablieren zusätzlicher Lagerungsmöglichkeiten bei fehlenden Kapazitäten für den späteren Einsatz von Kalamitätsholz für hochwertige Produkte und Einsatzzwecke

- Prüfen des Schadholzanteils an Nadelrohholzexport und von Einsatzmöglichkeiten in regionalen und nationalen Holzwertschöpfungsketten
- Vorbereiten der Holzwertschöpfungskette auf kurz- bis mittelfristig hohes Volumen an Holz, jedoch mittel- bis langfristig auf tiefere Holzverfügbarkeit und damit einhergehend die Veränderung von benötigten Verarbeitungskapazitäten und Anpassungen der Bereitstellungskette von Holz
- Berücksichtigen von Einsatzmöglichkeiten von Kalamitätsholz in aktueller Wertschöpfungskette bzw. angepasster Umgang mit schwankender Holzverfügbarkeit. Aufbereitung und Verbreitung der Resultate in einer zielorientierten Form.
- Prüfen der kaskadischen Nutzung in stofflicher Verwendung von Kalamitätsholz bzw. optimierter stofflicher Nutzung von Kalamitätsholz
- Prüfen der Absatz- und Vertriebskanäle sowie der Nachfrage seitens des Holzbaus und wie diese gestärkt werden können. Berücksichtigen von Ansätzen der Öffentlichkeitsarbeit und Sensibilisierung zu vermehrtem Einsatz von Kalamitätsholz im Bauwesen und prüfen, inwiefern in Ausschreibungen regionales Kalamitätsholz vermehrt festgelegt werden kann (Vorbildfunktion von öffentlichen Bauvorhaben)

Praxisbeispiele und Ansätze aus der Forschung

- Fast + Epp: Samuel Brighthouse Elementary School
Ein Schulgebäude, für welches in der Dachkonstruktion unter anderem im sichtbaren Bereich Käferholz in der Brettstapeldecke verwendet wurde. Durch den Befall verfärbt sich das Holz leicht blau. Mit dem Einsatz des Holzes im sichtbaren Bereich ist es Teil des Schulunterrichts und gehört damit zum architektonischen und pädagogischen Konzept des Schulbaus. (J. Stahl, persönliche Kommunikation, Juli 2023)
 - TRIQBRIQ: Mikro-modulare Holzbausteine aus Kalamitätsholz
Das Unternehmen stellt aus regionalem Kalamitätsholz (Nadel und Laubholz) kreislauffähige, mikro-modulare Massivholzsteine her. Die Produkte ermöglichen den Einsatz von Schad- und Schwachholz im mehrgeschossigen Rohbau und verfügen über eine bauaufsichtliche Zulassung. Für die Herstellung der so genannten „BRIQs“ wird eine dreiaxiale Verbindungsstruktur und ein patentiertes Buchholzdübel-Verbindungssystem angewendet, wodurch einerseits Kalamitätsholz eingesetzt werden kann und andererseits ein sortenreiner Rückbau sichergestellt ist (Triqbriq, 2023).
 - Fraunhofer WKI, IHD, DeSH, Wald und Holz NRW, Universität Göttingen: Verbundvorhaben Stoffliche Verwertungsmöglichkeiten für stehend gelagertes Kalamitätsholz der Baumart Fichte in Abhängigkeit von Schadfortschritt und Holzqualität: Das Verbundvorhaben im Rahmen der Projektförderung Waldklimafonds zielt darauf ab, die stoffliche Nutzung von stehend gelagertem Fichtenkäferholz zu erforschen. Mittels eines Leitfadens werden Waldbesitzer, Forstbetriebe und Holzwirtschaft unterstützt, die Verwendungsmöglichkeiten von stehend gelagertem Holz einzuschätzen und mit betroffenen Beständen effizient stofflich umzugehen (FNR, 2022). Das Projekt wird voraussichtlich im Juli 2025 abgeschlossen.
 - Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Bayrische Staatsforsten AöR, DB Cargo Logistics - Verbundvorhaben Versorgungskette Holz, IT und von der Straße auf die Schiene
Das Verbundvorhaben zielte darauf ab, ein intelligentes Supply Chain-Konzept für die Versorgungskette des Rohstoffs Holz zu entwickeln. Hintergrund des Vorhabens waren unter anderem die IT-technisch unzureichende Verknüpfung relevanter Akteure der Versorgungskette und die Mengen an klimabedingtem Kalamitätsholz (Januar, 2024).
-



Handlungsfeld	Stoßrichtung
Zukunftsfähige Bauprodukte	Einsatz Stark- und Schwachholz

Der Rohstoff Holz stand in der Vergangenheit immer günstig und in ausreichender Menge für die jeweiligen Zwecke zur Verfügung. Der Fokus lag daher lange nicht auf einem ressourceneffizienten Verbrauch oder auf ressourceneffizienten Produkten. Aktuell wird davon ausgegangen, dass sich in diesem Bereich durch den wachsenden Druck der Rohstoffknappheit eine Entwicklung ergeben könnte. Der deutsche Wald wächst langsam aus der Normung für die Sägeindustrie heraus. Einerseits bestehen überalterte Bestände und andererseits wird für die Baumart Fichte beispielsweise die Stärkeklasse 4 knapp. Die Nadelholzsägerei bezieht aktuell mehrheitlich Sortimenten zwischen der Stärkeklasse 2b und 3b, während die Laubholzsägerei mehrheitlich Stärkeklassen zwischen 3b und 6 verwendet. Der Stammholzanteil von Laubholz ist des Weiteren deutlich tiefer als bei Nadelholz. Nach WEHAM-Szenarien Holzpräferenz sowie Naturschutz wird der prozentuale Anteil von mittelstarkem Holz (2a bis 4a) am gesamten Rohholzaufkommen in Baden-Württemberg sinken (vgl. Kapitel 4.2). Den Holzstärkeklassen Starkholz (4b bis 6) sowie Schwachholz (0 bis 1b) wird somit in Zukunft ein höherer prozentualer Anteil am Holzaufkommen zukommen.

Aktuell wird Holz minderwertiger Qualität oft in der energetischen Verwertung eingesetzt. In Deutschland fließt rund ein Drittel des Rohholzes direkt in die energetische Verwertung (vgl. Kapitel 4.3). Mit Bioökonomiestrategien kommt dem energetischen Einsatz von Holz als Biomasse eine wichtige Rolle zu. Die energetische Nutzung macht jedoch speziell am Ende der Kaskadennutzung Sinn, wenn der Rohstoff Holz möglichst oft wiederverwendet wurde (Eichermüller & Thorwarth, 2022). Gemäß WBW (2021) hat die stoffliche Nutzung gegenüber der energetischen eine höhere Priorität für eine nationale Bioökonomie. Holz soll als Energieträger erst eingesetzt werden, wenn keine effiziente stoffliche Nutzung mehr möglich ist.

Herausforderungen

Die Wahl von mittelstarkem Holz bietet eine hohe Qualität für Holzprodukte aus dem Rohstoff Holz. Starkholz bedingt einen höheren Be- und Verarbeitungsaufwand (beispielsweise im Einschnitt und der Sortierung), weshalb die Nachfrage seitens Sägeindustrie tiefer war. Gemäß WBW (2021) waren Nadelstarkholzsortimente tendenziell schwer zu vermarkten, wobei jedoch dem Holzbau eine zentrale Rolle in der wertschöpfenden Verwertung in deutlich größeren Mengen dieser Sortimenten zugeschrieben wird. Hier wird auf die Notwendigkeit der Einführung technischer Verfahren für eine Verarbeitung mit hoher Wertschöpfung verwiesen (WBW, 2021).

Schwachholz oder minderwertige Sortimenten bieten nicht dieselben Materialeigenschaften als Grundlage für hochwertige Holzprodukte wie beispielsweise mittelstarkes Holz. Bei einer Verarbeitung von Schwachholz steht einerseits somit die Höhe der Qualität in Frage, andererseits wird der Aufwand für die Herstellung von Holzprodukten aus Schwachholz als hoch eingeschätzt, was sich kostentechnisch niederschlagen würde. Der hochwertigere stoffliche Einsatz minderwertiger Holzsortimente (beispielsweise auch von Kronenholz) bedingt somit den Einsatz in gezielten Verwendungsbereichen sowie wettbewerbsfähigen, innovativen Verfahrenstechniken. Es ist somit unklar, ob der Einsatz von Schwachholz im Holzbau zielführend ist, es bestehen jedoch Ansätze zur Aufbereitung dieser Holzsortimente für den konstruktiven Einsatz.

Einen Ersatz von mittelstarkem Nadelrohholz durch Importe wird nach WBW (2021) nur der Holzwirtschaft einen Nutzen erbringen. Einerseits stellt sich hier die Frage, inwiefern der Transport von Nadelholz über lange Strecken wirtschaftlich und ökologisch sinnvoll ist, andererseits stehen Nachbarländer im Bereich der langfristigen Holzverfügung vor ähnlichen Ausgangslagen.

Empfehlungen

- Prüfung von stofflichen Einsatzmöglichkeiten von Nadel- und Laubschwachholz entlang der Holzwertschöpfungskette. Schaffen von Entscheidungsgrundlagen für Forst- und Holzwirtschaft zu Verwendungsmöglichkeiten u.a. auch durch Holzaufschlussverfahren.
- Prüfung und Etablierung von Einsatz- und Absatzmärkten für Starkholzsortimente von Nadel- und Laubholz unter Berücksichtigung der logistische Bereitstellungskette und Verarbeitungsprozessen.
- Weitere Forschung zu Materialeigenschaften und Materialkennwerten zur Erschließung möglicher weiterer innovativer Einsatzgebiete.

Praxisbeispiele und Ansätze aus der Forschung

- Scrimber CSC – Rohplatten für die Herstellung von Brettsperrholz und Brettschichtholz: Potenzielle Verwendung von 90 % eines Baumes in tragenden Bauteilen durch den Einsatz niedriger Holzqualität. Rohplatten aus zusammengeklebten, in der Längsrichtung gerichteten Holzspreißen mit einem Klebstoffanteil von rund 5 %. Dadurch werden vergleichbare mechanische Eigenschaften wie bei Vollholz-Lamellen erzielt. Aktuell angedacht in den Baumarten Fichte, Tanne, Buche (Scrimber CSC, 2023).
- Hochschule Trier – Eichensystem, Erstellung eines Bauwerks mit einem neuartigen Tragsystem aus Eichenschwachholz: Entwicklung eines Verfahrens zur hochwertigen und langfristigen strukturellen Nutzung von bisher geringwertig verwendetem Eichenschwachholz (mit der Möglichkeit, dieses Konzept auf andere Sortimente von Laubschwachholz zu übertragen). Die Planung basiert auf der Verarbeitung von schwachem Laubholz mit minimalem Bearbeitungsaufwand durch nur wenige Verarbeitungsschritte im Sägewerk, ohne dabei auf technische Trocknungsverfahren angewiesen zu sein. Dieses innovative Ansatzkonzept dient als Grundlage für die Gestaltung von Tragwerken. Im Zuge des Projekts werden bisher unzureichend erforschte Materialeigenschaften ermittelt, die für die konstruktive Planung und Statik, bislang unvollständig untersucht, von Bedeutung sind. (Hochschule Trier, 2020).
- Fraunhofer-Institut WKI, Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt, Georg-August-Universität Göttingen – Nachhaltige Nutzungspotenziale für Kiefernstarkholz: Analyse neuartiger, umweltfreundlicher Ansätze zur Nutzung und Verwertung von Kiefernholzern in großen Dimensionen. Ziel ist die Entwicklung praxisorientierter Leitlinien, die Forstbetriebe dabei unterstützen, eine nachhaltige Bereitstellung von hochwertigem Kiefernstarkholz für die Holzindustrie sicherzustellen. Die Leitlinien sollen dazu beitragen, Investitionen in Anlagen zur Weiterverarbeitung von Kiefernstarkholz, wie z.B. Verarbeitungsanlagen, zu begründen und zu fördern. (FNR, 2021b).

- Rheinland-Pfälzische Technische Universität Kaiserslautern-Landau, Leibniz-Institut für Verbundwerkstoffe GmbH - Standardisierte Buchenholz-Hybridträger großer Spannweite: Forschung über die Nutzung von minderwertigen Buchenholzbrettern (aus dem Stammzentrum), um deren Potenzial in neuen Märkten zu demonstrieren und eine Grundlage für die Dimensionierung neu entwickelter, I-förmiger Einzelträger aus Buchenholz zu schaffen. Diese Träger sollen durch lös- und reversible Verbindungen zu angrenzenden Bauteilen standardisiert werden, um die Kohlenstoff- und Produktbindung zu erhöhen. Die Untersuchungen haben gezeigt, dass standardisierte und reversible I-förmige Hybridträger aus minderwertigem Buchenholz eine vielversprechende Alternative zu Stahlträgern oder Vollwandträgern aus Nadelholz darstellen könnten. (FNR, 2021c).
-

Handlungsfeld	Stoßrichtung
System Bauen	Kreislauffähiges Bauen

Durch klimatische Veränderungen wird das Rohholzaufkommen zukünftig über alle Baumarten sinken. Besonders Fichten, die viel im Bau eingesetzt werden, sind für zukünftige Bedingungen wenig geeignet, sodass sparsam mit den Ressourcen umgegangen werden muss. (vgl. Kapitel 4.5). In den vergangenen Jahren haben sich bereits viele Forschungsprojekte mit zirkulärem bzw. kreislauffähigem Bauen befasst und auch in der Praxis wurden mittlerweile einige Gebäude kreislauffähig realisiert. „Urban Mining“ („Die Stadt als Rohstoffquelle“), „Cradle to Cradle“ („Von der Wiege in die Wiege“) und der Einsatz von Recyclingbaustoffen sind Ansätze, durch die Material oder ganze Bauteile, die während eines Abrisses oder Sanierungsarbeiten frei werden, rückgebaut und wiederverwendet werden können. Ziel ist die Kaskadennutzung der Rohstoffe: Den Rohstoff so lange wie möglich auf verschiedenen Nutzungsstufen zu verwenden, bevor er der thermischen Verwertung zugeführt wird (Dechantsreiter et al. 2015). Damit kann zirkuläres Bauen auch einen Beitrag zur Schonung der Holzvorräte leisten.

Für kreislauffähiges Bauen sind die Bauteil- und Materialeigenschaften von besonderer Bedeutung. Verbindungen und Verklebungen sollten sich beispielsweise gut und ohne hohen Energiebedarf voneinander trennen lassen (Dechantsreiter et al. 2015). Bestimmte Bausysteme (bspw. Steckverbindungen aus Holz mit wenigen Metallbauteilen) sind deshalb für den Rückbau besser geeignet als andere.

Zirkuläres Bauen ist darum vor allem mit Holz bereits gut umsetzbar. Im Ingenieurholzbau ist ein großer Anteil der Gebäude bereits „von Natur aus“ wiederverwend- und rückbaubar. Ingenieurholzbau macht jedoch aktuell nur 4 % des Umsatzes von Holzbauunternehmen aus. Bei mehrgeschossigen Gebäuden wird zudem grundsätzlich immer noch wenig mit Holz gebaut (vgl. Kapitel 4.4).

Bei der Wiederverwendung von Holz findet aktuell ein hohes Downcycling statt. Vollholz wird beispielsweise zu Holzwerkstoffen verarbeitet. Altholz wird gehackt und in OSB-Platten eingesetzt oder sogar thermisch verwertet, anstatt stofflich genutzt zu werden. In Deutschland werden nur rund 25 % des Altholzes stofflich verwertet (vgl. Kapitel 4.2).

Wie Altholz eingesetzt werden darf, wird in Deutschland über die Altholzverordnung geregelt. Das Holz wird hierbei in verschiedene Kategorien (A1-PCB-Altholz) eingeordnet (BMUV 2017).

In Baden-Württemberg bestand im Jahr 2016 ein verbautes Materiallager in Gebäuden von rund 29 Mio. m³. Prognostiziert wurde, dass zwischen 2016 und 2030 rund 4,17 Mio. m³ unbehandeltes Holz und 214.000 m³ behandeltes Holz in den Gebäudepark von Baden-Württemberg fließen werden. Gleichzeitig werden 1,95 Mio. m³ unbehandeltem Holz und 260.000 m³ behandeltes Holz als Abfluss aus dem Gebäudepark erwartet (vgl. Kapitel 4.4). In Baden-Württemberg besteht somit bereits heute ein beträchtliches Potenzial für die Wiederverwertung von aktuell verbaulichem Holz.

Durch die Nutzung von BIM oder die digitale Erfassung aller im Gebäude verbauten Materialien und Bauteile (Materialpässe), lässt sich die Rückbaufähigkeit eines Gebäudes beurteilen, ohne eine stoffliche Untersuchung vornehmen zu müssen.

Herausforderungen

Abgesehen von einigen Leuchtturmprojekten steht der Re-Use von Materialien bei der Planung und Umsetzung von Gebäuden noch eher weniger im Fokus. So wird einerseits nicht darauf geachtet, in Systemen und mit Materialien zu bauen, die sich besonders für den Rückbau eignen (stattdessen werden Verbundstoffe, Metallbauteile und Beschichtungen eingesetzt). Andererseits werden Materialpässe, die genaue Informationen über die eingebauten Materialien und deren Beschaffenheit festhalten, nicht standardmäßig erstellt, sodass mehr Aufwand für die jeweilige Untersuchung anfällt. Diese Aspekte führen dazu, dass der Rückbau und die Wiederverwendung aktuell zu viele Arbeitsschritte und Energie benötigen und damit aufwändig und teuer werden.

Das oben genannte Downcycling stellt ebenfalls ein Problem dar. Durch die hohen Qualitätsanforderungen an Altholz und die strengen Reglementierungen der Altholzverordnung, kann es dazu kommen, dass Massivholz aufgrund seiner Beschichtung nur noch thermisch verwertet werden darf.

Empfehlungen

- Sensibilisieren und Bewusstsein schaffen zum Thema „Holzgebäude als Warenlager für künftige Rohstoffe“
- Sensibilisieren zu Holzrahmenkonstruktion (Mischkonstruktionen, durch DGI-Träger, Dreieckstrebenbinder, etc.), sowie dem Einsatz von leicht lösbaren Verbundtechniken
- Zusammenarbeit zwischen Planenden und ausführenden Betrieben stärken, und Erreichen einer verbesserten Standardisierung von Verbundstoffen und Bauteilen im Holzbau
- Prüfen von Handlungsmöglichkeiten, um Rückbaufähigkeit in der Planung seitens Politik zu stärken
- Wissensaufbau und Verbreitung zum Einsatz von Materialpässen und digitalen Zwillingen für Holzkonstruktionen
- Baurichtlinien und Normierungen für Altholz schaffen, um den verbauten Materialvorrat speziell an Fichte künftig als Rohstoffquelle zu etablieren
- Prüfen, inwiefern der Ersatz von Vollholzprodukten und Brettsperrholz bei langfristiger, kreislauffähiger Nutzung im Vergleich zu ressourceneffizienteren Produkten zu bewerten ist (Kohlenstoffspeicher, Verwendungsmöglichkeiten)

Praxisbeispiele und Ansätze aus der Forschung

- Rombach Bauholz + Abbund GmbH – NurHolz: Die Firma Rombach erstellt unter anderem Wand- Decken- und Dachelemente aus Fichte und Tanne, die ohne Metall oder Verleimung für den Massivbau eingesetzt werden können (Rombach, 2023).

- Karlsruher Institut für Technologie (KIT) - RoofKIT: Das RoofKIT-Team des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) befasst sich mit Gebäudedächern als große, ungenutzte Ressource. Durch die Anwendung von Urban Mining erkundet das Team neue Möglichkeiten, wie diese Flächen als potenzielle Bauflächen in Städten genutzt werden können. Für die Gebäude werden 100% erneuerbare Energien genutzt. Beim Bau wird darauf geachtet, nur kreislauffähige Konstruktionsdetails einzusetzen (RoofKIT, 2023)
 - TU Berlin - Museumspavillon: Der Pavillon wird vollständig aus wiederverwendeten Bauteilen und nachwachsenden Rohstoffen bestehen und soll als Austauschort zwischen Wissenschaft, Kunst und Gesellschaft dienen. Das Vorhaben wurde als Reallabor von einem inter- und transdisziplinären Projektbüro geplant. Seit 2023 ist das Projekt an der Stabsstelle Science and Society angesiedelt, welche die Umsetzung begleitet und später auch für den Betrieb zuständig sein wird. Die bauliche Fertigstellung des Museumspavillons ist für 2026 angestrebt (TU Berlin, 2024).
 - The Cradle Düsseldorf: Holzhybrid- Bürogebäude, welches nach dem Cradle-to-Cradle-Prinzip konzipiert wurde. Mit einem digitalen Zwilling des Gebäudes durch BIM sind die verwendeten Materialien in einem Materialpass festgehalten. Als erstes Projekt in Deutschland wurde dieses auf der Madaster-Plattform registriert, womit das Gebäude zu einem wertvollen, monetarisierten Rohstofflager für die Zukunft betrachtet werden kann (The Cradle, 2023; HPP Architekten, o. D.)
-

Handlungsfeld

Stoßrichtung

System Bauen

Ressourceneffizientes Bauen

In Deutschland, speziell jedoch in Baden-Württemberg, hat die Holzbauquote in der Vergangenheit stetig zugenommen. (vgl. Kapitel 4.3). Aus Holz gebaute Häuser dienen als CO₂-Speicher und können somit auf dem Weg zu Netto-Null unterstützend wirken. Da außerdem zukünftig mehr Wohnraum benötigt wird, bietet es sich an, vermehrt in Holz zu bauen, welches auch als CO₂-Speicher fungiert. Dies steht allerdings im Konflikt mit der Entwicklung des Rohholzaufkommens und dem effizienten Einsatz von zur Verfügung stehenden Ressourcen. Ziel muss deshalb sein, ressourceneffizient zu bauen. Dies bedeutet, mit einem geringeren Einsatz von Holz mehr Fläche zu schaffen.

Sowohl in der mineralischen als auch in der Holzbauweise werden aktuell mehr Ressourcen eingesetzt als notwendig. Um die Ressourceneffizienz zu steigern, bieten sich verschiedene Lösungsansätze an. Eine Möglichkeit besteht darin, innovative Bauweisen einzusetzen, die im Vergleich zu klassischen Bauweisen (bspw. Holzmassivbau) weniger Ressourcen bei gleicher Fläche benötigen. Beispiele hierfür sind die Holz-Hybrid-Bauweise, Mischung von Nadel- und Laubholz, Holz und mineralischen Elementen oder die Modulbauweise. Eine weitere Möglichkeit besteht darin, bereits vorhandene Gebäude aufzustocken. Holz eignet sich durch sein Gewicht hierbei besonders. Durch Aufstockungen können Neubauten vermieden werden, was einerseits dazu führt, dass weniger Ressourcen eingesetzt werden müssen, andererseits auch dazu, dass weniger Flächen versiegelt werden (vgl. Kapitel 4.3).

Um die Ressourceneffizienz zu steigern, kann in digitalen Planungsprozessen vermehrt auf KI- gestützte Algorithmen zurückgegriffen werden, die präzisere Modelle erstellen und somit ebenfalls dazu beitragen können, Ressourcen effizient einzusetzen.

Herausforderungen

Innovative Bauweisen und Techniken (wie beispielsweise der Einsatz von Fachkraftträgern aus Laubholz, der den Querschnitt verringern kann) sind zwar möglich, setzen allerdings viel Wissen voraus. Die am Markt etablierten Holzbauleistungen im niedergeschossigen Wohn- und Nicht-Wohnbereich werden mehrheitlich weiterhin in traditionellen Bauweisen erstellt. Zudem sind Bausysteme wie die Modulbauweise nicht immer geeignet. Diese eignet sich hauptsächlich für Hotels, Studierendenwohnheime etc., weniger für individuell geplante Gebäude.

Aktuell besteht außerdem ein Konflikt darin, einerseits möglichst viel Holz in einem Gebäude zu verbauen, um die CO₂-Speicherleistung zu steigern, und andererseits ressourceneffizient zu bauen, um weniger Holz je Gebäude einzusetzen. Fördermöglichkeiten, die grundsätzlich dazu animieren wollen, mehr mit Holz zu bauen (anstatt mineralisch) und pro kg verbaute Holz fördern, können ebenfalls dazu verleiten, mehr Holz einzusetzen, anstatt ressourceneffiziente Lösungen zu finden. Eine strategische Verknüpfung der konstruktiven Holzverwendung mit der Holzernte kann dazu beitragen den ressourceneffizienten Holzeinsatz und den Ausbau der Kohlenstoffspeicherung zu vereinen und so einen kontrollierten und

kontinuierlichen Waldumbau zu unterstützen und damit potentielle Kalamitätsauswirkungen abmildern.

Herkömmliche Zimmereien beschäftigen sich selten mit der Thematik der Verwendung anderer Baumarten, ressourceneffizienterem Bauen durch neue Technologien oder größeren und dadurch ressourceneffizienteren Gebäudeklassen, da sie oftmals nicht in Besitz der Kapazitäten und finanziellen Möglichkeiten sind.

Empfehlungen

- Förderung der Standardisierung im Holzbauwesen und Etablierung ressourceneffizienter, langfristiger Holzbauprodukte beziehungsweise Holzgebäude
- Prüfung von raumplanerischen Bebauungs- und Flächennutzungsplänen von Städten und Kommunen mit Fokus auf Aufstockungs- und Sanierungspotenzial
- Prüfung von Ansätzen zur Festlegung und Verankerung von Modulbauweisen bei Ausschreibungen
- Entwicklung von Optimierungsverfahren (bspw. Prüfen und Umsetzung computerbasierter Ansätze)

Praxisbeispiele und Ansätze aus der Forschung

- Universität Stuttgart - livMatS Pavillon Freiburg: Gebäude, dessen tragende Struktur aus robotisch gewickelten Flachfasern besteht. Durch die additive Fertigungsmethode (durch ICD und ITKE entwickeltes Wickelverfahren) fallen kein Abfall und Verschnitt an. Auf diese Weise wird eine hohe Materialeffizienz bei gleichzeitig hoher Tragfähigkeit erreicht (Universität Stuttgart, 2021).
 - Universität Stuttgart - Adaptives Hochhaus auf dem Campus Vaihingen: Durch den Einsatz von Technologie und Adaptivität in Tragwerken können Ressourcen und Emissionen im Lebenszyklus eingespart werden (Universität Stuttgart, 2021)
 - Berlin - MOKIB (Modulare Kita-Bauten Berlin): Gebäude in modularer Elementbauweise, vollständig aus Holz. Bauweise trägt dazu bei, die Kitas schnell, kostengünstig und ökologisch zu errichten (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung, Bauen und Wohnen, 2022).
-

Handlungsfeld

Stoßrichtung

Unterstützende Prozesse

Kapitallenkung in Richtung Klimaschutz

Der Klimawandel stellt die Forstwirtschaft vor große Herausforderungen. Steigende Schäden durch Trockenheit, Stürme und Schädlinge erfordern den Umbau der Wälder in klimastabile und nachhaltige Mischwälder. Dies ist mit erheblichen Investitionen und kontinuierlichen Innovationen in der Forstwirtschaft verbunden. Schätzungen gehen davon aus, dass die Folgekosten des Klimawandels in Deutschland bis 2050 auf bis zu 900 Milliarden Euro steigen könnten. Durch gezielte Maßnahmen zur Umgestaltung der Wälder, wie die Umwandlung in klimaangepasste Baumarten und die Optimierung der Waldbewirtschaftung, können diese Kosten jedoch deutlich gesenkt werden (BMEL, 2023).

Neben dem benötigten Kapital ist auch das benötigte Wissen eine Herausforderung für die Waldbesitzer. Der kalamitätsbedingte Ausfall von Erträgen verstärkt diese Herausforderung. Die verstärkte Nutzung von Laubholz im Bauwesen kann in diesem Zusammenhang für Entlastung sorgen. Laubholz ist ein klimastabiler und wertvoller Rohstoff, der im Vergleich zu Nadelholz eine Reihe von Vorteilen bietet, wie z. B. eine höhere CO₂-Speicherkapazität und bessere statische Eigenschaften. Die stoffliche Nutzung von Laubholz wird jedoch neben der Konkurrenz einer energetischen Nutzung auch durch die regulatorischen Rahmenbedingungen zur Verwendung von Laubholz konterkariert. Um die Verwendung von Laubholz im Bauwesen zu fördern, müssen Planungsansätze und Konstruktionsmethoden an die spezifischen Eigenschaften dieser Holzart angepasst werden (Knauf & Frühwald, 2020). Trotz der höheren Kosten für die Verarbeitung von Laubholz ist ein wettbewerbsfähiger Preis entscheidend. Konkurrierende Absatzmöglichkeiten zwischen stofflicher und energetischer Holzverwendung beeinflussen die Holznutzung (Knauf & Frühwald, 2020).

Die steigende Bedeutung von Nachhaltigkeitsbewertungen und die EU-Taxonomie fließen vermehrt in Entscheidungsprozesse ein und machen Holzbau zu einer attraktiven Alternative aufgrund seiner biogenen Kohlenstoffspeicherung und Anrechenbarkeit gemäß internationalen Abkommen (Hafner et al., 2017). Der Trend hin zu nachhaltigen Gebäuden und die Berücksichtigung von Lebenszykluskosten bieten neue Chancen für die verstärkte Nutzung von Laubholz im Bauwesen.

Herausforderungen

Neben dem benötigten Kapital ist auch das benötigte Wissen eine Herausforderung für die Anpassung von Waldflächen an den Klimawandel. Dies wird durch den kalamitätsbedingten Ausfall von Erträgen verstärkt. Mit der Entwicklung und Zulassung von neuen Bauprodukten sowie der Schaffung von Verarbeitungskapazitäten sind hohe Investitionskosten verbunden. Hier ist unklar wer diese trägt. Zudem konkurriert der Holzbau mit der mineralischen Bauindustrie, welche über eine starke Marktpräsenz verfügt. Hybridbauten können hier den Klimawandel sektorübergreifend bewältigbar machen.

Empfehlungen

- Förderung von vielversprechenden Investitionen zur Anpassung der Wälder an den Klimawandel, z. B. in die Entwicklung von Bauprodukten
- Förderung der Entwicklung und Zulassung neuer Bauprodukte und Technologien
- Monetarisierung der CO₂-Speicherleistung von Wald- und Holzprodukten
- Förderung der Hybridbauweise

Praxisbeispiele und Ansätze aus der Forschung

- Triodos Bank - Bio-basierte Hypotheken: In den Niederlanden hat die Triodos Bank im Jahr 2022 biobasierte Hypotheken eingeführt. Diese sollen Eigentümerschaften anregen, ökologische, nachwachsende Baumaterialien zu verwenden. Dafür wird ein reduzierter Zinssatz für die Hypothek vereinbart. Das Bauen mit nachwachsenden Rohstoffen wird durch tiefere Zinssätze wirtschaftlich attraktiver und fördert den Einsatz solcher Rohstoffe. Mit dem Angebot erstellt die Triodos Bank jedoch eine Win-Win Situation zwischen Eigentümerschaften (und Investorinnen und Investoren) sowie der Bank selbst. Mit der Förderung biobasierter Gebäude reduziert die Bank ebenfalls die Umweltbelastung ihres eigenen Portfolios (Triodos Bank, 2022).
 - Swiss Timber Finance Initiative - Finanzprodukte für die Wald- und Holzwirtschaft: Im April 2023 wurde von der Swiss Timber Finance Initiative der „Timber Finance Forest-based Construction Basket“ als Tracker Zertifikat zur Zeichnung aufgelegt. Dieses umfasst einen Aktienkorb von ausgewählten Unternehmen entlang der Holzwertschöpfungskette, welche einen Fokus auf die CO₂-Speicherung in langlebigen Holzbauprodukten legen. Damit wird unter anderem eine „[...] neue thematische Investmentstrategie in das bisher kaum erschlossene Titeluniversum der modernen Wald- und Holzindustrie gebracht“ (Swiss Timber Finance, 2023a). Ein weiteres Vorhaben beinhaltet die Entwicklung eines CO₂-Speicherzertifikats, welches in der Waldwirtschaft und dem Holzbau in die Umsetzung kommen soll. Dieses soll am freiwilligen CO₂-Markt angeboten werden, wobei die CO₂-Zertifikate die langfristige Kohlenstoffspeicherung in Gebäudestrukturen messen, monetarisieren und handelbar machen sollen (Swiss Timber Finance, 2023b).
 - BAFU - Förderung biologische Sequestrierung in Holzprodukten: Anrechenbarkeit von CO₂-Senkenleistungen der Holzwirtschaft mittels gezielter Maßnahmen, die den Kohlenstoffspeicher im Holz vergrößern (SSH, kein Datum). Dabei werden teils ohne Förderung unwirtschaftliche Maßnahmen der Forst- und Holzwirtschaft durch die Anrechnung von CO₂-Speicherleistung mitfinanziert. Beispiele sind die Abnahme und Verarbeitung von Holz mit minderer Qualität, Unterstützung der Holznutzung in schwer zugänglichen Gebieten oder eine optimierte Holzsortierung zur Erhöhung der Qualität der Endprodukte (SSH, 2020). Seit Projektbeginn im Jahr 2014 wurden insgesamt Investitionen von fast 330 Mio. CHF ausgelöst, was zu Produktionssteigerungen von Schnittholz, Hobelwaren, Leimholz und Platten geführt hat (SSH, 2023).
-

Handlungsfeld

Stoßrichtung

Unterstützende Prozesse

Verarbeitungskapazitäten

In Baden-Württemberg beschäftigen Holzbauunternehmen und Zimmereien durchschnittlich rund sieben Beschäftigte und bauen überwiegend im tiefgeschossigen Gebäudebereich (vgl. Kapitel 4.3). Deutschlandweit wird gemäß Holzbau Deutschland (2023) der größte Anteil des Umsatzes mit Bestandsmaßnahmen erwirtschaftet (vgl. Kapitel 4.3). Für die Umsetzung von mehrgeschossigen Gebäuden sind höhere Anforderungen und finanzielle Mittel eine Voraussetzung, wobei nur eine geringe Anzahl Unternehmen umfangreiche Bauprojekte realisieren kann (Hafner et al., 2017). Als Hemmnis wird von Purkus et al. (2020) der hohe benötigte Vorfinanzierungsgrad genannt, ebenso wie der Umgang mit finanziellen Risiken für größere Bauvorhaben speziell für kleinere Unternehmen. Wie in Kapitel 4.4 aufgezeigt, schätzen Expertinnen und Experten, dass eine Veränderung und Investitionstätigkeit bei den Unternehmen beobachtet werden kann. Gesteigerte Kapazitäten von Holzbauunternehmen und Zimmereien hätten gemäß Hafner et al. (2017) einen „[...] direkten Einfluss auf die Marktsituation von Holzgebäuden, insbesondere im Bereich des mehrgeschossigen Holzbaus“. Aktuell wird im mehrgeschossigen Leistungsbereich Laubholz häufiger verwendet als im niedergeschossigen Bereich, weshalb der Ausbau von Verarbeitungskapazitäten und die verstärkte Umsetzung von größeren Bauvorhaben zu verstärktem Laubholzeinsatz führen könnten.

Herausforderungen

Als Engpass für die die Steigerung des Holzbauanteils wird die Branche selbst beschrieben, da größere Vorhaben nur von wenigen Unternehmen umgesetzt werden können. Purkus et al. (2020) beschreiben den Eintritt in die neuen Geschäftsfelder und Kapazitätssteigerung als „graduelle Prozesse“, wobei durch die steigende Nachfrage nach Holzgebäuden von lokalen Kapazitätsengpässen berichtet wird. Dies wird unter anderem dadurch begründet, dass auch Unternehmen mit höherer Kapazität in den traditionellen, etablierten Tätigkeiten ausgelastet sind und dadurch die Umsetzung von größeren Projekten geschwächt ist. Weiter ausgeführt wird, dass beispielsweise gemäß Ohnesorge et al. (2019) die Engpässe nicht aufgrund fehlender Produktionskapazitäten, sondern im Raum Berlin durch fehlende regionale Fachkräfte in der Planung und Montage bestehen. Als weitere Herausforderung wird von Hafner et al. (2017) auch ein fehlendes Wissen der Planenden beschrieben. Die Kapazitätsengpässe wirken sich gemäß Purkus et al. (2020) möglicherweise negativ auf die Wettbewerbsfähigkeit des Holzbaus auf.

Empfehlungen

- Anreize für die Steigerung von Kapazitäten schaffen und unternehmerische Mentalität fördern
- Kooperationen zwischen verschiedenen Holzbauenden anstoßen, um gemeinschaftliche Projekte mit erhöhten Kapazitäten (finanziell und personell) optimiert einsetzen zu können
- Kooperationen zwischen Holzbauunternehmen und mineralischen Bauunternehmen als interessantes Geschäftsmodell beider Akteure zur Förderung von Holzbau und Etablierung eines effizienten Einsatzes von Ressourcen

	Handlungsfeld	Stoßrichtung
	Unterstützende Prozesse	Rahmenbedingungen Zulassungen Normierung

Für den Einsatz von Bauprodukten müssen die Holzarten einer Sortier- und Festigkeitsklasse nach DIN EN 1912 zugeordnet sein. Darüber hinaus bestehen Möglichkeiten, andere Holzarten für Baustoffe einzusetzen, durch allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen und europäisch-technische Bewertungen. Als weitere Option kann eine Zustimmung im Einzelfall erfolgen. Die Normen ermöglichen einheitliche Bemessungs- und Anforderungsgrundlagen der Materialkennwerte für Baustoffe, was den Einsatz vereinfacht (Hafner et al., 2017). Diese müssen aufgrund von Produkt- und Prozessinnovation jedoch ständig weiterentwickelt werden, um den aktuellen Anforderungen zu entsprechen. Für Planende ist dabei die Verfügbarkeit von Angaben neuer Entwicklungen wichtig, da dies gemäß Hafner et al. (2017) ansonsten zu „Unsicherheiten bezüglich der Notwendigkeit einer zusätzlichen Nachweisführung und somit zu einer schlechten Anwendbarkeit bestimmter Produkte und Konstruktionen sowie einer schlechteren Wettbewerbsfähigkeit“ führen kann.

Neben der Normierung und Zulassung von Bauprodukten bestehen bei größeren Vorhaben (mehrgeschossig) ebenfalls steigende baurechtliche Anforderungen. Dabei sind speziell Themen wie Brandschutz in größeren Gebäudeklassen ein Thema. Die maßgebenden Regelwerke sind dabei die Musterbauordnung (MBO), die jeweilige Landesbauordnung (LBO) und auch die Muster-Holzbaurichtlinie MHolzBauRL.

Neben den Rahmenbedingungen der Entwicklung und Rahmenbedingungen von Bauprodukten und Gebäuden im Kontext neuer Holzarten stellt anfallendes Altholz eine weitere bedeutende Rohstoffquelle dar. Die Anforderungen an eine stoffliche und energetische Verwertung (und die Beseitigung) wird in der Altholzverordnung geregelt. Altholz wird darin in Abhängigkeit von der Schadstoffbelastung in vier Kategorien A I bis A IV unterteilt, wobei je nach Kategorie unterschiedliche Anforderungen an die stoffliche Verwendung und energetische Verwertung gelten. Das Altholzvolumen im Jahr 2016 bestand zu 38 % aus der Kategorie A I und zu 50 % aus der Kategorie A II. Dies entspricht den beiden Altholzkategorien, die stofflich sowie energetisch genutzt werden können (Flamme et al., 2020). Im Vergleich dazu wurden jedoch insgesamt 79 % energetisch verwertet, 15 % stofflich verwendet und 6 % beseitigt (Flamme et al., 2020).

Herausforderungen

Im Kontext des klimabedingt künftig veränderten Holzaufkommens scheint die Verfügbarkeit und Aktualität der Normierung von Holzarten für Bauprodukte inklusive Materialkennwerte essenziell. Gemäß Hafner et al. (2017) weichen Unternehmen mit neuen Produkten bis zur nächsten Revision der Normierung auf „eigene Zulassungen und Bemessungsangaben aus“, welche die Bauprodukte weiter differenziert und Kennwerte produktgebunden bemisst. Befragungen von Purkus et al. (2020) schätzen die Vertretungen von „Holzbaubelangen“ in Normungsprozessen als gut ein, wobei die Vertretungen von mineralischen Bauweisen als stärker gewichtet eingeschätzt werden.

Dies wird zwar auf tiefere personelle und finanzielle Kapazitäten für Normenarbeiten des Holzbaugewebes zurückgeführt, es wird aber mit fortschreitendem Branchenwachstum auch von einer Steigerung der Kapazitäten ausgegangen.

Die Altholzverordnung bezeichnet sowohl die stoffliche als auch die energetische Verwertung von Altholz als hochwertig. Die Nutzungsarten sind somit in der Abfallhierarchie gleichgestellt (BMUV, 2017). Durch die Einführung des Kreislaufwirtschaftsgesetzes sowie den rechtlichen und technischen Entwicklungen seit dem Inkrafttreten der Altholzverordnung bedarf diese einer Novellierung (Flamme et al, 2020). Am 24. April 2020 wurde vom BMU ein Diskussionsentwurf für die Novelle der Altholzverordnung vorgelegt (BMUV, 2020).

Empfehlungen

- Förderung von Bemessungswerten für Holzarten und Produkte und Stärkung der Normungsarbeit im Rahmen des künftigen Holzaufkommens
 - Stärkung der Rahmenbedingungen für Wiederverwendung von Altholz und stoffliche Verwertung in kaskadischer Nutzung
-

	Handlungsfeld	Stoßrichtung
	Unterstützende Prozesse	Standardisierung Digitalisierung

Das Holzbauwesen setzt traditionell Vorhaben mit einem hohen Individualisierungsgrad um, wobei eine Vielzahl von Ausführungsmöglichkeiten bestehen und unterschiedliche Materialkombinationen genutzt werden (Purkus et al., 2020). Planende benötigen für die Bemessung in der Holzbauweise ein breites Fachwissen zu „[...] Statik, Bauphysik, Brandschutz und Schallschutz sowie einen hohen Detaillierungsgrad von Übergängen und Anschlussbereichen“ (Hafner et al., 2017). Dies resultiert unter anderem in einem höheren Aufwand in der Detailplanung und verzögert den Planungsprozess. Zusätzliche Standardisierung ermöglicht Planenden und Ingenieurinnen und Ingenieuren einen einfacheren Zugang zu Holzbau und „erleichtert die Wahl und Ausführung von Holzkonstruktionen“ (Hafner et al., 2017). Der geringe Standardisierungsgrad wird jedoch nicht nur als Hemmnis für Planende wahrgenommen, sondern auch für Genehmigungsbehörden (Purkus et al., 2020). Durch standardisierte Lösungen würden Verwendbarkeitsnachweise wegfallen, wenn diese den „technischen Baubestimmungen und allgemein anerkannten Regeln der Technik entsprechen“ (Purkus et al. 2020). Weiter wird ausgeführt, dass dadurch ebenfalls die Kompatibilität verschiedener Anbieter ermöglicht wird. Der benötigte Standardisierungsbedarf wirkt sich grundsätzlich positiv auf das Holzbauwesen aus. Im Kontext der klimabedingten Veränderung des Holzaufkommens (vgl. Kapitel 4.2) und möglicher neuer Produktinnovationen (Holzarten, Sortimente) wird der Standardisierungsbedarf als wichtig bewertet. Dazu werden positive Auswirkungen auf die Rückbaufähigkeit und somit die stoffliche Wiederverwendung von Altholz gesehen.

Im Kontext der Standardisierung wird zudem Digitalisierung ein gewisses Potenzial zugeschrieben. Durch das Anwenden von Building Information Modelling (BIM), wird von effizienteren Planungsphasen ausgegangen (Kind et al, 2022). Gleichzeitig könnte durch ein verbreitetes Anwenden von BIM das Verwenden von nichtstandardisierten Elementen höhere Kosten bedeuten (Purkus et al, 2020). Mit BIM könnten digitale Zwillinge erstellt werden, die als Dokumentation von Materiallagern von Gebäuden genutzt werden. Neben der Digitalisierung gewinnen Automatisierung und Robotik an Bedeutung. Für den durch die klimabedingte Rohstoffveränderung ausgelösten Anpassungsbedarf für die Akteure des Clusters Forst-Holz bestehen dabei Potenziale entlang der gesamten Holzwertschöpfungskette. Volk et al. (2022) beschreiben Zeit- und Kostenvorteile durch den Einsatz von Robotik, beispielsweise für „Zuschnitt, Fräsen, Kleben/Verputzen, Bohrungen, und Hilfe beim Materialhandling“, was einerseits im Kontext der aktuellen Verarbeitungsprozesse, andererseits aber auch für Umstellungen auf andere Holzarten mit anderen Materialeigenschaften als unterstützend bewertet werden kann.

Einschätzung Handlungsfelder und Stoßrichtungen

Insgesamt zeigen die erarbeiteten Handlungsfelder und Stoßrichtungen auf, dass die Akteure der Holzwertschöpfungskette einerseits auf die künftigen Baumarten- und Holzsortimente vorbereitet werden können. Andererseits, dass über einen effizienten und kreislauffähigen Bau mit Holz weniger Ressourcen verwendet werden können oder der Gebäudepark als Rohstoffquelle benutzt werden kann. Bei einigen Stoßrichtungen bestehen aufgrund der Resultate und dem Fokus der Studie Lücken, beispielsweise in den Herausforderungen und Empfehlungen für die Standardisierung und Digitalisierung im Holzbauwesen. Grundsätzlich weisen der Status Quo, die Herausforderungen, Empfehlungen und Praxisbeispiele sowie Ansätze aus der Forschung innerhalb dieser Studie darauf hin, dass die Anpassungen aufgrund der klimabedingten Veränderung aktuell in erster Linie auf einer prozessualen, marktstrukturellen sowie einer Wissens- und Bewusstseins-Ebene liegen. Die technische Umsetzung und Verfügbarkeit wie beispielsweise die Verfügbarkeit von Maschinen und Werkzeugen scheint aktuell als zweitrangig zu gelten.

6 Fazit und Handlungsempfehlungen

6.1 Ausgangslage und Ziele

Der Wald in Baden-Württemberg ist von entscheidender Bedeutung für das Cluster Forst- und Holzwirtschaft, das verschiedene Akteure aus Forstwirtschaft, Holzverarbeitungsindustrie, Forschung, Bildung und staatlichen Institutionen vereint. Aufgrund des Klimawandels und der dafür erforderlichen Waldumbaumaßnahmen stehen die Akteure der Wertschöpfungskette vor neuen Herausforderungen. Das Ziel ist die langfristige Sicherung des Rohstoffs Holz, der Schutz des Ökosystems als Lebensraum und die Stärkung der wirtschaftlichen Wertschöpfung bei gleichzeitiger Erfüllung von weiteren gesellschaftlichen Ansprüchen.

Diese Metastudie analysiert den aktuellen Zustand und die vergangene Entwicklung des Waldes und des Clusters Forst-Holz, betrachtet die künftige Entwicklung des Waldes und identifiziert Handlungsfelder für die nähere Zukunft des Clusters. Es wurden bestehende Waldentwicklungsszenarien und Szenarien für Nutzungspotenzial, Holzverbrauchsentwicklung und Aufkommensprognosen zusammengestellt und aufbereitet. Damit ist der aktuelle Wissens-, Technik- und Sachstand der Wertschöpfungskette erfasst, insbesondere in Bezug auf klimabedingte Veränderungen des Waldes und den verstärkten Einsatz von Laubholz.

6.2 Verfügbarkeit und Verwendung von Holz

Die WEHAM-Modellierung prognostiziert die Entwicklung des Waldes und das potenzielle Rohholzaufkommen von 2013 bis 2052 in zwei Szenarien: Das Holzpräferenzszenario (HPS) senkt den Holzvorrat, um das Rohholzaufkommen zu steigern, während das Naturschutzpräferenzszenario (NPS) auf den Erhalt der Biodiversität und Naturschutzleistung fokussiert ist, was mit einem Anstieg des Holzvorrats einhergeht.

Beim HPS wird eine verstärkte Holznutzung erwartet, jedoch folgen nach dem Abbau der Ressourcen deutliche Rückgänge bei Kiefern, Buchen und Fichten, während Starkholz, mittelstarkes Holz und Schwachholz insgesamt reduziert werden. Beim NPS ist das mittlere Rohholzpotenzial etwas niedriger, jedoch werden Kiefern, Fichten und Buchen weiterhin ein gewisses Mengenpotenzial aufweisen, während Starkholz zunimmt und mittelstarkes Holz sowie Schwachholz abnehmen.

Der Trend zu laubholzreicheren Wäldern wird sich voraussichtlich beschleunigen. Der Wald spielt eine entscheidende Rolle als Kohlenstoffspeicher im Klimawandel, ist aber auch von dessen Auswirkungen betroffen. Es ist entscheidend, Wälder für die Zukunft vorzubereiten, indem standortgerechte Mischwälder angelegt werden und Anpassungsmaßnahmen kontinuierlich überprüft und angepasst werden. Bis 2052 werden sich die Rohholzaufkommen insgesamt reduzieren, was auch die Zusammensetzung der Baumartenanteile und Qualitäten verändern wird, was Auswirkungen auf die verfügbaren Rohholzsortimente hat.

6.3 Wirtschaftliche Bedeutung von Holz

Das Cluster Forst-Holz verzeichnet über die letzten 20 Jahre eine positive gesamtwirtschaftliche Entwicklung. Obwohl in Baden-Württemberg ein Rückgang der Beschäftigtenzahl und der Anzahl Unternehmen zu beobachten war, stiegen gleichzeitig der Umsatz und die Bruttowertschöpfung. Diese strukturellen Veränderungen im Cluster haben sich positiv auf die Produktivität ausgewirkt, was sich im Jahr 2020 in der höchsten Bruttowertschöpfung je beschäftigter Person widerspiegelte.

Allerdings reduzierte sich die Bruttowertschöpfung der Forstwirtschaft zwischen 2018 und 2020 um rund 44 %. Diese Entwicklung kann auch auf steigende Kalamitätsraten zurückgeführt werden. Wird der klimabedingte Holzeinschlag weiter zunehmen und sich der Trend zur erhöhten Nachfrage nach Holzprodukten fortsetzen, stellt dies das Cluster Forst-Holz vor besondere Herausforderungen.

6.4 Holzbau und die Bedeutung von Laubholz

Von der Forstwirtschaft bis hin zum Holzbau liegt der Fokus eindeutig auf Nadelholz. In der Forstwirtschaft Baden-Württembergs macht Nadelholz 75 % des Holzeinschlags aus, während die Sägeindustrie zu 98 % Nadelholz verarbeitet. Auch in der Industriestruktur setzen sämtliche Großbetriebe auf Nadelholz, und in der Holzwerkstoffindustrie stammt 88 % des Industrieholzes aus dieser Holzart. Selbst im Baugewerbe besteht ein hoher Anteil von 86 % an verbautem Nadelholz.

Die Holzwerkstoffherstellung in Deutschland verbrauchte 2020 rund 15,8 Mio. m³ Faserholz, hauptsächlich aus Sägenebenprodukten. Industrieholz, vorwiegend aus der nadelholzverarbeitenden Industrie, machte ebenfalls einen bedeutenden Anteil aus. Während die Verwendung von Laubindustrieholz von 2015 bis 2020 um etwa 73 % zurückging, stieg die Nutzung von Altholz im gleichen Zeitraum um fast 34 %. In der Holzwerkstoffindustrie hat Laubholz ein enormes Potenzial: Aus technischer Perspektive wäre ein Laubholzanteil von ca. 75 % möglich.

Baden-Württemberg ist deutschlandweit führend im Holzbau, mit rund einem Drittel der Wohngebäude, die hauptsächlich aus Holz gebaut werden, was über 10 % über dem Bundesdurchschnitt liegt. Der Holzbau ist vor allem bei Einfamilienhäusern und Gebäuden bis Gebäudeklasse 3 verbreitet und hat sich als konkurrenzfähig erwiesen. Allerdings gibt es noch Herausforderungen beim Einsatz von Holz in mehrstöckigen Gebäuden ab Gebäudeklasse 4. Neben dem Neubau sind auch Bestandsbauten und Modernisierungsprojekte wichtige Bereiche für den Holzbau. Trotz der Vorteile von Laubholz wie flächendeckende Verfügbarkeit und niedrigere Rohstoffpreise gibt es Hindernisse wie höhere Verarbeitungskosten und rechtliche Beschränkungen, die den Einsatz begrenzen. Dennoch bietet Laubholz Möglichkeiten für schlankere und materialeffizientere Konstruktionen sowie geringere VOC-Emissionen und stellt eine wichtige Erfahrungsbasis für zukünftige Klimawandelszenarien dar.

6.5 Erkenntnisse aus dem DACH-Raum

In Deutschland, Österreich und der Schweiz zeigt sich eine deutliche Präferenz für die stoffliche Verwendung von Waldholz. Etwa zwei Drittel des Holzeinschlags in Deutschland und Österreich sowie rund die Hälfte in der Schweiz werden primär stofflich genutzt, was im Vergleich zu anderen Ländern eine recht hohe Quote darstellt. Allerdings gibt es in allen drei Ländern Raum für Verbesserungen und eine Optimierung der Holznutzung.

Besonders bemerkenswert ist die kaskadenartige Nutzung von Sägenebenprodukten in Deutschland, die einen bedeutenden Beitrag zur stofflichen Verwertung von Holz leistet. Mit knapp 72 % weist Deutschland die höchste stoffliche Nutzung von Sägenebenprodukten im Vergleich zu Österreich und der Schweiz auf. Diese hohe Effizienz in der Nutzung von Holzresten spiegelt die fortschrittlichen Strukturen und Absatzmöglichkeiten entlang der Holz-Wertschöpfungskette in Deutschland wider.

Im Bereich der stofflichen Altholzverwertung zeigt sich ein differenzierteres Bild. Österreich nimmt hier eine führende Rolle ein, indem über 70 % des Altholzes stofflich wiederverwendet werden, hauptsächlich durch Recycling in der Holzwerkstoffindustrie. Deutschland hingegen nutzt nur rund ein Viertel des Altholzaufkommens erneut stofflich, während in der Schweiz aufgrund fehlender Kapazitäten das Altholz entweder thermisch genutzt oder exportiert wird.

Trotz des Schwerpunkts auf stoffliche Nutzung bleibt die energetische Verwertung von Holz in allen drei Ländern hoch. Deutschland und Österreich zeichnen sich jedoch durch eine besonders ausgeprägte kaskadenartige Nutzung des Rohstoffs Holz aus, was auf eine effiziente und nachhaltige Holzverarbeitung hinweist.

6.6 Handlungsfelder und Stoßrichtungen

Die Analyse der aktuellen und zukünftigen Entwicklung des Waldes und der Analyse der Holzverwendung auf verschiedenen Stufen sowie der Erkenntnisse aus den Interviews ermöglichte die Identifizierung und Ausarbeitung konkreter Handlungsfelder und Stoßrichtungen.:

■ Zukunftsfähige Bauprodukte

- **Einsatz künftiger Baumarten**
Etablieren von zukunftsfähigen Baumarten – standortgerecht, robust, klimawandelangepasst, schnellwachsend, vielseitig, bodenschützend etc. – mit Fokus auf einem erhöhten Anteil an Laubholzbauprodukten auf dem Markt und entlang der Wertschöpfungskette
- **Einsatz von Alt- und Kalamitätsholz**
Entwickeln von hochwertigen Nutzungsmöglichkeiten für Kalamitätsholz, indem Hindernisse für die Beteiligung von Planenden und Eigentümern beseitigt und Lagerkapazitäten bereitgestellt werden
- **Einsatz von Stark- und Schwachholz**
Etablierung von Absatz- und Verwendungsmöglichkeiten für Stark- und Schwachholzsortimenten, um den Rückgang des Rohholzaufkommens entgegenzuwirken und den Anteil dieser Holzsortimente in eine wertschöpfende, stoffliche Nutzung zu steigern.

■ Weiterentwicklung System Bauen

– Kreislauffähiges Bauen

Erschließung und Stärkung des Gebäudeparks als Rohstoffquelle für die Zukunft, indem eine möglichst hochwertige Wiederverwendung durch kreislauffähiges Bauen ermöglicht und durch digitaler Materialpässe erleichtert wird

– Ressourceneffizientes Bauen

Durch effizienten Einsatz von Holz mit einem gleichbleibenden oder niedrigeren Holzverbrauch grundsätzlich ein höheres Volumen an geschaffenem (Wohn-)Raum erzielen

■ Unterstützende Prozesse

– Kapitallenkung in Richtung Klimaschutz

Bereitstellung von Investitionen und Innovationen für den Aufbau von resistenten und resilienten Wäldern, um die stoffliche Nutzung von Holz zu fördern und langfristig sicherzustellen

– Steigerung der Verarbeitungskapazitäten

Schaffen von Anreizen zur Steigerung von Kapazitäten und Förderung unternehmerischer Mentalität, während Kooperationen zwischen verschiedenen Akteuren im Holzbausektor angestoßen werden, um gemeinsame Projekte mit optimierten Ressourcen (finanziell und personell) umzusetzen.

– Rahmenbedingungen, Zulassungen, Normen

Förderung von Bemessungswerten für Holzarten und Produkte sowie Stärkung der Normungsarbeit im Hinblick auf das zukünftige Holzaufkommen, ergänzt durch die Verbesserung der Rahmenbedingungen für die Wiederverwendung von Altholz und die stoffliche Verwertung im Rahmen einer kaskadischen Nutzung

– Standardisierung und Digitalisierung

Einfache und rasche Bereitstellung von Wissens- und Datengrundlagen für den ressourceneffizienten Einsatz künftiger Baumarten und Erhöhung der Kreislauffähigkeit von Gebäuden mittels Materialpässen

Die identifizierten Handlungsfelder verdeutlichen die Notwendigkeit, das reduzierte Rohholzaufkommen von Fichte durch die Förderung zukünftiger Baumarten und Holzsortimente zu kompensieren, basierend auf sich ändernden Verfügbarkeiten im Wald. Gleichzeitig weisen sie darauf hin, dass alternative Rohstoffquellen, wie kreislauffähiges Bauen, erschlossen werden müssen, um den Rückgang des Rohholzaufkommens auszugleichen. Diese Maßnahmen könnten unterstützende Prozesse in der Holzwertschöpfungskette initiieren, die zwar nicht unmittelbar mit den klimabedingten Veränderungen im Wald zusammenhängen, aber die Umsetzung der Hauptstoßrichtungen positiv beeinflussen könnten.

6.7 Handlungsempfehlungen

Um die Akteure der Wertschöpfungskette auf die ausgewiesenen Veränderungen des Rohholzaufkommens vorzubereiten und ihnen Spielräume und Anregungen für mögliche Maßnahmen aufzuzeigen, werden folgende übergeordneten Handlungsempfehlungen abgegeben:

Weiterentwicklung der Holzstoffströme mit Fokus auf einer langfristigen, stofflichen und kaskadischen Nutzung von Holz:

Die Holzwertschöpfungskette in Deutschland ist bereits heute kaskadisch über mehrere Nutzungsstufen aufgestellt. Mit steigendem Laubholzanteil hat sich in den letzten 20 Jahren jedoch die energetische Nutzung von Holz erhöht und liegt heute bei etwa einem Viertel des Waldholzes, beim Altholz sind es gar rund 80 % energetische Nutzung. Der Blick auf Österreich zeigt, dass eine höhere stoffliche Nutzung von Waldholz und Altholz gut möglich ist. Für die Akteure müssen umfassende Entscheidungsgrundlagen geschaffen werden, um die energetische und stoffliche Nutzung sowie mögliche Einsatzmöglichkeiten bewerten zu können. Ein wichtiger Ansatz für die höhere stoffliche Nutzung ist die Schaffung von Lagerungs- und Logistikmöglichkeiten für Kalamitätsholz, damit dieses zeitlich und örtlich passgenau zur Verfügung steht.

Substitutionspotenziale von Nadelholz im Holzbau und anderen Einsatzbereichen:

Im Cluster Forst-Holz besteht eine überwiegende Abhängigkeit von Nadelholz für stoffliche Einsatzzwecke. Für den Holzbau wurden in der vorliegenden Arbeit anhand einiger Praxisbeispiele und Ansätze aus der Forschung mögliche Entwicklungen zum verstärkten Einsatz von Laubholz beispielhaft aufgezeigt. Um die Nachfrage von Nadelholz zu entlasten, sollten Substitutionspotenziale von Nadelholz clusterübergreifend betrachtet und umgesetzt werden. Somit wird die Substitution von Nadelholz für verschiedene Einsatzmöglichkeiten vorangetrieben.

Grundlagen für ein Umfeld für Investitionen schaffen:

Der künftig verstärkte Einsatz von Laubholz und eine anzustrebende Ausrichtung von Unternehmen auf zukunftsfähige Holzarten sind mit einige Unsicherheiten verbunden. Deshalb ist es notwendig, einerseits Informationen zur Rohstoffverfügbarkeit (Holzsortimente und Baumarten) und deren langfristigen Bereitstellung, der Materialkennwerte sowie Einsatz- und Absatzmöglichkeiten bereitzustellen. Andererseits sind neue Fachkompetenzen gefragt sowie die Bereitschaft, Kooperationen zwischen Unternehmen entlang der Wertschöpfungskette aber auch zwischen Unternehmen und der Forschung einzugehen. Damit reduzieren sich Risiken und es erhöht die Bereitschaft für Investitionen.

Sensibilisierung und Öffentlichkeitsarbeit für gestärktes Bewusstsein:

Das Bewusstsein für die positiven Wirkungen der Wald- und Holznutzung als Instrument für die Reduktion und Speicherung von Kohlenstoff, aber auch die Auswirkungen des Klimawandels auf den Wald sollte weiter gestärkt werden. Dabei muss die gesamte Bandbreite der Gesellschaft abgeholt und ein Verständnis für Holz als Roh-, Werk- und Baustoff etabliert werden. Zudem müssen Akteure entlang der Holzwertschöpfungskette ein Bewusstsein für die anstehenden Veränderungen im Wald entwickeln, das über die derzeitige hohe Verfügbarkeit von Nadelholz (Kalamitätsholz) hinausgeht. Es ist wichtig, den aktuellen Einsatz von Kalamitätsholz, die zukünftige Verfügbarkeit verschiedener Baumarten sowie die künftige Verfügbarkeit von Holzsortimenten durch geeignete Kommunikationsmittel zielgruppengerecht zu adressieren. Gleichzeitig sollte die Idee des Gebäudeparks als Materiallager in diesem Zusammenhang betont werden.

7 Quellenverzeichnis

- Aicher, S. (2014): Laubholzprodukte und -anwendungen im Bauwesen – Aktueller Stand in Europa. 20. Internationales Holzbau-Forum 2014.
- Amt für Landschaft und Natur (ALN) des Kantons Zürich. Förderung von Holz als Bau- und Werkstoff im Kanton Zürich. 2022
- Architektenkammer Baden-Württemberg (2022): TYP E WIE EINFACH? PERSPEKTIVEN EINES NEUEN GEBÄUETyps. PDF. Verfügbar auf: <https://www.akbw.de/themen/gebaeude-typ-e>
- BAFU (2021): Jahrbuch Wald und Holz
- Becher, Georg (2014): Clusterstatistik Forst-Holz. Tabellen für das Bundesgebiet und die Länder 2000 bis 2012. Thünen Working Paper 32. Thünen-Institut für Internationale Waldwirtschaft und Forstökonomie. Hamburg.
- Becker, K.; Radovic, B. (2022): INFORMATIONSDIESNT Holz spezial Januar 2022: Baustoffe für den konstruktiven Holzbau. Informationsverein Holz e.V. [Hrsg.], 11. überarbeitete Auflage: Januar 2022, Düsseldorf.
- berchtholdkrass space&options (2021): Potenzialanalyse Wohnen Stuttgart, Schlussbericht. Herausgeberin: Landeshauptstadt Stuttgart, Amt für Stadtplanung und Wohnen. Stuttgart.
- BMEL Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (2012). Ergebnisse der Bundeswaldinventur 2012.
- BMEL Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (2016). Wald und Rohholzpotenzial der nächsten 40 Jahre. Ausgewählte Ergebnisse der Waldentwicklungs- und Holzaufkommensmodellierung 2013 bis 2052.
- BMEL Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (2020): AltholzV, Entwurf vom 24.04.2020. Verordnung über die Bewirtschaftung von Altholz (Altholzverordnung – AltholzV). https://www.vku.de/fileadmin/user_upload/Verbandsseite/Themen/Infrastruktur_und_Dienstleistungen/200424_BMU_AltholzV-DE_Diskussion_Entwurf.pdf
- BMEL Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (2021): Waldstrategie 2050. Nachhaltige Waldbewirtschaftung – Herausforderungen und Chancen für Mensch, Natur und Klima.
- BMEL Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (2022a). Unser Wald. Natur aus Försterhand.
- BMEL Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (2022b): Holzmarktbericht 2021: Abschlussergebnisse für die Forst- und Holzwirtschaft des Wirtschaftsjahres 2021. <https://www.bmel-statistik.de/fileadmin/daten/FHB-0120005-2021.pdf>
- BMEL Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (2022c): Massive Schäden- Einsatz für die Wälder. <https://www.bmel.de/DE/themen/wald/wald-in-deutschland/wald-trockenheit-klimawandel.html>. (Zugriffsdatum 06.07.2023)
- BMEL Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (2024a): EU-weit einheitliche Regelung für entwaldungsfreie Lieferketten. <https://www.bmel.de/DE/themen/wald/waelder-weltweit/entwaldungsfreie-Lieferketten-eu-vo.html> (Zugriffsdatum 28.11.2024)

- BMEL Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (2024b) Förderprogramm klimaangepasstes Waldmanagement. <https://www.bmel.de/DE/themen/wald/klimaangepasstes-waldmanagement.html>
- BMUV Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (2017): Verordnung über Anforderungen an die Verwertung und Beseitigung von Altholz. <https://www.bmuv.de/gesetz/verordnung-ueber-anforderungen-an-die-verwertung-und-beseitigung-von-altholz> (Zugriffsdatum: 19.07.2023)
- BMUV Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (2023). Nationale Strategie zur Biologischen Vielfalt. Verfügbar unter: <https://www.bmuv.de/themen/naturschutz/allgemeines-und-strategien/nationale-strategie> (Zugriffsdatum: 27.11.2024)
- BMWi Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2014): Sanierungsbedarf im Gebäudebestand. Ein Beitrag zur Energieeffizienzstrategie Gebäude. Berlin.
- Bundesagentur für Arbeit (2023): Beschäftigungsstatistik Zeitreihe, Gebietsstand Januar 2023. Branche 711 Architektur- und Ingenieurbüros Baden-Württemberg. Verfügbar unter: <https://statistik.arbeitsagentur.de/DE/Navigation/Statistiken/Interaktive-Statistiken/Branchen-im-Fokus/Branchen-im-Fokus-Nav.html?submit=Suchen&templateQueryString=heidenheim>
- Bundesamt für Naturschutz (2020): Naturschutzgebiete in Deutschland. Verfügbar unter: <https://www.bfn.de/daten-und-fakten/naturschutzgebiete-deutschland#:~:text=Die%20Naturschutzgebietsfl%C3%A4che%20in%20Deutschland%20betr%C3%A4gt%202.670.015%20Hektar%20%28Stand%3A,12%20Seemeilen%20Zone%20in%20Nord-%20und%20Ostsee%29%20..> (Zugriffsdatum: 21.06.2023)
- Bundesamt für Naturschutz (2023): Übereinkommen über die biologische Vielfalt (CBD). Verfügbar unter: <https://www.bfn.de/abkommen-richtlinie/uebereinkommen-ueber-die-biologische-vielfalt-cbd> (Zugriffsdatum 21.06.2023)
- Bürgi, P., Sekot, W., Ermisch, N., Pauli, B., Möhring, B., & Toscani, P. Forstbetrieblicher Kennzahlenvergleich Deutschland–Österreich–Schweiz. Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen, 167(2), 73-81. 2016
- Cullmann, D. (2024): Der Wald in Baden-Württemberg. Ausgewählte Ergebnisse und regionale Auswertungen der Bundeswaldinventur 2022. Herausgeber: Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg.
- Dechantsreiter, U., Horst, P., Mettke A., Asmus S. et al. (2015): Instrumente zur Wiederverwendung von Bauteilen und hochwertigen Verwertung von Baustoffen. Herausgeber: Umweltbundesamt. Texte. 93/2015.
- Döring, P.; Giesecking, L.; Mantau, U. (2020): Sägeindustrie 2018. Einschnitt- und Produktionsvolumen. Herausgeber: INFRO e.K. – Informationssysteme für Rohstoffe. Hamburg
- Döring, P.; Giesecking, L.; Mantau, U. (2021): Holzwerkstoffindustrie 2020. Entwicklung der Produktionskapazität und Holzrohstoffnutzung. Hamburg.
- Eichermüller, J.; Thorwarth, H. (2022): Holzbasierte Bioökonomie Baden-Württemberg: Analyse der Datenlage zu Holz-Stoffströmen. Hochschule für Forstwirtschaft Rottenburg.

Europäische Kommission (2022): Green Deal: EU agrees law to fight global deforestation and forest degradation driven by EU production and consumption. Brussels. Press release. https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_22_7444

Europäische Kommission (2023a): Energie, Klimawandel, Umwelt – Biodiversity strategy for 2030. Verfügbar unter: https://environment.ec.europa.eu/strategy/biodiversity-strategy-2030_de (Zugriffsdatum: 21.06.2023)

Europäische Kommission (2023b): Energie, Klimawandel, Umwelt – EU forests: Commission adopts new guidelines to support tree planting actions and to protect old-growth forests. Directorate-General for Environment.

Europäische Kommission (2023c): Energie, Klimawandel, Umwelt – Timber Regulation. https://environment.ec.europa.eu/topics/forests/deforestation/illegal-logging/timber-regulation_en.

Europäische Kommission (2023d): Energie, Klimawandel, Umwelt – Deforestation-free products. https://environment.ec.europa.eu/topics/forests/deforestation/regulation-deforestation-free-products_en

FAO Food and Agriculture Organization of the United Nations (2020): Global Forest Resources Assessment 2020: Main report. Rome. <https://doi.org/10.4060/ca9825en>

FNR Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (2018): Rohstoffmonitoring Holz. Daten und Botschaften.

Flamme, Sabine; Hams, Sigrid; Bischoff, Jens; Fricke, Claas (2020): Evaluierung der Altholzverordnung im Hinblick auf eine notwendige Novellierung. Umweltbundesamt (Texte, 95/2020). 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 Fachagentur für nachwachsende Rohstoffe (2020a): Verbundvorhaben: Versorgungskette Holz, IT und von der Straße auf die Schiene; Teilvorhaben 1: Projektkoordination und Logistik, Informationsstechnische Forschung und Verarbeitung – Akronym: VEHIT. Projektdatenbank. Förderkennzeichen: 2220NR009A. <https://www.kiwuh.de/index.php?id=13475&fkz=2220NR009A>

FNR Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (2020b): Projektverzeichnis – Details. Verbundvorhaben: Brettsperrholz aus modifiziertem Buchenholz; Teilvorhaben 1: Buchenholzmodifizierung und Brettsperrholzfertigung – Akronym: B2BSP. <https://www.fnr.de/index.php?id=11150&fkz=2218WK11A3>

FNR Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (2020c): Projektverzeichnis – Details. Verbundvorhaben: Entwicklung einer Entscheidungsmatrix für die zukünftige Laubholznutzung im Rahmen einer effizienten Bioökonomie; Teilvorhaben 1: Nutzungspotenzial und innovative Nutzungsmöglichkeiten von Laubholz und Erstellung einer Entscheidungsmatrix – Akronym: LauBiOek. <https://www.fnr.de/index.php?id=11150&fkz=2218WK11A3>

FNR Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (2021a): Projektverzeichnis – Details. Verbundvorhaben: Eingeklebte Laubholzstäbe im konstruktiven Holzbau unter Verwendung von Klebstoffen auf Basis nachwachsender Rohstoffe; Teilvorhaben 1: Optimierung und Berechnung eingeklebter Laubholzstäbe – Akronym: Oekostab. <https://www.fnr.de/index.php?id=11150&fkz=2220HV050A>

FNR Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (2021b): Projektverzeichnis – Details. Verbundvorhaben: Nachhaltige Nutzungspotenziale für Kiefernstarkholz; Teilvorhaben 1: Furnierbasierte 2d- und 3d-Verbundwerkstoffe für lasttragende Anwendungen - Akronym: KiefernStolz. <https://www.fnr.de/index.php?id=11150&fkz=2220WK01A3>

FNR Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (2021c): Projektverzeichnis – Details. Verbundvorhaben: Standardisierte Buchenholz-Hybridträger großer Spannweite; Teilvorhaben 1: Steigerungspotenzial von Produktspeicher und stofflicher Substitution durch Buchenholzprodukte niedriger Holzqualität - Akronym: Stabu. <https://www.fnr.de/index.php?id=11150&fkz=22008717>

FNR Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (2022): Verbundvorhaben: Stoffliche Verwertungsmöglichkeiten für stehend gelagertes Kalamitätsholz der Baumart Fichte in Abhängigkeit von Schadfortschritt und Holzqualität. Teilvorhaben 2: Bestimmung biotischer Schadorganismen und mechanische Untersuchung geklebter Vollholzprodukte. Akronym: NUKAFI. Projektdatenbank. Förderkennzeichen: 2220WK49B3. <https://www.kiwuh.de/index.php?id=13475&fkz=2220WK49B3>

FNR Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (2024): Abschlussbericht zum Verbundvorhaben „Versorgungskette Holz, IT und von der Straße auf die Schiene“. <https://www.fnr.de/index.php?id=11150&fkz=2220NR009C>.

Fraunhofer-Institut WKI (2022): Forschungsprojekt. Brettschichtholz aus Robinie-Hartholz für mehr Klimaschutz in der Bauindustrie und Windkraftindustrie sowie klimaresistente Zukunftswälder. https://www.wki.fraunhofer.de/de/forschungsprojekte/2022/ROBINA_Brettschichtholz-aus-Robinie.html

FVA Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg (2021): Artensteckbriefe 2.0. Alternative Baumarten im Klimawandel Eine Stoffsammlung.

FVA Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg (2022): Waldzustandsbericht 2022

Gerber, K., Röhling, S., Dunger, K., Klatt, S., Oehmichen, K. (2018): Regionalisierte Ergebnisse der alternativen WEHAM-Szenarien. Thünen Working Paper 102

Hafner, A.; Rüter, S.; Ebert, S.; Schäfer, S.; König, H.; Cristofaro L.; Diederichs, S.; Kleinhenz, M.; Krechel, M. (2017): Treibhausgasbilanzierung von Holzgebäuden – Umsetzung neuer Anforderungen an Ökobilanzen und Ermittlung empirischer Substitutionsfaktoren (THG-Holzbau). 148 S. Forschungsprojekt 28W-B-3-054-01 Waldklimafonds. BMEL/BMUB. ISBN: 978-3-00-055101-7

Heinze GmbH; INFRO e.K. (2018): Monitoring und Verwendung von Holzprodukten im Bausektor und Bestimmung der Potenziale für CO₂-Bindung. Schlussbericht. 26 S. Forschungsprojekt 28W-B-4-032-02 Waldklimafonds. BMEL/BMU.

Hochschule Trier (2020): Eichensystem. Erstellung eines Bauwerks mit einem neuartigen Tragsystem aus Eichenschwachholz. <https://www.hochschule-trier.de/gestaltung/forschung-projekte/forschung/forschungsprojekte-entdecken/eichensystem>

Holzbau Deutschland (2023): Lagebericht 2023 Zimmerer / Holzbau. Herausgeber: Holzbau Deutschland – Bund Deutscher Zimmermeister im Zentralverband des Deutschen Baugewerbes e.V. Berlin.

- Holzforschung Austria (ohne Datum): Bauen mit Laubholz. Holzforschung Austria/Forschung & Entwicklung/Projektliste. <https://www.holzforschung.at/forschung-entwicklung/projektliste/details/bauen-mit-laubholz/>
- Holzkurier (2022a): Factsheet Auswirkungen des Ukrainekrieges auf die deutsche Holzindustrie mit speziellem Fokus auf Baden-Württemberg. Herausgeber: Österreichischer Agrarverlag.
- Holzkurier (2022b): Die größten Laubholzproduzenten Deutschland / Österreich, Update 2021/2022. Verfügbar unter: <https://www.holzkurier.com/blog/groesste-laubholz-produzenten.html>
- HPP Architekten (ohne Datum): Rethinking. Architecture. The Cradle. <https://www.hpp.com/projekte/fallstudien/the-cradle/>
- Iost, S. (2023): Die wirtschaftliche Lage der Forst- und Holzwirtschaft in Deutschland. Thünen-Institut für Waldwirtschaft. <https://www.thuenen.de/de/themenfelder/wirtschaftsstrukturen-und-einkommensverhaeltnisse/die-wirtschaftliche-lage-der-forst-und-holzwirtschaft-in-deutschland> (Zugriffsdatum 16.02.2023)
- Jochem, D.; Weimar, H.; Bösch, M. (2015): Estimation of wood removals and fellings in Germany: a calculation approach based on the amount of used roundwood. Eur J Forest Res 134, 869-888. <https://doi.org/10.1007/s10342-015-0896-9>
- Jochem, D.; Weimar, H.; Dieter, M. (2022): Holzeinschlag steigt im Jahr 2021 auf 84,2 Mio. m³: stoffliche Rohholzverwendung nahezu konstant - Anstieg der energetischen Nutzung - weiterhin hohe Nettorundholzexporte. Holz Zentralbl 148(41):713-714
- Kändler, G., Cullmann, D. (2014): Der Wald in Baden-Württemberg, Ausgewählte Ergebnisse der dritten Bundeswaldinventur
- Kändler, G., Cullmann, D. (2015): Regionale Auswertung der Bundeswaldinventur 3
- Kind, S.; Bogenstahl, C.; Jetzke, T.; Richter, S. (2022): Urbaner Holzbau. Berlin: Büro für Technikfolgen-Abschätzungen beim Deutschen Bundestag. ISSN: 2702-7260
- KIT Karlsruher Institut für Technologie (2023): Innovative Verbindungen unter Verwendung von Laubhölzern. Schlussbericht. Verfügbar in: <https://www.fnr.de/index.php?id=11150&fkz=22026818>
- Klimaaktiv. Holzströme in Österreich. 2022
- Klimaaktiv. Holzströme in Österreich. Datengrundlage. 2012
- Knauf, M.; Frühwald, A. (2020): Zukunftsstudie Laubholz-Produktmärkte aus technisch-wirtschaftlicher und marktstruktureller Sicht. Herausgeber: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V., Gülzow-Prüzen.
- Kubowitz, P. (2019): Holzqualitäten für Holzbauweisen. Potenziale von Bauen mit Holz.
- Landesforstverwaltung Baden-Württemberg (LFV). Waldstrategie Baden-Württemberg 2050. 2021
- Lucienne Rey, Philippe Thalmann. Holzbeschaffung und nachhaltige Holznutzung, Thematische Synthese im Rahmen des Nationalen Forschungsprogramms NFP 66 «Ressource Holz», Schweizerischer Nationalfonds, Bern. 2017

- Mantau, U., Döring, P., Glasenapp, S., Blanke, C. (2017): Szenarien der stofflichen und energetischen Holzverwendung. In: AFZ-Der Wald, 2017, Ausgabe 13.
- Mantau, U.; Döring, P.; Hiller, D. (2013): Holzeinsatz im Bauwesen – Verwendungsstrukturen nach Gebäuden und Gewerken. In: Weimar, H.; Jochem, D.; Holzverwendung im Bauwesen – Eine Marktstudie im Rahmen der „Charta für Holz“. Thünen Report 9. 356 S, Johann Heinrich von Thünen-Institut, Hamburg.
- Mantau, U.; Weimar, H. (2018): Rohstoffmonitoring Holz. Erwartungen und Möglichkeiten. Herausgeber: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR), Gülzow-Prüzen
- Mantau, U. (2019): Holzrohstoffbilanz Deutschland, Entwicklung des Holzaufkommens und der Holzverwendung 1987 bis 2016, Hamburg, 2019, 72 S
- Matthes, U., & Timm (2022): Folgen für das Projekt „Europäisches Bauhaus “und die Umsetzung der politischen Ziele im Bereich „Holzbau “. Konsequenzen der» EU-Biodiversitätsstrategie 2030 «für Wald und Forstwirtschaft in Deutschland, 61. S. 10.
- Ministerium für Ernährung, Ländlichen Raum und Verbraucherschutz Baden-Württemberg (2023): <https://mlr.baden-wuerttemberg.de/de/unsere-themen/wald-und-naturerlebnis/naturerlebnis/waldschutzgebiete> [Zugriffsdatum 06.07.2023]
- Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg (2023): Entwurf Strategie zur Anpassung an die Folgen des Klimawandels in Baden-Württemberg
- Oehmichen, K., Röhling, S., Dunger, K., Gerber, K., Klatt, S. (2017): Ergebnisse und Bewertung der alternativen WEHAM-Szenarien. In: AFZ-Der Wald, 2017, Ausgabe 13
- Purkus, A.; Lüdtke, J.; Jochem, D.; Rüter, S.; Weimar, H. (2020): Entwicklung der Rahmenbedingungen für das Bauen mit Holz in Deutschland: Eine Innovationssystemanalyse im Kontext der Evaluation der Charta für Holz 2.0. Braunschweig: Johann Heinrich von Thünen-Institut, 102 S. Thünen Rep 78, DOI:10.3220/REP1591254742000
- Rey, L.; Thalmann, P. (2017): Holzbeschaffung und nachhaltige Holznutzung, Thematische Synthese im Rahmen des Nationalen Forschungsprogramms NFP 66 „Ressource Holz“, Schweizerische Nationalfonds, Bern.
- Rombach Bauholz + Abbund GmbH (2023): NUR-HOLZ. Produkt. <https://www.rombach-nurholz.de/bauen-mit-massivholz/produkt.html>
- RoofKIT (2023): KIT-Team nimmt am europäischen Solar Decathlon Wettbewerb im Bereich des nachhaltigen Bauens teil. <https://www.arch.kit.edu/aktuelles/roofkit.php> [Zugriffsdatum 27.07.2023]
- Schier, F., Weimar, H. (2017): Modellierung des Holzmarktes im WEHAM-Projekt. In: AFZ-Der Wald, 2017, Ausgabe 13.
- Schier, F.; Iost, S.; Seintsch, B.; Weimar, H.; Dieter, M. (2022) Assessment of Possible Production Leakage from Implementing the EU Biodiversity Strategy on Forest Product Markets. Forests 13, no. 8: 1225. <https://doi.org/10.3390/f13081225>
- Schraml, U. (2024): Der Wald in Baden-Württemberg – Chancen für morgen. Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg.

- Scrimber CSC (2023): Scrimber – neue Technologien für den Weltmarkt. <https://www.scrimber.com/de/technologien/>
- Seintsch, B. et al. (2017): Das WEHAM-Szenarien-Verbundforschungsprojekt. In: AFZ-Der Wald, 2017, Ausgabe 13.
- Senatsverwaltung für Stadtentwicklung, Bauen und Wohnen (2022): MOKIB (Modulare Kita-Bauten für Berlin) <https://www.stadtentwicklung.berlin.de/bauen/hochbau/de/mokib.shtml> (Zugriffsdatum 27.07.2023)
- Spathelf, P.; Ammer, C.; Annighöfer, P.; Bolte, A.; Seifert, T.; Weimar, H. (2022): Fakten zum Thema: Wälder und Holznutzung. 7/2022. Deutsche Verband Forstlicher Forschungsanstalten (DVFFA).
- SSH Senke Schweizer Holz (2020): Beispiele von unwirtschaftlichen Maßnahmen, welche die Mitglieder des Vereins Schweizer Senke Holz im Rahmen des Projektes dank den Be-scheinigungserlösen umsetzen konnten. https://ssh-pbs.ch/app/uploads/2020/03/Maßnahmenbeispiele-zur-Absatzsteigerung-von-Schweizer-Holz_Verein-SSH-1.pdf
- SSH Senke Schweizer Holz (2023): Wirkung Projektmaßnahmen. Bilanz nach Abschluss Monito-ring Jahr 2021. https://ssh-pbs.ch/app/uploads/2023/02/Zusammenfassung-Maßnah-men-Auswirkungen_2021_D-3.pdf
- SSH Senke Schweizer Holz (ohne Datum): CO₂-Senkenleistung von Holz – das «Senken-Pro-jekt». Funktionsweise des Kompensationsprojekts. <https://ssh-pbs.ch/projekt-infor-mation-senken-projekt/>
- Statistisches Bundesamt (2022): Bauen und Wohnen 2021: Baugenehmigungen von Wohn- und Nichtwohngebäuden nach überwiegend verwendetem Baustoff, Lange Reihen z.T. ab 1980.
- Statistisches Bundesamt (2023a): 41261-0011 - Holzeinschlag: Bundesländer, Jahre, Holzsor-ten, Holzartengruppen, Waldeigentumsarten. Verfügbar unter: <https://www-gene-sis.destatis.de/genesis//online?operation=table&code=41261-0011&bypass=true&le-velindex=0&levelid=1690197939470#abreadcrumb> (Zugriffsdatum: 23.11.2023)
- Statistisches Bundesamt (2023b): 73311-0011 – Umsatzsteuerstatistik (Vorankmeldungen). Um-satzsteuerpflichtige, Steuerbarer Umsatz, Umsatzsteuer (Vorankmeldung): Bundeslän-der, Jahre, Wirtschaftszweige (WZ2008 1-5-Steller Hierarchie). Verfügbar unter: <https://www-genesis.destatis.de/genesis//online?operation=table&code=73311-0011&bypass=true&levelindex=0&levelid=1690198015428#abreadcrumb>
- Statistisches Landesamt Baden-Württemberg (2013): Bautätigkeit in Baden-Württemberg 2012. Statistische Berichte Baden-Württemberg, Bautätigkeit und Wohnungswesen, Artikel-Nr. 3732 12001, F II 1 – j/12. Stuttgart.
- Statistisches Landesamt Baden-Württemberg (2020): Bauhauptgewerbe 2020. Statistische Be-richt Baden-Württemberg, Artikel-Nr. 3722 20001, Produzierendes Gewerbe E II 2 – j/20. Stuttgart.
- Statistisches Landesamt Baden-Württemberg (2021): Bautätigkeit in Baden-Württemberg 2020. Statistische Berichte Baden-Württemberg, Bautätigkeit und Wohnungswesen, Artikel-Nr. 3732 20001, F II – j/20. Stuttgart.

- Statistisches Landesamt Baden-Württemberg (2022a): Volkswirtschaftliche Gesamtrechnung, Bruttoinlandsprodukt und Bruttowertschöpfung in Baden-Württemberg seit 1991 nach Wirtschaftsbereichen in jeweiligen Preisen. Verfügbar unter: <https://www.statistik-bw.de/GesamtwBranchen/VGR/LRtBWSjewPreise.jsp> (Zugriffsdatum 16.01.2023)
- Statistisches Landesamt Baden-Württemberg (2022b): Bruttoinlandsprodukt, Bruttowertschöpfung in den kreisfreien Städten und Landkreisen der Bundesrepublik Deutschland 1992 und 1994 bis 2020 Reihe 2, Kreisergebnisse Band 1. Herausgeber: Arbeitskreis "Volkswirtschaftliche Gesamtrechnungen der Länder" im Auftrag der Statistischen Ämter der 16 Bundesländer, des Statistischen Bundesamtes und des Statistischen Amtes Wirtschaft und Kultur der Landeshauptstadt Stuttgart.
- Statistisches Landesamt Baden-Württemberg (2022c): Bruttoinlandsprodukt, Bruttowertschöpfung in den Ländern der Bundesrepublik Deutschland 1991 bis 2021. Reihe 1, Länderergebnisse Band 1. Herausgeber: Arbeitskreis "Volkswirtschaftliche Gesamtrechnungen der Länder" im Auftrag der Statistischen Ämter der 16 Bundesländer, des Statistischen Bundesamtes und des Statistischen Amtes Wirtschaft und Kultur der Landeshauptstadt Stuttgart.
- Statistisches Landesamt Baden-Württemberg (2022d): Ernte – Holzeinschlag nach Holzarten, Holzeinschlag in Baden-Württemberg seit dem Forstwirtschaftsjahr 1950/51 nach Holzarten. Verfügbar unter: <https://www.statistik-bw.de/Landwirtschaft/Ernte/Holzeinschlag-LR.jsp> (Zugriffsdatum: 14.11.2022)
- Statistisches Landesamt Baden-Württemberg (2023): Holzeinschlag nach Holzarten, <https://www.statistik-bw.de/Landwirtschaft/Ernte/Holzeinschlag-LR.jsp> (Zugriffsdatum 06.07.2023)
- Stolte, C.; Marcinek, H.; Discher, H.; Hinz, E.; Enseling, A. (2012): dena-Sanierungsstudie. Teil 2: Wirtschaftlichkeit energetischer Modernisierung in selbstgenutzten Wohngebäuden. Begleitforschung zum dena-Projekt „Niedrigenergiehaus im Bestand“. Berlin.
- Strimitzer, L.; Wlcek, B.; Bergamo, A.; Nemetothy, K. (2022): Holzstoffströme in Österreich. Ausgabe Oktober 2022 / Bezugsjahr 2020. Österreichische Energieagentur; LKÖ.
- Studiengemeinschaft Holzleimbau e.V. (2023): Aufbauen, umbauen, nachverdichten: Neuer Holzbau in Bestand und Fläche. Wuppertal.
- Swiss Timber Finance Initiative (2023a): Tracker-Zertifikat Dynamisch auf den Timber Finance forest-based Construction Basket. https://timberfinance.ch/carbon_tracker/
- Swiss Timber Finance Initiative (2023b): Holzbau als CO2 Speichertechnologie. https://timberfinance.ch/co2_zertifikat/
- The Cradle (2023): Für die Zukunft unserer Kinder: Ein Bürogebäude aus Holz. <https://www.the-cradle.de/> (Zugriffsdatum 27.07.2023)
- Thünen-Institut (2021): Clusterstatistik, Tabelle Clusterstatistik Deutschland & Bundesländer. Verfügbar unter: <https://www.thuenen.de/de/fachinstitute/waldwirtschaft/zahlen-fakten/clusterstatistik-forst-holz> (Zugriffsdatum 11.01.2023)
- Thünen-Institut (ohne Datum): Holznutzung in Zukunft unter Einfluss des Klimawandels. Projektwebsite.

<https://www.thuenen.de/de/fachinstitute/holzforschung/projekt/holznutzung-in-der-zukunft-unter-dem-einfluss-des-klimawandels>. [Zugriffsdatum: 24.05.2023]

Thünen-Institut für Waldwirtschaft (2020): Außenhandelsbilanz: Tabelle Außenhandelsbilanz. <https://www.thuenen.de/de/fachinstitute/waldwirtschaft/zahlen-fakten/holzbilanzen/aussenhandelsbilanz>

Tichelmann, K; Blome, D.; Ringwald, T.; Günther, M.; Gross, K. (2019): Deutschlandstudie 2019. Wohnraumpotenziale in urbanen Lagen. Aufstockung und Umnutzung von Nichtwohngebäuden. Technische Universität Darmstadt; ISP Eduard Pestel Institut für Systemforschung e.V.; VHT Institut für Leichtbau, Trockenbau, Holzbau. Darmstadt/Hannover.

Torno, S.; Jentsch, A.; Lattke, F. (2017): INFORMATIONSDIENST HOLZ spezial: Konstruktive Bauprodukte aus europäischen Laubhölzern. Herausgeber: Informationsverein Holz e.V., Düsseldorf. ISSN: 0446-2114

Triodos Bank (2022): Triodos Bank Netherlands has first bio-based mortgage. <https://www.triodos.com/en/articles/2022/triodos-bank-netherlands-has-first-bio-based-mortgage>

Triqbriq (2023): Triqbriq-System. <https://triqbriq.de/triqbriq-system/>

TU Berlin (2024): Pavillon Wissenspfade – Reallabor für das Planen und Bauen mit nachhaltigen Materialien. <https://www.tu.berlin/science-and-society/projekte-und-forschung/pavillon-wissenspfade> [Zugriffsdatum 27.11.2024].

UNEP United Nations Environment Programme (2022): COP15 ends with landmark biodiversity agreement. Verfügbar unter: <https://www.unep.org/news-and-stories/story/cop15-ends-landmark-biodiversity-agreement> [Zugriffsdatum 21.06.2023]

Universität Göttingen (2019): Verwertungsorientierte Untersuchungen an geringwertigen Buchen-(Laubholz-)Sortimenten zur Herstellung innovativer zukunftsfähiger Holzprodukte und Holzwerkstoffe. Schlussbericht. Verfügbar: <https://www.fnr.de/index.php?id=11150&fkz=22015615>

Universität Stuttgart (2021): livMatS Pavillon. <https://www.icd.uni-stuttgart.de/de/projekte/livMatS-Pavilion/> [Zugriffsdatum 27.07.2023]

Universität Stuttgart (2021): Weltweit erstes adaptives Hochhaus eröffnet. <https://www.uni-stuttgart.de/universitaet/aktuelles/meldungen/Weltweit-erstes-adaptives-Hochhaus-eroeffnet/> [Zugriffsdatum 27.07.2023]

Volk, R.; Müller, R.; Schultmann, F.; Rimbon, J.; Lützkendorf, T.; Reinhardt, J.; Knappe, F. (2019): Stofffluss- und Akteursmodell als Grundlage für ein aktives Ressourcenmanagement im Bauwesen von Baden-Württemberg „StAR-Bau“. Schlussbericht des Forschungsvorhabens. Band 32, Produktion und Energie. Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Karlsruhe. ISSN: 2194-2404

WBW Wissenschaftlicher Beirat für Waldpolitik beim Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (2021): Die Anpassung von Wäldern und Waldwirtschaft an den Klimawandel. Gutachten des Wissenschaftlichen Beirats für Waldpolitik. Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft, Referat 513. Berlin.

Wolf, T., Untergutsch, A., Wensing, C., Mittelbach, H., Lu-Pagenkopf, F., Kellenberger, D., Kubowitz, P. (2020): Potenziale von Bauen mit Holz. Erweiterung der Datengrundlage zur

Verfügbarkeit von Holz als Baustoff zum Einsatz im Holzbau sowie vergleichende Ökobilanzierung von Häusern in Massiv und Holzbauweise. Herausgeber: Umweltbundesamt. Texte 192/2020.

A Anhang

A.1 Explorative Expertengespräche

Organisation	Gesprächspartnerin/Gesprächspartner
ETH Zürich	Prof. Dr. Andrea Frangi
Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg	Prof. Dr. Ulrich Kohnle
Holzkurier	Gerd Ebner
Johann Heinrich von Thünen-Institut	Prof. Dr. Andreas Bolte
Karlsruher Institut für Technologie	Prof. Andrea Klinge
Swiss Timber Finance Initiative	Erik Reichmuth
Technikum Laubholz	Ludwig Lehner
TU München	Prof. Dr. Stephan Birk
Universität Stuttgart	Hans Jakob Wagner
WSL	Dr. Tobias Schulz
WSL	Dr. Frank Krumm

A.2 Praxisgespräche

Organisation	Gesprächspartnerin/Gesprächspartner
architekturagentur	Oliver Hilt
B. Keck GmbH	Steffen Rathke
Fast + Epp GmbH	Dr. Jochen Stahl
Schlosser Holzbau GmbH	Josef Schlosser

Intep ist ein interdisziplinäres Beratungs- und Forschungsunternehmen für Umwelt, Wirtschaft und Gesellschaft. Wir arbeiten interdisziplinär in einer flexiblen standortübergreifenden Teamstruktur. Wir pflegen eine offene Kultur und den intensiven Wissensaustausch nach innen wie außen. Bei allen Aktivitäten steht intep für Innovationskraft, Vertrauenswürdigkeit und integrales Denken.

Intep
Integrale Planung GmbH
Tucholskystraße 13
10117 Berlin

Intep
Integrale Planung GmbH
Pfungstweidstraße 16
8005 Zürich

Intep
Integrale Planung GmbH
Wiesenhüttenplatz 25
60329 Frankfurt am Main

Intep
Integrated Planning LLC
901 23rd Ave NE
55418, Minneapolis, USA

Intep
Integrale Planung GmbH
Am Sandtorkai 39
20457 Hamburg

Intep
Integrated Planning LLC
Jinyuan Road Nr. 26
Huangcunzhen, Daxing District
102627 Beijing, China

Intep
Integrale Planung GmbH
Innere Wiener Straße 11a
81667 München

Intep
Integrated Planning LLC
Mei'ao No. 3 Rd.
Jiangke Building, No.29
518049 Shenzhen, Guangdong, China

www.intep.com

